mobitool – Grundlagenbericht

Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren

www.mobitool.ch

Autoren

Rolf Frischknecht
Annika Messmer
Philippe Stolz

treeze Ltd.
Kanzleistrasse 4
8610 Uster
info@treeze.ch

Matthias Tuchschmid
Fellenbergweg 14
8047 Zürich
info@mtuchschmid.ch

unterstützt durch

energieschweiz
Unser Engagement: unsere Zukunft.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Über mobitool

mobitool möchte Unternehmen und interessierte für die (Umwelt-)Auswirkungen von ihnen verursachte betriebliche Mobilität sensibilisieren und nützliche Werkzeuge für das nachhaltige Mobilitätsmanagement zur Verfügung stellen bzw. über diese informieren. Auf der Webseite finden sich entsprechende von der mobitool Trägerschaft zur freien Verwendung zur Verfügung gestellte oder von Dienstleistern beworbene Tools.

Über den Mobicheck beispielsweise erhalten Firmenverantwortliche mittels 5 Klicks eine Grobabschätzung der Umweltauswirkungen ihrer betrieblichen Mobilität. Des Weiteren werden Bilanzierungshilfen für ein effektives Umweltmanagement der betrieblichen Mobilität sowie aktuelle Umweltdaten (die mobitool-Faktoren) von rund 150 verschiedenen Verkehrsmitteln angeboten. Ein interaktiver Verkehrsmittelvergleich erlaubt den direkten Umweltvergleich zwischen zwei individuell anpassbaren Fahrzeugen auf Knopfdruck. Mit mobiplan steht ein Tool für Unternehmen zur Verfügung, welche sie im Aufbau und zur Aufrechterhaltung eines Mobilitätsmanagements leitet und unterstützt.

mobitool wurde mit Unterstützung von EnergieSchweiz, dem Programm des Bundesrats zur Förderung der Energieeffizienz, der SBB, von Swisscom, des Bundesamts für Umwelt und des Netzwerks für nachhaltiges Wirtschaften Öbu entwickelt. Durch die Optimierung der unternehmerischen Mobilitätsprozesse wird ein Beitrag zur Reduktion der Verkehrsemissionen in der Schweiz geleistet.

Internetseite: www.mobitool.ch

Bern, 23. November 2016 (v2.0)

Inhalt & Zweck dieses Berichtes

In diesem Dokument werden die Hintergründe und Methodik erläutert: Dem interessierten Leser soll ein Zugang zu den wesentlichen Annahmen und Grössen gegeben werden. Weitergehende Informationen und Verweise auf andere Dokumente ermöglichen eine detaillierte Analyse und Auseinandersetzung mit der verwendeten Methode der Ökobilanz. Eine lückenlose Herleitung aller Umweltwerte würde den Rahmen dieses Dokumentes sprengen. Hier sei der interessierte Leser auf die entsprechende Fachliteratur und die Berichte der ecoinvent-Datenbank verwiesen.

Berichtversion 2.0

Der erste Bericht von M. Tuchschmid und M. Halder (Version v1.1) basierte auf dem ecoinvent-Datenbestand v.2.2 und wurde 2010 veröffentlicht. Die Auswertungen und Datenwerte in diesem aktualisierten Bericht basieren neu auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (basierend auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2), die Methodik ist unverändert. Zusätzlich wurden einige Datensätze neu erhoben, beziehungsweise aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.1 übernommen und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Auf Anfrage ist bei treeze eine ergänzende Excel-Tabelle erhältlich, welche die Unterschiede zur vorherigen Berichtsversion und dem damals verwendeten ecoinvent-Datenbestand v2.2 beschreibt.

Zusammenfassung

Die Emissionen aus dem Verkehr gefährden die Einhaltung der Schweizer Klimaschutzziele: Insgesamt stehen 55 bis 60 Prozent des Treibstoffverbrauches und der damit verbundenen Emissionen in direktem oder indirektem Zusammenhang mit Unternehmensentscheiden. Etwa ein Fünftel der Verkehrsemissionen verursacht der Güterverkehr.

Die Internetplattform mobitool zeigt Unternehmen, öffentlichen Verwaltungen, Privatpersonen, Beratern und Forschenden auf, wie gross der Hebel zur Verbesserung der eigenen Umweltleistung im Mobilitätsbereich ist und unterstützt sie dabei, ihre Mobilitätsprozesse zu optimieren. Dazu stehen folgende Instrumente zur Verfügung:

- Die mobitool-Faktoren, eine interaktive Excel-Liste mit Umweltkennwerten, bilden das Kernstück der Umweltbewertung von Mobilitätslösungen. Von insgesamt rund 150 Verkehrsmitteln können Primärenergie, Treibhauspotenzial, Luftschadstoffemissionen sowie die Summenparameter Umweltbelastungspunkte 2013 und ReCiPe 2008 ausgewählt werden.
- Der „mobicheck" erlaubt, die Umweltrelevanz der betrieblichen Mobilität im Vergleich zu sonstigen Umweltauswirkungen eines Unternehmens abzuschätzen. Nach Auswahl von Branche, Standort, Unternehmensfokus (regional, Schweiz, Europa, global) und Mitarbeiterzahl wird eine grobe Bilanz geschätzt. Die zugrunde gelegten Annahmen können für eine verfeinerte Analyse individuell verändert werden.
- Der interaktive Online-Vergleichsrechner erlaubt den direkten Vergleich der Energie-, CO_2- und Umweltbilanz zweier Verkehrsmittel unter Berücksichtigung der frei wählbaren Parameter „Auslastung", „Durchschnittsverbrauch" und „Fahrzeuggewicht".
- Das interaktive mobiplan ist das Instrument für den Aufbau und die Aufrechterhaltung eines Mobilitätsmanagementsystems nach SNR 155000 und unterstützt Organisationen in der Bestimmung der bedeutenden Mobilitätsaspekte, der Umsetzung von Massnahmen und dem Nachweis der kontinuierlichen Verbesserung der Verkehrsleitung.

Das gesamte mobitool-Projekt stützt sich auf die Datenbasis und -methodik der ecoinvent-Datenbank ab. Mittels der Methodik der Ökobilanz werden die Transportprozesse über alle Lebensphasen analysiert und in die Bewertung mit einbezogen. Die Umweltdaten berücksichtigen die Umweltauswirkungen des direkten Betriebs, der Energiebereitstellung, der Fahrzeugherstellung, -entsorgung und des Fahrzeugunterhalts sowie der Aufwendungen für den Fahrweg. Die mobitool-Faktoren und die Daten- und Berechnungsgrundlagen wurden durch Christian Bauer vom Paul Scherrer Institut (PSI) geprüft.

Die relevanten Einflussfaktoren auf die Umweltleistung der Verkehrsmittel sind transparent dargestellt. Der Nutzer kann Ad-hoc-Auswertungen mit voreingestellten, durchschnittlichen Werten vornehmen. Bei Bedarf können die Annahmen individuell angepasst werden. In mobitool werden die Umweltwerte von rund 150 Verkehrsmitteln dargestellt:

- Bilanziert werden im lokalen Personenverkehr Fahrrad, Scooter, verschiedene öV-Verkehrsmittel (Tram, Trolleybus, Autobus) sowie der Personenwagen mit verschiedenen Antriebstechnologien (Benzin, Diesel, Benzin/Ethanol, Biogas, Erdgas, Hybrid, Plug-in-Hybrid, elektrisch). Im regionalen / nationalen Verkehr werden zusätzlich das Motorrad, die Bahn in der Schweiz und in Europa, das City Car sowie Reisebus, Kleinbus, Personenschiff, Seilbahn und der Helikopter angeboten, im internationalen Verkehr neben dem Hochgeschwindigkeits- und dem IC-Zug in der Schweiz und angrenzenden Ländern auch der Fernbus und das Flugzeug.
- Eine Alternative zum „physischen" Verkehr stellt die „virtuelle Mobilität" dar. Das mobitool erlaubt daher auch eine Bilanzierung von Videokonferenzen und Teleworking.
- Auch die Elektromobilität auf der Strasse wird im mobitool berücksichtigt: Zur Auswahl stehen das E-Bike, Elektro-Scooter, Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Personenwagen sowie der E-Personenwagen als City Car in Leichtbauweise und als klassischer Personenwagen. Aufgrund der noch jungen technischen Entwicklung sind die Daten als Momentaufnahme auf Basis der bestehenden Erkenntnisse zu verstehen. Die Bilanzierungsergebnisse zeigen, dass die NCM Lithium-Ionen-Batterie und damit auch die getroffenen Annahmen zur Lebensdauer und den Aufwendungen in der Batterieproduktion die Umweltbilanz massgeblich beeinflussen.
- Im Güterverkehr wird die Bahn in der Schweiz und in den angrenzenden Ländern sowie als europäischer Durchschnitt bilanziert. Entscheidend für die Umweltbilanz bei der Bahn sind dabei die je nach Land verwendeten Energieträger zur Bahnstromerzeugung. Für den Strassentransport werden Lastwagen in unterschiedlichen Gewichts- und Emissionsklassen angeboten. Des Weiteren werden Umweltdaten für die rollende Landstrasse und den Huckepack-Transport sowie für verschiedene Schiffe, den Helikopter und das Flugzeug zur Verfügung gestellt. Neu sind auch die

Umweltkennwerte von Baumaschinen und maschinellem Aushub in den mobitool-Faktoren enthalten.

Das mobitool will Unternehmen, öffentliche Verwaltungen, Privatpersonen, Berater und Forschende mit den zur Verfügung gestellten Instrumenten ermöglichen, die Umweltauswirkungen ihrer Verkehrsprozesse ohne detailliertes Expertenwissen im Bereich der Ökobilanzierung zu berechnen. Die vorliegende Dokumentation der verwendeten Methodik und Emissionsfaktoren bietet ergänzend dazu einen tieferen Einblick in die Grundlagen der im mobitool verwendeten Umweltdaten.

Die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf der in den mobitool-Faktoren aufgelisteten Verkehrsmittel werden in Tab. Z. 1 und Tab. Z. 2 gezeigt.

Tab. Z. 1: Treibhausgasemissionen der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs

Wahl des Indikators:

○ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ◉ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [g CO2-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.]	Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [g CO2-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.]	Summe [g CO2-equ.]
Personen-verkehr lokal bis 5km	Langsam-verkehr	zu Fuss	-	-									pkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
		Fahrrad	-	-									pkm	0.00	0.00	1.23	5.91	0.50	**7.64**
		E-Bike	Elektrizität	Ökostrommix CH					1.0		2.6	0.5	pkm	0.00	0.15	3.62	10.96	0.53	**15.26**
				Verbrauchermix CH					1.0		2.6	0.5	pkm	0.00	1.01	3.62	10.96	0.53	**16.12**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)					1.0		2.6	0.5	pkm	0.00	1.02	3.62	10.96	0.53	**16.12**
	Strasse	Scooter	Benzin	-	1.3	2		3.4					pkm	75.64	15.15	3.68	5.40	0.70	**100.57**
		Elektro-Scooter	Elektrizität	Ökostrommix CH	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.00	0.34	3.64	23.09	0.83	**27.90**
				Verbrauchermix CH	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.00	2.28	3.64	23.09	0.83	**29.84**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.00	2.28	3.64	23.09	0.83	**29.84**
		Durchschnitt öV	-	-									pkm	12.64	4.11	0.72	1.18	5.91	**24.56**
		Tram	-	durchschnittliche Flotte	34	116	29%						pkm	0.37	13.63	1.17	1.38	20.93	**37.47**
		Trolleybus	-	durchschnittliche Flotte	19	100	19%						pkm	1.45	14.31	1.46	2.80	5.13	**25.15**
		Autobus	-	durchschnittliche Flotte	10	60	17%						pkm	112.25	22.10	1.70	3.28	6.08	**145.41**
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	1.6	5		7.5		1510			pkm	120.77	28.82	3.79	35.48	8.37	**197.23**
			Diesel	durchschnittliche Flotte	1.6	5		6.0		1700			pkm	106.01	20.65	4.27	39.48	9.18	**179.60**
				EURO 3	1.6	5		6.6		1700			pkm	115.50	22.41	4.27	39.51	9.54	**191.23**
				EURO 4	1.6	5		6.3		1700			pkm	109.93	21.35	4.27	39.51	9.54	**184.59**
				EURO 5	1.6	5		5.9		1700			pkm	103.62	20.04	4.27	39.51	9.54	**176.97**
				EURO 6	1.6	5		5.7		1700			pkm	100.29	19.34	4.27	39.51	9.54	**172.94**
			Benzin	durchschnittliche Flotte	1.6	5		8.5		1380			pkm	130.23	34.11	3.47	32.69	7.79	**208.28**
				EURO 3	1.6	5		9.7		1380			pkm	148.24	38.78	3.47	32.69	7.74	**230.91**
				EURO 4	1.6	5		8.9		1380			pkm	136.16	35.67	3.47	32.69	7.74	**215.72**
				EURO 5	1.6	5		7.8		1380			pkm	119.74	31.27	3.47	32.69	7.74	**194.90**
				EURO 6	1.6	5		7.5		1380			pkm	116.13	30.24	3.47	32.69	7.74	**190.26**
			Ethanol (5%)	-	1.6	5		8.5		1380			pkm	123.87	31.38	3.47	32.69	7.74	**199.15**
			Ethanol (15%)	EURO 4	1.6	5		8.1		1380			pkm	115.84	36.66	3.47	32.69	7.74	**196.39**
			Biogas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5		9.7		1380			pkm	5.29	66.67	3.47	32.69	7.74	**115.85**
			Erdgas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5		9.7		1380			pkm	112.99	20.19	3.47	32.69	7.74	**177.07**
			Hybrid	durchschnittliche Flotte	1.6	5		5.5		1460	41	0.5	pkm	86.22	20.96	4.79	37.30	8.79	**158.06**
				EURO 6	1.6	5		5.2		1460	41	0.5	pkm	81.59	19.77	4.79	37.30	8.79	**152.24**
			Plug-In Hybrid	durchschnittliche Flotte, Ökostrommix CH	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	20.35	5.68	4.92	42.20	9.16	**82.30**
				durchschnittliche Flotte, Verbrauchermix CH	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	20.35	14.31	4.92	42.20	9.16	**90.93**
				durchschnittliche Flotte, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	20.35	14.33	4.92	42.20	9.16	**90.95**
				EURO 6, Ökostrommix CH	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	19.47	5.45	4.92	42.20	9.16	**81.20**
				EURO 6, Verbrauchermix CH	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	19.47	14.08	4.92	42.20	9.16	**89.83**
				EURO 6, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	19.47	14.10	4.92	42.20	9.16	**89.85**
			Elektrizität	Ökostrommix CH	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	4.07	1.89	4.15	62.57	8.90	**81.58**
				Verbrauchermix CH	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	4.07	12.68	4.15	62.57	8.90	**92.37**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	4.07	12.71	4.15	62.57	8.90	**92.40**
		City Car, zukünftiger Leicht-Personenw	Elektrizität	Ökostrommix CH	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	4.06	1.13	1.56	16.40	4.18	**27.32**
				Verbrauchermix CH	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	4.06	7.54	1.56	16.40	4.18	**33.74**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	4.06	7.56	1.56	16.40	4.18	**33.76**
			Diesel	EURO 5	1.6	4		2.7		500			pkm	49.53	8.98	1.18	7.08	3.16	**69.94**

Tab. Z. 1: Treibhausgasemissionen der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

○ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ◉ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [g CO2-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.]	Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [g CO2-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.]	**Summe [g CO2-equ.]**
		durchschnittliches Motorrad	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		5.2		205			pkm	97.24	24.82	0.93	16.36	5.68	**145.02**
		Motorrad (250ccm-750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		4.9		180			pkm	93.32	23.44	0.81	14.37	5.60	**137.55**
				preEURO	1.3	2		5.2		180			pkm	116.06	24.82	0.81	14.37	5.60	**161.66**
				EURO 1	1.3	2		4.9		180			pkm	105.15	23.38	0.81	14.37	5.60	**149.31**
				EURO 2	1.3	2		4.3		180			pkm	80.65	20.52	0.81	14.37	5.60	**121.95**
				EURO 3	1.3	2		5.0		180			pkm	89.94	23.89	0.81	14.37	5.60	**134.61**
				EURO 4	1.3	2		5.0		180			pkm	88.59	23.62	0.81	14.37	5.60	**132.98**
		Motorrad (>750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		5.3		220			pkm	99.48	25.61	0.99	17.56	5.74	**149.39**
				preEURO	1.3	2		5.5		220			pkm	122.15	26.48	0.99	17.56	5.74	**172.93**
				EURO 1	1.3	2		5.3		220			pkm	106.77	25.35	0.99	17.56	5.74	**156.42**
				EURO 2	1.3	2		5.5		220			pkm	102.22	26.41	0.99	17.56	5.74	**152.93**
				EURO 3	1.3	2		5.3		220			pkm	95.90	25.52	0.99	17.56	5.74	**145.71**
				EURO 4	1.3	2		5.3		220			pkm	94.50	25.23	0.99	17.56	5.74	**144.03**
Personen-verkehr national 5km - 200km	Schiene	Bahn Schweiz	Strommix SBB	Regionalverkehr, inkl. S-Bahn	67	292	23%						pkm	0.17	1.31	0.17	0.82	5.96	**8.43**
				Regionalverkehr, nur S-Bahn	99	378	26%						pkm	0.12	0.83	1.19	1.47	4.42	**8.04**
				Fernverkehr	193	636	30%						pkm	0.05	0.66	0.68	0.84	4.70	**6.92**
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	159	544	29%						pkm	0.08	0.83	0.54	0.83	5.03	**7.32**
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	21	50	42%						pkm	43.30	8.43	0.98	1.88	3.61	**58.19**
		Kleinbus	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	7.0	13		9.0					pkm	34.57	6.99	2.91	7.38	2.71	**54.56**
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	1.6	5		7.5		1510			pkm	120.77	28.82	3.79	35.48	8.37	**197.23**
	Wasser	Personenschiff	Diesel	-									pkm	123.65	23.86	0.19	3.75	0.00	**151.45**
	Luft	Seilbahn	-	elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH									pkm	0.00	28.83	0.16	0.91	22.04	**51.94**
		Helikopter, einmotorig	-	pro Flugstunde									h	756127	146395	206	4118	0	**906846**
		Helikopter, zweimotorig	-	pro Flugstunde									h	1109734	210154	240	4794	0	**1324923**
Personen-verkehr international >200km	Schiene	Bahn Deutschland	Strommix DE & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	125	292	43%						pkm	9.11	45.15	0.59	0.73	4.06	**59.63**
				Hochgeschwindigkeitszug (ICE)	235	425	55%						pkm	0.03	40.65	0.48	0.55	8.20	**49.90**
		Bahn Frankreich	Strommix FR & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	208	544	38%						pkm	4.58	7.97	0.50	0.61	3.43	**17.09**
				Hochgeschwindigkeitszug (TGV)	235	425	55%						pkm	0.03	7.69	0.48	0.55	8.20	**16.94**
		Bahn Italien	Strommix IT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	166	544	31%						pkm	4.72	55.94	0.45	0.56	3.92	**65.58**
				Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa)	235	425	55%						pkm	0.03	47.78	0.48	0.55	8.20	**57.03**
		Bahn Österreich	Strommix AT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	107	292	37%						pkm	6.68	7.61	0.76	0.93	5.22	**21.20**
		Bahn Schweiz	Strommix SBB	Fernverkehr	193	636	30%						pkm	0.05	0.66	0.68	0.84	4.70	**6.92**
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	159	544	29%						pkm	0.08	0.83	0.54	0.83	5.03	**7.32**
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	21	50	42%						pkm	43.30	8.43	0.98	1.88	3.61	**58.19**
		Fernbus (Car)	-	-	32	74	44%						pkm	32.32	6.31	0.93	1.75	3.34	**44.64**
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	1.6	5		7.5		1510			pkm	120.77	28.82	3.79	35.48	8.37	**197.23**
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt	215	265	81%						pkm	155.02	23.68	0.02	0.33	5.53	**184.58**
				innerhalb Europa, Durchschnitt	112	148	76%						pkm	194.19	31.97	0.02	0.41	14.25	**240.85**
				innerhalb Europa, economy	92	122	76%						pkm	176.56	29.06	0.03	0.59	14.25	**220.49**
				innerhalb Europa, business	20	26	76%						pkm	276.95	45.59	0.02	0.37	14.25	**337.19**
				Interkontinental, Durchschnitt	268	326	82%						pkm	137.56	20.01	0.00	0.10	1.69	**159.36**
				Interkontinental, economy	212	257	82%						pkm	109.53	15.93	0.02	0.31	1.69	**127.47**
				Interkontinental, business	50	61	82%						pkm	227.61	33.10	0.01	0.20	1.69	**262.62**
				Interkontinental, first	7	8	82%						pkm	351.39	51.11	0.00	0.10	1.69	**404.29**

Tab. Z. 1: Treibhausgasemissionen der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

○ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ◉ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [g CO2-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.]	Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [g CO2-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.]	**Summe [g CO2-equ.]**
Personen-verkehr virtuell 0km-20'000 km	virtuell	Videokonferenz	-	Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer									h	0.00	0.57	0.00	27.58	8.88	**37.03**
			-	Verbrauchermix CH, während 1h, pro Teilnehmer									h	0.00	3.81	0.00	27.58	8.88	**40.27**
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), während 1h, pro Teilnehmer									h	0.00	3.82	0.00	27.58	8.88	**40.28**
		Work@home	-	Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h									d	0.00	2.64	0.00	220.66	14.26	**237.56**
			-	Verbrauchermix CH, 1 Tag à 8h									d	0.00	17.64	0.00	220.66	14.26	**252.56**
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), 1 Tag à 8h									d	0.00	17.68	0.00	220.66	14.26	**252.60**
Güter-verkehr	kombiniert	rollende Landstrasse	Elektrolok	-									tkm	0.00	0.81	3.41	3.42	6.48	**14.13**
		Huckepack-Transport	Elektrolok	-									tkm	0.00	0.60	2.51	2.52	4.77	**10.40**
	Schiene	Zug Schweiz	Strommix SBB, wenig Diesel	v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (93% mit Partikelfilter)									tkm	0.86	0.71	2.29	2.30	4.36	**10.51**
			Strommix SBB	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	0.54	2.29	2.30	4.36	**9.49**
			Diesel	Diesellok mit Partikelfilter									tkm	34.14	6.59	2.29	2.30	4.36	**49.68**
				Diesellok ohne Partikelfilter									tkm	34.17	6.59	2.29	2.30	4.36	**49.71**
		Zug Italien	Strommix IT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	3.14	27.59	0.37	0.52	6.06	**37.67**
			Strommix IT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	27.56	0.37	0.52	6.06	**34.51**
		Zug Frankreich	Strommix FR & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	1.62	8.10	0.25	0.35	3.76	**14.08**
			Strommix FR	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	7.78	0.25	0.35	3.76	**12.14**
		Zug Deutschland	Strommix DE & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	4.97	15.37	0.27	0.38	4.02	**25.00**
			Strommix DE	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	16.55	0.27	0.38	4.02	**21.21**
		Zug Österreich	Strommix AT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	4.13	3.52	0.27	0.38	3.98	**12.27**
			Strommix AT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	2.91	0.27	0.38	3.98	**7.54**
		Zug Europa	Strommix ENTSO-E & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	4.11	18.48	0.28	0.39	4.15	**27.40**
			Strommix ENTSO-E	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.00	19.12	0.28	0.39	4.15	**23.93**
	Strasse	durchschnittlicher Lastwagen	Diesel	Lastwagen-Flotte CH									tkm	91.89	18.55	3.86	7.07	13.11	**134.48**
				Durchschnitt 3.5t-7.5t	1.0	2.5	39%						tkm	354.93	71.33	20.42	35.40	35.46	**517.54**
				Durchschnitt 7.5t-16t	3.3	6.9	48%						tkm	152.88	30.86	6.12	10.60	17.59	**218.04**
				Durchschnitt 16t-32t	5.8	12.3	47%						tkm	119.28	24.30	4.60	8.67	14.11	**170.95**
				Durchschnitt 32t-40t	11.6	23.0	50%						tkm	73.68	14.76	3.30	5.95	12.28	**109.98**
		Kleintransporter (<3.5t)	Diesel/Benzin	durchschnittliche Flotte	0.2	1.4	17%						tkm	1061.32	214.43	89.24	226.60	77.14	**1668.74**
		Lastwagen (3.5t-7.5t)	Diesel	EURO 3	1.0	2.5	39%						tkm	356.83	72.28	20.42	35.40	35.46	**520.39**
				EURO 4	1.0	2.5	39%						tkm	352.60	71.24	20.42	35.40	35.46	**515.12**
				EURO 5	1.0	2.5	39%						tkm	354.84	71.07	20.42	35.40	35.46	**517.19**
				EURO 6	1.0	2.5	39%						tkm	355.00	71.26	20.42	35.40	35.46	**517.55**
		Lastwagen (7.5t-16t)	Diesel	EURO 3	3.3	6.9	48%						tkm	153.33	31.26	6.12	10.60	17.59	**218.89**
				EURO 4	3.3	6.9	48%						tkm	151.58	30.78	6.12	10.60	17.59	**216.67**
				EURO 5	3.3	6.9	48%						tkm	153.10	30.76	6.12	10.60	17.59	**218.17**
				EURO 6	3.3	6.9	48%						tkm	152.08	30.70	6.12	10.60	17.59	**217.08**
		Lastwagen (16t-32t)	Diesel	EURO 3	5.8	12.3	47%						tkm	119.63	24.61	4.60	8.67	14.11	**171.62**
				EURO 4	5.8	12.3	47%						tkm	118.60	24.35	4.60	8.67	14.11	**170.32**
				EURO 5	5.8	12.3	47%						tkm	119.85	24.36	4.60	8.67	14.11	**171.59**
				EURO 6	5.8	12.3	47%						tkm	117.00	23.83	4.60	8.67	14.11	**168.20**
			Rapsmethylester	durchschnittliche Flotte	5.8	12.3	47%						tkm	7.70	100.57	4.60	8.68	14.13	**135.67**
		Lastwagen (32t-40t)	Diesel	EURO 3	11.6	23.0	50%						tkm	75.00	15.22	3.30	5.95	12.28	**111.76**
				EURO 4	11.6	23.0	50%						tkm	72.84	14.73	3.30	5.95	12.28	**109.11**
				EURO 5	11.6	23.0	50%						tkm	73.61	14.72	3.30	5.95	12.28	**109.86**
				EURO 6	11.6	23.0	50%						tkm	73.71	14.80	3.30	5.95	12.28	**110.04**

Tab. Z. 1: Treibhausgasemissionen der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

○ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ◉ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [g CO2-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.]	Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [g CO2-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.]	Summe [g CO2-equ.]
		Lastwagen (40t-50t)	Diesel	EURO 3	15.0	30.0	50%						tkm	58.11	11.89	3.01	5.42	11.53	**89.96**
				EURO 4	15.0	30.0	50%						tkm	56.41	11.50	3.01	5.42	11.53	**87.87**
				EURO 5	15.0	30.0	50%						tkm	56.90	11.46	3.01	5.42	11.53	**88.31**
				EURO 6	15.0	30.0	50%						tkm	57.52	11.64	3.01	5.42	11.53	**89.11**
		Lastwagen (50t-60t)	Diesel	EURO 3	18.5	37.0	50%						tkm	56.14	11.50	2.81	5.05	11.02	**86.52**
				EURO 4	18.5	37.0	50%						tkm	55.26	11.29	2.07	3.73	11.02	**83.38**
				EURO 5	18.5	37.0	50%						tkm	56.19	11.36	2.07	3.73	11.02	**84.38**
				EURO 6	18.5	37.0	50%						tkm	57.62	11.70	2.07	3.73	11.02	**86.16**
		Mülltransportwagen	Diesel	Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lastwagen 21t									tkm	1080.74	209.44	4.91	11.01	9.88	**1315.98**
	Non-road	Baumaschine	Diesel	ohne Partikelfilter									MJ	74.73	14.81	2.08	9.30	0.00	**100.93**
				mit Partikelfilter									MJ	74.70	14.81	2.08	9.03	0.00	**100.63**
		Aushub maschinell	Diesel	ohne Partikelfilter									m^3	294.77	58.31	7.11	40.61	0.00	**400.80**
				mit Partikelfilter									m^3	303.47	60.06	7.33	40.61	0.00	**411.47**
	Wasser	Binnenschiff (Rhein)	-	-									tkm	25.81	5.10	0.06	0.37	7.10	**38.42**
		Hochseeschiff	-	-									tkm	4.94	0.89	0.00	0.12	1.00	**6.95**
		Hochseetanker	-	-									tkm	4.56	0.82	0.00	0.07	0.57	**6.02**
		Containerschiff	-	-									tkm	12.24	2.19	0.00	0.08	1.00	**15.52**
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt									tkm	867.50	127.11	0.04	0.82	13.67	**1009.13**
				innerhalb Europa									tkm	1172.48	193.01	0.12	2.49	86.04	**1454.15**
				Interkontinental									tkm	854.19	124.23	0.03	0.61	10.52	**989.58**
		Helikopter, einmotorig	Kerosen	pro Flugstunde									h	590898	115207	206	4118	0	**710429**

Tab. Z. 2: Primärenergiebedarf (gesamt) der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs

Wahl des Indikators:

(●) Primärenergie ( ) Primärenergie (nicht erneuerbar) ( ) Treibhauspotenzial
( ) PM10 ( ) PM2.5 ( ) NMVOC ( ) NOx ( ) UBP'13 ( ) ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [MJ-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [MJ-equ.]	Fahrzeugunterhalt [MJ-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [MJ-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [MJ-equ.]	Summe [MJ-equ.]
Personen-verkehr lokal bis 5km	Langsam-verkehr	zu Fuss	-	-									pkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
		Fahrrad	-	-									pkm	0.00	0.00	0.02	0.10	0.01	**0.14**
		E-Bike	Elektrizität	Ökostrommix CH					1.0		2.6	0.5	pkm	0.04	0.01	0.07	0.20	0.02	**0.33**
				Verbrauchermix CH					1.0		2.6	0.5	pkm	0.04	0.07	0.07	0.20	0.02	**0.39**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)					1.0		2.6	0.5	pkm	0.04	0.07	0.07	0.20	0.02	**0.39**
	Strasse	Scooter	Benzin	-	1.3	2		3.4					pkm	0.80	0.28	0.08	0.10	0.02	**1.28**
		Elektro-Scooter	Elektrizität	Ökostrommix CH	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.08	0.02	0.08	0.42	0.02	**0.62**
				Verbrauchermix CH	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.08	0.16	0.08	0.42	0.02	**0.76**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.3	2			3.0		32	1.0	pkm	0.08	0.16	0.08	0.42	0.02	**0.76**
		Durchschnitt öV	-	-									pkm	0.44	0.18	0.03	0.02	0.14	**0.82**
		Tram	-	durchschnittliche Flotte	34	116	29%						pkm	0.53	0.96	0.05	0.02	0.41	**1.97**
		Trolleybus	-	durchschnittliche Flotte	19	100	19%						pkm	0.55	1.01	0.08	0.05	0.17	**1.86**
		Autobus	-	durchschnittliche Flotte	10	60	17%						pkm	1.49	0.42	0.09	0.06	0.22	**2.29**
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	1.6	5		7.5		1510			pkm	0.54	1.57	0.11	0.59	0.49	**3.29**
			Diesel	durchschnittliche Flotte	1.6	5		6.0		1700			pkm	1.36	0.40	0.12	0.65	0.53	**3.07**
				EURO 3	1.6	5		6.6		1700			pkm	1.48	0.44	0.12	0.65	0.56	**3.25**
				EURO 4	1.6	5		6.3		1700			pkm	1.41	0.42	0.12	0.65	0.56	**3.16**
				EURO 5	1.6	5		5.9		1700			pkm	1.32	0.39	0.12	0.65	0.56	**3.05**
				EURO 6	1.6	5		5.7		1700			pkm	1.27	0.38	0.12	0.65	0.56	**2.99**
			Benzin	durchschnittliche Flotte	1.6	5		8.5		1380			pkm	1.69	0.63	0.10	0.54	0.46	**3.42**
				EURO 3	1.6	5		9.7		1380			pkm	1.92	0.72	0.10	0.54	0.46	**3.74**
				EURO 4	1.6	5		8.9		1380			pkm	1.77	0.66	0.10	0.54	0.46	**3.53**
				EURO 5	1.6	5		7.8		1380			pkm	1.55	0.58	0.10	0.54	0.46	**3.23**
				EURO 6	1.6	5		7.5		1380			pkm	1.50	0.56	0.10	0.54	0.46	**3.16**
			Ethanol (5%)	-	1.6	5		8.5		1380			pkm	1.65	0.66	0.10	0.54	0.46	**3.41**
			Ethanol (15%)	EURO 4	1.6	5		8.1		1380			pkm	1.57	0.69	0.10	0.54	0.46	**3.35**
			Biogas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5		9.7		1380			pkm	0.00	0.73	0.10	0.54	0.46	**1.83**
			Erdgas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5		9.7		1380			pkm	1.82	0.47	0.10	0.54	0.46	**3.38**
			Hybrid	durchschnittliche Flotte	1.6	5		5.5		1460	41	0.5	pkm	1.10	0.39	0.14	0.62	0.53	**2.78**
				EURO 6	1.6	5		5.2		1460	41	0.5	pkm	1.04	0.37	0.14	0.62	0.53	**2.70**
			Plug-In Hybrid	durchschnittliche Flotte, Ökostrommix CH	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.22	0.51	0.14	0.71	0.55	**2.13**
				durchschnittliche Flotte, Verbrauchermix CH	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.58	0.80	0.14	0.71	0.55	**2.78**
				durchschnittliche Flotte, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5		1.1	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.58	0.79	0.14	0.71	0.55	**2.76**
				EURO 6, Ökostrommix CH	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.21	0.51	0.14	0.71	0.55	**2.11**
				EURO 6, Verbrauchermix CH	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.57	0.79	0.14	0.71	0.55	**2.76**
				EURO 6, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5		1.0	16.0	1500	80	0.5	pkm	0.57	0.78	0.14	0.71	0.55	**2.75**
			Elektrizität	Ökostrommix CH	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	0.45	0.09	0.12	1.08	0.52	**2.27**
				Verbrauchermix CH	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	0.45	0.90	0.12	1.08	0.52	**3.07**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5			20.0	1580	318	0.5	pkm	0.45	0.89	0.12	1.08	0.52	**3.06**
		City Car, zukünftiger Leicht-Personenw	Elektrizität	Ökostrommix CH	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	0.27	0.06	0.05	0.30	0.26	**0.93**
				Verbrauchermix CH	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	0.27	0.54	0.05	0.30	0.26	**1.41**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	4			11.9	720	100	0.0	pkm	0.27	0.53	0.05	0.30	0.26	**1.40**
			Diesel	EURO 5	1.6	4		2.7		500			pkm	0.72	0.06	0.03	0.13	0.19	**1.14**

Tab. Z. 2: Primärenergiebedarf (gesamt) der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

◉ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ○ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung	Fahrzeugunterhalt	Fahrzeugherstellung / -entsorgung	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen)	Summe
														[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]
		durchschnittliches Motorrad	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		5.2		205			pkm	1.23	0.46	0.03	0.31	0.48	2.51
		Motorrad (250ccm-750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		4.9		180			pkm	1.16	0.44	0.02	0.27	0.48	2.37
				preEURO	1.3	2		5.2		180			pkm	1.23	0.46	0.02	0.27	0.48	2.46
				EURO 1	1.3	2		4.9		180			pkm	1.16	0.43	0.02	0.27	0.48	2.37
				EURO 2	1.3	2		4.3		180			pkm	1.02	0.38	0.02	0.27	0.48	2.17
				EURO 3	1.3	2		5.0		180			pkm	1.18	0.44	0.02	0.27	0.48	2.40
				EURO 4	1.3	2		5.0		180			pkm	1.17	0.44	0.02	0.27	0.48	2.38
		Motorrad (>750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2		5.3		220			pkm	1.27	0.48	0.03	0.33	0.48	2.59
				preEURO	1.3	2		5.5		220			pkm	1.31	0.49	0.03	0.33	0.48	2.65
				EURO 1	1.3	2		5.3		220			pkm	1.26	0.47	0.03	0.33	0.48	2.57
				EURO 2	1.3	2		5.5		220			pkm	1.31	0.49	0.03	0.33	0.48	2.64
				EURO 3	1.3	2		5.3		220			pkm	1.27	0.47	0.03	0.33	0.48	2.58
				EURO 4	1.3	2		5.3		220			pkm	1.25	0.47	0.03	0.33	0.48	2.56
Personen-verkehr national 5km - 200km	Schiene	Bahn Schweiz	Strommix SBB	Regionalverkehr, inkl. S-Bahn	67	292	23%						pkm	0.46	0.12	0.01	0.02	0.14	0.74
				Regionalverkehr, nur S-Bahn	99	378	26%						pkm	0.29	0.08	0.03	0.03	0.10	0.53
				Fernverkehr	193	636	30%						pkm	0.23	0.06	0.02	0.02	0.11	0.44
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	159	544	29%						pkm	0.29	0.08	0.01	0.02	0.12	0.52
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	21	50	42%						pkm	0.57	0.16	0.05	0.03	0.13	0.94
		Kleinbus	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	7.0	13		9.0					pkm	0.39	0.20	0.07	0.12	0.14	0.91
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	1.6	5		7.5		1510			pkm	0.54	1.57	0.11	0.59	0.49	3.29
	Wasser	Personenschiff	Diesel	-									pkm	1.64	0.46	0.00	0.08	0.00	2.18
	Luft	Seilbahn	-	elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH									pkm	1.11	2.03	0.01	0.02	0.36	3.53
		Helikopter, einmotorig	-	pro Flugstunde									h	7529	5231	4	74	0	12837
		Helikopter, zweimotorig	-	pro Flugstunde									h	14312	4005	4	86	0	18407
Personen-verkehr international >200km	Schiene	Bahn Deutschland	Strommix DE & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	125	292	43%						pkm	0.30	0.61	0.02	0.02	0.09	1.03
				Hochgeschwindigkeitszug (ICE)	235	425	55%						pkm	0.28	0.42	0.01	0.01	0.11	0.83
		Bahn Frankreich	Strommix FR & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	208	544	38%						pkm	0.26	0.71	0.01	0.01	0.08	1.07
				Hochgeschwindigkeitszug (TGV)	235	425	55%						pkm	0.28	0.69	0.01	0.01	0.11	1.09
		Bahn Italien	Strommix IT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	166	544	31%						pkm	0.33	0.68	0.01	0.01	0.09	1.13
				Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa)	235	425	55%						pkm	0.28	0.52	0.01	0.01	0.11	0.94
		Bahn Österreich	Strommix AT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	107	292	37%						pkm	0.33	0.21	0.02	0.02	0.12	0.70
		Bahn Schweiz	Strommix SBB	Fernverkehr	193	636	30%						pkm	0.23	0.06	0.02	0.02	0.11	0.44
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	159	544	29%						pkm	0.29	0.08	0.01	0.02	0.12	0.52
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	21	50	42%						pkm	0.57	0.16	0.05	0.03	0.13	0.94
		Fernbus (Car)	-	-	32	74	44%						pkm	0.43	0.12	0.05	0.03	0.11	0.74
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	1.6	5		7.5		1510			pkm	0.54	1.57	0.11	0.59	0.49	3.29
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt	215	265	81%						pkm	1.61	0.45	0.00	0.01	0.11	2.18
				innerhalb Europa, Durchschnitt	112	148	76%						pkm	2.18	0.61	0.00	0.01	0.28	3.07
				innerhalb Europa, economy	92	122	76%						pkm	1.98	0.55	0.00	0.01	0.28	2.82
				innerhalb Europa, business	20	26	76%						pkm	3.11	0.87	0.00	0.01	0.28	4.26
				Interkontinental, Durchschnitt	268	326	82%						pkm	1.36	0.38	0.00	0.00	0.03	1.78
				Interkontinental, economy	212	257	82%						pkm	1.09	0.30	0.00	0.01	0.03	1.43
				Interkontinental, business	50	61	82%						pkm	2.26	0.63	0.00	0.00	0.03	2.92
				Interkontinental, first	7	8	82%						pkm	3.48	0.97	0.00	0.00	0.03	4.49

Tab. Z. 2: Primärenergiebedarf (gesamt) der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

◉ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ○ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung	Fahrzeugunterhalt	Fahrzeugherstellung / -entsorgung	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen)	Summe
														[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]	[MJ-equ.]
Personen-verkehr virtuell 0km-20'000 km	virtuell	Videokonferenz	-	Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer									h	0.14	0.03	0.00	0.35	0.90	**1.42**
			-	Verbrauchermix CH, während 1h, pro Teilnehmer									h	0.14	0.27	0.00	0.35	0.90	**1.66**
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), während 1h, pro Teilnehmer									h	0.14	0.27	0.00	0.35	0.90	**1.65**
		Work@home	-	Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h									d	0.63	0.13	0.00	2.80	1.11	**4.66**
			-	Verbrauchermix CH, 1 Tag à 8h									d	0.63	1.25	0.00	2.80	1.11	**5.79**
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), 1 Tag à 8h									d	0.63	1.23	0.00	2.80	1.11	**5.77**
Güter-verkehr	kombiniert	rollende Landstrasse	Elektrolok	-									tkm	0.29	0.08	0.05	0.06	0.15	**0.62**
		Huckepack-Transport	Elektrolok	-									tkm	0.21	0.06	0.04	0.04	0.11	**0.46**
	Schiene	Zug Schweiz	Strommix SBB, wenig Diesel	v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (93% mit Partikelfilter)									tkm	0.19	0.07	0.03	0.04	0.10	**0.43**
			Strommix SBB	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.19	0.05	0.03	0.04	0.10	**0.42**
			Diesel	Diesellok mit Partikelfilter									tkm	0.45	0.13	0.03	0.04	0.10	**0.75**
				Diesellok ohne Partikelfilter									tkm	0.45	0.13	0.03	0.04	0.10	**0.75**
		Zug Italien	Strommix IT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	0.16	0.35	0.01	0.01	0.14	**0.67**
			Strommix IT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.16	0.30	0.01	0.01	0.14	**0.62**
		Zug Frankreich	Strommix FR & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	0.28	0.72	0.00	0.01	0.09	**1.10**
			Strommix FR	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.28	0.69	0.00	0.01	0.09	**1.07**
		Zug Deutschland	Strommix DE & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	0.10	0.23	0.00	0.01	0.09	**0.44**
			Strommix DE	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.11	0.17	0.00	0.01	0.09	**0.39**
		Zug Österreich	Strommix AT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	0.14	0.11	0.00	0.01	0.09	**0.36**
			Strommix AT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.15	0.04	0.00	0.01	0.09	**0.30**
		Zug Europa	Strommix ENTSO-E & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten									tkm	0.13	0.33	0.00	0.01	0.10	**0.56**
			Strommix ENTSO-E	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten									tkm	0.14	0.28	0.00	0.01	0.10	**0.53**
	Strasse	durchschnittlicher Lastwagen	Diesel	Lastwagen-Flotte CH									tkm	1.22	0.36	0.12	0.13	0.44	**2.27**
				Durchschnitt 3.5t-7.5t	1.0	2.5	39%						tkm	4.70	1.40	0.59	0.64	1.48	**8.80**
				Durchschnitt 7.5t-16t	3.3	6.9	48%						tkm	2.03	0.60	0.18	0.19	0.65	**3.65**
				Durchschnitt 16t-32t	5.8	12.3	47%						tkm	1.60	0.48	0.14	0.15	0.49	**2.86**
				Durchschnitt 32t-40t	11.6	23.0	50%						tkm	0.97	0.29	0.10	0.11	0.40	**1.87**
		Kleintransporter (<3.5t)	Diesel/Benzin	durchschnittliche Flotte	0.2	1.4	17%						tkm	11.93	6.07	2.11	3.63	4.12	**27.86**
		Lastwagen (3.5t-7.5t)	Diesel	EURO 3	1.0	2.5	39%						tkm	4.76	1.41	0.59	0.64	1.48	**8.88**
				EURO 4	1.0	2.5	39%						tkm	4.69	1.39	0.59	0.64	1.48	**8.79**
				EURO 5	1.0	2.5	39%						tkm	4.68	1.39	0.59	0.64	1.48	**8.78**
				EURO 6	1.0	2.5	39%						tkm	4.69	1.39	0.59	0.64	1.48	**8.79**
		Lastwagen (7.5t-16t)	Diesel	EURO 3	3.3	6.9	48%						tkm	2.06	0.61	0.18	0.19	0.65	**3.69**
				EURO 4	3.3	6.9	48%						tkm	2.03	0.60	0.18	0.19	0.65	**3.65**
				EURO 5	3.3	6.9	48%						tkm	2.02	0.60	0.18	0.19	0.65	**3.65**
				EURO 6	3.3	6.9	48%						tkm	2.02	0.60	0.18	0.19	0.65	**3.64**
		Lastwagen (16t-32t)	Diesel	EURO 3	5.8	12.3	47%						tkm	1.62	0.48	0.14	0.15	0.49	**2.88**
				EURO 4	5.8	12.3	47%						tkm	1.60	0.48	0.14	0.15	0.49	**2.86**
				EURO 5	5.8	12.3	47%						tkm	1.60	0.48	0.14	0.15	0.49	**2.86**
				EURO 6	5.8	12.3	47%						tkm	1.57	0.47	0.14	0.15	0.49	**2.82**
			Rapsmethylester	durchschnittliche Flotte	5.8	12.3	47%						tkm	1.71	1.96	0.14	0.16	0.49	**4.45**
		Lastwagen (32t-40t)	Diesel	EURO 3	11.6	23.0	50%						tkm	1.00	0.30	0.10	0.11	0.40	**1.91**
				EURO 4	11.6	23.0	50%						tkm	0.97	0.29	0.10	0.11	0.40	**1.87**
				EURO 5	11.6	23.0	50%						tkm	0.97	0.29	0.10	0.11	0.40	**1.87**
				EURO 6	11.6	23.0	50%						tkm	0.97	0.29	0.10	0.11	0.40	**1.88**

Tab. Z. 2: Primärenergiebedarf (gesamt) der bilanzierten Verkehrsmittel des Personen- und Güterverkehrs (Fortsetzung)

Wahl des Indikators:

◉ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ○ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [MJ-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [MJ-equ.]	Fahrzeugunterhalt [MJ-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [MJ-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [MJ-equ.]	**Summe [MJ-equ.]**
		Lastwagen (40t-50t)	Diesel	EURO 3	**15.0**	*30.0*	50%						tkm	0.78	0.23	0.09	0.10	0.37	**1.58**
				EURO 4	**15.0**	*30.0*	50%						tkm	0.76	0.23	0.09	0.10	0.37	**1.55**
				EURO 5	**15.0**	*30.0*	50%						tkm	0.75	0.22	0.09	0.10	0.37	**1.54**
				EURO 6	**15.0**	*30.0*	50%						tkm	0.77	0.23	0.09	0.10	0.37	**1.56**
		Lastwagen (50t-60t)	Diesel	EURO 3	**18.5**	*37.0*	50%						tkm	0.76	0.22	0.09	0.09	0.35	**1.51**
				EURO 4	**18.5**	*37.0*	50%						tkm	0.74	0.22	0.06	0.07	0.35	**1.45**
				EURO 5	**18.5**	*37.0*	50%						tkm	0.75	0.22	0.06	0.07	0.35	**1.45**
				EURO 6	**18.5**	*37.0*	50%						tkm	0.77	0.23	0.06	0.07	0.35	**1.48**
		Mülltransportwagen	Diesel	Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lastwagen 21t									tkm	14.38	4.02	0.14	0.20	0.52	**19.27**
	Non-road	Baumaschine	Diesel	ohne Partikelfilter									MJ	1.00	0.28	0.04	0.16	0.00	**1.48**
				mit Partikelfilter									MJ	1.00	0.28	0.04	0.15	0.00	**1.48**
		Aushub maschinell	Diesel	ohne Partikelfilter									m^3	3.94	1.12	0.14	0.69	0.00	**5.88**
				mit Partikelfilter									m^3	4.05	1.15	0.15	0.69	0.00	**6.04**
	Wasser	Binnenschiff (Rhein)	-	-									tkm	0.34	0.10	0.00	0.01	0.14	**0.59**
		Hochseeschiff	-	-									tkm	0.06	0.02	0.00	0.00	0.02	**0.11**
		Hochseetanker	-	-									tkm	0.06	0.02	0.00	0.00	0.01	**0.09**
		Containerschiff	-	-									tkm	0.16	0.05	0.00	0.00	0.02	**0.23**
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt									tkm	8.66	2.42	0.00	0.01	0.27	**11.36**
				innerhalb Europa									tkm	13.15	3.67	0.00	0.04	1.69	**18.56**
				Interkontinental									tkm	8.47	2.36	0.00	0.01	0.21	**11.05**
		Helikopter, einmotorig	Kerosen	pro Flugstunde									h	7852	2190	4	74	0	**10119**

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Zielsetzungen des mobitools ... 1

1.1. Umweltrelevanz des Verkehrs ... 1
1.2. Zielsetzung von mobitool ... 2

2. Übersicht der Tools ... 3

2.1. mobitool-Faktoren ... 3
2.2. mobicheck ... 6
2.3. Vergleichsrechner ... 7
2.4. mobiplan ... 8

3. Methodik der Bilanzierung ... 10

3.1. Berücksichtigte Prozesse ... 10
3.2. Bezugsgrösse ... 12
3.3. Bilanzierung der einzelnen Phasen ... 13
3.3.1. Übersicht und Rechenbeispiel ... 13
3.3.2. Direkter Betrieb ... 14
3.3.3. Indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung ... 15
3.3.4. Fahrzeugunterhalt ... 15
3.3.5. Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung ... 16
3.3.6. Fahrweg ... 16
3.4. Umweltkennwerte nach DIN 16258 ... 17
3.5. Abgebildetes Optimierungspotential von Verkehrsmitteln ... 17

4. Indikatoren zur Bewertung des Personen- & Güterverkehr in mobitool ... 19

4.1. Primärenergie und Primärenergie, nicht erneuerbar ... 19
4.2. Treibhausgasemissionen ... 19
4.3. Feinstaub: PM_{10} und $PM_{2.5}$ („Particulate matter") ... 21
4.4. Flüchtige, nicht methanhaltige organische Verbindungen: NMVOC ... 22
4.5. Stickoxide: NO_x ... 22
4.6. Umweltbelastungspunkte UBP'13 ... 22
4.7. ReCiPe'08 ... 23

5. Bilanzierte Verkehrsmittel Personenverkehr ... 24

5.1. Langsamverkehr ... 24
5.1.1. zu Fuss ... 24
5.1.2. Fahrrad ... 24
5.1.3. E-Bike ... 24
5.2. Motorisierter Individualverkehr auf der Strasse ... 25
5.2.1. Scooter ... 25
5.2.2. Elektro-Scooter ... 25
5.2.3. Motorrad ... 25
5.2.4. Personenwagen (verschiedene Treibstoffe, ohne E-Personenwagen) ... 26
5.2.5. Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Personenwagen ... 27
5.2.6. E-Personenwagen (Elektrizität) ... 28
5.2.7. CityCar (Leichtbau-Personenwagen mit Elektrizität / Diesel) ... 29
5.2.8. Kleinbus ... 29
5.3. Öffentlicher Verkehr auf der Strasse / Wasser ... 30
5.3.1. Tram, Trolley- und Autobus ... 30
5.3.2. Strasse: Reisebus (Car) und Fernbus ... 30
5.3.3. öV Durchschnitt ... 31
5.3.4. Wasser: Personenschiff ... 31
5.4. Öffentlicher Verkehr auf der Schiene ... 31
5.4.1. Schiene Schweiz: Regionalverkehr, S-Bahn & Fernverkehr ... 31
5.4.2. Schiene Europa: Eisenbahn in Europa ... 32
5.4.3. Hochgeschwindigkeitszüge in Deutschland, Italien, Frankreich ... 32
5.5. Luftverkehr ... 33
5.5.1. Helikopter ... 33
5.5.2. Flugzeug ... 33
5.5.3. Seilbahn ... 34

5.6. Virtuelle Mobilität: Videokonferenzen & Teleworking ... 34

6. Bilanzierte Verkehrsmittel Güterverkehr ... 36

6.1. Schiene ... 36
6.1.1. Zug Schweiz ... 36
6.1.2. Zug Europa ... 36
6.2. Strasse ... 36
6.2.1. Kleintransporter (<3.5t) ... 37
6.2.2. Durchschnittlicher Lastwagen ... 37
6.2.3. Lastwagen (3.5-7.5 t, 7.5-16 t, 16-32 t, 32-40 t, 40-50 t, 50-60 t) ... 37
6.2.4. Müllsammelwagen, 21 t ... 38
6.3. Non-Road ... 38
6.3.1. Baumaschine ... 38
6.3.2. Aushub maschinell ... 38
6.4. Kombinierter Verkehr: rollende Landstrasse (RoLa) und Huckepack-Transport ... 39
6.5. Schiff ... 40
6.6. Luftverkehr ... 40
6.6.1. Flugzeuge ... 40
6.6.2. Helikopter ... 40

7. Literatur ... 41

8. Anhang ... 45

8.1. Verwendete Energiekennwerte und Umrechnungsfaktoren ... 45
8.2. Strommix ... 45
8.2.1. Verbrauchsmix SBB, inkl. BLS (16.7 Hz) ... 45
8.2.2. Verbrauchsmix ausländischer Bahnstrom (DE, AT, IT und FR) ... 46
8.2.3. Verbrauchermix Schweiz (50 Hz) ... 46
8.2.4. Ökostrommix Schweiz (50 Hz) ... 47
8.2.5. Firmenspezifischer Strommix (50 Hz) ... 47
8.3. Modellierung und Annahmen im Tool „mobicheck" ... 47
8.4. Herleitung Anteil an betrieblichem Verkehr ... 49
8.5. Energiefaktoren und Treibhausgasemissionsfaktoren für DIN 16258 ... 50
8.6. Verwendete Datensätze und Technik-Stand ... 52

1. Hintergrund und Zielsetzungen des mobitools

Einleitend werden in diesem Kapitel die Hintergründe und Zielsetzungen des mobitools vorgestellt, bevor im 2. Kapitel die einzelnen Bestandteile des Tools genauer beschrieben werden. In den Kapiteln 3 und 4 werden die Grundlagen der verwendeten Methodik zur Ökobilanzierung und die verwendeten Umweltindikatoren vorgestellt. Die Kapitel 5 und 6 enthalten eine grobe Beschreibung der einzelnen Verkehrsmittel des Personen- bzw. des Güterverkehrs. Die Literaturquellen für weitergehende Informationen zu den bilanzierten Verkehrsmitteln und den verwendeten Datenquellen sind in Kapitel 7 aufgelistet. Im 8. Kapitel (Anhang) sind Umrechnungs-, Energie- und Emissionsfaktoren von Treibstoffen sowie die Zusammensetzung der Strommixe beschrieben. Zusätzlich sind die verwendeten Datensätze und eine Abschätzung des Technik-Stands aufgeführt.

1.1. Umweltrelevanz des Verkehrs

In der Schweiz war im Jahr 2014 der motorisierte Verkehr für insgesamt 38 % des Endenergiebedarfes verantwortlich, davon zu 96 % der Strassenverkehr (BFE 2015a). In der EU-28 entfielen im Jahr 2013 rund 32 % des gesamten Energieverbrauches auf den Verkehr. Zwischen 1990 und 2013 hat der Anteil des Verkehrssektors am energetischen Gesamtendverbrauch um fünf Prozent zugenommen (Eurostat 2015). Auch in Europa ist der Strassenverkehr hauptverantwortlich für den Energieverbrauch (82 %).

Auch aus Klimasicht besteht Handlungsbedarf: Die CO_2-Emissionen aus dem Verkehr gefährden die Einhaltung der Schweizer Klimaschutzziele, denn im Gegensatz zu den Emissionen im Gebäudebereich und der industriellen Produktion steigen die Verkehrsemissionen stetig an (BAFU 2016a).

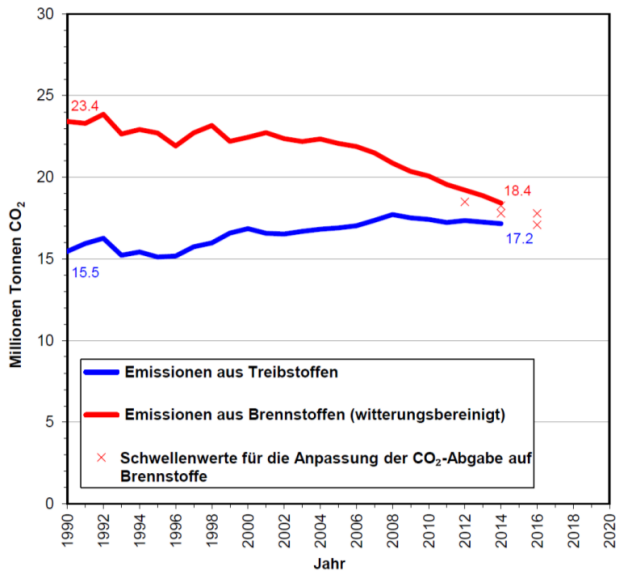
Zudem ist der motorisierte Transport mit weiteren Umweltbelastungen verbunden:

- die Belastung der Luft mit Schadstoffen (z.B. Feinstaub, Stickoxide, Schwefeldioxid, Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe), welche Gesundheit, Pflanzen, Gebäude und Gewässer beeinflussen,
- die Umwandlung von natürlichen / naturnahen Landschaften in pflanzenfreie (z.B. das Schotterbett herkömmlicher Bahnstrecken) oder versiegelte Flächen (Strassen, Bahnstrecken mit fester Fahrbahn),
- der Eintrag von flüssigen und festen Stoffen in Boden und Gewässer,
- die Lärmbelastung in der Nähe der Verkehrsinfrastruktur.

Ist die Schweiz auf Kyoto-Kurs?

Das im Februar 2005 in Kraft getretene Kyoto-Protokoll sieht für die Schweiz für den Zeitraum 2013-2020 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von durchschnittlich 15.8 % gegenüber dem Stand von 1990 vor. Während die witterungsbereinigten Emissionen aus Brennstoffen zwischen 1990 und 2014 um 22 % abgenommen haben, sind die Emissionen im Treibstoffbereich im gleichen Zeitraum um 11 % gestiegen. Total stammten im Jahr 2014 40 % der schweizerischen Treibhausgasemissionen aus dem nationalen und internationalen Verkehr (BAFU 2016a; BAFU 2016b).

Abb. 1.1: Entwicklung der CO_2-Emissionen nach CO_2-Gesetz, Quelle: BAFU (2016a)



1.2. Zielsetzung von mobitool

Das mobitool will Unternehmen, öffentliche Verwaltungen, Privatpersonen, Berater und Forschende mit den zur Verfügung gestellten Instrumenten ermöglichen, die Umweltauswirkungen ihrer Verkehrsprozesse ohne detailliertes Expertenwissen im Bereich der Ökobilanzierung zu berechnen.

Etwa ein Fünftel der Treibhausgasemissionen des Transportsektors werden vom Güterverkehr verursacht, insgesamt stehen 55 bis 60 Prozent des Treibstoffverbrauches und der damit verbundenen Emissionen direkt in Zusammenhang mit Unternehmen und Firmen[1]. Je nach Branche und Aktivitäten der Firmen beträgt der Anteil der betrieblichen Mobilität 50 % und mehr der Gesamtemissionen.

Obschon ein Umweltmanagement nach ISO14001 eigentlich die systematische Behandlung aller relevanten Prozesse in ihrem Einflussbereich fordert, sehen viele Firmen beispielsweise den Pendlerverkehr ihrer Mitarbeiter oder die Anfahrt der Kunden zum Firmenstandort nicht als Teil ihrer Verantwortung. Hier setzen die Schweizerische Regel SNR 155000 Mobilitätsmanagementsysteme und die Internetplattform mobitool an: Sie zeigen den Firmen, wie gross der Hebel zur Verbesserung der eigenen Umweltleistung gerade im Mobilitätsbereich ist. Sie lädt ein, die betriebliche Mobilität auf den ökologischen Prüfstand zu stellen. Die SNR 155000 und mobiplan können als Teil eines Umweltmanagementsystems, aber auch als eigenständiges Mobilitätsmanagementsystem, angewendet werden. Die Werkzeuge lassen offen, ob ein Mobilitätsmanagementsystem vollständig oder nur Teilen eingeführt wird.

Über die enge Zusammenarbeit mit Mobilservice werden Informationen zu Entwicklungen und neuen Angeboten, aber auch gute Beispiele aus der Praxis vermittelt. Sie dienen als Anregungen für die Optimierung der firmeneigenen Mobilitätsprozesse. Im Rahmen des mobitool-Projektes wurden vier verschiedene Tools zur Sensibilisierung und Bilanzierung erstellt resp. weiterentwickelt. Diese werden im nachfolgenden Kapitel 2 im Detail vorgestellt.

[1] Eine Abschätzung und Herleitung des Anteils des betrieblichen Verkehrs findet sich im Anhang in Unterkapitel 8.4.

2. Übersicht der Tools

Auf der Internetplattform www.mobitool.ch werden folgende Instrumente für eine Bilanzierung von betrieblich induzierten Mobilitätsprozessen angeboten:

- Die interaktive Excel-Liste mit den „**mobitool-Faktoren**" bildet das Kernstück der Umweltbewertung von Verkehrsmitteln: Die Ökobilanzen aller rund 150 Verkehrsmittel basieren auf der gleichen Systematik[2] und die Ergebnisse sind damit miteinander vergleichbar. In der Titelzeile kann einer von 9 Indikatoren ausgewählt werden. Von jedem Verkehrsmittel werden die Umweltauswirkungen des direkten Betriebs, der Energiebereitstellung, der Fahrzeugherstellung, -entsorgung und des Fahrzeugunterhalts sowie der Aufwendungen für den Fahrweg abgebildet. Alle anderen Tools basieren auf den Umweltdaten der mobitool-Faktoren *(vgl. www.mobitool.ch -> tools -> mobitool-Faktoren).*
- Der „**mobicheck**" erlaubt, mit 5 Klicks die Umweltrelevanz der betrieblichen Mobilität im Vergleich zu den sonstigen Umweltauswirkungen abzuschätzen. Der Benützer gibt Branche und Standort des Unternehmens (Stadt, Agglomeration, Land) sowie den Unternehmensfokus (regional, Schweiz, Europa, global) an. Mit der Anzahl der Mitarbeiter wird nun aufgrund von recherchierten Zahlen und Annahmen eine grobe Umweltbilanz basierend auf den mobitool-Faktoren geschätzt *(vgl. www.mobitool.ch -> tools -> mobicheck).*
- Der internetbasierte interaktive **Vergleichsrechner** stellt die Energie-, CO_2- und Umweltbilanz zweier Mobilitätslösungen einander gegenüber: Wie schneidet beispielsweise ein Personenwagen mit besonders niedrigem Treibstoffverbrauch im Vergleich zu einem Regionalzug ab? Wievielmal effizienter sind Videokonferenzen als ein Treffen vor Ort? Damit können nachhaltige Mobilitätslösungen für Unternehmen und die Umwelt identifiziert werden. Durch die Einstellung der individuell anpassbaren Parameter „Auslastung", „Durchschnittsverbrauch" und „Fahrzeuggewicht" lassen sich so beliebige Umweltvergleiche von Verkehrsmitteln anstellen *(vgl. www.mobitool.ch -> tools -> Vergleichsrechner)*.
- Das internetbasierte Werkzeug „**mobiplan**" unterstützt die Einführung und Aufrechterhaltung von Mobiliätsmanagementsystemen nach SNR 155000. Dabei lässt das System offen, ob systemisch oder massnahmenorientiert vorgegangen wird, und ob ein Mobilitätsmanagementsystem vollständig oder nur Teilen eingeführt wird. Nach Angaben zur Organisation und zur Verkehrsanbindung können Fahrleistungen für verschiedene Verkehrsmittel erfasst und die Treibhausgase und der Energieverbrauch ermittelt und dargestellt werden. Eine Sammlung von Massnahmenbeispielen steht für mögliche Verbesserungsmassnahmen zur Verfügung. Mit über mehrere Perioden erfassten Fahrleistungen können erreichte Veränderungen und die fortlaufende Verbesserung in Berichten dargestellt werden. Zusätzlich steht zum Aufbau und zur Bewertung eines Mobilitätsmanagementsystems eine umfassende Audit-Checkliste mit zahlreichen Kommentaren und Hinweisen zur Verfügung *(vgl. www.mobitool.ch -> tools -> mobiplan).*

Nachfolgend wird jedes Tool kurz mit einer Beschreibung und einem dokumentierten Printscreen dargestellt. Besonderes Gewicht wird auf die jeweilige Nutzung der Umweltdaten / Emissionsfaktoren gelegt.

2.1. mobitool-Faktoren

Ziel: Das Kernstück der Verkehrsbewertung bildet die interaktive Excel-Liste mit den Umweltauswirkungen (9 Indikatoren) von rund 150 verschiedenen Verkehrsmitteln (Tab. 2.1). Alle Daten der Verkehrsmittel basieren auf den Ökobilanzen der ecoinvent Datenbank und wurden nach einer einheitlichen Systematik zusammengetragen und berechnet. Damit können bei Entscheidungsprozessen Verkehrsmittel gezielt bezüglich ihrer Umweltleistung miteinander verglichen werden.

Beschreibung: Die mobitool-Faktoren basieren auf Microsoft Excel. In der Titelzeile kann einer der 9 Indikatoren ausgewählt werden, die Werte in der gesamten Liste passen sich dem gewählten Indikator an. Gegebenenfalls ist die Taste F9 zu drücken, um die Umweltauswirkungen nach einem neuen Indikator auszuwerten.

Die physischen und virtuellen Verkehrsmittel sind nach ihrem Verwendungszweck geordnet: So haben lokale Verkehrsmittel wie das E-Bike eine ganz andere Nutzungscharakteristik als beispielsweise ein Hochgeschwindigkeitszug. Darum werden die vier Transportbereiche „lokaler Verkehr", „nationaler Ver-

[2] Die Umweltkennwerte beruhen auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (KBOB et al. 2016). Zusätzlich wurden einige Datensätze neu erhoben beziehungsweise aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.1 übernommen (ecoinvent Centre 2014) und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Alle Daten wurden gemäss der allgemeinen ecoinvent-Systematik nach Frischknecht et al. (2007) erhoben und modelliert.

kehr", „internationaler Verkehr" und „Güterverkehr" voneinander abgegrenzt. Einzelne Verkehrsmittel (z. B. Videokonferenzen und Teleworking) treten in mehreren Transportbereichen auf, da sie nicht eindeutig einem Bereich zugeordnet werden können.

In den mobitool-Faktoren sind meistens die durchschnittlichen Standardwerte gemäss den verwendeten ecoinvent-Datensätzen[3] abgebildet. Im Verkehr sind die Faktoren Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht die wesentlichen Stellgrössen für die Umweltbilanz. Für Elektrofahrzeuge sind zusätzlich das Batteriegewicht und die Anzahl Batteriewechsel über die Lebensdauer des Fahrzeugs relevant. Die Excel-Liste erlaubt eine manuelle Änderung der Standardwerte (grau markiert); die Standardwerte sind im Kommentarfeld vermerkt. Somit können beliebige Situationen mit einer grossen Genauigkeit angenähert und bilanziert werden[4]. Die Umweltkennwerte von Elektrofahrzeugen, Videokonferenzen und Teleworking lassen sich für den Betrieb mit einem firmenspezifischen Strommix berechnen. Abgebildet sind von jedem Verkehrsmittel die Umweltauswirkungen des direkten Betriebs, der Energiebereitstellung (Treibstoff, Strom), des Fahrzeugunterhaltes, der Fahrzeugherstellung und -entsorgung sowie für den Fahrweg.

Modellierung & Annahmen: In Kapitel 2.4 wird die verwendete Methodik der Ökobilanzierung beschrieben und auf Fragen der Bewertung und Indikatoren eingegangen. In den Kapiteln 5 und 6 sind die wesentlichen Annahmen und Detailgrössen der Bilanzen zu den einzelnen Verkehrsmitteln gegeben.

[3] Weitere Informationen zur Ökobilanzdatenbank „ecoinvent" sind im Kapitel 2.4 auf Seite 10 zu finden.

[4] Die genauen Skalierungs- und Berechnungsalgorithmen sind in Unterkapitel 3.3 detailliert erklärt.

Tab. 2.1: Ausschnitt der mobitool-Faktoren mit Kurzbeschreibung

Umweltdaten & Emissionsfaktoren von mobitool: Treibhauspotenzial

Die Emission von klimaschädlichen Gasen wird mit der Grösse Treibhauspotenzial gemessen: Die hauptverantwortlichen Gase wie CO2, Methan etc. werden miteinander verglichen und auf die Referenzgrösse "g CO2-Äquivalent" umgerechnet.
Neu werden auch die Tank-to-Wheel und die Well-to-Wheel Treibhausgasemissionen in Übereinstimmung mit DIN 16258 angegeben.

Die hier enthaltenen Informationen stammen aus zuverlässigen Quellen und wurden durch treeze sorgfältig zusammengestellt. Dennoch ist weder treeze noch sind die beteiligten Organisation für Verluste oder Schäden haftbar, welche sich aus der Nutzung ergeben. Die Nutzung der Informationen erfolgt vollständig auf eigene Verantwortung.
Die mobitool-Faktoren beruhen auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 (basierend auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2; www.ecoinvent.org; www.lc-inventories.ch) und wurden teilweise angepasst, um die aktuelle Situation in der Schweiz darzustellen. Einige Datensätze wurden aus dem ecoinvent Datenbestand v3.1 übernommen und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Zusätzlich wurden für verschiedene Transportmittel neue Datensätze von treeze erstellt. Das Review der mobitool-Faktoren und der Berechnungsgrundlagen erfolgte durch Christian Bauer vom Paul Scherrer Institut (PSI). Weitere Informationen sind im Hintergrundbericht unter www.mobitool.ch/hintergrund verfügbar.

Ein Engagement von: SBB CFF FFS, swisscom, öbu — unterstützt durch: energieschweiz, Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra, Bundesamt für Umwelt BAFU — Datenbasis & Methodik: treeze, ecoinvent, mobitool

Wahl des Indikators:

○ Primärenergie ○ Primärenergie (nicht erneuerbar) ◉ Treibhauspotenzial
○ PM10 ○ PM2.5 ○ NMVOC ○ NOx ○ UBP'13 ○ ReCiPe'08

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch, Fahrzeuggewicht, Batteriegewicht und Anzahl Batteriewechsel lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen. Als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 hinterlegt.

November 2016, v2.0 (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Auslastung [Personen / Tonnen]	Kapazität [Personen / Tonnen]	Auslastung [%]	Ø Verbrauch [Liter / 100 km]	Ø Verbrauch [kWh / 100 km]	Fahrzeuggewicht [kg]	Batteriegewicht [kg]	Anzahl Batteriewechsel über Lebensdauer	Einheit	direkter Betrieb [g CO2-equ.]	indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.]	Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.]	Fahrzeugherstellung / -entsorgung [g CO2-equ.]	Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.]	Summe [g CO2-equ.]	DIN 16258 Tank-to-Wheel [g CO2-equ.]	DIN 16258 Well-to-Wheel [g CO2-equ.]	Datenquelle	Einschätzung techn. Weiterentwicklung Technik-Stand
Personen-verkehr lokal bis 5km	Langsam-verkehr	zu Fuss	-	-									pkm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**	0.00	0.00	-	-
		Fahrrad	-	-									pkm	0.00	0.00	1.23	5.91	0.50	**7.64**	0.00	0.00	Elv2.2:2016	***
		E-Bike	Elektrizität	Ökostrommix CH				1.0		2.6	0.5		pkm	0.00	0.15	3.62	10.96	0.53	**15.26**	0.00	0.06	Elv2.2:2016	**
				Verbrauchermix CH				1.0		2.6	0.5		pkm	0.00	1.01	3.62	10.96	0.53	**16.12**	0.00	0.93	Elv2.2:2016	**
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)				1.0		2.6	0.5		pkm	0.00	1.02	3.62	10.96	0.53	**16.12**	0.00	0.93	M	**
					1.3	2	3.4						pkm	75.64	15.15	3.68	5.40	0.70	**100.57**	61.36	72.87	Elv2.2:2016	***
				mix CH	1.3	2		3.0		33	1.0		pkm	0.00	0.34	3.64	23.09						
				hermix CH									pkm	0.00	2.28	3.64	23.09						
				ezifischer Verbrau									pkm	0.00	2.28	3.64	23.09						
													pkm	12.64	4.11	0.72	1.18						
				nittliche Flotte									pkm	0.37	13.63	1.17	1.38						
				nittliche Flotte									pkm	1.45	14.31	1.46	2.80						
				nittliche Flotte									pkm	112.25	22.10	1.70	3.28						
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte									pkm	120.77	28.82	3.79	35.48						
			Diesel	durchschnittliche Flotte									pkm	106.01	20.65	4.27	39.48						
				EURO 3									pkm	115.50	22.41	4.27	39.51						
				EURO 4									pkm	109.93	21.35	4.27	39.51						
				EURO 5									pkm	103.62	20.04	4.27	39.51						
				EURO 6	1.6		5.7			1700			pkm	100.29	19.34	4.27	39.51	9.54	**172.94**	95.49	116.01	treeze: Road transport	***
			Benzin	durchschnittliche Flotte	1.6	5	8.5			1380			pkm	130.23	34.11	3.47	32.69	7.79	**208.28**	129.33	153.60	treeze: Road transport	***
				EURO 3	1.6	5	7			1380			pkm	148.24	38.78	3.47	32.69	7.74	**230.91**	147.04	174.64	treeze: Road transport	***
				EURO 4	1.6	5	8.9			1380			pkm	136.16	35.67	3.47	32.69	7.74	**215.72**	135.24	160.62	treeze: Road transport	***
				EURO 5	1.6	5	7.8			1380			pkm	119.74	31.27	3.47	32.69	7.74	**194.90**	118.54	140.79	treeze: Road transport	***
				EURO 6	1.6	5	7.5			1380			pkm	116.13	30.24	3.47	32.69	7.74	**190.26**	114.67	136.19	treeze: Road transport	***
			Ethanol (5%)	-	1.6	5	8.5			1380			pkm	123.87	31.38	3.47	32.69	7.74	**199.15**	121.76	147.85	Elv2.2:2016	***
			Ethanol (15%)	EURO 4	1.6	5	8.1			1380			pkm	115.84	36.66	3.47	32.69	7.74	**196.39**	103.02	132.08	Elv2.2:2016	***
			Biogas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5	9.7			1380			pkm	5.29	66.67	3.47	32.69	7.74	**115.85**	0.00	62.21	Elv2.2:2016	***
			Erdgas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	1.6	5	9.7			1380			pkm	112.99	20.19	3.47	32.69	7.7[illegible]	**177.07**	107.35	122.97	Elv2.2:2016	***
			Hybrid	durchschnittliche Flotte	1.6	5	5.5			1460	41	0.5	pkm	86.22	20.96	4.79	37.30	8.79	**158.06**	84.37	100.20	treeze: Road transport	***
				EURO 6	1.6	5	5.2			1460	41	0.5	pkm	81.59	19.77	4.79	37.30	8.79	**152.24**	79.58	94.52	treeze: Road transport	***
				tte, Ökostrommix CH	1.6	5	1.1	16.0		1500	80	0.5	pkm	20.35	5.68	4.92	42.20	9.16	**82.30**	16.76	19.90	treeze: Road transport	***
				tte, Verbrauchermix CH	1.6	5	1.1	16.0		1500	80	0.5	pkm	20.35	14.31	4.92	42.20	9.16	**90.93**	16.76	29.23	treeze: Road transport	***
				tte, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5	1.1	16.0		1500	80	0.5	pkm	20.35	14.33	4.92	42.20	9.16	**90.95**	16.76	29.25	M	***
				ix CH	1.6	5	1.0	16.0		1500	80	0.5	pkm									treeze: Road transport	***
				mix CH	1.6	5	1.0	16.0		1500	80	0.5	pkm									treeze: Road transport	***
				fischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	5	1.0	16.0		1500	80	0.5	pkm									M	***
					1.6	5		20.0		1580	318	0.5	pkm									treeze: Road transport	**
					1.6	5		20.0		1580	318	0.5	pkm									treeze: Road transport	**
				erbrauchermix (siehe unten)	1.6	5		20.0		1580	318	0.5	pkm									M	**
					1.6	4		11.9		720	100	0.0	pkm									Elv2.2:2016	*
					1.6	4		11.9		720	100	0.0	pkm									Elv2.2:2016	*
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	1.6	4		11.9		720	100	0.0	pkm									M	**
			Diesel	EURO 5	1.6	4	2.7			500			pkm									Elv2.2:2016	*
		durchschnittliches Motorrad	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2	5.2			205			pkm	97.24	24.82	0.93	16.36	5.68	**145.02**	94.10	111.76	treeze: Road transport	***
		Motorrad (250ccm-750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	1.3	2	4.9			180			pkm	93.32	23.44	0.81	14.37	5.60	**137.55**	88.88	105.57	treeze: Road transport	***
				preEURO	1.3	2	5.2			180			pkm	116.06	24.82	0.81	14.37	5.60	**161.66**	94.09	111.76	treeze: Road transport	***
				EURO 1	1.3	2	4.9			180			pkm	105.15	23.38	0.81	14.37	5.60	**149.31**	88.65	105.29	treeze: Road transport	***
				EURO 2	1.3	2	4.3			180			pkm	80.65	20.52	0.81	14.37	5.60	**121.95**	77.78	92.38	treeze: Road transport	***
				EURO 3	1.3	2	5.0			180			pkm	89.94	23.89	0.81	14.37	5.60	**134.61**	90.57	107.57	treeze: Road transport	***
				EURO 4	1.3	2	4.9			180			pkm	87.58	23.35	0.81	14.37	5.60	**131.71**	88.53	105.14	treeze: Road transport	***

1. Indikator: Durch Anklicken der runden Auswahlfelder kann hier der gewünschte Indikator gewählt werden; mehr Details dazu in Kapitel 4.

2. Verkehrsmittel: Auswahl des gewünschten Verkehrsmittels nach Verkehrsart, Verkehrsmittel, Antrieb und Charakterisierung.

Eine Liste mit allen Verkehrsmitteln ist im Anhang in Unterkapitel 8.6 zu finden.

3. Individuelle Anpassung: Verändern der Faktoren „Auslastung", „durchschnittlicher Verbrauch und „Fahrzeuggewicht".

Details zu den Berechnungsvorschriften sind in Unterkapitel 3.3 zu finden.

4. Werte Es werden die Emissionen, resp. Umweltbelastung dargestellt, unterteilt in die einzelnen Phasen und als Summe.

Mehr Informationen zu den einzelnen Phasen finden sich in Unterkapitel 3.3.

5. Ergänzende Information: Pro Datensatz sind die Datenherkunft und eine Abschätzung der technischen Weiterentwicklung vermerkt.

Die verwendeten Codes sind als Kommentar vermerkt.

2.2. mobicheck

Ziel: Mit dem mobicheck erfährt der Benutzer mit 5 Klicks, ob der Verkehr in seinem Unternehmen bezüglich Energie und CO_2 auch wirklich relevant ist.

Beschreibung: Der Benutzer gibt an, in welcher Branche das Unternehmen tätig ist, wo das Unternehmen angesiedelt ist (Stadt, Agglomeration, Land) und was der Unternehmensfokus ist (regional, Schweiz, Europa, global). Mit der Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wird nun aufgrund von recherchierten Zahlen, Annahmen und Schätzungen eine grobe Bilanz errechnet. Die Einstiegsschwelle wurde bewusst tief gehalten, was dementsprechend mit grösseren Ungenauigkeiten im Ergebnis verbunden ist. Dies hat jedoch den Vorteil, dass auch Laien schnell ein Resultat sehen und dass damit entsprechende Veränderungsprozesse unterstützt werden. Vier Verkehrsarten werden abgeschätzt:

- Zum **Geschäftsverkehr** wird der gesamte Verkehr von Mitarbeitern zu Kunden oder Partnern gezählt. Der Geschäftsverkehr erfolgt mit dem Flugzeug, der Bahn oder dem Firmen-Personenwagen.
- Der **Pendlerverkehr** umfasst alle Verkehrsvorgänge, damit ein Mitarbeiter von zuhause an seinen Arbeitsort gelangt und am Abend wieder zurück. In den meisten Unternehmen ist der Pendlerverkehr für den Hauptteil des Energieverbrauchs und der Emissionen verantwortlich.
- Alle Verkehrsvorgänge der Kunden an den Firmenstandort und wieder zurück werden zum **Kundenverkehr** gezählt. Vor allem bei Einkaufszentren und Restaurants trägt der Kundenverkehr massgeblich zur Umweltbilanz einer Firma bei.
- Beim **Güterverkehr** werden Gegenstände oder Sachen und nicht Personen transportiert. Der Güterverkehr wird in den meisten Fällen entweder ausschliesslich auf der Strasse oder als kombinierter Transport auf Schiene und Strasse abgewickelt.

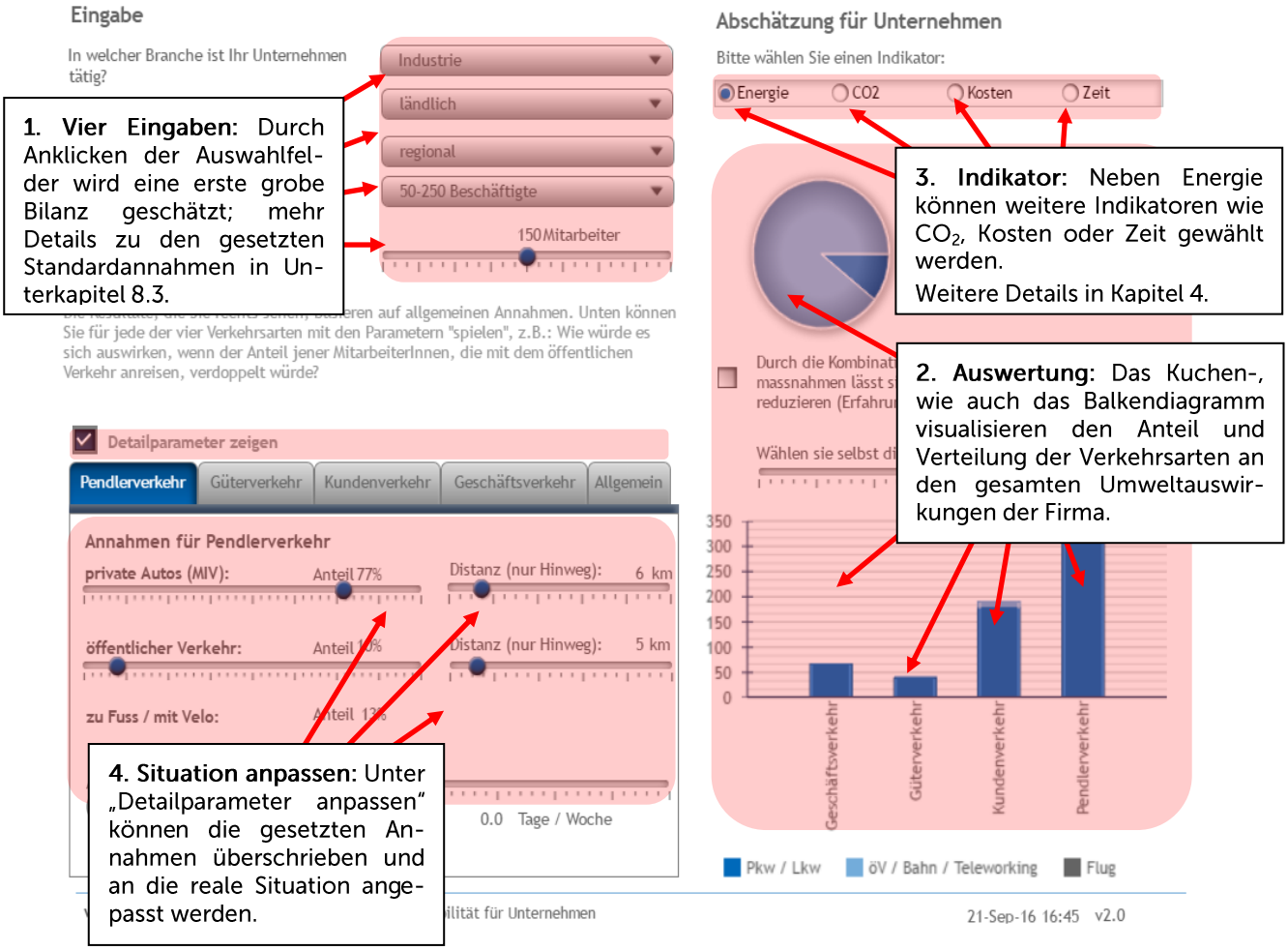
Da die Verkehrssituationen je nach Firma sehr unterschiedlich charakterisiert werden, darf das Ergebnis nicht ungeprüft übernommen werden. Vielmehr sollen mit dem Verschieben der Parameter im linken unteren Feld die entsprechenden Modellierungsannahmen nachträglich geändert und bestmöglich auf die reale Situation angepasst werden.

Nutzung der Emissionsfaktoren: Beim mobicheck werden die Umweltauswirkungen jeder einzelnen Verkehrsart aufgrund von Modellierungsannahmen und Emissionsfaktoren abgebildet. Beispiel: Beim Pendlerverkehr wird angenommen, dass die Personen an durchschnittlich 220 Tagen pro Jahr in der Firma arbeiten. Im unten stehenden Beispiel (Abb. 2.1) wird aufgrund der Lokalität („Stadt") angenommen, dass 50 % der Personen mit dem öffentlichen Verkehr zur Arbeit fahren, 20 % mit dem Personenwagen und 30 % zu Fuss, resp. mit dem Velo.

Mit der Angabe der Distanz kann nun einfach berechnet werden, welche Transportleistung für den Pendlerverkehr notwendig ist. Das Beispiel aus Abb. 2.1: 25 Mitarbeiter (50 % von 50 Mitarbeitern) nutzen den öV an 220 Tagen über eine Distanz von 2 x 8 Kilometer. Damit ergibt sich eine Transportleistung des öffentlichen Verkehrs von 25 Personen x 220 Tage x 16 km = 88'000 Personen-km. Der durchschnittliche Transport mit dem öffentlichen Verkehr ist mit einem CO_2-Ausstoss von ca. 24 g CO_2-Äquivalenten pro Person und km verbunden. Damit ergibt sich ein CO_2-Ausstoss von rund 2 Tonnen pro Jahr.

Modellierung: Die detaillierte Modellierung und die Annahmen der vorgewählten Standardwerte sind im Anhang unter Unterkapitel 8.3 zu finden.

Abb. 2.1: Printscreen vom mobicheck



2.3. Vergleichsrechner

Ziel: Der interaktive Online-Vergleichsrechner stellt die Umweltbilanz zweier Verkehrsmittel direkt einander gegenüber: Durch die Einstellung von individuell anpassbaren Parametern lassen sich so beliebige Umweltvergleiche von Verkehrsmitteln anstellen.

Beschreibung: Basierend auf den mobitool-Faktoren wurde ein Online-Vergleichsrechner für den direkten Vergleich von rund 150 Verkehrsmitteln erstellt. Durch die Anpassung von Auslastung, Treibstoffverbrauch und Fahrzeuggewicht kann direkt ein individueller Vergleich zwischen zwei beliebig wählbaren Verkehrsmitteln durchgeführt werden (siehe Abb. 2.2). Damit lassen sich beispielsweise folgende Fragen auf Knopfdruck beantworten:

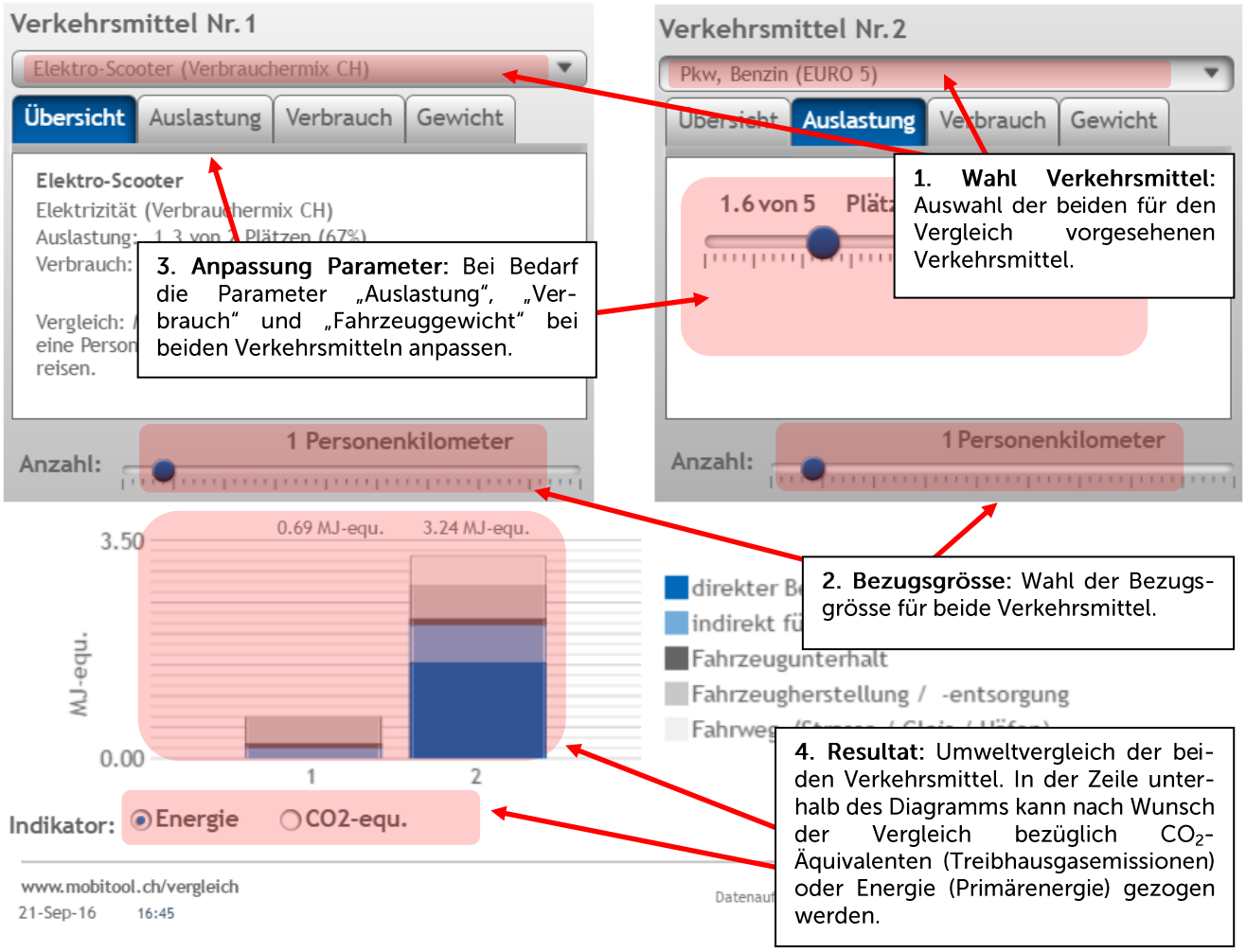
- Wie schneidet ein Personenwagen mit besonders niedrigem Treibstoffverbrauch im Vergleich zu einem Regionalzug ab?
- Wievielmal effizienter sind Videokonferenzen als die Fahrten zu einem Meeting?
- Was bringt Eco-Drive in der Flotte von Unternehmen xyz?

Die genannten Beispiele vergleichen jeweils zwei Optionen für eines oder mehrere Verkehrsmittel. In der Realität werden jedoch meist mehrere Verkehrsmittel zum Transport von Personen und Gütern miteinander kombiniert. Darum sollten beim interaktiven Verkehrsmittelvergleich alle für eine bestimmte Transportleistung nötigen Verkehrsmittel berücksichtigt werden.

Für politische Schlüsse ist eine Gesamtsicht nötig. Beispielsweise sollten bei einer Ausdünnung des Angebots des öffentlichen Verkehrs in Randregionen und Randzeiten die Auswirkungen auf das restliche Netz sowie auf andere Verkehrsträger analysiert werden.

Modellierung & Annahmen: Der interaktive Verkehrsmittelvergleich basiert vollständig auf den mobitool-Faktoren (siehe Unterkapitel 2.1). Sowohl Datenherkunft wie auch die Algorithmen zur Anpassung der individuell einstellbaren Parameter sind in Kapitel 3 (Methodik) und Kapitel 5 und 6 (Verkehrsmittel) umfassend beschrieben.

Abb. 2.2: Printscreen des interaktiven Verkehrsmittelvergleichs



2.4. mobiplan

Ziel: mobiplan leitet und unterstützt Unternehmen in der Einführung und Verankerung eines betrieblichen Mobilitätsmanagements. Damit ein Mobilitätsmanagement optimale Wirkung erzeugen kann, braucht es eine fortlaufende und aktive Führung. Über Kennzahlen kann die durch den Betrieb induzierte Mobilität von der obersten Führung gesteuert werden. Das Mobilitätsmanagement ist ein Element im betrieblichen Managementsystem. Die im August 2016 lancierte Schweizerische Regel SNR 155000 gilt als Leitfaden für Mobilitätsmanagement in Unternehmen.

Beschreibung: Mit mobiplan steht ein internetbasiertes Werkzeug für den Aufbau und die Aufrechterhaltung von Mobilitätsmanagementsystemen zur Verfügung. Das System lässt offen, ob ein Mobilitätsmanagementsystem vollständig oder nur Teilen eingeführt wird. Mit mobiplan können Auswirkungen des Verkehrs ermittelt werden, welche von der Organisation beeinflussbar sind.

Nach einigen Angaben zur Organisation und zur Verkehrsanbindung können die Fahrleistungen – soweit vorhanden – der Pendler, des Dienstreise- und Geschäftsverkehrs, des Kunden- und Besucherverkehrs sowie des Güterverkehrs über festlegbare Perioden erfasst werden.

Für jede Verkehrsart stehen verschiedene Verkehrsmittel zur Auswahl. Auf Basis von Ökobilanzdaten aus dem ecoinvent-Datenbestand v3 werden die Treibhausgase und der Energieverbrauch ermittelt und dargestellt. Aus einer Sammlung von Beispielen können direkt eigene Massnahmen abgeleitet werden. Werden die Fahrleistungen über mehrere Perioden erfasst, können erreichte Veränderungen im Mobilitätsverhalten oder der Verkehrsleistung und damit die geforderte fortlaufende Verbesserung mit graphischen Darstellungen in Berichten dargestellt werden. Zusätzlich steht in mobiplan eine umfassende (Audit-)Checkliste mit zahlreichen Kommentaren und Hinweisen zur Verfügung, welche den Aufbau und die Bewertung eines Mobilitätsmanagementsystems unterstützt. Mit mobilplan steht die auf die SNR 15500 abgestimmte internetbasierte Umsetzungshilfe zur Verfügung.

Nutzung der Emissionsfaktoren & Modellierung: Aus der vollständigen Auswahl von Verkehrs- und Transportmitteln aus dem ecoinvent-Datenbestand v3 werden die Treibhausgasemissionen (CO_2-eq) und der Energieverbrauch ermittelt und in Tabellen und Graphiken dargestellt. Die verwendeten Werte berücksichtigen auch die Vorkette.

3. Methodik der Bilanzierung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Modellierungsannahmen und Datenquellen für die Bestimmung der mobitool-Faktoren erläutert. Die mobitool-Faktoren basieren auf der aktuellen Ökobilanz-Methodik für beschreibende Ökobilanzen (engl. attributional LCA) nach Frischknecht et al. (2007). Die Verkehrsmittel, die Energiebereitstellung wie auch alle weiteren Prozesse werden mit Durchschnittswerten abgebildet. Die mobitool-Faktoren werden auch im mobicheck und im Vergleichsrechner verwendet.

Bei einer Ökobilanz werden nicht nur die unmittelbaren Ressourcenverbräuche und Emissionen einer Aktivität wie beispielsweise die Schadstoffemissionen am Auspuff beim Fahren eines Personenwagens bilanziert, sondern auch vorgelagerte Prozesse wie die Bereitstellung des Treibstoffs und zeitlich später stattfindende Prozesse wie die die Demontage und die Entsorgung eines Zugwaggons in die Berechnung einbezogen. Weitere Details bezüglich der berücksichtigten Prozesse werden im Unterkapitel 3.1 erläutert.

Die Ökobilanzdatenbank ecoinvent dient als Grundlage für die mobitool-Verkehrsmittelbilanzierung. Das ecoinvent Zentrum ist als Verein organisiert. Gründer und einzige Mitglieder des Vereins sind ETHZ, EPFL, PSI, EMPA und Agroscope. Das ecoinvent Zentrum betreibt eine der weltweit grössten, transparent dokumentierten Datenbanken für Sachbilanzen[5].

Viele der mobitool-Faktoren wurden unverändert aus dem ecoinvent-Datenbestand[6] übernommen. Einige Transportprozesse wurden für die Version 2.0 der mobitool-Faktoren aktualisiert oder neu erstellt. Auch die zusätzlichen Umweltkennwerte sind vollständig mit ecoinvent kompatibel, da die Transportprozesse gemäss der geltenden Methodik von Frischknecht et al. (2007) modelliert wurden. Die Herleitung der neuen und aktualisierten Daten ist in vier separaten technischen Berichten dokumentiert und auf der treeze Website abrufbar. Die Tabelle mit allen rund 150 Verkehrsmitteln und den jeweiligen ecoinvent-Datensätzen ist im Anhang unter Unterkapitel 8 zu finden.

In den umfassenden Grundlagenberichten des ecoinvent-Datenbestands v2 und den technischen Berichten zu den im Rahmen des Aktualisierungsprojektes erstellten Datensätzen sind alle weiteren Annahmen und Datenquellen beschrieben. Diese Berichte sind nach kostenloser Anmeldung lich: -> www.ecoinvent.org -> Anmeldung als Gast -> Login mit geschickten Zugangsdaten -> Die Grundlagenberichte sind unter „Reports" abgelegt. Die Dokumentationen der Daten, die aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.1 übernommen wurden, sind in den jeweiligen Datensätzen enthalten. Für einige dieser Datensätze sind über die ecoinvent-Website weitere Informationen verfügbar.

Eine weitere Grundlage besonders für den Eisenbahnbereich bieten die beiden Umweltvergleichsrechner EcoPassenger (www.ecopassenger.org) und EcoTransIT (www.ecotransit.org). Die wissenschaftlichen Grundlagenberichte des ifeu - Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg enthalten die Annahmen zur Bilanzierung ausgewählter Verkehrsmittel im Personen- und Güterverkehr (Knörr & Hüttermann 2015; IFEU et al. 2014).

3.1. Berücksichtigte Prozesse

Die Methodik der Ökobilanz basiert auf einem Lebensweg-Ansatz. Dementsprechend werden in der Ökobilanz von Verkehrsleistungen die Prozesse und deren Umwelteinwirkungen vom „Anfang bis zum Ende" eines Lebenswegs berücksichtigt. Unabhängig vom gewählten Verkehrsmittel müssen zuerst die Fahrzeuge gebaut, betrieben, unterhalten und am Ende ihrer Lebens- beziehungsweise Funktionsdauer entsorgt werden. Weiter braucht es eine Verkehrsinfrastruktur (Verkehrswege, Tunnel, Brücken) sowie zusätzliche notwendige Anlagen für einen geordneten Betrieb wie Bahnhöfe, Flughäfen, See- und Binnenhäfen, Verwaltungsgebäude, Tankstellen und Unterwerke[7].

Neben den direkten Aktivitäten für den Betrieb des Fahrzeuges sind weitere indirekte Aktivitäten mit der Transportdienstleistung verbunden. Für das bessere Verständnis wird hier ein Beispiel für die Energiebe-

---

[5] Siehe www.ecoinvent.org

[6] Die Umweltkennwerte beruhen auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016, der auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2 basiert (KBOB et al. 2016). Zusätzlich wurden einige Datensätze neu erhoben beziehungsweise aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.1 übernommen (ecoinvent Centre 2014) und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Die Sachbilanzen der Benzin- und Dieselbereitstellung wurden aktualisiert und sind in separaten Berichten im Detail beschrieben (Stolz & Frischknecht 2016; Stolz et al. 2016). Alle Daten wurden gemäss der allgemeinen ecoinvent-Systematik nach Frischknecht et al. (2007) erhoben und modelliert.

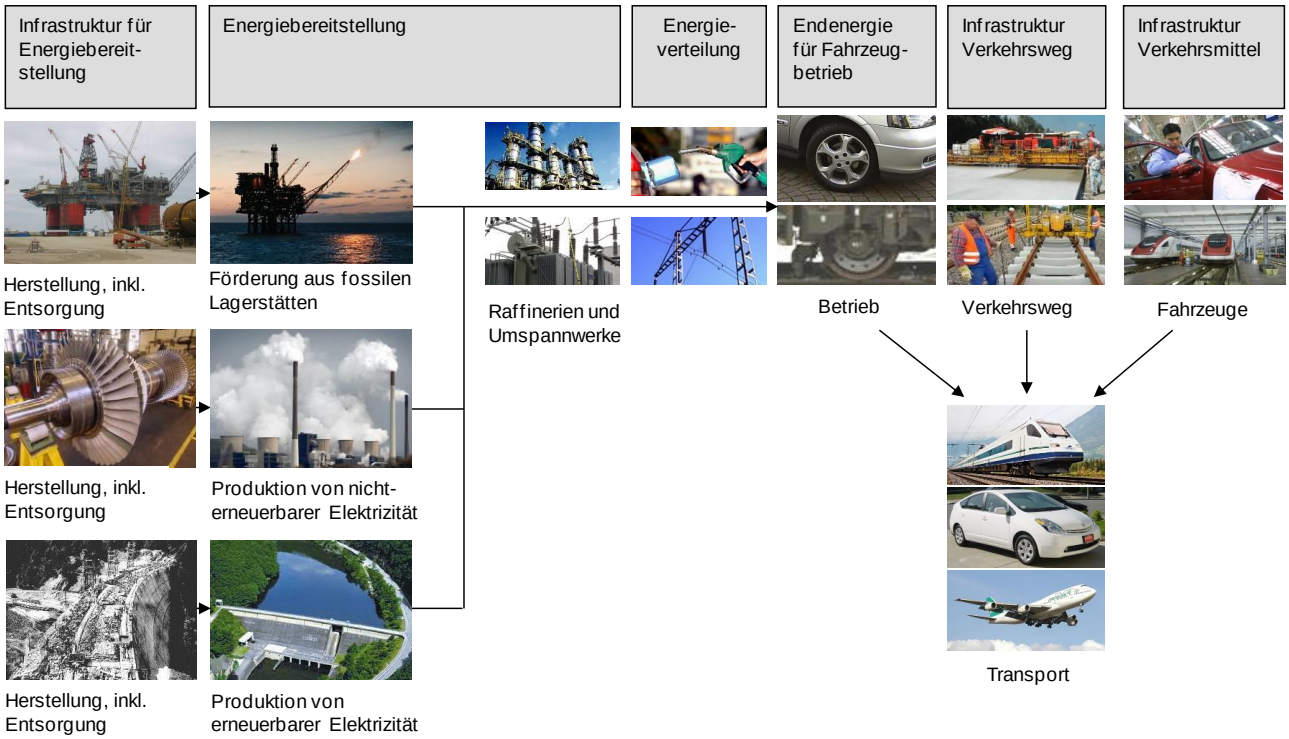
[7] Die genaue Beschreibung der Transportinfrastruktur kann dem ecoinvent-Bericht No.14 von Spielmann et al. (2007) entnommen werden.

reitstellung gegeben: Bevor Anna Muster an der Tankstelle Benzin tanken kann, ist eine Reihe weiterer Prozesse notwendig:

- Erdöl wird aus dem Bohrloch gefördert und entweder via Pipeline oder mit dem Tankschiff zum nächsten Ölsammelpunkt transportiert.
- Von da wird das Rohöl mit Pipeline, Eisenbahn, Tankschiffen oder Lastwagen zu einer Raffinerie gebracht. Dieses wird mit Hilfe von Wärme und Chemikalien in die verschiedenen Bestandteile aufgetrennt und das Rohbenzin entsteht.
- Nach weiteren chemischen Prozessen entsteht schliesslich Benzin mit genau definierten physikalischen Eigenschaften (wie etwa der Klopffestigkeit).
- Das Benzin wird mittels Tanklastwagen oder Eisenbahnwagen zu den einzelnen Tankstellen transportiert. Nun endlich kann Anna Muster das Benzin in ihren Tank füllen.

Alle Zwischenschritte sind mit Energieverbräuchen und Emissionen verbunden. Nach der gleichen Systematik werden die zusätzlichen Aufwendungen für die Stromherstellung, resp. die Bereitstellung von anderen Treibstoffen bestimmt. Abb. 3.1 gibt eine Übersicht über die vorgelagerten Prozesse, welche in der Berechnung der mobitool-Faktoren berücksichtigt wurden[8].

Abb. 3.1: Übersicht über die in mobitool berücksichtigten Prozesse



Nicht berücksichtigt sind indirekte Prozesse, welche nur in losem Zusammenhang mit der Transportleistung stehen, wie beispielsweise der Transport der Arbeiter am Morgen auf eine Baustelle. Zwar kann die Baufirma mit Mitarbeiteraktionen das Pendlerverhalten zu beeinflussen versuchen (siehe Unterkapitel 2.4). Die mit dem Pendeln verbundenen Umweltwirkungen werden in der Ökobilanz jedoch den Privatpersonen und nicht dem Arbeitgeber angerechnet. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden indirekte Belastungen durch Ausgaben für Planungsleistungen oder Rechtshilfe.

Werden ausschliesslich oder überwiegend fossile Energieträger für den Antrieb eines Verkehrsmittels benutzt, sind Energieverbrauch und Emissionen aus dem Betrieb der Fahrzeuge dominierend. Die Aufwendungen für Infrastruktur und Fahrzeuge sind vor allem dann von Bedeutung, wenn die Emissionen aus dem Betrieb – beispielsweise bei einem mit regenerativer Energie betriebenen Zug – gering sind.

Die europäischen Umweltvergleichsrechner EcoTransIT und EcoPassenger beschränken den Umweltvergleich daher auf Primärenergieverbrauch und Emissionen, die direkt und indirekt mit dem Betrieb der Fahrzeuge zusammenhängen. Der Bereich Infrastruktur und Fahrzeug ist im Sinne einer methodischen Vereinfachung ausgeklammert (Knörr & Hüttermann 2015; IFEU et al. 2014).

[8] In den ecoinvent-Sachbilanzen bezieht sich die Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge hauptsächlich auf europäische Verhältnisse, während die Sachbilanzen der Verkehrswege vor allem die schweizerischen Verhältnisse abbilden.

Durch den hohen Anteil Wasserkraft beispielsweise in der Bahnstromerzeugung der SBB sind die Emissionen aus dem Bahnbetrieb in der Schweiz gering. Ähnliches gilt auch für Elektroautos, Elektro-Scooter und E-Bike. Der Anteil „Infrastruktur" und „Fahrzeug" erhält damit ein höheres Gewicht. Entsprechend werden diese Komponenten gemäss der ecoinvent-Methodik auch im mobitool mitberücksichtigt.

Die transparente Darstellung der mobitool-Faktoren, aufgeteilt nach den verschiedenen Prozessschritten ermöglicht einen direkten Vergleich der Umweltkennwerte. Als Teilprozesse werden unterschieden:

- direkter Betrieb
- indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung
- Fahrzeugunterhalt
- Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung
- Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen)

So ist es auch möglich, einzelne Prozesse, z.B. nur die Emissionen aus dem direkten Betrieb und der Energiebereitstellung für den Betrieb, gezielt für eine Bewertung auszuwählen.

3.2. Bezugsgrösse

Die Umweltauswirkungen einer Transportleistung sind jeweils in Bezug auf einen Personenkilometer [pkm], respektive einen Tonnenkilometer [tkm] berechnet[9].

In der Regel wird dabei wie folgt vorgegangen: Zuerst werden die Umweltbelastung eines Fahrzeugkilometers errechnet. Dann wird die so ermittelte Umweltbelastung durch die durchschnittliche Auslastung geteilt, so dass die Umweltauswirkungen pro pkm, resp. tkm ausgedrückt werden können. Die mobitool-Faktoren beziehen sich jeweils auf eine durchschnittliche Auslastung des Verkehrsmittels:

- Im Strassenpersonenverkehr werden die Auslastungswerte des Bundesamtes für Statistik (Mikrozensus Verkehr) verwendet (BFS/ARE 2010b). Im Durchschnitt sind 1.6 Personen in einem Personenwagen unterwegs, wobei die durchschnittliche Auslastung je nach Verkehrszweck unterschiedlich ist (siehe Tab. 5.1 auf Seite 27).
- Bei den öffentlichen Transportmitteln werden die durchschnittlichen Auslastungszahlen verwendet, welche üblicherweise mittels Divison der Personenkilometer durch Fahrzeugkilometer gebildet werden. Die für mobitool genutzten Informationsquellen zur Auslastung finden sich in der Detailbeschreibung jeden Verkehrsmittels.
- Die durchschnittliche Auslastung von Lastwagen wurde mit dem Transport- und Emissionsmodell Tremove bestimmt (TREMOVE 2009) und entspricht dem europäischen Durchschnitt. Die Lastwagen werden auch im grenzüberschreitenden Güterverkehr eingesetzt und die durchschnittliche Auslastung von Lastwagen in der Schweiz ist mit jener in anderen europäischen Ländern vergleichbar. Für die betrachteten Gewichtsklassen sind keine spezifischen Auslastungsdaten für die Schweiz verfügbar. Im Gegensatz zu den Lastwagen wurde die Auslastung der Güterzüge sowohl für die Schweiz als auch für die Nachbarländer (DE, FR, AT, IT) individuell bestimmt. Für die Schweizer Güterzüge wurde die Auslastung mit Daten der SBB bestimmt und für die Nachbarländer wurden Daten der UIC Statistik verwendet (Messmer & Frischknecht 2016b).

Beispielrechnung: Der direkte CO_2-Ausstoss eines Smart fortwo wird mit rund 104 g CO_2 pro km angegeben (Daimler AG 2015). Da dieser CO_2-Emissionsfaktor unter standardisierten Bedingungen ermittelt wurde, weicht er typischerweise von der Realität ab. Dieser Tatsache wird durch einen Realzuschlag von 36 % für Benzin- und Diesel-Personenwagen Rechnung getragen (ICCT 2015). Der reale CO_2-Ausstoss beträgt damit ungefähr 141 g CO_2 pro km. Wenn nun 1.6 Personen im Auto sitzen, so wird durch den direkten Betrieb für den Transport einer Person über einen Kilometer (die Bezugsgrösse „Personenkilometer") 88 g CO_2–Äquivalente am Auspuff ausgestossen[10]. Für die vollständige Bilanzierung werden in einem nächsten Schritt die Aufwendungen für die Energiebereitstellung (bei der Erdölförderung, in der Raffinerie etc.), für das Fahrzeug (Leergewicht: 885 kg; Daimler AG 2015) und für den Fahrweg hinzugezählt. Sowohl Fahrzeug wie auch Fahrweg müssen erstellt, unterhalten und am Ende der Lebensdauer entsorgt

[9] Die Beispielsrechnung: Wenn eine Person von Aarau ins rund 50 km entfernte Basel reist, so entspricht dies einer Transportleistung von 50 Personenkilometern. Entsprechend beträgt die Transportleistung von 10 Tonnen Zement von Aarau nach Basel einer Transportleistung von 500 Tonnenkilometern.

[10] Dieser Wert berechnet sich wie folgt: 104 g CO_2-Äquivalente pro Fahrzeugkilometer geteilt durch 1.6 Personenkilometer pro Fahrzeugkilometer ergeben 65.0 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer. In den mobitool-Faktoren werden beim Betrieb zusätzlich die klimawirksamen Kältemittelemissionen aus Klimaanlagen berücksichtigt, die nicht in den oben genannten Emissionen enthalten sind.

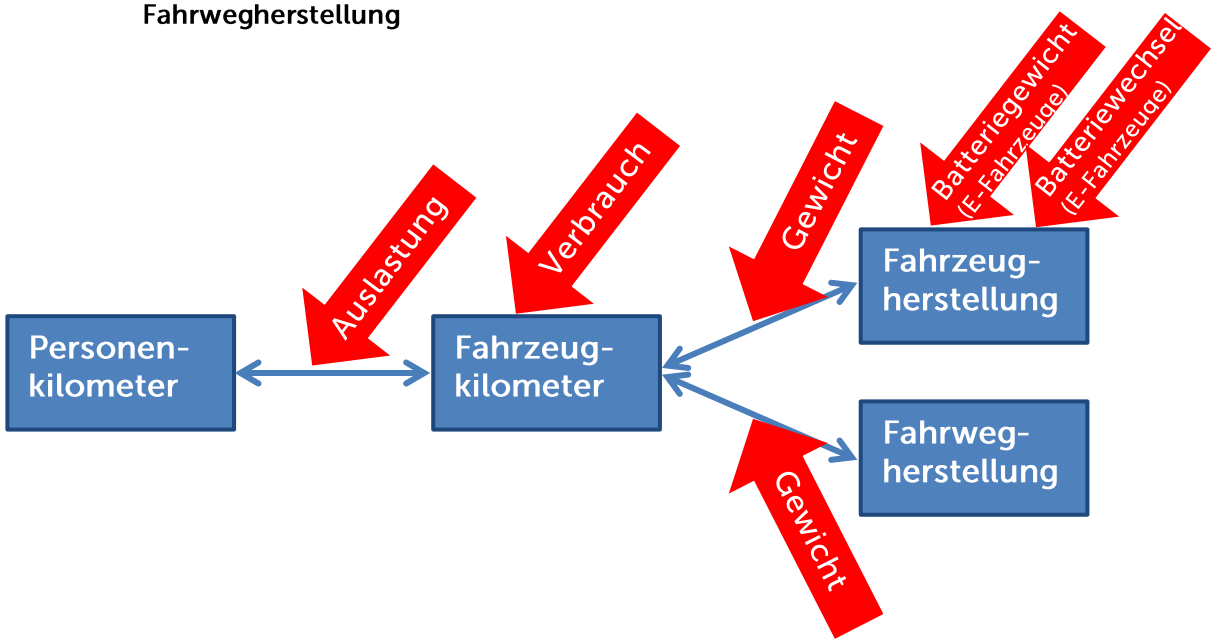
werden. Insgesamt resultiert eine CO_2-Emission von 147 g CO_2-Äquivalenten[11] pro Personenkilometer (siehe Tab. 3.1).

3.3. Bilanzierung der einzelnen Phasen

3.3.1. Übersicht und Rechenbeispiel

Die Umweltkennwerte von Verkehrsmitteln werden üblicherweise mit Standardwerten berechnet und bilanziert. Das mobitool-Projekt ermöglicht darüber hinaus die individuelle Anpassung der drei wesentlichen Einflussfaktoren[12] Auslastung, Verbrauch[13] und Fahrzeuggewicht. Für Elektrofahrzeuge sind zusätzlich das Batteriegewicht und die Anzahl Batteriewechsel über die Lebensdauer des Fahrzeugs relevant, die sich ebenfalls an eine spezifische Situation anpassen lassen. Damit kann jeder Interessierte seine individuelle Ökobilanz massgeschneidert auf seine Situation per Knopfdruck berechnen. Abb. 3.2 visualisiert den Zusammenhang zwischen den einzelnen Faktoren und Grössen.

Abb. 3.2: Zusammenhang zwischen Personenkilometer, Fahrzeugkilometer sowie Fahrzeug- und Fahrwegherstellung



Tab. 3.1 zeigt das Beispiel für den Transport mit einem Smart fortwo (Benzin), welcher mit einem Personenwagen (Benzinbetrieb, Schadstoffkategorie EURO5) angenähert wird. Als erstes werden die drei Faktoren Auslastung, durchschnittlicher Verbrauch und Fahrzeuggewicht eingegeben. Danach werden in den mobitool-Faktoren die bestehenden ecoinvent-Werte jeder Phase aufgrund des gewählten Verkehrsmittels automatisch skaliert und berechnet.

---

[11] Selbstverständlich können auch andere Indikatoren gewählt werden, die Umweltauswirkungen werden entsprechend angezeigt. Im restlichen Kapitel wird wegen der besseren Übersichtlichkeit jeweils das Beispiel mit CO_2-Äquivalenten vorgerechnet.

[12] Diese Parameter sind nicht unabhängig voneinander, können in den mobitool-Faktoren jedoch separat an eine spezifische Situation angepasst werden. Bei der nutzerspezifischen Anpassung sollte die gegenseitige Abhängigkeit der Parameter berücksichtigt werden. Beispielsweise haben schwerere Fahrzeuge meist einen überdurchschnittlichen Treibstoffverbrauch.

[13] Bei der Anpassung des Treibstoffverbrauchs sollte der Realverbrauch eingesetzt werden. Falls nur der Normverbrauch gemäss dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bekannt ist, soll dieser um einen Realzuschlag erhöht werden (siehe Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Beispielbilanzierung für Transport mit Personenwagen, Benzinbetrieb, EURO5

Entscheidende Faktoren für die Umweltbilanz für „Personenwagen, Benzinbetrieb, EURO5"			
Auslastung	1.6	[Personen / Fahrzeug]	Die ecoinvent-Datensätze für Personenwagen beziehen sich auf 1 Fahrzeugkilometer und werden mit der durchschnittlichen Auslastung auf die Einheit Personenkilometer umgerechnet.
Ø Verbrauch inkl. Realzuschlag (36 % bei Benzin- und Dieselfahrzeugen, 42 % bei Hybridfahrzeugen; ICCT 2015)	6.1	[Liter / 100 km]	Ein Personenwagen mit Benzinantrieb der Emissionsklasse EURO5 hat einen durchschnittlichen Verbrauch von 7.8 Liter Benzin pro 100 km (INFRAS 2014; Stolz et al. 2016). Für den Smart werden basierend auf dem Testzyklus NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) 4.5 Liter Benzin auf 100 km angegeben (Daimler AG 2015).
Fahrzeuggewicht	885	[kg]	Ein durchschnittlicher Benzin-Personenwagen ist 1'380 kg schwer (BFE 2015c; Stolz et al. 2016), der Smart fortwo (Benzin) weist ein Leergewicht von 885 kg auf (Daimler AG 2015).
Bilanz des Transportes, aufgeteilt nach den einzelnen Phasen			
direkter Betrieb	93.9	[g CO_2-equ.] / pkm	Direkt vom Treibstoffverbrauch abhängig; Kältemittelemissionen aus Klimaanlagen sind inbegriffen (Stolz et al. 2016)
indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung	24.5	[g CO_2-equ.] / pkm	Direkt vom Treibstoffverbrauch abhängig
Fahrzeugunterhalt	2.2	[g CO_2-equ.] / pkm	Direkt abhängig vom Fahrzeuggewicht
Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung	21.0	[g CO_2-equ.] / pkm	Direkt abhängig vom Fahrzeuggewicht
Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen)	5.0	[g CO_2-equ.] / pkm	Direkt abhängig vom Fahrzeuggewicht
Summe	**146.5**	**[g CO_2-equ.] / pkm**	-

Der Faktor Auslastung hat einen direkten Einfluss auf alle Phasen, da die Transportleistung im Vergleich zur Fahrzeugleistung erhöht wird. Oder mit anderen Worten: Je höher die Auslastung, desto tiefer ist die Umweltbelastung des gesamten Transportes[14]. Dieser Zusammenhang ist linear und wird mittels der folgenden Formel für alle nachfolgend noch genauer beschriebenen Phasen berechnet:

$$\text{Transportphase}_{\text{mobitool}} = \text{Transportphase}_{\text{ecoinvent}} * \frac{\text{Durchschnittsauslastung}_{\text{ecoinvent}}}{\text{Durchschnittsauslastung}_{\text{mobitool}}}$$

Wie sich die Faktoren Verbrauch und Fahrzeuggewicht auf die übrigen Phasen auswirken, wird in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

3.3.2. Direkter Betrieb

Abgrenzung: In dieser Phase ist die Umweltbelastung notiert, welche durch den direkten Betrieb des Fahrzeuges am Fahrzeug selber entsteht. Dazu zählen beispielsweise die direkten Emissionen am Auspuff nach dem Katalysator, die Abriebemissionen von Bremsbelägen, Rädern, Strasse und Oberleitung (bei Bahnen) oder die Kältemittelemissionen aus Klimaanlagen.

Bei den Indikatoren Primärenergie gesamt und nicht erneuerbar ist die bei der Energiebereitstellung am Anfang stehende Entnahme der Primärenergieressourcen (Rohöl, Uran, etc.) ausnahmsweise ebenfalls unter dem direkten Betrieb verbucht.

[14] Ein höherer resp. tieferer Treibstoffbedarf aufgrund der geänderten Auslastung wird nicht berücksichtigt. Falls bekannt, kann der Treibstoffverbrauch manuell geändert werden, was die Betriebsemissionen entsprechend beeinflusst. Frischknecht et al. (2011) zitieren einen Mehrverbrauch von 3.1 % (Benzin) resp. 3.3 % (Diesel) bezogen auf den Durchschnittsverbrauch der Schweizer Fahrzeugflotte pro zusätzlich mitfahrende Person. Der Treibstoffverbrauch von Lastwagen wurde für eine Auslastung von 50 % berechnet. Dieser Wert liegt nahe an der durchschnittlichen Auslastung.

Diese Vorgehensweise steht zudem im Einklang mit der in den beiden Umweltvergleichsrechnern Eco-Passenger (www.ecopassenger.org) und EcoTransIT (www.ecotransit.org) gewählten Methodik (Knörr & Hüttermann 2015; IFEU et al. 2014).

Skalierung: Im Rahmen des mobitool-Projektes werden die Umweltauswirkungen des direkten Betriebes entsprechend dem Treibstoffverbrauch skaliert[15].

Beispielrechnung für den Transport mit einem Smart fortwo: Durchschnittliche Personenwagen mit einem Benzinantrieb der Emissionsklasse EURO5 in der Schweiz haben einen Treibstoffbedarf von 7.8 Liter Benzin pro 100 km. Pro Fahrzeugkilometer werden dementsprechend 192 g CO_2-Äquivalente ausgestossen, resp. pro Personenkilometer 120 g CO_2-Äquivalente. Für den Smart wird der Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

$$\text{direkter Betrieb}_{\text{mobitool (ohne Energiebereitstellung)}} = \text{direkter Betrieb}_{\text{ecoinvent (ohne Energiebereitstellung)}} * \frac{\text{Durchschnitts-Verbrauch}_{\text{mobitool}}}{\text{Durchschnitts-Verbrauch}_{\text{ecoinvent}}}$$

Mit einem Durchschnittsverbrauch des Smart fortwo von 6.1 l/100 km ergeben sich für den Smart direkte Betriebsemissionen von 93.9 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.3. Indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung

Abgrenzung: Die Energiebereitstellung ist mit weiteren Umweltauswirkungen verbunden. Dazu zählen alle Prozesse von der Energieentnahme aus der Umwelt bis zur Lieferung in den Tank. In der gängigen Literatur wird dieser Systemansatz „well-to-tank" genannt (Jungbluth et al. 2007b). Bei den elektrisch betriebenen Fahrzeugen umfasst die Energiebereitstellung die Prozesse der Elektrizitätsproduktion im Kraftwerk über den Transport in Hochspannungsleitungen und Transformation bis in die Batterie resp. in den Fahrdraht.

Skalierung: Die Umweltauswirkungen der Energiebereitstellung werden analog dem direkten Betrieb mit dem Treibstoffverbrauch skaliert.

Beispielrechnung für den Transport mit dem Smart fortwo: Die Energiebereitstellung eines durchschnittlichen Personenwagens mit Benzinantrieb der Emissionsklasse EURO5 verursacht Treibhausgasemissionen von 31.3 g CO_2-Äquivalenten pro Personenkilometer. Für den Smart wird der Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

$$\text{Energiebereitstellung}_{\text{mobitool}} = \text{Energiebereitstellung}_{\text{ecoinvent}} * \frac{\text{Durchschnitts-Verbrauch}_{\text{mobitool}}}{\text{Durchschnitts-Verbrauch}_{\text{ecoinvent}}}$$

Damit ergeben sich für den Smart indirekte Betriebsemissionen durch die Energiebereitstellung von 24.5 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.4. Fahrzeugunterhalt

Abgrenzung: Der Fahrzeugunterhalt umfasst alle Prozesse, welche benötigt werden, um das Fahrzeug während seiner Lebensdauer fahrtauglich zu halten. Dazu zählen das Wechseln der Reifen bei Autos und Lastwagen, das Ersetzen von Verbrauchsmaterialien oder die Revisionen von Eisenbahnzügen (Spielmann et al. 2007). Bei Elektroautos ist der Batteriewechsel vollumfänglich in der Fahrzeugherstellung und nicht im Fahrzeugunterhalt enthalten.

Skalierung: In der zweiten Version der mobitool-Faktoren werden die Umweltauswirkungen des Fahrzeugunterhalts entsprechend dem Fahrzeuggewicht skaliert. Es wird angenommen, dass ein doppelt so schweres Fahrzeug auch einen doppelt so hohen Fahrzeugunterhalt verursacht. Diese Anpassung gegenüber der ersten Version der mobitool-Faktoren wurde in Übereinstimmung mit der Modellierung von Personenwagen in den Datensätzen des ecoinvent-Datenbestands v3.1 vorgenommen (ecoinvent Centre 2014).

Beispielrechnung für den Transport mit dem Smart fortwo: Der Fahrzeugunterhalt eines durchschnittlichen Personenwagens mit Benzinantrieb in der Schweiz verursacht Treibhausgasemissionen von 3.5 g CO_2-Äquivalenten pro Personenkilometer. Mit einem Fahrzeuggewicht von 885 kg des Smart (im Vergleich zum durchschnittlichen Benzin-Personenwagen, der 1'380 kg wiegt) wird dieser Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

[15] Entsprechend werden die Abriebemissionen und die Kältemittelemissionen im gleichen Verhältnis skaliert. Da diese jedoch nur einen kleinen Teil der gesamten Umweltauswirkungen verursachen, wird diese Näherung aufgrund von Praktikabilitätsgründen bewusst akzeptiert. Der dabei entstehende Fehler liegt für alle Umweltindikatoren maximal im tiefen einstelligen Prozentbereich.

$$\text{Fahrzeugunterhalt}_{\text{mobitool}} = \text{Fahrzeugunterhalt}_{\text{ecoinvent}} * \frac{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{mobitool}}}{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{ecoinvent}}}$$

Damit ergeben sich für den Smart Emissionen aus dem Fahrzeugunterhalt von 2.2 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.5. Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung

Abgrenzung: Die Fahrzeugherstellung resp. Fahrzeugentsorgung umfasst alle Vorgänge, welche die Herstellung des Fahrzeugs betreffen und nicht im Unterhalt abgebildet sind. Neben den reinen Materialaufwänden werden auch die Energieaufwände und Betriebsemissionen der Produktionsstätten angenähert, sowie die fachgerechte Entsorgung der Fahrzeuge nach Ablauf der durchschnittlichen Lebensdauer. Es wird angenommen, dass sich die Metalle zum grössten Teil rezyklieren lassen. Für rezyklierte Materialien werden keine Gutschriften gewährt[16].

Skalierung: Im Rahmen des mobitool-Projektes werden die Umweltauswirkungen der Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung entsprechend dem Fahrzeuggewicht skaliert. Es wird angenommen, dass ein doppelt so schweres Fahrzeug auch dementsprechend für die doppelten Emissionen der Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung verantwortlich ist. Wegen der hohen Bedeutung der Batterieherstellung lassen sich bei Elektrofahrzeugen das Batteriegewicht und die Anzahl Batteriewechsel über die Lebensdauer an eine nutzerspezifische Situation anpassen. Die Materialzusammensetzung des Fahrzeugs und der Batterie wird näherungsweise als konstant angenommen. Die Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien (inklusive Gehäuse etc.) liegt je nach Aktivmaterialien der Kathode zwischen 70-85 Wh/kg (UBA 2016). Als Richtwert für die in der Bilanzierung verwendete NCM Lithium-Ionen-Batterie kann eine Energiedichte von 85 Wh/kg verwendet werden.

Beispielrechnung für den Transport mit dem Smart fortwo: Die Herstellung und Entsorgung eines durchschnittlichen Personenwagens mit Benzinantrieb in der Schweiz (1'380 kg) verursacht 32.7 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer. Mit einem Fahrzeuggewicht von 855 kg des Smart wird dieser Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

$$\text{Fahrzeug}_{\text{mobitool}} = \text{Fahrzeug}_{\text{ecoinvent}} * \frac{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{mobitool}}}{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{ecoinvent}}}$$

Damit ergeben sich für den Smart Emissionen aus der Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung von 21.0 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.6. Fahrweg

Abgrenzung: Zum Fahrweg werden der Bau, der Unterhalt und die Entsorgung von allen Arten von Fahrweg gezählt. Beim Strassenverkehr sind dies beispielsweise die Strassen, Parkplätze und grössere Infrastrukturbauten wie Tunnels oder Brücken. Dementsprechend zählt man zur Bahnfahrweginfrastruktur das gesamte Trassee und die Kunstbauten wie Sicherungsmauern, Brücken und Tunnels. Beim Luftverkehr umfasst die Fahrweginfrastruktur einzig den Flughafen.

Die Fahrweginfrastruktur nimmt eine Sonderstellung ein, da verschiedene Transporte auf dem gleichen Fahrweg stattfinden. Um die Umweltbelastung der gesamten Verkehrsinfrastruktur auf die verschiedenen Transportdienstleistungen aufzuteilen, wird ein transportübergreifender Berechnungsschlüssel (die sogenannte Allokation) gebraucht. Als Berechnungsschlüssel dienen die transportierten Bruttotonnenkilometer, weil hauptsächlich das Fahrzeuggewicht für die Abnützung der Infrastruktur und somit auch für die Erneuerungsaufwendungen verantwortlich ist. Die gesamten Infrastrukturaufwendungen für alle Verkehrsmittel werden den entsprechenden ecoinvent-Datensätzen entnommen, welches zum grossen Teil auf den Daten des „Ökoinventar Transporte" von Maibach et al. (1999) basiert.

Skalierung: Im Rahmen des mobitool-Projektes werden die Umweltauswirkungen der Fahrweginfrastruktur entsprechend dem Fahrzeuggewicht skaliert.

Beispielrechnung für den Transport mit dem Smart fortwo: Ein durchschnittlicher Benzin-Personenwagen in der Schweiz weist ein Gewicht von 1'380 kg auf. Die Treibhausgasemissionen der Aufwendungen für die Fahrweginfrastruktur betragen 7.7 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer. Mit einem Fahrzeuggewicht von 855 kg wird dieser Wert entsprechend der unten stehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

[16] Mit anderen Worten: Es wird der sogenannte „Cut-off"-Ansatz verwendet, im Gegensatz zum Ansatz des „Avoided-Burden". Eine Diskussion von Vor- und Nachteilen der beiden Ansätze findet sich beispielsweise in Frischknecht (2010).

$$\text{Fahrwegsinfrastruktur}_{\text{mobitool}} = \text{Fahrwegsinfrastruktur}_{\text{ecoinvent}} * \frac{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{mobitool}}}{\text{Fahrzeuggewicht}_{\text{ecoinvent}}}$$

Damit ergeben sich für den Smart Emissionen aus der Fahrweginfrastruktur von 5.0 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.4. Umweltkennwerte nach DIN 16258

Für den Logistiksektor wurde im Rahmen der DIN-Normungsarbeiten eine Bilanzierungsmethode zur Berechnung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen von Transportdienstleistungen entwickelt. Die Norm DIN 16258 definiert Anforderungen an die Berechnung und Berichterstattung dieser beiden Umweltkennwerte (DIN 2013). Die Norm geht von mehreren vereinfachenden Annahmen aus und weicht von der Methode der Ökobilanzierung ab. Aus diesem Grund werden der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen, die nach den Anforderungen von DIN 16258 ermittelt wurden, separat in zwei zusätzlichen Spalten der mobitool-Faktoren dargestellt. Diese Umweltkennwerte werden nur berechnet, wenn die Umweltindikatoren Primärenergie oder Treibhausgasemissionen ausgewählt werden.

Die Bilanzierungsmethode DIN 16258 umfasst den direkten Betrieb der Fahrzeuge (vom Tank bis zum Rad; engl. Tank-to-Wheel) sowie die Prozesse der Energiebereitstellung (vom Ölfeld bis zum Tank; engl. Well-to-Tank) (DIN 2013). Die kumulierten Umweltauswirkungen (Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen) dieser beiden Prozesse entsprechen der Well-to-Wheel-Betrachtung (vom Ölfeld bis zum Rad). Dabei werden direkte Treibhausgasemissionen im Betrieb, die aus Leckagen stammen, nicht berücksichtigt. Dazu gehören beispielsweise Kältemittelemissionen aus Klimaanlagen oder Methanemissionen beim Betanken von Erdgasfahrzeugen. Ebenso werden jegliche Aufwendungen für Infrastrukturanlagen (z. B. Fördereinrichtungen, Raffinerien, Stromnetze, Fahrzeug) von der Bilanzierung ausgeschlossen.

DIN 16258 gibt zudem einen Allokationsschlüssel vor, der für kombinierte Transporte von Passagieren und Gütern in Flugzeugen oder Fährschiffen anzuwenden ist. Für Passagiertransporte in Flugzeugen soll mit einem durchschnittlichen Gewicht von 100 kg pro Passagier gerechnet werden (DIN 2013). Dieses Gewicht unterscheidet sich von der in mobitool gewählten Allokation, bei der die zusätzlichen Aufwendungen für Passagiertransporte (z. B. Sitze, Bordküche, Zwischenboden) berücksichtigt wurden, womit ein durchschnittliches Gewicht von 160 kg pro Passagier resultiert (siehe Abschnitt 5.5.2).

Für die Berechnung der Umweltkennwerte nach DIN 16258 wurden die in der Norm empfohlenen Energiefaktoren und Treibhausgas-Emissionsfaktoren verwendet (DIN 2013, Anhang A). Für einzelne Treibstoffe und Technologien der Stromerzeugung wurden die entsprechenden Faktoren auf Basis des KBOB-Ökobilanzdatenbestands v2.2:2016 ermittelt. Diese Energiefaktoren und Treibhausgas-Emissionsfaktoren, die in Unterkapitel 8.5 zusammengefasst sind, wurden mit dem Treibstoff- bzw. Strombedarf multipliziert, um den Primärenergiebedarf und die Treibhausgasemissionen in Übereinstimmung mit den Anforderungen von DIN 16258 zu berechnen.

3.5. Abgebildetes Optimierungspotential von Verkehrsmitteln

Aufgrund der skizzierten Zusammenhänge ergeben sich nun verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung des Verkehrsmittels, welche mit der mobitool-Faktoren (siehe Unterkapitel 2.1) abgebildet werden können:

- Je höher die Auslastung, desto kleiner ist die Belastung (wie beispielsweise Carpooling)
- Je tiefer der Verbrauch, desto tiefer ist die Gesamtbelastung durch den Betrieb und die Vorkette (Flottenmanagement, Eco-Drive)
- Je tiefer das Fahrzeuggewicht, desto tiefer ist die Belastung durch die Fahrweginfrastruktur (Flottenmanagement mit systematischem Wechsel zu kleineren und leichteren Fahrzeugen)

Durch die systematische Erfassung der rund 150 verschiedenen Verkehrsmittel nach der gleichen Methodik können ferner alle Mobilitätsmassnahmen analysiert werden, welche auf der Substitution des bisherigen Verkehrsmittels basieren[17]:

[17] Die mobitool-Faktoren eignen sich für die Identifikation von Massnahmen in einzelnen Unternehmen oder zur Unterstützung von Entscheiden einzelner Personen. Potenzielle indirekte Effekte (z. B. höherer Stromverbrauch, Rebound-Effekte) solcher Massnahmen werden mit der Methode der beschreibenden Ökobilanz nicht berücksichtigt. Die mobitool-Faktoren sind deshalb nicht zur Unterstützung von politischen Entscheidungen über weitreichende Massnahmen mit potenziell grossen (auch wirtschaftlichen) Auswirkungen geeignet (wie beispielsweise eine Million Elektroautos in Deutschland bis 2020 oder ein Anteil von 10 % Biotreibstoffen in der EU bis 2020). Für solche Fragestellungen sind vertiefte Analysen auf Basis von entscheidorientierten Ökobilanzen nötig.

- Nutzung von IT-Kommunikationsmitteln: Videokonferenzen beziehungsweise Home-Office statt bisherige Kundentreffen oder bisherige Pendlerfahrten
- Förderung des öffentlichen Verkehrs: öffentlicher Verkehr statt bisherige Fahrten mit Personenwagen
- Business CarSharing: Nutzung des Personenwagens erst auf der letzten Meile
- Parkplatzmanagement: Veränderung des bisherigen Modal-Splits des Pendlerverkehrs
- Flottenmanagement: Ersatz von konventionellen Fahrzeugen durch Fahrzeuge mit Erdgas- oder Elektroantrieb
- etc.

Damit können mit den Berechnungsgrundlagen von mobitool beliebige Mobilitätsmassnahmen in Firmen und Unternehmen gezielt evaluiert und hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen analysiert werden. Im Erfolgsfall kann die verbesserte Umweltleistung mit soliden Zahlen untermauert und öffentlichkeitswirksam kommuniziert werden.

4. Indikatoren zur Bewertung des Personen- & Güterverkehr in mobitool

Die oben geschilderte Methodik ermöglicht die Bewertung eines Verkehrsmittels nach vielen verschiedenen Ressourcenentnahmen oder Umweltwirkungen. Aus Gründen der Praktikabilität ist es jedoch sinnvoll, eine Auswahl zu treffen. Die folgenden 9 Indikatoren decken wichtige Umweltkriterien ab, die beiden letztgenannten sind zudem sogenannte vollaggregierte Indikatoren. Diese drücken die gesamte Umweltbelastung von einem Transportprozess in Punkten aus: Je weniger Punkte ein Transportprozess erhält, desto besser für die Umwelt.

- Primärenergie
- Primärenergie, nicht erneuerbar
- Treibhausgasemissionen
- Feinstaub, Partikeldurchmesser <10 µm (PM_{10})
- Feinstaub, Partikeldurchmesser <2.5 µm ($PM_{2.5}$)
- Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMVOC
- Stickoxid (NO_x)
- Umweltbelastungspunkte UBP'13
- ReCiPe'08

Bei allen Indikatoren können weder regionale noch lokale Effekte berücksichtigt werden. Der Ort der Emissionen hat, mit Ausnahme der Emissionen der Flugzeuge in der oberen Troposphäre/unteren Stratosphäre (siehe Unterkapitel 4.2), keinen Einfluss auf die Bewertung.

4.1. Primärenergie und Primärenergie, nicht erneuerbar

Beschreibung*:* Die Primärenergie beinhaltet neben den direkten Energieverbräuchen für den Betrieb ebenfalls vorgelagerte Verbräuche aus der Energiebereitstellung, resp. Verluste aus der Stromerzeugung und -verteilung. Grundsätzlich wird bei allen Prozessketten die Herkunft der Energie bis zum Beginn der Energieentnahme aus der Umwelt verfolgt. Als Grundlage dient dabei die aus der Umwelt geerntete Energie: Für Benzin oder Diesel dient das aus der Erdkruste geförderte Erdöl als Referenzgrösse. Bei der Energiegewinnung in erneuerbaren Anlagen wird die Rotationsenergie (für Wasserkraft bzw. Windkraft) als Primärenergieträger betrachtet, während bei Photovoltaikanwendungen die unmittelbar hinter der Solarzelle entstehende elektrische Energie als Bezugsgrösse gewählt wird (Frischknecht et al. 2015).

Gesellschaftliche Bedeutung: Es gilt als sehr wahrscheinlich, dass im Laufe der nächsten Jahrzehnte der Höhepunkt der Erdölforderung erreicht wird, so dass ab diesem Zeitpunkt weniger Erdöl zur Verfügung steht (Newman 2008). Dies wurde bereits vor mehreren Jahrzehnten von Hubbert (1949) so vorausgesagt. Zudem wird nachfolgenden Generationen die Möglichkeit genommen, Erdöl als chemischen Grundstoff in verschiedenen Produkten einzusetzen. Doch auch die erneuerbaren Energieträger sind nur begrenzt nutzbar. An den schweizerischen Hochschulen wurde deshalb das Konzept der 2'000 Watt-Gesellschaft entwickelt[18]: eine nachhaltige Energieversorgung, welche umweltverträglich ist und zugleich mindestens stabilen Wohlstand erlauben soll. Der Begriff geht von einer konstanten Leistung von 2'000 Watt pro Kopf aus (17'520 kWh Primärenergie pro Kopf und Jahr) und entspricht heute etwa dem globalen Durchschnittsbedarf eines Menschen. In der Schweiz liegen wir derzeit bei rund 5'500 Watt (EnergieSchweiz für Gemeinden et al. 2014), und das ohne das Handelssaldo an grauer Energie in Gütern und Dienstleistungen, welches noch einmal knapp 2'000 Watt ausmacht. Ein grosser Teil der Menschheit muss dagegen mit weniger als 1'000 Watt pro Kopf auskommen (PSI 2007).

Einheit: Die Nutzung von Primärenergie wird mit MJ Öl-Äquivalenten (MJ oil-equ.) gemessen. Alternativ kann die Primärenergie in den Grössen „kWh oil-equ. Primärenergie" oder „MWh oil-equ. Primärenergie" ausgedrückt werden. Unter dem Begriff nicht-erneuerbare Energie sind die fossilen und nuklearen Energieträger zusammengefasst. Erneuerbare Energieträger sind Wasserkraft, Biomasse, Windkraft, Solarenergie und Geothermie.

4.2. Treibhausgasemissionen

Beschreibung: Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt entsteht überwiegend durch die Emission von Kohlendioxid (CO_2), welches hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammt. Neben Kohlendioxid tragen auch noch andere Treibhausgase, vor allem Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O) sowie fluorierte Substanzen (HFKW und FKW), wesentlich zum Treibhauseffekt bei. Die klimaverändernde Wirkung der einzelnen Treibhausgase wird mit dem Treibhauspotenzial ausgedrückt. Oder mit anderen

[18] Siehe www.novatlantis.ch

Worten: Das Treibhauspotenzial drückt aus, wie viel ein Kilogramm eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt im Vergleich zur Klimawirkung von 1 kg CO_2.

Gesellschaftliche Bedeutung: Es gilt als gesichert, dass durch den verstärkten Treibhauseffekt das Klima verändert wird und eine Erwärmung der Atmosphäre stattfindet. Dies hat weitreichende Folgen auf Mensch, Biosphäre und gefährdet das Wohlergehen von zukünftigen Generationen (IPCC 2013).

Einheit: Als Vergleichssubstanz dient Kohlendioxid; die Abkürzung lautet kg CO_2-equ. (für equivalent). Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum; oft werden 100 Jahre betrachtet. Beispielsweise beträgt das Treibhauspotenzial von Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren 30 kg CO_2-eq/kg CH_4: Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan 30-mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als ein Kilogramm CO_2. Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen werden die Faktoren in Tab. 4.1 verwendet, als Basis dient der aktuelle IPCC-Bericht (IPCC 2013, Tab. 8.A.1).

Tab. 4.1: Die wichtigsten Treibhausgase, deren Hauptquellen und das Treibhauspotenzial (IPCC 2013)

Treibhausgas	Hauptquellen	Treibhauspotenzial (bezogen auf 100 Jahre)
Kohlenstoffdioxid CO_2	Verbrennung von fossilen Brenn- & Treibstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas) und von Biomasse (Wald-/ Brandrodung), Zementproduktion	1
Kohlenstoffdioxid CO_2	Verbrennung von Kerosin in der oberen Troposphäre, unteren Stratosphäre (Flugverkehr)	1.35
Methan CH_4	Kläranlagen, Mülldeponien, Kohlebergbau (Grubengas), Erdgas- und Erdölproduktion, Reisanbau, Viehzucht	30
Distickstoffoxid N_2O (Lachgas)	Verbrennung von Biomasse, Stickstoffdünger in der Landwirtschaft	265
Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)	Gruppe verschiedener Verbindungen, Treibgase in Spraydosen, Kältemittel in Kühlanlagen, Narkosemittel, Füllgase in Schaumstoffen. Mit dem Montreal-Protokoll seit 1989 geregelt.	bis zu 13'900
Fluorkohlenwasserstoffe FKW/HFKW	Treibgase in Spraydosen, Kältemittel in Kühlanlagen, Füllgase in Schaumstoffen	bis zu 12'400
Schwefelhexafluorid SF_6	Schutzgas bei der technischen Erzeugung von Magnesium, Isoliergas in Hochspannungsschaltanlagen	23'500
Stickstofftrifluorid NF_3	Herstellung von Halbleitern, Solarzellen und Flüssigkristallbildschirmen	16'100

Die erhöhte Treibhauswirksamkeit der Emissionen der Luftfahrt wird auf der Basis einer Studie des Bundesamts für Raumentwicklung zu den externen Kosten des Verkehrs (Sommer et al. 2014) berücksichtigt. Werden die indirekten Erwärmungseffekte des Luftverkehrs mit eingerechnet, so resultiert ein durchschnittliches Treibhauspotenzial der CO_2-Emissionen von Flugzeugen von 1.35 kg CO_2-eq/kg.[19] Ausgeschlossen wird dabei der Beitrag zur Wolkenbildung, da dessen Unsicherheiten aus Sicht der Autoren zu hoch seien. Der Anteil CO_2-Emissionen in Reiseflughöhe an den gesamten Emissionen liegt für einen durchschnittlichen Flug gemäss aktualisierten Flugtransportdaten bei 70 %.[20] Deshalb wird für das in der Stratosphäre emittierte CO_2 ein Treibhauspotenzial von 1.50 kg CO_2-equ./kg eingesetzt.

Im Verkehr trägt CO_2 am meisten zu den Treibhausgasemissionen bei, unabhängig von der Antriebstechnologie. Je nach Antriebstechnologie stammen 89 % bis 96 % der Treibhausgasemissionen vom CO_2 (mit

[19] Dieses Treibhauspotenzial bezieht sich auf die CO_2-Emissionen des gesamten Kerosinverbrauchs von Flugzeugen. Der gesamte Kerosinverbrauch und die damit verbundenen Emissionen werden in die Start- und Landephase (engl. „landing take-off"; LTO) einerseits und die Phase des Reiseflugs anderseits unterteilt. Bei den Emissionen in Reiseflughöhe wird zudem zwischen troposphärischen und stratosphärischen CO_2-Emissionen unterschieden. Nur die stratosphärischen CO_2-Emissionen tragen zum indirekten Erwärmungseffekt bei.

[20] Bei Kurzstreckenflügen beträgt der Anteil der CO_2-Emissionen während Start und Landung 14 % und der Anteil des in der unteren Stratosphäre emittierten CO_2 43 %. Bei Interkontinentalflügen liegen diese Anteile bei 4 % beziehungsweise 75 %. Der Anteil von Interkontinentalflügen an der gesamten Transportleistung des Passagier- und Frachtverkehrs beträgt 74 %.

Ausnahme von Biotreibstoffen). Die restlichen Treibhausgase wie Methan, Lachgas, fluorierte Substanzen oder Schwefelhexafluorid spielen nur bei einzelnen Antriebsarten resp. Treibstoffen eine Rolle. Im mobitool wird die Summe aller Treibhausgasemissionen ausgewiesen. Die Tab. 4.2 gibt einen Überblick über den Anteil von CO_2 an den gesamten Treibhausgasemissionen.

Tab. 4.2: Anteil von CO_2 an den gesamten Treibhausgasemissionen im Verkehr

Verkehrs-mittel	Antrieb	GWP [g pro tkm/pkm]	Anteil CO_2 an GWP	Bemerkung
Personenwagen	Benzin / Diesel (Flottendurch-schnitt)	197	92%	-
	Benzin mit 15% -Anteil Ethanol	196	92%	-
	Erdgas	177	90%	-
	Biogas	116	48%	Methanverluste während Biogasaufbereitung & Verteilung über das Erd-gasnetz
	Elektrizität, Ökostrommix	80.2	84%	-
öV	Trolleybus	25.2	84%	-
	Tram	37.5	91%	-
	S-Bahn	8.06	87%	-
	Regionalzug	8.46	86%	-
	Fernverkehrszug	6.94	88%	-
Bahn	Güterzug	10.5	91%	-
Lastwagen	Diesel (Flottendurchschnitt)	134	94%	-
	Rapsmethylester	136	58%	Stickstoffdünger in der Landwirtschaft

4.3. Feinstaub: PM_{10} und $PM_{2.5}$ („Particulate matter")

Beschreibung: Als Feinstaub (PM_{10} und $PM_{2.5}$) gelten alle festen und flüssigen Teilchen in der Aussenluft, welche nicht sofort zu Boden sinken und einen Durchmesser von bis zu 10 Mikrometern (PM_{10}) resp. bis zu 2.5 Mikrometern ($PM_{2.5}$) besitzen. Neben natürlichen Quellen (Pollen, Waldbrände, Saharastaube, etc.) sind verschieden anthropogene Quellen für erhöhte Feinstaubkonzentrationen verantwortlich. Hauptsächlich entsteht der Feinstaub in Verbrennungsprozessen, wie durch den Verkehr, Holzheizungen oder Elektrizitäts- und Heizkraftwerke (PSI 2008). Feinstaubemissionen aus Verbrennungsprozessen sind typischerweise kleiner als 2.5 Mikrometer. Der Verkehr ist zudem verantwortlich für Feinstaubemissionen aus Abriebprozessen, deren Partikelgrösse eher in den Bereich von 10 Mikrometer fällt. In der Schweiz beträgt der Anteil des Verkehrs (Strasse, Schiene, Schiff, Flugzeug und Nonroad) an den Feinstaubemissionen PM2.5 und PM10 rund 30 %, beziehungsweise 47 % (BAFU 2011). In diesem Indikator werden nur die Emissionen von primären Partikeln ausgewiesen.

Gesellschaftliche Bedeutung: Problematisch ist Feinstaub vor allem wegen der gesundheitlichen Schäden: Die Wirkungen reichen von vorübergehenden Beeinträchtigungen der Atemwege (z.B. Husten) über einen erhöhten Medikamentenbedarf bei Asthmatikern bis zu einer Zunahme der Sterblichkeit wegen Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislauf-Problemen. Die Toxizität hängt sowohl von der Zusammensetzung der Partikel als auch von der Partikelgrösse ab. Die höhere gesundheitliche Gefährdung durch Dieselruss entsteht einerseits durch die kanzerogenen Bestandteile des Dieselrusses und andererseits durch die sehr geringe Partikelgrösse (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013; Knörr & Hüttermann 2015). Dadurch können feine Partikel bis weit in die Lungenalveolen vordringen. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und Praktikabilität wird keine Gewichtung nach Emissionsort[21] vorgenommen.

Einheit: Milligramm. Die Materialbeschaffenheit der Partikel wird nicht berücksichtigt, da in den Sachbilanzen des ecoinvent-Datenbestandes keine Unterscheidung nach Art des Feinstaubes vorgenommen wird.

[21] Feinstaub ist vor allem in städtischen Räumen ein Problem.

4.4. Flüchtige, nicht methanhaltige organische Verbindungen: NMVOC

Beschreibung: Flüchtige organische Verbindungen (VOC: volatile organic compounds) sind organische Stoffe, welche leicht verdampfen (bzw. flüchtig sind) und schon bei niedrigen Temperaturen (z.B. Raumtemperatur) als Gas vorliegen. Aus Gründen der besseren Abgrenzbarkeit wird das Gas Methan oft aus den gesamten VOC ausgeklammert, was zur Gruppe der NMVOC führt (non methane volatile organic compounds).[22] NMVOC werden von einer Vielzahl anthropogener und biogener Prozesse in die Umwelt emittiert. Bei der vom Menschen verursachten Freisetzung von flüchtigen organischen Verbindungen dominieren die Verwendung von Lösemitteln und der Strassenverkehr.

Gesellschaftliche Bedeutung: NMVOC gelten neben den Stickstoffoxiden als Vorläufersubstanz des Sommersmogs (bodennahes Ozon) und sind damit auch relevant, wenn ihr Entstehungsort überwiegend ausserhalb von Städten ist. Einige Substanzen dieser Gruppe (z.B. Benzen) wirken zusätzlich krebserregend.

Einheit: Milligramm.

4.5. Stickoxide: NO_x

Beschreibung: Stickoxide oder Stickstoffoxide sind die gasförmigen Oxide des Stickstoffs und werden oft mit NO_x abgekürzt, da es wegen der vielen Oxidationsstufen des Stickstoffs mehrere Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt. Stickoxide bilden sich aus Stickstoff und Sauerstoff unter äusserer Energiezufuhr, typischerweise in Verbrennungsprozessen.[23]

Gesellschaftliche Bedeutung: Stickoxide sind über vier verschiedene Schadmechanismen von gesellschaftlicher Bedeutung. Beispielsweise tragen sie zur Entstehung von saurem Regen bei, indem Salpetersäure aus Stickstoffdioxid gebildet wird.[24] Der gleiche Mechanismus tritt auch auf den menschlichen Schleimhäuten auf, so dass die Atmungsorgane gereizt und bei chronischer Exposition geschädigt werden. Weiter sind Stickoxide wichtige Faktoren bei der Smogbildung, wie für die Entstehung von bodennahem Ozon (in Kombination mit NMVOC und UV-Strahlung). Wichtig ist ausserdem der Beitrag zur Bildung sekundärer Partikel (Feinstaub).

Abhängig vom Entstehungsort sind die Wirkungen von NO_x unterschiedlich. Für den Menschen sind vor allem die innerorts entstehenden Emissionen bedeutsam, für die anderen Wirkungen wie Sommersmog, saurem Regen und Überdüngung auch die überregional verursachten Emissionen. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit wird jedoch keine Gewichtung nach Entstehungsort vorgenommen.

Einheit: Milligramm.

4.6. Umweltbelastungspunkte UBP'13

In der Schweiz ist die Methode der "ökologischen Knappheit" weit verbreitet, welche eine gesamthafte Beurteilung der Umwelteinwirkungen in sogenannten Umweltbelastungspunkten (UBP) erlaubt. Die Methode verwendet zur Gewichtung der Umwelteinwirkungen die Verhältnisse von Zielwerten der Umweltpolitik und dem aktuellen Niveau an Umwelteinwirkungen.[25]

Berücksichtigt werden Emissionen in Luft, Oberflächengewässer, Grundwasser und Boden. Weiter wird die Ressourcenentnahme aus der Umwelt (Energie, Landnutzung, mineralische Primärressourcen und Kies, Süsswasser) bewertet. In die Bewertung fliessen ebenfalls die Abfälle in Reaktor- und Untertagedeponien sowie Endlagerstätten (radioaktive Abfälle) ein. In der Methode der ökologischen Knappheit 2013 neu berücksichtigt werden die Belastungen durch Verkehrslärm (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).

---

[22] Allerdings gibt es keine einheitliche Definition, was die NMVOC tatsächlich beinhalten: Einige Definitionen beinhalten Angaben zum Dampfdruck, andere definieren NMVOC resp. VOC über ihre photochemische Reaktivität als Vorläufersubstanzen für die Bildung von bodennahem Ozon. In der Schweiz sind die VOC in der Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen vom 12. November 1997 (VOCV 2013) geregelt.

[23] In der Fahrzeugtechnik wird das SCR-Verfahren (Selektive katalytische Reduktion) angewendet, um bei Dieselfahrzeugen die Stickoxidemissionen zu senken. Dazu wird eine wässrige Harnstofflösung (AdBlue®) vor dem SCR-Katalysator in das Abgas gespritzt. Aus dem Harnstoff entsteht Ammoniak, welcher mit den Stickoxiden reagiert. Die Endprodukte sind die zu einem grossen Teil unproblematischen chemischen Elemente Stickstoff und Wasser.

[24] Bildung von Salpetersäure (HNO_3) durch Reaktion von 2 Molekülen Stickstoffdioxid und 1 Molekül Wasser
($2\ NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + HNO_2$).

[25] Die UBP-Methode wurde 1990 erstmals vom BAFU in Zusammenarbeit mit schweizerischen Unternehmen entwickelt und publiziert (Schriftenreihe Umwelt SRU 133). In den Jahren 1997, 2009 und 2013 wurde die Methode von BAFU, Öbu, Unternehmen und Ökobilanz-Spezialisten überarbeitet.

In Übereinstimmung mit der Bewertung der Treibhausgase (siehe Unterkapitel 4.2) werden die Emissionen der Luftfahrt auf der Basis der Studie des Bundesamts für Raumentwicklung (Sommer et al. 2014) berücksichtigt. Der Ökofaktor für die in Reisehöhe von Flugzeugen verursachten CO_2-Emissionen beträgt 690 UBP13/kg und ist damit um den Faktor 1.50 höher als jener von CO_2, das in Bodennähe emittiert wird. Die indirekten Erwärmungseffekte von Flugzeugen werden unter anderem durch die Emissionen von Partikeln und Stickoxiden in der unteren Stratosphäre verursacht. Diese Effekte sind im erhöhten Treibhauspotenzial enthalten. Um eine Doppelzählung zu vermeiden, wird der Ökofaktor dieser Schadstoffemissionen in der unteren Stratosphäre auf 0 UBP13/kg gesetzt.

4.7. ReCiPe'08

ReCiPe 2008 ist eine verbreitet angewendete, an der Universität Leiden (Niederlande) entwickelte Methode zur Quantifizierung von Umweltschäden. Auch mit dieser Methode können die verschiedenen Arten von Umweltauswirkungen in einer Zahl zusammengefasst werden. Dabei wird der Schaden an den Schutzgütern menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcenverbrauch quantifiziert. In der Methode sind die folgenden Effekte berücksichtigt:

- Mensch: Klimawandel, Ozonschichtabbau, Krebserregende Effekte, Sommersmog, Wirkung auf Atemwege, ionisierende Strahlung
- Ökosystem: Klimawandel, Ökotoxizität, Versäuerung / Überdüngung, Landnutzung
- Ressourcen: Abbau von mineralischen Rohstoffen, Abbau von fossilen Energieträgern

In den Umweltkennwerten sind die Umweltschäden durch Langzeitemissionen nicht berücksichtigt. Für die Aggregation der Umweltauswirkungen auf die einzelnen Schutzgüter wird die Perspektive „Hierarchist" und dem durchschnittlichen Gewichtungsset verwendet.

5. Bilanzierte Verkehrsmittel Personenverkehr

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Datenquellen und grundlegenden Annahmen von jedem Verkehrsmittel kurz charakterisiert. Als wichtigste Datenquellen dienen die im Rahmen der mobitool-Aktualisierung erarbeiteten Dokumente von Stolz et al. (2016) und von Messmer und Frischknecht (2016b; 2016c; 2016a) sowie der ecoinvent-Report No. 14 von Spielmann et al. (2007). Eine Übersicht über alle Verkehrsmittel und die verwendeten Datenquellen / ecoinvent-Datensätzen ist im Anhang unter Unterkapitel 8.6 zu finden.

Grundsätzlich ist ein Verkehrsvergleich nur sinnvoll bei Verkehrsmitteln, welche bezüglich Einsatzzweck, Komfort und Reisegeschwindigkeit ähnlich sind. So liessen sich mit den erarbeiteten Grundlagen zwar das Fahrrad und der Fernverkehrszug in ihrer Bilanz vergleichen, doch unterscheiden sich die beiden Verkehrsmittel bezüglich Reisegeschwindigkeit und Komfort massiv. Zudem soll ebenfalls beachtet werden, dass typischerweise mit dem Fernverkehrszug Distanzen zwischen 50 und 300 km zurückgelegt werden, während das Fahrrad vor allem im lokalen Bereich bis 5 oder 10 km eingesetzt wird.

Im Folgenden werden die Verkehrsmittel eingeteilt in Langsamverkehr, privater Strassenverkehr, öffentlicher Strassenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr und virtuelle Mobilität. In der Emissionsfaktorentabelle ist die Einteilung in lokalen Verkehr, nationalen Verkehr und internationalen Verkehr ersichtlich.

5.1. Langsamverkehr

5.1.1. zu Fuss

Der Fussverkehr ist per Definition mit keinen Umweltauswirkungen verbunden, da die zusätzlich verbrauchten Kalorien ausserhalb der Systemgrenze liegen und der Kauf von Schuhen nur wenig von den zu Fuss zurückgelegten Kilometern abhängig ist.

5.1.2. Fahrrad

Die Bilanzierung des Fahrrads basiert auf den Arbeiten von Leuenberger et al. (2010a). Das bilanzierte Fahrrad besteht hauptsächlich aus Aluminium und Stahl, zu einem kleineren Teil auch aus Kunststoff oder anderen Verbundwerkstoffen. Insgesamt wiegt ein durchschnittliches Fahrrad ca. 17 kg. Der Rahmen selbst ist mit ca. 2.5 kg relativ leicht. Dazu addieren sich die einzelnen Komponenten wie Tretlager, Pedale, Kette, Schalthebel, Kurbel und Bremsen. Insgesamt wird von einer typischen Lebensdauer von rund 15'000 km ausgegangen.

Einzelne Teile des Fahrrades müssen vorzeitig ersetzt werden: Es wird angenommen, dass 50 % der Kunststoffteile im Laufe eines Fahrradlebens einmal ersetzt werden, während nur 5 % der Stahl- und Aluminiumteile einmal alle 15'000 km ersetzt werden. Die Umweltauswirkungen des Fahrweges (Strasseninfrastruktur) werden analog dem Personenwagen über die transportierten Bruttotonnenkilometer berechnet. Dabei wird von einem mittleren Fahrzeuggewicht von 92 kg (inkl. Fahrer) ausgegangen.

5.1.3. E-Bike

Das E-Bike ist ein normales Fahrrad (siehe oben), weist allerdings zusätzlich einen Elektromotor (4.4 kg) sowie einen Lithium-Ionen-Akku (2.6 kg) auf (Leuenberger & Frischknecht 2010a). Damit ist ein E-Bike rund 24 kg schwer, was der Mehrheit der Elektrofahrräder im Umlauf entspricht.

Für den Transport einer Person über 100 km benötigt ein E-Bike rund eine Kilowattstunde an Elektrizität (Niederspannung), welche entweder als normaler Schweizer Verbrauchermix oder als Ökostrommix[26] eingekauft werden kann. Dementsprechend unterscheiden sich die Ökobilanz-Ergebnisse des E-Bikes leicht voneinander. Gemäss Angaben eines E-Bike-Verkäufers wird heutzutage mit null bis einem Batteriewechsel bei E-Bikes gerechnet[27]. Analog zum Elektro-Auto wurde daher für das E-Bike einen durchschnittlichen Ersatz von 0.5 Akkus während der gesamten E-Bike-Lebensdauer angenommen.

[26] Weitere Informationen zu den Strommixen sind im Anhang im Unterkapitel 8.2 zu finden.

[27] Persönliche Mitteilung, anonymer Mitarbeiter eines grossen Schweizer E-Bike-Händlers, 4. Oktober 2016

5.2. Motorisierter Individualverkehr auf der Strasse

5.2.1. Scooter

Die nachstehenden Angaben, wie auch die Bilanzierung stammen von Leuenberger et al. (2010a). Konventionelle Scooter weisen einen Hubraum von 50 cm^3 oder 125 cm^3 auf, die letztere Kategorie benötigt einen eigenen Motorradführerschein. Da derzeit die Mehrheit der verkauften Roller der 50 cm^3-Kategorie zuzuzählen ist, wird dieser Typ berücksichtigt.[28]

Es wird von einer durchschnittlichen Fahrleistung von 50'000 km ausgegangen, durchschnittlich beträgt der Treibstoffverbrauch pro 100 km rund 2.5 Liter Benzin. Als typische Auslastung werden gemäss den Ergebnissen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (BFS/ARE 2010a) 1.33 Personen angenommen[29]. Ein typischer Roller ist rund 90 kg schwer und besteht vor allem aus Stahl, etwas Gummi und Aluminium für Komponenten[30]. 45 % der in Kraft gesetzten Roller sind mit einem 2-Takt-Motor ausgerüstet, vor allem neue Roller weisen einen 4-Takt-Motor auf. Die Emissionen aus dem Verbrennungsmotor wurden aus Version 2.1 des Handbuchs für Emissionsfaktoren abgeleitet (BUWAL & INFRAS 2004). 2-Takt-Motoren weisen hohen NMVOC-Emissionen auf, während der Betrieb von 4-Takt-Motoren mit wesentlich weniger NMVOC-Emissionen verbunden ist. Die restlichen Luftemissionen (welche nicht durch HBEFA abgedeckt sind), sowie Emissionen in Boden und Oberflächengewässer werden durch Skalierung vom Personenwagen extrapoliert. Der Lärmpegel von fahrenden Scootern wird auf 75 dB(A) geschätzt (Fiebig 2012; European Union 2013; ASTRA 2013). Die Lärmemissionen von Scootern werden mit den Lärmemissionen von Personenwagen modelliert und an den höheren Lärmpegel angepasst (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).

5.2.2. Elektro-Scooter

Der Elektro-Scooter wurde im ecoinvent-Datenbestand v3.1 neu modelliert und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet. Das Fahrzeuggewicht ohne Batterie beträgt 90 kg (ecoinvent Centre 2014). Zusätzlich wird für den Elektro-Scooter eine Batterie (32 kg) benötigt. In der Bilanzierung wird eine NCM[31]-Lithium-Ionen-Batterie verwendet. Während der gesamten Lebensdauer von 50'000 km wird der NCM-Lithium-Ionen-Akku einmal ausgetauscht.

Elektro-Scooter weisen einen Stromverbrauch von 2 bis 4 kWh pro 100 km auf. Es wird ein mittlerer Strombedarf (Niederspannung) von 3 kWh pro 100 km angenommen. Durch den elektrischen Antrieb entstehen keine direkten Verbrennungsemissionen, allerdings müssen die Abriebemissionen der Reifen ebenfalls berücksichtigt werden. Diese werden aufgrund des Gewichtsverhältnisses zwischen Elektroauto und Elektroroller extrapoliert (rund 10 % der Werte eines Elektroautos, siehe Abschnitt 5.2.5). Der Lärmpegel von Elektro-Scootern ist mit 55 dB(A) etwa um den Faktor 100 geringer als jener von konventionellen Scootern mit Verbrennungsmotor (Fiebig 2012). Die Lärmemissionen von Scootern werden mit den Lärmemissionen von Personenwagen modelliert und an den deutlich tieferen Lärmpegel angepasst (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).

5.2.3. Motorrad

Die Sachbilanzen für Motorrad-Transporte wurden im Rahmen der mobitool-Aktualisierung neu erstellt (Stolz et al. 2016). Es werden zwei Grössenklassen des Hubraums (250-750 cm^3 und >750 cm^3) sowie die Emissionsklassen preEuro bis Euro 4 unterschieden. Das Motorrad wurde analog zu den im ecoinvent-Datenbestand v3.1 enthaltenen Personenwagen modelliert (ecoinvent Centre 2014). Das Fahrzeuggewicht beträgt 180 kg resp. 220 kg für die Motorräder mit 250-750 cm^3 und >750 cm^3 Hubraum. Die durchschnittliche Lebensfahrleistung wird auf 100'000 km geschätzt. Als typische Auslastung werden gemäss den Ergebnissen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (BFS/ARE 2010a) 1.33 Personen angenommen.[29]

Zusätzlich zu den Datensätzen für Motorräder einzelner Grössen- und Emissionsklassen sind Umweltkennwerte für durchschnittliche Motorräder verfügbar. Über 60 % der Motorräder, die in der Schweiz im Jahr 2015 in Betrieb waren, entsprechen den Anforderungen des Euro 3 Emissionsstandards. Der Benzin-

---

[28] Die Höchstgeschwindigkeit der 50 cm^3-Roller beträgt etwa 60-70 km/h.

[29] Die durchschnittliche Auslastung von Scootern und Motorrädern wurde mit zusätzlichen Informationen von Herrn Stefan Schneider, Planungsbüro Jud, plausibilisiert (persönliche Mitteilung vom 12.01.2016).

[30] Die Materialzusammensetzung eines Scooters wird bis auf wenige Ausnahmen entsprechend dem Gewichtsverhältnis zu einem Personenwagen aus dessen Inventar berechnet.

[31] NCM: Nickel-Cobalt-Mangan. Diese Metalle sind in der Kathode der Batterie enthalten.

verbrauch eines durchschnittlichen Motorrads beträgt 5.2 Liter pro 100 km. Der Treibstoffverbrauch und die Emissionen von Luftschadstoffen wurden hauptsächlich mit Daten aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren berechnet (INFRAS 2014) und entsprechen den durchschnittlichen Verhältnissen in Deutschland. Die Unterschiede zum Treibstoffverbrauch und den Emissionen von Motorrädern in der Schweiz sind gering. Der Lärmgrenzwert von Motorrädern beträgt 80 dB(A) und entspricht damit beinahe den Lärmemissionen von durchschnittlichen Lastwagen (81 dB(A)) (ASTRA 2013).

5.2.4. Personenwagen (verschiedene Treibstoffe, ohne E-Personenwagen)

Der Personenwagen basiert auf einer Bilanzierung eines Mittelklassewagens (VW Golf), welcher 1'600 kg schwer ist (Del Duce et al. 2014). Im ecoinvent-Datenbestand v3.1 sind spezifische Datensätze für Benzin/Erdgas- und für Diesel-Personenwagen verfügbar, die mit geringen Anpassungen in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet wurden (ecoinvent Centre 2014; KBOB et al. 2016). Die Anpassungen betreffen vor allem den Energieverbrauch für die Montage der Personenwagen und sind in Stolz et al. (2016, Abschnitt 4.2.2) beschrieben. Das Fahrzeug besteht hauptsächlich aus Stahl, zu einem kleineren Anteil werden Aluminium, Kunststoffteile, Glas und Faserverbundwerkstoffe eingesetzt. Das durchschnittliche Leergewicht von neu in der Schweiz zugelassenen Fahrzeugen im Zeitraum 2005 bis 2014 beträgt 1'510 kg, wobei Diesel-Personenwagen mit einem Gewicht von durchschnittlich 1'700 kg deutlich schwerer sind als Fahrzeuge mit Benzinantrieb (1'380 kg) (BFE 2015b). Die auf Basis der ecoinvent-Datensätze ermittelten Umweltauswirkungen der Fahrzeugherstellung und des Fahrzeugunterhalts werden mit dem Fahrzeuggewicht skaliert (siehe Abschnitte 3.3.4 und 3.3.5).

Der durchschnittliche Personenwagen der Schweiz setzt sich aus Benzin- und Dieselfahrzeugen zusammen und weist über alle Fahrzeugklassen einen Verbrauch von 7.5 Liter Treibstoff auf (INFRAS 2014; Stolz et al. 2016). Damit liegt der Durchschnittsverbrauch um knapp 1.4 Liter höher als der Normverbrauch der Neufahrzeugflotte gemäss den Erhebungen des BFE (2015b). Der Grund für diese Abweichung liegt einerseits in der Methode der Ermittlung des Normverbrauchs unter standardisierten Laborbedingungen, die in der Realität kaum je zutreffen. Der tatsächliche Verbrauch von benzin- oder dieselbetriebenen Personenwagen ist um durchschnittlich 36 % höher als der Normverbrauch (ICCT 2015). Andererseits ist auch eine Verbesserung der Energieeffizienz der Fahrzeuge zu beobachten (BFE 2015b): Die älteren, noch auf der Strasse verkehrenden Fahrzeuge weisen einen höheren Verbrauch als die Neufahrzeuge auf. Die Treibstoffverbräuche der Fahrzeuge sind in der Excel-Tabelle mit den mobitool-Faktoren ersichtlich.

Für Benzin- und Diesel-Personenwagen werden die Emissionsklassen EURO 3 bis EURO 6 in den mobitool-Faktoren individuell ausgewiesen. Die Umweltkennwerte von Benzin- und Diesel-Personenwagen wurden mit aktuellen Treibstoffverbräuchen und Schadstoff-Emissionsfaktoren aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren neu ermittelt (INFRAS 2014; Stolz et al. 2016). Dieselbe Datenquelle wurde auch für Sachbilanzen von anderen Transportprozessen verwendet, was die Konsistenz und Vergleichbarkeit der Resultate gewährleistet. Im Treibstoffbedarf und in den gesamten Schadstoffemissionen wird ein durchschnittliches Fahrmuster von Personenwagen in Deutschland (als Näherung für den europäischen Durchschnitt) abgebildet, in dem neben dem Treibstoffverbrauch und den Emissionen im warmen Betrieb auch die Emissionen durch Kaltstarten und Benzinevaporation berücksichtigt sind. Dabei wird eine durchschnittliche Fahrdistanz von 32 km (BFS/ARE 2012) angenommen und von zwei Fahrten pro Tag ausgegangen. Die in den mobitool-Faktoren hinterlegten Standardwerte für den durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von Benzin- und Diesel-Personenwagen entsprechen dem Durchschnitt von Personenwagen der jeweiligen Emissionsklasse in der Schweiz (INFRAS 2014). Die Emissionsfaktoren pro Kilogramm Treibstoff für die Schweiz und Deutschland unterscheiden sich nicht wesentlich. Zusätzlich zu den treibstoffabhängigen Schadstoffemissionen wurden Emissionen durch den Abrieb von Reifen, Bremsen und Strassen in die Luft, ins Wasser und in den Boden berücksichtigt. Diese nicht treibstoffabhängigen Emissionen wurden von Simons (2016) neu modelliert und wurden für die Aktualisierung der Sachbilanzen von Personenwagen-Transporten unverändert aus dem ecoinvent-Datenbestand v3.1 übernommen.

Die Datensätze für Transporte mit Personenwagen, die mit den alternativen Treibstoffen Benzin/Ethanol, Biogas[32] oder Erdgas[33] angetrieben werden, basieren auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016

[32] Das aufbereitete Biogas wird zu 46.2 % aus Grüngut gewonnen, zu 33.6 % aus Klärschlamm und zu 20.2 % aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Da Biogas aus Abfallprodukten entsteht, wird der Energieinhalt den behandelten Abfällen zugeordnet. Biogas hat deshalb einen Primärenergieinhalt von 0 MJ. Die Aufwendungen für Herstellung, Aufbereitung und Verteilung von Biogas werden in der Ökobilanz jedoch berücksichtigt.

[33] Die modellierten Erdgas-Personenwagen werden vollständig mit Erdgas betrieben. Das an Schweizer Tankstellen erhältliche Erdgas enthält einen Anteil von mindestens 10 % Biogas. Die Umweltkennwerte von Personenwagen, die mit Erdgas / 10 % Biogas betrieben werden, können als gewichteter Mittelwert von Personenwagen mit reinem Erdgas- beziehungsweise reinem Biogas-Antrieb berechnet werden.

(KBOB et al. 2016) und sind in Jungbluth et al. (2007a) detailliert beschrieben. Um die Vergleichbarkeit der Umweltkennwerte mit den übrigen Personenwagen-Transporten zu gewährleisten, wurden die Umweltauswirkungen des Fahrzeugunterhalts und der Strasseninfrastruktur mit den entsprechenden Datensätzen für Benzin-Personenwagen aus dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 berechnet. Für die Modellierung des Fahrzeugs wurde der aktualisierte Datensatz von Benzin/Erdgas-Personenwagen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1'380 kg verwendet. Die nicht treibstoffabhängigen Schadstoffemissionen sind in den Datensätzen von Personenwagen-Transporten mit alternativen Treibstoffen berücksichtigt, können aber nicht von den treibstoffabhängigen Emissionen unterschieden werden. Aus diesem Grund konnten die Emissionen durch den Abrieb von Reifen, Bremsen und Strassen nicht angepasst werden.

Die Höhe der Schadstoffemissionen eines Fahrzeuges einer Emissionskategorie muss bestimmten regulatorischen Anforderungen genügen (European Union 2007). Je höher der Emissionsstandard, resp. die EURO-Klasse, desto emissionsärmer ist das betreffende Fahrzeug. Für alle Personenwagen, die mit Benzin, Diesel oder alternativen Treibstoffen angetrieben werden, wurden die Lärmemissionen gemäss dem durchschnittlichen Lärmpegel von Personenwagen (72 dB(A) gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013)) berücksichtigt.

Es wird mit einer durchschnittlichen Auslastung von 1.6 Personen pro Fahrzeug gerechnet (BFS/ARE 2010b). Je nach Fahrzweck unterscheiden sich diese Werte teils erheblich wie in Tab. 5.1 ersichtlich ist.

Tab. 5.1: Auslastung nach Fahrzweck, gemäss Angaben des Mikrozensus Verkehr (BFS/ARE 2010b)

Fahrzweck	Auslastung Personen / Personenwagen	Bezugsjahr und Quelle
Arbeit	1.12	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Ausbildung	1.36	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Einkauf	1.64	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
geschäftliche Tätigkeit	1.24	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Freizeit	1.99	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Service und Begleitung	2.05	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Andere	2.03	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)
Durchschnitt über alle Fahrten	1.60	Jahr 2010, BFS/ARE (2010b)

Beim Personenwagen mit Verbrennungsmotor ist die Betriebsphase (direkte Emissionen oder indirekte Umweltauswirkungen der Energiebereitstellung) besonders relevant. Je nach betrachtetem Indikator (z.B. Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013) und Fahrzeugtyp sind auch die Fahrzeug- beziehungsweise Batterieherstellung und dessen Unterhalt von Bedeutung. Die Strasseninfrastruktur verursacht hingegen einen relativ kleinen Teil der gesamten Umweltbelastungen von Transporten mit Personenwagen.

5.2.5. Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Personenwagen

Hybridfahrzeuge haben sowohl einen Benzin- als auch einen Elektromotor und eine Lithium-Ionen- oder Nickel-Metallhybrid-Batterie. In der Bilanzierung wurde eine NCM[34]-Lithium-Ionen-Batterie verwendet. Die Batterie von Plug-in-Hybrid-Personenwagen ist grösser als jene von reinen Hybrid-Personenwagen und lässt sich an der Steckdose aufladen. Damit kann die Reichweite, die mit dem Elektromotor zurückgelegt werden kann, erhöht werden. Die Bilanzierung von Hybrid- und Plug-in-Hybrid-Personenwagen bezieht sich auf den Transport in der Schweiz und es wird von folgenden Annahmen ausgegangen (Stolz et al. 2016; Althaus & Gauch 2010):

- Der Hybrid-Personenwagen ist ein Toyota Prius III, welcher mit einem Verbrennungs- und Elektromotor sowie einer NCM-Lithium-Ionenbatterie ausgestattet ist. Das Gesamtgewicht des reinen Hybrids beträgt 1'460 kg inklusive Elektromotor (150 kg) und Batterie (41 kg). Der Plug-In Hybrid weist ein Gesamtgewicht von 1'500 kg auf inklusive Elektromotor (150 kg) und Batterie (80 kg).
- Die Bilanz der Batterieherstellung basiert auf aktuellen Daten eines Herstellers von NCM Lithium-Ionen Batterien (Ager-Wick Ellingsen et al. 2014).

[34] NCM: Nickel-Cobalt-Mangan. Diese Metalle sind in der Kathode der Batterie enthalten

- Der reine Hybrid weist gemäss Herstellerangaben einen Benzinverbrauch von 3.9 l/100 km auf. Bei Hybridfahrzeugen beträgt die Abweichung des Realverbrauchs vom Normwert ungefähr 42 % (ICCT 2015). Daher wird der Benzinverbrauch des Hybrids auf reale 5.5 l/100km korrigiert.
- Aufgrund der elektrischen Reichweite des Plug-In Hybrid von ca. 50 km kann davon ausgegangen werden, dass 80 % der Lebensdauerstrecke mit Strom zurück gelegt werden kann (Althaus & Gauch). Daher teilt sich der Verbrauch beim Plug-In Hybrid in 80% Strom (20 kWh/100 km, wie beim E-Personenwagen) und in 20% Benzin (5.5 l/100 km) auf. Einmal wird das Fahrzeug mit Niederspannungsstrom des schweizerischen Verbrauchermixes (siehe Abschnitt 8.2.3) betrieben, alternativ dient der Ökostrommix der Schweiz als Energiequelle (siehe Abschnitt 8.2.4).
- NCM Lithium-Ion-Batterien für Hybrid- und Elektrofahrzeuge sind erst seit wenigen Jahren auf dem Markt, so dass die Hersteller nur wenig Erfahrung mit der Lebensdauer von Batterien haben. Gemäss Laboruntersuchungen können diese eine Lebensdauer von 150'000 km erreichen, unter realen Bedingungen zeigen die Batterien jedoch meist eine tiefere Lebensdauer. Es wird davon ausgegangen, dass die Batterie nach 100'000 km ersetzt wird (das heisst einmal bei jedem zweiten Hybridauto).
- Die Lärmemissionen von Hybridautos werden gemäss dem durchschnittlichen Lärmpegel von Personenwagen (72 dB(A) gemäss (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013)) berücksichtigt.

5.2.6. E-Personenwagen (Elektrizität)

Elektrofahrzeuge werden vermehrt als Lösung für eine Mobilität ohne fossile Treibstoffe gesehen. Mit den jüngsten Erfolgen bei der Lithium-Ionen-Batterie-Technologie können Fahrzeuge gebaut werden, welche den Bedürfnissen der Autofahrer bezüglich Reichweite und Fahrcharakteristik immer mehr entsprechen. Die Bilanzierung des E-Personenwagens bezieht sich auf den Transport in der Schweiz und es wird von folgenden Annahmen ausgegangen (Stolz et al. 2016):

- Der E-Personenwagen ist ein Mittelklassewagen (vom Typ VW Golf), welcher mit Elektromotor und Lithium-Ionenbatterien ausgerüstet ist. Die Bilanzierung der Herstellung des Fahrzeuges erfolgte auf Basis der Ökobilanz von Habermacher & Hellweg (Habermacher & Hellweg 2011), unter Anpassung des Gewichts des gesamten Fahrzeuges an die technischen Angaben des Herstellers (VW e-Golf: 1'585 kg, inkl. 318 kg Batterie (VW 2016)).
- Das Fahrzeug enthält einen 110 kg schweren Elektromotor, sowie einen Lithium-Ionen-Akku. Die Batteriezellen sind 190 kg schwer. Ergänzt mit dem Batteriegehäuse und elektronischer Laderegelung weist die Batterie ein Gesamtgewicht von 318 kg auf[35].
- Die Bilanz der Batterieherstellung basiert auf aktuellen Daten eines Herstellers von NCM Lithium-Ionen Batterien (Ager-Wick Ellingsen et al. 2014). Es wurden diejenigen Produktionsdaten verwendet, welche die Effizienzgewinne infolge einer Produktionssteigerung berücksichtigen.
- Der durchschnittliche reale Energiebedarf pro 100 km wird mit 20 kWh[36] Niederspannungsstrom angenommen. In Zusammenhang mit der vorstehend beschriebenen Batterie ergibt sich eine theoretische Reichweite von 165 km. In den mobitool-Faktoren werden zwei Datensätze des E-Personenwagen aufgeführt: Einmal wird das Fahrzeug mit dem schweizerischen Verbrauchermix (siehe Abschnitt 8.2.3) betrieben, alternativ dient der Ökostrommix der Schweiz als Energiequelle (siehe Abschnitt 8.2.4).
- NCM Lithium-Ion-Batterien für Elektrofahrzeuge sind erst seit wenigen Jahren auf dem Markt, so dass die Hersteller nur wenig Erfahrung mit der Lebensdauer von Batterien haben. Gemäss Laboruntersuchungen können diese eine Lebensdauer von 150'000 km erreichen, unter realen Bedingungen zeigen die Batterien jedoch meist eine tiefere Lebensdauer. Es wird davon ausgegangen, dass die Batterie nach 100'000 km ersetzt wird (das heisst einmal bei jedem zweiten Elektroauto).
- Die Modellierung der Abriebemissionen des Elektroautos basiert auf denjenigen des Personenwagens. Mit der Ausnahme der Bremsabriebemissionen, welche aufgrund der Rekuperation für das Elektroauto deutlich tiefer sind und gemäss Althaus und Gauch (2010) nur 10 % der Bremsabriebemissionen eines Personenwagens betragen.

---

[35] Die Energiedichte der NCM Lithium-Ionen-Batteriezelle (ohne Gehäuse, etc.) beträgt 140 Wh/kg beziehungsweise 85 Wh/kg bezogen auf das gesamte Batteriegewicht.

[36] Dieser Wert ist teilweise höher als auf Datenblättern der Hersteller angegeben: Analog zu den Benzinfahrzeugen differieren jedoch die Werte zwischen Praxis und Theorie. Zudem muss ein Elektrofahrzeug im Winter rein elektrisch geheizt werden, was in den Datenblättern nicht berücksichtigt ist. Dieser Wert basiert auf den NEFZ-Verbrauchsangaben von VW (12.1 kWh/km) und einem Realsituationszuschlag von 65 % gemäss Althaus und Gauch (2010).

- Die Lärmemissionen von Elektroautos werden gemäss (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) an die tieferen Lärmemissionen (69 dB(A)) von Elektroautos angepasst.
- Die Ladeinfrastruktur ist in der Bilanzierung des Elektroautos nicht enthalten.

Bei Elektrofahrzeugen sind die heutige Produktion und die Lebensdauer der Lithium-Ionen-Batterie relevant für die Umweltbilanz. Durch verbesserte Produktionsprozesse in der Batterieherstellung und eine deutliche Steigerung der Lebensdauer ist in Zukunft eine Verbesserungen der Umwelteffizienz möglich. Deutlich verbessern wird sich die Umweltbilanz aber erst bei einer deutlichen Verringerung des Gewichts des Personenwagens und einer dementsprechend kleineren Batterie (siehe nachfolgenden Abschnitt 5.2.7).

Aus Zeitgründen konnten keine alternativen Batteriekonzepte wie beispielsweise die Zebra-Batterie von MES-DEA als Vergleich bilanziert werden. Aufgrund der anderen eingesetzten Materialien (Natrium-Nickelchlorid-Batterie statt Lithium-Ionen-Batterie) darf jedoch vermutet werden, dass dieser Batterietyp eine etwas tiefere Umweltbelastung aufweist[37].

5.2.7. CityCar (Leichtbau-Personenwagen mit Elektrizität / Diesel)

Das CityCar repräsentiert eine zukünftige Form der Strassenmobilität. Das Gewicht des Autos wird drastisch reduziert. Als Basis der Bilanzierung dient der ConceptCar Loremo[38]. Bilanziert wurde das Verkehrsmittel von Leuenberger et al. (2010c). Insgesamt gibt es drei Varianten des CityCars: Antrieb mit Diesel, elektrischer Antrieb mit Verbrauchermix, elektrischer Antrieb mit Ökostrommix. Bei allen drei Varianten ist der Energiebedarf klein. So kommt der Dieselantrieb mit knapp 2.7 l pro 100km aus (inklusive dem Realsituationszuschlag von 36 %), während die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge 11.9 kWh pro 100 km benötigen (Niederspannung, inklusive dem Realsituationszuschlag von 70 %, gemäss VCS 2015). Die Bilanzierung des CityCars bezieht sich auf den Transport in der Schweiz und basiert auf folgenden Annahmen (Leuenberger & Frischknecht 2010c):

- Das CityCar wiegt insgesamt 550 kg, wobei das reine Gewicht der Struktur nur rund 100kg dazu beiträgt. Die Herstellung des Fahrzeuges wurde vereinfacht mit einer gewichtsabhängigen Skalierung aufgrund des Mittelklassewagens abgeschätzt. Beim CityCar handelt es sich um einen zukünftigen ConceptCar. Es ist daher möglich, dass sich die Materialisierung der CityCars von derjenigen eines Mittelklassenwagens unterscheidet. Beispielsweise könnten vermehrt Karbonfaser-Verbundstoffe eingesetzt werden. Aus Budgetgründen und fehlenden Informationen wurde die Sachbilanz des CityCars unverändert von Leuenberger und Frischknecht (2010c) übernommen.
- Bei den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist zusätzlich eine 100 kg schwere NCM Lithium-Ionenbatterie bilanziert, der Elektromotor wiegt 70 kg.
- Die Lebensdauer von allen Fahrzeugen beträgt 150'000 km. Es wird angenommen, dass die Batterie ebenfalls eine Lebensdauer von 150'000km erreicht und dementsprechend nicht ersetzt werden muss.

Die Emissionen des Verbrennungsmotors wurden vom Betrieb eines Euro 5 Diesel-Personenwagens extrapoliert und die Lärmemissionen der CityCars werden mit dem Lärmpegel von Elektroautos (69 dB(A) berücksichtigt.

5.2.8. Kleinbus

Basierend auf Angaben eines Vermietungsunternehmens[39] werden die Umweltauswirkungen des Personentransportes mit einem Kleinbus abgeschätzt. Kleinbusse bieten bis zu 15 Personen Platz und werden für Gruppenreisen oder Shuttle-Fahrten eingesetzt. Die in der Schweiz eingesetzten Kleinbusse werden zu 85 % mit Diesel und zu 15 % mit Benzin betrieben. Der bilanzierte durchschnittliche Kleinbus hat einen Treibstoffverbrauch von 9.0 Liter pro 100 km (INFRAS 2014). Neben dem Treibstoffverbrauch und den Schadstoffemissionen im warmen Betrieb des Kleinbusses werden auch die Emissionen durch Kaltstarten und Benzinevaporation berücksichtigt. Die Lärmemissionen des Kleinbusses entsprechen ungefähr jenen eines durchschnittlichen Personenwagens. Die Herstellung des Kleinbusses wurde im Rahmen der

---

[37] Die Zebra-Batterie muss warm gehalten werden, auch wenn das Fahrzeug nicht im Betrieb ist. Daher wird ein kontinuierlicher Energieaufwand benötigt, so dass unter Umständen der Materialvorteil durch die erhöhten Betriebsaufwendungen kompensiert wird.

[38] Siehe www.loremo.com

[39] Telefonischer Kontakt mit Michael Trummer, Busmiete GmbH, am 22. Januar 2010.

mobitool-Aktualisierung neu entsprechend der Struktur der Herstellung von Personenwagen modelliert. Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen (Stolz et al. 2016):

- Der Aufwand für den Wagenaufbau unterscheidet sich nicht von der (bilanzierten) Ladebrücke des Kleintransporters. Ebenfalls sind der Unterhalt und die Entsorgung des Fahrzeuges identisch zum Kleintransporter.
- Folgendes Fahrprofil wird für den Kleinbus angenommen: 30 % für Shuttlefahrten (Transport der Personen nur von A nach B, Leerfahrt wieder zurück), 55 % für Gruppenreisen (A nach B nach A), 15 % für Leertransporte (von der Vermietstation nach A und wieder zurück). Kombiniert mit der Annahme, dass 10 Sitzplätze bei einem Personentransport besetzt sind, ergibt dies eine durchschnittliche Auslastung von 7 Personen.

5.3. Öffentlicher Verkehr auf der Strasse / Wasser

5.3.1. Tram, Trolley- und Autobus

Für den öffentlichen Strassenverkehr mit Tram, Trolleybus und Autobus in der Schweiz wurden aktualisierte Sachbilanzen erstellt. Der Autobus hat eine Kapazität von 60 Passagieren, wovon im Durchschnitt 10 besetzt sind (BFS 2015c; BFS 2015b). Das Leergewicht des Fahrzeugs beträgt ungefähr 11 Tonnen. Die Busherstellung und der Fahrzeugunterhalt wurden mangels aktuellerer Daten mit den Datensätzen des KBOB-Ökobilanzdatenbestands v2.2:2016 modelliert (KBOB et al. 2016). Der Treibstoffverbrauch (43 Liter pro 100 Kilometer) sowie die Emissionsfaktoren wurden für einen durchschnittlichen Dieselbus in der Schweiz berechnet (INFRAS 2014).

Grundlage der Bilanzierung (Spielmann et al. 2007) des öffentlichen Strassenverkehrs (Tram, Trolley- und Autobus) sind die statistischen Erhebungen des BFS (BFS 2015b) sowie Daten aller Verkehrsbetriebe der Schweiz (Zürich, Bern und Lausanne, Genf, etc.) Es wird angenommen, dass ein Trolleybus eine Lebensdauer von 17 Jahren aufweist und das Tram insgesamt 40 Jahre. Mit den durchschnittlichen Auslastungen (Trolleybus: 19 Personen und Tram 34 Personen) ergeben sich so hohe Passagiertransportleistungen. Dies erklärt auch die gegenüber dem Personenwagen tiefen Emissionswerte für den Unterhalt, resp. die Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge.

Pro Kilometer Tramfahrt werden 4.93 kWh an elektrischer Energie (Mittelspannung) gebraucht, was pro Passagier einen Endenergiebedarf von rund 1.45 Liter Diesel auf 100 pkm ergibt. Der Trolleybus bezieht pro Fahrzeugkilometer gut 2.88 kWh von der Fahrleitung (Mittelspannung), umgerechnet auf den Passagier ergibt sich ein Endenergiebedarf von 1.5 Liter Diesel pro 100 pkm.

Zusätzliche zu den Abriebemissionen der Schiene und Strasse wurden neu auch der Kupferbedarf der Fahrleitungen sowie die Kupferemissionen berücksichtigt. Detaillierte Informationen befinden sich im Bericht von Stolz et al. (2016).

Die Lärmemissionen der Trams wurden als vergleichbar mit jenen von Passagierzügen angenommen und entsprechend modelliert und die Lärmemissionen der Trolleybussen wurden mit den Lärmemissionen von Lastwagen modelliert und an die tieferen Lärmpegel angepasst. Die Lärmemissionen von Autobussen wurden als vergleichbar mit jenen von Lastwagen angenommen und entsprechend modelliert (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013; Stolz et al. 2016).

5.3.2. Strasse: Reisebus (Car) und Fernbus

Die Bilanzierung des Reisecars wurde mit den neusten verfügbaren Daten zur durchschnittlichen Auslastung sowie zum Treibstoffverbrauch und zu den Emissionsfaktoren aktualisiert. Der Reisebus basiert auf dem Fahrzeug des Autobusses des öffentlichen Verkehrs. Der Fahrzeugbedarf wurde jedoch entsprechend dem höheren Gewicht (durchschnittlich 13 Tonnen) skaliert. Durch die etwas andere Fahrcharakteristik mit weniger Beschleunigungsaktionen ist der Treibstoffbedarf geringer als beim Autobus: Pro 100 Kilometer benötigt ein Car rund 33 Liter Diesel, was pro Passagier (durchschnittliche Auslastung: 21 Personen) einen Energiebedarf von 1.6 Liter Diesel pro 100 pkm bedeutet.

Neu wurde zusätzlich zum Reisebus ein Fernbus bilanziert. Fernbusse bedienen nur rentable Strecken. Deren Angebote sind darum nicht mit Angeboten des Service public vergleichbar. Als Grundlage wurden Daten zum Betrieb von InterCity-Bussen der SBB und der DB zwischen Zürich und München verwendet. Die Fernbusse sind grösser als typische Reisebusse und haben ein Leergewicht von ungefähr 19 Tonnen. Die durchschnittliche Auslastung beträgt 44 %: Von 74 Plätzen sind ungefähr 32.5 besetzt. Der Treibstoffbedarf des Fernbusses ist mit 38 Liter pro 100 km etwas höher als jener von Reisebussen. Auf einen Personenkilometer bezogen ist der Fernbus jedoch energieeffizienter (1.2 Liter pro 100 pkm).

Der Lärmpegel von Reise- und Fernbussen entspricht näherungsweise jenem von Lastwagen. Die Lärmemissionen wurden darum mit dem Elementarfluss für Lärm von Lastwagen modelliert (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013; Stolz et al. 2016).

5.3.3. öV Durchschnitt

Im Jahr 2014 wurden in der Schweiz mit dem öffentlichen Verkehr insgesamt 23.4 Milliarden Personenkilometer zurückgelegt. Diese teilen sich wie folgt auf die einzelnen Verkehrsträger auf: Die Bahnen verzeichnen 19.2 Milliarden Personenkilometer, im städtischen Nahverkehr (Tram und Trolleybus) beträgt die Transportleistung 1.6 Milliarden und im regionalen Busverkehr inklusive Postauto 2.6 Milliarden Personenkilometer (BFS 2014).

Da in der Bilanzierung kein Unterschied zwischen einem öffentlichen Überlandbus und einem Stadtbus besteht, werden diese beiden Kategorien zusammengefasst, so dass für den Autobus ein Anteil von 11.2 % resultiert. Die Aufteilung in Regional- und Fernverkehr bei der Bahn wurde aufgrund der Angaben in der Publikation „Zahlen & Fakten" bestimmt (SBB 2014).

Tab. 5.2: Durchschnittlicher, mit öffentlichen Verkehrsmitteln zurückgelegter Personenkilometer in der Schweiz

Verkehrsträger des öffentlichen Verkehrs	Transportleistung [Milliarden pkm]	Anteil	Quelle:
Bahn	19.2	82%	BFS 2014
Regionalverkehr	*5.12*	*22%*	SBB 2014
Fernverkehr	*14.07*	*60%*	SBB 2014
städtischer Nahverkehr	1.6	7%	BFS 2014
Tram	*1.1*	*5%*	BFS 2014
Trolleybus	*0.5*	*2%*	BFS 2014
Autobus	2.6	11%	BFS 2014
Summe	23.4	100.0%	BFS 2014

5.3.4. Wasser: Personenschiff

Grundlage der Schiffbilanzierung sind die Geschäftsberichte der Zürichsee-Gesellschaft (ZSG 2014) und die statistischen Erhebungen des Bundesamts für Statistik (BFS 2014). Im Jahr 2014 wurden in der Schweiz total 2'257'000 km mit Personenschiffen zurückgelegt. Dabei erbrachten sie eine Transportleistung von rund 150.2 Millionen Personenkilometer (BFS 2014). Im Durchschnitt reisten pro Schiff 67 Personen mit. Bei einer durchschnittlichen Kapazität von 423 Passagieren (ZSG 2014) liegt die Auslastung somit bei 16 %. Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch liegt bei 4.5 Litern pro 100 Personenkilometer (ZSG 2014). Lärmemissionen wurden in der Bilanzierung des Personenschiffs nicht berücksichtigt. Detaillierte Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016a).

5.4. Öffentlicher Verkehr auf der Schiene

5.4.1. Schiene Schweiz: Regionalverkehr, S-Bahn & Fernverkehr

Die Umweltbilanz des schweizerischen Bahnverkehrs wurde schon in mehreren Studien untersucht (Maibach et al. 1999; Spielmann et al. 2007; Knörr & Hüttermann 2015). Die Bilanzierung von Spielmann et al. (2007) ist Basis für den ecoinvent-Datenbestand und die umfassendste ihrer Art. Im Rahmen der Aktualisierung des mobitool-Projektes wurde eine Aufdatierung der Verbrauchs- und Betriebsdaten mit aktuellen Werten des Jahres 2014 vorgenommen. Die detaillierten Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016b).Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Transportleistungsdaten für den Fern- und Regionalverkehr stammen von den SBB (2014), die Daten der S-Bahn vom Zürcher Verkehrsverbund (ZVV 2014).
- Die Auslastung der Züge wurde aktualisiert mit Daten der SBB und ZVV aus dem Jahr 2014 (Messmer & Frischknecht 2016b): In einem Regionalzug sind im Durchschnitt 23 % der angebotenen 292 Sitzplätze besetzt, während in einem Fernverkehrszug rund 30 % von 636 Sitzplätzen besetzt sind. In einer S-Bahn sind 99 von 378 Sitzplätzen belegt.
- Der Fernverkehr benötigt im Durchschnitt 0.067 kWh Strom pro pkm, was einem umgerechneten Endenergiebedarf von 0.72 Liter Benzin-Äquivalenten pro 100 pkm entspricht. Im Regionalverkehr ist der Energieverbrauch entsprechend der tieferen Auslastung höher: Hier werden

0.127 kWh pro pkm gebraucht, resp. 1.4 Liter Benzin-Äquivalente pro 100 pkm. Die S-Bahn kommt auf einen Energiebedarf von 0.88 Liter Benzin-Äquivalente pro 100 pkm. Im Durchschnitt braucht ein Schweizer Zug umgerechnet knapp 1 Liter Benzin-Äquivalente Endenergie pro 100 pkm. Die Daten zum Stromverbrauch im Jahr 2014 stammen von der SBB und ZVV und sind im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016b) dokumentiert.

- Die Züge werden mit dem Verbrauchsmix der Schweizerischen Bundesbahnen SBB angetrieben (siehe Abschnitt 8.2.3). Anders als in normalen Haushalten beträgt die Frequenz im Bahnstromnetz 16.7 Hz (statt 50 Hz). Diese bedingt ein komplett eigenes Bahnstromnetz mit Umschaltstationen, Hochspannungsleitungen und Einspeisepunkten. Die Verteilung der Elektrizität vom Kraftwerk bis zum Fahrdraht wird gemäss der Bilanzierung des Schweizer Stromnetzes von Itten et al. (2014) angenähert.
- Der Fernverkehrszug wird als IC2000-Zug (8 IC2000-Wagen, Re4/4-Lokomotive) bilanziert, während im Regionalverkehr ein „Kolibri", resp. RBDe 560 als Basis dient. Das Fahrzeug für die S-Bahn wird mit einem (skalierten) Fernverkehrszug abgeschätzt, da die Materialzusammensetzung von neuen S-Bahnzügen, wie z.B. DPZ und DTZ ähnlich dem bilanzierten Fernverkehrszug ist. Die Herstellung der Züge wurde nicht aktualisiert und basiert auf der Bilanzierung von Spielmann et al. (2007).
- Eine Allokation für den Bau, den Unterhalt und die Entsorgung der Gleisanlagen auf Personen- und Tonnenkilometer wird mittels der transportierten Bruttotonnenkilometer zwischen den einzelnen Zugverkehrsarten vorgenommen.
- Für die Lärmemissionen von Personenzügen wird die Modellierung gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) verwendet (Messmer & Frischknecht 2016b).

5.4.2. Schiene Europa: Eisenbahn in Europa

Die Bilanzierung der ausländischen Eisenbahnen basiert einerseits auf den effektiven Energieverbrauchs- und Leistungskenndaten der Bahngesellschaften (UIC 2012). Andererseits dienen die von Spielmann et al. (2007) erhobenen Umweltdaten der Fahrzeuge und Gleisanlagen als Referenzgrössen (siehe Abschnitt 5.4.1). Die detaillierten Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016b). Bei der Bilanzierung wurde von folgenden Annahmen und Datenquellen ausgegangen:

- Pro Land wurden sämtliche Eisenbahngesellschaften mit einer nennenswerten Transportleistung berücksichtigt, die Daten werden allerdings aggregiert verwendet[40].
- In den betrachteten europäischen Ländern werden einige der Personenzüge mit Diesel betrieben, was einen direkten CO_2-Ausstoss zur Folge hat.
- Falls Informationen zu spezifischen Bahnstrommixen der Länder vorhanden waren, wurden diese verwendet. Ansonsten wurden die länderspezifischen Strommixe verwendet (Itten et al. 2014).
- Die gesamte Bilanz bezieht sich auf eine durchschnittliche Auslastung. Diese wurde bestimmt aufgrund der Transportleistung (Personenkilometer) geteilt durch die Fahrzeugleistung (Zugkilometer).
- Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden die Umweltbelastungen von Fahrzeug und Fahrweg mit den schweizerischen Werten angenähert.
  Für die Lärmemissionen von Personenzügen im Ausland wird die Modellierung gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) verwendet.

5.4.3. Hochgeschwindigkeitszüge in Deutschland, Italien, Frankreich

Mehrere europäische Bahnen haben sich in der Allianz „Railteam"[41] zusammengeschlossen, um den Hochgeschwindigkeitsverkehr zu fördern. So bestehen in den drei Ländern Deutschland, Italien und Frankreich zurzeit mehrere Baustellen, um weitere Städte mit Hochgeschwindigkeitszügen verbinden zu können[42]. Ein weiterer Effekt der verbesserten Verbindung ist das Einstellen von Flügen zwischen bestimmten Destinationen.

---

[40] Dies bedeutet, dass mögliche Unterschiede in der Umwelteffizienz einander angeglichen werden und nur der Durchschnitt in die Umweltbilanzierung einfliesst.

[41] Siehe auch www.railteam.eu

[42] Dementsprechend wird oft die Frage gestellt, ob die graue Energie in den aufwändigen Bauten einer Neubaustrecke den verbesserten Betriebseffekt kompensiert. Tuchschmid (2010) entwickelte eine Methodik für die Bilanzierung der grauen Energie in der Infrastruktur von Hochgeschwindigkeitsneubaustrecken und konnte zeigen, dass selbst bei seltener Nutzung die Höhe der Emissionen praktisch vernachlässigbar ist.

- Die Bilanzierung der Herstellung und des Betriebs der Züge basiert einerseits auf den Arbeiten von Rozycki et al. (2003), wo für den deutschen ICE ein detailliertes Ökologieprofil aufgenommen wurde und anderseits auf den erhobenen Daten von UIC (2012).
- Der direkte Endenergieverbrauch beträgt 0.074 kWh/pkm. Dieser Wert ist etwas höher als beim schweizerischen Fernverkehrszug aufgrund der höheren gefahrenen Geschwindigkeit des Zuges (und des dementsprechend höheren Luftwiderstands). Da ein Hochgeschwindigkeitszug aber über längere Strecken relativ gleichmässig fährt, sind weniger Beschleunigungs- und Bremsvorgänge notwendig (was den Energieverbrauch wieder senkt).
- Der Bau der Gleisanlagen für den Hochgeschwindigkeitszug werden mit eigenen Datensätzen abgebildet (Spielmann et al. 2007), die Daten zur Entsorgung der Gleise reflektieren die Entsorgungssituation in der Schweiz.
- Es werden länderspezifische Bahnstrommixe resp. Elektrizitätsmixe verwendet. Ansonsten besteht zwischen den drei Ländern kein Unterschied in der Bilanzierung.

5.5. Luftverkehr

5.5.1. Helikopter

Die Umweltbilanz eines Helikopters hängt entscheidend von der Nutzungscharakteristik ab: So ist ein Flug mit häufigen Lande- / Startzyklen (LTO: Landing / Take-off) mit einer weit höheren Umweltbelastung verbunden als ein Transportflug über eine lange Strecke. Durch die realisierte Aufteilung kann eine beliebige Bilanz eines Helikopterfluges erstellt werden: Die Gesamtbilanz ergibt sich aus den Umweltauswirkungen der Anzahl Start-Landezyklen pro Flugstunde plus die Umweltauswirkungen einer Stunde Flug. Für Regierungsflüge wurde ein zweimotoriger Helikopter (1.4 Tonnen) bilanziert. Für Personenflüge wurde ein einmotoriger Helikopter (1.28 Tonnen) bilanziert. Pro Lande- und Startzyklus braucht der zweimotorige Helikopter 41 kg Kerosin, pro Flugstunde 260 kg. Der einmotorige Helikopter braucht pro Lande- und Startzyklus 23.5 kg Kerosin, pro Flugstunde 133 kg (FOCA 2016). Die Bilanzierung des Helikoptertransports bezieht sich auf Flüge in der Schweiz. Zur Anzahl Lande- und Startzyklen waren keine Informationen verfügbar. Daher mussten Annahmen getroffen werden. Für Regierungs- und Personenflüge wird eine durchschnittliche Flugdauer von 33 Minuten angenommen (20 Minuten Flug, 13 Minuten LTO). Pro Stunde Helikopterflug werden daher 1.8 Lande- und Startzyklen angerechnet. Für die Anwendung der mobitool-Faktoren müssen zur tatsächlichen Flugzeit eines Helikopterfluges noch 13 Minuten für den Lande- und Startzyklus addiert werden.

Es wurden keine neuen Sachbilanzdaten für Infrastrukturprozesse erstellt. Daher wurde die Produktion der Helikopter mit der Produktion eines Kurzstreckenflugzeuges gemäss Datensatz aus dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 angenähert und entsprechend dem Gewicht des Helikopters skaliert (KBOB et al. 2016). Bei der Bilanzierung des Helikopters wurden keine Verkehrsinfrastruktur und keine Entsorgung des Helikopters berücksichtigt. Es wird angenommen, dass 5 % der Helikopterproduktion für den Unterhalt gebraucht werden. Die Lärmemissionen des Helikopters wurden in grober Näherung mit den Lärmemissionen der Passagierflugzeuge gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) angenähert und mit der maximalen Besatzung und der Fluggeschwindigkeit an einen 1 h Helikopterflug angepasst. Detaillierte Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016c).

5.5.2. Flugzeug

Die Sachbilanzdaten der Flugtransporte wurden mit Transportdaten aus dem Jahr 2014 aktualisiert. Zudem wurde der Personentransport in die drei Klasse economy, business und first (letztere nur bei Interkontinentalflügen) unterteilt. Der unterschiedliche Platzbedarf war das massgebende Kriterium für die Zuordnung des Kerosinbedarfs und der Emissionen des Flugzeugs auf die Passagiere in den 2 beziehungsweise 3 Klassen. Die Sachbilanzdaten beziehen sich auf Flugtransporte ab Europa. Zur Aktualisierung wurden Daten der Lufthansa-Gruppe (Lufthansa 2015) verwendet. Gemäss Angaben des Bundesamts für Zivilluftfahrt (BAZL) wird der Treibstoffverbrauch von Flügen ab der Schweiz mit den Daten der Lufthansa-Gruppe tendenziell überschätzt[43]. Detaillierte Informationen zu den aktualisierten Daten der Flugtransporte befinden sich im Bericht von Messmer & Frischknecht (2016c). Die aktualisierte Bilanzierung des Verkehrsmittels „Flugzeug" geht von folgenden Annahmen aus:

[43] Persönliche Mitteilung Theo Rindlisbacher, BAZL, 3. Oktober 2016

- Die Herstellung eines Interkontinental-Flugzeugs wird mit einem "Airbus A340-600" angenähert, welches eine typische Bestuhlung von 380 Sitzplätzen und ein Leergewicht von 178 Tonnen aufweist. Die Herstellung des Kurzstreckenflugzeugs wird mit einem Airbus A320 bilanziert (Leergewicht von 61 t, 150 Plätze). Beide Flugzeuge bestehen zur Hauptsache aus Aluminium.
- Da ein Flugzeug in einem Flug jeweils Fracht und Passagiere transportiert, werden die Aufwendungen und Emissionen zwischen Passagieren und Fracht aufgeteilt. Die Allokationsgrösse ist ein transportierter Tonnenkilometer. Pro Passagier inkl. Gepäck und Infrastruktur an Bord wird für Langstreckenflüge mit 160 kg und für Kurzstreckenflüge mit 166 kg gerechnet.
- Der Kerosinbedarf pro Personenkilometer variiert in Abhängigkeit der Klasse zwischen 46 g und 72 g bei Kurzstrecken- und 25 g und 81 g bei Langstreckenflügen. Der durchschnittliche Kerosinbedarf pro Tonnenkilometer Fracht liegt bei 30.6 g/tkm (Kurzstrecke) beziehungsweise 19.7 g/tkm (Langstrecke) (Lufthansa 2015). Durch den höheren Start-/Landeanteil liegen die Verbrauchswerte für Kurzstreckenflüge durchwegs höher.
- Neu wird auch der Flugzeugunterhalt berücksichtigt. Es wird angenommen, dass die Aufwände für den Flugzeugunterhalt 5 % der Aufwände der Flugzeugherstellung entsprechen.
- Für die Lärmemissionen von Personenflugzeugen wird die Modellierung gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) verwendet.

5.5.3. Seilbahn

Die Ökobilanz der Seilbahnen basiert auf Daten des Schweizer Luftseilbahninventars (BAK 2011), den Geschäftsberichten der Luftseilbahn Adliswil-Felsenegg (LAF 2014), und der Luftseilbahn Kandersteg-Sunnbüel (2007) sowie Herstellerangaben. Dabei wird von einer durchschnittlichen Neigung von 40.8 % ausgegangen, sowie einer durchschnittlichen Kabinenkapazität von 35 Personen. Pro Personenkilometer (horizontal gemessen) sind 0.31 kWh Strom notwendig. Aus Budgetgründen wurde der Bau der Infrastruktur (Masten, Stationen, etc.) auf Basis vereinfachender Annahmen bilanziert. Detaillierte Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016c).

5.6. Virtuelle Mobilität: Videokonferenzen & Teleworking

Die heutige Kommunikationstechnologie bietet die Möglichkeit, die Reisetätigkeiten des Geschäfts- und Pendelverkehrs teilweise zu senken. Damit erfüllen die Technologien die Funktion eines virtuellen Transportmittels. In Abweichung der übrigen Verkehrsmittel dient bei der virtuellen Mobilität die Interaktionszeit als Bezugsgrösse. Im Rahmen des mobitool-Projektes wurden Videokonferenzen und Teleworking (Work@home) analysiert und bilanziert. Die gesamten Informationen zu den Ökobilanzen virtueller Mobilität, sind in Leuenberger et al. (2010b) dokumentiert. Die Systemspezifikationen (Anzahl Geräte, Möblierung, Strombedarfe etc.) wurden unverändert übernommen. Die Umweltkennwerte von Videokonferenzen und Teleworking wurden basierend auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 neu berechnet (KBOB et al. 2016).

Videokonferenzen: Aktuelle Internet-Technologien ermöglichen die Übermittlung von Audio- und Videodaten zwischen Teilnehmern einer Sitzung ohne Notwendigkeit der physischen Präsenz. Eine natürliche Interaktion zwischen den Teilnehmern sowie das Teilen von Bildschirminhalten sind möglich, so dass auf Reisen an Sitzungen oft verzichtet werden kann. Andererseits wird IT-Infrastruktur inklusive Datenübertragung benötigt, was mit entsprechenden Umweltauswirkungen verbunden ist:

- Das hier betrachtete System umfasst pro Teilnehmer einen Laptop mit integrierter Videokamera und Mikrofon, den Internetzugang, sowie die Kommunikationsleistung der beteiligten Server und Router.
- Bis ein Datenpaket sein Ziel erreicht, wird es von einer Reihe von Routern weitergeleitet. Somit hängt der Stromverbrauch direkt mit der Internettopologie und der geografischen Lage der Videokonferenzteilnehmer zusammen. Es wird davon ausgegangen, dass durchschnittlich 18 Router notwendig sind, um in der Schweiz eine Videokonferenz durchzuführen.
- Aufgrund der Datenverfügbarkeit wird für die Infrastruktur der Datenübertragung nur der Strom- und Materialaufwand der Router bilanziert.

Teleworking: Heutige Kommunikationstechnologien ermöglichen das tageweise Arbeiten von zu Hause. Damit muss einE MitarbeiterIn nicht zu seiner/ihrer Arbeitsstelle pendeln. Teleworking erfordert einen angemessenen Netzzugang, eine Basis-Büroinfrastruktur[44] sowie die entsprechende Kommunikationstechnologie beim Unternehmen. Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen: Die Lebensdauer eines

[44] Diese wurde in der Bilanzierung nicht berücksichtigt: Es wird davon ausgegangen, dass ein Büroarbeitsplatz unabhängig von der Teleworking-Möglichkeit am Wohnort des Mitarbeiters / der Mitarbeiterin vorhanden ist.

Laptops beträgt vier Jahre und wird jährlich während 1'850 Stunden verwendet. Die durchschnittliche Leistung des Laptops, inklusive Standby-Modus beträgt für Teleworking 14.2 W.

6. Bilanzierte Verkehrsmittel Güterverkehr

6.1. Schiene

6.1.1. Zug Schweiz

Grundsätzlich werden die Umweltauswirkungen der Bahntransporte mittels top-down-Ansatz aus der Gesamtbelastung und der Gesamttransportleistung bestimmt, für mehr Details siehe Spielmann et al. (2007) und Messmer & Frischknecht. (2016). Die Bilanzierung wurde mit Daten der SBB aus dem Jahr 2014 aktualisiert und geht von folgenden Annahmen aus:

- Verschiedene Faktoren beeinflussen den durchschnittlichen Energieverbrauch eines Güterzuges: Zuglänge, Auslastung, Witterung oder auch die Fahrpraxis der Lokmotivführer. Entsprechend den Daten der SBB Konzernstatistik (interne Access Datenbank)[45] beträgt der Stromverbrauch der Gütertransporte aktuell 0.053 kWh pro Tonnenkilometer. In diesem Wert ist der Stromübertragungsverlust zwischen Kraftwerk und Stromabnehmer inbegriffen.
- Die Entsorgung der Lokomotive und der Bahn-Trasse sind berücksichtigt, nicht jedoch die Entsorgung des Güterwagens. Ein Grund dafür ist die lange Lebensdauer von Güterwaggons und die Tatsache, dass sie überwiegend aus Stahl bestehen, welcher rezykliert wird.
- Es wird angenommen, dass der gesamte Dieselverbrauch ausschliesslich für das Rangieren der Waggons verwendet wird und dass alle Rangierlokomotiven mit Diesel betrieben werden. Daraus resultiert ein Bedarf von 0.67 g Diesel/tkm für den durchschnittlichen Eisenbahntransport in der Schweiz. Im Datensatz „Zug Schweiz, nur Elektrolok" wird der Dieselverbrauch für das Rangieren nicht berücksichtigt. Dieser Datensatz beschreibt beispielsweise die Situation im grenzüberschreitenden Transitverkehr.
- Rund 93 % der installierten Leistung der Diesellokomotiven der SBB sind mit Dieselpartikelfilter ausgerüstet. Mittels Keramikelementen können so mehr als 90 % der Partikel zurückgehalten werden und gelangen nicht in die Luft. Diese Reduktion der Feinstaubbelastung wird im durchschnittlichen Datensatz mitberücksichtigt.
- Die Lärmemissionen der Frachtzüge wurden gemäss der Modellierung von Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) in der Bilanzierung berücksichtigt.

6.1.2. Zug Europa

Die Bilanzierung des Güterverkehrs im Ausland erfolgte nach der gleichen Methodik wie der schweizerische Güterverkehr auf der Schiene. Die Daten zum Energieverbrauch und zur Transportleistung stammen aus der Publikation des internationalen Eisenbahnverbandes (UIC 2012). Die Herstellung der Fahrzeuge und der Bau der Gleisanlagen werden gemäss den von Spielmann et al. (2007) erhobenen Umweltdaten mit einbezogen. Bei der Bilanzierung wurde von folgenden Annahmen und Datenquellen ausgegangen:

- Für Deutschland und Österreich wird der länderspezifische Bahnstrommix, ansonsten die länderspezifischen Strommixe verwendet. Der Anteil Dieseltraktion wird länderspezifisch berücksichtigt: In Österreich werden ungefähr 7 % der Güter-Transportleistung mit Dieseltraktion transportiert, in Italien 2.2 % und in Deutschland rund 13 %.
- Bei den Transporten mit ausschliesslich elektrischer Traktion (z.B. Zug Deutschland, „nur Elektrolok ohne Rangierfahrten" wurde nur die anteilsmässige Transportleistung mit elektrischen Energie berücksichtigt und die Rangierfahrten wurden vernachlässigt.
- Die gesamte Bilanz bezieht sich auf eine durchschnittliche Auslastung. Diese wurde bestimmt aufgrund der Angaben zur nationalen Transportleistung (Tonnenkilometer) geteilt durch die entsprechende Fahrzeugleistung (Zugkilometer).
- Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden die Umweltbelastungen der Herstellung von Fahrzeugen und des Baus der Fahrwege mit den schweizerischen Werten angenähert.
- Die Lärmemissionen der Frachtzüge im Ausland wurden gemäss der Modellierung von Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) in der Bilanzierung berücksichtigt.

6.2. Strasse

Die wichtigste Einflussgrösse im Güterverkehr auf der Strasse ist die durchschnittliche Auslastung. So kann durch ein optimiertes Flottenmanagement die Anzahl Fahrten reduziert werden, so dass entsprechend weniger, dafür schwerere Fahrzeuge unterwegs sind. Ein Bericht vom Bundesamt für Raument-

[45] Persönliche Mitteilung Fabian Scherer, SBB, 20.Oktober 2015.

wicklung ARE (2004) zeigt, dass unter anderem durch die Einführung der LSVA im Jahr 2001 eine Reduktion von 9 % der Fahrleistung erreicht werden konnte.

6.2.1. Kleintransporter (<3.5t)

Die Sachbilanz der Herstellung und des Betriebs von Kleintransportern mit einem Gesamtgewicht von unter 3.5 Tonnen wurde aktualisiert. Die Herstellung des Kleintransporters wurde neu entsprechend der Struktur der Herstellung von Personenwagen modelliert. Das Fahrzeuggewicht beträgt 2.15 Tonnen.[46] Der Kleintransporter weist somit eine maximale Nutzlast von 1.35 Tonnen auf. Durchschnittlich werden in einem Kleintransporter rund 230 kg an Nutzlast transportiert. Dementsprechend hoch sind die Aufwendungen pro Tonnenkilometer. Die in der Schweiz eingesetzten Kleintransporter werden zu 85 % mit Diesel und zu 15 % mit Benzin betrieben. Der bilanzierte durchschnittliche Kleintransporter hat einen Treibstoffverbrauch von 9.0 Litern pro 100 km (INFRAS 2014). Die Lärmemissionen des Kleintransporters entsprechen ungefähr jenen eines durchschnittlichen Personenwagens.

6.2.2. Durchschnittlicher Lastwagen

Die Bilanzierung eines durchschnittlichen Lastwagens wurde basierend auf dem Flottenmix der schweizerischen Lastwagen mit einem Gesamtgewicht von 3.5-40 t im Jahr 2015 gemäss dem Handbuch für Emissionsfaktoren aktualisiert (INFRAS 2014; Stolz et al. 2016). Ein durchschnittlicher Lastwagen wird aus den im ecoinvent-Datenbestand v3.1 enthaltenen Gewichts- und Emissionsklassen sowie den neu modellierten Lastwagentransporten zusammengesetzt (Stolz et al. 2016).

Insgesamt wurde durch Lastwagen im Jahr 2013 eine Transportleistung von 17'140 Millionen Tonnenkilometer mit 6'117 Millionen Fahrzeugkilometer erbracht (BFS 2015d; BFS 2015a). Dies ergibt eine durchschnittliche Auslastung von 2.80 Tonnen pro Fahrzeug.

Zusätzlich zum durchschnittlichen Lastwagen, der den Flottenmix der Fahrzeuge in der Schweiz im Jahr 2015 abbildet, sind neu durchschnittliche Datensätze für jede Gewichtsklasse von Lastwagen verfügbar. Im Flottenmix sind nur Lastwagen bis zu einem Gesamtgewicht von 40 t enthalten, da in der Schweiz keine Lastwagen mit einem höheren Gewicht zugelassen sind. Die Umweltkennwerte von Lastwagentransporten mit einem Gesamtgewicht über 40 t werden im Flottenmix nicht berücksichtigt und sind nur spezifisch pro Gewichts- und Emissionsklasse vorhanden.

6.2.3. Lastwagen (3.5-7.5 t, 7.5-16 t, 16-32 t, 32-40 t, 40-50 t, 50-60 t)

Die Bilanzierung des Strassengüterverkehrs wurde im ecoinvent-Datenbestand v3.1 aktualisiert und im Rahmen des mobitool-Projekts in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet (ecoinvent Centre 2014; KBOB et al. 2016). Neu werden die folgenden Gewichtsklassen von Lastwagen unterschieden: 3.5-7.5 t, 7.5-16 t, 16-32 t, 32-40 t, 40-50 t und 50-60 t. Zusätzlich sind in jeder Gewichtsklasse die Emissionsklassen Euro 3 bis Euro 6 verfügbar. Die Gütertransporte mit Lastwagen ab einem Gesamtgewicht von 32 t wurden im Rahmen der mobitool-Aktualisierung neu modelliert und disaggregiert (Stolz et al. 2016). Die Bilanzierung der Zugmaschine wurde nicht angepasst und entspricht einem Volvo-Lastwagen. Alle Fahrzeuge weisen eine durchschnittlich Lebensdauer von 540'000 Fahrzeugkilometer auf. Die durchschnittliche Auslastung von Lastwagen wurde mit dem Transport- und Emissionsmodell Tremove bestimmt (TREMOVE 2009) und entspricht dem europäischen Durchschnitt. Die Lastwagen werden auch im grenzüberschreitenden Güterverkehr eingesetzt und die durchschnittliche Auslastung von Lastwagen in der Schweiz ist mit jener in anderen europäischen Ländern vergleichbar. Für die betrachteten Gewichtsklassen sind keine spezifischen Auslastungsdaten für die Schweiz verfügbar. Die Kenngrössen der in mobitool enthaltenen durchschnittlichen Lastwagen sind in Tab. 6.1 zusammengefasst.

[46] ASTRA: MOFIS 2015, persönliche Mitteilung Christoph Schreyer, Bundesamt für Energie BFE, 31.05.2016.

Tab. 6.1: Kenngrössen von durchschnittlichen Lastwagen (Stolz et al. 2016)

Gewichtsklasse	Durchschnittliche Beladung [t]	Kapazität [t]	Dieselverbrauch [L/tkm]
3.5-7.5 t	0.98	2.5	0.131
7.5-16 t	3.3	6.9	0.056
16-32 t	5.8	12.3	0.044
32-40 t	11.6	23	0.027
40-50 t	15	30	0.021
50-60 t	18.5	37	0.021

Der Datensatz für den Gütertransport mit einem mit Rapsmethylester betriebenen Lastwagen ist im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 enthalten. Um die Vergleichbarkeit der Umweltkennwerte mit den übrigen Lastwagentransporten mit einem Gesamtgewicht von 16-32 t zu gewährleisten, wurden die Umweltauswirkungen des Fahrzeugs, des Fahrzeugunterhalts und der Strasseninfrastruktur mit den entsprechenden Datensätzen für konventionelle Lastwagen berechnet.

6.2.4. Müllsammelwagen, 21 t

Die Bilanzierung des Müllsammelwagens mit einem Gesamtgewicht von 21 t wurde von Spielmann et al. (2007) erstellt und ist im KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 enthalten (KBOB et al. 2016).

6.3. Non-Road

6.3.1. Baumaschine

Die Umweltkennwerte von Baumaschinen beziehen sich auf 1 MJ Diesel, der während des Betriebs verbraucht wird. Es wurde eine durchschnittliche Baumaschine mit einem Gewicht von 10.0 t bilanziert. Bagger sind in diesem Durchschnitt nicht berücksichtigt, da für den maschinellen Aushub separate Datensätze erstellt wurden (siehe Abschnitt 6.3.2). Die Sachbilanz der Herstellung der Baumaschine wurde aus dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 übernommen. Es wird angenommen, dass die Lebensdauer der Baumaschine 10'000 Betriebsstunden beträgt (Kellenberger et al. 2007). Der Treibstoffverbrauch und die Emissionsfaktoren für die wichtigsten Luftschadstoffe wurden aus der schweizerischen Non-Road-Datenbank[47] entnommen. Es wurden Datensätze für Baumaschinen mit und ohne Partikelfilter erstellt. Dabei sind letztere teilweise auch mit Partikelfilter ausgerüstet, falls dies gesetzlich verlangt ist. Der Anteil der Baumaschinen mit Partikelfilter in der Schweiz im Jahr 2015 beträgt 92 %[47]. Der durchschnittliche Dieselverbrauch von Baumaschinen mit Partikelfilter beträgt 299 MJ/h (ca. 8.3 L/h) und ist damit leicht höher als der Treibstoffverbrauch von Baumaschinen ohne Partikelfilter (290 MJ/h bzw. 8.1 L/h). Die Lärmemissionen von Baumaschinen wurden mit jenen von Lastwagen modelliert und als proportional zum Treibstoffverbrauch angenommen. Die Datensätze zum Betrieb von Baumaschinen sind im Bericht von Stolz et al. (2016) ausführlich beschrieben.

Beim Indikator Gesamtumweltbelastung (UBP'13) ist der Unterschied der Umweltkennwerte von Baumaschinen mit und ohne Partikelfilter gering. Der wichtigste Grund dafür ist, dass die Emissionen von Dieselruss in der implementierten Methode nicht bewertet werden. Der Einfluss des Partikelfilters wird vor allem bei der Wahl des Indikators Partikelemissionen (PM2.5 oder PM10) deutlich sichtbar. Baumaschinen mit Partikelfilter haben ungefähr zehnmal tiefere Partikelemissionen im Betrieb als Baumaschinen ohne Partikelfilter.

6.3.2. Aushub maschinell

Die Umweltkennwerte von Baggern beziehen sich auf 1 m^3 Aushubvolumen. Es wurde ein durchschnittlicher Datensatz für den maschinellen Aushub mit Raupen- und Radbaggern erstellt. Die bilanzierten Bagger haben ein Gewicht von 15.0 t und eine Aushubleistung von 100 m^3/h (Nennleistung: 75-130 kW). Es wird angenommen, dass die Lebensdauer der Bagger 10'000 Betriebsstunden beträgt (Kellenberger et al. 2007). Die Sachbilanz der Herstellung der Bagger wurde aus dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 übernommen. Der Treibstoffverbrauch und die Emissionsfaktoren für die wichtigsten Luftschadstoffe wurden aus der schweizerischen Non-Road-Datenbank[47] entnommen. Es wurden Datensätze

[47] Siehe http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/06906/offroad-daten/index.html?lang=de, Zugriff am 21.03.2016

für Bagger mit und ohne Partikelfilter erstellt. Dabei sind letztere teilweise auch mit Partikelfilter ausgerüstet, falls dies gesetzlich verlangt ist. Der Anteil der Baumaschinen mit Partikelfilter in der Schweiz im Jahr 2015 beträgt 98 %[47]. Der durchschnittliche Dieselverbrauch von Baggern mit Partikelfilter beträgt 11.3 L/h. Die Lärmemissionen von Baggern wurden mit jenen von Lastwagen modelliert und als proportional zum Treibstoffverbrauch angenommen. Die Datensätze zum Betrieb von Baggern sind im Bericht von Stolz et al. (2016) ausführlich beschrieben.

Wie für Baumaschinen im Abschnitt 6.3.1 beschrieben, ist der Unterschied zwischen maschinellem Aushub mit bzw. ohne Partikelfilter vor allem beim Indikator Partikelemissionen (PM2.5 oder PM10) deutlich sichtbar.

6.4. Kombinierter Verkehr: rollende Landstrasse (RoLa) und Huckepack-Transport

Im kombinierten Verkehr werden die Vorteile von jedem Transportmittel auf den entsprechenden Teilstrecken optimal ausgenutzt. So kann beispielsweise auf dem Rhein eine sehr grosse Transportmenge mit geringem Personalaufwand einfach transportiert werden. Die Geschwindigkeit ist jedoch eingeschränkt. Die Bahn transportiert vorwiegend grössere Transportmengen, benötigt aber einen etwas höheren Personalbedarf. Im Vergleich zur Binnenschifffahrt kann die Bahn auf ein wesentlich dichteres Netz von Verladestationen zugriefen (VöV 2009). Im Folgenden wird der kombinierte Verkehr aus Sicht der Bahn betrachtet, wo der gesamte Container inkl. Sattelauflieger / Zugmaschine auf die Schiene verladen werden.

Rollende Landstrasse: Die Rollende Landstrasse (kurz RoLa) transportiert komplette Lastwagen auf dem Zug. In der Schweiz wird eine Rollende Landstrasse zwischen Freiburg im Breisgau (Deutschland) und Novara (Italien) betrieben: Auf mehr als 5'000 Zügen werden jährlich rund 160'000 Container zwischen den beiden Ver- und Entladeterminals transportiert. Damit können ungefähr 10 % des alpenquerenden Verkehrs der Schweiz mit der rollenden Landstrasse abgedeckt werden. Für die Bilanzierung wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Geeignete Niederflurwagen mit kleinem Raddurchmesser erlauben eine einfache Be- und Entladung: Am Zielterminal verlässt der Lastwagen den Zug einfach aus eigener Kraft, es ist kein Hebekran erforderlich. Die Fahrer sind während der Fahrt in einem zusätzlich angehängten Begleitwagen (Sitz- oder Liegewagen) untergebracht.
- Neben dem Container mit der Nutzlast werden auch die Lastmaschine und der Sattelauflieger auf den Zug verladen. Für die Berechnung wird von einem durchschnittlichen Gewicht der Zugmaschine von 11 Tonnen ausgegangen, der Anhänger selbst weist ein Gewicht von etwa 6 Tonnen auf. Mit einer durchschnittlichen Nutzlast von 11.6 Tonnen (durchschnittliche Nutzlast von einem Sattelzug, siehe Tab. 6.1) und einem Gewicht des Eisenbahnwagens von 12 Tonnen ergibt sich ein Bruttogewicht von 40.6 Tonnen. Der Ladefaktor beträgt also 0.285.
- Der Transport der Rollenden Landstrasse wird mit dem durchschnittlichen schweizerischen Güterzug angenähert, auf eine Bilanzierung der Zulaufstrecken in Deutschland und Italien wird verzichtet. Der schweizerische Güterwagen weist im Durchschnitt ein Ladefaktor von 0.43 auf, damit ist die Auslastung der rollenden Landstrasse entsprechend geringer. Sie beträgt nur rund 66.3 % der durchschnittlichen Auslastung von einem schweizerischen Güterwagen (0.285/0.43). Die Neuberechnung mittels der veränderten Auslastung wird analog zum Unterkapitel 3.3 vorgenommen.
- Der Energiebedarf der rollenden Landstrasse basiert auf dem Energieverbrauch eines schweizerischen Güterwagens (0.053 kWh/tkm) pro tkm beträgt dadurch für die Rollende Landstrasse 0.080 kWh/tkm.

Huckepack-Transport: Beim Huckepackverkehr wird die Zugmaschine nicht auf den Zug verladen, sondern bleibt am Ort. Der Vorteil vom Huckepackverkehr besteht in der Koppelung des Containers an den Sattelauflieger: So müssen am Entladeort keine Umladeaktionen mehr vorgenommen werden und der Nachlauf mit dem Lastwagen kann innert kürzester Zeit beginnen. Im Rahmen des mobitool-Projektes wird folgendes angenommen:

- Die Bilanzierung folgt analog der Rollenden Landstrasse (siehe oben). Allerdings beträgt hier das Bruttogewicht 29.9 Tonnen, während die Nutzlast unverändert bei 11.6 Tonnen angenommen wird. Damit erreicht der Huckepack-Transport einen durchschnittlichen Ladefaktor von 0.389.
- Im Vergleich zum normalen Gütertransport auf der Schiene beträgt damit die Auslastung 90.5%, die Berechnung erfolgt aufgrund einer Skalierung des normalen Güterzuges analog des vorgestellten Ansatzes in Unterkapitel 3.3.

6.5. Schiff

Die Bilanzierung des Schiffsgüterverkehrs wird einerseits für Containerschiffe, Frachtschiffe und Tanker vorgenommen, welche auf Hochsee verkehren. Andererseits spielt die Binnenschifffahrt je nach Transportgut ebenfalls eine gewichtige Rolle[48] und wird deshalb ebenfalls aufgeführt. Der Schiffstransport wurde mit neuen Betriebs- und Verbrauchsdaten modelliert. Zudem wurde neu der Überseetransport mit Containerschiffen modelliert. Detaillierte Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016a). Die Bilanzierung basiert auf folgenden Daten und Annahmen:

- Pro Tonnenkilometer Transport auf See benötigt ein Containerschiff rund 3.8 g Schweröl, ein Tankschiff 1.4 g/tkm und ein Frachtschiff 1.5 g/tkm
- Pro Tonnenkilometer Transport auf Binnengewässern (Rhein) benötigt ein Binnenfrachter 8 g/tkm Diesel, ein Binnentankschiff 9.7 g/tkm.
- Das durchschnittliche Containerschiff weist eine Ladekapazität von gut 65'000 Tonnen auf und ist rund 12'000 Tonnen schwer. Der durchschnittliche Tanker weist eine Ladekapazität von gut 200'000 Tonnen auf und das durchschnittliche Frachtschiff hat eine Ladekapazität von 100'000 Tonnen. Ein Binnenschiff (beispielsweise für den Rhein) hat eine Ladekapazität von knapp 2'000 Tonnen. Alle Datensätze berücksichtigen die Herstellung des Schiffes. Bei den Hochseeschiffen wird die Entsorgung in Indien berücksichtigt. Detaillierte Informationen befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016a).
- Lärmemissionen werden in der Bilanzierung des Schifftransports nicht berücksichtigt.

6.6. Luftverkehr

6.6.1. Flugzeuge

In einem Passagierflugzeug werden neben Personen praktisch immer auch Güter transportiert. Aus diesem Grund werden die Aufwendungen und Emissionen entsprechend der Transportleistung zwischen Güter- und Personenfracht aufgeteilt. Weitere Details sind im Abschnitt 5.5.2 (Passagierflugverkehr) zu finden.

6.6.2. Helikopter

Für die Bilanzierung von Lastflügen in der Schweiz wurde ein einmotoriger Helikopter (1.3 Tonnen) bilanziert. Pro Flugstunde beträgt der Treibstoffbedarf 133 kg. Für Lastflüge werden Flugrotationen ohne Lande- und Startzyklen angenommen.

Im Rahmen des Projekts wurden keine neuen Sachbilanzen für Infrastrukturprozesse erstellt. Daher wurde die Produktion des Helikopters mit der Produktion eines Kurzstreckenflugzeuges gemäss Datensatz aus dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 angenähert und mit dem Gewicht des Helikopters skaliert (KBOB et al. 2016). Bei der Bilanzierung des Helikopters wurden keine Verkehrsinfrastruktur und keine Entsorgung des Helikopters berücksichtigt. Es wird jedoch angenommen, dass 5 % der Helikopterproduktion für den Unterhalt gebraucht werden. Die Lärmemissionen des Helikopters wurden mit den Lärmemissionen der Frachtflugzeuge gemäss Frischknecht und Büsser Knöpfel (2013) angenähert und mit der maximalen Last und der Flug-geschwindigkeit an 1 h Helikopterflug angepasst. Detaillierte Informationen zur Bilanzierung befinden sich im Bericht von Messmer und Frischknecht (2016c).

[48] So werden beispielsweise etwa 19 % des Rohöls mittels Binnenschiffen in die Schweiz transportiert (EV/UP 2014).

7. Literatur

Ager-Wick Ellingsen L., Majeau-Bettez G., Singh B., Kumar Srivastava A., Valøen L. O. and Hammer Strømman A. (2014) Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *In: Journal of Industrial Ecology*, **18**(1), pp., retrieved from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12072/abstract.

Althaus H.-J. and Gauch M. (2010) Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität - Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen. Technologie und Gesellschaft, Empa, Dübendorf.

ARE (2004) Entwicklung des Strassengüterverkehrs nach Einführung von LSVA und 34t-Limite: Analyse wichtiger Einflussfaktoren. Bundesamt für Raumentwicklung, Bern CH, retrieved from: http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/614.pdf.

ASTRA (2013) Übersicht über die aktuelle Situation betreffend Abgas- und Lärmverhalten sowie Vorschriften und Prüfverfahren der Motorräder und Motorfahrräder. Bundesamt für Strassen, Bern, retrieved from: http://www.astra.admin.ch/dienstleistungen/00125/00416/00431/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCEdYF8hGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--.

BAFU (2011) Switzerland's Informative Inventory Report 2011 (IIR) - Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. INFRAS consulting group, Zurich & Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Non-Ionising Radiation Division, Berne.

BAFU (2016a) Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO2-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013-2020). Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, retrieved from: http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/14486/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHeXt2hGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--.

BAFU (2016b) Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2014: National Inventory Report 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/15473/index.html?lang=en&download=NHzLpZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1ad1IZn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHeoB5hGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--.

BAK (2011) Schweizer Seilbahninventar. Bundesamt für Kultur.

BFE (2012) Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor- Resultate 2011. Bundesamt für Energie, Bern.

BFE (2013) Umfrage Stromkennzeichnung 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_601536971.pdf.

BFE (2015a) Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.

BFE (2015b) Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014: 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung. Bundesamt für Energie BFE, Bern CH, retrieved from: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_297040819.pdf&endung=Energieverbrauch%20und%20Energieeffizienz%20der%20neuen%20Personenwagen%202014.

BFE (2015c) Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2014. 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung. Bundesamt für Energie BFE, Bern CH, retrieved from: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_297040819.pdf&endung=Energieverbrauch%20und%20Energieeffizienz%20der%20neuen%20Personenwagen%202014.

BFS (2014) Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Personenverkehr. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/04/blank/01.Document.21295.xls.

BFS (2015a) Leistungen im Güterverkehr: Fahrleistung der in- und ausländischen Fahrzeuge nach Fahrzeugart. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/lex/0.Document.86254.xls.

BFS (2015b) Verkehrsleistung im Personenverkehr. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/lex/0.Document.21297.xls.

BFS (2015c) Fahrzeugbewegungen und Fahrleistungen im Personenverkehr. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/lex/0.Document.21295.xls.

BFS (2015d) Leistungen im Güterverkehr: Transportleistung der in- und ausländischen Fahrzeuge nach Fahrzeugart. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/lex/0.Document.86258.xls.

BFS/ARE (2010a) Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010: Tagesdistanz pro Person nach Verkehrsmittel und Verkehrszweck. Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel / Bern, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/01.Document.155249.xls.

BFS/ARE (2010b) Durchschnittlicher Besetzungsgrad von Personenwagen (in Personen pro Auto, distanzgewichtet). Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel / Bern, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/01.Document.156516.xlsx.

BFS/ARE (2012) Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung, Neuchâtel, Bern, retrieved from: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/07/01/02/05.html.

BUWAL and INFRAS (2004) HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1. BUWAL, Bern.

Daimler AG (2015) Der smart fortwo. Einzigartig in der Stadt. Daimler AG, Stuttgart DE, retrieved from: https://www.smart.com/content/dam/smart/HQ/de/PDF/smart_fortwo_Katalog_MY_2015_A_CH_Web_PDF_150dpi.pdf.

DB (2014) Jahresbericht 2014. Deutsche Bahn.

Del Duce A., Gauch M. and Althaus H.-J. (2014) Electric passenger car transport and passenger car life cycle inventories in ecoinvent version 3. *In: International Journal of Life Cycle Assessment*, pp., DOI 10.1007/s11367-014-0792-4.

DIN (2013) Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr); Deutsche Fassung EN 16258:2012. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.

ecoinvent Centre (2014) ecoinvent data v3.1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zürich, Switzerland, retrieved from: www.ecoinvent.org.

EnergieSchweiz für Gemeinden, Stadt Zürich and Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2014) Bilanzierungskonzept 2000-Watt-Gesellschaft, Kurzfassung zur Langversion vom September 2014. EnergieSchweiz für Gemeinden, Stadt Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Ettenhausen.

European Union (2007) REGULATION (EC) No 175/2007 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 June 2007on type approval of motor vehicles with respect to emissions from light passenger and commercial vehicles (Euro 5 and Euro 6) and on access to vehicle repair and maintenance information. European Union, Brussels, retrieved from: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0715&from=de.

European Union (2013) REGULATION (EU) No 168/2013 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 15 January 2013 on the approval and market surveillance of two- or three-wheel vehicles and quadricycles. European Union, Brussels.

Eurostat (2015) Energy balance sheets: 2013 data. Eurostat, Luxemburg, retrieved from: http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/6898731/KS-EN-15-001-EN-N.pdf/e5851c73-9259-462e-befc-6d037dc8216a.

EV/UP (2014) Jahresbericht 2014. Erdöl-Vereinigung, Zürich, retrieved from: https://www.erdoel.ch/images/com_evdocs/ev_jahresbericht_2014.pdf.

Fiebig A. (2012) Scooters: Noise of electric and combustion powered scooters. PTW noise levels, resulting annoyance and potential for reduction. HEAD acoustics GmbH, Stockholm, retrieved from: http://www.cityhush.eu/downloads/141212/07_Fiebig-Noiseofelectricandcombustionpoweredscooters.pdf.

FOCA (2016) Emission of Helicopters. Federal Office of Civil Aviation FOCA.

Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Frischknecht R. (2010) LCI modelling approaches applied on recycling of materials in view of environmental sustainability, risk perception and eco-efficiency. *In: Int J LCA*, **15**(7), pp. 666-671, retrieved from: DOI: 10.1007/s11367-010-0201-6.

Frischknecht R., Stucki M. and Itten R. (2011) Primärenergiefaktoren von Transportsystemen, Version 2.2. im Auftrag des Bundesamtes für Energie BfE, ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: http://www.esu-services.ch/publications/energy/.

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 R., Wyss F., Buesser S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. *In: Int J LCA*, **20**(7), pp. 957-969, DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4.

Habermacher F. and Hellweg S. (2011) Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Passenger Cars. ETH Zürich, Zürich.

Hubbert M. K. (1949) Energy from Fossil Fuels. *In: Science*, **109**(2823), pp. 103-109.

ICCT (2015) From Laboratory to Road- A 2015 update of official and "real-world" fuel consumption and CO_2 values for passenger cars in Europe. International Council on Clean Transportation Europe, Berlin.

IFEU, INFRAS and IVE (2014) EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports. IFEU, INFRAS, IVE, Heidelberg DE, Berne CH, Hannover DE.

INFRAS (2014) HBEFA Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 3.2, Bern, CH.

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., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C. and Sutter J. (2007a) Life Cycle Inventories of Bioenergy. ecoinvent report No. 17, v2.0. ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

Jungbluth N., Frischknecht R., Faist Emmenegger M., Steiner R., Tuchschmid M. and Schmutz S. (2007b) Life Cycle Assessment of BTL-fuel production: Final Report. RENEW - Renewable Fuels for Advanced Powertrains, Sixth Framework Programme: Sustainable Energy Systems, Deliverable: D 5.2.15. ESU-services, Uster, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/renew/.

KBOB, eco-bau and IPB (2016) KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.

Kellenberger D., Althaus H.-J., Jungbluth N., Künniger T., Lehmann M. and Thalmann P. (2007) Life Cycle Inventories of Building Products. ecoinvent report No. 7, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

KEV (2011) Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) Geschäftsbericht 2011. Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Frick, CH, retrieved from: http://www.stiftung-kev.ch/berichte/jahresberichte.html.

Knörr W. and Hüttermann R. (2015) EcoPassenger: Environmental Methodology and Data. Update 2015. ifeu, Heidelberg, retrieved from: http://ecopassenger.hafas.de/bin/help.exe/en?L=vs_uic&tpl=methodology.

LAF (2014) Geschäftsbericht 2014. Luftseilbahn Adliswil- Felsenegg LAF AG, Zürich.

Leuenberger M. and Frischknecht R. (2010a) Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles. implemented in ecoinvent data v2.2 (2010). ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/ecoinventdatenbank/ecoinvent-reports/.

Leuenberger M. and Frischknecht R. (2010b) Life Cycle Assessment of Virtual Mobility. implemented in ecoinvent data v2.2 (2010). ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/ecoinventdatenbank/ecoinvent-reports/.

Leuenberger M. and Frischknecht R. (2010c) Life Cycle Assessment of Battery Electric Vehicles and Concept Cars. implemented in ecoinvent data v2.2 (2010). ESU-services, Uster, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/projects/ecoinventdatenbank/ecoinvent-reports/.

Lufthansa (2015) Balance, Das Wichtigste zum Thema Nachhaltigkeit in der Lufthansa Group. Lufthansa Group, Frankfurt am Main.

Luftseilbahn Kandersteg-Sunnbüel (2007) Luftseilbahn Kandersteg-Sunnbüel (Kenndaten). Luftseilbahn Kandersteg-Sunnbüel, Kandersteg CH.

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 A. and Frischknecht R. (2016a) Life Cycle Inventories of Water Transport Sevices.

Messmer A. and Frischknecht R. (2016b) Life cycle inventories of rail transport services. treeze Ltd.
Messmer A. and Frischknecht R. (2016c) Life Cycle Inventories of Air Transport Services.
Newman S. (2008) The Final Energy Crisis. PlutoPress, London UK.
PSI (2007) Die 2000-Watt-Gesellschaft: Norm oder Wegweiser? Paul Scherrer Institut PSI, Villigen CH, retrieved from: https://www.psi.ch/info/MediaBoard/Energiespiegel_Nr18_04_2007_d.pdf.
PSI (2008) Vorsicht Feinstaub. Paul Scherrer Institut PSI, Villigen CH, retrieved from: https://www.psi.ch/info/MediaBoard/Energiespiegel_Nr19_07_2008_d.pdf.
SBB (2014) Zahlen & Fakten 2014. Kommunikation Schweizerische Bundesbahnen, Bern.
Simons A. (2016) Road transport: new life cycle inventories for fossil-fuelled passenger cars and non-exhaust emissions in ecoinvent v3. *In: International Journal of Life Cycle Assessment*, **21**(9), pp. 1299-1313, 10.1007/s11367-013-0642-9.
Sommer H., Lieb C., Amacher M., Maibach M., Sutter D., Bieler C., Zandonella R., Heldstab J., Röösli M., Vienneau D., Perez L., Buser H. and Künzle T. (2014) Externe Effekte des Verkehrs 2010: Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Ecoplan / Infras, Bern / Zürich CH.
Spielmann M., Roberto Dones, Bauer C. and Tuchschmid M. (2007) Life Cycle Inventories of Transport Services. ecoinvent report No. 14, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
Stolz P. and Frischknecht R. (2015) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011. treeze Ltd., Uster, CH.
Stolz P. and Frischknecht R. (2016) Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2016 der Strom- und Treibstoffbereitstellung. treeze Ltd., Uster, CH.
Stolz P., Messmer A. and Frischknecht R. (2016) Life Cycle Inventories of Road and Non-Road Transport Services. treeze Ltd., Uster CH.
TREMOVE (2009) TREMOVE Emission data, v2.7. Transport & Mobility Leuven, Leuven, Belgium, retrieved from: www.tremove.org/model/index.htm.
Tuchschmid M. (2010) Carbon Footprint of High-Speed railway infrastructure (Pre-Study). Commissioned by International Union of Railways (UIC), Zurich.
UBA (2016) Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
UIC (2012) International Railway Statistics. International Union of Railways.
UVEK (2014) Verordnung des UVEK über den Nachweis der Produktionsart und der Herkunft von Elektriziätt (Herkunftsnachweis-Verordnung, HKNV). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bern CH, retrieved from: https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20063055/201401010000/730.010.1.pdf.
VCS (2015) Auto Umweltliste 2015, März 2015. VCS Verkehrsclub der Schweiz.
VOCV (2013) Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen vom 12. November 1997 (Stand am 1. März 2013). 814.018. Schweizerischer Bundesrat.
von Rozycki C., Koeser H. and Schwarz H. (2003) Ecology profile of the german high-speed rail passenger transport system, ICE. *In: International Journal of Life Cycle Assessment*, **8**(2), pp. 83-91.
VöV (2009) Manual Schienengüterverkehr Schweiz. Eine Einführung für die Praxis, Politik und Medien. Verband öffentlicher Verkehr VöV, Bern CH.
VUE (2012) Der Markt für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien im Jahr 2011. energie schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Zürich, CH, retrieved from: http://www.naturemade.ch/Dokumente/Kommunikation/%C3%96kostromumfrage/Marktumfrage11_d.pdf.
VW (2016) Technik und Preise Der e-Golf.
ZSG (2014) Jahresbericht 2014. Zürcher Schifffahrts Gesellschaft.
ZVV (2014) Jahresbericht 2014. Zürcher Verkehrsverbund, Zürich.

8. Anhang

8.1. Verwendete Energiekennwerte und Umrechnungsfaktoren

Die Energiewerte für den Betrieb der Fahrzeuge ohne Vorkette werden direkt aus den entsprechenden ecoinvent-Sachbilanzen und Begleitberichten entnommen und in MJ-Äquivalente umgerechnet. Dabei werden die in Tab. 8.1 enthaltenen Umrechnungsfaktoren genutzt.

Tab. 8.1: Umrechnungsfaktoren für Energieträger, Quelle: Frischknecht et al. (2007)

Energieträger für Traktionsenergie	Einheit	Entsprechende MJ-Äquivalente
Elektrische Energie	Kilowattstunde	1 kWh = 3.6 MJ
Diesel-Treibstoff (1 Liter = 0.84 kg)	Liter	1 Liter = 9.99 kWh 1 Liter = 36.0 MJ
	Kilogramm	1 Kilogramm = 42.8 MJ
Benzin-Treibstoff (1 Liter = 0.75 kg)	Liter	1 Liter = 8.85 kWh 1 Liter = 31.9 MJ
	Kilogramm	1 Kilogramm = 42.5 MJ
Kerosin-Treibstoff Flugzeug	Kilogramm	1 Kilogramm = 43.0 MJ

8.2. Strommix

Eine genaue Abbildung des Strommixes in einer Ökobilanz ist schwierig, da aus physikalischen Gründen der Strom jeweils an den Verbrauchsort fliesst. Die Richtung des Stromflusses lässt sich somit nicht kontrollieren, notwendige Bedingung ist jedoch, dass die Produktion dem Bedarf nachgeführt wird (mit den entsprechenden kurz-, mittel- und langfristigen Regelkapazitäten). In ganz Europa wird das Stromnetz für Industrie und Haushalte mit einer Frequenz von 50 Hz betrieben, während das Eisenbahnnetz in einigen Ländern mit anderen Frequenzen, resp. mit Gleichstrom betrieben wird[49]. Durch den europäischen Stromaustausch ergeben sich Unterschiede zwischen Produktion und Verbrauch in einem Land. So bezieht beispielsweise Italien einen grossen Teil seines Elektrizitätsbedarfs von Frankreich, während die Schweiz im Sommer Energie dank den Speicherkraftwerken exportiert und im Winter via Frankreich einkauft.

Dem Strommix kommt in Ökobilanzstudien eine hohe Bedeutung zu. Seit November 2006 besteht für die schweizerischen Elektrizitätswerke die Pflicht zur Deklaration der Elektrizität (UVEK 2014). Basis bildet die Energiebuchhaltung jedes Energieversorgers, in der über den Verbrauch und den Verkauf der Elektrizität Buch geführt wird. Durch den Einkauf von entsprechenden Zertifikaten[50] ist es auch einem Energieversorger ohne eigene Produktionsanlagen möglich, seinen Kunden erneuerbaren Strom anzubieten.

Im mobitool-Projekt werden drei verschiedene Strommixe benutzt: So bildet der Verbrauchsmix der schweizerischen Bahnen die Basis für die gesamten Bahntransporte. Für Elektrofahrzeuge auf den Strassen ist der schweizerische Verbrauchermix relevant. Falls ein Kunde bewusst Ökostrom einkauft, so soll dieser Strommix berücksichtigt werden. In den mobitool-Faktoren hat ein Kunde zudem die Möglichkeit, seinen eigenen, firmenspezifischen Verbrauchermix einzugeben. In den nachfolgenden Abschnitten wird jeweils kurz auf die Datenquellen und Annahmen eingegangen. Den drei Strommixen gemeinsam ist die Bilanzierung der Verluste durch die Übertragung und Verteilung sowie durch Speicher- und Zulieferpumpen und der Stromübertragungsinfrastruktur gemäss dem entsprechenden ecoinvent-Bericht (Itten et al. 2014).

8.2.1. Verbrauchsmix SBB, inkl. BLS (16.7 Hz)

Die Elektrizität der SBB und BLS besteht zu einem grossen Teil aus Wasserkraft: Gut 96% des Bahnstromes wird mit eigenen oder Partnerwasserkraftwerken produziert. Der Restanteil an Elektrizität wird mit Kernkraft gedeckt, was insgesamt eine tiefe Klimabelastung ergibt: Eine Kilowattstunde Elektrizität ist mit ei-

[49] Diese Unterschiede sind vor allem historisch begründet: Zu Beginn der Elektrifizierung der Eisenbahnen waren die Schaltungselemente noch nicht für einen 50 Hz-Betrieb geeignet. So wird nun sowohl das Netz der Bahnen in der Schweiz, wie auch in Deutschland und Österreich mit einer Frequenz von 16.7 Hz betrieben. Zur Erhöhung der Versorgungssicherheit und Kapazitätsreserven bestehen einzelne Übergangsstationen zwischen dem 50 Hz- und dem 16.7 Hz-Netz.

[50] Wie beispielsweise RECS- oder Ökostrom-Zertifikate

nem Ausstoss von 5.7 g CO_2-Äquivalenten verbunden. Der (gleiche) Bahnstrom wird vom Infrastrukturbetreiber allen Eisenbahnunternehmen auf dem Netz der SBB und BLS geliefert, die RhB betreibt eine eigene Bahnnetzinfrastruktur. Weitere Details zum Bahnstrommix 2014 finden sich im Bericht „Life cycle inventories of rail transport services" (Messmer & Frischknecht 2016b).

8.2.2. Verbrauchsmix ausländischer Bahnstrom (DE, AT, IT und FR)

Der Bahnstrommix der Deutschen Bahn setzt sich folgendermassen zusammen: 37% Kohlekraft, 6% Erdgas, 16% Nuklearstrom, 13% Windkraft, 5% Wasserkraft, 9% Solarstrom und 12% Biomasse (DB 2014)

Der Bahnstrommix der ÖBB setzt sich nach Angaben von (UIC 2012) folgendermassen zusammen: 7.5% Erdgas, 1.2% Windkraft, 89% Wasserkraft, 1% Biomasse und 0.1% Solar, 1.2% weitere.

In Frankreich und Italien wird kein bahnspezifischer Strommix eingesetzt. Für Bahntransporte in diesen Ländern wird der nationale Liefermix eingesetzt.

8.2.3. Verbrauchermix Schweiz (50 Hz)

Der Verbrauchermix der Schweiz basiert auf der Erhebung des Bundesamtes für Energie im Jahr 2011 (BFE 2013) bei den Elektrizitätsversorgern der Schweiz und der Statistik des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) (VUE 2012). Insgesamt wurde mittels Umfragen und Stichproben der durchschnittliche Verbrauchermix bei ca. 90 % der abgegebenen Elektrizitätsmenge bestimmt. Vom auf diese Weise ermittelten Lieferantenstrommix wurde die Menge an zertifiziertem Strom abgezogen, welche in der Schweiz mit separaten Produkten verkauft wurde. Damit repräsentiert der Verbrauchermix (auch Egal-Strommix genannt) denjenigen Strom, welcher ein Konsument an der Steckdose erhält, wenn er keinen Ökostrom einkauft.

Es resultiert ein Verbrauchermix (siehe Tab. 8.2), welcher vom schweizerischen Produktionsmix (53.7 % Wasserkraft, 41.0 % Kernkraft, 2.1 % übrige erneuerbare Energien, 0.4 % fossile Energieträger, 3.2 % Abfälle; Stolz & Frischknecht 2015) deutlich abweicht. Der Schweizer Verbrauchermix im Jahr 2011 setzte sich aus 36.1 % erneuerbaren Energieträgern (davon 34.6 % Wasserkraft) und aus 48.9 % nicht erneuerbaren Energieträgern (davon 46.7 % Kernenergie) zusammen. Ein Anteil von 1.7 % des an Schweizer Haushalte mit nicht zertifizierten Stromprodukten gelieferten Stroms wurde in Kehrichtverbrennungsanlagen erzeugt. Im Jahr 2011 stammten 13.4 % des gelieferten Stroms aus nicht überprüfbaren Energieträgern. Die Herkunft dieses Stroms ist aus buchhalterischen Gründen nicht mehr nachvollziehbar. Es darf aber vermutet werden, dass grosse Mengen an Schweizer Wasserkraftstrom ins Ausland verkauft und im Gegenzug auf internationalen Strombörsen Strom eingekauft wurde, der mehrheitlich aus fossilen und nuklearen Quellen stammt (BFE 2013). Aus diesem Grund wurde für die Bilanzierung der ENTSO-E Strommix[51] für die Kategorie nicht überprüfbare Energieträger eingesetzt. Eine Kilowattstunde Elektrizität ist inklusive der Aufwendungen für die Kraftwerkherstellung mit einer CO_2-Belastung von 101.5 g CO_2-Äquivalenten verbunden, insgesamt werden 3.00 kWh Primärenergie benötigt. Die Details zur Bilanzierung des schweizerischen Verbrauchermixes sind in Stolz und Frischknecht (2015) beschrieben.

[51] Der ENTSO-E Mix besteht aus 26.1 % Kernkraft, 18.0 % Wasserkraft, 42.5 % aus fossilthermischen Kraftwerken und 13.3 % Wind-, Biomasse- und Sonnenenergie (Itten et al. 2014).

Tab. 8.2: Schweizerischer Verbrauchermix im Jahr 2011, Quelle: Stolz & Frischknecht (2015)

	Total	Schweiz	Ausland
Erneuerbare Energien	**36.06 %**	**25.77 %**	**10.29 %**
Wasserkraft	34.63 %	24.99 %	9.64 %
Übrige erneuerbare Energien	1.44 %	0.78 %	0.66 %
Sonnenenergie	0.22 %	0.16 %	0.06 %
Windenergie	0.59 %	0.00 %	0.59 %
Biomasse	0.63 %	0.62 %	0.01 %
Geothermie	0.00 %	0.00 %	0.00 %
Nicht erneuerbare Energien	**48.88 %**	**35.81 %**	**13.07 %**
Kernenergie	46.70 %	35.61 %	11.09 %
Fossile Energieträger	2.18 %	0.20 %	1.98 %
Erdöl	0.07 %	0.03 %	0.04 %
Erdgas	1.99 %	0.17 %	1.82 %
Kohle	0.12 %	0.01 %	0.11 %
Abfälle	**1.71 %**	**1.71 %**	**0.00 %**
nicht überprüfbare Energieträger	**13.35 %**		**13.35 %**
Total	**100.00 %**	**63.29 %**	**36.71 %**

8.2.4. Ökostrommix Schweiz (50 Hz)

Der Ökostrommix umfasst die in zertifizierten Produkten abgesetzte Strommenge in der Schweiz. Basis für die Erhebung des Ökostrommixes bildet die Umfrage des Vereins für Umweltgerechte Energie (VUE) bei Energieversorgern für das Jahr 2011 (VUE 2012). Der Ökostrommix der Schweiz wird zu 97.43 % aus Wasserkraft erzeugt. Die übrigen erneuerbaren Energieträger haben einen kumulierten Anteil von 2.57 % (1.08 % Biomasse, 1.02 % Windenergie, 0.47 % Sonnenenergie). Die Energieproduktion von 1 kWh ist mit einem Ausstoss von 15.6 g CO_2-Äquivalenten verbunden. Die Details zur Bilanzierung des schweizerischen Ökostrommixes sind in Stolz und Frischknecht (2015) beschrieben.

8.2.5. Firmenspezifischer Strommix (50 Hz)

Wenn der firmenspezifische Verbrauchermix bekannt ist (beispielsweise aufgrund der Stromkennzeichnung des Energieversorgers), so lässt sich sowohl in den mobitool-Faktoren wie auch in den Vergleichsrechnern ein entsprechender Strommix manuell wählen. Die Umweltauswirkungen der Elektrofahrzeuge (Elektroauto, Plug-in Hybrid, E-Scooter und E-Bike) sowie von Videokonferenzen und Teleworking, welche einen firmenspezifischen Strommix beziehen, werden dementsprechend angepasst.

Um einen firmenspezifischen Strommix zu verwenden, können die Technologieanteile direkt unter den Umweltkennwerten der Verkehrsmittel in die grauen Felder eingetragen werden. Die Eingabe orientiert sich am Aufbau der Stromkennzeichnung. Die Kategorie „Geförderter Strom KEV" umfasst die durch die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) geförderten Stromerzeugungsanlagen und sollte auf die übrigen erneuerbaren Energieträger aufgeteilt werden. Im Jahr 2011 setzte sich der geförderte Strom zusammen aus 51.1 % Wasserkraft, 38.0 % Biomasse, 6.2 % Windenergie und 4.7 % Sonnenenergie (Stolz & Frischknecht 2015; KEV 2011). In der Spalte „Total" soll der gesamte Anteil einer Technologie (Summe des in Schweizer Kraftwerken produzierten und aus dem Ausland importierten Stroms) eingetragen werden. Die Spalte „aus der CH" enthält den in der Schweiz produzierten Anteil einer Technologie am gesamten Strommix.

8.3. Modellierung und Annahmen im Tool „mobicheck"

Der Kurzcheck zur Sensibilisierung kombiniert verschiedene bestehende Datenquellen und Schätzungen: Im Folgenden werden die wichtigen Grundlagen kurz erläutert.

- Das Bundesamt für Energie veröffentlichte die Energieverbrauchsstatistik von einzelnen Branchen für das Jahr 2011. Aufgeführt sind unter anderem auch die Energieverbräuche für Heiz- und Produktionszwecke, sowie die Anzahl an Vollzeitstellen (BFE 2012). Die Branchenwahl gibt also vor, wie hoch der allgemeine Bedarf im Verhältnis zum Verkehr ist.

- Die Annahmen zum Pendlerverkehr basieren bezüglich Distanzen und dem Modalsplit auf den Auswertungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (BfS 2010). Es wird angenommen, dass ausschliesslich der Firmenstandort (ländliche Gebiete, Agglomeration, Stadt) entscheidend für Distanz und Modalsplit ist.
- Die Angaben bezüglich Kundenverkehr, Geschäftsreiseverkehr und Güterverkehr sind Schätzungen der Autoren. Es wird angenommen, dass Kunden- und Güterverkehr von der Branche dominiert sind, während der Geschäftsreiseverkehr mit dem Fokus des Unternehmens zusammenhängt. Die gesetzten Standardwerte können einfach an die individuelle Situation angepasst werden.
- Die Berechnung der Energie- und CO_2-Emissionen basiert ebenfalls auf den mobitool-Faktoren (siehe Unterkapitel 2.1). Für jede Verkehrsart wird die Transportleistung bestimmt und mit den entsprechenden Faktoren verrechnet. Die Energie- und Emissionsfaktoren der einzelnen Transportmittel sowie die verwendeten Datensätze sind in Tab. 8.3 aufgelistet.

Tab. 8.3: Verwendete Energie- und Emissionsfaktoren in mobicheck (KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016; BFS/ARE 2010a)

	Verkehrs-mittel	Einheit	Energie [MWh-Äquiv.]	CO_2 [t CO_2-Äquiv.]	Name Datensatz
Geschäfts-verkehr	Flug	1000 pkm	0.697	0.467	transport, aircraft, passenger/ RER U
	Personenwagen	1000 pkm	1.352	0.292	transport, passenger car, fleet average/CH U, in Abweichung vom originalen Datensatz wird mit einer reduzierten Auslastung von 1.12 Personen gerechnet.
	Bahn	1000 pkm	0.133	0.007	transport, long-distance train, SBB mix/CH U
	Video-konferenzen	1000 Stunden	3.7720.46	0.403	Videoconference, laptop, participant/CH U
Pendler-verkehr	Personenwagen	1000 pkm	1.497	0.323	transport, passenger car, fleet average/CH U, in Abweichung vom originalen Datensatz wird mit einer reduzierten Auslastung von 1.24 Personen gerechnet.
	öV	1000 pkm	0.239	0.025	mobitool Durchschnitt öffentlicher Verkehr, siehe Abschnitt 5.3.3
	Teleworking	1000 Tage	1.61	0.253	Work at home, corporate access/CH U
Kunden-verkehr	Personenwagen	1000 pkm	1.497	0.323	transport, passenger car, fleet average/CH U, in Abweichung vom originalen Datensatz wird mit einer reduzierten Auslastung von 1.24 Personen gerechnet.
	öV	1000 pkm	0.239	0.025	mobitool Durchschnitt öV
Güter-verkehr	Bahn	1000 tkm	0.131	0.011	transport, freight, rail, electricity with shunting /CH U
	Lastwagen	1000 tkm	0.630	0.134	transport, freight, lorry, fleet average/CH U
Produktion/ Gebäude	Elektrizität	MWh	2.823	0.963	electricity, medium voltage, at grid/CH U
	Ökostrom	MWh	1.130	0.001	electricity, medium voltage, certified electricity, at grid/CH
	Erdgas	GJ	0.317	0.067	Heat, natural gas, at boiler condensing modulating >100kW/RER U
	Erdöl	GJ	0.364	0.090	heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating/CH

Tab. 8.4: Modalsplit der Pendler, basierend auf der Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (BfS 2010)

	Stadt	Agglomerationen	Land
Langsamverkehr	8%	5%	3%
Motorisierter Individualverkehr	49%	69%	78%
Öffentlicher Verkehr	43%	27%	19%

8.4. Herleitung Anteil an betrieblichem Verkehr

Der durch Firmen und Unternehmen verursachte Verkehr macht rund 60 % bis 65 % der gesamten Verkehrsemissionen der Schweiz aus. In diesem Abschnitt wird die Abschätzung und Berechnung dieses Anteils aufgezeigt. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Als Basis für die Aufteilung wird die CO_2-Statistik des BAFU verwendet (2016a). Darin ausgewiesen sind die Emissionen, aufgeschlüsselt nach Treibstoffart (siehe Tab. 8.5).
- Die CO_2-Emissionen sind proportional zum Bedarf an fossilen Treibstoffen.
- Es wird nur eine Unterscheidung in betriebliche und nicht-betriebliche Emissionen vorgenommen. Auch Emissionen von Bundesstellen oder Verwaltungen werden zu den betrieblichen Emissionen gezählt. Der Tanktourismus wird nicht berücksichtigt.
- Der Treibstoff wird in Personenwagen (betrieblich / nicht-betrieblich), Lastwagen (betrieblich) oder Flugzeugen (betrieblich / nicht-betrieblich) genutzt. Andere Zwecke werden nicht betrachtet.
- Die Aufteilung der Transportdistanzen von Personenwagen auf betriebliche und nicht-betriebliche Zwecke erfolgt mittels der Resultate des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (siehe Tab. 8.6), diejenigen der Flugzeuge basiert auf einer Annahme. Dabei wird auch der Kundenverkehr zum betrieblichen Verkehr gezählt. Die Aufteilung des Diesels (betrieblich / nicht-betrieblich) wird in zwei Stufen vorgenommen. Als erstes wird aufgrund der Statistik des BFS (2015a) geschätzt, wie hoch der Anteil für Lastwagen ist[52]. In einem zweiten Schritt werden die Emissionen von Personenwagen analog der Benzinemissionen mittels der Ergebnisse des Mikrozensus in betriebliche und nicht-betriebliche Emissionen aufgeteilt.

Tab. 8.5: Gesamtemissionen des Verkehrs in der Schweiz gemäss CO_2-Gesetz (2016a)

Treibstoffart	Menge Treibstoff in 1000 Tonnen (EV/UP 2014)	Ausstoss von Millionen Tonnen CO_2 in der Schweiz (BAFU 2016a)	Bemerkungen / Annahmen
Benzin	2690	8.4	Es wird angenommen, dass Benzin zu 100% in Personenwagen verwendet wird.
Diesel	2680	8.4	Diesel wird zu einem Teil in Lastwagen verwendet, der andere Teil wird in Personenwagen verwendet.
Kerosen	1583[53]	0.36	Flugkerosen wird ausschliesslich in Flugzeugen genutzt. Es wird angenommen, dass 90% der Inlandflüge durch Firmen verursacht werden.
Summe		17.16	

[52] In BFS (2015a) wird eine gesamte Fahrleistung von 6'234 Mio. Lastwagen-Fahrzeugkilometer gegeben. Multipliziert mit einem durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von rund 0.319 Liter Diesel, resp. 0.268 kg, ergibt sich ein gesamter Treibstoffbedarf von etwa 1'670'000 Tonnen Diesel. Dies entspricht einem Anteil von rund 60 %.

[53] Die Differenz zwischen Treibstoff und CO_2-Ausstoss ergibt sich durch die Abgrenzung des CO_2-Gesetzes: So wird nur diejenige Menge an Kerosen verrechnet, welche für Inlandflüge verbraucht wird, d.h. wo Start- und Zielort in der Schweiz liegen.

Tab. 8.6: Ergebnisse des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2010: Distanz pro Person im Verkehrsmittel „Motorisierter Individualverkehr" und Verkehrszweck (in km) (BFS/ARE 2012)

	km	Anteil	betrieblich	nicht-betrieblich	Anteil des betrieblichen Verkehrs
Arbeit	5.85	24%	✓		24%
Ausbildung und Schule	0.55	2%		✓	
Einkauf und Besorgungen	3.46	15%	✓		15%
Service- und Begleitwege	1.61	5%		✓	
Freizeit	9.85	41%		✓	
Geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt	1.75	7%	✓		7%
Anderes	1.29	6%		✓	
Alle Zwecke gesamt	24.35	100%	-	-	-
Alle Zwecke für betriebliche Zwecke	*10.96*	*46%*			*46%*

Damit ergibt sich folgendes Bild, resp. die folgende Aufteilung bezüglich des Anteils der betrieblichen Emissionen:

Tab. 8.7: Ausweisung des betrieblichen Anteils des gesamten Verkehrs der Schweiz

Treibstoffart	Ausstoss von Millionen Tonnen CO_2 in der Schweiz (BAFU 2016a)	Anteil betrieblicher Verkehr	Millionen Tonnen CO_2 , welche durch Firmen verursacht werden.
Benzin	8.4	46 % gemäss Mikrozensus-Auswertung in Tab. 8.6	in Personenwagen 3.864 Millionen Tonnen CO_2
Diesel	8.4	60 % werden in Lastwagen genutzt, welche ausschliesslich für Firmen verkehren. Von den restlichen 40 %, welche von Personenwagen verbraucht werden, sind 45 % der Transportleistung gemäss Mikrozensus-Auswertung Firmenfahrten.	in Lastwagen: 5.04 Millionen Tonnen CO_2 in Personenwagen: 1.5 Millionen Tonnen CO_2
Kerosen	0.36	Flugkerosen wird ausschliesslich in Flugzeugen genutzt. Es wird angenommen, dass 90 % der Inlandflüge durch Firmen verursacht werden.	im Flugzeug: 0.33 Millionen Tonnen CO_2
Summe	17.16		10.73 Millionen Tonnen CO_2

8.5. Energiefaktoren und Treibhausgasemissionsfaktoren für DIN 16258

Die für die Berechnung der Umweltkennwerte nach DIN 16258 (siehe Unterkapitel 3.4) verwendeten Energiefaktoren und Treibhausgas-Emissionsfaktoren sind in Tab. 8.8 und Tab. 8.9 aufgelistet. Die ent-

sprechenden Faktoren für Treibstoffe entsprechen den in DIN 16258 empfohlenen Werten. Der Energiefaktor und Treibhausgas-Emissionsfaktor von Biogas wurde basierend auf dem KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 ermittelt (KBOB et al. 2016). Ebenso wurde für die Berechnung der Energiefaktoren und Treibhausgas-Emissionsfaktoren der in mobitool verwendeten Strommixe der KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 verwendet.

Tab. 8.8: Dichte, Energiefaktor und Treibhausgas-Emissionsfaktor der Treibstoffe der in mobitool enthaltenen Transportmittel (DIN 2013, Tabelle A.1, Tabelle A.2; KBOB et al. 2016)

Kraftstofftyp	Dichte (d)	Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor			
		Tank-to-Wheel (et)	Well-to-Wheel (ew)	Tank-to-Wheel (gt)		Well-to-Wheel (gw)	
	kg/l	MJ/kg	MJ/kg	g CO2e/MJ	kg CO2e/kg	g CO2e/MJ	kg CO2e/kg
Ottokraftstoff	0.745	43.2	50.5	75.2	3.25	89.40	3.86
Ethanolkraftstoff	0.794	26.8	65.7	0.0	0.00	58.10	1.56
Ottokraftstoff mit 5 % Ethanol	0.747	42.4	51.4	72.6	3.08	88.40	3.74
Dieselkraftstoff	0.832	43.1	51.3	74.5	3.21	90.40	3.90
Biodiesel	0.890	36.8	76.9	0.0	0.00	58.80	2.16
Dieselkraftstoff mit 5 % Biodiesel	0.835	42.8	52.7	71.0	3.04	88.80	3.80
Autogas (LPG)	0.550	46.0	51.5	67.3	3.10	75.30	3.46
Erdgas (CNG)		45.1	50.5	59.4	2.68	68.10	3.07
Flugbenzin (AvGas)	0.800	44.3	51.8	70.6	3.13	84.80	3.76
Jetbenzin (Jet B)	0.800	44.3	51.8	70.6	3.13	84.80	3.76
Kerosin (Jet A1 und Jet A)	0.800	44.1	52.5	72.1	3.18	88.00	3.88
Schweröl (HFO)	0.970	40.5	44.1	77.7	3.15	84.30	3.41
Marine-Dieselöl (MDO)	0.900	43.0	51.2	75.3	3.24	91.20	3.92
Marine-Gasöl (MGO)	0.890	43.0	51.2	75.3	3.24	91.20	3.92
Ottokraftstoff mit 15 % Ethanol	0.752	40.6	53.0	67.3	2.73	86.18	3.50
Biogas	0.001	0.0	15.6		0.00		1.48

Tab. 8.9: Energiefaktor und Treibhausgas-Emissionsfaktor der Strommixe auf Mittelspannungsebene (MS) und Niederspannungsebene (NS) der in mobitool enthaltenen Transportmittel (KBOB et al. 2016)

Elektrizität	Energiefaktor		THG-Emissionsfaktor			
	Tank-to-Wheel (et)	Well-to-Wheel (ew)	Tank-to-Wheel (gt)		Well-to-Wheel (gw)	
	MJ/kWh	MJ/kWh	g CO2e/MJ	kg CO2e/kWh	g CO2e/MJ	kg CO2e/kWh
Elektrizität ENTSO MS	3.6	10.6	0.0	0.00	134.0	0.48
Elektrizität Schweiz MS	3.6	10.1	0.0	0.00	24.4	0.09
Elektrizität SBB MS	3.6	5.1	0.0	0.00	1.4	0.00
Elektrizität DB MS	3.6	8.8	0.0	0.00	140.8	0.51
Elektrizität franz. Bahn MS	3.6	12.3	0.0	0.00	26.1	0.09
Elektrizität ital. Bahn MS	3.6	10.0	0.0	0.00	184.8	0.67
Elektrizität ÖBB MS	3.6	4.6	0.0	0.00	17.4	0.06
Elektrizität Egalstrommix NS	3.6	10.7	0.0	0.00	25.9	0.09
Elektrizität zertifizierter Mix NS	3.6	4.2	0.0	0.00	1.7	0.01
Elektrizität ÖV Mix Schweiz MS	3.6	5.5	0.0	0.00	3.2	0.01

8.6. Verwendete Datensätze und Technik-Stand

In der Excel-Liste mit den mobitool-Umweltkennwerten werden in den beiden vorletzten Spalten ist pro Datensatz jeweils eine Einschätzung der Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Technik sowie der Datenquelle vermerkt. Diese Informationen sind in Tab. 8.10 zusammengefasst.

Spalte: „Quelle"

EIv2.2:2016 = Der Wert ist identisch mit dem Wert des KBOB-Ökobilanzdatenbestandes v2.2:2016, genaue Details sind in der ecoinvent-Dokumentation vorhanden.

EIv3.1 eingebettet in EIv2.2:2016 = Der Datensatz wurde im ecoinvent-Datenbestand v3.1 aktualisiert und in den KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 eingebettet.

treeze = Der Datensatz wurde neu nach ecoinvent-Richtlinien erstellt und ist in einem separaten Bericht dokumentiert.

M = Der Datensatz wurde von bestehenden Datensätzen nach ecoinvent-Richtlinien abgeleitet, Details zur Modellierung sind im mobitool-Hintergrundbericht zu finden.

D = Der Datensatz stellt einen Durchschnitt von bestehenden Datensätzen dar, Details im Hintergrundbericht.

Spalte „Technik-Stand": Gewisse Verkehrsmittel werden sich technisch weiterentwickeln (wie z.B. Elektrofahrzeuge). Dementsprechend sind in Zukunft deutliche Abweichungen von den hier gezeigten Werten möglich. Das technische Entwicklungspotential jedes Transportmittels wird durch den Autor und die Begleitgruppe nach folgendem Muster eingeschätzt:

* erste Pilotstudien / Prototypen sind auf dem Markt, die Bilanzierung basiert weitgehend auf der Modellierung und Skalierung von verwandten / ähnlichen Verkehrsmitteln.

** Es sind erste Serienfahrzeuge auf dem Markt, die hier verwendeten Werte stammen von real getesteten Fahrzeugen, allerdings konnte noch nicht die gesamte Kette lückenlos bilanziert werden.

*** Die Fahrzeuge sind in grossen Serien teils seit Jahrzehnten auf dem Markt, eine technische Weiterentwicklung ist in begrenztem Masse möglich.

Tab. 8.10: Datenquellen der mobitool-Faktoren v2.0

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Quelle	Technik-Stand	Datensatz
Personen-verkehr lokal bis 5km	Langsam-verkehr	zu Fuss	-	-	-	-	leer
		Fahrrad	-	-	Elv2.2:2016	***	Transport, bicycle/CH U
		E-Bike	Elektrizität	Ökostrommix CH	Elv2.2:2016	**	Transport, electric bicycle, certified electricity/CH U without battery
				Verbrauchermix CH	Elv2.2:2016	**	Transport, electric bicycle/CH U without battery
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	**	Transport, electric bicycle/CH U without battery
	Strasse	Scooter	Benzin	-	Elv2.2:2016	***	Transport, scooter/CH U
		Elektro-Scooter	Elektrizität	Ökostrommix CH	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	**	transport, electric scooter, certified electricity/km/CH U without battery
				Verbrauchermix CH	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	**	transport, electric scooter/km/CH U without battery
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	**	transport, electric scooter/km/CH U without battery
		Durchschnitt öV	-	-	D	***	berechnet aus Mikrozensus und Angaben SBB
		Tram	-	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, tram/personkm/CH U
		Trolleybus	-	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, trolleybus/personkm/CH U
		Autobus	-	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, regular bus/personkm/CH U
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, fleet average/CH U
			Diesel	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, diesel, fleet average/km/CH U
				EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 3/km/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 4/km/RER U
				EURO 5	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 5/km/RER U
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 6/RER U
			Benzin	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, petrol, fleet average/km/CH U
				EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 3/km/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 4/km/RER U
				EURO 5	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5/km/RER U
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 6/RER U
			Ethanol (5%)	-	Elv2.2:2016	***	Transport, passenger car, ethanol 5%/CH U
			Ethanol (15%)	EURO 4	Elv2.2:2016	***	Transport, passenger car, petrol, 15% vol. ETBE with ethanol from biomass, EURO4/CH U
			Biogas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	Elv2.2:2016	***	Transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas/CH U
			Erdgas	optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO 3-Kategorie	Elv2.2:2016	***	Transport, passenger car, natural gas/CH U
			Hybrid	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, hybrid, petrol, EURO 5/km/CH U without battery
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, hybrid, petrol, EURO 6/km/CH U without battery
			Plug-In Hybrid	durchschnittliche Flotte, Ökostrommix CH	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, certified electricity, EURO 5/km/CH U w
				durchschnittliche Flotte, Verbrauchermix CH	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, EURO 5/km/CH U without battery
				durchschnittliche Flotte, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, EURO 5/km/CH U without battery
				EURO 6, Ökostrommix CH	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, certified electricity, EURO 6/km/CH U w
				EURO 6, Verbrauchermix CH	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, EURO 6/km/CH U without battery
				EURO 6, firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	***	transport, passenger car, plug-in hybrid, petrol, EURO 6/km/CH U without battery
			Elektrizität	Ökostrommix CH	treeze: Road transport	**	transport, passenger car, electric, LiNCM certified electricity, without battery/CH U
				Verbrauchermix CH	treeze: Road transport	**	transport, passenger car, electric, LiNCM/CH U without battery
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	**	transport, passenger car, electric, LiNCM/CH U without battery
		City Car, zukünftiger Leicht-Personenw	Elektrizität	Ökostrommix CH	Elv2.2:2016	*	Transport, passenger car, electric, LiNCM, city car, certified electricity/CH U without bat
				Verbrauchermix CH	Elv2.2:2016	*	Transport, passenger car, electric, LiNCM, city car/CH U without battery
				firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten)	M	**	Transport, passenger car, electric, LiNCM, city car/CH U without battery
			Diesel	EURO 5	Elv2.2:2016	*	transport, passenger car, diesel, EURO5, city car, incl. real consumption/CH U

Tab. 8.10: Datenquellen der mobitool-Faktoren v2.0 (Fortsetzung)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Quelle	Technik-Stand	Datensatz
		durchschnittliches Motorrad	Benzin	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, fleet average/km/CH U
		Motorrad (250ccm-750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, fleet average/km/CH U
				preEURO	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, preEURO/km/RER U
				EURO 1	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, EURO1/km/RER U
				EURO 2	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, EURO2/km/RER U
				EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, EURO3/km/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, 250-750 ccm engine, EURO4/RER U
		Motorrad (>750ccm)	Benzin	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, fleet average/km/CH U
				preEURO	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, preEURO/km/RER U
				EURO 1	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, EURO1/km/RER U
				EURO 2	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, EURO2/km/RER U
				EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, EURO3/km/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, motor cycle, >750 ccm engine, EURO4/RER U
Personen-verkehr national 5km - 200km	Schiene	Bahn Schweiz	Strommix SBB	Regionalverkehr, inkl. S-Bahn	treeze: Rail transport	***	transport, regional train, SBB mix/personkm/CH U
				Regionalverkehr, nur S-Bahn	treeze: Rail transport	***	transport, metropolitan train, SBB mix/personkm/CH U
				Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, long-distance train, SBB mix/personkm/CH U
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train, SBB mix/personkm/CH U
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	treeze: Road transport	***	transport, passenger coach/personkm/CH U
		Kleinbus	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, minibus/personkm/CH U
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, fleet average/CH U
	Wasser	Personenschiff	Diesel	-	treeze: Water transport	***	transport, passenger ship/CH U
	Luft	Seilbahn	-	elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH	treeze: Air transport	***	transport, passenger cable car/CH U
		Helikopter, einmotorig	-	pro Flugstunde	treeze: Air transport	***	transport, passenger, helicopter, single-engine/hr/CH U
		Helikopter, zweimotorig	-	pro Flugstunde	treeze: Air transport	***	transport, passenger helicopter, twin-engine/hr/CH U
Personen-verkehr international >200km	Schiene	Bahn Deutschland	Strommix DE & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train/personkm/DE U
				Hochgeschwindigkeitszug (ICE)	treeze: Rail transport	***	transport, high speed train/personkm/DE U
		Bahn Frankreich	Strommix FR & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train/personkm/FR U
				Hochgeschwindigkeitszug (TGV)	treeze: Rail transport	***	transport, high speed train/personkm/FR U
		Bahn Italien	Strommix IT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train/personkm/IT U
				Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa)	treeze: Rail transport	***	transport, high speed train/personkm/IT U
		Bahn Österreich	Strommix AT & Diesel	Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train/personkm/AT U
		Bahn Schweiz	Strommix SBB	Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, long-distance train, SBB mix/personkm/CH U
				Durchschnitt Regional-& Fernverkehr	treeze: Rail transport	***	transport, average train, SBB mix/personkm/CH U
	Strasse	Reisebus (Car)	-	-	treeze: Road transport	***	transport, passenger coach/personkm/CH U
		Fernbus (Car)	-	-	treeze: Road transport	***	transport, passenger coach, InterCity-Bus/personkm/CH U
		Personenwagen	Durchschnitt	durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben)	treeze: Road transport	***	transport, passenger car, fleet average/CH U
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger/personkm/RER U
				innerhalb Europa, Durchschnitt	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, Europe/personkm/RER U
				innerhalb Europa, economy	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, Europe, economy-class/personkm/RER U
				innerhalb Europa, business	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, Europe, business-class/personkm/RER U
				Interkontinental, Durchschnitt	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, intercontinental/personkm/RER U
				Interkontinental, economy	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, intercontinental, economy-class/personkm/RER U
				Interkontinental, business	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, intercontinental, business-class/personkm/RER U
				Interkontinental, first	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, passenger, intercontinental, first-class/personkm/RER U

Tab. 8.10: Datenquellen der mobitool-Faktoren v2.0 (Fortsetzung)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Quelle	Technik-Stand	Datensatz
Personen-verkehr virtuell 0km-20'000 km	virtuell	Videokonferenz	-	Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer	Elv2.2:2016	***	Videoconference, laptop, participant, certified electricity mix/CH U
			-	Verbrauchermix CH, während 1h, pro Teilnehmer	Elv2.2:2016	***	Videoconference, laptop, participant/CH U
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), während 1h, pro Teilnehmer	M	***	Videoconference, laptop, participant/CH U
		Work@home	-	Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h	Elv2.2:2016	***	Work at home, corporate access, certified electricity mix/CH U
			-	Verbrauchermix CH, 1 Tag à 8h	Elv2.2:2016	***	Work at home, corporate access/CH U
			-	firmenspezifischer Verbrauchermix (s. unten), 1 Tag à 8h	M	***	Work at home, corporate access/CH U
Güter-verkehr	kombiniert	rollende Landstrasse	Elektrolok	-	M	***	transport, freight, rail, electricity without shunting/tkm/CH U
		Huckepack-Transport	Elektrolok	-	M	***	transport, freight, rail, electricity without shunting/tkm/CH U
	Schiene	Zug Schweiz	Strommix SBB, wenig Diesel	v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (93% mit Partikelfilter)	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity with shunting/tkm/CH U
			Strommix SBB	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity without shunting/tkm/CH U
			Diesel	Diesellok mit Partikelfilter	treeze: Rail transport	*	transport, freight, rail, diesel, with particle filter/tkm/CH U
				Diesellok ohne Partikelfilter	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, diesel, without particle filter/tkm/CH U
		Zug Italien	Strommix IT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail/tkm/IT U
			Strommix IT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity only/tkm/IT U
		Zug Frankreich	Strommix FR & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail/tkm/FR U
			Strommix FR	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity only/tkm/FR U
		Zug Deutschland	Strommix DE & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail/tkm/DE U
			Strommix DE	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity only/tkm/DE U
		Zug Österreich	Strommix AT & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail/tkm/AT U
			Strommix AT	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity only/tkm/AT U
		Zug Europa	Strommix ENTSO-E & Diesel	Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail/tkm/RER U
			Strommix ENTSO-E	nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten	treeze: Rail transport	***	transport, freight, rail, electricity only/tkm/RER U
	Strasse	durchschnittlicher Lastwagen	Diesel	Lastwagen-Flotte CH	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry, fleet average/tkm/CH U
				Durchschnitt 3.5t-7.5t	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, fleet average/tkm/CH U
				Durchschnitt 7.5t-16t	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, fleet average/tkm/CH U
				Durchschnitt 16t-32t	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, fleet average/tkm/CH U
				Durchschnitt 32t-40t	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, fleet average/tkm/CH U
		Kleintransporter (<3.5t)	Diesel/Benzin	durchschnittliche Flotte	treeze: Road transport	***	transport, freight, light commercial vehicle/tkm/CH U
		Lastwagen (3.5t-7.5t)	Diesel	EURO 3	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 3/RER U
				EURO 4	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 4/RER U
				EURO 5	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 5/RER U
				EURO 6	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO 6/RER U
		Lastwagen (7.5t-16t)	Diesel	EURO 3	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 3/RER U
				EURO 4	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 4/RER U
				EURO 5	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 5/RER U
				EURO 6	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO 6/RER U
		Lastwagen (16t-32t)	Diesel	EURO 3	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 3/RER U
				EURO 4	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 4/RER U
				EURO 5	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 5/RER U
				EURO 6	Elv3.1 eingebettet in Elv2.2:2016	***	transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO 6/RER U
			Rapsmethylester	durchschnittliche Flotte	Elv2.2:2016	***	Transport, lorry 28t, rape methyl ester 100%/CH U
		Lastwagen (32t-40t)	Diesel	EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 3/tkm/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 4/tkm/RER U
				EURO 5	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 5/tkm/RER U
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 32-40 metric ton, EURO 6/tkm/RER U

Tab. 8.10: Datenquellen der mobitool-Faktoren v2.0 (Fortsetzung)

Verkehrsart		Verkehrsmittel	Antrieb	Charakterisierung	Quelle	Technik-Stand	Datensatz
		Lastwagen (40t-50t)	Diesel	EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 40-50 metric ton, EURO 3/tkm/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 40-50 metric ton, EURO 4/tkm/RER U
				EURO 5	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 40-50 metric ton, EURO 5/tkm/RER U
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 40-50 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
		Lastwagen (50t-60t)	Diesel	EURO 3	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 50-60 metric ton, EURO 3/tkm/RER U
				EURO 4	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 50-60 metric ton, EURO 4/tkm/RER U
				EURO 5	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 50-60 metric ton, EURO 5/tkm/RER U
				EURO 6	treeze: Road transport	***	transport, freight, lorry 50-60 metric ton, EURO 6/tkm/RER U
		Mülltransportwagen	Diesel	Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lastwagen 21t	Elv2.2:2016	***	Transport, municipal waste collection, lorry 21t/CH U
	Non-road	Baumaschine	Diesel	ohne Partikelfilter	treeze: Road transport	***	diesel, burned in building machine, without particle filter/MJ/CH U
				mit Partikelfilter	treeze: Road transport	***	diesel, burned in building machine, with particle filter/MJ/CH U
		Aushub maschinell	Diesel	ohne Partikelfilter	treeze: Road transport	***	excavation, hydraulic digger, without particle filter/m3/CH U
				mit Partikelfilter	treeze: Road transport	***	excavation, hydraulic digger, with particle filter/m3/CH U
	Wasser	Binnenschiff (Rhein)	-	-	treeze: Water transport	***	transport, barge/RER U
		Hochseeschiff	-	-	treeze: Water transport	***	transport, transoceanic freight ship/tkm/OCE U
		Hochseetanker	-	-	treeze: Water transport	***	transport, transoceanic tanker/tkm/OCE U
		Containerschiff	-	-	treeze: Water transport	***	transport, transoceanic container ship/tkm/OCE U
	Luft	Flugzeug	Kerosen	Durchschnitt	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, freight/tkm/RER U
				innerhalb Europa	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, freight, Europe/tkm/RER U
				Interkontinental	treeze: Air transport	***	transport, aircraft, freight, intercontinental/tkm/RER U
		Helikopter, einmotorig	Kerosen	pro Flugstunde	treeze: Air transport	***	transport, freight helicopter, single-engine/hr/CH U