

mobitool – Grundlagenbericht

Hintergrund, Methodik & Emissionsfaktoren

www.mobitool.ch

Autoren

Matthias Tuchschnid
mtuchschnid.ch
Fellenbergweg 14, 8047 Zürich
info@mtuchschnid.ch

Markus Halder
Schweizerische Bundesbahnen SBB, BahnUmwelt-Center
Hochschulstrasse 6, 3000 Bern 65
markus.halder@sbb.ch

Review

Christian Bauer, Paul-Scherrer-Institut
OVGA/409, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI
christian.bauer@psi.ch

Datenbasis & Methodik

Schweizerisches Center für Ökobilanzinventare ecoinvent c/o EMPA
Lerchenfeldstr. 5, 9014 St. Gallen
info@ecoinvent.org

Ökobilanzierung Teil Elektromobilität, virtuelle Mobilität und Zweiräder

Marianne Leuenberger & Rolf Frischknecht, ESU-services GmbH
Kanzleistrasse 4, 8610 Uster
info@esu-services.ch

unterstützt durch

Über mobitool

mobitool möchte Unternehmen für den von ihnen verursachten betrieblichen Verkehr sensibilisieren und konkrete Beispiele einer nachhaltigen Mobilität aufzeigen.

Beispielsweise erhalten Firmenverantwortliche mittels 5 Klicks eine Grobabschätzung der Umweltauswirkungen ihres betrieblichen Verkehrs und finden unter der Rubrik „tips&tricks“ umfangreiche Informationen und Anregungen für die Optimierung der firmeneigenen Verkehrsvorgänge. Des Weiteren werden Bilanzierungshilfen für ein effektives Umweltmanagement des betrieblichen Verkehrs sowie aktuelle Umweltdaten von 84 verschiedenen Verkehrsmitteln angeboten. Ein interaktiver Verkehrsmittelvergleich erlaubt den direkten Umweltvergleich zwischen zwei individuell anpassbaren Fahrzeugen auf Knopfdruck.

mobitool wurde mit Förderung des Bundesamtes für Energie von der SBB, Swisscom, BKW FMB Energie AG und dem Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften Öbu entwickelt. Durch die Optimierung der unternehmerischen Verkehrsprozesse wird ein Beitrag zur Reduktion der Verkehrsemissionen in der Schweiz geleistet.

Internetseite: www.mobitool.ch

Bern, im November 2010 (v1.1)

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 1.1

Die Auswertungen und Datenwerte in diesem Bericht basieren auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2. Auf Anfrage ist beim Autor eine ergänzende Exceltabelle erhältlich, welcher die Unterschiede zur vorherigen Berichtsversion v1.0 (und dem damals verwendeten ecoinvent-Datenbestand v2.1) 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 Unternehmensentscheidungen. Etwa ein Fünftel der Verkehrsemissionen verursacht der Güterverkehr.

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

- Der „mobicheck“ erlaubt, die Umweltrelevanz des betrieblichen Verkehrs im Vergleich zu sonstigen Umweltauswirkungen des 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.
- Eine interaktive Excelliste mit Emissionsfaktoren bildet das Kernstück der Umweltbewertung von Verkehrsmitteln. Von insgesamt 84 Verkehrsmitteln können Primärenergie, Treibhauspotenzial, Luftschadstoffemissionen sowie die Summenparameter Umweltbelastungspunkte und Ecoindicator '99 ausgewählt werden.
- Ein Evaluations- und Analysetool ist primär darauf ausgerichtet, die erzielte Wirkung von Mobilitätsmassnahmen und -management in Unternehmen zu bestimmen. Das im Rahmen der Kampagne „Mobilitätsmanagement in Unternehmen“ von Energiestadt für Gemeinden / EnergieSchweiz entwickelte Exceltool wurde inhaltlich aktualisiert und überarbeitet.
- Der interaktive Onlinevergleich erlaubt den direkten Vergleich der Umweltbilanz zweier Verkehrsmittel unter Berücksichtigung der frei wählbaren Parameter „Auslastung“, „Durchschnittsverbrauch“ und „Fahrzeuggewicht“.

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 miteinbezogen. Die Umweltdaten berücksichtigen die Umweltauswirkungen des direkten Betriebs, der Energiebereitstellung, der Fahrzeugherstellung, -entsorgung und des Fahrzeugunterhalts sowie der Aufwendungen für den Fahrweg. Alle Umweltdaten und Berechnungsgrundlagen wurden durch das 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 97 Verkehrsmitteln dargestellt:

- Bilanziert werden im lokalen Personenverkehr Fahrrad, Scooter, verschiedene öV-Verkehrsmittel sowie der Pkw mit verschiedenen Antriebstechnologien. Im regionalen / nationalen Verkehr wird zusätzlich zum Pkw die Bahn in der Schweiz und Europa, der Car sowie der Helikopter angeboten, im internationalen Verkehr neben dem Hochgeschwindigkeits- und dem IC-Zug in der Schweiz und angrenzenden Ländern auch 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 und der E-Pkw als CityCar in Leichtbauweise und als klassischer Pkw. Aufgrund der noch jungen technischen Entwicklung sind die Daten als Momentaufnahme auf Basis der bestehenden Erkenntnisse zu verstehen. Die Bilanzierungsergebnisse zeigen, dass die 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 Lkw in unterschiedlichen Grössenklassen und Schadstoffstufen angeboten. Des Weiteren werden Umweltdaten für die rollende Landstrasse und den Huckepack-Transport sowie für das Schiff und das Flugzeug aufbereitet.

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

Tabelle 1a: CO₂-Äquivalente von lokalem Personenverkehr (Kurzstrecken bis 5km) und nationalem Personenverkehr (5km - 200km)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Auslastung [Personen / Tonnen] | Kapazität [Personen / Tonnen] | Auslastung [%] | Ø Verbrauch [Liter / 100 km] | Ø Verbrauch [kWh / 100 km] | Fahrzeuggewicht [kg] | Einheit | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | | | |
|---|---|-----------------|-------------------|---|---|--------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--|-------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | direkter Betrieb | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | Fahrzeugunterhalt |
| Personenverkehr lokal bis 5km | Langsamverkehr | zu Fuss | - | - | | | | | | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | |
| | | Fahrrad | - | - | | | | | | pkm | 0.00 | 0.00 | 1.20 | 7.66 | 0.50 | 9.36 | | | |
| | | E-Bike | Elektrizität | Ökostrommix CH, 3x Batteriewechsel | | | | | 1 | | pkm | 0.00 | 0.14 | 4.40 | 10.18 | 0.54 | 15.27 | | |
| | Verbrauchermix CH, 3x Batteriewechsel | | | | | | | 1 | | pkm | 0.00 | 1.37 | 4.40 | 10.18 | 0.54 | 16.49 | | | |
| | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 3x Batteriewechsel | | | | | | | 1 | | pkm | 0.00 | 1.37 | 4.40 | 10.18 | 0.54 | 16.49 | | | |
| | Strasse | Scooter | Benzin | - | | 1.1 | 2 | 3.4 | | pkm | 90.47 | 17.76 | 4.41 | 7.56 | 0.86 | 121.07 | | | |
| | | Elektro-Scooter | Elektrizität | Ökostrommix CH, 2x Batteriewechsel | | 1.1 | 2 | | 3 | | pkm | 0.00 | 0.39 | 8.28 | 12.32 | 1.12 | 22.12 | | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 2x Batteriewechsel | | 1.1 | 2 | | 3 | | pkm | 0.00 | 3.73 | 8.28 | 12.32 | 1.12 | 25.45 | | |
| | | | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 2x Batteriewechsel | | 1.1 | 2 | | 3 | | pkm | 0.00 | 3.74 | 8.28 | 12.32 | 1.12 | 25.46 | | |
| | | Durchschnitt öV | - | - | | | | | | pkm | 13.54 | 3.66 | 0.51 | 0.98 | 6.13 | 24.82 | | | |
| | | Tram | - | durchschnittliche Flotte | | 52 | 200 | 26% | | | pkm | 0.00 | 11.92 | 1.21 | 1.25 | 12.50 | 26.87 | | |
| | | Trolleybus | - | durchschnittliche Flotte | | 26 | 100 | 26% | | | pkm | 0.69 | 15.33 | 1.02 | 1.92 | 6.08 | 25.04 | | |
| | | Ortsbus | - | durchschnittliche Flotte | | 14 | 60 | 23% | | | pkm | 79.21 | 15.41 | 1.60 | 2.77 | 5.38 | 104.38 | | |
| | | Pkw | Durchschnitt | - | durchschnittliche Flotte | | 1.6 | 5 | 8.8 | | 1310 | pkm | 133.68 | 31.52 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 197.64 | |
| | | | | | Diesel | durchschnittliche Flotte | | 1.6 | 5 | 7.36 | | 1310 | pkm | 122.41 | 23.15 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 178.00 |
| | EURO 3 | | | | | | 1.6 | 5 | 6.67 | | 1310 | pkm | 111.85 | 21.09 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 165.39 | |
| | EURO 4 | | | | | | 1.6 | 5 | 6.6 | | 1310 | pkm | 110.74 | 20.88 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 164.06 | |
| | EURO 5 | | | | | | 1.6 | 5 | 6.34 | | 1310 | pkm | 106.42 | 20.06 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 158.92 | |
| | Benzin | | | | durchschnittliche Flotte | | 1.6 | 5 | 9.09 | | 1310 | pkm | 135.92 | 33.18 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 201.55 | |
| | | | | | EURO 3 | | 1.6 | 5 | 8.08 | | 1310 | pkm | 121.06 | 29.69 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 183.19 | |
| | | | | | EURO 4 | | 1.6 | 5 | 7.89 | | 1310 | pkm | 118.08 | 29.01 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 179.54 | |
| | | | | | EURO 5 | | 1.6 | 5 | 7.18 | | 1310 | pkm | 107.43 | 26.39 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 166.27 | |
| | Ethanol (5%) | | | | - | | 1.6 | 5 | 8.47 | | 1310 | pkm | 120.30 | 30.59 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 183.33 | |
| | Ethanol (15%) | | | | EURO 4 | | 1.6 | 5 | 8.08 | | 1310 | pkm | 112.19 | 32.62 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 177.26 | |
| | Biogas | | | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | | 1.6 | 5 | 9.65 | | 1310 | pkm | 0.73 | 80.48 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 113.65 | |
| | Erdgas | | | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | | 1.6 | 5 | 9.65 | | 1310 | pkm | 109.15 | 23.24 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 164.84 | |
| | Elektrizität | | | | Ökostrommix CH, 1x Batteriewechsel | | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.00 | 1.80 | 11.72 | 26.69 | 11.83 | 52.03 |
| | | | | | Verbrauchermix CH, 1x Batteriewechsel | | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.00 | 17.09 | 11.72 | 26.69 | 11.83 | 67.32 |
| | | | | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 1x Batteriewechsel | | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.00 | 17.14 | 11.72 | 26.69 | 11.83 | 67.37 |
| | | | | | City Car, zukünftiger Leicht-Pkw | Elektrizität | Ökostrommix CH | | 1.6 | 4 | | 7 | 720 | pkm | 0.00 | 0.63 | 1.43 | 11.49 | 5.39 |
| Verbrauchermix CH | | 1.6 | 4 | | 7 | | 720 | pkm | 0.00 | 6.47 | 1.43 | 11.49 | 5.39 | 24.78 | | | | | |
| firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten) | | 1.6 | 5 | | 7 | | 720 | pkm | 0.00 | 6.00 | 1.43 | 11.49 | 5.39 | 24.31 | | | | | |
| Diesel | EURO5 | | 1.6 | 4 | | 2 | 550 | pkm | 33.49 | 6.31 | 1.36 | 7.97 | 4.11 | 53.25 | | | | | |
| Personenverkehr national 5km - 200km | Schiene | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Regionalverkehr, inkl. S-Bahn | | 56 | 309 | 18% | | | pkm | 2.14 | 0.00 | 0.19 | 1.00 | 7.50 | 10.83 | | |
| | | | | Regionalverkehr, nur S-Bahn | | 95 | 271 | 35% | | | pkm | 0.08 | 1.00 | 1.14 | 1.94 | 5.14 | 9.29 | | |
| | | | | Fernverkehr | | 203 | 616 | 33% | | | pkm | 0.08 | 0.90 | 0.26 | 0.45 | 5.36 | 7.04 | | |
| | | | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | | 167 | 539.3 | 31% | | | pkm | 0.10 | 1.17 | 0.48 | 0.83 | 5.31 | 7.89 | | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | | 21 | 50 | 42% | | | pkm | 38.23 | 7.48 | 1.10 | 1.88 | 3.73 | 52.42 | | |
| | | Kleinbus | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte | | 7.0 | 13 | 11 | | | pkm | 41.18 | 8.95 | 3.77 | 3.73 | 8.85 | 66.48 | | |
| | | Pkw | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben) | | 1.6 | 5 | 8.8 | | 1310 | pkm | 133.68 | 31.52 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 197.64 | | |
| | Wasser | Personenschiff | Diesel | - | | | | | | pkm | 101.22 | 19.09 | 0.17 | 3.23 | 0.00 | 123.71 | | | |
| | Luft | Seilbahn | - | elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH | | | | | | | pkm | 51.40 | 0.00 | 0.88 | 16.77 | 0.00 | 69.06 | | |
| | | Helikopter | - | pro Flugstunde, ohne Start- & Landezyklen | | | | | | | h | 83101 | 13338 | 24.99 | 474.90 | 0.00 | 96'939 | | |

Tabelle 1b: CO₂-Äquivalente von internationalem Personenverkehr (mehr als 200 km), virtueller Mobilität und Güterverkehr (Teil I)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Auslastung | Kapazität | Auslastung [%] | Ø Verbrauch [Liter / 100 | Ø Verbrauch [kWh / 100 | Fahrzeuggewicht | Einheit | direkter Betrieb | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | Fahrzeugunterhalt | Fahrzeugherstellung / -entsorgung | Fahrbahn (Strasse / Gleis / Häfen) | Summe | | |
|--|-----------------|------------------------|--|--|--------------------|----------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|---------|------------------|--|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------|---------------------------|---------------------------|
| | | | | [Personen / Tonne] | [Personen / Tonne] | km] | km] | [kg] | [g CO ₂ -equ.] | | | | | | | | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] |
| Personenverkehr international >200km | Schiene | Bahn Deutschland | Strommix DE & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 108 | 309 | 35% | | | | pkm | 9.07 | 58.66 | 0.49 | 0.84 | 4.82 | 73.88 | |
| | | | Strommix DE | Hochgeschwindigkeitszug (ICE) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.09 | 55.06 | 0.61 | 0.79 | 7.02 | 63.57 |
| | | Bahn Frankreich | Strommix FR & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 205 | 539 | 38% | | | | | pkm | 7.18 | 6.43 | 0.26 | 0.44 | 3.96 | 18.26 |
| | | | Strommix FR | Hochgeschwindigkeitszug (TGV) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.09 | 7.83 | 0.61 | 0.79 | 7.02 | 16.34 |
| | | Bahn Italien | Strommix IT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 167 | 539 | 31% | | | | | pkm | 5.27 | 44.79 | 0.32 | 0.54 | 3.54 | 54.47 |
| | | | Strommix IT | Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.09 | 48.75 | 0.61 | 0.79 | 7.02 | 57.26 |
| | Bahn Österreich | Strommix AT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 93 | 309 | 30% | | | | | pkm | 9.55 | 44.12 | 0.56 | 0.96 | 6.75 | 61.95 | |
| | | | Fernverkehr | 203 | 616 | 33% | | | | | pkm | 0.08 | 0.90 | 0.26 | 0.45 | 5.36 | 7.04 | |
| | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 167 | 539 | 31% | | | | | pkm | 0.10 | 1.17 | 0.48 | 0.83 | 5.31 | 7.89 | |
| | | | Fernverkehr | 21 | 50 | 42% | | | | | pkm | 38.23 | 7.48 | 1.10 | 1.88 | 3.73 | 52.42 | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | 1.6 | 5 | | 8.8 | | 1310 | pkm | 133.68 | 31.52 | 3.27 | 19.37 | 9.80 | 197.64 | |
| | Luft | Flugzeug | Kerosen | Durchschnitt | 278 | 343 | 81% | | | | pkm | 106.60 | 17.04 | 0.02 | 0.47 | 1.46 | 125.60 | |
| innerhalb Europa | | | | 98 | 150 | 65% | | | | | pkm | 143.89 | 23.00 | 0.03 | 0.50 | 0.33 | 167.75 | |
| Interkontinental | | | | 319 | 380 | 84% | | | | | pkm | 91.01 | 14.55 | 0.01 | 0.19 | 1.69 | 107.46 | |
| Personenverkehr virtuell 0km-20'000 km | virtuell | Videokonferenz | - | Verbraucher CH, während 1h, pro Teilnehmer | | | | | | h | 0.00 | 4.11 | 0.00 | 28.30 | 13.08 | 45.49 | | |
| | | | - | Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer | | | | | | h | 0.00 | 0.44 | 0.00 | 28.30 | 13.08 | 41.81 | | |
| | | Work@home | - | Verbraucher CH, 1 Tag à 8h | | | | | | | d | 0.00 | 15.56 | 0.00 | 226.37 | 20.04 | 261.97 | |
| | | | - | Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h | | | | | | | d | 0.00 | 1.65 | 0.00 | 226.37 | 20.04 | 248.05 | |
| Güterverkehr | kombiniert | rollende Landstrasse | Elektrolok | - | | | | | | tkm | 0.00 | 1.60 | 4.22 | 4.64 | 8.23 | 18.69 | | |
| | | Huckepack-Transport | Elektrolok | - | | | | | | tkm | 0.00 | 1.09 | 2.88 | 3.17 | 5.61 | 12.75 | | |
| | Schiene | Zug Schweiz | Strommix SBB, wenig Diesel | v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (60% mit Partikelfilter) | | | | | | | tkm | 2.24 | 1.35 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 13.96 | |
| | | | Strommix SBB | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 0.97 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 11.35 | |
| | | | Diesel | Diesellok mit Partikelfilter | | | | | | | tkm | 33.95 | 6.42 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 50.74 | |
| | | | Diesel | Diesellok ohne Partikelfilter | | | | | | | tkm | 33.95 | 5.47 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 49.79 | |
| | | Zug Italien | Strommix IT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 23.30 | 0.00 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 33.68 | |
| | | | Strommix IT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 21.85 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 32.22 | |
| | | Zug Frankreich | Strommix FR & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 2.24 | 7.13 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 19.74 | |
| | | | Strommix FR | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 7.04 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 17.41 | |
| | Zug Deutschland | Strommix DE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 6.69 | 23.42 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 40.48 | | |
| | | Strommix DE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 27.72 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 38.10 | | |
| | Zug Österreich | Strommix AT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 4.45 | 18.78 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 33.60 | | |
| | | Strommix AT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 20.24 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 30.61 | | |
| | Zug Europa | Strommix UCTE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 7.23 | 21.88 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 39.48 | | |
| | | Strommix UCTE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.00 | 27.88 | 2.56 | 2.82 | 5.00 | 38.25 | | |

Tabelle 1c: CO₂-Äquivalente vom Güterverkehr (Teil II)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Einheit | Auslastung | Kapazität | Auslastung [%] | Ø Verbrauch [Liter / 100 | Ø Verbrauch [kWh / 100 | Fahrzeuggewicht | Einheit | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | [g CO ₂ -equ.] | |
|---------------|------------------------------|----------------------|---|---------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| | | | | | [Personen / Tonnen] | [Personen / Tonnen] | | km] | km] | [kg] | | | | | | | | |
| Strasse | durchschnittlicher Lastwagen | Diesel | Lkw-Flotte CH | tkm | | | | | | | | 201.44 | 30.14 | 10.61 | 14.87 | 23.61 | 280.68 | |
| | | | Durchschnitt 3.5t-20t | tkm | 2.9 | 6.9 | 42% | | | | | 198.57 | 37.96 | 6.85 | 12.54 | 22.96 | 278.88 | |
| | | | Durchschnitt 20t-28t | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | | | 160.88 | 0.00 | 4.53 | 9.05 | 19.39 | 193.85 | |
| | | | Durchschnitt >28t | tkm | 9.8 | 21.3 | 46% | | | | | 108.82 | 0.49 | 3.85 | 7.41 | 16.57 | 137.14 | |
| | Kleintransporter (<3.5t) | Diesel/Benzin | durchschnittliche Flotte | tkm | 0.3 | 1.0 | 27% | | | | 1009.47 | 219.41 | 97.77 | 96.61 | 88.52 | 1511.78 | | |
| | Lastwagen (3.5t-7.5t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | | 327.71 | 60.63 | 20.29 | 37.11 | 38.24 | 483.98 | | |
| | | | EURO 4 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | | 314.25 | 58.11 | 20.29 | 37.11 | 38.24 | 468.00 | | |
| | | | EURO 5 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | | 318.21 | 58.88 | 20.29 | 37.11 | 38.24 | 472.73 | | |
| | Sattelschlepper (7.5t-16t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | | 170.26 | 32.06 | 6.07 | 11.11 | 18.55 | 238.05 | | |
| | | | EURO 4 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | | 156.17 | 29.36 | 6.07 | 11.11 | 18.55 | 221.26 | | |
| | | | EURO 5 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | | 158.63 | 29.83 | 6.07 | 11.11 | 18.55 | 224.19 | | |
| | Sattelschlepper (16t-32t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | | 131.45 | 24.86 | 4.56 | 9.10 | 14.73 | 184.69 | | |
| | | | EURO 4 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | | 115.14 | 21.76 | 4.56 | 9.10 | 14.73 | 165.30 | | |
| | | | EURO 5 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | | 117.00 | 22.12 | 4.56 | 9.10 | 14.73 | 167.51 | | |
| | | Rapsmethylester | durchschnittliche Flotte | tkm | 5.8 | 21.3 | 27% | | | | 7.77 | 95.74 | 4.51 | 9.01 | 21.97 | 139.00 | | |
| | Sattelschlepper (>32t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | | 82.44 | 15.65 | 3.23 | 6.22 | 13.05 | 120.59 | | |
| | | | EURO 4 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | | 69.75 | 13.23 | 3.23 | 6.22 | 13.05 | 105.48 | | |
| | | | EURO 5 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | | 70.87 | 13.44 | 3.23 | 6.22 | 13.05 | 106.82 | | |
| | Mülltransportwagen | Diesel | Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lkw 21t | tkm | | | | | | 1077.76 | 201.46 | 0.82 | 15.57 | 11.20 | 1306.81 | | | |
| | Wasser | Binnenschiff (Rhein) | - | - | tkm | | | | | | | | 30.64 | 4.80 | 0.13 | 0.86 | 9.89 | 46.31 |
| Hochseeschiff | | - | - | tkm | | | | | | | | 7.88 | 1.13 | 0.00 | 0.17 | 1.53 | 10.72 | |
| Luft | Flugzeug | Kerosen | Durchschnitt | tkm | | | | | | | | 938.2 | 150.00 | 0.13 | 2.47 | 7.83 | 1098.61 | |
| | | | innerhalb Europa | tkm | | | | | | | | | 1431.6 | 228.87 | 0.26 | 5.02 | 0.23 | 1665.95 |
| | | | Interkontinental | tkm | | | | | | | | | 910.1 | 145.51 | 0.10 | 1.95 | 8.04 | 1065.74 |

Tabelle 2a: Primärenergieaufwand von lokalem Personenverkehr (Kurzstrecken bis 5km) und nationalen Personenverkehr (5km bis 200km)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Auslastung | Kapazität | Auslastung [%] | Ø Verbrauch | Ø Verbrauch | Fahrzeuggewicht | Einheit | direkter Betrieb | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | Fahrzeugunterhalt | Fahrzeugherstellung / -entsorgung | Fahrweg (Strasse / Gleis / Häfen) | Summe | | |
|--------------------------------------|---|---|--|---|--|----------------|------------------|----------------|-----------------|---------|------------------|--|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------|-----------|
| | | | | [Personen / Tonnen] | [Personen / Tonnen] | | [Liter / 100 km] | [kWh / 100 km] | [kg] | | | | | | | | [MJ-equ.] | [MJ-equ.] |
| Personenverkehr lokal bis 5km | Langsamverkehr | zu Fuss | - | - | | | | | | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| | | Fahrrad | - | - | | | | | | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.12 | 0.01 | 0.16 | | |
| | | E-Bike | Elektrizität | Ökostrommix CH, 3x Batteriewechsel | | | | | 1 | | pkm | 0.04 | 0.01 | 0.08 | 0.17 | 0.02 | 0.31 | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 3x Batteriewechsel | | | | | 1 | | pkm | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.17 | 0.02 | 0.37 | |
| | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 3x Batteriewechsel | | | | | | | 1 | | pkm | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.17 | 0.02 | 0.37 | | |
| | Strasse | Scooter | Benzin | - | 1.1 | 2 | | 3.4 | | pkm | 0.92 | 0.41 | 0.09 | 0.13 | 0.03 | 1.58 | | |
| | | Elektro-Scooter | Elektrizität | Ökostrommix CH, 2x Batteriewechsel | 1.1 | 2 | | | 3 | pkm | 0.10 | 0.02 | 0.16 | 0.22 | 0.03 | 0.53 | | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 2x Batteriewechsel | 1.1 | 2 | | | 3 | pkm | 0.10 | 0.19 | 0.16 | 0.22 | 0.03 | 0.70 | | |
| | | | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 2x Batteriewechsel | 1.1 | 2 | | | 3 | pkm | 0.10 | 0.19 | 0.16 | 0.22 | 0.03 | 0.70 | | |
| | | Durchschnitt ÖV | - | - | | | | | | pkm | 0.47 | 0.31 | 0.02 | 0.02 | 0.15 | 0.96 | | |
| | | Tram | - | - | durchschnittliche Flotte | 52 | 200 | 26% | | | pkm | 0.32 | 0.57 | 0.04 | 0.02 | 0.24 | 1.19 | |
| | | Trolleybus | - | - | durchschnittliche Flotte | 26 | 100 | 26% | | | pkm | 0.42 | 0.74 | 0.05 | 0.03 | 0.21 | 1.44 | |
| | | Ortsbus | - | - | durchschnittliche Flotte | 14 | 60 | 23% | | | pkm | 1.07 | 0.31 | 0.07 | 0.05 | 0.18 | 1.68 | |
| | | Pkw | Durchschnitt | Diesel | durchschnittliche Flotte | 1.6 | 5 | | 8.8 | 1310 | pkm | 1.86 | 0.54 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.37 | |
| | | | | | durchschnittliche Flotte | 1.6 | 5 | | 7.36 | 1310 | pkm | 1.64 | 0.48 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.08 | |
| | | | EURO 3 | Benzin | EURO 3 | 1.6 | 5 | | 6.67 | 1310 | pkm | 1.49 | 0.43 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 2.89 | |
| | | | | | EURO 4 | 1.6 | 5 | | 6.6 | 1310 | pkm | 1.48 | 0.43 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 2.87 | |
| | | | | | EURO 5 | 1.6 | 5 | | 6.34 | 1310 | pkm | 1.42 | 0.41 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 2.80 | |
| | | | | | durchschnittliche Flotte | 1.6 | 5 | | 9.09 | 1310 | pkm | 1.71 | 0.75 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.43 | |
| | | | EURO 3 | Benzin | EURO 3 | 1.6 | 5 | | 8.08 | 1310 | pkm | 1.53 | 0.67 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.17 | |
| | | | | | EURO 4 | 1.6 | 5 | | 7.89 | 1310 | pkm | 1.50 | 0.66 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.12 | |
| | | | | | EURO 5 | 1.6 | 5 | | 7.18 | 1310 | pkm | 1.36 | 0.60 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 2.92 | |
| | | | Ethanol (5%) | - | - | | 1.6 | 5 | | 8.47 | 1310 | pkm | 1.63 | 0.72 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.31 |
| | | | Ethanol (15%) | EURO 4 | 1.6 | 5 | | 8.08 | 1310 | pkm | 1.56 | 0.69 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.21 | | |
| | | | Biogas | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | 1.6 | 5 | | 9.65 | 1310 | pkm | 0.57 | 0.25 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 1.78 | | |
| | Erdgas | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | 1.6 | 5 | | 9.65 | 1310 | pkm | 1.66 | 0.73 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.35 | | | |
| | Elektrizität | | City Car, zukünftiger Leicht-Pkw | Ökostrommix CH, 1x Batteriewechsel | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.45 | 0.11 | 0.24 | 0.50 | 0.59 | 1.90 | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 1x Batteriewechsel | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.45 | 0.85 | 0.24 | 0.50 | 0.59 | 2.64 | |
| | | | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 1x Batteriewechsel | 1.6 | 5 | | | 20 | 1580 | pkm | 0.45 | 0.86 | 0.24 | 0.50 | 0.59 | 2.64 | |
| | City Car, zukünftiger Leicht-Pkw | | Elektrizität | Ökostrommix CH | 1.6 | 4 | | | 7 | 720 | pkm | 0.17 | 0.03 | 0.04 | 0.21 | 0.23 | 0.68 | |
| | | | | Verbrauchermix CH | 1.6 | 4 | | | 7 | 720 | pkm | 0.17 | 0.31 | 0.04 | 0.21 | 0.23 | 0.97 | |
| | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten) | | 1.6 | 5 | | | 7 | 720 | pkm | 0.17 | 0.30 | 0.04 | 0.21 | 0.23 | 0.95 | | |
| Diesel | EURO5 | 1.6 | 4 | | | 2 | 550 | pkm | 0.45 | 0.13 | 0.04 | 0.15 | 0.21 | 0.98 | | | | |
| Personenverkehr national 5km - 200km | Schiene | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Regionalverkehr, inkl. S-Bahn | 56 | 309 | 18% | | | pkm | 0.59 | 0.49 | 0.01 | 0.02 | 0.17 | 1.28 | | |
| | | | | Regionalverkehr, nur S-Bahn | 95 | 271 | 35% | | | pkm | 0.30 | 0.25 | 0.03 | 0.04 | 0.12 | 0.73 | | |
| | | | | Fernverkehr | 203 | 616 | 33% | | | pkm | 0.27 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 0.12 | 0.63 | | |
| | | | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 167 | 539.3 | 31% | | | pkm | 0.35 | 0.29 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.79 | | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | 21 | 50 | 42% | | | pkm | 0.52 | 0.15 | 0.04 | 0.03 | 0.12 | 0.86 | | |
| | | Kleinbus | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte | 7.0 | 13 | | 11 | | pkm | 0.58 | 0.17 | 0.09 | 0.07 | 0.38 | 1.29 | | |
| | Pkw | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben) | 1.6 | 5 | | 8.8 | 1310 | pkm | 1.86 | 0.54 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.37 | | | |
| | Wasser | Personenschiff | Diesel | - | - | | | | | pkm | 1.36 | 0.39 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 1.82 | | |
| | Luft | Seilbahn | - | - | elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH | | | | | | pkm | 1.41 | 2.47 | 0.02 | 0.29 | 0.00 | 4.18 | |
| | | Helikopter | - | - | pro Flugstunde, ohne Start- & Landezyklen | | | | | | h | 1130 | 302 | 0.40 | 7.57 | 0.00 | 1'440 | |

Tabelle 2b: Primärenergieaufwand von internationalem Personenverkehr (mehr als 200 km), virtueller Mobilität und Güterverkehr (Teil I)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Auslastung | Kapazität | Auslastung [%] | Ø Verbrauch [Liter / 100 | Ø Verbrauch [kWh / 100 | Fahrzeuggewicht | Einheit | direkter Betrieb | indirekt für Betrieb durch | Fahrzeugunterhalt | Fahrzeugherstellung / | Fahrbahn | Summe | | |
|---|------------------------|---|--|--|--|----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------|------|------|
| | | | | [Personen / Tonnen] | [Personen / Tonnen] | km] | km] | [kg] | [MJ- equ.] | [MJ- equ.] | [MJ- equ.] | [MJ- equ.] | [MJ- equ.] | [MJ- equ.] | | | | |
| Personen- verkehr international >200km | Schiene | Bahn Deutschland | Strommix DE & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 108 | 309 | 35% | | | | pkm | 0.37 | 0.79 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 1.30 | |
| | | | Strommix DE | Hochgeschwindigkeitszug (ICE) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.31 | 0.66 | 0.01 | 0.02 | 0.10 | 1.09 |
| | | Bahn Frankreich | Strommix FR & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 205 | 539 | 38% | | | | | pkm | 0.24 | 0.58 | 0.01 | 0.01 | 0.09 | 0.92 |
| | | | Strommix FR | Hochgeschwindigkeitszug (TGV) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.31 | 0.73 | 0.01 | 0.02 | 0.10 | 1.15 |
| | | Bahn Italien | Strommix IT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 167 | 539 | 31% | | | | | pkm | 0.31 | 0.52 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.93 |
| | | | Strommix IT | Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa) | 308 | 669 | 46% | | | | | pkm | 0.31 | 0.51 | 0.01 | 0.02 | 0.10 | 0.94 |
| | Bahn Österreich | Strommix AT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 93 | 309 | 30% | | | | | pkm | 0.46 | 0.58 | 0.01 | 0.02 | 0.16 | 1.23 | |
| | | | Fernverkehr | 203 | 616 | 33% | | | | | pkm | 0.27 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 0.12 | 0.63 | |
| | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 167 | 539 | 31% | | | | | pkm | 0.35 | 0.29 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.79 | |
| | | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | 21 | 50 | 42% | | | | | pkm | 0.52 | 0.15 | 0.04 | 0.03 | 0.12 | 0.86 | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | - | - | - | | | | pkm | 1.86 | 0.54 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.37 | |
| | Luft | Flugzeug | Kerosen | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben) | 1.6 | 5 | | 8.8 | 1310 | pkm | 1.86 | 0.54 | 0.09 | 0.37 | 0.50 | 3.37 | |
| innerhalb Europa | | | | 278 | 343 | 81% | | | | pkm | 1.42 | 0.41 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 1.88 | | |
| Interkontinental | | | | 98 | 150 | 65% | | | | pkm | 1.91 | 0.56 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 2.49 | | |
| | | | | | 319 | 380 | 84% | | | pkm | 1.21 | 0.35 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 1.62 | | |
| Personen- verkehr virtuell 0km-20'000 km | virtuell | Videokonferenz | - | Verbraucher CH, während 1h, pro Teilnehmer | | | | | | h | 0.00 | 0.21 | 0.00 | 0.37 | 0.97 | 1.65 | | |
| | | | - | Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer | | | | | | h | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.37 | 0.97 | 1.47 | | |
| | | Work@home | - | Verbraucher CH, 1 Tag à 8h | | | | | | | d | 0.00 | 0.78 | 0.00 | 2.95 | 1.42 | 5.56 | |
| | | | - | Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h | | | | | | | d | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 2.95 | 1.42 | 4.88 | |
| Güter- verkehr | kombiniert | rollende Landstrasse Huckepack-Transport | Elektrolok | - | | | | | | tkm | 0.48 | 0.40 | 0.06 | 0.08 | 0.19 | 1.21 | | |
| | | | Elektrolok | - | | | | | | tkm | 0.33 | 0.27 | 0.04 | 0.05 | 0.13 | 0.83 | | |
| | Schiene | Zug Schweiz | Strommix SBB, wenig Diesel | v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (60% mit Partikelfilter) | | | | | | | tkm | 0.31 | 0.24 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.75 | |
| | | | | Strommix SBB | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.24 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.74 | |
| | | | Diesel | Diesellok mit Partikelfilter | | | | | | | tkm | 0.46 | 0.13 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.79 | |
| | | | | Diesellok ohne Partikelfilter | | | | | | | tkm | 0.45 | 0.13 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.79 | |
| | | Zug Italien | Strommix IT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.17 | 0.22 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.58 | |
| | | | | Strommix IT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.23 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.72 | |
| | | Zug Frankreich | Strommix FR & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.29 | 0.64 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 1.13 | |
| | | | | Strommix FR | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.65 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 1.14 | |
| | Zug Deutschland | Strommix DE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.21 | 0.29 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.71 | | |
| | | | Strommix DE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.33 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.82 | | |
| | Zug Österreich | Strommix AT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.22 | 0.22 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.65 | | |
| | | | Strommix AT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.23 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.72 | | |
| Zug Europa | Strommix UCTE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | | | | | | | tkm | 0.24 | 0.33 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.77 | | | |
| | | Strommix UCTE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | | | | | tkm | 0.29 | 0.29 | 0.04 | 0.05 | 0.11 | 0.79 | | | |

Tabelle 2c: Primärenergieaufwand vom Güterverkehr (Teil II)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Einheit | Auslastung | Kapazität | Auslastung [%] | Ø Verbrauch [Liter / 100 | Ø Verbrauch [kWh / 100 | Fahrzeuggewicht | direkter Betrieb | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | Fahrzeugunterhalt | Fahrzeugherstellung / -entsorgung | Fahrtweg (Strasse / Gleis / Häfen) | Summe |
|---------------|------------------------------|----------------------|---|---------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------------|------------------------|-----------------|------------------|--|-------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------|
| | | | | | [Personen / Tonnen] | [Personen / Tonnen] | | km] | km] | [kg] | | | | | | |
| Strasse | durchschnittlicher Lastwagen | Diesel | Lkw-Flotte CH | tkm | | | | | | | 2.62 | 0.76 | 0.28 | 0.27 | 0.83 | 4.77 |
| | | | Durchschnitt 3.5t-20t | tkm | 2.9 | 6.9 | 42% | | | | 2.66 | 0.77 | 0.20 | 0.23 | 0.78 | 4.64 |
| | | | Durchschnitt 20t-28t | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | | 1.81 | 0.53 | 0.14 | 0.16 | 0.63 | 3.27 |
| | | | Durchschnitt >28t | tkm | 9.8 | 21.3 | 46% | | | | 1.23 | 0.36 | 0.12 | 0.13 | 0.52 | 2.37 |
| | Kleintransporter (<3.5t) | Diesel/Benzin | durchschnittliche Flotte | tkm | 0.3 | 1.0 | 27% | | | 14.15 | 4.10 | 2.26 | 1.84 | 3.85 | 26.20 | |
| | Lastwagen (3.5t-7.5t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | 4.25 | 1.23 | 0.60 | 0.67 | 1.47 | 8.22 | |
| | | | EURO 4 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | 4.07 | 1.18 | 0.60 | 0.67 | 1.47 | 8.00 | |
| | | | EURO 5 | tkm | 1.0 | 2.5 | 39% | | | 4.13 | 1.20 | 0.60 | 0.67 | 1.47 | 8.07 | |
| | Sattelschlepper (7.5t-16t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | 2.25 | 0.65 | 0.18 | 0.20 | 0.65 | 3.93 | |
| | | | EURO 4 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | 2.06 | 0.60 | 0.18 | 0.20 | 0.65 | 3.69 | |
| | | | EURO 5 | tkm | 3.3 | 6.9 | 47% | | | 2.09 | 0.61 | 0.18 | 0.20 | 0.65 | 3.73 | |
| | Sattelschlepper (16t-32t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | 1.74 | 0.51 | 0.14 | 0.16 | 0.49 | 3.04 | |
| | | | EURO 4 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | 1.53 | 0.44 | 0.14 | 0.16 | 0.49 | 2.76 | |
| | | | EURO 5 | tkm | 5.8 | 12.3 | 47% | | | 1.55 | 0.45 | 0.14 | 0.16 | 0.49 | 2.79 | |
| | | Rapsmethylester | durchschnittliche Flotte | tkm | 5.8 | 21.3 | 27% | | | 2.54 | 0.74 | 0.13 | 0.16 | 0.71 | 4.28 | |
| | Sattelschlepper (>32t) | Diesel | EURO 3 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | 1.10 | 0.32 | 0.10 | 0.11 | 0.41 | 2.04 | |
| | | | EURO 4 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | 0.93 | 0.27 | 0.10 | 0.11 | 0.41 | 1.83 | |
| | | | EURO 5 | tkm | 11.7 | 21.3 | 55% | | | 0.94 | 0.27 | 0.10 | 0.11 | 0.41 | 1.84 | |
| | Mülltransportwagen | Diesel | Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lkw 21t | tkm | 14.34 | 4.16 | 0.02 | 0.33 | 0.52 | 19.37 | | | | | | |
| | Wasser | Binnenschiff (Rhein) | - | - | tkm | 0.40 | 0.12 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.66 | | | | | |
| Hochseeschiff | | - | - | tkm | 0.10 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.17 | | | | | | |
| Luft | Flugzeug | Kerosen | Durchschnitt | tkm | 12.5 | 3.62 | 0.00 | 0.04 | 0.24 | 16.39 | | | | | | |
| | | | innerhalb Europa | tkm | 19.1 | 5.52 | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 24.67 | | | | | | |
| | | | Interkontinental | tkm | 12.1 | 3.51 | 0.00 | 0.03 | 0.25 | 15.91 | | | | | | |

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Hintergrund und Zielsetzungen des mobitools | 1 |
| 1.1. | Umweltrelevanz des Verkehr | 1 |
| 1.2. | Zielsetzung von mobitool | 2 |
| 2. | Übersicht der Tools | 3 |
| 2.1. | mobicheck: Kurzanalyse des Verkehrsanteils im Unternehmen | 3 |
| 2.2. | Energie- und Emissionsfaktorenliste von 84 Verkehrsmitteln | 5 |
| 2.3. | Evaluation- und Analysestool | 7 |
| 2.4. | Interaktiver Verkehrsmittelvergleich | 8 |
| 3. | Methodik der Bilanzierung | 10 |
| 3.1. | Berücksichtigte Prozesse | 10 |
| 3.2. | Bezugsgrösse | 12 |
| 3.3. | Bilanzierung der einzelnen Module | 13 |
| 3.3.1. | direkter Betrieb | 14 |
| 3.3.2. | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | 15 |
| 3.3.3. | Fahrzeugunterhalt | 15 |
| 3.3.4. | Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung | 15 |
| 3.3.5. | Fahrweg | 15 |
| 3.4. | Abgebildetes Optimierungspotential von Verkehrsmitteln | 16 |
| 4. | Indikatoren zur Bewertung des Personen- & Güterverkehr in mobitool | 17 |
| 4.1. | Primärenergie und Primärenergie, nicht erneuerbar | 17 |
| 4.2. | Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) | 17 |
| 4.3. | Feinstaub: PM ₁₀ und PM _{2,5} („Particulate matter“) | 19 |
| 4.4. | Flüchtige, nicht methanhaltige organische Verbindungen: NMVOC | 19 |
| 4.5. | Stickoxide: NO _x | 19 |
| 4.6. | Umweltbelastungspunkte UBP'06 | 20 |
| 4.7. | Eco-Indicator 99 | 20 |
| 5. | Bilanzierte Verkehrsmittel Personenverkehr | 21 |
| 5.1. | Langsamverkehr | 21 |
| 5.1.1. | zu Fuss | 21 |
| 5.1.2. | Fahrrad | 21 |
| 5.1.3. | E-Bike | 21 |
| 5.2. | Motorisierter Individualverkehr auf der Strasse | 21 |
| 5.2.1. | Scooter | 21 |
| 5.2.2. | Elektro-Scooter | 22 |
| 5.2.3. | Pkw (verschiedene Treibstoffe, ohne E-Pkw) | 22 |
| 5.2.4. | E-Pkw (Elektrizität) | 23 |
| 5.2.5. | CityCar (Leichtbau-Pkw mit Elektrizität / Diesel) | 23 |
| 5.3. | Öffentlicher Verkehr auf der Strasse | 24 |
| 5.3.1. | Tram, Trolley- und Ortsbus | 24 |
| 5.3.2. | Strasse: Reisebus (Car) | 24 |
| 5.3.3. | öV Durchschnitt | 24 |
| 5.4. | Öffentlicher Verkehr auf der Schiene | 25 |
| 5.4.1. | Schiene Schweiz: Regionalverkehr, S-Bahn & Fernverkehr | 25 |
| 5.4.2. | Schiene Europa: Eisenbahn in Europa | 26 |
| 5.4.3. | Hochgeschwindigkeitszüge in Deutschland, Italien, Frankreich | 26 |
| 5.5. | Luftverkehr | 26 |
| 5.5.1. | Luft: Helikopter | 26 |
| 5.5.2. | Luft: Flugzeug | 27 |
| 5.6. | Virtuelle Mobilität: Videokonferenzen & Teleworking | 27 |
| 6. | Bilanzierte Verkehrsmittel Güterverkehr | 28 |
| 6.1. | Schiene | 28 |
| 6.1.1. | Zug Schweiz | 28 |
| 6.1.2. | Zug Europa | 28 |
| 6.2. | Strasse | 28 |
| 6.2.1. | durchschnittlicher Lastwagen | 28 |
| 6.2.2. | Kleintransporter (<3.5t) | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.2.3. | Lastwagen (3.5t-20t), Sattelschlepper (20t-28t) und grosse Sattelschlepper (>28t) | 29 |
| 6.3. | Kombinierter Verkehr: rollende Landstrasse (RoLa) und Huckepack-Transport | 29 |
| 6.4. | Schiff | 30 |
| 6.5. | Flugzeug | 30 |
| 7. | Anhang | 31 |
| 7.1. | Literatur | 31 |
| 7.2. | Verwendete Energiekennwerte und Umrechnungsfaktoren | 35 |
| 7.3. | Strommix | 35 |
| 7.3.1. | Verbrauchsmix SBB, inkl. BLS (16.7Hz) | 35 |
| 7.3.2. | Verbrauchsmix Schweiz (50Hz) | 36 |
| 7.3.3. | Ökostrommix Schweiz (50Hz) | 36 |
| 7.4. | Modellierung und Annahmen im Tool „mobichcek“ | 37 |
| 7.5. | Herleitung Anteil an betrieblichem Verkehr | 38 |
| 7.6. | mobitool-Emissionsfaktoren und verwendete ecoinvent-Datensätze | 40 |

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 Kapitel 3 und 4 werden die Grundlagen der verwendeten Methodik zur Umweltbilanzierung vorgestellt, während das 5. Kapitel die wichtigsten Annahmen der einzelnen Verkehrsmittel im Personen- und das 6. Kapitel diejenigen im Güterverkehr beinhaltet. Im 7. Kapitel sind die eigentlichen Emissionsfaktoren als Anhang zu finden.

1.1. Umweltrelevanz des Verkehr

In der Schweiz war im Jahr 2008 der motorisierte Verkehr für insgesamt 34% des Endenergiebedarfes verantwortlich, davon zu 96% der Strassenverkehr (BFE 2009a). In Europa entfallen heute rund 31 % des gesamten Energieverbrauches auf den Verkehr. Zwischen 1990 und 2004 hat der Anteil des Verkehrssektors am energetischen Gesamtverbrauch um vier Prozent zugenommen (Eurostat 2009). Auch in Europa ist der Strassenverkehr hauptverantwortlich für den Energieverbrauch (82%).

Auch aus Klimasicht besteht Handlungsbedarf: Die CO₂-Emissionen aus dem Verkehr gefährden die Einhaltung der Schweizer Klimaschutzziele: Im Gegensatz zu den Emissionen im Gebäudebereich und der industriellen Produktion steigen die Verkehrsemissionen stetig an (BAFU 2010).

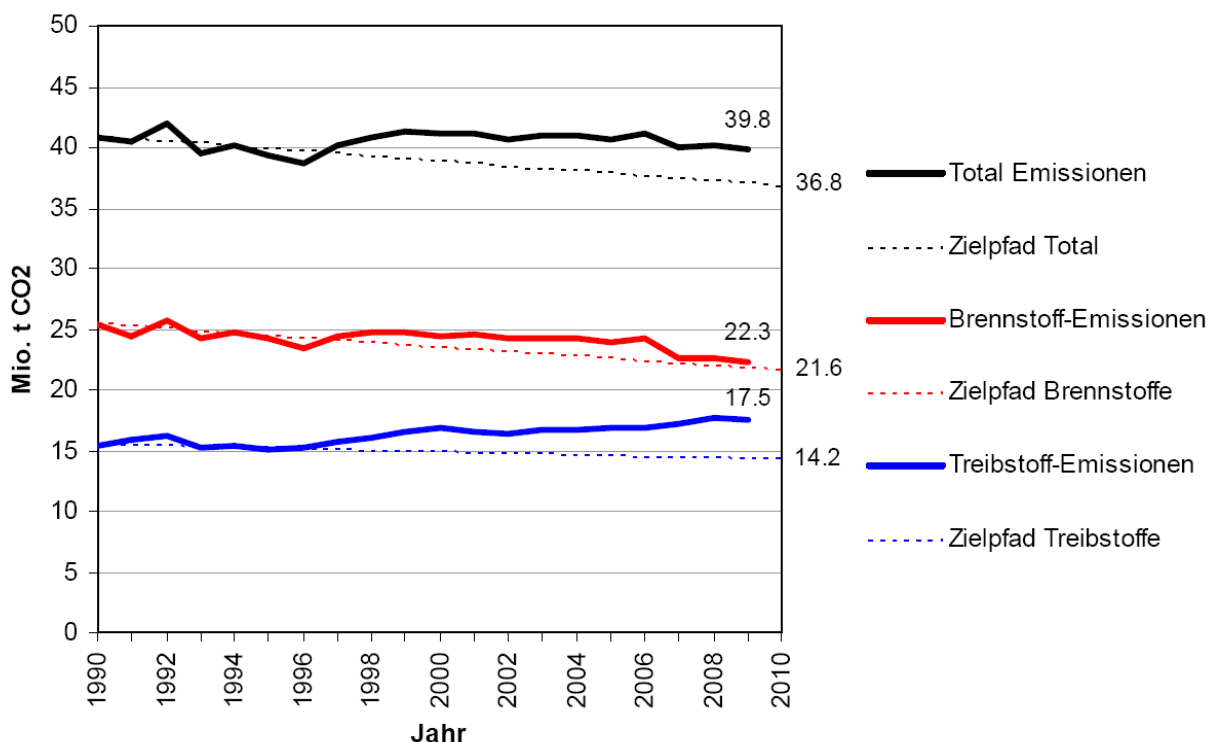
Zudem ist der motorisierte Transport mit weiteren Umweltbelastungen verbunden:

- die Belastung der Luft mit Emissionen (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 eine Reduktion von 8% gegenüber dem Stand von 1990 vor. Während die Entwicklung im Brennstoffbereich annähernd auf Zielkurs ist, weichen die Emissionen im Treibstoffbereich deutlich davon ab. Total stammten im Jahr 2009 43.8% der schweizerischen CO₂-Emissionen aus dem Verkehr, die Abweichung beträgt heute mehr als 18% vom angepeilten Ziel.

Abb. 1.1 Entwicklung der CO₂-Emissionen nach CO₂-Gesetz, Quelle: BAFU (2010)



1.2. Zielsetzung von mobitool

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 des betrieblichen Verkehrs 50% und mehr der Gesamtemissionen.

Obschon ein Umweltmanagement nach ISO14001 eigentlich die systematische Behandlung aller relevanter Prozesse fordert, sehen viele Firmen beispielsweise den Pendlerverkehr ihrer Mitarbeiter oder die Anfahrt der Kunden zum Firmenstandort nicht als Teil ihrer Verantwortung. Hier setzt die neue Internetplattform mobitool an: Sie zeigt 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.

Einerseits werden Tipps und Tricks für Massnahmen im Verkehrsbereich vorgestellt und geben Anregungen für die Optimierung der firmeneigenen Verkehrsvorgänge. Andererseits wurden im Rahmen des mobitool-Projektes vier verschiedene Tools zur Sensibilisierung und Bilanzierung erstellt, resp. weiterentwickelt. Diese werden im nachfolgenden Kapitel im Detail vorgestellt.

¹ Eine Abschätzung und Herleitung des Anteils des betrieblichen Verkehrs findet sich im Anhang in Abschnitt 0.

2. Übersicht der Tools

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

- Der „**mobicheck**“ erlaubt, mit 5 Klicks die Umweltrelevanz des betrieblichen Verkehrs im Vergleich zu den sonstigen Umweltauswirkungen abzuschätzen. Der Benutzer gibt Branche und Standort des Unternehmens (Stadt, Agglomeration, Land) an, sowie den Unternehmensfokus (regional, Schweiz, Europa, global). Mit der Anzahl der Mitarbeiter wird nun aufgrund von recherchierten Zahlen und Annahmen eine grobe Bilanz geschätzt (vgl. www.mobitool.ch -> *mobicheck*).
- Die interaktive **Excelliste mit Emissionsfaktoren** bildet das Kernstück der Umweltbewertung von Verkehrsmitteln: Alle 97 Verkehrsmittel basieren auf der gleichen Systematik² und 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 dieser Excelliste (vgl. www.mobitool.ch -> *tools* -> *Mobitool Emissionsfaktoren*).
- Das **Evaluations- und Analysetool** ist primär darauf ausgerichtet, die erzielte Wirkung von Mobilitätsmassnahmen und -management in Unternehmen zu bestimmen. Das im Rahmen der Kampagne „Mobilitätsmanagement in Unternehmen“ von Energiestadt für Gemeinden / EnergieSchweiz entwickelte Exceltool wurde inhaltlich aktualisiert und überarbeitet (vgl. www.mobitool.ch -> *tools* -> *Analyse- & Evaluationstool*).
- Der **interaktive Onlinevergleich** stellt die Umweltbilanz zweier Verkehrsmitteln einander gegenüber: Wie schneidet beispielsweise ein Pkw mit besonders niedrigem Treibstoffverbrauch im Vergleich zu einem Regionalzug ab? Wievielfach effizienter sind Videokonferenzen? Damit können nachhaltige Mobilitätslösungen für Firma und 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* -> *Interaktiver Vergleich von Verkehrsmitteln*).

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. **mobicheck: Kurzanalyse des Verkehrsanteils im Unternehmen**

Ziel: Mit dem **mobicheck** erfährt der Benutzer mit 5 Klicks, ob der Verkehr in seinem Unternehmen bezüglich Energie und CO₂ 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 der Unternehmensfokus (regional, Schweiz, Europa, global). Mit der Anzahl der Mitarbeiter wird nun aufgrund von recherchierten Zahlen, Annahmen und Schätzung eine grobe Bilanz errechnet. Die Einstiegsschwelle wurde bewusst sehr tief gehalten, was dementsprechend mit grösseren Ungenauigkeiten im Ergebnis verbunden ist. Dies hat jedoch den Vorteil, dass auch Laien schnell ein Resultat sehen und hoffentlich entsprechende Veränderungsprozesse unterstützt werden. Vier Verkehrsarten werden abgeschätzt:

- Zum **Geschäftsverkehr** wird der gesamte Verkehr gezählt, wo ein Mitarbeiter zu Kunden oder Partnern reist, sei es mit dem Flugzeug, der Bahn oder dem Firmen-Pkw.
- 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 Energieverbrauches und der Emissionen verantwortlich.
- Alle Verkehrsvorgänge der Kunden an den Firmenstandort und wieder zurück werden zum **Kundenverkehr** gezählt. Vorallem bei Einkaufszentren und Restaurant 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 dann als kombinierter Transport auf Schiene und Strasse abgewickelt.

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

² Die Emissionsfaktoren beruhen auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2, alle Daten wurden gemäss der aktuellen ecoinvent-Systematik nach Frischknecht et al. (2007) erhoben.

Nutzung der Emissionsfaktoren: Beim mobicheck werden die Umweltauswirkungen jeder einzelnen Verkehrsart aufgrund von Modellierungsannahmen und Emissionsfaktoren gebildet. Beispiel: Beim Pendlerverkehr wird angenommen, dass die Personen an durchschnittlich 220 Tagen pro Woche in der Firma arbeiten. Im obigen Beispiel wird aufgrund der Lokalität („Stadt“) angenommen, dass 50% der Personen mit dem öffentlichen Verkehr zur Arbeit fahren, 20% mit dem Pkw 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 von oben: 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 CO₂-Ausstoss von ca. 24 g CO₂-Äquivalenten pro Person und km verbunden. Damit ergibt sich ein CO₂-Ausstoss von rund 2 Tonnen.

Modellierung: Die detaillierte Modellierung und die Annahmen der vorgewählten Standardwerte sind im Anhang unter 7.4 zu finden.

Abb. 2.1: Printscreen vom mobicheck zur Sensibilisierung der Unternehmen

Eingabe neue Berechnung Speichern / Laden Drucken

In welcher Branche ist Ihr Unternehmen tätig?

1. Vier Eingaben: Durch Anklicken der Auswahlfelder wird eine erste grobe Bilanz geschätzt, mehr Details zu den gesetzten Standardannahmen dazu in Abschnitt 7.4

Handel
Stadt
Europa
50 Mitarbeiter

geschätzte Bilanz
Bitte wählen Sie einen Indikator:
Energie CO2 Kosten Zeit

3. Indikator: Weitere Indikatoren wie Energie, CO₂, Kosten oder Zeit können gewählt werden. Weitere Details in Abschnitt 4.

Die Resultate, die Sie rechts sehen, basieren auf allgemeinen Annahmen. Unten können Sie für jede der vier Verkehrsarten mit den Parametern "spielen", z.B.: Wie würde es sich auswirken, wenn der Anteil jener MitarbeiterInnen, die mit dem öffentlichen Verkehr anreisen, verdoppelt würde?

Detailparameter zeigen

Pendlerverkehr Güterverkehr Kundenverkehr Geschäftsverkehr Allgemein

Annahmen für Pendlerverkehr
Modalsplit: öV 50% Pkw 20% Fuss/Velo 30%

Distanz Pkw (Wohnort - Firma) 15 km (nur Hinweg)
Distanz öV (Wohnort - Firma) 8 km (nur Hinweg)

4. Situation anpassen: Unter „Detailparameter anpassen“ können die gesetzten Annahmen überschrieben und an die reale Situation angepasst werden.

2. Auswertung: Das Kuchen-, wie auch das Balkendiagramm visualisieren den Anteil und Verteilung der Verkehrsarten an den gesamten Umweltauswirkungen der Firma.

25
20
15
10
5
0

Geschäftsverkehr Güterverkehr Kundenverkehr Pendlerverkehr

■ Pkw / Lkw ■ öV / Bahn / Teletworking ■ Flug

www.mobroot.ch/mobicheck Nachhaltige Mobilität für Unternehmen 16-Feb-10 0:46 v0.9b

2.2. Energie- und Emissionsfaktorenliste von 97 Verkehrsmitteln

Ziel: Das Kernstück der Verkehrsbewertung bildet die interaktive Excelliste mit den Umweltauswirkungen (9 Indikatoren) für 97 verschiedene Verkehrsmittel. Alle Daten der Verkehrsmittel basieren auf den Ökobilanzen der ecoinvent-Datenbank und wurden nach der gleichen Systematik zusammengetragen und berechnet. Damit können nun bei Entscheidungsprozessen Verkehrsmittel gezielt bezüglich ihrer Umweltleistung miteinander verglichen werden.

Beschreibung: Die Emissionsfaktorenliste basiert auf Microsoft Excel und ist dank dem Verzicht auf Makros sowohl für Mac wie PC geeignet. In der Titelzeile kann einer der 9 Indikatoren ausgewählt werden, die Werte in der gesamten Liste passen sich dem gewählten Indikator an.

Die Verkehrsmittel sind nach ihrem Verwendungszweck geordnet: So haben lokale Verkehrsmittel wie das E-Bike eine ganz andere Nutzungscharakteristik als beispielsweise ein Hochgeschwindigkeitszug. So werden die vier Transportbereiche „lokaler Verkehr“, „nationaler Verkehr“, „internationaler Verkehr“ und „Güterverkehr“ voneinander abgegrenzt.

In der Emissionsfaktorenliste sind die durchschnittlichen Standardwerte gemäss den verwendeten ecoinvent-Datensätzen³ abgebildet. Im Verkehr sind die Faktoren „Auslastung“, „Durchschnittsverbrauch“ und „Fahrzeuggewicht“ die wesentlichen Stellgrössen für die Umweltbilanz. Die Excelliste erlaubt eine manuelle Änderung der Standardwerte (grau markiert), die Standardwerte sind im Kommentarfeld vermerkt. Somit können nun beliebige Situationen mit einer grossen Genauigkeit angenähert und bilanziert werden⁴. Abgebildet sind von jedem Verkehrsmittel die Umweltauswirkungen des direkten Betriebs, der indirekten Energiebereitstellung, des Fahrzeugunterhaltes, der Fahrzeugherstellung und -entsorgung, sowie für den Fahrweg.

Modellierung & Annahmen: In Kapitel 3 wird die verwendete Methodik der Ökobilanzierung beschrieben und auf Fragen der Bewertung und Indikatoren eingegangen. In Kapitel 4 und 5 sind dann die wesentlichen Annahmen und Detailgrössen der einzelnen Verkehrsmittel gegeben.

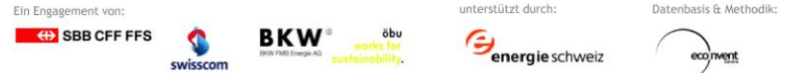
³ Weitere Informationen zur Ökobilanzdatenbank „ecoinvent“ sind im Abschnitt 3 auf Seite 10 zu finden.

⁴ Die genauen Skalierungs- und Berechnungsalgorithmen sind in Abschnitt 3.3 detailliert erklärt.

Tab. 2.1: Ausschnitt mobitool-Emissionsfaktorenliste mit Kurzbeschreibung

Umweltdaten & Emissionsfaktoren von mobitool

Die hier enthaltenen Informationen stammen aus zuverlässigen Quellen und wurden sorgfältig zusammengestellt. Dennoch sind weder die Autoren noch die beteiligten Organisation für Verluste oder Schäden haftbar, welche sich aus der Nutzung ergeben. Die Nutzung der Informationen erfolgt vollständig auf eigene Verantwortung. Quelle: ecoinvent v2.1 (www.ecoinvent.org) und eigene Berechnungen. Die Daten zu Elektromobilität und virtueller Mobilität stammen von ESU-services, die Erweiterung und Aktualisierung der Bahndaten erfolgte durch M. Tuchschnid. Das Review erfolgte durch C. Bauer vom PSI. Weitere Informationen siehe Hintergrundbericht unter www.mobitool.ch/hintergrund



Wahl des Indikators:

Primärenergie Primärenergie (nicht erneuerbar) Treibhauspotenzial
 PM10 PM2.5 NMVOC NOx UBP06 Ecoindicator '99

Hinweis: Die grau hinterlegten Felder für Auslastung, Durchschnittsverbrauch und Fahrzeuggewicht lassen sich nach eigenen Vorgaben anpassen, als Kommentar sind die Standardwerte gemäss dem ecoinvent-Datenbestand v2.1, resp. v2.2 hinterlegt.

v1.0 (ecoinvent v2.1 & provisorische Werte v2.2)

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Auslastung [Personen / Tonnen] | Ø Verbrauch [Liter / 100 km] | Ø Verbrauch [kWh / 100 km] | Fahrzeuggewicht [kg] | Einheit | direkter Betrieb [g CO2-equ.] | indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung [g CO2-equ.] | Fahrzeugunterhalt [g CO2-equ.] | Fahrzeugerstellung / -entsorgung [g CO2-equ.] | Fahrtweg (Strasse / Gleis / Häfen) [g CO2-equ.] | Summe [g CO2-equ.] | Datenquelle | Einschätzung techn. Weiterentwicklung | |
|--------------------------------------|----------------|--|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|---------|-------------------------------|---|--------------------------------|---|---|--------------------|-------------|---------------------------------------|-----|
| Personenverkehr lokal | Langsamverkehr | zu Fuss | - | - | - | - | - | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - | |
| | | Fahrrad | - | - | - | - | - | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | | Elektrizität | - | - | - | - | - | pkm | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - | - |
| | | Ökostrommix CH, 3x Batteriewechsel | - | - | 1 | - | - | pkm | 0.00 | 0.14 | 4.65 | 10.75 | 0.54 | 16.08 | M | *** | |
| | | Verbrauchermix CH, 3x Batteriewechsel | - | - | 1 | - | - | pkm | 0.00 | 1.37 | 4.65 | 10.75 | 0.54 | 17.31 | M | *** | |
| | | firmenspezifischer Verbraucher (siehe unten), 3x Batteriewechsel | - | - | 1 | - | - | pkm | 0.00 | 1.37 | 4.65 | 10.75 | 0.54 | 17.31 | M | ** | |
| | | - | - | - | - | 1.1 | 2 | 3.4 | pkm | 71.01 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Ökostrommix CH, 2x Batteriewechsel | - | - | 1 | 2 | 3 | pkm | 0.00 | 0.00 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Verbrauchermix CH, 2x Batteriewechsel | - | - | 1 | 2 | 3 | pkm | 0.00 | 0.00 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | firmenspezifischer Verbraucher | - | - | - | - | - | pkm | 0.00 | 0.00 | - | - | - | - | - | - | - |
| Personenverkehr national | Pkw | Dieselt | durchschnittliche Flotte | - | - | - | - | pkm | 1310 | pkm | 130.91 | - | - | - | - | - | |
| | | Dieselt | durchschnittliche Flotte | - | - | - | - | pkm | 1310 | pkm | 122.14 | - | - | - | - | - | |
| | | EURO 3 | - | - | - | - | - | pkm | 1310 | pkm | 111.26 | - | - | - | - | - | |
| | | EURO 4 | - | - | - | - | - | pkm | 1310 | pkm | 110.25 | - | - | - | - | - | |
| | | EURO 5 | - | - | - | - | - | pkm | 105.92 | 20.23 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 158.14 | E | *** | |
| | | durchschnittliche Flotte | - | - | - | - | - | pkm | 132.66 | 33.40 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 198.04 | E | *** | |
| | | EURO 3 | - | - | - | - | - | pkm | 120.10 | 29.88 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 181.96 | E | *** | |
| | | EURO 4 | - | - | - | - | - | pkm | 117.34 | 29.20 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 178.53 | E | *** | |
| | | EURO 5 | - | - | - | - | - | pkm | 106.69 | 26.56 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 165.24 | E | *** | |
| | | EURO 5 | - | - | - | - | - | pkm | 123.44 | 25.21 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 180.74 | E | *** | |
| Personenverkehr national 5km - 200km | Kleinbus | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte | - | - | - | - | pkm | 11.58 | 27.67 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 176.24 | E | *** | |
| | | EURO 4 | - | - | - | - | - | pkm | 108.76 | 41.24 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 99.51 | E | *** | |
| | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | - | - | - | - | - | pkm | 108.77 | 23.75 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 164.52 | E | *** | |
| | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | - | - | - | - | - | pkm | 08.77 | 23.75 | 3.27 | 19.36 | 9.35 | 164.52 | E | *** | |
| | | Ökostrommix CH, 1x Batteriewechsel | - | - | 20 | 1580 | pkm | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 12.36 | 33.00 | 11.28 | 58.34 | M | ** | |
| | | ermix CH, 1x Batteriewechsel | - | - | 20 | 1580 | pkm | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 12.36 | 33.00 | 11.28 | 73.75 | M | ** | |
| | | fizischer Verbraucher (siehe unten), 1x Batteriewechsel | - | - | 7 | 720 | pkm | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 12.36 | 33.00 | 11.28 | 73.75 | M | ** | |
| | | mix CH | - | - | 7 | 720 | pkm | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 12.36 | 33.00 | 11.28 | 73.75 | M | ** | |
| | | ermix CH | - | - | 7 | 720 | pkm | 0.00 | 0.00 | 17.10 | 12.36 | 33.00 | 11.28 | 73.75 | M | ** | |
| | | 1.6 | 4 | - | - | - | - | - | pkm | 33 | - | - | - | - | - | - | - |
| Personenverkehr | Luft | inkl. S-Bahn | durchschnittliche Flotte | 56 | 309 | 35% | - | pkm | 8.98 | 38.66 | 0.46 | 0.83 | 4.78 | 73.72 | M | *** | |
| | | nur S-Bahn | - | - | - | - | - | pkm | 0.00 | 54.87 | 0.59 | 0.79 | 6.11 | 62.36 | M | *** | |
| | | pro Flugstunde, ohne Start- & Landezyklen | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Regional- & Fernverkehr | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Durchschnitt | - | - | 7.0 | 13 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Durchschnitt | - | - | 1.6 | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | pro Flugstunde, ohne Start- & Landezyklen | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | - | - | 108 | 309 | 35% | - | pkm | 8.98 | 38.66 | 0.46 | 0.83 | 4.78 | 73.72 | M | *** |
| | | Hochgeschwindigkeitsteilzug (HCE) | - | - | 308 | 669 | 46% | - | pkm | 0.00 | 54.87 | 0.59 | 0.79 | 6.11 | 62.36 | M | *** |

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

2. Verkehrsmittel: Auswahl des gewünschten Verkehrsmittel nach Verkehrsart, Verkehrsmittel, Antrieb und Charakterisierung. Eine Liste mit allen Verkehrsmitteln ist im Anhang unter 7.6 zu finden.

3. Individuelle Anpassung: Verändern der Faktoren „Auslastung“, „durchschnittlicher Verbrauch“ und „Fahrzeuggewicht“. Details zu den Berechnungsvorschriften sind in Abschnitt 3.3 zu finden.

5. Ergänzende Information: Pro Datensatz ist die Datenherkunft, wie auch eine Abschätzung der technischen Weiterentwicklung vermerkt. Die verwendeten Codes sind als Kommentar vermerkt.

4. Werte Es werden die Emissionen, resp. Umweltbelastung dargestellt, unterteilt in die einzelnen Module und als Summe. Mehr Informationen zu den einzelnen Modulen finden sich in Kapitel 3.3.

2.3. Evaluation- und Analysetool

Ziel: Das Evaluations- und Analysetool ist primär darauf ausgerichtet, die erzielte Wirkung von Mobilitätsmassnahmen und -management in Unternehmen zu bestimmen. Das Analyse- und Evaluationstool ist daher nicht zur Erstellung einer klassischen Ökobilanz geeignet. Es dient vielmehr als Managementtool für ein Massnahmencontrolling unter Verwendung geeigneter Umweltbilanzierungsdaten.

Beschreibung: Die Grundlage des Evaluations- und Analysetool wurde im Rahmen des Pilotprojektes „Mobilitätsmanagement in Unternehmen“ von EnergieSchweiz und der Kampagne „Mobilitätsmanagement in Unternehmen“ von Energiestadt für Gemeinden / EnergieSchweiz gelegt. Im Rahmen des mobitool-Projektes wurde das Tool nun inhaltlich aktualisiert: So ist nun neu die Wahl von differenzierteren Verkehrsmittel möglich, zudem ist nun auch der Güterverkehr und die virtuelle Mobilität (siehe 0) abgebildet. Alle Energie- und Emissionsfaktoren im Analyse- und Evaluationstool stammen aus der mobitool-Emissionfaktorenliste. Damit ist gewährleistet, dass die Daten nach der gleichen Systematik erhoben sind und ein Vergleich damit zulässig ist.

Das Evaluations- und Analysetool ist als Excel-Arbeitsmappe aufgebaut. Damit alle Funktionalitäten genutzt werden können, müssen VBA-Makros zugelassen werden⁵. Das Exceltool setzt sich aus verschiedenen Tabellenblättern zusammen:

- Im Tabellenblatt „Firmenangaben“ sind organisatorische Elemente wie die Firmenanschrift, wichtige Daten des Mobilitätsmanagement und die Rahmenbedingung der Firma aufgeführt. In diesem Blatt kann gewählt werden, ob eine bestimmte Verkehrsart im Unternehmen überhaupt vorhanden ist. Weiter wird entschieden, ob zu einer bestimmten Verkehrsart ein Projekt vorhanden / gestartet ist.
- Das nächste Blatt „Verkehrsangaben“ umfasst die Bilanzierung des betrieblichen Verkehrs zur Ausgangslage vor dem Start. Als Bezugsgrösse dient die Transportleistung in Personenkilometer, resp. Tonnenkilometer⁶. Gegenüber dem mobicheck sind wesentlich verfeinerte Eingaben möglich, wie beispielsweise die Differenzierung nach Treibstoffen.
- Auf dem Tabellenblatt „Wirkung“ wird die Umweltwirkung der jeweiligen Transporte dargestellt (aufgeschlüsselt nach den unter 2.1 definierten Transportarten). Im Titelabschnitt lassen sich die folgende Indikatoren⁷ wählen:
 - Primärenergie
 - Primärenergie, nicht erneuerbar
 - Treibhauspotenzial (in CO₂-Äquivalenten)
 - Feinstaub (PM₁₀ / PM_{2,5})
 - NMVOC
 - Stickoxide (NO_x)
- Die Projektblätter (eines pro Verkehrsart) können innerhalb des Unternehmens für das Projektcontrolling genutzt werden: Verantwortlichkeiten und Massnahmen können definiert werden, das zeitlich gestaffelte Vorgehen wird für alle transparent festgehalten. Im zweiten Teil wird die Wirkung der Massnahmen mittels der Verkehrsangaben am Stichtag und bei Projektende festgestellt. Die Verkehrsleistung wird automatisch in das Blatt „Verkehrsangaben“ übernommen. Wenn eine Massnahme einen Wechsel des Verkehrsmittels umfasst, so müssen beide Verkehrsmittel im Blatt „Verkehrsangaben“ ausgewählt werden. Auf dem Projektblatt müssen die Verkehrsangaben dann entsprechend den richtigen Verkehrsmitteln zugeordnet werden.
- Das Blatt „Mobilitätsmanagement“ fasst die verschiedenen Aktivitäten des Mobilitätsmanagement zusammen und gibt einen schnellen Überblick.

Nutzung der Emissionsfaktoren & Modellierung: Im Analyse- und Evaluationstool ist die auf dem ecoinvent-Datenbestand v2.2 basierende mobitool-Emissionsfaktorenliste (siehe 2.2) hinterlegt. Zur besseren Übersicht ist diese Mappe allerdings ausgeblendet. Somit werden im Tool die identischen Werte wie im gesamten mobitool-Projekt verwendet. Eine Zuordnung der Verkehrsmittel ist im Anhang unter 7.6 zu finden, weiter sind dort die Abweichungen zu den Grundeinstellungen in der mobitool-Emissionfaktorenliste zu finden⁸.

⁵ Die VBA-Makros helfen die Komplexität für den Nutzer etwas zu reduzieren: Da diese Makros nur auf PC-Systemen funktionstüchtig sind, ist das Evaluations- und Analysetool nur auf PC-Systemen zu 100% funktionstüchtig. Das excelbasierende Analyse- und Evaluationstool läuft auch auf Mac-Systemen, jedoch können die einzelnen Verkehrsarten nicht selektiert werden und die Helferboxen funktionieren nicht. Wenn jedoch von Hand die entsprechende Transportleistung ausgerechnet und eingefüllt wird, so kann die Wirkung des Mobilitätsmanagement im gleichen Masse evaluiert werden.

⁶ Eine Definition der Verkehrsleistung wird etwas später im Abschnitt 3.2 auf Seite 8 gegeben.

⁷ Eine genauere Definition der Indikatoren und der Bilanzierung findet sich im Abschnitt 4 ab Seite 13.

⁸ Bei einigen Verkehrsmittel werden die Auslastungsfaktoren gemäss BfS (2007) angepasst: So beträgt die typische durchschnittliche Auslastung im Pendlerverkehr nur 1.1 Personen.

Abb. 2.3: Printscreens vom interaktiven Verkehrsmittelvergleich

Vergleich von lokalen Verkehrsmitteln (bis ca. 5km)

Indikator Energie CO2-equ.

Verkehrsmittel Nr. 1

Elektro-Scooter, Elektrizität (Verbrauchermix CH, 2x Batt...)

Verkehrsmittel | Auslastung | Verbrauch | Gewicht

Elektro-Scooter
Elektrizität (Verbrauchermix CH, 2x Batteriewechsel)
Auslastung: 1 von 2 Plätzen (55%)

3. Anpassung Parameter: Parameter Auslastung, Verbrauch und Fahrzeuggewicht bei beiden Verkehrsmitteln anpassen.

Reiseangaben & Bilanz
Eine Reise über 1 Personenkilometer benötigt **0.71 MJ-Äquiv.**
Oder umgerechnet ca. 0.02 Liter Diesel.

Verkehrsmittel Nr. 2

Pkw, Diesel (EURO 5)

Verkehrsmittel | Auslastung | Verbrauch | Gewicht

1.6 von 5 Plätzen, 32%

oder Direkteingabe per Zahl: 32%

2. Bezugsgröße: Wahl der Bezugsgröße für beide Verkehrsmittel

Reiseangaben & Bilanz
Eine Reise über 1 Personenkilometer benötigt **2.79 MJ-Äquiv.**
Oder umgerechnet ca. 0.08 Liter Diesel.

| Kategorie | Verkehrsmittel 1 (Elektro-Scooter) | Verkehrsmittel 2 (Pkw, Diesel) |
|--|------------------------------------|--------------------------------|
| direkter Betrieb | ~0.65 | ~1.40 |
| indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | ~0.05 | ~0.40 |
| Fahrzeugunterhalt | ~0.01 | ~0.10 |
| Fahrzeugherstellung / -entsorgung | ~0.00 | ~0.10 |
| Fahrweg (Straße) | ~0.00 | ~0.19 |
| Gesamt | 0.71 | 2.79 |

4. Resultat: Umweltvergleich der beiden Verkehrsmittel, in der Titelzeile kann der Indikator nach Wunsch eingestellt werden

3. Methodik der Bilanzierung

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Modellierungsannahmen und Datenquellen für die Bestimmung der mobitool-Emissionsfaktoren erläutert. In allen obig skizzierten mobitool-Produkten (mobicheck, Emissionsfaktorenliste, Vergleichsrechner, Aktualisierung des Evaluations- & Analysetool) werden die gleichen Emissionsfaktoren verwendet, welche alle auf der aktuellen Ökobilanz-Methodik nach Frischknecht et al. (2007) basieren.

Bei einer Ökobilanz werden nicht nur die unmittelbaren Ressourcenverbräuche und Emissionen analysiert, sondern auch vorgelagerte Prozesse wie die Energiebereitstellung und zeitlich später stattfindende Prozesse in die Berechnung einbezogen. Genauere Details bezüglich der berücksichtigten Prozesse werden im Unterkapitel 3.1 erläutert.

Die Ökobilanzdatenbank ecoinvent dient als Grundlage für die mobitool-Verkehrsmittelbilanzierung. Das schweizerische Zentrum für Ökobilanzen ist ein Zusammenschluss von ETH, PSI, EMPA und ART und betreibt die grösste, dokumentierte Datenbank für Sachbilanzinventare⁹.

Viele der Emissionsfaktoren werden unverändert aus dem ecoinvent-Datenbestand¹⁰ übernommen, einiger Emissionsfaktoren wurden neu ermittelt. Auch die zusätzlichen Emissionsfaktoren sind vollständig mit ecoinvent kompatibel: Einerseits werden die Transportprozesse gemäss der geltenden Methodik von Frischknecht, et al. (2007) berechnet, andererseits sind ebenfalls die Methoden der Bewertung identisch mit ecoinvent (siehe Hischer et al. (2009)). Die Tabelle mit allen 97 Verkehrsmitteln und den jeweiligen ecoinvent-Datensätzen ist im Anhang unter 7.2 zu finden.

In den umfassenden Grundlagenberichten der ecoinvent-Datenbank sind alle weiteren Annahmen und Datenquellen beschrieben. Diese Berichte sind nach kostenloser Anmeldung zugänglich: →www.ecoinvent.org →Anmeldung als Gast →Login mit geschickten Zugangsdaten →Die Grundlagenberichte sind unter „Reports“ abgelegt.

Eine weitere Grundlage besonders für den Eisenbahnbereich bieten die beiden Umweltvergleichsrechnern 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 Verkehrsmitteln im Personen- und Güterverkehr (Knörr 2008b; Knörr 2008a).

3.1. Berücksichtigte Prozesse

Die Methodik der Ökobilanz berücksichtigt die Kette der Umwelteinwirkungen vom „Anfang bis zum Ende“ eines Lebenszyklus. Unabhängig vom gewählten Verkehrsmittel müssen zuerst die Fahrzeuge gebaut, betrieben, unterhalten und am Ende ihres Lebenszyklus entsorgt werden. Weiter braucht es eine Verkehrsinfrastruktur (Verkehrswege, Tunnel, Brücken) sowie zusätzliche notwendige Anlagen wie Bahnhöfe, Flugplätze, Verwaltungsgebäude, Tankstellen und Unterwerke für einen geordneten Betrieb.¹¹

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 Energiebereitstellung gegeben: Bevor Anna Muster an der Tankstelle Benzin tanken kann, ist eine Reihe von weiteren Prozessen notwendig:

- Erdöl wird aus dem Bohrloch gefördert und entweder via Pipeline oder Tankschiff zum nächsten Ölsammelpunkt transportiert.
- Von da wird das Rohöl mit Pipeline, Eisenbahn 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 Klopfestigkeit).
- Das Benzin wird mittels Tanklastwagen oder Eisenbahnwagen zu den einzelnen Tankstellen transportiert. Nun endlich kann Anna Muster das Benzin in seinen Tank füllen.

Alle Zwischenschritte sind mit Energieverbräuchen und Emissionen verbunden. Nach der gleichen Methodik werden die zusätzlichen Aufwendungen für die Stromherstellung, resp. die Bereitstellung von anderen Treib-

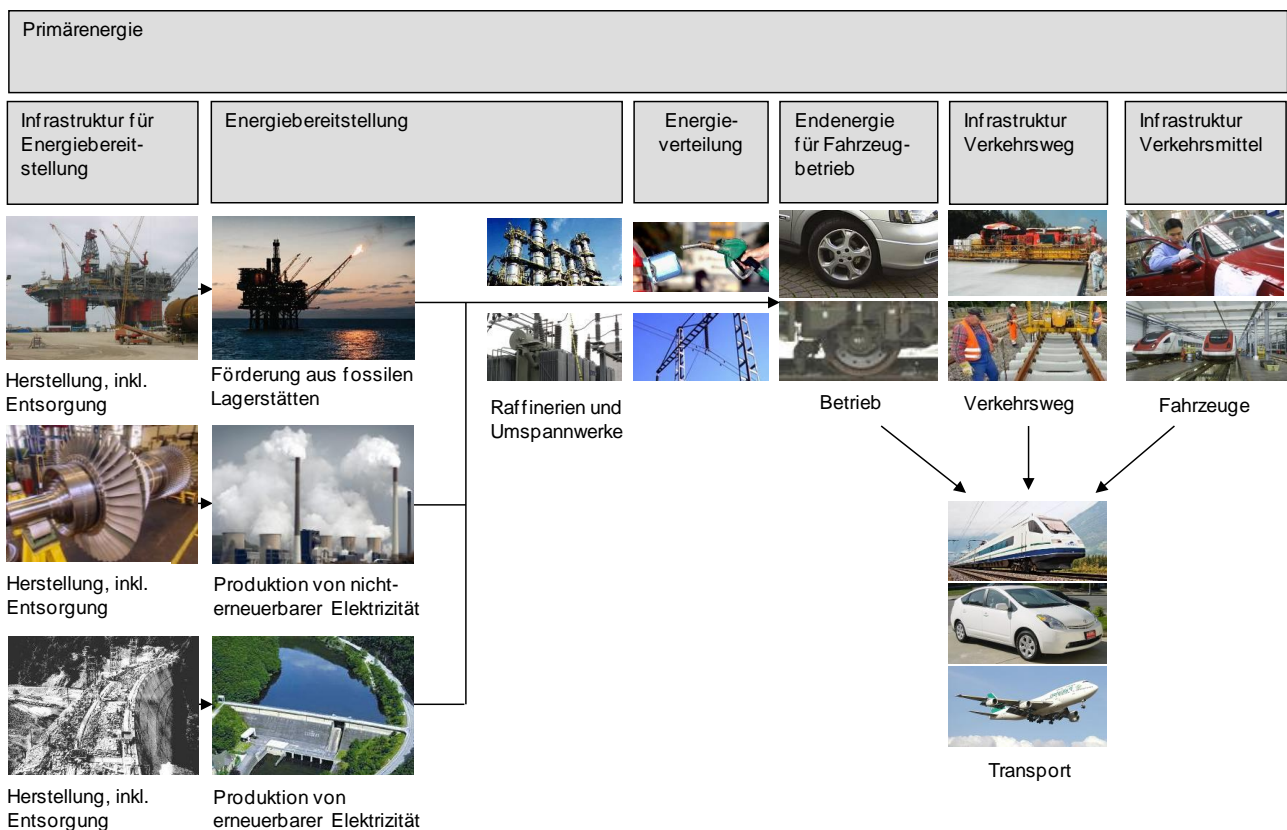
⁹ siehe www.ecoinvent.org

¹⁰ In diesem Bericht wurde der ecoinvent-Datenbestand v2.2 vom Sommer 2010 verwendet.

¹¹ Die genaue Beschreibung der Transportinfrastruktur kann dem ecoinvent-Bericht No.14 von Spielmann et al. (2007) entnommen werden.

stoffen bestimmt. Abb. 3.1 gibt eine Übersicht über die vorgelagerten Prozesse, welche in der Berechnung der Emissionsfaktoren berücksichtigt wurden.¹²

Abb. 3.1: Übersicht der 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, hier sind die Umweltwirkungen in erster Linie der verantwortlichen Baufirma zuzuzählen.) Ebenfalls nicht berücksichtigt werden indirekte Belastungen durch finanzielle Flüsse.¹³

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 massgeblich, wenn die Emissionen aus dem Betrieb - beispielsweise bei einem mit regenerativer Energie betriebenen Zug – sehr 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 als methodische Vereinfachung ausgeklammert (Knörr 2008 und Knörr 2009).

Durch den hohen Anteil Wasserkraft beispielsweise in der Bahnstromerzeugung der SBB sind die Emissionen aus dem Bahnbetrieb in der Schweiz gering. 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 Emissionsfaktoren im mobitool, aufgeteilt nach den verschiedenen Prozessschritten ermöglicht einen direkten Vergleich der Emissionsfaktoren. Als Teilprozesse werden unterschieden:

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

¹² In den ecoinvent-Sachbilanzen bezieht sich die Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge hauptsächlich auf europäische Verhältnisse, während sich die Sachbilanzen der Verkehrswege vor allem die schweizerischen Verhältnisse abbilden.

¹³ Sogenannte Hybrid-Ökobilanzen nutzen neben reinen stofflichen Flüssen auch wirtschaftliche Input-/Outputtabellen und berechnen so indirekte Belastungen (wie z.B. Chester 2008).

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 von einem Transport sind jeweils bezüglich eines Personenkilometers [pkm], resp. Tonnenkilometers [tkm] berechnet¹⁴.

Dabei wird wie folgt vorgegangen: Zuerst werden die Auswirkungen eines Fahrzeugkilometers errechnet. Dann wird die Umweltbelastung durch die durchschnittliche Auslastung geteilt, so dass die Umweltauswirkungen pro pkm, resp. tkm ausgedrückt werden können. Die mobitool-Emissionsfaktoren, resp. ecoinvent-Datensätze beziehen sich jeweils auf eine durchschnittliche Auslastung des Verkehrsmittels:

- Im Strassenpersonenverkehr werden die Auslastungswerte des Bundesamtes für Statistik (Mikrozensus Verkehr) verwendet (BfS 2007, S.39). Im Durchschnitt sind 1.57, resp. 1.6¹⁵ Personen in einem Pkw unterwegs, wobei die durchschnittliche Auslastung je nach Verkehrszweck unterschiedlich ist (siehe Tabelle Tab. 5.1 auf Seite 22)
- Bei den öffentlichen Transportmitteln werden die durchschnittlichen Auslastungszahlen verwendet, welche üblicherweise mittels Division der Personenkilometer durch Fahrzeugkilometer gebildet werden. Die entsprechenden Quellen zur Auslastung finden sich in der Detailbeschreibung jedes Verkehrsmittels.

Beispielrechnung: Der direkte CO₂-Ausstoss von einem Smart wird mit rund 105 g CO₂ pro km angegeben (Daimler 2010). 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“) 65.4 g CO₂-Äquivalente am Auspuff ausgestossen.¹⁶ Für die vollständige Bilanzierung werden in einem nächsten Schritt die Aufwendungen für die Energiebereitstellung (z.B. in der Raffinerie), das Fahrzeug und Fahrweg hinzugezählt. Sowohl Fahrzeug wie auch Fahrweg müssen erstellt, unterhalten und am Ende der Lebensphase entsorgt werden. Insgesamt resultiert eine CO₂-Emission von 101 g CO₂-Äquivalenten¹⁷ pro Personenkilometer (siehe Tab. 3.1)

¹⁴ Die Beispielsrechnung: Wenn eine Person über 100km von A nach B reist, so ist die entsprechende Transportleistung 100 Personenkilometer. Entsprechend beträgt die Transportleistung von einem Gütertransport à 10 Tonnen über 50km 500 Tonnenkilometer.

¹⁵ In der BfS-Publikation für das Jahr 2005 wird eine durchschnittliche Auslastung von 1.57 Personen angegeben. Jedoch diente für die entsprechenden ecoinvent-Datensätze das Jahr 2000 als Basisjahr, wo eine durchschnittliche Auslastung von 1.6 Personen ausgewiesen wird. Um mit den ecoinvent-Daten konsistent zu bleiben, wird (im Wissen der etwas zu optimistischen Werte) durchgängig eine durchschnittliche Auslastung von 1.6 Personen im mobitool-Projekt verwendet. Bei zweckspezifischen Datensätzen wie im mobicheck werden jedoch die neuen Auslastungswerte für den Pendlerverkehr von 1.1 Personen pro Fahrzeug aus dem Jahr 2005 verwendet.

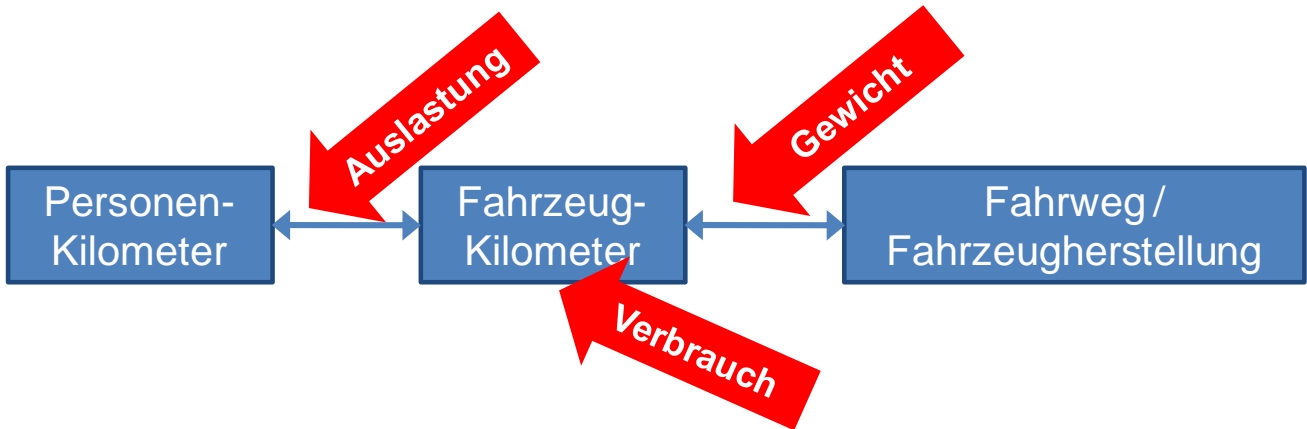
¹⁶ Dieser Wert berechnet sich wie folgt: 105 g CO₂-Äquivalente pro Fahrzeugkilometer geteilt durch 1.6 Personenkilometer pro Fahrzeugkilometer ergeben 65.3 g CO₂-Äquivalente pro Personenkilometer.

¹⁷ Selbstverständlich können auch andere Indikatoren gewählt werden, die Umweltauswirkungen werden entsprechend angezeigt. Im restlichen Kapitel wird wegen der besseren Übersichtlichkeit jeweils das Beispiel mit CO₂-Äquivalenten vorgerechnet.

3.3. Bilanzierung der einzelnen Module

Bisher wurden die Emissionsfaktoren von Verkehrsmitteln üblicherweise mit Standardwerten berechnet und bilanziert. Das mobitool-Projekt ermöglicht darüber hinaus auch die individuelle Anpassung der drei wesentlichen Einflussfaktoren „Auslastung“, „Verbrauch“ und „Fahrzeuggewicht“. Damit kann jeder Interessierte seine eigene, 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 und Fahrweg



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

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

| Entscheidende Faktoren für Umweltbilanz für „Pkw, Benzinbetrieb, EURO5“ | | | |
|--|--------------|---------------------------|--|
| Auslastung | 1.6 | [Personen / Fahrzeug] | In den ecoinvent-Datensätzen ist ein Fahrzeug ebenfalls mit 1.6 Personen besetzt. |
| Ø Verbrauch | 4.4 | [Liter / 100 km] | In Ecoinvent-Datensatz „Transport, passenger car, petrol, EURO5/CH“ ist ein durchschnittlicher Verbrauch von 7.18 Liter Benzin pro 100km vermerkt (Spielmann u. a. 2007). Für den Smart werden durchschnittlich 4.4 Liter Benzin auf 100km angegeben (Daimler 2010). |
| Fahrzeuggewicht | 750 | [kg] | Das durchschnittliche Fahrzeug in ecoinvent ist 1310 kg schwer (Spielmann u. a. 2007), der Smart fortwo (Benzin) weist ein Leergewicht von 750kg auf (Daimler 2010). |
| Bilanz des Transportes, aufgeteilt nach einzelnen Modulen | | | |
| direkter Betrieb | 65.4 | [g CO2-equ.] / pkm | Direkt vom Treibstoffverbrauch abhängig |
| indirekt für Betrieb durch Energiebereitstellung | 16.3 | [g CO2-equ.] / pkm | Direkt vom Treibstoffverbrauch abhängig |
| Fahrzeugunterhalt | 3.2 | [g CO2-equ.] / pkm | Nur abhängig pro gefahrener Fahrzeugkilometer |
| Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung | 11.0 | [g CO2-equ.] / pkm | Direkt abhängig von Fahrzeuggewicht |
| Fahrtweg (Strasse / Gleis / Häfen) | 5.0 | [g CO2-equ.] / pkm | Direkt abhängig von Fahrzeuggewicht |
| Summe | 101.0 | [g CO2-equ.] / pkm | - |

Der Faktor „Auslastung“ hat einen direkten Einfluss auf alle Module, da die Transportleistung im Vergleich zur Fahrzeugleistung erhöht wird. Oder mit anderen Worten: Je höher die Auslastung, desto tiefer ist die Umweltbelastung des gesamten Transportes¹⁸. Dieser Zusammenhang ist linear und wird mittels der folgenden Formel für alle nachfolgend noch genauer beschriebene Module berechnet:

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

Wie sich die Faktoren „Verbrauch“ und „Fahrzeuggewicht“ auf die übrigen Module auswirken, wird in den folgenden Unterkapitel beschrieben.

3.3.1. direkter Betrieb

Abgrenzung: In diesem Modul sind die jeweiligen Emissionen, resp. ist die Umweltbelastung notiert, welche durch den direkten Betrieb des Fahrzeuges am Fahrzeug selber entstehen. Dazu zählen beispielsweise die direkten Emissionen am Auspuff nach dem Katalysator oder die Abriebemissionen von Bremsbelägen, Rädern und Oberleitung (bei Bahnen). In den entsprechenden ecoinvent-Datensätzen (wie z.B. „operation, passenger car...“) ist jeweils die indirekte Energie durch die Energiebereitstellung ebenfalls enthalten. Für eine vereinfachte Kommunikation und grössere Transparenz werden im gesamten mobitool-Projekt die beiden Phasen unterschieden.

Diese Herangehensweise steht zudem im Einklang mit der in den beiden Umweltvergleichsrechnern EcoPassenger (www.ecopassenger.org) und EcoTransIT (www.ecotransit.org) gewählten Methodik (Knörr 2008 und Knörr 2009).

Skalierung: Im Rahmen des mobitool-Projektes werden die Umweltauswirkungen des direkten Betriebes entsprechend dem Treibstoffverbrauch skaliert¹⁹

Beispielrechnung für Transport mit Smart: Im ecoinvent-Datensatz „Transport, passenger car, petrol, EURO5/CH“ wird ein Treibstoffbedarf von 53.6 g Benzin pro km angegeben, was umgerechnet einem durch-

¹⁸ 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 und Stucki (2009) zitieren einen Mehrverbrauch von 3.1% (Benzin), resp. 3.3% (Diesel) pro zusätzlich mitfahrende Person.

¹⁹ Entsprechend werden die Abriebemissionen im gleichen Verhältnis skaliert. Da diese jedoch nur einen kleinen Teil der gesamten Emissionen bilden, wird diese Fehlberechnung aufgrund von Praktikabilitätsgründen bewusst akzeptiert.

schnittlichen Verbrauch von 7.18 Liter pro 100 km entspricht.²⁰ Pro Fahrzeugkilometer werden dementsprechend 170 g CO₂-Äquivalente ausgestossen, resp. pro Personenkilometer 107 g CO₂-Äquivalente. Für den Smart wird der Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

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

Damit ergeben sich für den Smart direkte Betriebsemissionen von gut 65g CO₂-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.2. 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 u. a. 2007). Bei den elektrisch betriebenen Fahrzeugen umfasst die Energiebereitstellung die Prozesse der Elektrizitätsproduktion im Kraftwerk über den Transport in Hochspannungsleitungen und Umtransformation bis in die Batterie, resp. den Fahrdracht.

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

3.3.3. Fahrzeugunterhalt

Abgrenzung: Der Fahrzeugunterhalt umfasst alle Prozesse, welche während der Lebensdauer des Fahrzeuges geschehen. Dazu zählt sowohl das Wechseln der Reifen, wie das Ersetzen von Verbrauchsmaterialien bis zu den Revisionen von Eisenbahnzügen (Spielmann u. a. 2007).

Skalierung: Es wird davon ausgegangen, dass der Unterhalt eines Fahrzeuges direkt mit der Fahrleistung zusammenhängt, so dass die Faktoren „Treibstoffverbrauch“ oder „Fahrzeuggewicht“ keine Rolle spielen. Dementsprechend wird der Fahrzeugunterhalt nur mit der aktuellen Auslastung skaliert (siehe oben).

3.3.4. Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung

Abgrenzung: Die Fahrzeugherstellung, resp. Fahrzeugentsorgung umfasst alle Vorgänge, welche direkt das Fahrzeug betreffen und nicht im Unterhalt abgebildet sind. Neben den reinen Materialaufwänden werden auch die 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 recyceln lassen, es wird jedoch mit keinen Gutschriften gerechnet.²¹

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. Eine Änderung der Fahrzeugmaterialien (wie beispielsweise ein zusätzlicher Elektromotor in Prius oder ein anderer Batterietyp in Elektrofahrzeugen) ist in diesem Modul nicht berücksichtigt.

Beispielrechnung für Transport mit Smart: Die Auswertung des ecoinvent-Datensatz „Transport, passenger car, petrol, EURO5/CH“ zeigt für die Fahrzeugherstellung und Fahrzeugentsorgung 19.36 g CO₂-Äquivalente pro Personenkilometer. Mit einem Fahrzeuggewicht von 750 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 von der Fahrzeugherstellung / Fahrzeugentsorgung von 11.0 g CO₂-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.3.5. Fahrweg

Abgrenzung: Zum Fahrweg werden der Bau, der Unterhalt und die Entsorgung von allen Arten von Fahrweg gezählt. Beim Strassenverkehr sind die beispielsweise die Strassen, Parkplätze und grössere Infrastrukturbauten wie Tunnels oder Brücken. Dementsprechend zählt man zur Bahnfahrweginfrastruktur das gesamte

²⁰ Im mobitool-Projekt wird mit einer Dichte von 0.747 kg pro Liter Benzin gerechnet, weitere energetische Kennwerte finden sich in Abschnitt 7.2.

²¹ Mit anderen Worten: Es wird der sogenannte „Cut-off“-Ansatz verwendet, im Gegensatz zum Ansatz des „Avoided-Burden“. Eine Diskussion von Vor- und Nachteilen findet sich beispielsweise in Frischknecht et al. (2007) oder Cederberg & Stadig (2003).

Trasse und die Kunstbauten wie Sicherungsmauern, Brücken und Tunnels. Beim Luftverkehr umfasst die Fahrwegsinfrastruktur einzig den Flughafen.

Die Fahrwegsinfrastruktur nimmt anders als die Fahrzeugherstellung, resp. der Fahrzeugunterhalt 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 Brutto-Tonnen-Kilometer, weil hauptsächlich das Fahrzeuggewicht für die Abnutzung der Infrastruktur und somit auch für die Erneuerungsaufwendungen verantwortlich ist. Die gesamten Infrastrukturaufwendungen für alle Verkehrsmittel werden den entsprechenden ecoinvent-Datensätzen entnommen, welches zu grossen Teile auf den Daten des „Ökoinventar Transporte“ von Maibach et al. (1999) basiert.

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

Beispielrechnung für Transport mit Smart: Die Auswertung des ecoinvent-Datensatz „Transport, passenger car, petrol, EURO5/CH“ zeigt für die Infrastrukturaufwendungen 9.35 g pro Personenkilometer²². Mit einem Fahrzeuggewicht von 750 kg von einem Smart wird dieser Wert pro Personenkilometer entsprechend der untenstehenden Berechnungsvorschrift skaliert:

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

Damit ergeben sich für den Smart Emissionen von der Fahrwegsinfrastruktur von 5.0 g CO₂-Äquivalente pro Personenkilometer.

3.4. Abgebildetes Optimierungspotential von Verkehrsmitteln

Aufgrund der skizzierten Zusammenhänge ergeben sich nun verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung des Verkehrsmittel, welche mit der mobitool-Emissionsfaktorenliste (siehe 2.2) abgebildet werden kann

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

Durch die systematische Erfassung von 97 verschiedenen Verkehrsmittel nach der gleichen Methodik können ferner alle Mobilitätsmassnahmen analysiert werden, welche auf der Substitution des bisherigen Verkehrsmittel basieren:

- Nutzung von IT-Kommunikationsmitteln: Videokonferenzen statt bisherige Pendlerfahrten
- Förderung des öffentlichen Verkehrs: öffentlicher Verkehr statt bisherige Pkw-Fahrten
- Business CarSharing: Nutzung des Pkw's erst auf der letzten Meile
- Parkplatzmanagement: Veränderung des bisherigen Modal-Splits
- Flottenmanagement: Ersatz von konventionellen Fahrzeugen mit Gas- oder Elektroantrieb
- etc.

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

²² Das in ecoinvent bilanzierte Mittelklasse-Fahrzeug weist ein Gewicht von 1310 kg auf.

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

Die oben geschilderte Methodik ermöglicht die Berechnung und Bilanzierung eines Verkehrsmittels nach beliebigen Ressourcen oder Umweltbelastungen. Aus Gründen der Praktikabilität ist es jedoch sinnvoll, eine Auswahl zu treffen. Die folgenden 8 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
- Treibhauspotenzial (GWP)
- Feinstaub (PM₁₀, PM_{2.5})
- Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMVOC
- Stickoxid (NO_x)
- Umweltbelastungspunkte UBP'06
- Ecoindicator 99

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 (Hischier u. a. 2009).

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 mehr als 50 Jahren 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 2000 Watt-Gesellschaft entwickelt²³: eine nachhaltige Energieversorgung, welche umweltverträglich ist und zugleich mindestens stabilen Wohlstand erlauben soll. Der Begriff geht von einer mittleren „Leistung“ von 2000 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 5000 Watt (BFE 2009a), und das ohne graue Energie, die noch einmal knapp 4000 Watt ausmacht. Ein grosser Teil der Menschheit muss dagegen mit weniger als 1000 Watt pro Kopf auskommen (PSI 2007).

Einheit: Die Nutzung von Primärenergie wird mit MJ-Äquivalenten (MJ-equ.) gemessen. Alternativ kann die Primärenergie in den Grössen „kWh-equ. Primärenergie“ oder „MWh-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. Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)

Beschreibung: Der anthropogen verursachte Treibhauseffekt entsteht überwiegend durch die Emission von Kohlendioxid (CO₂), welches aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammt. Neben Kohlendioxid tragen auch noch andere Treibhausgase, vor allem Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) wesentlich zum Treibhauseffekt bei. Die Wirkung der Treibhausgase wird als Treibhauspotenzial ausgedrückt. Oder mit anderen Worten: Das Treibhauspotenzial drückt aus, wie viel eine festgelegte Menge eines Treibhausgases zum Treibhauseffekt beiträgt.

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 2007).

Einheit: Als Vergleichswert dient dabei Kohlendioxid; die Abkürzung lautet CO₂e (für equivalent). Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum; oft werden 100 Jahre betrachtet. Beispielsweise beträgt das CO₂-Äquivalent für Methan bei einem Zeithorizont von 100 Jahren 25: Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan 25-mal stärker zum Treibhauseffekt beiträgt als ein Kilogramm CO₂. Für die

²³ Siehe www.novatlantis.ch

Berechnung des Treibhauspotenzials werden die Faktoren in Tab. 3.1 verwendet, als Basis dient der aktuelle IPCC-Bericht (IPCC 2007).

Tab. 4.1: Die wichtigsten Treibhausgase, deren Hauptquellen und das Treibhauspotenzial (IPCC 2007)

| 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 |
| Methan CH ₄ | Kläranlagen, Mülldeponien, Kohlebergbau (Grubengas), Erdgas- und Erdölproduktion, Reisanbau, Viehzucht | 25 |
| Distickstoffoxid (Lachgas) N ₂ O | Verbrennung von Biomasse, Stickstoffdünger in der Landwirtschaft | 298 |
| Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) | Gruppe verschiedener Verbindungen, Treibgase in Spraydosen, Kältemittel in Kühlanlagen, Narkosemittel, Füllgase in Schaumstoffen. Mit dem Montreal-Protokoll seit 1989 geregelt. | bis zu 14.400 |
| Fluorkohlenwasserstoffe FKW/HFKW | Treibgase in Spraydosen, Kältemittel in Kühlanlagen, Füllgase in Schaumstoffen | bis zu 14.800 |
| Schwefelhexafluorid SF ₆ | Schutzgas bei der technischen Erzeugung von Magnesium, Isoliergas in Hochspannungsschaltanlagen | 22'800 |
| Stickstofftrifluorid NF ₃ | Herstellung von Halbleitern, Solarzellen und Flüssigkristallbildschirmen | 17'200 |

Im Verkehr trägt CO₂ am meisten zum Treibhauspotenzial bei, unabhängig von der Antriebstechnologie²⁴. Je nach Antriebstechnologie stammt 89% bis 96% des Treibhauspotenzial vom CO₂, die restlichen Treibhausgase wie Methan, Lachgas oder Schwefelhexafluorid spielen nur bei einzelnen Antriebsarten, resp. Treibstoffen eine Rolle. Bei mobitool wird das gesamte wirksame Treibhauspotenzial ausgewiesen.²⁵ Die Tab. 4.2 gibt einen Überblick über den Anteil von CO₂ am gesamten Treibhauspotenzial.

Tab. 4.2: Anteil von CO₂ an gesamten Treibhauspotenzial im Verkehr

| Verkehrsmittel | Antrieb | GWP [g pro tkm/pkm] | Anteil an GWP | CO ₂ | Bemerkung |
|----------------|--------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|--|
| Pkw | Benzin / Diesel | 194.4 | 96.1% | - | |
| | Benzin mit 15% -Anteil Ethanol | 176.7 | 95.7% | - | |
| | Erdgas | 165.5 | 92.9% | - | |
| | Biogas | 101.2 | 58.2% | | Methanverluste während Biogasaufbereitung & Verteilung in Erdgasnetz, Stickstoffdünger |
| | Elektrizität, Ökostrommix | 58.8 | 90.1% | - | |
| öV | Trolleybus | 25.0 | 89.7% | - | |
| | Tram | 26.5 | 94.2% | - | |
| | S-Bahn | 9.2 | 89.3% | - | |
| | Regionalzug | 10.8 | 90.8% | - | |
| | Fernverkehrszug | 7.1 | 90.7% | - | |
| Bahn | Güterzug | 14.0 | 93.3% | - | |
| Lkw | Diesel | 136.3 | 96.1% | - | |
| | Rapsmethylester | 150.8 | 53.3% | | Stickstoffdünger in der Landwirtschaft |

²⁴ Diese spielt aber die grösste Rolle bezüglich der Höhe der Treibhausgasemissionen, generell ist der Betrieb von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen klimafreundlicher.

²⁵ Falls explizit nur die CO₂-Werte gewünscht wird, so sind entsprechende Adaptierungen notwendig.

4.3. Feinstaub: PM₁₀ und PM_{2.5} („Particulate matter“)

Beschreibung: Als Feinstaub (PM₁₀ 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 (PM₁₀) 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 Abriebsprozessen, deren Partikelgrösse eher in den Bereich von 10 Mikrometer fallen. In Städten beträgt der Anteil des Verkehrs an den Feinstaubemissionen schätzungsweise 20 Prozent, im Durchschnitt sind es gegen 30% (BGBl 2006).

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 u. a. 2008; Knörr 2008a). Dadurch können feine Partikel bis weit in die Lungenalveolen vordringen. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und Praktikabilität wird keine Gewichtung nach Emissionsort²⁶ 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.

4.4. Flüchtige, nicht methanhaltige organische Verbindungen: NMVOC

Beschreibung: Flüchtige organische Verbindungen 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 der gesamten Gruppe der VOC's ausgeklammert wird, was zur Gruppe der NMVOC führt (non methane volatile organic compounds)²⁷. NMVOCs 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. Benzol) 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 Verbrennungsprozessen²⁸.

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 wird²⁹. 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).

²⁶ Feinstaub ist vor allem in städtischen Räumen ein Problem.

²⁷ 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's in der Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen vom 12. November 1997 (VOCV 2009) geregelt.

²⁸ 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 zu einem grossen Teil unproblematischen chemischen Elemente Stickstoff und Wasser.

²⁹ Bildung von Salpetersäure (HNO₃) durch Reaktion von 2 Moleküle Stickstoffdioxid und 1 Molekül Wasser: $2 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$

Abhängig vom Entstehungsort sind die Wirkungen von NO_x unterschiedlich wirksam. Für den Menschen sind vor allem die innerorts entstehenden Emissionen bedeutsam, für die anderen Wirkungen wie Sommersmog, sauren 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'06

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.³⁰

Berücksichtigt werden Emissionen in Luft, Oberflächengewässer, Grundwasser und Boden. Weiter wird die Ressourcenentnahme aus der Umwelt (Energie, Landnutzung, Kies & Schotter, Süswasser) bewertet. In die Bewertung fließen ebenfalls die Abfälle in Reaktor- und Untertagedeponien sowie Endlagerstätten (radioaktive Abfälle) ein (Frischknecht u. a. 2008).

4.7. Eco-Indicator 99

Der Indikator „Eco-Indicator 99“ wurde von einem internationalen Expertenteam zwischen 1997 und 1999 für das niederländische Ministerium für Städtebau, Wohnen und Umwelt (VROM) entwickelt. Das Projekt wurde vom schweizerischen Nationalfond und dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft mitfinanziert. Die Methode geht davon aus, dass sich die Umweltwirkungen in die drei Kategorien „Schädigung der menschlichen Gesundheit“, „Schäden an Ökosystemen“ und „Schäden an Ressourcen“ einteilen lassen.

In einem Panelverfahren wurden Experten einerseits nach ihrer Gewichtung dieser drei Kategorien befragt, andererseits wurden persönliche Faktoren bezüglich Einstellung und Zukunftsperspektiven bestimmt. So konnte gezeigt werden, dass die Schadensgewichtung wertabhängig³¹ ist. In der Bewertungsmethode wurden deshalb die drei unterschiedliche Perspektiven in Tab. 4.3 entwickelt (Goedkopp 2009), im mobitool-Projekt wird ausschliesslich die Perspektive „Hierarchist“ verwendet. In der Methode sind die folgenden Effekte berücksichtigt:

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

Wie in anderen Bewertungsmethoden sind auch beim eco-Indicator 99 eine Reihe von Umweltauswirkungen nicht berücksichtigt: Lärm, nicht-ionisierende Strahlen oder Störfälle und weitere³².

Tab. 4.3: Unterschiedliche Perspektiven der Umweltbewertung, Methode „eco Indicator 99“

| Perspektive | Zeitliche sion | Dimen- sion | Lösungsansätze | Notwendige weisbarkeit | Be- wertungs- gewicht | Gewichtung | | |
|---------------|---|---------------------------------|---|---|-----------------------------|------------|-----------|------------|
| | | | | | | Mensch | Ökosystem | Ressourcen |
| Hierarchist | ausgewogen zwischen kurz- langfristig | zwei- und dreidimensional | Angepasste Poli- tik vermeidet Probleme | Berücksichtigung basierend auf Kon- sens | 30.2% | 37.7% | 32% | |
| Individualist | kurzfristig | zwei- dimensional | Technische Ent- wicklung verhilft zu Lösungen | Nur bewiesene Kausalketten | 53% | 25.9% | 21% | |
| Egalitarist | Sehr langfristig | zwei- dimensional | Probleme können zu Katastrophe führen | Mögliche und denkbare Effekte, auch nicht bewie- sen | 32.6% | 47.4% | 20% | |

³⁰ Die UBP-Methode wurde 1990 erstmals vom BAFU in Zusammenarbeit mit schweizerischen Unternehmen entwickelt und publiziert (Schriftenreihe Umwelt SRU 133). 1997 wurde die Methode von BAFU, Öbu und Unternehmen ein erstes Mal überarbeitet. Im Jahr 2008 konnte die zweite Überarbeitung abgeschlossen werden, wiederum waren BAFU, Unternehmen, Öbu und auf Ökobilanz-Spezialisten daran beteiligt.

³¹ Beispielweise wird ein "möglicherweise krebserzeugender" Stoff von der einen Person als extrem gefährlich angesehen, während eine andere Person diesen als eher unbedenklich einstuft, da der Beweis der Gefährlichkeit ja noch nicht vorliegt.

³² Im Gegensatz zu den Umweltbelastungspunkten wird beim eco-Indicator 99 die zu lagernde Abfallmenge (Deponie und Endlagerstätten für radioaktive Abfälle) ebenfalls nicht berücksichtigt.

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 mobitool-Projekt erarbeiteten Dokumente von Leuenberger et al. (2010c; 2010d; 2010a), sowie der ecoinvent-Report No. 14 von Spielmann et al. (2007). Eine Übersicht von allen Emissionsfaktoren und den verwendeten Datenquellen / ecoinvent-Datensätzen ist im Anhang unter 7.6 zu finden.

Grundsätzlich ist ein Verkehrsvergleich nur sinnvoll bei Verkehrsmittel, 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 300km zurückgelegt werden, während das Fahrrad vor allem im lokalen Bereich bis 5 oder 10km eingesetzt wird.

Im folgenden werden die Verkehrsmittel eingeteilt in Langsamverkehr, privater Strassenverkehr, öffentlicher Strassenverkehr, Schienenverkehr, Luftverkehr und virtuelle Mobilität. In der Emissionsfaktorentabelle auf S. IV 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, die zusätzlichen verbrauchten Kalorien liegen ausserhalb der Systemgrenze.

5.1.2. Fahrrad

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

Dies bedeutet dementsprechend, dass Teile des Fahrrades vorzeitig ersetzt werden müssen: 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 Pkw über die transportierten Bruttotonnenkilometer berechnet, es wird von einem mittleren Fahrzeuggewicht von 92kg (inkl. Fahrer) ausgegangen.

5.1.3. E-Bike

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

Für den Transport von einer Person über 100km benötigt ein E-Bike rund eine Kilowattstunde an Elektrizität, welche entweder als normalen Verbrauchsmix oder Ökostrommix³³ eingekauft werden kann. Dementsprechend unterscheiden sich die Ökobilanz-Ergebnisse des E-Bikes leicht voneinander. Gemäss Biketech (dem Hersteller des E-Bike „Flyer“) wird ein Akku alle 3 bis 4 Jahre ausgetauscht. Mit einer E-Bike-Lebensdauer von 15'000 km und einer jährlichen Fahrleistung von 1'000km führt dies zu einem durchschnittlichen Ersatz von 2.75 Akkus während der gesamten E-Bike-Lebensdauer.

5.2. Motorisierter Individualverkehr auf der Strasse

5.2.1. Scooter

Die nachstehenden Angaben, wie auch die Bilanzierung stammen von Leuenberger et al. (2010c). Konventionelle Scooter weisen einen Hubraum von 50 cm³ oder 125 cm³ auf, die letztere Kategorie benötigt einen eigenen Motorradführerschein. Da derzeit die Mehrheit der verkauften Roller der 50cc-Kategorie zuzuzählen ist, wird dieser Typ berücksichtigt.³⁴

³³ Weitere Informationen zu den Strommixen sind im Anhang im Abschnitt 7.3 zu finden.

³⁴ Die Höchstgeschwindigkeit der 50cc-Roller beträgt etwa 60-70 km / h.

Es wird von einer durchschnittlichen Lebensdauer von rund 50'000 km ausgegangen, durchschnittlich beträgt der Treibstoffverbrauch pro 100km rund 2.5 Liter Benzin. Als typische Auslastung werden 1.1 Personen angenommen, ein typischer Roller ist rund 90 kg schwer und besteht vorallem aus Stahl, etwas Gummi und Aluminium für Komponenten³⁵. 45% der in Kraft gesetzten Roller sind mit einem 2-Takt-Motor ausgerüstet, vorallem neue Roller weisen einen 4-Takt-Motor auf. Die Emissionen aus dem Verbrennungsmotor wurden aus dem Handbuch der Emissionsfaktoren abgeleitet (INFRAS & HBEFA 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 Skalierung vom Pkw extrapoliert.

5.2.2. Elektro-Scooter

Momentan entwickelt sich der Markt für Elektro-Roller in der Schweiz schnell, doch die Zahl der effektiv in Verkehr gebrachten Fahrzeuge ist noch klein. In der vorliegenden Bilanzierung (Leuenberger u. a. 2010c) dient ein normaler Scooter (siehe oben) als Basis, welcher mit einem Elektromotor (12 kg) und einer Lithium-Ionen-Batterie (25 kg) ergänzt wird. Das Gesamtgewicht des Scooters beträgt 144kg, während der gesamten Lebensdauer von 50'000 km wird der Lithium-Ionen-Akku einmal ausgetauscht.

Elektro-Scooter weisen einen Stromverbrauch von 2 bis 4 kWh pro 100 km auf, es wird ein mittlerer Strombedarf von 3 kWh pro 100km angenommen. Durch den elektrischen Antrieb entstehen keine direkten Verbrennungsemissionen, allerdings müssen die Abriebemissionen der Reifen ebenfalls berücksichtigt werden. Diese werden aufgrund des Gewichtsverhältnis zwischen Elektroauto und Elektroroller entsprechend extrapoliert (rund 10% der Werte eines Elektroautos, siehe 5.2.4).

5.2.3. Pkw (verschiedene Treibstoffe, ohne E-Pkw)

Der Pkw basiert auf einer Bilanzierung eines Mittelklassewagens (Golf), welcher 1310 kg schwer ist (Spielmann u. a. 2007). Das Fahrzeug besteht hauptsächlich aus Stahl, zu einem kleineren Anteil werden Aluminium, Kunststoffteile, Glas und Faserverbundwerkstoffe eingesetzt. Der durchschnittliche Pkw der Schweiz weist über alle Fahrzeugklassen einen Verbrauch von 8.8 Liter Treibstoff auf (Keller u. a. 2004). Damit liegt der Durchschnittsverbrauch um knapp 1.7 Liter höher als die Erhebungen der Neufahrzeugsflotte von autoschweiz. Der Grund liegt in der Verbesserung der Fahrzeuge: Die älteren, jedoch noch auf der Strasse verkehrenden Fahrzeuge weisen einen höheren Verbrauch als die Neufahrzeuge auf. Die Treibstoffverbräuche der Fahrzeuge ist direkt der Emissionsfaktorenliste zu entnehmen.

Insgesamt sind 13 verschiedene Pkw modelliert: Diese unterscheiden sich nach Treibstoff (Durchschnitt, Benzin, Diesel, Biogas, Erdgas, Ethanol 5%, Ethanol 15%) und Emissionskategorien, resp. Alter. Die Abgase eines Fahrzeuges einer Emissionskategorie, resp. EURO-Klasse muss bestimmten regulatorischen Anforderungen genügen (EU 2007). Heutige Neufahrzeuge entsprechen praktisch durchgehend der EURO5-Kategorie.

Es wird mit einer durchschnittlichen Auslastung von 1.6 Personen pro Fahrzeug gerechnet (BfS 2007). Je nach Fahrzweck unterscheiden sich diese Werte teils erheblich, siehe Tab. 5.1. Zusätzlich ist in der Tabelle die durchschnittliche Auslastung des Jahres 2000 aufgeführt, welcher der relevante Wert für die ecoinvent-Datensätze ist.

Tab. 5.1: Auslastung nach Fahrzweck, gemäss Angaben des Mikrozensus Verkehr

| Fahrzweck | Auslastung Personen / Pkw | Bezugsjahr und Quelle |
|---|---------------------------|------------------------------------|
| Arbeit | 1.11 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Ausbildung | 1.26 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Einkauf | 1.63 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| geschäftliche Tätigkeit | 1.25 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Dienstfahrt | 1.52 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Freizeit | 1.92 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Service und Begleitung | 2.16 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Durchschnitt über alle Fahrten | 1.57 | Jahr 2005, BfS (2007) |
| Durchschnitt über alle Fahrten im Jahr 2000 (relevant für ecoinvent-Datensätze) | 1.6 | Jahr 2000, Spielmann et al. (2007) |

³⁵ Die Materialzusammensetzung eines Scooters wird bis auf wenige Ausnahmen entsprechend dem Gewichtsverhältnis zu einem Pkw aus dessen Inventar berechnet.

Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Pkw's zu erreichen, werden in Abweichung von den ecoinvent-Datensätzen die Nicht-Betriebsemissionen einander angeglichen. So werden der Unterhalt, die Herstellung/Entsorgung des Fahrzeuges und der Fahrweg mit den Datensätzen vom „Pkw, Dieselmotor, EURO3“ angezeigt.

Beim Pkw ist die Betriebsphase am relevantesten. Zwischen 80%- und 90% der Umweltauswirkungen werden direkt (oder indirekt über die Energiebereitstellung) durch das Fahren des Fahrzeuges verursacht. Trotzdem ist auch der Anteil der Verkehrsinfrastruktur in absoluten Ziffern bedeutend: Alleine die Umweltauswirkungen der Infrastruktur für Fahrzeug und Fahrweg übersteigen die gesamten Umweltauswirkungen des öffentlichen Verkehrs.

5.2.4. E-Pkw (Elektrizität)

Elektrofahrzeuge werden vermehrt als Lösungen für eine Mobilität ohne fossile Treibstoffe gesehen. Mit den jüngsten Erfolgen bei der Lithium-Ionen-Batterie-Technologie können Fahrzeuge erstellt werden, welche den Bedürfnissen der Autofahrer bezüglich Reichweite und Fahrcharakteristik immer mehr entsprechen³⁶. Die Bilanzierung der Elektrofahrzeuge wurde durch Leuenberger et al. (2010a) vorgenommen, jedoch ohne Lithium-Ionen-Akku. Dieser basiert auf den Arbeiten der EMPA (Hischer u. a. 2007; Gauch u. a. 2009). Bei der Bilanzierung wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Der E-Pkw ist ein Mittelklassewagen (VW Golf), welcher nach Stand der aktuellen Technik mit Elektromotor und Lithium-Ionenbatterien ausgerüstet ist. Die Bilanzierung des Fahrzeuges erfolgte aufgrund des bestehenden Pkw-Datensatzes von Spielmann et al. (2007), unter Abzug von Tank und Benzinmotor.
- Ergänzt wurde das Fahrzeug mit einem 104kg schweren Elektromotor, sowie einem Lithium-Ionen-Akku. Die Batteriezellen sind 240 kg schwer, ergänzt mit dem Batteriegehäuse und elektronischer Laderegulierung weist die gesamte Batterie ein Gesamtgewicht von 312kg auf.³⁷
- Der durchschnittliche Energiebedarf pro 100km wird mit 20kWh³⁸ angenommen, in Zusammenhang mit der obigen Batterie ergibt sich eine Reichweite von 130 km. In der Emissionsfaktorenliste werden zwei Datensätze des E-Pkw aufgeführt: Einmal wird das Fahrzeug mit dem schweizerischen Verbrauchsmix (siehe 7.3.2) betrieben, alternativ dient der Ökostrommix der Schweiz als Energiequelle (siehe 7.3.3).
- Lithium-Ion-Batterien für Elektrofahrzeuge wurden erst vor kurzem in den Markt eingeführt, so dass die Hersteller nur wenig Erfahrung mit der Lebensdauer von Batterien haben. Gemäss Laboruntersuchungen weisen diese eine Lebensdauer von 150'000 km auf, unter realen Bedingungen zeigen die Batterien teilweise eine tiefere Lebensdauer. Es wird davon ausgegangen, dass die Batterie einmal in der Lebensdauer des Fahrzeuges (150'000 km) ersetzt wird.

Bei Elektrofahrzeugen ist die heutige Produktion der Lithium-Ionen-Batterie relevant für die Umweltbilanz. Durch verbesserte Produktionsprozesse in der Batterieherstellung ist in Zukunft eine leichte Verbesserung der Umwelteffizienz möglich. Deutlich verbessern wird sich die Bilanz aber erst bei einer massiven Verkleinerung des Pkw's und einer dementsprechend kleineren Batterie (siehe nachfolgender Abschnitt 5.2.5).

Aufgrund von fehlenden Daten konnten keine alternativen Batteriekonzepte wie beispielsweise die Zebra-Batterie von MES-DEA 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.³⁹

5.2.5. CityCar (Leichtbau-Pkw mit Elektrizität / Diesel)

Der CityCar repräsentiert eine zukünftige Form der Strassenmobilität, wo das Gewicht der Fahrzeuge drastisch reduziert wird. Als Basis der Bilanzierung dient der ConceptCar Loremo⁴⁰, bilanziert wurde das Verkehrsmittel von Leuenberger et al. (Leuenberger u. a. 2010a). Insgesamt gibt es drei Varianten des CityCars: Antrieb mit Diesel, elektrischer Antrieb mit Verbrauchsmix, elektrischer Antrieb mit Ökostrommix. Bei allen drei Varianten ist der Energiebedarf klein, so kommt der Dieselantrieb mit 2 l pro 100km aus, während die elekt-

³⁶ Aktuell werden erste Vorserienfahrzeuge von der Automobilindustrie produziert.

³⁷ Die Energiedichte der Lithium-Ionen-Batteriezelle beträgt 130 Wh / kg und 100 Wh / kg im gesamten Akku.

³⁸ Dieser Wert ist teilweise höher als auf Datenblättern der Hersteller angegeben: Analog wie bei den Benzinfahrzeugen differieren jedoch die Werte zwischen Praxis und Theorie. Zudem muss ein Elektrofahrzeug im Winter rein elektrisch geheizt werden, was oft nicht in den Datenblättern berücksichtigt wird.

³⁹ Die Zebra-Batterie ist jedoch auf höhere Betriebstemperaturen angewiesen, so dass sich unter Umständen der Materialvorteil durch die Wärmeabstrahlung kompensiert.

⁴⁰ Siehe www.loremo.com

risch angetriebenen Fahrzeuge 7 kWh pro 100km benötigen. Die Bilanzierung des CityCar's basiert auf folgenden Annahmen:

- Der CityCar wiegt insgesamt 550kg, wobei das reine Gewicht der Struktur nur rund 100kg dazu beiträgt. Die Herstellung des Fahrzeuges wurde mit einer gewichtsabhängigen Skalierung aufgrund des Mittelklassewagens abgeschätzt.
- Bei den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ist zusätzlich eine 100kg schwere Lithium-Ionenbatterie bilanziert, der Elektromotor wiegt 70kg.
- Die Lebensdauer von allen Fahrzeugen beträgt 150'000 km. Es wird angenommen, dass die Batterie ebenfalls eine Lebensdauer von 150'000km aufweist und dementsprechend nicht ersetzt wird.

Die Emissionen des Verbrennungsmotors wurden vom Betrieb eines Euro5 Diesel-Pkw extrapoliert.

5.2.6. Kleinbus

Basierend auf Angaben eines Vermietungsunternehmens⁴¹ werden die Umweltauswirkungen des Personen-transportes mit einem Kleinbus abgeschätzt. Kleinbusse bieten bis zu 15 Personen Platz und werden für Gruppenreisen oder Shuttle-Fahrten eingesetzt. Typischerweise liegt der Verbrauch bei ca. 11 Liter Treibstoff pro 100km, als Basis diente der ecoinvent-Datensatz des 3.5t-Kleintransporter. Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Der Aufwand für den Wagenaufbau unterscheidet sich nicht von der (bilanzierten) Ladebrücke des Kleintransporters. Ebenfalls ist der Unterhalt und die Entsorgung des Fahrzeuges identisch zu dem 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 Vermietstationen 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 Ortsbus

Grundlage der Bilanzierung (Spielmann u. a. 2007) des öffentlichen Strassenverkehrs (Tram, Trolley- und Ortsbus) sind die Daten der Verkehrsbetriebe von Zürich, Bern und Lugano. Es wird angenommen, dass ein Ortsbus eine durchschnittliche Lebensdauer von 12.5 Jahre aufweist, resp. der Trolleybus 17 Jahre und das Tram insgesamt 30 Jahre. Mit den durchschnittlichen Auslastungen (Ortsbus: 14 Personen, Trolleybus: 26 Personen und Tram 53 Personen) ergeben sich so hohe Passagiertransportleistungen. Dies erklärt auch die gegenüber dem Pkw tiefen Emissionswerte für den Unterhalt, resp. die Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge.

Pro Kilometer Tramfahrt werden 4.75 kWh an elektrischer Energie gebraucht, was pro Passagier einen Endenergiebedarf von rund 0.9 Liter Diesel auf 100km ergibt. Der Trolleybus bezieht pro Fahrzeugkilometer gut 3 kWh von der Fahrleitung, umgerechnet auf den Passagier ergibt sich ein Endenergiebedarf von 1.1 Liter Diesel pro 100km. Der reguläre Bus weist dagegen einen Verbrauch von rund 42 Liter Diesel pro 100km auf, umgerechnet auf den Passagier ergeben sich rund 3 Liter pro 100km.

5.3.2. Strasse: Reisebus (Car)

Die Bilanzierung des Reisecar basiert auf dem Fahrzeug des normalen Ortsbuses des öffentlichen Verkehrs. Durch die etwas andere Fahrcharakteristik mit weniger Beschleunigungsaktionen ist der Treibstoffbedarf jedoch geringer: Pro 100 Kilometer benötigt ein Car rund 30 Liter Diesel, was pro Passagier (durchschnittliche Auslastung: 21 Personen) einen Energiebedarf von 1.45 Liter pro 100km bedeutet.

5.3.3. öV Durchschnitt

Im Jahr 2006 wurden in der Schweiz mit dem öffentlichen Verkehr insgesamt 21.8 Milliarden Personenkilometer zurückgelegt. Diese teilen sich wie folgt auf die einzelnen Verkehrsträger auf: Die Bahnen verzeichnen 16.7 Milliarden Personenkilometer, im städtischen Nahverkehr (Tram, Trolleybus und Stadt-/Ortsbus) 3.1 Milliarden und im regionalen Busverkehr inklusive Postauto 2.0 Milliarden Personenkilometer (VöV 2007).

Da in der Bilanzierung kein Unterschied zwischen einem öffentlichen Überlandbus und einem Stadtbus besteht, werden diese beiden Kategorien zusammengefasst, so dass für den Bus ein Anteil von 11.9% resultiert

⁴¹ Telefonischer Kontakt mit Michael Trummer, Busmiete GmbH am 22. Januar 2010

(9.2% vom Bus im städtischen Nahverkehr und 2.7% vom Bus im regionalen Busverkehr). Die Aufteilung in Regional- und Fernverkehr bei der Bahn wurde aufgrund der Angaben im Vademecum der SBB (2009) bestimmt. Die Aufteilung der Verkehrsträger im städtischen Nahverkehr wird mittels der publizierten Zahlen der VBZ der Stadt Zürich vorgenommen (VBZ 2010).

Tab. 5.2: Durchschnitt des öffentlichen Verkehrs

| Verkehrsträger des öffentlichen Verkehrs | Transportleistung [Milliarden pkm] | Anteil | Quelle: |
|--|------------------------------------|---------------|------------|
| Bahn | 16.7 | 76.6% | VöV (2007) |
| <i>Regionalverkehr</i> | 3.93 | 18.0% | SBB (2009) |
| <i>Fernverkehr</i> | 12.77 | 58.6% | SBB (2009) |
| städtischer Nahverkehr | 3.10 | 14.2% | VöV (2007) |
| <i>Tram</i> | 1.81 | 8.3% | VBZ (2010) |
| <i>Bus</i> | 0.59 | 2.7% | VBZ (2010) |
| <i>Trolleybus</i> | 0.70 | 3.2% | VBZ (2010) |
| Busverkehr regional | 2 | 9.2% | VöV (2007) |
| Summe | 21.8 | 100.0% | VöV (2007) |

Im Durchschnitt ist der Personentransport einer Person über einen Kilometer mit dem öffentlichen Verkehr mit einem Ausstoss von 24.3 g CO₂-Äquivalenten verbunden, resp. benötigt einen Primärenergiebedarf von umgerechnet 2.2 Liter Diesel pro 100 km.

5.3.4. Wasser: Personenschiff

Grundlage der Schiffbilanzierung sind die Geschäftsberichte der Zürichsee-Gesellschaft (ZSG 2009). Im Jahr 2008 legten die 15 Motorschiffe (Ø 148 Tonnen schwer) total 342'000 km zurück, dabei erreichten sie eine Transportleistung von rund 28 Millionen Personenkilometer (ZVV 2009). Dabei waren 20.9% der Sitzplätze belegt, im Durchschnitt reisten pro Schiff 84 Personen mit. Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Treibstoffverbrauch pro 100 Personenkilometer von 3.8 Liter.

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 u. a. 1999; Spielmann u. a. 2007; Knörr 2008a). Die Bilanzierung von Spielmann et al. (2007) ist Basis für den ecoinvent-Datenbestand und die umfassendste ihrer Art. Im Rahmen des mobitool-Projektes wurde eine Aufdatierung der Verbrauchsdaten mit den Werten des Jahres 2008 vorgenommen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Umweltbilanz unterscheidet Fernverkehr und Regionalverkehr: Zusätzlich wird die S-Bahn als wichtiger Bestandteil des Regionalverkehrs gesondert mitbilanziert. Die Transportleistungsdaten für den Fern- und Regionalverkehr stammen von der SBB (2009), die Daten der S-Bahn vom Zürcher Verkehrsverbund ZVV (2009).
- Die Züge sind durchschnittlich ausgelastet: In einem Regionalzug sind normalerweise 18% von 309 Sitzplätzen besetzt, während in einem Fernverkehrszug rund 33% von 616 Sitzplätzen besetzt sind. In einer S-Bahn sind 95 von 271 Sitzplätzen belegt.
- Der Fernverkehr geht von einem mittleren Energieverbrauch von 0.075 kWh pro pkm aus, was einem umgerechneten Endenergiebedarf von 0.75 Liter Benzin-Äquivalente pro 100km entspricht. Im Regionalverkehr ist der Energieverbrauch entsprechend der tieferen Auslastung höher: Hier werden 0.164 kWh pro pkm gebraucht, resp. 1.6 Liter Benzin-Äquivalente/100km. Die S-Bahn kommt auf einen Energiebedarf von 0.82 Liter Benzin-Äquivalenten pro 100km. Im Durchschnitt braucht ein schweizerischer Zug umgerechnet knapp 1 Liter Benzin-Äquivalente an Endenergie pro 100km.
- Die Züge werden mit dem Verbrauchsmix der schweizerischen Eisenbahnen angetrieben, für Details siehe Abschnitt 7.3.2. Anders als in normalen Haushalten, beträgt die Frequenz im Bahnstromnetz 16.7 Hz (statt 50Hz). Diese bedingt ein komplett eigenes Bahnstromnetz mit Umschaltstationen, Hochspannungsleitungen und Einspeisepunkten. Die Verteilung der Elektrizität vom Kraftwerk bis zum Fahrdrabt wird gemäss der Bilanzierung des 50Hz-Netzes von Frischknecht et al. (2007) 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.

- Eine Allokation für den Bau, den Unterhalt und die Entsorgung von den Gleisanlagen wird mittels der transportierten Bruttotonnenkilometer zwischen den einzelnen Zugverkehrsarten vorgenommen.

5.4.2. *Schiene Europa: Eisenbahn in Europa*

Die Bilanzierung der ausländischen Eisenbahnen basiert einerseits auf den effektiven Energieverbrauchs- und Leistungskennwerten der Bahngesellschaften (UIC 2007). Andererseits dienen die von Spielmann et al. (2007) erhobenen Umweltdaten der Fahrzeuge und Gleisanlagen als Referenzgrößen (siehe oben). 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 verwendet⁴²
- In den betrachteten europäischen Ländern werden einige der Personenzüge mit Diesel betrieben, was einen entsprechenden direkten CO₂-Ausstoss zur Folge hat. Es werden jeweils die länderspezifischen Strommische als Annäherung verwendet, es kommen keine Bahnstrommische zum Einsatz.
- 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.

5.4.3. *Hochgeschwindigkeitszüge in Deutschland, Italien, Frankreich*

Mehrere europäische Bahnen haben sich in der Allianz „Railteam“⁴³ 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 können⁴⁴. Ein weiterer Effekt der verbesserten Verbindung ist das Einstellen von Flügen zwischen bestimmten Destinationen.

- Die Bilanzierung der Züge basiert auf den Arbeiten von Rozycki et al. (2003), wo für den deutschen ICE ein detailliertes Ökologieprofil aufgenommen wurde.
- Der direkte Endenergieverbrauch beträgt 0.084 kWh/pkm. Dieser Wert ist etwas höher als beim schweizerischen Fernverkehrszug aufgrund der gefahrenen Geschwindigkeit des Zuges (und des dementsprechend höheren Luftwiderstand). Da ein Hochgeschwindigkeitszug aber über längere Strecken relativ gleichmässig fährt, sind weniger Beschleunigungs- und Bremsvorgänge notwendig (was den Energieverbrauch wieder senkt).
- Die Gleisanlagen für den Hochgeschwindigkeitszug werden mit eigenen Datensätzen abgebildet (Spielmann u. a. 2007), die Entsorgung der Gleise basiert jedoch auf der Entsorgung in der Schweiz.
- Es werden länderspezifische Elektrizitätsmische verwendet, ansonsten besteht zwischen den drei Ländern kein Unterschied in der Bilanzierung.

5.5. **Luftverkehr**

5.5.1. *Luft: Helikopter*

Die Umweltbilanz eines Helikopters hängt entscheidend von der Nutzungscharakteristik ab: So ist ein Flug mit häufigen Lande- / Startzyklen 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: Summe der Start-Landezyklen plus Flugdauer pro Stunde ergibt Gesamtbilanz. Pro Lande- und Startzyklus braucht ein mittlerer Helikopter 42 kg Kerosen, pro Flugstunde rund 26 kg. Bei der Bilanzierung des Helikopters wird keine Verkehrsinfrastruktur und keine Entsorgung des Helikopters berücksichtigt. In Abweichung zum ecoinvent-Datensatzes wird angenommen, dass 5% der angenommenen Helikopterproduktion für den Unterhalt gebraucht wird. Im Total stimmt der Wert von mobitool mit dem ecoinvent-Datensatz überein.

⁴² Dies bedeutet, dass mögliche Unterschiede in der Umwelteffizienz einander angeglichen werden und nur der Durchschnitt in die Umweltbilanzierung einfließt.

⁴³ Siehe auch www.railteam.eu

⁴⁴ Dementsprechend wird oft die Frage gestellt, ob die graue Energie in den aufwändigen Bauten einer Neubaustrecke den verbesserten Betriebseffekt kompensiert. Tuchschnid (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.

5.5.2. Luft: Flugzeug

Die Bilanzierung des Flugzeuges gemäss Spielmann et al. (2007) basiert auf den Durchschnittswerten aus dem Jahr 2000, obschon sich die Bedeutung des Luftverkehrs geändert hat: So erhöhte sich das totale Passagieraufkommen in der Schweiz zwischen 2002 und 2007 um rund 25% von 28.7 Millionen Passagieren auf 36.0 Millionen Passagieren (BfS 2008). Diese Steigerung liess sich ebenfalls global und über einen weiteren Zeitraum⁴⁵ beobachten: Im Zeitraum zwischen 1995 und 2005 stieg die weltweite Luftverkehrsleistung (in Personenkilometer) um gut 65% (DLR 2006). Die Bilanzierung des Verkehrsmittels „Flugzeug“ geht von folgenden Annahmen aus:

- Das Interkontinental-Flugzeug wird mit einem "Airbus A340-600" angenähert, welches eine typische Bestuhlung von 380 Sitzplätzen aufweist und ein Leergewicht von 178 Tonnen aufweist. Ein Flug in Europa wird mit einem Airbus A 320 bilanziert (Leergewicht von 61t, 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 wird mit 100kg gerechnet.
- Pro Tonnenkilometer Luftfracht (Passagier & Güterverkehr) sind im interkontinentalen Verkehr rund 288 g Kerosen notwendig, während im europäischen Flugverkehr mit einem höheren Start-/ Landeannteil 452g/tkm benötigt werden.
- In Abweichung des ecoinvent-Datensatzes wird angenommen, dass 5% der angenommenen Flugzeugproduktion für den Flugzeugunterhalt gebraucht wird. Im Total stimmt der Wert von mobitool mit dem ecoinvent-Datensatz überein.

5.5.3. Luft: Seilbahn

Die Ökobilanz der Seilbahnen basieren auf den Geschäftsberichten der Luftseilbahn Adliswil-Felsenegg (LAF 2010), sowie der Luftseilbahn Kandersteg-Sunnbühl (LKS 2007). Dabei wird von einer durchschnittlichen Neigung von 31% ausgegangen, sowie einer durchschnittlichen Kabinengrösse von 30 Personen. Pro Personenkilometer (horizontal gemessen) sind 0.39kWh an Endenergie notwendig.

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 jedoch die Interaktionszeit als Bezugsgrösse. Die gesamten Informationen zur virtuellen Mobilität, wie auch die Bilanzierung stammen von Leuenberger et al. (2010d). Im Rahmen des mobitool-Projektes wurden Videokonferenzen und Teleworking analysiert und bilanziert.

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 Bildschirmhalten sind möglich, so dass auf Reisen an Sitzungen oft verzichtet werden kann. Andererseits wird IT-Infrastruktur inklusive Datenübertragung benötigt, welches 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 geographischen 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 ein Mitarbeiter nicht zu seiner Arbeitsstelle pendeln. Teleworking erfordert ein angemessener Netzzugang, eine Basis-Büroinfrastruktur⁴⁶ sowie die entsprechende Kommunikationstechnologie beim Unternehmen. Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen: Die Lebensdauer eines Laptops beträgt vier Jahre,

⁴⁵ Der 11. September 2001 und die SARS-Krise führten zu einer Stagnation des Flugverkehrs in den Jahren 2001 bis 2003. Seither kann ein jährliches Wachstum von etwa 4% bis 6% festgestellt werden.

⁴⁶ Diese wurde in der Bilanzierung nicht berücksichtigt: Es wird davon ausgegangen, dass ein Büroarbeitsplatz unabhängig von der Teleworking-Möglichkeit am Wohnort des Mitarbeiter vorhanden ist.

dieser wird jährlich während 1850 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). Die Bilanzierung geht von folgenden Annahmen aus:

- Verschiedene Faktoren beeinflussen den durchschnittlichen Energieverbrauch eines Güterzuges: Zuglänge, Auslastung, Witterung oder auch die Fahrpraxis der Lokomotivführer. In den letzten Jahren pendelte der Wert zwischen 74 Wh und 76 Wh pro Tonnenkilometer, inbegriffen ist der Stromübertragungsverlust von 10% zwischen Kraftwerk und Stromabnehmer.
- Die Entsorgung von der Lokomotive und der Bahn-Trasse sind berücksichtigt, nicht jedoch die Entsorgung des Güterwagens. Ein Grund dafür ist die lange Lebensdauer von Güterwaggons.
- Es wird angenommen, dass der gesamte Dieserverbrauch ausschliesslich für das Rangieren der Waggons verwendet wurde und dass alle Rangierlokomotiven mit Diesel betrieben werden. Daraus resultieren 0.68g Diesel/tkm für den durchschnittlichen Eisenbahntransport in der Schweiz. Im Datensatz „Zug Schweiz, nur Elektrolok“ wird der Dieserverbrauch für Rangieren nicht berücksichtigt. Dieser Datensatz ist beispielsweise im grenzüberschreitenden Transitverkehr.
- Rund 60% der installierten Leistung der Diesellokomotiven der SBB sind mit Dieselpartikelfilter ausgerüstet. Mittels Keramikelementen gelangen so mehr als 90% der Partikel nicht mehr in die Luft. Diese Reduktion der Feinstaubbelastung wird im durchschnittlichen Datensatz mitberücksichtigt.

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 der Transportleistung stammen aus der Publikation des internationalen Eisenbahnverbandes UIC (2007). Die Fahrzeuge und die Gleisanlagen werden gemäss der von Spielmann et al. (2007) erhobenen Umweltdaten mit einbezogen. Bei der Bilanzierung wurde von folgenden Annahmen und Datenquellen ausgegangen:

- Es werden jeweils die länderspezifischen Strommixe als Annäherung verwendet, es kommen keine Bahnstrommixe zum Einsatz. Der jeweilige Anteil Diesel wird entsprechend berücksichtigt: In Österreich werden ungefähr 6% der Güter mit Diesel transportiert, in Italien 4% und in Deutschland rund 14%.
- Bei den Transporten mit ausschliesslicher elektrischer Traktion (z.B. Zug Deutschland, nur Elektrolok ohne Rangierfahrten“ wurde die getankte Dieselmenge auf elektrische Endenergie umgerechnet.⁴⁷ Rangierfahrten wurden nicht berücksichtigt, zur Anwendung kamen wie im Personenverkehr die länderspezifischen Strommixe ohne Berücksichtigung von bahnspezifischen Strommischen.
- Die gesamte Bilanz bezieht sich auf eine durchschnittliche Auslastung. Diese wurde bestimmt aufgrund der Transportleistung (Tonnenkilometer) geteilt durch die Fahrzeugleistung (Zugkilometer).
- Aus Gründen der Datenverfügbarkeit werden die Umweltbelastungen von Fahrzeug und Fahrweg mit den schweizerischen Werten angenähert.

6.2. Strasse

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

Die Bilanzierung eines durchschnittlichen Lastwagens basiert auf der Erhebung „Transportleistung der in- und ausländischen Fahrzeuge nach Fahrzeugart des Bundesamtes für Statistik (2009). Ein durchschnittlicher Lastwagen wird aus den im ecoinvent-Datenbestand enthaltenen Lastwagenklassen gemäss Tab. 6.1 zusammengesetzt.

⁴⁷ Es wird angenommen, dass 1/3 der getankten Energie als Endenergie am Rad benötigt wird.

Insgesamt wurde durch Lastwagen im Jahr 2006 eine Transportleistung von 16'226 Millionen Tonnenkilometer mit 5'666 Fahrzeugkilometer erbracht. Dies ergibt eine durchschnittliche Auslastung von 2.86 Tonnen pro Fahrzeug.

Tab. 6.1: Fahr- und Transportleistung des schweizerischen Strassengüterverkehrs

| | Einheit | Leichte Sachen-Transportfahrzeuge | Lastwagen | Sattelzüge | Summe |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------|------------|-------|
| Tonnenkilometer | Millionen tkm | 1044 | 6848 | 8334 | 16226 |
| Anteil an Transportdienstleistung | % | 6% | 42% | 51% | 100% |
| Fahrzeugleistung | Millionen vkm | 3528 | 1271 | 867 | 5666 |
| Durchschnittliche Beladung | t/km | 0.30 | 5.39 | 9.61 | 2.86 |

6.2.2. Kleintransporter (<3.5t)

Der Kleintransporter mit einem Gesamtgewicht von unter 3.5 Tonnen wird mit einem (skalierten) Pkw angenähert (Spielmann u. a. 2007), da die verwendeten Technologien einander sehr ähnlich sind. Durchschnittlich werden in einem Kleintransporter nur rund 270 kg an Nutzlast transportiert, dementsprechend hoch sind die Aufwendungen pro Tonnenkilometer. Pro Fahrzeugkilometer benötigt ein Kleintransporter rund 10.7 Liter Treibstoff, es wird von einem Dieselanteil von rund 65% ausgegangen.

6.2.3. Lastwagen (3.5t-20t), Sattelschlepper (20t-28t) und grosse Sattelschlepper (>28t)

Die Bilanzierung des Strassengüterverkehrs wurde von Spielmann et al. (2007) erstellt. Es lassen sich drei verschiedene Lastwagenklassen unterscheiden, bei welchen die Zugmaschine jedoch einheitlich mit einem Volvo-Lastwagen bilanziert wurde. Alle Fahrzeuge weisen eine durchschnittlich Lebensdauer von 540'000 Fahrzeugkilometer auf, die maximalen Kapazitäten der Fahrzeuge hängen stark von den verwendeten Aufbauten ab.

- Lastwagen (3.5t -20t): Dieser Lastwagen weist eine durchschnittliche Nutzladung von 2.93 Tonnen auf, pro Fahrzeugkilometer benötigt der Transporter 180 g, resp. 0.216 Liter Diesel. Im Schnitt können mit einem Lastwagen dieser Klasse 6.9 Tonnen transportiert werden.
- Sattelschlepper 20t-28t): Ein durchschnittlicher Sattelschlepper weist eine Nutzlast von rund 5.82 t auf, pro Fahrzeugkilometer werden 250 g, resp. 0.3 Liter Diesel gebraucht. Die maximale Nutzlast wäre 12.3 Tonnen.
- In einem grossen Sattelschlepper (>28t) werden durchschnittlich 9.68t mit 0.28kg, resp. 0.33 Liter Diesel über einen Kilometer transportiert. In einem Fahrzeug dieser Klasse werden bis zu 21.3 t transportiert.

6.2.4. Müllsammelwagen, 21t

Die Bilanzierung des Strassengüterverkehrs wurde von Spielmann et al. (2007) erstellt. In Abweichung zum ecoinvent-Datensatzes wird angenommen, dass 5% der angenommenen Fahrzeugproduktion für den Unterhalt gebraucht wird. Im Total stimmt der Wert von mobitool mit dem ecoinvent-Datensatz überein.

6.3. Kombiniertes 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 auch grössere Transportmengen, benötigt aber schon einen etwas höheren Personalbedarf. Im Vergleich zur Binnenschifffahrt kann die Bahn auf ein wesentlich dichteres Netz von Verladestationen zugreifen (VöV 2009). Im Folgenden wird der kombinierte Verkehr aus Sicht der Bahn betrachtet, wo der gesamte Container inkl. Sattelaufleger / 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 5000 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 Lkw 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 Sattelaufleger auf den Zug verladen. Für die Berechnung wird von einem durchschnittlichen Gewicht der Zugmaschine von 12 Tonnen ausgegangen, der Anhänger selbst weist ein Gewicht von etwa 4 Tonnen auf. Mit einer durchschnittlichen Nutzlast von 9.6 Tonnen (durchschnittliche Nutzlast von einem Sattelzug, siehe Tab. 6.1) und einem Gewicht des Eisenbahnwagens von 12 Tonnen ergibt sich ein Bruttogewicht von 37.6 Tonnen, die Nutzlast beträgt 9.6 Tonnen. Der Ladefaktor beträgt also 0.255.
- 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 0.42 auf, damit ist die Auslastung der rollenden Landstrasse entsprechend geringer. Sie beträgt nur rund 60.7% der durchschnittlichen Auslastung von einem schweizerischen Güterwagen (0.255/0.42). Die Neuberechnung mittels der veränderten Auslastung wird analog Abschnitt 3.3 vorgenommen.

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 Sattelaufleger: So müssen am Entladeort keine Umladeaktionen mehr vorgenommen werden müssen und der Nachlauf mit dem Lkw 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 25.6 Tonnen, während die Nutzlast unverändert bei 9.6 Tonnen angenommen wird. Damit erreicht der Huckepack-Transport einen durchschnittlichen Ladefaktor von 0.375.
- Im Vergleich zum normalen Gütertransport auf der Schiene beträgt damit die Auslastung 89%, die Berechnung erfolgt aufgrund einer Skalierung des normalen Güterzuges analog des vorgestellten Ansatzes in Abschnitt 3.3.

6.4. Schiff

Die Bilanzierung des Gütertransportes des Schiffgüterverkehrs wird einerseits für Containerschiffe vorgenommen, welche auf Hochsee verkehren. Andererseits spielt die Binnenschifffahrt je nach Transportgut ebenfalls eine gewichtige Rolle⁴⁸ und wird deshalb ebenfalls aufgeführt. Die Informationen stammen für beide Verkehrsmittel von Spielmann et al. (2007):

- Pro Tonnenkilometer Containerfracht auf See benötigt ein grösseres Containerschiff rund 2.5 g Schweröl, ein Binnenschiff 9.4 g/tkm.
- Das Containerschiff weist eine Ladekapazität von gut 50'000 Tonnen auf, und ist rund 7500 Tonnen schwer. Ein Binnenschiff (beispielsweise für den Rhein) ist rund 270 Tonnen schwer und kann insgesamt rund 1000 Tonnen auf einmal transportieren. Beide Datensätze berücksichtigen die Herstellung des Schiffes, nicht jedoch die Entsorgung.

6.5. Flugzeug

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

⁴⁸ So werden beispielsweise etwa 23% des Rohöls mittels Binnenschiffen in die Schweiz transportiert (EV/UP 2008).

7. Anhang

7.1. Literatur

- AEE, 2008. *Ökostrom in der Schweiz – der Marktanteil erneuerbarer Stromprodukte im Jahr 2008*, Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz, Zürich.
- ARE, 2004. *Entwicklung des Strassengüterverkehrs nach Einführung von LSVA und 34t-Limite: Analyse wichtiger Einflussfaktoren*, Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Strassen, Bundesamt für Verkehr.
- BAFU, 2010. *CO2-Statistik gemäss CO2-Gesetz*, Available at: www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de [Zugegriffen Februar 11, 2010].
- BFE, 2006. *Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor: Resultate 2002 bis 2004*, Bern.
- BFE, 2009a. *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2008*, Bern.
- BFE, 2009b. *Umfrage Stromkennzeichnung 2007*, Bundesamt für Energie, Sektion Energieversorgung. Available at: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_78915096.pdf.
- BfS, 2007. *Mobilität in der Schweiz: Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten*, Neuchâtel, Bern: Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung.
- BfS, 2010. Räumliches Informationssystem zu den Pendlern und Verkehrsmitteln, 1990 und 2000. Available at: <http://www.media-stat.admin.ch/stat/pendler/pop.php?qmode=ch&q=1&lang=de> [Zugegriffen Februar 23, 2010].
- BfS, 2008. *Swiss Civil Aviation 2007*, Neuchâtel: Bundesamt für Statistik.
- BfS, 2009. *Transportleistung der in- und ausländischen Fahrzeuge nach Fahrzeugart (Zeitreihen)*, Neuchâtel: Bundesamt für Statistik. Available at: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/05/blank/dos/02.html>.
- BGBL, 2006. *Verordnung zum Erlass und zur Änderung von Vorschriften über die Kennzeichnung emissionsarmer Kraftfahrzeuge*, Available at: <http://www.bgblportal.de/BGBL/bgbl1f/bgbl106s2218.pdf>.
- Cederberg, C. & Stadig, M., 2003. System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production (LCA Case Studies). *Int J LCA*, 8(6), S.350 - 356.
- Chester, M.V., 2008. *Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States*. Berkeley: Institute of Transportation Studies, University of California.
- Daimler, 2010. *Katalog Smart fortwo, inkl. BRABUS*,
- DLR, 2006. *Luftverkehrsbericht 2006: Daten und Kommentierungen des deutschen und weltweiten Luftverkehrs*, Köln: Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V.

- EU, 2007. *Verordnung (EG) Nr. 715/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge.*
- Eurostat, 2009. Eurostat: europäische Statistiken. Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/> [Zugegriffen Februar 13, 2010].
- EV/UP, 2008. *Erdöl-Vereinigung: Jahresbericht 2007*,
- Frischknecht, R., Jungbluth, N. & Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hirschier R., Hellweg S., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M., 2007. *Overview and Methodology, Final report ecoinvent data v2.0, No. 1.*, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Frischknecht, R., Steiner, R. & Jungbluth, N., 2008. *Ökobilanzen: Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006*, Zürich: Öbu.
- Frischknecht, R. & Stucki, M., 2009. *Primärenergiefaktoren von Transportleistungen, Version 1.4*, Available at: <http://www.esu-services.ch/cms/fileadmin/download/frischknecht-2008-Transportsysteme.pdf>.
- Frischknecht, R., Tuchschnid, M. & Faist Emmenegger M., Bauer C. and Dones R., 2007. *Strommix*, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Gauch, M., Widmer, R. & Notter D., Stamp A., Althaus H.-J. and Wäger P., 2009. *Life Cycle Assessment LCA of Li-Ion batteries for electric vehicles. Project presentation.*, St. Gallen: EMPA - Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research.
- Goedkopp, M., 2009. *Eco-indicator 99: Principles*, Available at: http://www.pre.nl/eco-indicator99/eco-indicator_99.htm [Zugegriffen Februar 12, 2010].
- Hirschier R. & Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M., and Nemecek T., 2009. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.1 No. 3.*, Dübendorf, CH.: Swiss Centre for Life Cycle Inventories,
- Hirschier, R. u. a., 2007. *Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment - Production, Use & Disposal. ecoinvent report No. 18, v2.0.*, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Hirschier, R., Weidema, B. & Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., Hellweg S., Humbert S., Jungbluth N., Köllner T., Loerincik Y., Margni M., and Nemecek T. (2009), 2009. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.1 No. 3.*, Dübendorf, CH.: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Hubbert, M.K., 1949. Energy from Fossil Fuels. *Science*, 109(2823), S.103-109.
- INFRAS & HBEFA, 2004. *HBEFA: Handbuch für Emissionsfaktoren im Strassenverkehr*,

- IPCC, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm [Zugegriffen Februar 17, 2010].
- Jungbluth, N., Frischknecht, R. & Faist Emmenegger, M., Steiner, R., Tuchschnid, M., Schmutz, S, 2007. *Life Cycle Assessment of BTL-fuel production: Final Report. Deliverable: D 5.2.15.*, Uster: ESU-services Ltd.
- Keller, M. u. a., 2004. *Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 2.1:Dokumentation*, UBA Berlin / BUWAL Bern / UBA Wien.
- Knörr, W., 2008a. *EcoPassenger: Environmental Methodology and Data*, Heidelberg: Commissioned by International Union of Railways (UIC).
- Knörr, W., 2008b. *EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool Environmental, Methodology and Data*, Heidelberg: ifeu - Institut für Energieund Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- LAF, 2010. *Geschäftsbericht 2009 - Luftseilbahn Adliswil-Felsenegg LAF AG*,
- Leuenberger, M., Frischknecht, R. & Bauer , C. (Review), 2010a. *Battery electric vehicles and future concept cars*, Uster: ESU-services.
- Leuenberger, M., Frischknecht, R. & Bauer , C. (Review), 2010b. *Electricity mixes: consumer mix, certified electricity and electricity mix*, Uster: ESU-services.
- Leuenberger, M., Frischknecht, R. & Bauer , C. (Review), 2010c. *Two wheel vehicles*, Uster: ESU-services.
- Leuenberger, M., Frischknecht, R. & Bauer , C. (Review), 2010d. *Virtual Mobility*, Uster: ESU-services.
- LKS, 2007. *Technische Daten Lufseilbahn Kandersteg-Sunnbühl*,
- Maibach, M., Peter, D. & Seiler, B., 1999. *Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Technischer Schlussbericht.*, Zürich: INFRAS.
- Newman, S., 2008. *The Final Energy Crisis*, London: Pluto Press.
- PSI, 2007. *Die 2000-Watt-Gesellschaft: Norm oder Wegweiser?*, Available at: http://www.psi.ch/info/MediaBoard/Energiespiegel_Nr18_04_2007_d.pdf.
- PSI, 2008. *Vorsicht Feinstaub*, Paul-Scherrer-Institut, Villingen.
- von Rozycki, C., Koeser, H. & Schwarz, H., 2003. Ecology Profile of the German High-speed Rail Passenger Transport System, ICE. *Int J LCA*, 8(2), S.83-91.
- SBB, 2009. *Statistisches Vademecum: Die SBB in Zahlen 2008*,
- Spielmann, M., Dones, R. & Bauer, C., 2007. *Life Cycle Inventories of Transport Services*.

Final report ecoinvent v2.0 No. 14., Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

Tuchs Schmid, M., 2010. *Carbon Footprint of High-Speed railway infrastructure (Pre-Study)*, Zürich: Commissioned by International Union of Railways (UIC).

UIC, 2007. *International Railway statistics*, Paris.

UVEK, 2006. *Verordnung des UVEK vom 24. November 2006 über den Nachweis der Produktionsart und der Herkunft von Elektrizität*, Available at: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c730_010_1.html.

VBZ, 2010. *Verkehrsbetriebe Zürich - Fahrgastzahlen*. Available at: http://www.vbz.ch/vbz_opencms/opencms/vbz/deutsch/DieVBZ/ZahlenFakten/fahrgastzahlen.html [Zugegriffen Februar 13, 2010].

VOCV, 2009. *Verordnung über die Lenkungsabgabe auf flüchtigen organischen Verbindungen (VOCV)*,

VöV, 2009. *Manual Schienengüterverkehr Schweiz: Eine Einführung für die Praxis, Politik und Medien*, Bern: Verband öffentlicher Verkehr VöV, Hans-Kaspar Schiesser.

VöV, 2007. *voev.ch - Angebot und Nachfrage*. Available at: http://www.voev.ch/Angebot_und_Nachfrage.html [Zugegriffen Februar 13, 2010].

ZSG, 2009. *Geschäftsbericht 2008 der Zürichsee Schifffahrtsgesellschaft*,

ZVV, 2009. *ZVV-Geschäftsbericht 2008*, Zürich. Available at: http://www.zvv.ch/export/sites/default/common-images/content-image-gallery/unternehmen-pdfs/ZVV_GB_2008.pdf.

7.2. Verwendete Energiekennwerte und Umrechnungsfaktoren

Die Energiewerte für den Betrieb ohne Vorkette werden direkt aus den entsprechenden ecoinvent-Sachbilanzen und Begleitberichten entnommen und in MJ-Äquivalente umgerechnet. Dabei werden die folgende Konversionsdaten in Tab. 7.1 genutzt.

Tab. 7.1 Umrechnungsfaktoren für Energieträger, Quelle: BFE (2005)

| Energieträger für Traktionsenergie | Einheit | Entsprechende MJ-Äquivalente |
|--|----------------|--|
| Elektrische Energie | Kilowattstunde | 1kWh = 3.6 MJ |
| Diesel-Treibstoff (1 Liter = 0.832 kg) | Liter | 1 Liter = 9.89 kWh 1 Liter = 35.61 MJ |
| | Kilogramm | 1 Kilogramm = 42.8 MJ |
| Benzin-Treibstoff (1 Liter = 0.747 kg) | Liter | 1 Liter = 8.57 kWh 1 Liter = 30.85 MJ |
| | Kilogramm | 1 Kilogramm = 41.30 MJ |
| Kerosin-Treibstoff Flugzeug | Kilogramm | 1 Kilogramm = 43.1 MJ |

7.3. 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 50Hz betrieben, während das Eisenbahnnetz in einigen Ländern mit anderen Frequenzen, resp. mit Gleichstrom betrieben wird.⁴⁹ Durch den europäischen Stromaustausch ergeben sich nun 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 Energie exportiert und im Winter via Frankreich einkauft.

In Ökobilanzstudien wurde die Bedeutung des Strommixes schon früh diskutiert, seit November 2006 besteht für die schweizerischen Elektrizitätswerke die Pflicht zur Deklaration der Elektrizität (UVEK 2006) Basis bildet die Energiebuchhaltung von jedem Energieversorger, wo über den Verbrauch und den Verkauf der Elektrizität Buch geführt wird. Durch den Einkauf von entsprechenden Zertifikaten⁵⁰ 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 Verbrauchsmix relevant. Und falls ein Kunde bewusst Ökostrom einkauft, so soll dieser Strommix berücksichtigt werden. In der Emissionsfaktorenliste hat ein Kunde zudem die Möglichkeit, seinen eigenen, firmenspezifischen Verbrauchsmix einzugeben. Im nachfolgenden Abschnitt wird jeweils kurz auf die Datenquellen und Annahmen eingegangen. Den drei Strommixen gemeinsam ist die Bilanzierung der Verluste und der Stromübertragungsinfrastruktur gemäss dem entsprechenden ecoinvent-Bericht (Frischknecht u. a. 2007).

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

Die Elektrizität der SBB und BLS besteht zu einem grossen Teil aus Wasserkraft: Gut 74% 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 einem Ausstoss von 9.5 g CO₂-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 finden sich im ecoinvent-Hintergrundbericht No. 7 von Frischknecht et al. (2007).

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

⁵⁰ Wie beispielsweise RECS- oder Ökostrom-Zertifikate

7.3.2. Verbrauchsmix Schweiz (50Hz)

Der Verbrauchsmix der Schweiz basiert auf der Erhebung des Bundesamtes für Energie im Jahr 2007 (BFE 2009b) bei den Elektrizitätsversorgern der Schweiz. Mittels eines Umfragebogens wurde bei total 230 Energieversorgern die Anteile der einzelnen Produktionsarten bestimmt. Insgesamt wurde mittels Umfragen und Stichproben der durchschnittliche Verbrauchsmix bei ca. 90% der abgegebenen Elektrizitätsmenge bestimmt. Es resultiert ein Verbrauchsmix (siehe Tab. 7.2), welcher vom schweizerischen Produktionsmix (55% Wasserkraft, 40% Kernkraft, 5 % fossile Energieträger) deutlich abweicht.

Tab. 7.2: Schweizerischer Verbrauchsmix im Jahr 2007, Quelle: BFE (2009b)

| | Summe / total | Schweiz | Ausland |
|---|----------------|---------------|---------------|
| Erneuerbare Energien | 36.10% | 33.50% | 2.60% |
| Wasserkraft | 35.70% | 33.20% | 2.50% |
| Übrige erneuerbare Energien | 0.40% | 0.30% | 0.10% |
| Sonnenenergie | 0.00% | 0.00% | 0.00% |
| Windenergie | 0.10% | 0.00% | 0.10% |
| Biomasse | 0.10% | 0.10% | 0.00% |
| Geothermie | 0.10% | 0.10% | 0.00% |
| Nicht erneuerbare Energien | 43.20% | 30.00% | 13.20% |
| Kern | 41.30% | 29.50% | 11.80% |
| Fossile Energieträger | 1.90% | 0.50% | 1.40% |
| Erdöl | 0.50% | 0.20% | 0.30% |
| Erdgas | 1.20% | 0.30% | 0.90% |
| Kohle | 0.10% | 0.00% | 0.10% |
| Abfälle | 2.00% | 2.00% | 0.00% |
| nicht überprüfbare Energieträger | 18.60% | | 18.60% |
| Total | 100.00% | 63.50% | 36.50% |

Im Jahr 2007 stammten 18.6% 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 2009b). Aus diesem Grund wurde für die Bilanzierung der UCTE-Mix⁵¹ für die Kategorie „nicht überprüfbare Energieträger“ eingesetzt.⁵² Eine Kilowattstunde Elektrizität ist inklusive der Aufwendungen für die Kraftwerkherstellung mit einer CO₂-Belastung von 137 g CO₂-Äquivalenten verbunden, insgesamt werden 2.88 kWh Primärenergie benötigt. Die Details zur Bilanzierung des schweizerischen Verbrauchsmix sind im ecoinvent-Hintergrundbericht No, 06_XVI enthalten (Leuenberger u. a. 2010b).

Wenn der firmenspezifische Verbrauchsmix bekannt ist (beispielsweise aufgrund der Deklaration der Stromrechnung), so lässt sich sowohl in der Emissionsfaktorenliste wie auch in den Vergleichsrechner ein entsprechender Strommix manuell wählen. Die Umweltauswirkungen der entsprechenden Elektrofahrzeuge (E-Mobil, E-Scooter und E-Bike) werden dementsprechend angepasst.

7.3.3. Ökostrommix Schweiz (50Hz)

Basis für die Erhebung des Ökostrommixes bildet die Umfrage der Agentur für erneuerbare Energien AEE bei 63 Energieversorgern (AEE 2008). Im Jahr 2008 wurden total 5449 GWh an Stromprodukten aus erneuerbaren Energien verkauft. Der Ökostrommix der Schweiz wird zu mehr als 97.8% aus Wasserkraft gebildet, je ein Prozent besteht aus Windkraft und Biomasse. Die Energieproduktion von 1 kWh ist mit einem Ausstoss von 13.7 g CO₂-Äquivalenten verbunden. Die Details zur Bilanzierung des schweizerischen Ökostrommixes sind im ecoinvent-Hintergrundbericht No, 06_XVI enthalten (Leuenberger u. a. 2010b).

⁵¹ Der UCTE-Mix besteht aus 31.6% Kernkraft, 11.4% Wasserkraft, 51.1% aus fossilthermischen Kraftwerken und 3.1% Wind- und Sonnenenergie. Insgesamt stammen 1.3% aus Pumpspeicherkraftwerken (Friskhnecht u. a. 2007).

⁵² Zur korrekten Bilanzierung wurde vom Verbrauchsmix noch die zertifiziert abgesetzte Menge an Strom abgezählt. Damit repräsentiert der Verbrauchsmix denjenigen Strom, welcher ein Konsument an der Steckdose erhält, wenn er keinen Ökostrom einkauft. Wenn der Konsument seinen Strom kennt (beispielsweise aufgrund der Stromdeklaration des Energieversorgers), so kann er sich den Mix entsprechend anpassen.

7.4. 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 (2006) veröffentlichte die Energieverbrauchsstatistik von einzelnen Branchen. Aufgeführt sind unter anderem auch die Energieverbräuche für Heiz- und Produktionszwecke, sowie die Anzahl an Vollzeitstellen. Die Branchenwahl gibt also vor, wie hoch der allgemeine Bedarf im Verhältnis zum Verkehr ist. In der nachfolgenden Tabelle sind die einzelnen Werte nach Branchen und Energieträger aufgeführt.
- Die Annahmen zum Pendlerverkehr basieren bezüglich der Distanzen auf den Auswertungen des Mikrozensus (BfS 2007), der Modalsplit wird dem Raumanalysetool des Bundesamtes für Statistik (BfS 2010) entnommen. Es wird angenommen, dass ausschliesslich der Firmenort (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 jederzeit einfach überschrieben werden, Feedbacks mit Hinweisen auf Datenquellen werden von den Autoren gerne entgegen genommen.
- Die Berechnung der Energie- und CO₂-Emissionen basiert ebenfalls auf der Emissionsfaktorenliste (siehe Abschnitt 2.2). Für jede Verkehrsart wird die Transportleistung bestimmt und mit den entsprechenden Faktoren verrechnet. Dabei werden die in Tab. 7.3 verwendeten Werte verwendet, der englische Namen bezieht sich jeweils auf den verwendeten ecoinvent-Datensatz.

Tab. 7.3: Verwendete Emissionsfaktoren in mobicheck (ecoinvent-Datenbestand v2.2)

| | Verkehrsmittel | Einheit | Energie [MWh-Äquiv.] | CO ₂ [t CO ₂ -Äquiv.] | Name ecoinvent-Datensatz |
|--------------------|-------------------|--------------|----------------------|---|---|
| Geschäftsverkehr | Flug | 1000 pkm | 0.523 | 0.126 | Transport, aircraft, passenger/RER U |
| | Pkw | 1000 pkm | 1.351 | 0.283 | Transport, passenger car/CH, in Abweichung vom originalen Datensatz wird mit einer reduzierten Auslastung von 1.1 Personen gerechnet. |
| | Bahn | 1000 pkm | 0.176 | 0.007 | Transport, long-distance train, SBB mix/CH U |
| | Video-konferenzen | 1000 Stunden | 3.772 | 0.371 | videoconference, laptop, participant, consumer mix/CH U |
| Pendlerverkehr | Pkw | 1000 pkm | 1.351 | 0.283 | Transport, passenger car/CH U, in Abweichung vom originalen Datensatz wird mit einer reduzierten Auslastung von 1.1 Personen gerechnet. |
| | öV | 1000 pkm | 0.259 | 0.012 | mobitool Durchschnitt öffentlicher Verkehr, siehe 5.3.3 |
| | Tele-working | 1000 Tage | 1.644 | 0.269 | work at home, corporate access, consumer mix/CH U |
| Kundenverkehr | Pkw | 1000 pkm | 1.351 | 0.283 | Transport, passenger car/CH U |
| | öV | 1000 pkm | 0.259 | 0.012 | mobitool Durchschnitt öV |
| Güterverkehr | Bahn | 1000 tkm | 0.210 | 0.014 | Transport, freight, rail/CH U |
| | Lkw | 1000 tkm | 0.656 | 0.137 | Transport, lorry >28t, fleet average/CH U |
| Produktion/Gebäude | Elektrizität | MWh | 2.610 | 0.120 | electricity, medium voltage, consumer mix, at grid/CH U |
| | Ökostrom | MWh | 1.113 | 0.009 | electricity, medium voltage, certified, at grid/CH U |
| | Erdgas | GJ | 0.338 | 0.071 | Heat, natural gas, at boiler condensing modulating >100kW/RER U |
| | Erdöl | GJ | 0.364 | 0.089 | Heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating/CH U |

Tab. 7.4: Modalsplit der Pendler, basierend auf der Volkszählung 2000 (BfS 2010)

| | Stadt | Agglomerationen | Land |
|---------------------------------|--------------|------------------------|-------------|
| Langsamverkehr | 13% | 15% | 23% |
| Motorisierter Individualverkehr | 45% | 67% | 67% |
| Öffentlicher Verkehr | 42% | 18% | 10% |

7.5. Herleitung Anteil an betrieblichem Verkehr

Der durch Firmen und Unternehmen verursachte Verkehr macht rund 55% bis 60% der gesamten Verkehrsemissionen der Schweiz aus. In diesem Abschnitt wird die Abschätzung und Berechnung dieses Anteils aufgezeigt. Dabei wird von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Grundsätzlich ist der Bedarf an fossilen Treibstoffen proportional zum CO₂- Ausstoss.
- 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 Pkws (betrieblich / nicht-betrieblich), Lkw's (betrieblich) oder Flugzeugen (betrieblich / nicht-betrieblich) genutzt, andere Zwecke werden nicht betrachtet.
- Die Aufteilung im Pkw erfolgt mittels der Mikrozensusbefragung (siehe

Tab. 7.6), diejenigen der Flugzeuge 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 (2009) geschätzt, wie hoch der Anteil für Lkw's ist⁵³. In einem zweiten Schritt werden die Pkw-Emissionen analog der Benzinemissionen mittels der Ergebnisse des Mikrozensus in betrieblich/nicht-betrieblich eingeteilt.

- Grundsätzlich wird als Basis die CO₂-Statistik des BAFU verwendet (2010). Darin ausgewiesen sind die Emissionen, aufgeschlüsselt nach Treibstoffart (siehe Tab. 7.5)

Tab. 7.5: Gesamtemissionen des Verkehrs in der Schweiz gemäss CO₂-Gesetz (2010)

| Treibstoffart | Menge Treibstoff in 1000 Tonnen (EV/UP 2008) | Ausstoss von Millionen Tonnen CO ₂ in der Schweiz (BAFU 2010) | Bemerkungen / Annahmen |
|---------------|--|--|--|
| Benzin | 3'455'000 | 10.77 | Es wird angenommen, dass Benzin zu 100% in Pkw's verwendet wird. |
| Diesel | 1988 | 6.24 | Diesel wird zu einem Teil in Lkw's verwendet, der andere Teil wird in Pkw's verwendet |
| Kerosen | 1321 ⁵⁴ | 0.27 | Flugkerosen wird ausschliesslich in Flugzeugen genutzt. Es wird angenommen, dass 90% der Inlandflüge durch Firmen verursacht werden. |
| Summe | | 17.28 | |

⁵³ In BfS (2009) wird eine gesamte Fahrleistung von 5'660 Lkw-Fahrzeugkilometer gegeben. Multipliziert mit einem durchschnittlichen treibstoffverbrauch (siehe Abschnitt 6.2.1) von rund 0.215 Liter Diesel, resp. 0.180 kg ergibt sich ein gesamter Treibstoffbedarf von etwa 1'020'000 Tonnen Diesel. Dies entspricht einem Anteil von gut 50%.

⁵⁴ Die Differenz zwischen Treibstoff und CO₂-Ausstoss ergibt sich durch die Abgrenzung des CO₂-Gesetzes: So wird nur diejenige Menge an Kerosen verrechnet, welche in der Schweiz verfolgt wird, d.h. wo Start- und Zielort in der Schweiz liegen.

Tab. 7.6: Ergebnisse des Mikrozensus zum Verkehrsverhalten 2005: Distanz pro Person im Verkehrsmittel „Motorisierter Individualverkehr“ und Verkehrszweck (in km)

| | km | Anteil | betriebl. ✓ | nicht- betriebl. ✓ | Anteil des betrieblichen Verkehrs |
|--|--------------|------------|----------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Arbeit | 5.93 | 23% | ✓ | | 23% |
| Ausbildung und Schule | 0.34 | 1% | | ✓ | |
| Einkauf und Besorgungen | 3.29 | 13% | ✓ | | 13% |
| Service- und Begleitwege | 0.48 | 2% | | ✓ | |
| Freizeit | 11.78 | 46% | | ✓ | |
| Geschäftliche Tätigkeit und Dienstfahrt | 2.37 | 9% | ✓ | | 9% |
| Anderes | 1.43 | 6% | | ✓ | |
| Alle Zwecke gesamt | 25.62 | 100% | - | - | - |
| <i>Alle Zwecke für betriebliche Zwecke</i> | <i>11.59</i> | <i>45%</i> | | | <i>45%</i> |

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

Tab. 7.7: Ausweisung des betrieblichen Anteils des gesamten Verkehrs der Schweiz

| Treibstoffart | Ausstoss von Millionen Tonnen CO ₂ in der Schweiz (BAFU 2010) | Anteil betrieblicher Verkehr | Millionen Tonnen CO ₂ , welche durch Firmen verursacht werden. |
|---------------|--|---|--|
| Benzin | 10.77 | 45% gemäss Mikrozensus-Auswertung in Tab. 7.6 | In Pkw's 4.84 Millionen Tonnen CO ₂ |
| Diesel | 6.24 | 50% wird in Lkw's genutzt, welche ausschliesslich für Firmen verkehren, von den restlichen 50%, welche im Pkw genutzt werden, sind 45% der Transportleistung gemäss Mikrozensus-Auswertung für Firmen | in Lkw's: 3.12 Millionen Tonnen CO ₂ in Pkw's: 1.40 Millionen Tonnen CO ₂ |
| Kerosen | 0.27 | Flugkerosen wird ausschliesslich in Flugzeugen genutzt. Es wird angenommen, dass 90% der Inlandflüge durch Firmen verursacht werden. | im Flugzeug: 0.24 Millionen Tonnen CO ₂ |
| Summe | 17.28 | | 9.61 Millionen Tonnen CO ₂ |

7.6. mobitool-Emissionsfaktoren und verwendete ecoinvent-Datensätze

In Tab. 7.3 und Tab. 7.4 ist die gesamte Liste der Verkehrsmittel, sowie der dazugehörigen ecoinvent-Datensätze abgebildet. In den beiden vorletzten Spalten ist pro Datensatz jeweils eine Einschätzung der Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Technik sowie der Datenquelle vermerkt.

Spalte: „Quelle“

E = Der Wert ist identisch mit dem Wert des ecoinvent-Datenbestandes v2.2, genaue Details sind in der ecoinvent-Dokumentation vorhanden.

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. 7.8: Datenquellen der mobitool-Emissionsfaktoren, Teil 1/3

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Quelle | Technik-Stand | ecoinvent-Namen | | | | |
|---|---|---|-------------------|--|--|--|--|--|--|--------------------------------------|
| Personen- verkehr lokal bis 5km | Langsam- verkehr | zu Fuss | - | - | - | - | | | | |
| | | Fahrrad | - | - | E | *** | transport, bicycle | | | |
| | | E-Bike | Elektrizität | Ökostrommix CH, 3x Batteriewechsel | E | ** | transport, electric bicycle, certified electricity | | | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 3x Batteriewechsel | E | ** | transport, electric bicycle | | | |
| | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 3x Batteriewechsel | | | M | ** | mobitool-Datensatz basierend auf "transport, electric bicycle" | | | | |
| | Strasse | Scooter | Benzin | - | E | *** | transport, scooter | | | |
| | | Elektro-Scooter | Elektrizität | Ökostrommix CH, 2x Batteriewechsel | E | ** | transport, electric scooter, certified electricity | | | |
| | | | | Verbrauchermix CH, 2x Batteriewechsel | E | ** | transport, electric scooter | | | |
| | | | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 2x Batteriewechsel | M | ** | mobitool-Datensatz basierend auf "transport, electric scooter" | | | |
| | | Durchschnitt 6V | - | - | D | *** | Durchschnittswert | | | |
| | | Tram | - | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, tram | | | |
| | | Trolleybus | - | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, trolleybus | | | |
| | | Ortsbus | - | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, regular bus | | | |
| | | Pkw | Durchschnitt | - | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, passenger car | | |
| | | | | | Diesel | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, passenger car, diesel, fleet average | |
| | | | | | | EURO 3 | E | *** | transport, passenger car, diesel, EURO3 | |
| | | | | | | EURO 4 | E | *** | transport, passenger car, diesel, EURO4 | |
| | | | | | | EURO 5 | E | *** | transport, passenger car, diesel, EURO5 | |
| | | | | | Benzin | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, passenger car, petrol, fleet average | |
| | | | | | | EURO 3 | E | *** | transport, passenger car, petrol, EURO3 | |
| | | | | | | EURO 4 | E | *** | transport, passenger car, petrol, EURO4 | |
| | | | | | | EURO 5 | E | *** | transport, passenger car, petrol, EURO5 | |
| | | | | | Ethanol (5%) | - | - | E | *** | transport, passenger car, ethanol 5% |
| | | | | | Ethanol (15%) | EURO 4 | E | *** | transport, passenger car, petrol, 15% vol. ETBE with ethanol from biomass, EURO4 | |
| | | | | | Biogas | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | E | *** | transport, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas | |
| | Erdgas | | | | optimiert auf Gasbetrieb, Verbrauch entspricht EURO3-Kategorie | E | *** | transport, passenger car, natural gas | | |
| | Elektrizität | | | | Ökostrommix CH, 1x Batteriewechsel | E | ** | transport, passenger car, electric, LiMn2O4, certified electricity | | |
| Verbrauchermix CH, 1x Batteriewechsel | | E | ** | transport, passenger car, electric, LiMn2O4 | | | | | | |
| firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten), 1x Batteriewechsel | | M | ** | mobitool-Datensatz basierend auf "transport, passenger car, electric, LiMn2O4" | | | | | | |
| City Car, zukünftiger Leicht-Pkw | Elektrizität | Ökostrommix CH | E | * | transport, passenger car, electric, LiMn2O4, city car, certified electricity | | | | | |
| | | Verbrauchermix CH | E | * | transport, passenger car, electric, LiMn2O4, city car | | | | | |
| | | firmenspezifischer Verbrauchermix (siehe unten) | E | ** | transport, passenger car, electric, LiMn2O4, city car | | | | | |
| Diesel | EURO5 | E | * | transport, passenger car, diesel, EURO5, city car | | | | | | |
| Personen- verkehr national 5km - 200km | Schiene | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Regionalverkehr, inkl. S-Bahn | E | *** | transport, regional train, SBB mix | | | |
| | | | | Regionalverkehr, nur S-Bahn | E | *** | transport, metropolitan train, SBB mix | | | |
| | | | | Fernverkehr | E | *** | transport, long-distance train, SBB mix | | | |
| | | | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train, SBB mix | | | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | E | *** | transport, coach | | | |
| | | Kleinbus | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte | M | *** | mobitool-Datensatz | | | |
| | durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben) | | | E | *** | transport, passenger car | | | | |
| | Wasser | Personenschiff | Diesel | - | M | *** | mobitool-Datensatz | | | |
| | Luft | Seilbahn | - | elektrischer Betrieb mit Verbrauchermix CH | M | *** | mobitool-Datensatz | | | |
| | | Helikopter | - | pro Flugstunde, ohne Start- & Landezyklen | E | *** | transport, helicopter | | | |

Tab. 7.9: Datenquellen der mobitool-Emissionsfaktoren, Teil 2/3

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Quelle | Technik-Stand | ecoinvent-Namen | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|---|--|
| Personenverkehr international >200km | Schiene | Bahn Deutschland | Strommix DE & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train | |
| | | | Strommix DE | Hochgeschwindigkeitszug (ICE) | E | *** | transport, high speed train | |
| | | Bahn Frankreich | Strommix FR & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train | |
| | | | Strommix FR | Hochgeschwindigkeitszug (TGV) | E | *** | transport, high speed train | |
| | | Bahn Italien | Strommix IT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train | |
| | | | Strommix IT | Hochgeschwindigkeitszug (Frecciarossa) | E | *** | transport, high speed train | |
| | Bahn Österreich | Strommix AT & Diesel | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train | | |
| | Bahn Schweiz | Strommix SBB | Fernverkehr | Fernverkehr | E | *** | transport, long-distance train, SBB mix | |
| | | | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | Durchschnitt Regional- & Fernverkehr | E | *** | transport, average train, SBB mix | |
| | Strasse | Reisebus (Car) | - | - | E | *** | transport, coach | |
| | | Pkw | Durchschnitt | durchschnittliche Flotte (differenzierte Werte siehe oben) | E | *** | transport, passenger car | |
| | Luft | Flugzeug | Kerosen | Durchschnitt | Durchschnitt | E | *** | transport, aircraft, passenger |
| | | | | innerhalb Europa | innerhalb Europa | E | *** | transport, aircraft, passenger, Europe |
| Interkontinental | | | | Interkontinental | E | *** | transport, aircraft, passenger, intercontinental | |
| Personenverkehr virtuell 0km-20'000 km | virtuell | Videokonferenz | - | Verbrauchermix CH, während 1h, pro Teilnehmer | E | *** | videoconference, laptop, participant | |
| | | | - | Ökostrommix CH, während 1h, pro Teilnehmer | E | *** | videoconference, laptop, participant, certified electricity mix | |
| | | Work@home | - | Verbrauchermix CH, 1 Tag à 8h | E | *** | work at home, corporate access | |
| | | | - | Ökostrommix CH, 1 Tag à 8h | E | *** | work at home, corporate access, certified electricity mix | |
| Güterverkehr | kombiniert | rollende Landstrasse | Elektrolok | - | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | Huckepack-Transport | Elektrolok | - | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | Schiene | Zug Schweiz | Strommix SBB, wenig Diesel | v.a. Elektrolok, Rangierfahrten mit Diesellok (60% mit Partikelfilter) | E | *** | transport, freight, rail | |
| | | | Strommix SBB | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | | Diesel | Diesellok mit Partikelfilter | E | * | transport, freight, rail, diesel, with particle filter | |
| | | | | Diesellok ohne Partikelfilter | E | *** | transport, freight, rail, diesel | |
| | | Zug Italien | Strommix IT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | E | *** | transport, freight, rail | |
| | | | Strommix IT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | Zug Frankreich | Strommix FR & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | E | *** | transport, freight, rail | |
| | | | Strommix FR | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | Zug Deutschland | Strommix DE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | E | *** | transport, freight, rail | |
| | | | Strommix DE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | Zug Österreich | Strommix AT & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | E | *** | transport, freight, rail | |
| | | | Strommix AT | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | M | *** | mobitool-Datensatz | |
| | | Zug Europa | Strommix UCTE & Diesel | Elektro- & Diesellok, inkl. Rangierfahrten | E | *** | transport, freight, rail | |
| Strommix UCTE | nur Elektrolok, ohne Rangierfahrten | | M | *** | transport, freight, rail | | | |

Tab. 7.10: Datenquellen der mobitool-Emissionsfaktoren, Teil 3/3

| Verkehrsart | Verkehrsmittel | Antrieb | Charakterisierung | Quelle | Technik- Stand | ecoinvent-Namen |
|------------------|------------------------------|---------------|---|----------------------|-------------------|--|
| Strasse | durchschnittlicher Lastwagen | Diesel | Lkw-Flotte CH | D | *** | Durchschnittswert |
| | | | Durchschnitt 3.5t-20t | E | *** | transport, lorry 3.5-20t, fleet average |
| | | | Durchschnitt 20t-28t | E | *** | transport, lorry 20-28t, fleet average |
| | | | Durchschnitt >28t | E | *** | transport, lorry >28t, fleet average |
| | Kleintransporter (<3.5t) | Diesel/Benzin | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, van <3.5t |
| | Lastwagen (3.5t-7.5t) | Diesel | EURO 3 | E | *** | transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3 |
| | | | EURO 4 | E | *** | transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4 |
| | | | EURO 5 | E | *** | transport, lorry 3.5-7.5t, EURO5 |
| | Sattelschlepper (7.5t-16t) | Diesel | EURO 3 | E | *** | transport, lorry 7.5-16t, EURO3 |
| | | | EURO 4 | E | *** | transport, lorry 7.5-16t, EURO4 |
| | | | EURO 5 | E | *** | transport, lorry 7.5-16t, EURO5 |
| | Sattelschlepper (16t-32t) | Diesel | EURO 3 | E | *** | transport, lorry 16-32t, EURO3 |
| | | | EURO 4 | E | *** | transport, lorry 16-32t, EURO4 |
| | | | EURO 5 | E | *** | transport, lorry 16-32t, EURO5 |
| | Sattelschlepper (>32t) | Diesel | durchschnittliche Flotte | E | *** | transport, lorry 28t, rape methyl ester 100% |
| | | | EURO 3 | E | *** | transport, lorry >32t, EURO3 |
| | | | EURO 4 | E | *** | transport, lorry >32t, EURO4 |
| | Mülltransportwagen | Diesel | EURO 5 | E | *** | transport, lorry >32t, EURO5 |
| | | | Kommunalsammlung Siedlungsabfälle mit Stopp-Go-Betrieb, Lkw 21t | E | *** | transport, municipal waste collection, lorry 21t |
| | | | Wasser | Binnenschiff (Rhein) | - | - |
| Hochseeschiff | - | - | - | E | *** | transport, transoceanic freight ship |
| | | | | | | Luft |
| innerhalb Europa | E | *** | transport, aircraft, freight, Europe | | | |
| Interkontinental | E | *** | transport, aircraft, freight, intercontinental | | | |