

2017

Projekt MatCH - Mobilität

Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der Mobilität Schweiz



Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall und Rohstoffe
3003 Bern

Begleitung BAFU

Bernhard Hammer

Auftragnehmer

Empa - Materials Science & Technology
Abteilung Technologie und Gesellschaft
Lerchenfeldstrasse 5
9014 St. Gallen

Autoren

Marcel Gauch, Cecilia Matasci, Ingrid Hincapié, Heinz Böni

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU verfasst.
Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Zusammenfassung

Um die Effizienz des Verbrauchs von Materialressourcen in der Schweiz zu ermitteln, sollen im Rahmen des Projektes MatCH die Materialströme in der schweizerischen Volkswirtschaft auf Stufen einzelner Konsumbereiche dargestellt werden. Damit soll eine Grundlage geschaffen werden, um die Materialeffizienz über eine gewisse Zeitspanne beurteilen und mittels Szenarien künftige Entwicklungen abschätzen zu können. Dabei sollen „hot-spots“, insbesondere Potentiale zur Rückführung von Stoffen in eine Kreislaufwirtschaft, ermittelt und Massnahmen abgeleitet werden können.

Der vorliegende Bericht „Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der Mobilität Schweiz“ deckt den gesamten Verkehr der Schweiz ab (Strassen-, Schienen-, Schiff-, Flugverkehr und Sonstiges). Damit die Verkehrsmittel eingesetzt werden können, benötigen sie eine Infrastruktur wie Strassen und Schienen. Diese Infrastruktur wurde im Bericht ‚MatCH – Bau‘ „Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz“ (Gauch u. a. 2016) erfasst und dargestellt.

Bei der Festlegung der momentan vorhandenen Materialien im Mobilitätsbereich Schweiz (Startwert für die Modellierung der Lagermasse) wurde für die Materialzusammensetzung ein bottom-up Ansatz mit 78 verschiedenen Verkehrsmitteln benutzt. Für alle Verkehrsmittel wurde die Materialzusammensetzung bestimmt. Bei der Anzahl der Fahrzeuge wurde vorwiegend auf Daten des Bundesamtes für Statistik zurückgegriffen. Zur einfacheren Übersicht wurden die 78 Unterkategorien zu 12 Hauptkategorien zusammengefasst.

Der Materialzufluss und Abfluss in die "Mobilität Schweiz" in Form von diversen Verkehrsmitteln wurde aufgrund von Stückzahlen, welche mit den individuellen Materialzusammensetzungen multipliziert wurden, bestimmt. Die resultierenden Materialflüsse halten den Mobilitätsbereich Schweiz intakt (abhängig von der Lebens- bzw. Nutzungsdauer der Fahrzeuge) und erweitern/verkleinern ihn in Abhängigkeit von der konjunkturellen Situation.

Mit dem gewählten Modell-Ansatz konnten die Materialflüsse erfasst und übersichtlich dargestellt werden. Es kann jedoch kein Anspruch auf präzise und widerspruchsfreie Zahlen erhoben werden, weil verschiedene Datenquellen in sich nicht konsistent sind.

Zusammensetzung des ‚Mobilitätslagers Schweiz‘

Die unten angefügten Abbildungen zeigen die Auswertung für die Lagermasse im Jahr 2016 pro Material- und pro Mobilitätskategorie. Insgesamt beträgt die Gesamtmasse der Mobilität Schweiz ca. 11 Mio. Tonnen, wobei Stahl mit ca. 7 Mio. Tonnen deutlich dominiert. Unterscheidet man nach Fahrzeugkategorien wird sichtbar, dass die Personenwagen mit ca. 7 Mio. Tonnen fast $\frac{2}{3}$ der gesamten mobilen Masse bilden.

Verglichen mit den über 1000 Mio. Tonnen an verbauter Strassen- und Schieneninfrastruktur (MatCH – Bau) beträgt der Anteil der Fahrzeuge an der kompletten Mobilitäts-Infrastruktur der Schweiz etwa 1%. Dies bedeutet, dass 1 Tonne Mobilität (Verkehrsmittel) im Schnitt ca. 100 Tonnen Infrastruktur benötigt.

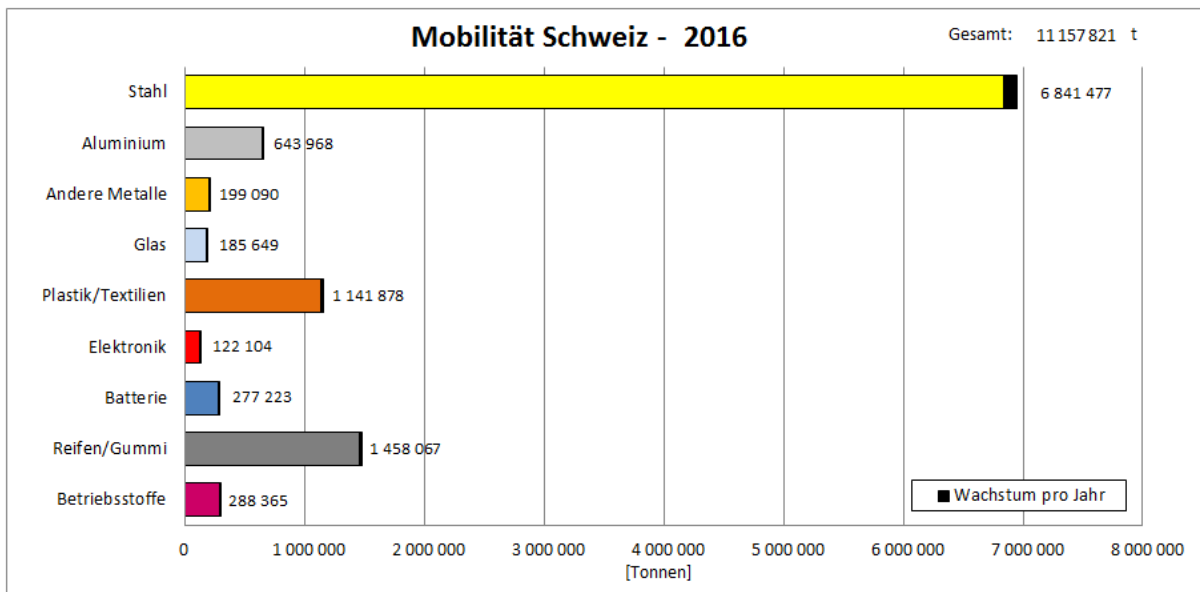


Abbildung: Lagermassen der Mobilität Schweiz 2016 nach Materialkategorien.

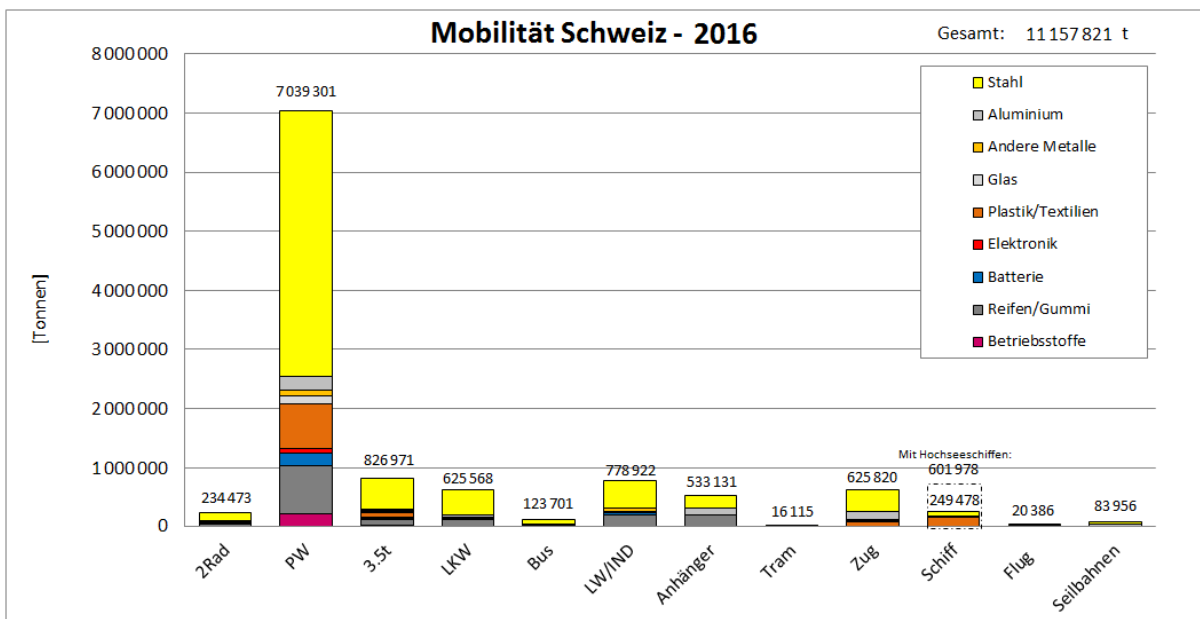


Abbildung: Materialien pro Mobilitätskategorie in der Schweiz im Jahr 2016. Hochseeschiffe wurden nicht näher betrachtet (Zahlenangabe als Grössenordnung).

Materialflussrechnung für die 'Mobilität Schweiz'

Zusätzlich zu den Materialmassen in der Mobilität Schweiz wurde ermittelt, welche Energiemassen nötig sind, um diese zu betreiben. Der Energiebedarf wurde analog zum Materialbedarf mit einem bottom-up Ansatz für 78 Mobilitätskategorien berechnet. Die Energieträger (wie Benzin, Diesel, Elektrizität) wurden in Öl-Äquivalente umgerechnet, was eine gemeinsame Darstellung von Materialien und Energie in Form von Massenflüssen ermöglicht.

Die Abbildung zeigt die Materialien, welche jährlich in Form von Neufahrzeugen in die Mobilität Schweiz einfließen. Aus dem Lager, d.h. dem Total aller Fahrzeuge (in Sinne sämtlicher Verkehrsmittel), wird jedes Jahr ein beträchtlicher Anteil als Gebrauchtfahrzeuge verkauft und wieder eingesetzt. Ein Teil der Fahrzeuge verlässt – meist aus Altersgründen – das System ‚Mobilität Schweiz‘ und gelangt zu ähnlichen Teilen entweder in die Entsorgungskette in der Schweiz oder wird als Gebrauchtfahrzeug im Ausland weiter eingesetzt. Der Verbleib eines erstaunlich hohen Anteils der Fahrzeuge ist unbekannt, vermutet wird der Abfluss ins Ausland ohne De-Registrierung in der Schweiz.

Interessant sind die Grössenordnungen des Energieflusses (in Öl-Äquivalenten) für den Betrieb aller Fahrzeuge und der dadurch resultierende Massenfluss an CO₂-Emissionen, welcher etwa das Doppelte der Masse sämtlicher Fahrzeuge in der Schweiz ausmacht.

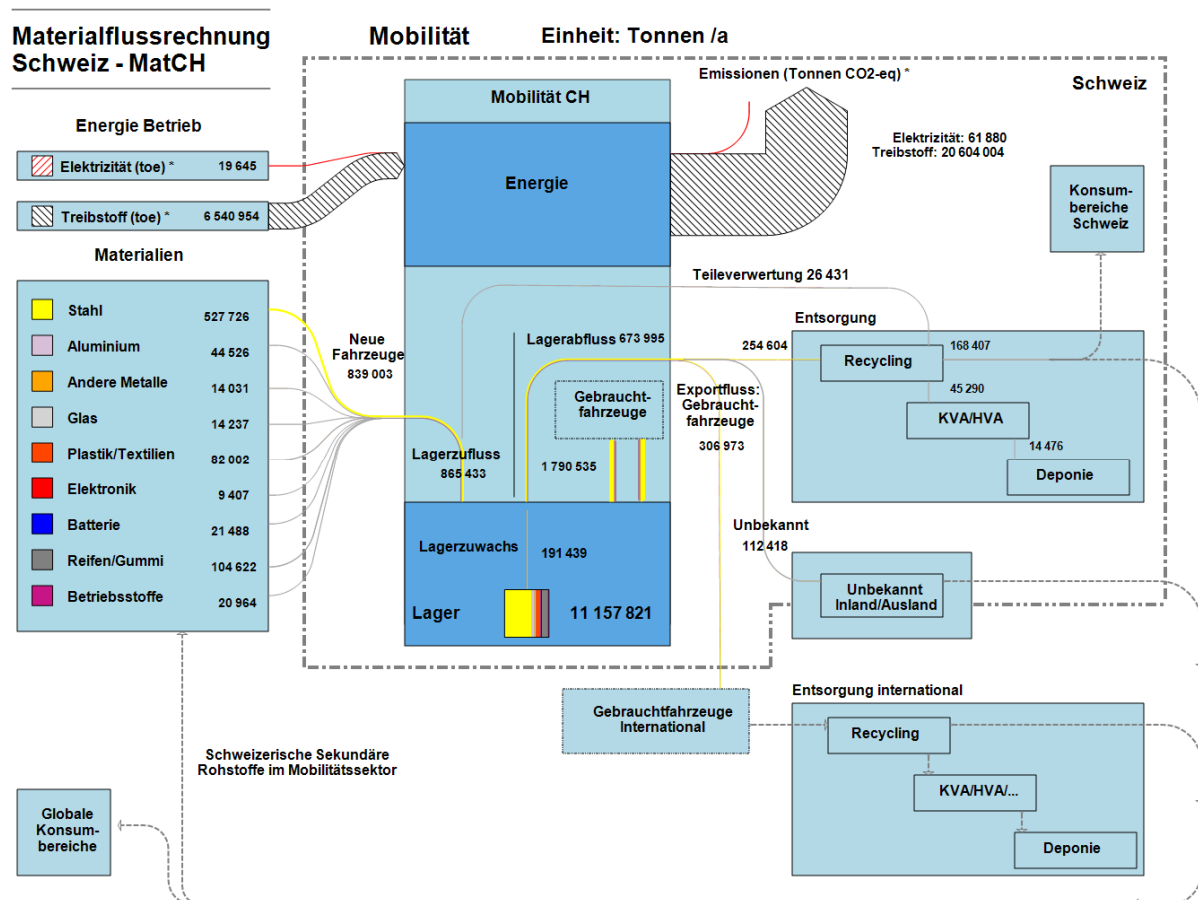


Abbildung: Übersicht der Material- und Energieflüsse im Mobilitätsbereich der Schweiz 2016.
 * Energieflüsse für den Betrieb der Fahrzeuge (reine Nutzungsphase ohne vorgelagerte Prozesse) werden dargestellt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe).
 Schraffierte Pfeile (Entsorgungsflüsse im Ausland) werden in dieser Studie nicht näher betrachtet.

Umweltauswirkungen durch den Material- und Energiebedarf

Die Massenflüsse wurden mit einer vereinfachten Ökobilanz auf ihre Umweltrelevanz hin untersucht. Betrachtet man nicht nur Massenflüsse, sondern die damit verbundenen Umweltauswirkungen (Treibhauseffekt, nicht erneuerbarer gesamter Energiebedarf, Gesamt-Umweltbelastung) wird deutlich, dass die Verbrennung von Treibstoffen auch bei den drei Indikatoren der Umweltbelastung weitaus die grösste Umweltauswirkung verursacht. Bei den Materialien zeigen die Metalle (Stahl, Aluminium und weitere) sowie die Elektronik die grösste Gesamtumweltbelastung. Die übrigen Materialien haben mit Ausnahme der Batterien eine vergleichsweise geringe Umweltauswirkung.

2016	Massenfluss		Umweltauswirkungen					
	Importfluss		Treibhauseffekt ¹		Gesamter Energiebedarf ^{1,2}		Gesamt-Umweltbelastung ¹	
	Tonnen/a	Prozentsatz	Tonnen CO ₂ -eq/a	Prozentsatz	TJ/a	Prozentsatz	Mio. UBP/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	19 645	0.3%	61 880	0.2%	12 611	2.8%	367 423	1.2%
Treibstoff (toe) *	6 540 954	88.4%	26 345 647	89.8%	397 410	87.8%	23 269 047	74.7%
Stahl	527 726	7.1%	1 224 191	4.2%	13 209	2.9%	2 365 441	7.6%
Aluminium	44 526	0.6%	540 660	1.8%	4 925	1.1%	671 169	2.2%
Andere Metalle	14 031	0.2%	200 091	0.7%	2 443	0.5%	1 574 313	5.1%
Glas	14 237	0.2%	15 018	0.1%	178	0.0%	16 174	0.1%
Plastik/Textilien	82 002	1.1%	175 098	0.6%	6 205	1.4%	146 894	0.5%
Elektronik	9 407	0.1%	399 228	1.4%	5 045	1.1%	1 331 061	4.3%
Batterie	21 488	0.3%	37 009	0.1%	555	0.1%	762 180	2.4%
Reifen/Gummi	104 622	1.4%	305 300	1.0%	8 686	1.9%	457 272	1.5%
Betriebsstoffe	20 964	0.3%	42 498	0.1%	1 548	0.3%	206 559	0.7%
Total Energie	6 560 598	88.7%	26 407 527	90.0%	410 020	90.5%	23 636 469	75.8%
Total Materialien	839 003	11.3%	2 939 092	10.0%	42 795	9.5%	7 531 064	24.2%
Total Mobilität Schweiz	7 399 601	100.0%	29 346 619	100.0%	452 815	100.0%	31 167 534	100.0%

¹ Inklusive vorgelagerte Prozesse und Nutzung

² Nicht erneuerbar

Tabelle: Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in den Mobilitätsbereich Schweiz 2016 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl-Äquivalente). Die Umweltauswirkungen schliessen Produktion und Transport mit ein.
* Der Massenfluss der Energieträger bezeichnet den reinen Verbrauch für die Fahrzeugnutzung (ohne Vorkette der Energieproduktion).

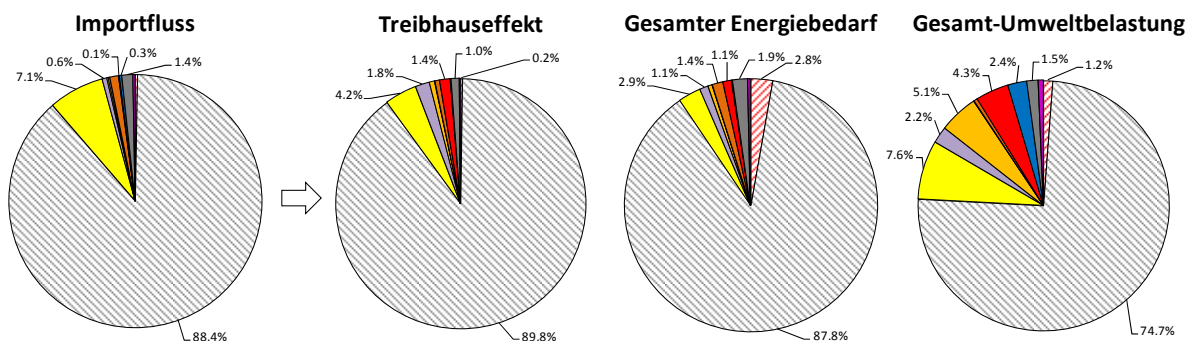


Abbildung: Anteile verschiedener Materialien am Energie- und Materialfluss bzw. den daraus entstehenden Umweltauswirkungen in drei Kategorien.

Sowohl beim jährlichen Materialzufluss in das System 'Mobilität Schweiz' als auch bei den Umweltauswirkungen dominiert der Treibstoff.

Wichtigste Erkenntnisse:

- Die Gesamtmasse aller Mobilitätsträger in der Schweiz („Mobilität Schweiz“) beträgt ca. 11 Mio. Tonnen. Die jährlich benötigte Masse an Energieträgern für den Betrieb der Flotte hat mit 6.56 Mio. Tonnen einen Anteil von 60% der Gesamtmasse.
→ Im Durchschnitt werden pro Tonne Fahrzeug jährlich 0.6 Tonnen an Treibstoff benötigt, dessen Herstellung und Verbrennung 2.4 Tonnen an CO₂-Äquivalenten verursacht.
- Der gesamte jährliche Importfluss beträgt 7.4 Mio. Tonnen, davon entfallen 88.7% auf Energie (6.56 Mio. Tonnen) und 11.3% (0.84 Mio. Tonnen) auf Materialien. Stahl ist hierbei das deutlich dominierende Material (7.1% der gesamten Masse, 0.53 Mio. Tonnen).
→ Die Treibstoffmasse zum Betrieb der Mobilität ist ca. 8-fach höher als die Masse an Materialien für den Erhalt und Ausbau der Flotte.
- Bei den CO₂-Emissionen (Treibhauseffekt) mit total 29.3 Mio. Tonnen CO₂-äq. gibt es eine klare Dominanz von Treibstoffen (90.0%, 26.3 Mio. Tonnen CO₂-äq). Materialien sind verantwortlich für 10.0% der Emissionen (2.94 Mio. Tonnen CO₂-äq). Stahl verursacht von allen Materialien die grössten Umweltauswirkungen (4.2% der Emissionen, 1.22 Mio. Tonnen CO₂-äq), gefolgt von Aluminium (1.8% der Emissionen, 0.54 Mio. Tonnen CO₂-äq).
- Beim nicht erneuerbaren gesamten Energiebedarf überwiegen mit 87.8% ebenfalls die Treibstoffe (0.40 Mio. TJ), an zweiter Stelle folgen praktisch gleichauf Stahl und Elektrizität mit jeweils 2.9% und 2.8% (0.013 Mio. TJ).
- Die Gesamt-Umweltbelastung der Mobilität Schweiz wird zu 75.8% durch den Energieverbrauch dominiert, der Anteil der Materialien ist mit 24.2% aber fast drei Mal so hoch wie in den anderen Umweltkategorien (Treibhausgase und gesamter Energiebedarf). Besonders die Metalle (zusammen 14.9%) verursachen beträchtliche ökologische Auswirkungen. Die Elektronik hat trotz des geringen Massenanteils von 0.1% einen deutlichen Anteil von 4.3% an der Gesamt-Umweltbelastung.
- Obwohl der grösste Teil des öffentlichen Verkehrs elektrisch betrieben wird, ist die Gesamt-Umweltbelastung durch die Elektrizität mit 1.2% gering.

In der Studie konnten Resultate der Modellierungen mit Daten des Bundesamtes für Statistik (BFS), der eidgenössischen Zollverwaltung (EZV)¹ und den Bundesämtern für Energie (BFE) und Umwelt (BAFU) verglichen werden, wobei sich gute Übereinstimmungen ergaben.

¹ <http://www.ezv.admin.ch/>

Inhalt

Verzeichnis der Abbildungen	7
Verzeichnis der Tabellen	9
Begriffe	11
Abkürzungen	14
1 Einleitung	16
1.1 Motivation und Zielsetzung	16
1.2 Umsetzungskonzept MatCH	17
1.3 Systemaufbau.....	18
1.4 Datengrundlagen.....	20
1.5 Darstellung der Resultate	22
2 Grundlagen	23
2.1 Kategorisierungen	23
2.2 Umweltauswirkungen	27
3 Methodischer Ansatz	29
3.1 Massenflüsse (Systemübersicht).....	29
3.2 Lagermasse	30
3.3 Lagerzuwachs.....	31
3.4 Gebrauchtfahrzeuge - Direktverwertung	32
3.5 Lagerabfluss.....	33
3.6 Export	34
3.7 Fluss 'Unbekannt'	35
3.8 Fluss in Entsorgung.....	36
3.9 Teileverwertung.....	36
3.10 Entsorgung und Aufbereitung zu Sekundärmaterial.....	37
3.11 Lagerzufluss	39
3.12 Importfluss	40
3.13 Energiefluss	40
4 Resultate	43
4.1 Zusammensetzung des Lagers 2016.....	43
4.2 Modellierung der Materialflüsse 2016	46
4.3 Modellierung der Umweltbelastungen 2016.....	48
4.4 Diskussion: Materialflüsse und Umweltbelastungen	54
5 Vergleich mit anderen Quellen	56
5.1 Möglichkeiten des Vergleichs.....	56
5.2 Vergleich der Materialflüsse mit anderen Quellen.....	56
5.3 Vergleich der Energieflüsse mit anderen Quellen	58
5.4 Vergleich der Treibhausgasemissionen mit BAFU (BAFU 2016a)	62
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	64
6.1 Modellierung.....	64
6.2 Verbesserung der Datengrundlagen	65
6.3 Modellierung von Zukunftsszenarien.....	65
7 Literaturverzeichnis	66
Anhang	68
A I Entsorgung/Recycling im Mobilitätsbereich.....	68
A II Datenvergleich Statistiken	72
A III Datenvergleich mit BAFU.....	73
A IV Basisinformationen zu den Kategorien im Detail (Ebene 3)	74
A V Umweltbelastungen: Zusammenstellung der Materialkategorien ('Rezept') und Verlinkung mit Daten aus Ecoinvent v.3.2.....	93

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1:	Übersicht Projekt MatCH als Zusammenfassung der drei grossen Bereiche Bau, Mobilität und Konsum.	16
Abbildung 1-2:	Schematische Darstellung des Umsetzungskonzeptes, Materialfluss Schweiz. Der Fokus in diesem Bericht liegt auf dem Konsumbereich Mobilität.	17
Abbildung 1-3:	Vereinfachte Darstellung des Materiallagers und der Zu-/Abflüsse aus dem System 'Mobilität Schweiz'.	18
Abbildung 1-4:	Zusammenstellung der Hauptpublikationen und Erhebungen der Mobilität in der Schweiz mit Darstellung der gegenseitigen Verknüpfungen.	20
Abbildung 2-1:	Übersicht der in dieser Studie verwendeten Mobilitäts- und Materialkategorien (vereinfacht, ohne Energieträger).	23
Abbildung 2-2:	Visualisierung der 78 einzelnen Mobilitätskategorien (Ebene 3, Gesamtliste sowie Details im Anhang A IV) und deren rechnerische Aggregation auf 12 Hauptkategorien (Ebene 1).	24
Abbildung 3-1:	Methodischer Ansatz MatCH, schrittweise Berechnung der Massenflüsse.	29
Abbildung 3-2:	Detaillierte Darstellung der Aufteilung der Materialien im Entsorgungsprozess (in Prozent der verschiedenen Materialien).	38
Abbildung 3-3:	Aufteilung der entsorgten Materialien auf Recycling, KVA/HVA und Deponie.	38
Abbildung 4-1:	Anzahl Fahrzeuge im Jahr 2016.	43
Abbildung 4-2:	Durchschnittsgewicht der schweizerischen Fahrzeuge im Jahr 2016.	43
Abbildung 4-3:	Gesamtmasse der schweizerischen Fahrzeuge im Jahr 2016.	43
Abbildung 4-4:	Materialien pro Mobilitätskategorie in der Schweiz im Jahr 2016. Insgesamt befinden sich 11.2 Mio. Tonnen im Lager. Personenwagen PW sind eindeutig dominierend mit 7.0 Mio. Tonnen (63% der gesamten Masse).	44
Abbildung 4-5:	Lagermassen in der Mobilität Schweiz 2016 pro Materialkategorie. Zusätzlich zeigt die schwarze Schraffur den jährlichen Lagerzuwachs in den entsprechenden Materialkategorien im Verhältnis zu den Lagermassen (sichtbar praktisch nur bei Stahl). Stahl ist eindeutig dominierend mit 6.8 Mio. Tonnen (61% der gesamten Masse).	44
Abbildung 4-6:	Die Masse der Mobilität Schweiz im Verhältnis mit den verbauten Massen im Strassen- und Schienennetz aus dem Bericht MatCH – Bau 2016 (Gauch u. a. 2016).	45
Abbildung 4-7:	Material- und Energieflüsse im Mobilitätsbereich Schweiz für das Jahr 2016. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse und des Lagerbestands ist in Tabelle 4-1 zu finden. * Energieflüsse für den Betrieb der Fahrzeuge (reine Nutzungsphase ohne vorgelagerte Prozesse) werden dargestellt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe). Schraffierte Pfeile (Entsorgungsflüsse im Ausland) werden in dieser Studie nicht näher betrachtet.	46
Abbildung 4-8:	Darstellung Importfluss pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material.	47
Abbildung 4-9:	Treibhauseffekt (Tonnen CO ₂ -Äquivalente) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-2 zu finden.	49
Abbildung 4-10:	Gesamter Energiebedarf (TJ, inklusive Graue Energie) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-3 zu finden.	50
Abbildung 4-11:	Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-4 zu finden.	51
Abbildung 4-12:	Darstellung Treibhauseffekt pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.	53

Abbildung 4-13:	Darstellung Gesamter Energiebedarf pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.....	53
Abbildung 4-14:	Darstellung Gesamt-Umweltbelastung pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.....	53
Abbildung 4-15:	Anteile der Material- und Energieflüsse sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen für 2016 (Farblegende: siehe Tabelle 4-5).....	54
Abbildung 5-1:	Vergleich MatCH 2016 mit Zahlen für Import der EZV für 2014.....	57
Abbildung 5-2:	Vergleich Stahl im Lager (2016) mit (Rubli und Jungbluth 2005) (Zahlen 2002).	57
Abbildung 5-3	Energieflussdiagramm der Schweiz im Jahr 2015 (in TJ). Originaldarstellung (BFE 2016).....	59
Abbildung 5-4:	Vergleich CO ₂ -Emissionen mit BAFU (BAFU 2016a).	63
Abbildung A-1:	Wiederverwendungsquoten gemäss der EU-Altfahrzeug-Richtlinie (2005/2105)..	68
Abbildung A-2:	Prinzipschema Fahrzeugrecycling, Beispiel PW.....	69
Abbildung A-3:	Graphische Illustration des Entsorgungswegs für PW-Altfahrzeuge in Tonnen.....	71
Abbildung A-4:	Personenwagenstatistik Schweiz (Stiftung Autorecycling Schweiz 2015).	71

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1:	Kategorien des Mobilitätsbereichs.	25
Tabelle 2-2:	Materialkategorien.	26
Tabelle 2-3:	Energiekategorien.	27
Tabelle 2-4:	Kategorien von Umweltauswirkungen.	28
Tabelle 3-1:	Anzahl der Fahrzeuge in den 12 Fahrzeugkategorien für das Jahr 2015.	31
Tabelle 3-2:	Berechnete Masse im Ursprungslager (2015).	31
Tabelle 3-3:	Modellansatz Lagerzuwachs (berechnet aus BFS und TA-Suisse, Beispielrechnung für das Jahr 2016).	32
Tabelle 3-4:	Berechnet Lagerbestand für 2016.	32
Tabelle 3-5:	Modellansatz Direktverwertung (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	33
Tabelle 3-6:	Modellansatz Lagerabfluss in Entsorgung (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	34
Tabelle 3-7:	Modellansatz Export (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	35
Tabelle 3-8:	Modellansatz Fluss in Entsorgung nach Export (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	35
Tabelle 3-9:	Modellansatz Fluss in Entsorgung nach Export und 'Unbekannt' (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	36
Tabelle 3-10:	Anteil der Materialien, welche nicht stofflich, sondern funktional als Ersatzteile verwertet werden.	37
Tabelle 3-11:	Anteile (%) der Materialmassen, welche in die drei Entsorgungsprozesse Recycling, KVA/HVA und Deponie ein- und ausfliessen. Fett: Zusammengefasste Netto-Werte.	37
Tabelle 3-12:	Transferkoeffizienten (netto) im Entsorgungsschritt mit Aufteilung in Recycling, Verbrennung und Deponie sowie resultierende Massenflüsse.	39
Tabelle 3-13:	Modellansatz Lagerzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	39
Tabelle 3-14:	Modellansatz Importfluss (Beispielrechnung für das Jahr 2016).	40
Tabelle 3-15:	Umrechnung von Elektrizität auf Tonnen Öl-Äquivalente unter Berücksichtigung der Treibhausgas-Emissionen für den Zugverkehr und den restlichen Verkehr.	41
Tabelle 3-16:	Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien des Strassenverkehrs als Mittelwert pro Fahrzeug der Kategorie (konventionell und elektrisch).	41
Tabelle 3-17:	Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien ohne Strassenverkehr als Mittelwert pro Fahrzeug der Kategorie.	42
Tabelle 3-18:	Energiebedarf der Haupt-Mobilitätskategorien für die gesamte Flotte.	42
Tabelle 3-19:	Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien für die gesamte Flotte.	42
Tabelle 4-1:	Zusammenfassung des Lagerbestandes und der Flüsse für die verschiedenen Kategorien und Materialien (berechnet für 2016).	47
Tabelle 4-2:	Zahlen zum Treibhauseffekt (Tonnen CO ₂ -eq) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.	52
Tabelle 4-3:	Zahlen zum (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf (TJ) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.	52
Tabelle 4-4:	Zahlen zur Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.	52
Tabelle 4-5:	Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in den Mobilitätsbereich Schweiz 2016 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl- Äquivalente). Die Umweltauswirkungen schliessen Produktion und Transport mit ein. * Der Massenfluss der Energieträger bezeichnet den reinen Verbrauch für die Fahrzeugnutzung.	54
Tabelle 5-1:	Vergleich Energiebedarf Mobilität Schweiz (in Tonnen Öl-Äquivalenten) zwischen Gesamtenergiestatistik des BFE und dieser Studie.	58

Tabelle 5-2:	Energiebilanz der Schweiz (BFE 2016) und Emissionsfaktoren gemäss (BAFU 2016b). 90% der im Verkehr verwendeten Elektrizität entspricht dem SBB Strommix.....	60
Tabelle 5-3:	Treibhausgasbilanz (Multiplikation der Energiemasse mit Emissionsfaktoren).....	60
Tabelle 5-4:	Massenbilanz in Tonnen Öl-Äquivalenten (toe).....	61
Tabelle 5-5:	Berechnung der Umweltauswirkungen für die Nutzung von Treibstoffen und Elektrizität. Zusätzlich zur Bereitstellung ist auch die Verbrennung/Nutzung und die Infrastruktur inbegriffen. ne: nicht erneuerbar.....	62
Tabelle 5-6:	Vergleich Treibhauseffekt Mobilität Schweiz (in Tonnen CO ₂ -Äquivalenten) zwischen Gesamtenergiestatistik des BFE (Emissionsfaktoren BAFU (Tabelle 5-3) bzw. Ecoinvent (Tabelle 5-5)) und dieser Studie (Tabelle 3-6).	62
Tabelle 5-7:	Vergleich der Treibhausgasemissionen mit (BAFU 2016a).	63
Tabelle A-1:	Wiederverwertung pro Material: Anteil und Beschreibung (Andreas Kaufmann, VASSO, persönliche Mitteilung).	70
Tabelle A-2:	Details Entsorgungsweg von PW-Altfahrzeugen in Tonnen. Beispielsjahr 2016. Daten verwendet in dieser Studie.....	70
Tabelle A-3:	Zuweisung Kategorien gemäss Swiss-Impex auf Mobilitätskategorien MatCH.....	72
Tabelle A-4:	Zuweisung der Kategorien aus dem Treibhausgasinventar des BAFU (BAFU 2016b) zu MatCH-Kategorien. Der Bereich Mobilität wurde markiert.....	73
Tabelle A-5:	Materialkategorien MatCH und prozentuale Zuweisung von Materialien aus der Datenbank Ecoinvent v.3.2 ('Rezept') mit den resultierenden Umweltauswirkungen.	93

Begriffe

Endenergie	Die Energie, welche vom Endverbraucher (z.B. einem Industriebetrieb, einem Gebäude, einem Haushalt) zum Zwecke der weiteren Umwandlung und Nutzung bezogen bzw. eingekauft wird. Beispiele: Heizöl, Erdgas, Fernwärme (als Heisswasser oder Prozessdampf), die aus dem Netz bezogene Elektrizität, die vom Betrieb energetisch genutzt wird (Leemann 1992).
Fahrleistung	Von Fahrzeugen gefahrene Kilometer, bezogen auf eine Zeitspanne (BFS, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html).
Fahrzeuge	Der Begriff Fahrzeuge umfasst in diesem Bericht sämtliche Verkehrsmittel für Personen und Güter. Eingeschlossen sind somit Strassenfahrzeuge (2-Räder, Personenwagen, Leichte und schwere Nutzfahrzeuge (3.5t, LKW), Busse, Landwirtschaftliche und Industrielle Fahrzeuge (LW/IND), Anhänger), Schienenfahrzeuge (Tram, Züge), Schiffe, Flugverkehrsmittel sowie sonstige Fahrzeuge (Seilbahnen).
Fahrzeugkilometer	Masseinheit der Fahrleistung, die einem zurückgelegten Kilometer eines Fahrzeuges entspricht (im Unterschied zu einem Personen-Kilometer als Einheit im öffentlichen Verkehr) (BFS, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html).
Gesamtgewicht	"Gesamtgewicht" ist das für die Zulassung massgebende Gewicht (Art. 9 Abs. 3bis SVG). Es ist das höchste Gewicht, mit dem das Fahrzeug verkehren darf (https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19950165/index.html#a7).
Gesamtverkehr	Öffentlicher und privater Verkehr aller Verkehrsmittel (BFS, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html).
Graue Energie	Als "Graue Energie" bezeichnet man die insgesamt zur Herstellung eines Produktes direkt und indirekt aufgewendete Energie. Nebst dem Energieinhalt des fertigen Produktes wird also auch der Energieverbrauch für den Produktionsprozess einschliesslich dem Energieinhalt der im Produktionsprozess verbrauchten zusätzlichen Materialien berücksichtigt. Der Begriff "Graue Energie" wird u.a. benutzt, um den Energieinhalt importierter oder exportierter Produkte, die selber keine Energieerzeugnisse (Energieträger im engeren Sinn) sind, zu beschreiben (Leemann 1992).
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) gibt die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands an, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines ökonomischen Gutes (Produkt oder Dienstleistung) entsteht bzw. diesem ursächlich zugewiesen werden kann (VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt 2012). Wichtig ist die Angabe, ob in Studien der gesamte KEA (erneuerbar und nicht erneuerbar) oder wie in dieser Studie der nicht erneuerbare KEA betrachtet wird. Statt der gesamten Bezeichnung ‚Kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand‘ wird einheitlich in diesem Bericht „Gesamter Energiebedarf“ verwendet.
Leergewicht	Die Schweizer Verordnung definiert Leergewicht als „das Gewicht des fahrbereiten, unbeladenen Fahrzeugs mit Kühl- und Schmiermittel, Treibstoff (mind. 90 % der vom Hersteller oder von der Herstellerin angegebenen Treibstofffüllmenge) und der eventuell vorhandenen Zusatzausrüstung wie Ersatzrad, Anhängerkupplung, Werkzeug, Radkeil, Feuerlöscher sowie dem Fahrzeugführer, dessen Gewicht mit 75 kg angenommen wird“ (https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19950165/index.html#a7)

Material	Material ist ein Sammelbegriff für alles, was zur Produktion oder Herstellung eines bestimmten Zwischen- oder Endproduktes verwendet wird und in dieses Produkt eingeht oder verbraucht wird. Material umfasst Rohstoffe, Werkstoffe, Halbzeuge, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Bauteile und Baugruppen (Wikipedia).
Materialeffizienz	Materialeffizienz bezeichnet das Verhältnis eines bestimmten Nutzens von Gütern oder Dienstleistungen (Output) zum Materialaufwand (Input).
Metall	Metalle bilden diejenigen chemischen Elemente, die sich im Periodensystem der Elemente links und unterhalb einer Trennungslinie von Bor bis Astat befinden (Wikipedia).
Mineralischer Rohstoff	Durch zumeist natürliche Vorgänge entstandener Rohstoff, der - von wenigen Ausnahmen abgesehen - anorganisch und kristallin vorliegt. Hierzu zählen Gesteine, Salze und Erze (UBA 2012).
Mobilität	Der Begriff «Mobilität» bezeichnet die Beweglichkeit von Personen und Gütern in einem geographischen Raum. Der Verkehr macht die räumliche Mobilität sichtbar und ist damit ein Teil von ihr (http://rundum-mobil.ch/web/taxonomy/term/4).
Natürliche Ressource	Ressource, die Bestandteil der Natur ist: Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) und Biodiversität (UBA 2012).
Netto-Tonnenkilometer	Vgl. Begriff "Tonnenkilometer", jedoch explizit ohne Gewicht der Sachtransportfahrzeuge (inkl. Anhänger), Container und Wechselbehälter im kombinierten Verkehr. (Gemäss BFS, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html)
Nutzenergie	Die Energie, die dem Energieanwender nach der letzten Umwandlung (am Ausgang der energieverbrauchenden Geräte, z.B. an der Antriebswelle des Motors, am Heizkörper im Zimmer) in der für den jeweiligen Zweck benötigten technischen Form zur Verfügung steht. Die Nutzenergieformen werden in der Regel wie folgt gegliedert: Wärme/Kälte, mechanische Arbeit, Licht, Chemie (chemisch gebundene Energie), Nutzelektrizität (Leemann 1992). Durch Übertragungs- und Umwandlungsverluste ist die Nutzenergie geringer als die am Übergabepunkt gemessene Endenergie (Wikipedia).
Öffentlicher Verkehr	Der öffentliche Verkehr umfasst verkehrliche Leistungsangebote mit definierter öffentlicher und zeitlicher Verfügbarkeit (regelmässige Fahrten), die von jedermann aufgrund vorgegebener Beförderungsbestimmungen beansprucht werden können. (BFS, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html)
Ökologischer Rucksack	Der Ökologische Rucksack ist die sinnbildliche Darstellung der Menge an Ressourcen, die bei der Herstellung, dem Gebrauch und der Entsorgung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbraucht werden. Sie soll im Rahmen der Ökobilanz einen Vergleichsmassstab bieten, mit dem verdeutlicht wird, welche ökologischen Folgen die Bereitstellung bestimmter Güter verursacht (Wikipedia). Der Ökologische Rucksack umfasst Materialien und Energie, siehe auch „Graue Energie“.
Personenwagen (PW)	Mehrspurige Fahrzeuge mit eigenem Antrieb zum vorwiegenden Zwecke der Personenbeförderung. In der Schweiz werden Personenwagen als "Motorfahrzeuge zum Personentransport bis 9 Personen mit weniger als 3.5 t zulässigem Gesamtgewicht" definiert. In Deutschland wird der Begriff Personenkraftwagen (PKW) verwendet (Blaser, Widmer, und Wäger 2012).

Primärenergie	Energieträger, die man in der Natur vorfindet und welche noch keiner Umwandlung oder Umformung unterworfen wurden, unabhängig davon, ob sie in dieser Rohform direkt verwendbar sind oder nicht; also Energie in jenem Ausgangszustand, wie er für die wirtschaftliche Nutzung zur Verfügung steht. Z.B. Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Uran, Laufwasser, Brennholz und andere Biomasse, Sonneneinstrahlung, Wind, Umgebungswärme (Umweltenergie), Erdwärme. Die Primärenergie wird gewöhnlich unterteilt in die nichterneuerbaren und die erneuerbaren (regenerativen) Energieträger (Leemann 1992).
Privatverkehr	Verkehr mit Verkehrsmitteln, welche nicht zum öffentlichen Verkehr gehören (BFS, www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/11/def.html).
Ressource	Mittel, das in einem Prozess genutzt wird oder genutzt werden kann. Eine Ressource kann materieller oder immaterieller Art sein (UBA 2012).
Ressourceneffizienz	Ressourceneffizienz bezeichnet das Verhältnis eines bestimmten Nutzens von Gütern oder Dienstleistungen (Output) zum Ressourcenaufwand (BAFU 2013).
Rohstoff	Stoffe oder Stoffgemische, die in einem oder gering bearbeitetem Zustand sind, welche in einen Produktionsprozess eingehen können. Man unterscheidet Primärrohstoffe (Rohstoffe, die durch Entnahme aus der Natur gewonnen werden) und Sekundärrohstoffe (Rohstoffe, die aus Abfällen oder Produktionsrückständen gewonnen werden). Weitere Unterscheidungen, wie in erneuerbare und nicht erneuerbare, biotische und abiotische Rohstoffe sind gängig (UBA 2012).
Schiene, Schienenverkehr	Die Verkehrsträger Eisenbahnen und Trams (wenn nicht anders präzisiert).
Seltene Metalle	Ein Technologiemetall wird als geochemisch knapp bezeichnet, wenn es im Durchschnitt in Konzentrationen geringer als 0.01% Gewichts-% in der Erdkruste vorkommt (Skinner, B.J. 1979).
Sortierung	Die Sortierung umfasst in diesem Bericht den ganzen Materialstrom, der vom Lager in die Entsorgung fließt und dann in Recycling und Entsorgung aufgeteilt (sortiert) wird.
Technologiemetalle	Ein Metall, welches für die Herstellung von "high-tech" und "clean-tech" Produkten benötigt wird und denen für die Entwicklung der Gesellschaft eine wichtige Rolle zugesprochen wird (Hagelüken und Meskers 2010).
Tonnenkilometer	Masseinheit im Gütertransport: Eine Tonne eines Gutes über einen Kilometer transportiert entspricht einem Tonnenkilometer.
Umweltbelastung	Auswirkung menschlicher Aktivitäten auf die Umwelt (Boden, Wasser, Luft). Häufig sind auch Auswirkungen auf die Gesundheit oder auf den Verbrauch von Ressourcen im Begriff eingeschlossen.
Verkehrsmittel	Verkehrsmittel sind Transportmittel die dem ausserbetrieblichen Transport (Verkehr) dienen. Dies sind technische Einrichtungen, die der Beförderung von Personen (Personenverkehr) oder Gütern (Güterverkehr) zwischen abgegrenzten Gebieten dienen (Wikipedia). In diesem Bericht wird auch der Begriff 'Fahrzeuge' verwendet für sämtliche Verkehrsmittel auf dem Boden, dem Wasser und in der Luft.

Abkürzungen

AGVS	Auto Gewerbe Verband Schweiz
ASTRA	Bundesamt für Strassen
auto-schweiz	Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CED	Kumulierter Energieaufwand (Cumulative Energy Demand)
CED-nr	Nicht erneuerbarer kumulierter Energieaufwand
COICOP	Klassifizierung der United Nations Statistics Division zur Erstellung von Konsumstatistiken nach Verwendungsart (Classification of Individual Consumption by Purpose)
CTCI	Internationale Warenverzeichnis für den Aussenhandel (SITC = Standard International Trade Classification; CTCI = Classification Type pour le Commerce International)
DMC	Inländischer Materialverbrauch (Domestic Material Consumption)
EE-IOA	Umwelt-orientierte Materialflussanalyse (Environmentally Extended Input-Output Analysis)
El. / e-	Elektro..., Elektrisch...
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EZV	Eidgenössische Zollverwaltung
Fz.	Fahrzeug
Fz-kat	Fahrzeugkategorie
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)
HVA	Verbrennungsanlage für Sonderabfälle
ICE	Verbrennungsmotor (Internal Combustion Engine)
IPCC	Weltklimarat der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, Ökobilanz)
LKW	Lastwagen
LW/Ind.	Landwirtschaftliche und industriellenfahrzeuge
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
MJ	Megajoule
ne	nicht erneuerbar
Pkm	Personenkilometer. Masseinheit der Verkehrsleistung im Bereich Personenverkehr. die einem von einer Person zurückgelegten Kilometer entspricht
ppm	Teile von einer Million (parts per million)
ppmw	Gewichts-ppm
PW	Personenwagen (auch: PKW)
RESH	REStoffe aus SHredderanlagen
SARS	Stiftung Auto-Recycling Schweiz
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SSV	Schweizerischer Shredder Verband
STAT-TAB	Interaktive Statistik Datenbank des Bundes

TA-SWISS	Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung
TJ	Terajoule
Tkm	Tonnenkilometer. Masseinheit der Verkehrsleistung im Bereich Güterverkehr, die der Beförderung einer Tonne über einen Kilometer entspricht.
toe	Tonnen Öl-Äquivalente (tons of oil equivalents). Häufig verwendete Einheit, um verschiedene Energieformen vergleichbar zu machen.
UBP	Umweltbelastungspunkte. Vorwiegend in der Schweiz verwendete Einheit, um die gesamte Belastung auf die Umwelt in einem Gesamtindikator darzustellen.
VASSO	Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Um die Effizienz des Verbrauchs von Materialressourcen darzustellen, sollen im Projekt „MatCH – Materialressourcen Schweiz“ die Materialströme in die schweizerische Volkswirtschaft im Detail auf Stufe einzelner Konsumbereiche ausgewertet und dargestellt werden. Dadurch soll eine Grundlage geschaffen werden, um die Materialeffizienz über eine Zeitspanne beurteilen und mittels Szenarien künftige Entwicklungen abschätzen zu können.

Ein erste Studie beinhaltete die Material- und Energieflüsse sowie die Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz (Gauch u. a. 2016). Ziel der vorliegenden Studie war es, die Material- und Energieflüsse sowie die Lagermassen des Mobilitätsbereichs der Schweiz zu erfassen. In einem nächsten Schritt wird der gesamte Konsumbereich mit einbezogen, wodurch ein umfassendes Bild des Material- und Energiebedarfs der schweizerischen Volkswirtschaft gezeigt werden kann (Abbildung 1-1).

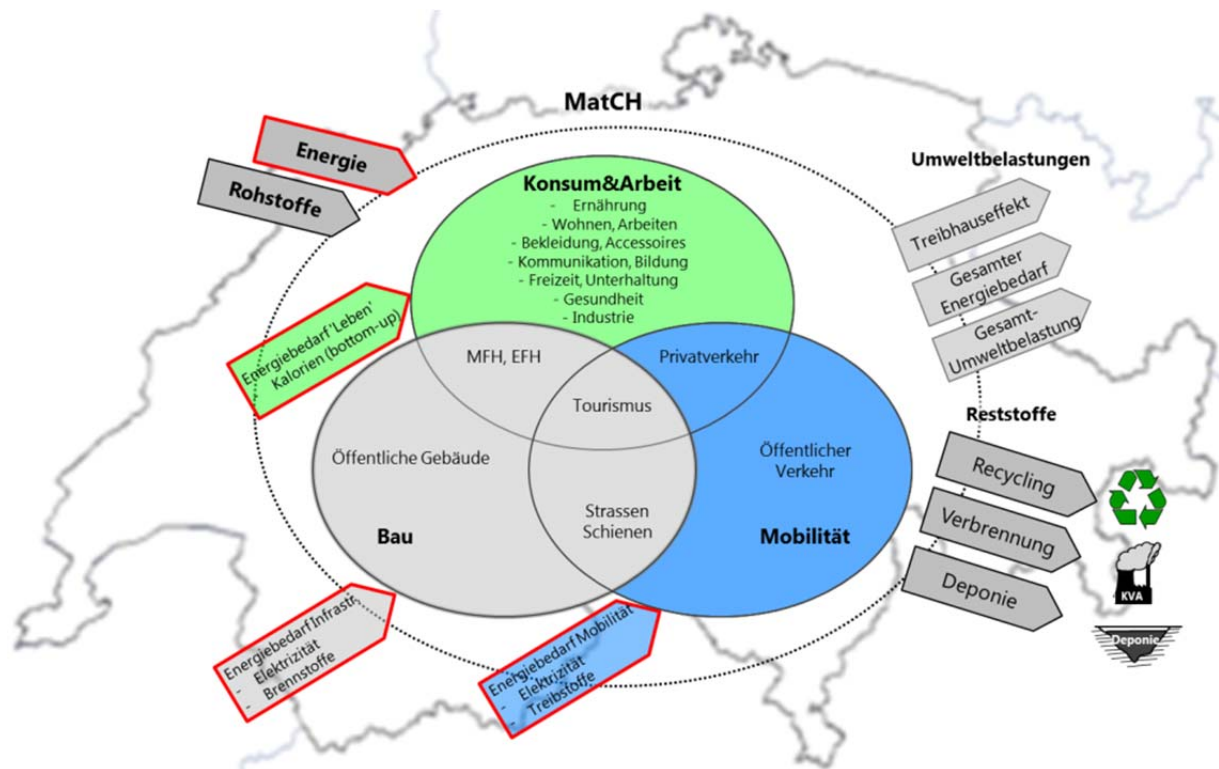


Abbildung 1-1: Übersicht Projekt MatCH als Zusammenfassung der drei grossen Bereiche Bau, Mobilität und Konsum.

Da die verwendeten Daten aus verschiedenen Quellen und Jahren stammen sowie unterschiedliche Materialklassierungen aufweisen, konnte kein homogenes und widerspruchsfreies Datenmodell erzeugt werden. Ziel war es jedoch, die Verhältnisse möglichst gut zu erfassen, um generelle Aussagen zu den Material- und Energieströmen im Mobilitätsbereich machen zu können. Durch Kalibrierungen mit besseren, realen Daten wird die Genauigkeit der Massenflüsse des Modells in Zukunft verbessert werden können.

Zusätzlich zu den Massenflüssen wurden auch die Umweltauswirkungen ausgewiesen (Kapitel 4), welche durch den Material- und Energieverbrauch im Mobilitätsbereich verursacht werden. Die Betrachtungen umfassen den gesamten Lebensweg der Stoffe (von der Wiege bis zur Bahre - „cradle-to-grave“). Damit soll ein Eindruck gewonnen werden, welche Stoffe in welchem Abschnitt des Lebenszyklus umweltmässig relevant sind. Es handelt sich jedoch nicht um eine vollständige Ökobilanz, da die Vorketten der Produktion der Fahrzeuge und Energieträger und die Entsorgung nur angenähert betrachtet werden konnten.

1.2 Umsetzungskonzept MatCH

Abbildung 1-2 zeigt das Gesamtmodell der Materialflüsse durch die schweizerische Volkswirtschaft, gegliedert in einzelne Konsumbereiche. Das Modell ist angelehnt an den Bericht zu den Umweltbelastungen durch Produktion und Konsum in der Schweiz (BAFU 2011b), welcher auf der internationalen Klassierung COICOP² basiert.

Im Vordergrund steht die Frage, welche Materialflüsse aus Import oder inländischer Produktion in die Schweizer Konsumbereiche fließen und welche Flüsse aus dem System in Form von Exporten oder Emissionen abfließen (siehe auch (Böni und Wäger 2014)).

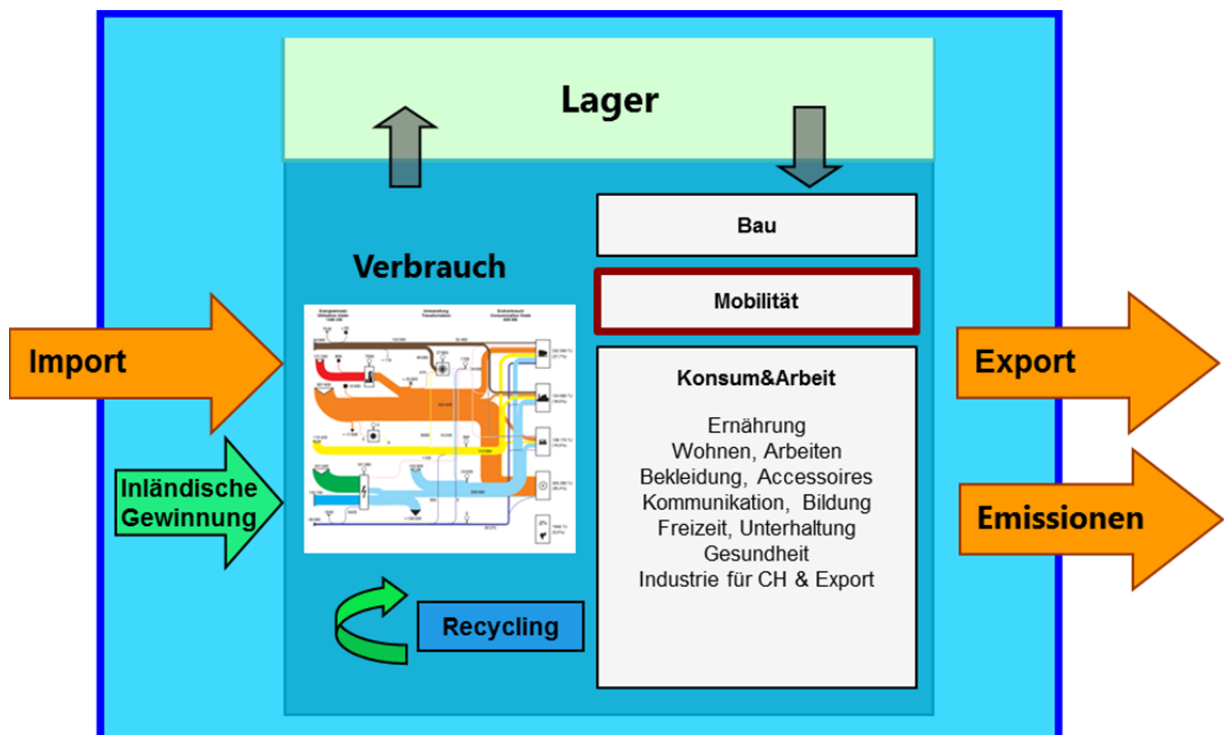


Abbildung 1-2: Schematische Darstellung des Umsetzungskonzeptes, Materialfluss Schweiz. Der Fokus in diesem Bericht liegt auf dem Konsumbereich Mobilität.

² Klassifizierung der Statistischen Abteilung der Vereinten Nationen (United Nations Statistics Division) zur Erstellung von Konsumstatistiken nach Verwendungsart, siehe z.B. <http://ec.europa.eu/eurostat/ramon/nomenclatures> für weitere Informationen.

1.3 Systemaufbau

Die Basis für die Berechnungen ist ein einfacher Modellierungsansatz der gelagerten Materialmasse mit den Zu- und Abflüssen (englisch als 'Stock and Flow Modeling' bekannt). In dieser Studie wurden sämtliche Verkehrsträger innerhalb der Schweizer Grenze als 'Lager' betrachtet. Diese weist eine gewisse Leckage (Abfluss) auf (durch Alterung, Verschiebung ins Ausland). Der Abfluss aus der Schweiz muss durch neue Fahrzeuge (Zufluss) mindestens kompensiert werden. Durch Veränderung des Konsumverhaltens infolge konjunktureller und technologischer Veränderungen variiert das Verhältnis von Zu- und Abfluss im Laufe der Zeit.

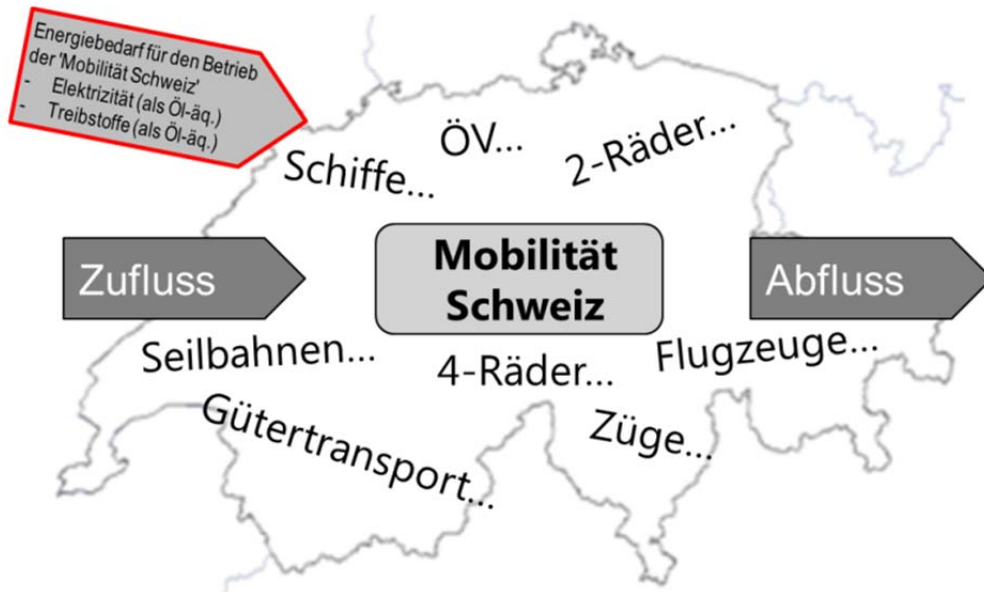


Abbildung 1-3: Vereinfachte Darstellung des Materiallagers und der Zu-/Abflüsse aus dem System 'Mobilität Schweiz'.

Die drei Teilbereiche **Zufluss**, **Mobilität Schweiz** und **Abfluss** (dargestellt in Abbildung 1-3) wurden mit jeweils unterschiedlichen Ansätzen und Datenquellen ermittelt:

- Der **Zufluss** setzt sich zusammen aus dem Primärzufluss (vorwiegend gebrauchsfertige importierte Neufahrzeuge) und dem Sekundärzufluss von Teilen, welche aus dem Recycling stammen.
- Der Bereich **Mobilität Schweiz** umfasst die Masse an sämtlichen Fahrzeugen (alle Verkehrsmittel), welche aktuell in der Schweiz in Gebrauch sind. Die Grösse des Lagers kann sich über die Zeit verändern, beispielsweise durch Wachstum oder durch Verlagerungen zu anderen Fahrzeugen.
- Im **Abfluss** werden Materialflüsse analysiert, welche dem Materiallager entnommen und einer Nachbearbeitung zugeführt werden. Durch Wiederaufbereitung (Recycling) kann ein Teil der Materialien erneut gebraucht werden. Ein Teil ist nicht mehr wiederverwendbar und muss entsorgt werden (Deponie, Kehrrechtverbrennungsanlage (KVA) und Verbrennungsanlagen für Sonderabfälle). Der Abfluss beinhaltet Fahrzeuge, welche in die Entsorgung gelangen (Inland oder Ausland) oder im Ausland als Gebrauchtfahrzeuge weiter betrieben werden.

Im Unterschied zum Konsumbereich Bau gibt es bei der Mobilität praktisch keine inländische Produktion wodurch die Bedeutung von Import und Export ist viel höher ist. Ein wichtiger Anteil des Exports erfolgt in Form von ganzen Gebrauchtfahrzeugen oder als Material, welches im Inland aus Gebrauchtfahrzeugen rezykliert wurde. Der Weitergebrauch von Fahrzeugen und das Recycling im Ausland wurden nicht näher untersucht, sondern nur durch gestrichelte Linien in den Darstellungen angedeutet.

Die nötige Infrastruktur für den Betrieb der Mobilität Schweiz, das heisst insbesondere das Strassen- und Schienennetz, wurde im Bericht 'MatCH – Bau' als Teil des Tiefbaus im Bauwerk Schweiz berücksichtigt. Dieser Bericht erfasst ausschliesslich die Fahrzeuge. Ein Vergleich der Grössenordnungen der Massen der Fahrzeuge und der Strassen/Schienen erfolgt in Abbildung 4-6.

1.4 Datengrundlagen

Nur wenige Studien betrachteten bisher die gesamte Masse der schweizerischen Mobilität. Einzelne Studien konnten im Bereich der Umweltauswirkungen des gesamten schweizerischen Konsums gefunden werden, ein Teil davon bezieht sich auf die Mobilität ((BAFU 2011b), (Jungbluth, Itten, und Stucki 2012), (BAFU 2013)). In Abbildung 1-4 sind in grün die Hauptstudien gekennzeichnet und in blau die Hauptquellen, auf welche sich die Studien beziehen.

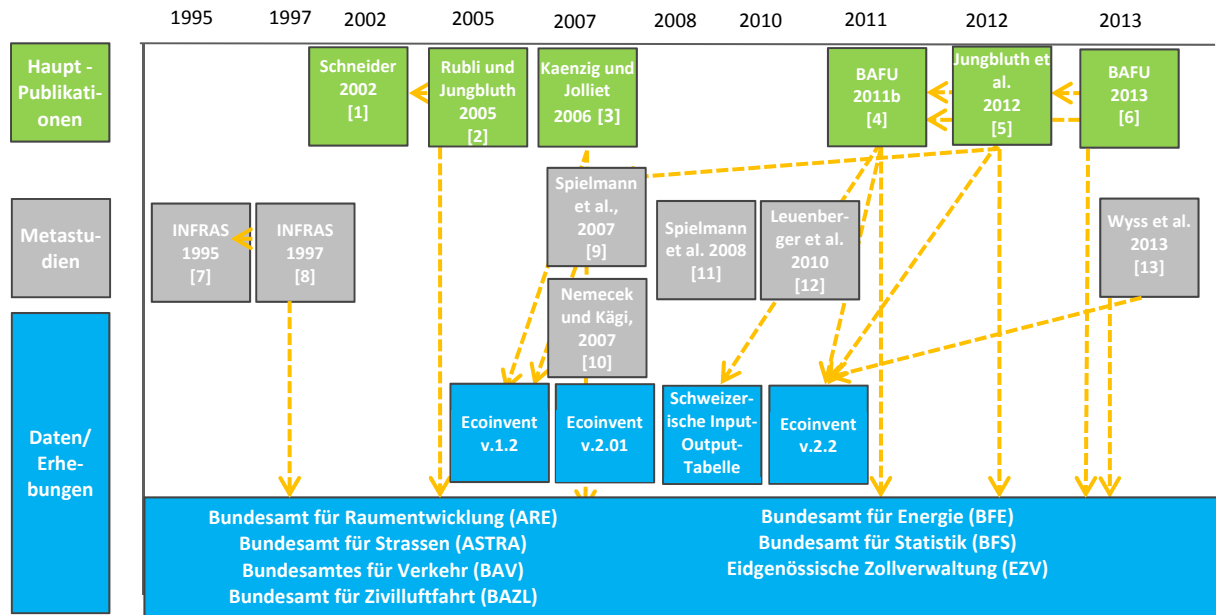


Abbildung 1-4: Zusammenstellung der Hauptpublikationen und Erhebungen der Mobilität in der Schweiz mit Darstellung der gegenseitigen Verknüpfungen.

Hauptpublikationen:

- [1] Material- und Abfallbewirtschaftung des Systems Fahrbahn SBB (Schneider 2002).
- [2] Materialflussrechnung für die Schweiz (Rubli und Jungbluth 2005): Nur Berechnung der Eisen- und Stahllager in den Fahrzeugen, im Schienen-, Bus- und Schiffsverkehr.
- [3] Umweltbewusster Konsum: Schlüsselerentscheide, Akteure und Konsummodelle. Umwelt-Wissen Nr. 0616 (Kaenzig und Jolliet 2006).
- [4] Environmental Impacts of Swiss Consumption and Production (BAFU 2011b): Berechnungen abgeleitet aus Input-Output Tabellen und finanziellen Daten.
- [5] Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale (Jungbluth, Itten, und Stucki 2012): In dieser Studie werden zunächst die durch Schweizer Haushalte verursachten Umweltbelastungen berechnet (Mobilität, Wohnen, und Ernährung).
- [6] RessourcenEFFizienz Schweiz REFF (BAFU 2013): Hier gibt es unter anderem eine Berechnung des Ressourcenaufwands der Mobilität in der Schweiz.

Metadaten:

- [7] INFRAS, 1995: Ökoinventar Transporte, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und für den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen, SPP Umwelt, Zürich 1995 (INFRAS 1995).
- [8] INFRAS, 1997: Umweltindikatoren im Verkehr Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel (INFRAS 1997).
- [9] Nemecek T. und Kägi, T. 2007: Life Cycle Inventories of Agricultural Product Systems Data v.2.0 (Nemecek und Kägi 2007).
- [10] Spielmann M., Dones R., Bauer C. and Tuchschnid M., 2007: Life Cycle Inventories of Transport Services. ecoinvent report No. 14, v.2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Schweiz, aus: www.ecoinvent.org (Michael Spielmann u. a. 2007).
- [11] Spielmann M. und de Haan P., 2008: Umweltindikatoren im Verkehr - Vergleich der Verkehrsmittel anhand CO₂-Emissionen, Energieaufwand und übriger Umweltauswirkungen. Rüegger Verlag, Zürich, p. 76. (M. Spielmann und de Haan 2008).
- [12] Leuenberger et al., 2010: Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles (Leuenberger und Frischknecht 2010).
- [13] Wyss et al., 2013: Umweltauswirkungen der Autoflotte der Schweiz (Wyss und Frischknecht 2013).

Datenbanken/Datenerhebungen:

- [14] Gesamtkonzept Mobilitäts- und Verkehrsstatistik (ARE, ASTRA, BAFU, BAV, BAZL, BFE) Strassenfahrzeugbestand nach Fahrzeuggruppe und Fahrzeugart 1990 - 2014 (BFS).³
Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeuge > Strassenfahrzeuge (BFS).⁴
Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeuge > Weitere Fahrzeuge (BFS).⁵
- [15] Datenbank Swiss-Impex⁶ mit Daten der EZV.
- [16] Spielmann et al., 2007: Transport Services Data v.2.0, Paul Scherrer Institute (PSI) und ESU-Services Ltd. (im Dokument als: (Michael Spielmann u. a. 2007)).
- [17] Nemecek und Kägi, 2007: Life Cycle Inventories of Agricultural Product Systems Data v2.0, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART (im Dokument als: (Nemecek und Kägi 2007)).
- [18] Schweizerische Gesamtenergiestatistik für 2015 (im Dokument als (BFE 2016)).
- [19] De Haan und Zah, 2013: Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz (im Dokument als (de Haan und Zah 2013)).

³ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/02/01/01.html>

⁴ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/02.html>

⁵ <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/02/02.html>

⁶ „Bei Swiss-Impex handelt es sich um die Datenbank der schweizerischen Aussenhandelsstatistik. Die Applikation erlaubt den Zugriff auf die monatlichen Statistikdaten über die Importe und Exporte der Schweiz seit 1988 für die folgenden Bereiche: Tarifnummer, Warenart, Verwendungszweck, CTCI und Handelspartner.“
<http://www.ezv.admin.ch/themen/04096/05728/index.html?lang=de>

1.5 Darstellung der Resultate

Die Resultate der Arbeiten bestehen aus zwei Teilen:

- dem vorliegenden Bericht und
- einer ergänzenden Excel Datei, auf welcher die Berechnungen und Darstellungen im Bericht basieren⁷.

Für die graphischen Darstellungen wurde die Dicke der Flusspfeile proportional zu ihrer Masse als Sankey-Diagramme dargestellt. Dazu wurde die Software e!Sankey⁸ verwendet, welche Daten aus der Excel-Tabelle bezieht. Über Verknüpfungen können Flussdiagramme bei Änderung der Excel-Daten automatisch aktualisiert werden.

⁷ Die Excel-Tabellen können auf Anfrage von den Autoren zur Verfügung gestellt werden.

⁸ Das Programm ist hier erhältlich: <http://www.e-sankey.com/de/kaufen/>.

2 Grundlagen

2.1 Kategorisierungen

2.1.1 Übersicht

Für den Bereich der Mobilität Schweiz wurden die wichtigsten Mobilitäts- und Materialkategorien unter Berücksichtigung von gebräuchlichen Unterscheidungen erfasst. In verschiedenen Datenquellen und Studien existieren unterschiedliche Nomenklaturen und Kategorisierungen bei Materialien und Mobilitätsbereichen. Um den hier gewählten Ansatz mit anderen Berichten vergleichen zu können, musste ein Abgleich von Kategorisierungen vorgenommen werden.

Als Grundlage für die vorliegende Studie wurden Kategorien von Mobilitätsbereichen gemäss BFS und ASTRA möglichst weitgehend übernommen. Daraus resultierten 12 Mobilitätskategorien.

Die Kategorisierung der Materialien erfolgte vorwiegend aufgrund von Erfahrungen der Autoren aus Projekten im Mobilitätsbereich, was 9 Materialkategorien (Abbildung 2-1) und zwei Kategorien von Energieträgern (vgl. Kapitel 2.1.4 Energiekategorien) ergab.

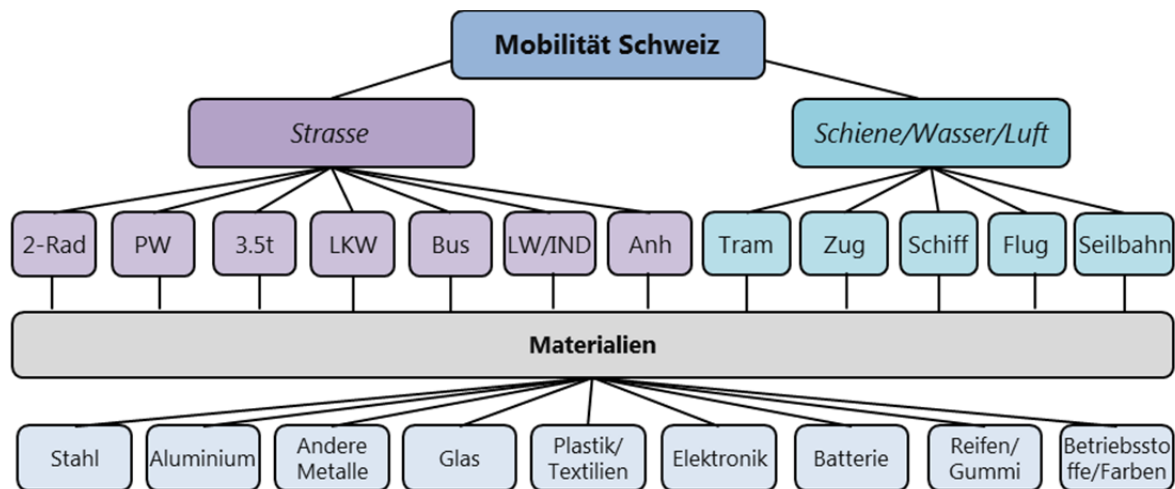


Abbildung 2-1: Übersicht der in dieser Studie verwendeten Mobilitäts- und Materialkategorien (vereinfacht, ohne Energieträger).

Bei den untersuchten 12 Haupt-Mobilitätskategorien lassen sich Unterkategorien bis hin zu 78 Detailkategorien unterscheiden. Für diese Studie wurde ein konsequenter bottom-up Ansatz gewählt, bei dem jede Detailkategorie einzeln mit folgenden Hauptmerkmalen quantifiziert wurde:

- Fahrzeug-Stückzahlen in der Schweiz und im jährlichen Zufluss
- Jahres-Kilometerleistung
- Energiebedarf für den Betrieb
- Materialzusammensetzung
- Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer in der Schweiz

2.1.2 Kategorien von Mobilitätsbereichen

Um ein vollständiges Bild der möglichen Mobilitäts Optionen zu erhalten, wurden nicht nur die übergeordneten Kategorien Strassen- und Schienenverkehr, sondern auch der Verkehr auf dem Wasser und in der Luft betrachtet. Als Systemgrenze wurde die Schweiz festgelegt. Dies bedeutet, dass alle Fahrzeuge berücksichtigt wurden, welche regelmässig innerhalb der Schweizer Grenze verkehren. Dadurch wurden Hochsee-Schiffe ausgeschlossen, auch wenn diese unter Schweizer Flagge verkehren. Hingegen wurden Verkehrsflugzeuge von Schweizer Fluggesellschaften eingeschlossen, da diese regelmässig die Schweiz anfliegen.

Bei einigen Kategorien ist offensichtlich, mit welcher Energieform diese betrieben werden. Beispielsweise werden der Schienenverkehr und Seilbahnen ausschliesslich elektrisch betrieben, Flugzeuge und Schiffe hingegen mit fossilem Treibstoff. Da sich beim Strassenverkehr allmählich ein Wandel von fossilen Treibstoffen zu Elektrizität zeigt, wurden die Strassenverkehrskategorien jeweils für einen Betrieb mit Verbrennungsmotoren und einen Betrieb mit Elektromotoren betrachtet. Aus Gründen der Verschiedenheit der Materialzusammensetzung (Traktionsbatterien) und der möglichen Anpassung der Studie für zukünftige Szenarien wurde die Unterscheidung konsequent durchgezogen, obwohl die Stückzahlen für Elektrofahrzeuge zurzeit noch sehr gering sind.

Abbildung 2-2 zeigt die auf diese Weise resultierten 78 Detailkategorien auf der Betrachtungsebene 3, die Kategorien werden im Anhang A IV, im Einzelnen beschrieben.

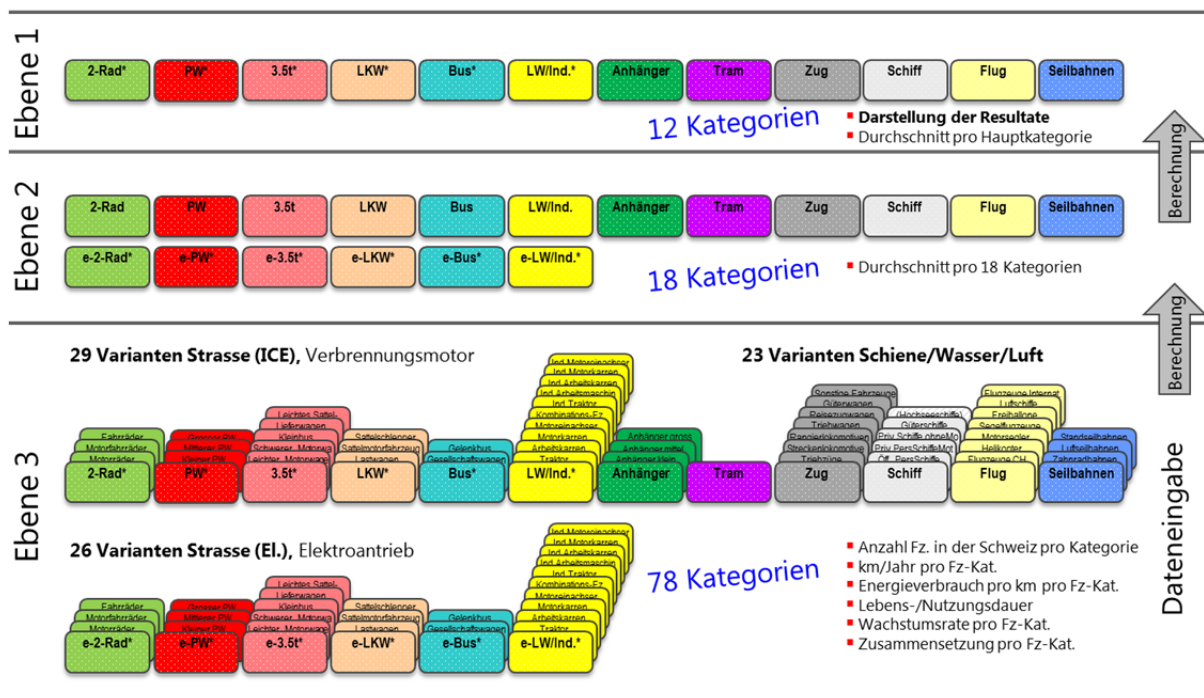


Abbildung 2-2: Visualisierung der 78 einzelnen Mobilitätskategorien (Ebene 3, Gesamtliste sowie Details im Anhang A IV) und deren rechnerische Aggregation auf 12 Hauptkategorien (Ebene 1).

Die Dateneingabe erfolgte individuell pro Kategorie auf Ebene 3. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurde in einem ersten Schritt eine Zusammenfassung auf 18 Kategorien mit Differenzierung der elektrifizierten Varianten im Strassenverkehr (Ebene 2) vorgenommen. Auf der obersten Ebene erfolgte die Zusammenfassung auf 12 Hauptkategorien (Ebene 1). Die Berechnungsergebnisse werden auf dieser höchsten aggregierten Stufe dargestellt. Erläuterungen zu den 12 Hauptkategorien sind in Tabelle 2-1 zu finden.

Kategorie Ebene 1		
Strasse	2-Rad	Als 2-Rad wird in der Regel ein Fahrzeug mit zwei Rädern, die in einer Spur hintereinander laufen, bezeichnet (Wikipedia). 2-Räder sind Motorräder, Motorfahräder und Fahrräder.
	PW	Personenwagen (PW) sind leichte Motorwagen zum Personentransport mit höchstens neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin (bis 3.50 t). Die Kategorie wurde in kleine-, mittlere- und grosse Fahrzeuge unterteilt.
	3.5t	3.5 t sind leichte und schwere Motorwagen, Kleinbusse, Lieferwagen und Leichte Sattelmotorfahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von nicht mehr als 3 500 kg.
	LKW	Ein Lastkraftwagen (LKW) ist ein Kraftfahrzeug mit starrem Rahmen, das vornehmlich für die gewerbliche Beförderung von Gütern eingesetzt wird. Als LKW werden in der Studie auch Sattelzüge gezählt, bestehend aus Zugmaschine und Sattelaufleger.
	Bus	Busse für den Personentransport, unterschieden nach Gesellschaftswagen und Gelenkbussen.
	LW/Ind.	Die Kategorie LW/Ind. besteht aus landwirtschaftlichen und industriellen Fahrzeugen. Dazu gehören: Traktoren, Arbeitskarren, Motorkarren, Motoreinachser, Kombinations-Fahrzeuge, Arbeitsmaschinen.
	Anhänger	Anhänger sind Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb, die gebaut sind, um von anderen Fahrzeugen gezogen zu werden und mit diesen schwenkbar verbunden sind. Die Kategorie wurde in kleine-, mittlere- und grosse Fahrzeuge unterteilt.
Schiene	Tram	Ein Tram ist ein schienengebundenes öffentliches Personennahverkehrsmittel im Stadtverkehr, das den speziellen Bedingungen des Strassenverkehrs angepasst ist (Wikipedia).
	Zug	Ein Zug ist ein Verbund aus Eisenbahnfahrzeugen, die auf die freie Strecke übergehen oder auf ihr fahren (Wikipedia). Dazu gelten: Triebzüge, Streckenlokomotiven, Rangierlokomotiven, Triebwagen, Reisezugwagen, Güterwagen und sonstige Fahrzeuge.
Wasser	Schiff	Ein Schiff ist ein Wasserfahrzeug oder ein anderer zur Fortbewegung auf oder unter der Wasseroberfläche bestimmter Schwimmkörper. Dazu gelten: Öffentliche Personenschiffe, private Personenschiffe (Motorboote und Boote ohne Motor) und Güterschiffe. In der Studie nicht inbegriffen sind Hochsee-Schiffe, da diese nie innerhalb der Schweiz verkehren.
Luft	Flug	Zur Kategorie gehören Flugzeuge (Schweiz und international), Helikopter, Motorsegler, Segelflugzeuge, Freiballone und Luftschiffe. Internationale Flugzeuge von Schweizer Airlines sind inbegriffen, da diese regelmässig die Schweiz anfliegen.
Sonstige	Seilbahnen	Eine Seilbahn ist ein Verkehrsmittel für den Personen- oder Gütertransport, bei dem Fahrzeuge oder Personen von einem umlaufenden Drahtseil gezogen werden oder auf einem fixierten Tragseil mithilfe von Hohlkehllrollen fahren (Wikipedia). Seilbahnen bestehen aus Zahnradbahnen, Luftseilbahnen, Standseilbahnen.

Tabelle 2-1: Kategorien des Mobilitätsbereichs.

2.1.3 Materialkategorien

In der vorliegenden Studie wurden für die Zusammensetzung 9 Hauptkategorien definiert, welche auf Erfahrungen der Autoren mit Mobilitätsprojekten basiert und auch von (Habermacher 2010) (leicht angepasst) verwendet wurde (Tabelle 2-2).

Kategorie	Erläuterungen
Stahl	Als Stahl werden metallische Legierungen bezeichnet, deren Hauptbestandteil Eisen ist und die (im Unterschied zum Gusseisen) umformtechnisch verarbeitet werden können. Genauere Definitionen sind nicht einheitlich, einige sind durch die heutige Vielfalt an technischen Legierungen ungenau geworden (Wikipedia).
Aluminium	Aluminium ist ein silbrig-weisses Leichtmetall. In der Erdhülle ist es, auf den Massenanteil (ppmw) bezogen, nach Sauerstoff und Silizium das dritthäufigste Element und in der Erdkruste das häufigste Metall (Wikipedia).
Andere Metalle	Alle andere Metalle wie Kupfer, Zink, Chrom und seltene Metalle wie Platin und Palladium, welche für Katalysatoren verwendet werden.
Glas	Glas ist ein Sammelbegriff für eine Gruppe amorpher Feststoffe. Die meisten Gläser bestehen hauptsächlich aus Siliciumdioxid, wie Trink- oder Fenstergläser. Diese – meist lichtdurchlässigen – Silikat-Gläser haben wirtschaftlich die weitaus grösste Bedeutung aller Gläser (Wikipedia).
Plastik/Textilien	Verschiedene Kunststoffe und Textilien für diverse Fahrzeugteile.
Elektronik	Unter Elektronik werden alle Vorgänge in Steuer-, Regel- und Verstärkerschaltungen sowie die Vorgänge in den hierfür verwendeten Bauelementen verstanden (Wikipedia). Elektronik setzt sich zusammen aus verschiedensten Metallen, Kunststoffen und sonstige Materialien. Gewichtsmässig machen Gehäuse (Stahl, Alu, Plastik) einen bedeutenden Anteil aus, funktional sind seltene Metalle sehr wichtig (Kupfer, Gold, Indium, Tantal etc.).
Batterie	Elektrochemischer Energiespeicher, die Zusammenschaltung mehrerer galvanischer Zellen, umgangssprachlich auch eine einzelne solcher Zellen. Man unterscheidet zwischen Starterbatterie und Traktionsbatterie. Die Starterbatterie, ist üblicherweise eine besonders für den Anlasser in Kraftfahrzeugen bestimmte Blei-Säure Batterie. Die Traktionsbatterie ist typischerweise eine für den Antrieb von Elektrofahrzeugen bestimmte Zusammenschaltung Lithium-Ionen Batteriezellen. Metalle, Plastik und sonstige Materialien, die in den Batterie zu finden sind werden hier betrachtet.
Reifen/Gummi	Reifen sind der aus Gummi bestehende, mit Luft gefüllte äussere Teil eines Rades, der die Felge umschliesst (TheFreeDictionary).
Betriebsstoffe	Schmiermittel, Öle, diverse Flüssigkeiten für Kühlung Hydraulik und Klimatisierung plus Farben und Lacke.

Tabelle 2-2: Materialkategorien.

Einige Kategorien (z.B. Batterien und Elektronik) enthalten auch Materialien, welche in anderen Kategorien zu finden sind (z.B. Metalle). Diese Materialien werden nur in einer Kategorie ausgewiesen um Doppelzählung zu vermeiden.

2.1.4 Energiekategorien

Beim Energiebedarf für den Mobilitätsbereich Schweiz wurden verschiedene Energieträger in zwei Hauptkategorien unterteilt: Elektrizität und Treibstoff (Tabelle 2-3):

Elektrizität	Elektrizität
Treibstoff	Überwiegend Produkte, welche aus Erdölprodukten gewonnen wurden, Erdgas, Biogas und übrige erneuerbare Energien ⁹

Tabelle 2-3: Energiekategorien.

Die benötigte Energie, ausgedrückt als Massenstrom, stammt aus bottom-up Berechnungen des Energiebedarfs für die 78 untersuchten Mobilitäts-Kategorien. Die Ergebnisse wurden mit Daten aus der Gesamtenergiestatistik des Bundesamts für Energie (BFE) für das Jahr 2015 (BFE 2016) verglichen. Die Statistik weist den Endverbrauch verschiedener Energieträger für verschiedene Verbraucher aus. Der Verbraucher, der für den Bereich Mobilität betrachtet wurde, ist der Verkehr. Die anderen wurden im Bericht MatCH – Bau betrachtet.

2.2 Umweltauswirkungen

Menschliche Tätigkeiten führen zu einer Vielzahl von Umweltauswirkungen, wie Schädigung des Ökosystems (z.B. auf Boden, Wasser, Luft), Einfluss auf die Gesundheit (z.B. Atemwegsbelastung durch Feinstaub) oder Verminderung nicht-erneuerbarer Ressourcen (z.B. Erdöl). Verschiedene Methoden erlauben eine Quantifizierung des Umwelteinflusses.

Das Prinzip von Ökobilanzen für eine Beurteilung der Umweltauswirkungen basiert auf der Zuordnung eines Umweltauswirkungs-Indikators auf jeden Massenfluss. Da es viele Kategorien von Umweltauswirkungen gibt (z.B. auf Wasser, Boden, Luft oder Gesundheit) ist es wichtig, die betrachteten Methoden und Indikatoren genau zu definieren. Dabei ist zu verhindern, dass Kategorien gewählt werden, welche für die entsprechende Fragestellung nicht relevant sind. In dieser Studie wurden drei Methoden gemäss Tabelle 2-4 angewandt.

⁹ Zu den «Übrigen erneuerbaren Energien» zählen in der Schweiz Solar- und Windenergie, Erd- und Umgebungswärme sowie Biogas, Biogene Treibstoffe und Biomasse (ausser Energieholz). Der elektrische Anteil bei Sonne und Wind wird direkt in der Kategorie „Elektrizität“ betrachtet.

<p>Treibhauseffekt CO₂-Rucksack (IPCC 2013 GWP 100a V1.00)</p>	<p>Die Methodik (gemäss dem Weltklimarat der Vereinten Nationen (IPCC) 2013 GWP 100a V1.00) beurteilt das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential GWP) für ein Produkt oder eine Dienstleistung, indem die Emissionen verschiedener Treibhausgase über den Lebensweg beurteilt werden. Die Emissionen werden als kg CO₂-Äquivalente dargestellt. Häufig wird der Begriff CO₂-Fussabdruck (Carbon Footprint oder CO₂-Rucksack) für den Wert verwendet.</p>
<p>Gesamter Energiebedarf (ne) Energiebedarf, nicht erneuerbar (CED V1.09)</p>	<p>Der (nicht erneuerbare) gesamte Energiebedarf (Kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand - Cumulative, non-renewable Energy Demand (CED V1.09)) ist besonders geeignet zur Darstellung der Energieintensität eines Produktes oder einer Dienstleistung. Der Wert, ausgedrückt in der direkten Energieeinheit Megajoule MJ, zeigt den nicht erneuerbaren gesamten Energieaufwand, welcher für die Bereitstellung eines Produktes aufgewendet werden musste (inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung). Der Wert wird häufig auch als Energetischer Fussabdruck bezeichnet.</p>
<p>Gesamt-Umweltbelastung Ökologische Knappheit (Ecological Scarcity 2013 V1.01)</p>	<p>Die Methode der ökologischen Knappheit (Ecological Scarcity 2013 V1.01) ermöglicht es seit 1990, im Rahmen einer Ökobilanz die gesamte Umweltbelastung zu bewerten. Zentrale Grösse der Methode sind die Ökofaktoren, welche die Umweltbelastung einer Schadstoffemission respektive Ressourcenentnahme in der Einheit Umweltbelastungspunkte (UBP) pro Masseneinheit angeben (Frischknecht und Büsser Knöpfel 2013). Der Wert aggregiert und bewertet verschiedene Umweltauswirkungen, welche zusammengefasst als Ökologischer Fussabdruck bezeichnet werden können.</p>

Tabelle 2-4: Kategorien von Umweltauswirkungen.

Datengrundlage:

Für die vorliegende Studie wurden die Ökobilanzdaten aus Ecoinvent v.3.2 (Ecoinvent 2016) unter Verwendung des Softwaretools Simapro 8.0.4.26 verwendet. Im Anhang A V ist ersichtlich, wie die Zuweisung von Materialien auf Ecoinvent v.3.2 erfolgte und aus welchen Einzelmaterialien die neun verwendeten Materialkategorien (gemäss Kapitel 2.1.3) und die zwei Energiekategorien (gemäss Kapitel 2.1.4) bestehen. Die Zusammensetzung der Einzelmaterialien bildete die Grundlage („Materialrezept“) für die elf MatCH Hauptkategorien.

Recycling:

Der Einsatz von rezykliertem Sekundärmaterial wurde in der Weise berücksichtigt, dass die vermiedene Umweltauswirkung aus der Produktion der gleichen Masse Primärmaterial ausgewiesen wurde. Ein kg Recyclingstahl verhindert also die Umweltauswirkungen der Produktion von einem kg Stahl aus Eisenerz.

Die gewählte Allokationsmethode aus Ecoinvent v.3.2 „Alloc Rec, U“ bedeutet, dass der gesamte Aufwand für Produktion und Entsorgung dem Erstnutzer eines Materials zugeschrieben wird. Solches Material gelangt ohne Schadensrucksack in den Recyclingprozess und verlässt diesen als Sekundärmaterial mit den Umweltauswirkungen des Recyclingprozesses¹⁰.

Systemgrenzen:

In den Daten zu den Primärmaterialien wurde der gesamte Lebenszyklus („cradle to grave“) berücksichtigt, d.h. von der Extraktion des Rohmaterials, der Verarbeitung zu Halb- und Endprodukten, der Nutzungsphase bis zur Entsorgung.

¹⁰ <http://www.ecoinvent.org/>

3 Methodischer Ansatz

3.1 Massenflüsse (Systemübersicht)

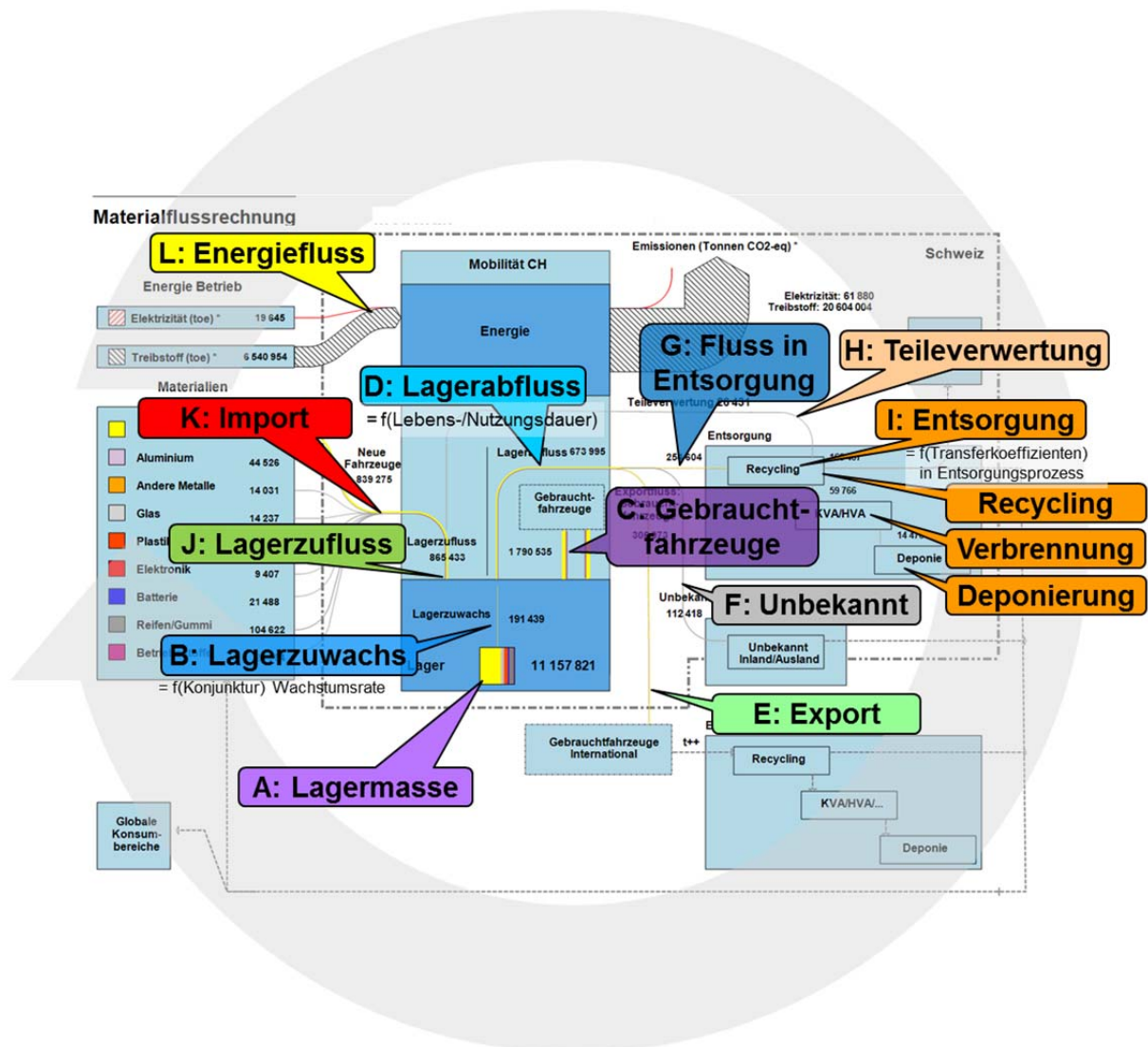


Abbildung 3-1: Methodischer Ansatz MatCH, schrittweise Berechnung der Massenflüsse.

Die Massenflüsse und die Massen im Lager wurden gemäss Abbildung 3-1 in verschiedenen Schritten berechnet (Schritte A bis L, bzw. Kapitel 3.2 bis 3.13).

- **A Lagermasse** (Kapitel 3.2): Bottom-up Ansatz, Anzahl Fahrzeuge (basierend auf Statistiken des BFS) multipliziert mit der Zusammensetzung in 78 verschiedenen Kategorien.
- **B Lagerzuwachs** (Kapitel 3.3): Definition des Lagerwachstums von Daten des BFS. Intervall 2010-2015.
- **C Gebrauchtfahrzeuge** (Kapitel 3.4): Definition des Anteils wiederverkaufter Gebrauchtfahrzeuge in der Schweiz (Quote Direktverwertung Schweiz). Es waren ausschliesslich Daten für PW verfügbar. Bei den anderen Kategorien wurden Schätzungen vorgenommen.
- **D Lagerabfluss** (Kapitel 3.5): Abhängig von der Nutzung-/Lebensdauer von verschiedenen Fahrzeugen und der dazugehörigen Anteile an Abfallstoffen jedes Jahr.

- **E Export** (Kapitel 3.6): Definition der Exportquote (Daten aus Zollstatistiken), entspricht Gebrauchtfahrzeugen, welche ins Ausland verkauft werden.
- **F Fluss 'Unbekannt'** (Kapitel 3.7): Bei einem Teil der Fahrzeuge (prinzipiell PW) ist unklar, ob sie exportiert oder entsorgt werden.
- **G Fluss in Entsorgung** (Kapitel 3.8): Fluss in die Entsorgung nach dem Export: Entspricht dem Lagerabfluss minus dem Export und ohne den unbekanntem Fluss 'F'.
- **H Teileverwertung** (Kapitel 3.9): Diese Angaben stammen aus Abschätzungen laufender Arbeiten der Empa und Informationen von Branchenvertretern.
- **I Entsorgung und Aufbereitung zu Sekundärmaterial** (Kapitel 3.10): Definition der Entsorgung in drei Kategorien: Recycling, Verbrennung in KVA/HVA und Deponierung. Deponiemassen stammen nur aus Rückständen der Verbrennung in KVA und Hochtemperatur-Verbrennung Anlagen (HVA).
- **J Lagerzufluss** (Kapitel 3.11): Definition des Lagerzuflusses (= Lagerzuwachs + Lagerabfluss): Entspricht dem Ersatz der abfließenden Fahrzeuge und Teile plus dem konjunkturbedingten Wachstum.
- **K Importfluss** (Kapitel 3.12): Entspricht dem Zufluss an importierten Fahrzeugen plus dem in Öl-Äquivalente umgerechneten Energiefluss.
- **L Energiefluss** (Kapitel 3.13): Berechnung der Energiemasse. Bottom-up Ansatz berechnet anhand des Energiebedarfs pro km und der jährlich gefahrenen Kilometer.

3.2 Lagermasse

Die Lagermasse wurde mit einem bottom-up Ansatz anhand der Anzahl Fahrzeuge (Statistiken BFS) und der Zusammensetzung der Fahrzeuge in den verschiedenen Kategorien berechnet. Für die Bestimmung der Massen im Lager wurden einerseits die Daten des BFS (wenn möglich für das Jahr 2015, sonst die aktuellsten verfügbaren Daten, z.B. für Seilbahnen: 2010) entnommen (Anzahl der Fahrzeuge in den verschiedenen Kategorien, Tabelle 3-1, Abbildung 4-1). Daten zu der durchschnittlichen Materialzusammensetzung der meisten Fahrzeuge waren aus verschiedenen LCA Studien verfügbar (Tabelle 3-2). Ansonsten wurde auf Daten der Hersteller zurückgegriffen. Bei Kategorien wie Schiffen oder industriellen Fahrzeugen erwies sich die Datensuche als schwierig, die notwendigen Schätzungen und Internetrecherchen reduzieren die Verlässlichkeit der Daten.

Die Materialmassen wurden für die gesamte Nutzungs-/Lebensdauer berechnet. Beispielsweise werden Starterbatterien von nicht-elektrischen Fahrzeugen drei Mal, Reifen im Schnitt vier Mal und Betriebsstoffe im Schnitt fünf Mal im Lebenszyklus eines Fahrzeugs ersetzt.

Nähere Angaben zu den verschiedenen Kategorien sind im Anhang A IV zu finden.

Summe Anzahl der Fahrzeuge in den verschiedenen Kategorien = Anzahl in den Fahrzeugkategorien

2015	Anzahl in den Fahrzeugkategorien [#]												Total
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Anzahl	4 580 022	4 458 069	397 975	53 070	8 879	258 233	413 592	781	13 017	98 660	3 494	40 512	10 326 304

Tabelle 3-1: Anzahl der Fahrzeuge in den 12 Fahrzeugkategorien für das Jahr 2015.

Anzahl in den Fahrzeugkategorien *

Materialzusammensetzung in den Fahrzeugkategorien

Kategorie	Materialzusammensetzung in den Fahrzeugkategorien [kg]											
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen
Stahl	27.51	988.92	1 279.82	8 133.78	8 009.80	1 779.70	506.38	16 700.00	29 134.59	645.90	576.61	1 210.22
Aluminium	5.40	51.74	66.96	498.39	1 971.52	0.00	280.88	588.00	9 465.91	307.38	4 198.88	605.11
Anderere Metalle	1.69	19.77	25.59	149.52	238.47	187.12	0.00	1 524.10	2 273.58	0.00	301.99	0.00
Glas	0.00	30.07	38.91	49.84	578.47	12.96	0.00	763.00	1 223.61	10.14	28.59	100.85
Plastik/Textilien	1.94	166.82	215.89	348.88	652.84	97.19	22.15	850.00	5 756.59	1 488.76	104.29	100.85
Elektronik	1.35	20.28	25.85	39.87	50.00	35.15	0.00	50.00	22.82	5.16	4.61	5.34
Batterie	1.95	45.82	54.30	150.08	176.65	90.25	0.00	0.00	0.00	37.85	0.00	0.00
Reifen/Gummi	8.31	176.21	228.04	2 255.36	1 912.49	748.92	449.41	0.00	0.00	0.00	394.84	0.00
Betriebsstoffe	2.12	49.91	64.64	100.67	95.14	33.34	1.46	50.00	200.00	39.52	293.69	50.00
Total	50.26	1 549.53	2 000.00	11 726.38	13 685.39	2 984.63	1 260.29	20 525.10	48 077.10	2 534.71	5 903.49	2 072.37

= Masse im Ursprungslager (2015)

2015	Ursprungslager MatCH												Total
	10 966 382												
	Lagerbestand der einzelnen Fahrzeugkategorien [Tonnen]												
Kategorie	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
Stahl	125 987	4 408 653	509 336	431 660	71 119	459 578	209 437	13 043	379 245	63 725	2 015	49 028	6 722 826
Aluminium	24 715	230 675	26 650	26 450	17 505	0	116 171	459	123 218	30 326	14 671	24 514	635 354
Anderere Metalle	7 736	88 137	10 183	7 935	2 117	48 322	0	1 190	29 595	0	1 055	0	196 270
Glas	0	134 041	15 486	2 645	5 136	3 346	0	596	15 928	1 001	100	4 086	182 364
Plastik/Textilien	8 884	743 682	85 918	18 515	5 797	25 097	9 159	664	74 934	146 881	364	4 086	1 123 980
Elektronik	6 165	90 400	10 290	2 116	444	9 077	0	39	297	509	16	216	119 570
Batterie	8 927	204 282	21 610	7 965	1 568	23 307	0	0	0	3 734	0	0	271 392
Reifen/Gummi	38 051	785 542	90 754	119 692	16 981	193 395	185 874	0	0	0	1 380	0	1 431 668
Betriebsstoffe	9 726	222 514	25 724	5 343	845	8 609	604	39	2 603	3 899	1 026	2 026	282 958
Total	230 193	6 907 926	795 951	622 319	121 513	770 729	521 244	16 030	625 820	250 074	20 627	83 956	10 966 382
										602 574	Mit Hochseeschiffen		

Tabelle 3-2: Berechnete Masse im Ursprungslager (2015).

3.3 Lagerzuwachs

Ob und wie die Lagermasse sich verändert, hängt von der Marktsituation (allgemeine wirtschaftliche Lage und konjunkturelle Entwicklung, Metallpreise, Import und Exportbeschränkungen, etc.) und von Trends/Mode ab. In der Studie wurde der langjährige Trend der Lagerbestände basierend auf Zahlen des BFS aus der Vergangenheit ermittelt. Das Wachstum wurde für eine Periode von fünf Jahren errechnet (2010-2015). Bei Kategorien ohne Daten (z.B. Fahrräder) wurde eine Schätzung vorgenommen. Für die verschiedenen Kategorien der Bahn sind Daten der SBB nur über die Jahre 2014-2015 verfügbar, was aufgrund nicht-regelmässiger Beschaffungen keinen plausiblen Durchschnitt ergibt (das Lager würde zu tief sinken). Deshalb wurden Daten des BFS miteinbezogen. Je nach Beschaffungsrunde ergeben sich grössere Schwankungen von Jahr zu Jahr, im Durchschnitt scheinen die Stückzahlen jedoch konstant (Wachstum = 0%, Tabelle 3-3).

Für elektrisch angetriebene Personenwagen wurden Zahlen einer Studie des Zentrums für Technologiefolgenabschätzung TA Swiss übernommen (de Haan und Zah 2013). Die Projektionen zeigen höhere Wachstumsraten für kleinere als für grössere Klassen von Personenwagen. Rechnungen für das Ursprungslager (2015) sind in Tabelle 3-3 zu finden. In Tabelle 3-4 ist der berechnete Lagerbestand für 2016 dargestellt.

Ursprungslager (Kapitel 3.2)* Jahreswachstum ^{Jahre}													
Jahreswachstum (Fahrzeugbestand) [%]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
	1.86%	1.90%	3.90%	0.52%	1.80%	1.06%	2.28%	0.53%	0.00%	-0.24%	-1.17%	0.00%	
= Lagerzuwachs													
Lagerzuwachs [Tonnen/a]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	2193	83 530	19 850	2 247	1 282	4 880	4 776	69	0	-152	-23	0	118 651
Aluminium	344	4 371	1 039	138	316	0	2 649	2	0	-72	-171	0	8 614
Anderere Metalle	166	1 670	397	41	38	513	0	6	0	0	-12	0	2 820
Glas	0	2 540	604	14	93	36	0	3	0	-2	-1	0	3 285
Plastik/Textilien	134	14 090	3 348	96	105	266	209	3	0	-351	-4	0	17 898
Elektronik	262	1 757	401	11	8	96	0	0	0	-1	0	0	2 535
Batterie	303	4 362	843	51	24	256	0	0	0	-9	0	0	5 830
Reifen/Gummi	773	14 884	3 537	623	306	2 054	4 239	0	0	0	-16	0	26 399
Betriebsstoffe	106	4 171	1 002	28	17	91	14	0	0	-9	-12	0	5 408
Total	4 281	131 375	31 020	3 249	2 188	8 193	11 887	84	0	-597	-240	0	191 439

Tabelle 3-3: Modellansatz Lagerzuwachs (berechnet aus BFS und TA-Suisse, Beispielrechnung für das Jahr 2016).

2016	Lager Strassen- und Schienfahrzeuge [Tonnen]												Total
	11 157 821												
	Lagerbestand der einzelnen Fahrzeugkategorien [Tonnen]												
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	128 180	4 492 183	529 186	433 907	72 401	464 458	214 213	13 111	379 245	63 573	1 991	49 028	6 841 477
Aluminium	25 059	235 046	27 689	26 587	17 821	0	118 820	462	123 218	30 253	14 500	24 514	643 968
Anderere Metalle	7 902	89 807	10 579	7 976	2 156	48 835	0	1 197	29 595	0	1 043	0	199 090
Glas	0	136 581	16 089	2 659	5 229	3 382	0	599	15 928	998	99	4 086	185 649
Plastik/Textilien	9 018	757 772	89 267	18 611	5 901	25 363	9 368	667	74 934	146 530	360	4 086	1 141 878
Elektronik	6 427	92 157	10 691	2 127	452	9 173	0	39	297	508	16	216	122 104
Batterie	9 230	208 644	22 453	8 016	1 592	23 563	0	0	0	3 725	0	0	277 223
Reifen/Gummi	38 824	800 425	94 291	120 315	17 287	195 448	190 112	0	0	0	1 363	0	1 458 067
Betriebsstoffe	9 831	226 685	26 726	5 370	861	8 701	618	39	2 603	3 890	1 014	2 026	288 365
Total	234 473	7 039 301	826 971	625 568	123 701	778 922	533 131	16 115	625 820	249 478	20 386	83 956	11 157 821
										601 978	Mit Hochseeschiffen		

Tabelle 3-4: Berechnet Lagerbestand für 2016.

3.4 Gebrauchtfahrzeuge - Direktverwertung

Diverse Fahrzeuge werden in der Schweiz wiederverwendet ('Occasionsmarkt'). Dieser interne Kreislauf (Übergabe von einem Nutzer zum anderen, 'Halterwechsel') verändert die Lagermasse zwar nicht, die Grössenordnung im Vergleich mit anderen Materialflüssen ist jedoch interessant und wurde in der Studie berücksichtigt. Um den internen Kreislauf zu beschreiben, wurden die Daten des Auto Gewerbe Verbands Schweiz für PW 2016 genommen (AGVS 2016). Für die anderen Kategorien existieren solche Daten nicht, weswegen eigene Hypothesen aufgestellt wurden (siehe Tabelle 3-5).

Lagerbestand (Kapitel 3.3)* Quote Direktverwertung

2016	Quote Direktverwertung Schweiz [%]											
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen
Fahrzeuge	20%	20%	20%	10%	5%	5%	5%	1%	1%	4%	5%	1%

= Direktverwertung in der Schweiz

Kategorie	Direktverwertung Schweiz [Tonnen/a]												Total
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	25 636	910 161	105 837	43 391	3 620	23 223	10 711	131	3 792	2 395	100	490	1 129 486
Aluminium	5 012	47 623	5 538	2 659	891	0	5 941	5	1 232	1 140	725	245	71 009
Andere Metalle	1 580	18 196	2 116	798	108	2 442	0	12	296	0	52	0	25 599
Glas	0	27 673	3 218	266	261	169	0	6	159	38	5	41	31 836
Plastik/Textilien	1 804	153 532	17 853	1 861	295	1 268	468	7	749	5 519	18	41	183 416
Elektronik	1 285	18 672	2 138	213	23	459	0	0	3	19	1	2	22 815
Batterie	1 846	42 268	4 491	802	80	1 178	0	0	0	140	0	0	50 804
Reifen/Gummi	7 765	162 174	18 858	12 031	864	9 772	9 506	0	0	0	68	0	221 039
Betriebsstoffe	1 966	45 929	5 345	537	43	435	31	0	26	147	51	20	54 531
Total	46 895	1 426 226	165 394	62 557	6 185	38 946	26 657	161	6 258	9 397	1 019	840	1 790 535

Tabelle 3-5: Modellansatz Direktverwertung (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.5 Lagerabfluss

Der Lagerabfluss ist abhängig von der Nutzungs-/Lebensdauer der Fahrzeuge und vom anfänglichen Anteil an Abfall in den entsprechenden Mobilitäts-Kategorien (Tabelle 3-6).

Nutzungsdauer/Lebensdauer:

Der Begriff ‚Lebensdauer‘ wird je nach Konsumsektor unterschiedlich verwendet. In dieser Studie war weniger die technisch mögliche Lebensdauer massgebend, sondern eher die Zeit, während der üblicherweise ein Material oder ein Produkt eine Aufgabe erfüllt, bevor es aus sozio-ökonomischen Gründen ersetzt wird. Deshalb wird im Bericht der Doppelbegriff Nutzungs-/Lebensdauer verwendet.

Fahrzeuge erreichen ihr Nutzungs- oder Lebensende aus Altersgründen, wegen vorzeitiger Abschreibung durch Unfall oder durch Verkauf in den Export (GHK 2006).

Für die Abschätzung der Nutzungs-/Lebensdauer wurden Literaturwerte (z.B. (SARS 2010) oder (Michael Spielmann u. a. 2007)) verwendet. Zwischen der Erstinverkehrssetzung eines Fahrzeugs und der Annullation des Fahrzeugausweises liegen ca. 15 bis 16 Jahre (SARS 2010) (SARS 2011). Für PW wurden in dieser Studie 16 Jahre angenommen.

Bei Lastwagen wurde eine Nutzungs-/Lebensdauer von 12 Jahren gewählt; Zahlen aus dem Ausland zeigen zwar eine längere Nutzungsdauer (Bsp. Deutschland über 20 Jahre), in der Schweiz erfolgen Fahrzeugwechsel jedoch wegen reduzierten Betriebs- und Unterhaltskosten von modernen LKW (u.a. tiefere Tarife für die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe LSWA bei höheren Emissionsklassen¹¹) deutlich früher.

¹¹ http://www.ezv.admin.ch/zollinfo_firmen/04020/04204/04208/04744/index.html?lang=de

Lagerbestand (Kapitel 3.3) * (1/Lebensdauer der Materialien)

Lebensdauer / Nutzungsdauer [Jahre]												
kehr	Schienenverkehr									Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges
Kategorie	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen
Lebensdauer Fahrzeug	17.2	16.0	18.0	12.0	12.0	20.0	15.0	30.0	24.5	30.0	20.0	40.0
Anfallender Anteil an Abfall der entsprechenden Lager pro Jahr [% / a]												
kehr	Schienenverkehr									Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges
Kategorie	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen
Entsorgung [% Stock]	5.81%	6.25%	5.56%	8.33%	8.33%	5.00%	6.67%	3.33%	4.09%	3.33%	5.00%	2.50%

= Lagerabfluss

Lagerabfluss [Tonnen/a]													
Kategorie	Strassenverkehr					Schienenverkehr				Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Elektrizität (t CO2-eq)	227	1941	4	94	2381	0	0	15 576	24 728	0	0	16 929	61 880
Treibstoff (t CO2-eq)	205 618	11 511 425	1 641 095	2 116 680	368 841	514 689	0	0	0	141 580	4 104 076	0	20 604 004
Stahl	7 447	280 761	29 399	36 156	6 033	23 223	14 281	437	15 495	2 119	100	1 226	416 678
Aluminium	1 453	14 690	1 538	2 215	1 485	0	7 921	15	5 034	1 008	725	613	36 699
Andere M. / RESH	460	5 613	588	665	180	2 442	0	40	1 209	0	52	0	11 248
Glas / RESH	0	8 536	894	222	436	169	0	20	651	33	5	102	11 068
Plastik / RESH	523	47 361	4 959	1 551	492	1 268	625	22	3 062	4 884	18	102	64 867
Elektronik / RESH	379	5 760	594	177	38	459	0	1	12	17	1	5	7 443
Batterie	541	13 040	1 247	667	133	1 178	0	0	0	124	0	0	16 931
Reifen_Gummi	2 259	50 027	5 238	10 025	1 441	9 772	12 674	0	0	0	68	0	91 505
Betriebsstoffe	569	14 168	1 485	447	72	435	41	1	106	130	51	51	17 556
Total Energie	205 844	11 513 367	1 641 099	2 116 774	371 222	514 690	0	15 576	24 728	141 580	4 104 076	16 929	20 665 884
Total Materialien	13 632	439 956	45 943	52 126	10 308	38 946	35 542	537	25 570	8 316	1 019	2 099	673 995
Total	219 477	11 953 323	1 687 041	2 168 900	381 530	553 636	35 542	16 113	50 297	149 896	4 105 095	19 028	21 339 879

Tabelle 3-6: Modellansatz Lagerabfluss in Entsorgung (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.6 Export

Ein Teil der alten Fahrzeuge wird ins Ausland exportiert und dort wiederverwendet. Daten über diese Flüsse (in Massen) werden bei der eidgenössischen Zollverwaltung (EZV) erfasst¹². In diesem Bericht wurden die Daten für die verschiedenen Kategorien aggregiert. Nicht inbegriffen sind Teile von Fahrzeugen (z.B. Reifen, Fahrgestelle, Bremsen) die separat exportiert werden. Die Zollverwaltung macht keinen Unterschied zwischen dem Export von alten und neuen Fahrzeugen. Es kann deshalb sein, dass diese Statistiken auch Daten für neue Fahrzeuge enthalten.

Die Exportquoten berechnen sich aus den gemäss der EZV rapportierten Zahlen im Verhältnis zum Fahrzeugbestand in den entsprechenden Kategorien (Tabelle 3-7). Auf europäischer Ebene existieren Publikationen beispielsweise von Eurostat¹³, welche Informationen über die Verschiebungen von Fahrzeugen innerhalb und ausserhalb der EU liefern. Unter der Annahme ähnlicher Verhältnisse wie in Deutschland würden ca. 50% der aus der Schweiz exportierten Fahrzeuge in östlichen EU-Ländern (v.a. Polen, Rumänien, Tschechien) weiterbetrieben, über die restlichen 50% gibt es keine genauen Angaben. Die Weiternutzung im Ausland wurde nicht näher untersucht, sondern graphisch nur durch gestrichelte Linien gekennzeichnet (Abbildung 3-1 und Auswertungen Kapitel 4).

¹² <https://www.swiss-impex.admin.ch/>

¹³ http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/docs/2010_2nd_hand_car_en.pdf

Lagerbestand (Kapitel 3.3) * Exportquote am Lagerbestand

Exportquote am Lagerbestand [%]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Export [% Stock]	1.8%	2.4%	2.4%	6.6%	6.6%	3.3%	1.3%	0.0%	4.0%	0.6%	4.0%	0.5%	

= Export

Exportfluss [Tonnen/a]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	2327	109895	12963	28817	4808	15401	2820	0	15145	368	80	227	192852
Aluminium	457	5750	678	1766	1184	0	1564	0	4921	175	584	113	17192
Andere Metalle	143	2197	259	530	143	1619	0	0	1182	0	42	0	6115
Glas	0	3341	394	177	347	112	0	0	636	6	4	19	5036
Plastik/Textilien	164	18538	2187	1236	392	841	123	0	2992	848	15	19	27355
Elektronik	113	2255	262	141	30	304	0	0	12	3	1	1	3122
Batterie	164	5109	550	532	106	782	0	0	22	0	0	0	7265
Reifen/Gummi	702	19581	2310	7991	1148	6481	2502	0	0	0	55	0	40770
Betriebsstoffe	180	5545	655	357	57	288	8	0	104	23	41	9	7267
Total	4251	172211	20258	41546	8215	25829	7017	0	24992	1444	821	388	306973

Tabelle 3-7: Modellansatz Export (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.7 Fluss 'Unbekannt'

Die Datenqualität des Flusses in die Entsorgung ist begrenzt, da es Differenzen zwischen annullierten und tatsächlich entsorgten Fahrzeugen gibt ((Stiftung Autorecycling Schweiz 2015), Anhang A I). Eine Analyse von (Blaser, Widmer, und Wäger 2012) hat beispielsweise ergeben: „Da beim Export und bei der Entsorgung ein gewisser Anteil der Fahrzeuge nicht gemeldet werden, können nicht alle Fahrzeugströme zuverlässig geschätzt werden“. Mögliche Gründe können sein: Fahrzeuge, welche ohne Annullation ins Ausland gehen, illegal abgestellte oder verlassene Fahrzeuge. Diese Fahrzeuge (prinzipiell PW) wurden als Fluss 'Unbekannt' zugeordnet. Es ist unklar, ob dieser Fluss in der Schweiz bleibt oder (als wahrscheinlicher anzunehmen) längerfristig ins Ausland geht. Die Quote dieses Flusses wurde aus Daten von SARS (Mittelwert 2006-2015 der Differenz zwischen annullierten zu geschredderten Fahrzeugen über den Lagerbestand 2016) (Stiftung Autorecycling Schweiz 2015) berechnet (Tabelle 3-8).

Lagerbestand (Kapitel 3.3) * Quote 'Unbekannt'

Unbekannt													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Unbekannt [% Stock]	0.00%	1.60%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Unbekannt [Anzahl]	0	72548	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

= Fluss 'Unbekannt'

Unbekannt - Fluss [Tonnen/a]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	0	71762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71762
Aluminium	0	3755	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3755
Andere Metalle	0	1435	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1435
Glas	0	2182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2182
Plastik/Textilien	0	12105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12105
Elektronik	0	1469	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1469
Batterie	0	3299	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3299
Reifen/Gummi	0	12787	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12787
Betriebsstoffe	0	3624	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3624
Total	0	112418	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	112418

Tabelle 3-8: Modellansatz Fluss in Entsorgung nach Export (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.8 Fluss in Entsorgung

Wird von den aus der Flotte abfliessenden Fahrzeugen der Anteil abgezogen, welcher in den Export geht (Kapitel 3.6) sowie die Fahrzeuge, die ein unbekanntes Schicksal haben (Kapitel 3.7), erhält man den Fluss in das Entsorgungssystem in der Schweiz (Tabelle 3-9). Die Zahlen können Schwankungen unterliegen, falls beispielsweise durch fiskalische Anreize zu tieferen Emissionsklassen bei Lastwagen mehr Fahrzeuge in den Export gehen, als normalerweise aus der Flotte abfliessen würden.

**Lagerabfluss (Kapitel 3.5) – Export (Kapitel 3.6) – Unbekannt (Kapitel 3.7)
= Fluss in Entsorgung**

Fluss in Entsorgung nach Export und Unbekannt [Tonnen/a]														Total
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges		
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen		
Stahl	5120	99105	16436	7339	1225	7822	11461	437	350	1751	19	999	152064	
Aluminium	996	5185	860	450	302	0	6357	15	114	833	141	500	15753	
Andere M. / RESH	317	1981	329	135	36	822	0	40	27	0	10	0	3698	
Glas / RESH	0	3013	500	45	88	57	0	20	15	27	1	83	3850	
Plastik / RESH	359	16718	2773	315	100	427	501	22	69	4036	3	83	25407	
Elektronik / RESH	265	2036	332	36	8	154	0	1	0	14	0	4	2851	
Batterie	377	4632	697	135	27	396	0	0	0	103	0	0	6367	
Reifen, Gummi	1557	17659	2929	2035	292	3292	10172	0	0	0	13	0	37948	
Betriebsstoffe	389	4998	830	91	15	147	33	1	2	107	10	41	6665	
Total	9381	155327	25685	10579	2093	13117	28525	537	578	6872	198	1711	254604	

Tabelle 3-9: Modellansatz Fluss in Entsorgung nach Export und 'Unbekannt' (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.9 Teileverwertung

Ein Teil der in die Entsorgung gelangenden Komponenten kann in ihrer ursprünglichen Funktion wiederverwertet werden. Die Teile werden aus Gebrauchtfahrzeugen ausgebaut und in die Lager der Teileverwerter aufgenommen. Der bedeutend grössere Anteil der Gebrauchtfahrzeuge wird jedoch stofflich verwertet, d.h. die Materialien werden nach einem Shredder- und Separationsprozess als Sekundärmaterialien verkauft.

Die Zahlen der Studie (Tabelle 3-10) sind eine approximative Abschätzung basierend auf Diskussionen mit Branchenfachleuten (gemäss Anhang A I). Wissenschaftliche Arbeiten dazu sind in Ausführung, jedoch zurzeit nicht verfügbar.

Fluss in Entsorgung (Kapitel 3.8)* Transferkoeffizienten Teileverwertung

Kategorie	Transferkoeffizienten Teileverwertung [%]
Eisen, Stahl	5%
Aluminium	5%
Andere Metalle	1%
Glas	3%
Plastik, Synthetisches	3%
Elektronik	20%
Batterie	20%
Reifen, Gummi	35%
Betriebsstoffe	30%

= Teileverwertung

Kategorie	Fluss Teileverwertung [Tonnen/a]
Eisen, Stahl	7 603
Aluminium	788
Andere Metalle	37
Glas	115
Plastik, Synthetisches	762
Elektronik	570
Batterie	1 273
Reifen, Gummi	13 282
Betriebsstoffe	1 999
Total	26 431

Tabelle 3-10: Anteil der Materialien, welche nicht stofflich, sondern funktional als Ersatzteile verwertet werden.

3.10 Entsorgung und Aufbereitung zu Sekundärmaterial

Im Entsorgungsprozess werden drei kaskadisch angeordnete Verwertungswege unterschieden. Ziel des Recyclings ist die möglichst vollständige Rückgewinnung von Materialien unter Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben (siehe Anhang A I). Nicht-verwertbare Anteile werden in einer Kehrriktverbrennungsanlage KVA oder Hochtemperatur-Verbrennung HVA (z.B. auch Zementwerke für Reifen) thermisch verwertet. Durch die Verbrennung organischen Materials sinkt die Masse. Metallische Rückstände in der Schlacke gehen zurück in das Recycling. Der Rest der Schlacke wird deponiert. Die detaillierten Zahlen aus Tabelle 3-11 werden in Abbildung 3-2 visualisiert. Da keine detaillierten Werte für verschiedene Mobilitätskategorien vorliegen, wurden Personenwagen als Referenz angenommen. Das heisst, dass beispielsweise die Rückgewinnungsrate von Aluminium gleich angenommen wurde für Schiffe und Flugzeuge wie für Autos.

[%]	Recycling					KVA/HVA					Deponie			
	Recycling EIN direkt	Recycling AUS zu KVA/HVA	Recycling AUS zu Deponie	Recycling IN aus KVA/HVA	Recycling zusammen gefasst	KVA/HVA EIN direkt	KVA/HVA EIN aus Recycling	KVA/HVA AUS zu Recycling	KVA/HVA AUS zu Deponie	KVA/HVA zusammen gefasst	Deponie EIN direkt	Deponie EIN aus Recycling	Deponie EIN aus KVA/HVA	Deponie zusammen gefasst
Stahl	100%	5%	0%	2%	97%	0%	5%	2%	3%	0%	0%	0%	3%	3%
Aluminium	100%	5%	0%	2%	97%	0%	5%	2%	3%	0%	0%	0%	3%	3%
Andere M. / (RESH)	100%	5%	0%	2%	97%	0%	5%	2%	3%	0%	0%	0%	3%	3%
Glas / RESH	100%	97%	0%	0%	3%	0%	97%	0%	94%	3%	0%	0%	94%	94%
Plastik / RESH	100%	97%	0%	0%	3%	0%	97%	0%	3%	94%	0%	0%	3%	3%
Elektronik / RESH	100%	97%	0%	0%	3%	0%	97%	0%	50%	47%	0%	0%	50%	50%
Batterie	100%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Reifen, Gummi*	100%	100%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	17%	83%	0%	0%	17%	17%
Betriebsstoffe	100%	10%	0%	0%	90%	0%	10%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%

* Verbrennung in der Zementindustrie

Tabelle 3-11: Anteile (%) der Materialmassen, welche in die drei Entsorgungsprozesse Recycling, KVA/HVA und Deponie ein- und ausfliessen. Fett: Zusammengefasste Netto-Werte.

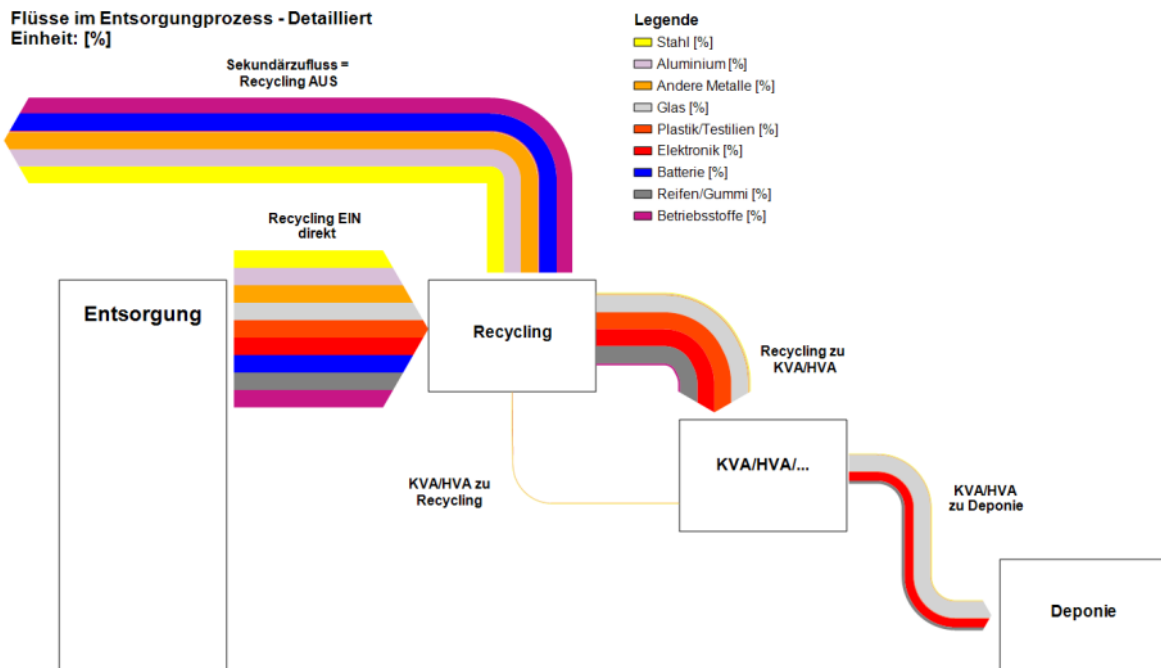
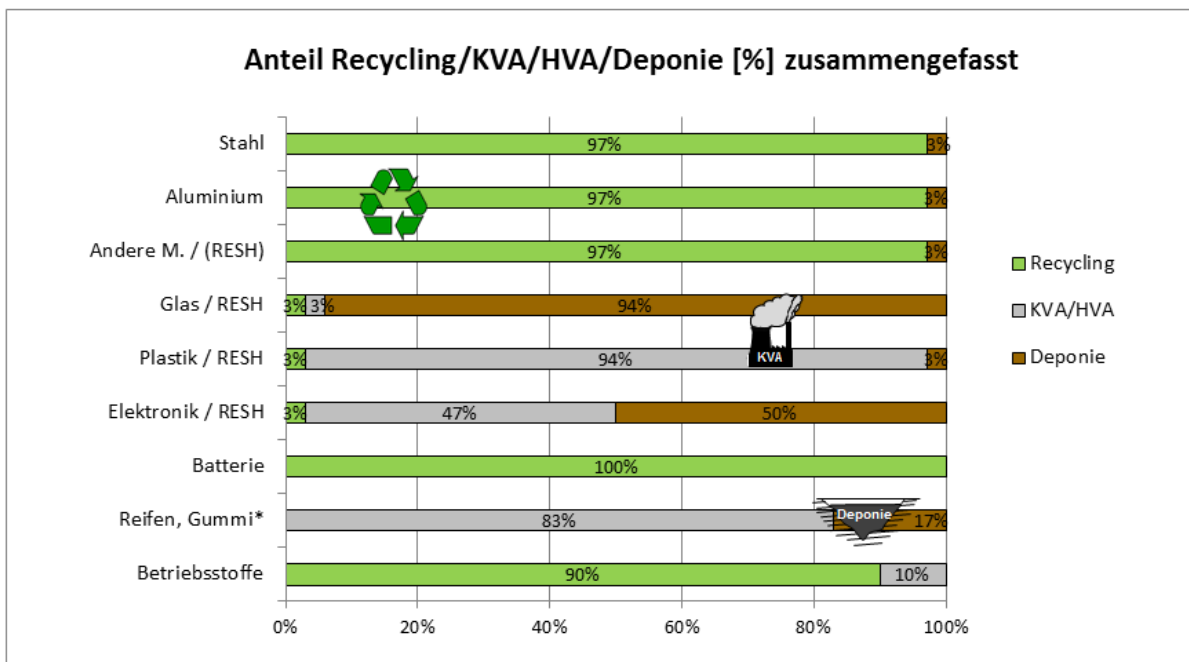


Abbildung 3-2: Detaillierte Darstellung der Aufteilung der Materialien im Entsorgungsprozess (in Prozent der verschiedenen Materialien).

Zur einfacheren Übersicht kann pro Materialkategorie eine Netto-Aufteilung auf Recycling, KVA/HVA und Deponie vorgenommen werden, die resultierenden Transferkoeffizienten sind in Abbildung 3-3 und in Tabelle 3-12 dargestellt.



* Verbrennung in der Zementindustrie

Abbildung 3-3: Aufteilung der entsorgten Materialien auf Recycling, KVA/HVA und Deponie.

Recyclingfluss nach Teilverwertung*

Transferkoeffizienten Recycling/KVA/Deponie

	Transferkoeffizienten		
	Recycling	KVA/HVA	Deponie
Stahl	0.97	0.00	0.03
Aluminium	0.97	0.00	0.03
Anderer M. / RESH	0.97	0.00	0.03
Glas / RESH	0.03	0.03	0.94
Plastik / RESH	0.03	0.94	0.03
Elektronik / RESH	0.03	0.47	0.50
Batterie	1.00	0.00	0.00
Reifen, Gummi	0.00	0.83	0.17
Betriebsstoffe	0.90	0.10	0.00

= Fluss in Recycling/KVA/Deponie

Kategorie	Fluss Recycling [Tonnen/a]	Fluss KVA/HVA [Tonnen/a]	Fluss Deponie [Tonnen/a]
Stahl	140 127	0	4 334
Aluminium	14 516	0	449
Anderer M. / RESH	3 552	0	110
Glas / RESH	112	112	3 510
Plastik / RESH	739	23 166	739
Elektronik / RESH	68	1 072	1 141
Batterie	5 094	0	0
Reifen, Gummi	0	20 473	4 193
Betriebsstoffe	4 199	467	0
Total	168 407	45 290	14 476

Tabelle 3-12: Transferkoeffizienten (netto) im Entsorgungsschritt mit Aufteilung in Recycling, Verbrennung und Deponie sowie resultierende Massenflüsse.

3.11 Lagerzufluss

Um das Lager, d.h. die gesamte Mobilitätsflotte, konstant zu halten, muss der durch Alterung abfließende Teil (Kapitel 3.5) laufend durch neue Fahrzeuge ersetzt werden. Je nach konjunktureller Situation und Verschiebungen im Konsumverhalten jeder Fahrzeugkategorie gibt es noch zusätzlichen Bedarf nach Ausbau oder Reduktion der Flotte (Kapitel 3.3). Der effektive Lagerzufluss ist die Summe des Lagerzuwachses durch konjunkturelle Veränderungen und des Ersatzes durch den Lagerabfluss (Tabelle 3-13).

Lagerzuwachs (Kapitel 3.3) + Lagerabfluss (Kapitel 3.5) = Lagerzufluss

Kategorie	Lagerzufluss [Tonnen/a]												Total
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Stahl	9 640	364 291	49 249	38 403	7 316	28 103	19 057	506	15 495	1 967	76	1 226	535 329
Aluminium	1 796	19 061	2 577	2 353	1 801	0	10 571	18	5 034	936	554	613	45 314
Anderer Metalle	627	7 283	985	706	218	2 955	0	46	1 209	0	40	0	14 068
Glas	0	11 076	1 497	235	528	205	0	23	651	31	4	102	14 352
Plastik/Textilien	657	61 451	8 308	1 647	596	1 535	833	26	3 062	4 534	14	102	82 765
Elektronik	640	7 517	995	188	46	555	0	2	12	16	1	5	9 977
Batterie	845	17 402	2 090	718	156	1 434	0	0	0	115	0	0	22 761
Reifen/Gummi	3 032	64 910	8 775	10 649	1 747	11 826	16 913	0	0	0	52	0	117 904
Betriebsstoffe	675	18 339	2 487	475	88	526	55	2	106	120	39	51	22 963
Total	17 913	571 331	76 963	55 375	12 496	47 139	47 429	622	25 570	7 719	779	2 099	865 433

Tabelle 3-13: Modellansatz Lagerzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.12 Importfluss

Der Importfluss von Fahrzeugen ist leicht geringer als der benötigte Lagerzufluss, da Teile aus dem Recyclingprozess wiederverwendet werden können und dadurch den Import entlasten.

Der Importfluss zeigt die tatsächlich jährlich importierte Masse an Fahrzeugen, Ersatzteilen und Treibstoff in den Mobilitätsbereich der Schweiz. Elektrizität wird zur Vereinfachung auch beim Import ausgewiesen, obwohl die Produktion vorwiegend inländisch erfolgt (Tabelle 3-14).

Lagerzufluss (Kapitel 3.11) - Teilverwertung (Kapitel 3.9) = Importfluss													
Importfluss [Tonnen/a]													
Kategorie	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	Total
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Selbahnen	
Elektrizität (toe)	72	616	1	30	756	0	0	4945	7850	0	0	5374	19645
Treibstoff (toe)	65275	3654421	520983	671962	117092	163393	0	0	0	44946	1302881	0	6540954
Stahl	9498	359299	48661	37921	7235	27587	18819	491	15074	1896	74	1171	527726
Aluminium	1766	18773	2543	2321	1779	0	10425	17	4884	899	536	583	44526
Andere Metalle	625	7266	983	704	217	2946	0	46	1204	0	40	0	14031
Glas	0	10991	1487	234	525	203	0	23	641	30	4	100	14237
Plastik/Textilien	651	60945	8248	1635	592	1518	827	25	3012	4436	14	99	82002
Elektronik	610	7087	945	178	44	512	0	1	11	13	1	4	9407
Batterie	802	16444	1987	681	149	1326	0	0	0	98	0	0	21488
Reifen/Gummi	2679	57619	7916	9553	1589	10046	15181	0	0	0	40	0	104622
Betriebsstoffe	607	16767	2302	438	82	466	51	1	88	93	32	37	20964
Total Energie	65347	3655037	520984	671992	117848	163394	0	4945	7850	44946	1302881	5374	6560598
Total Materialien	17238	555192	75072	53665	12214	44603	45303	605	24912	7467	739	1994	839003
Total	82585	4210229	596056	725657	130062	207996	45303	5550	32763	52413	1303620	7368	7399601

Tabelle 3-14: Modellansatz Importfluss (Beispielrechnung für das Jahr 2016).

3.13 Energiefluss

Die Berechnung der Energiemassen, welche für die Mobilität Schweiz benötigt werden, unterscheidet sich wegen den unterschiedlichen physikalischen Einheiten (Energie statt Masse) von der Berechnung der Materialmassen. Um die gemeinsame Darstellung von Materialien und Massenflüssen zu ermöglichen, wurden verschiedene Energieträger (Benzin, Diesel, Elektrizität) in Öl-Äquivalente umgerechnet und als Importfluss als Massenstrom ausgewiesen.

Die prinzipielle Berechnung wurde gleich wie bei den Materialien mit einem bottom-up Ansatz für alle 78 Mobilitätskategorien auf der untersten Stufe vorgenommen. Daten über den thermischen und elektrischen Bedarf pro Kilometer (z.B. (Tuchs Schmid 2011) und eigene Erhebungen) und die gefahrenen Distanzen pro Jahr jeder Kategorie (BFS) wurden gesammelt (siehe Anhang A IV), was die Auswertung des Energieflusses in Form eines Massenstromes (in toe) detailliert pro Fahrzeugkategorie ermöglicht.

Umrechnung Energie- in Massenfluss:

Da der Energiebedarf von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren meist in Liter pro km angegeben wird, ist die Umrechnung als Massenfluss einfach über die Multiplikation mit der Dichte des Treibstoffes.

$$\text{Treibstoff-Verbrauch als Volumenfluss [Liter/km]} \times \text{Dichte [kg/Liter]} = \text{Massenfluss [kg/km]}$$

Die Umrechnung des Energiebedarfs von Elektrofahrzeugen in einen Massenfluss folgt den Überlegungen:

- Die Produktion von einer Kilowattstunde Strom verursacht 99 Gramm CO₂-Äquivalente (Schweizerischer-Marktmix) bzw. 11 Gramm CO₂-Äquivalente (Bahnnetz Schweiz)¹⁴
- Wieviel Öl muss verbrannt werden, um diese Massen CO₂-Äquivalente zu verursachen?

Diese Berechnung berücksichtigt somit die Qualität der verwendeten Elektrizität. Tabelle 3-15 zeigt 3.13·10⁻⁵ toe/kWh für den Schweizer Strommarkt-Mix und 3.34·10⁻⁶ toe/kWh für den SBB-Mix.

	Endverbrauch pro Einheit		Umweltbelastung gemäss Ecoinvent v.3.2 [kg CO ₂ -eq / kWh] ^{1,2}	Treibhausgas-emissionen [t CO ₂ -eq tot]	Emissionsfaktor [t CO ₂ eq tot/toe]	Masse [toe]	Toe pro Einheit Elektrizität [toe/TJ]	Toe pro Einheit Elektrizität [toe/kWh]
	[TJ]	[kWh]						
Züge	1	2.78E+05	0.010535	2.93	3.15	9.29.E-01	9.29.E-01	
	3.60E-06	1		1.05.E-05		3.34.E-06	3.34.E-06	
Andere	1	2.78E+05	0.098548	27.37	3.15	8.69.E+00	8.69.E+00	
	3.60E-06	1		9.85.E-05		3.13.E-05	3.13.E-05	

¹Ecoinvent 3.2: Electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways//[CH] market for electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways

²Ecoinvent 3.2: Electricity, low voltage//[CH] market for electricity, low voltage

Tabelle 3-15: Umrechnung von Elektrizität auf Tonnen Öl-Äquivalente unter Berücksichtigung der Treibhausgas-Emissionen für den Zugverkehr und den restlichen Verkehr.

Als Mittelwert für den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen eines Durchschnittsfahrzeugs pro Mobilitätskategorie ergeben sich folgende Werte (Tabelle 3-16, Tabelle 3-17):

Kategorie		Strassenverkehr						
		2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	926	14926	14000	50000	39372	1045	5014
Energietreiber	Typ	Benzin + Elektr. Strommix CH	Benzin + Elektr. Strommix CH	Benzin + Elektr. Strommix CH	Diesel + Elektr. Strommix CH	Diesel + Elektr. Strommix CH	Diesel + Elektr. Strommix CH	-
Elektrizität								
Treibstoffsverbrauch pro kWh	toe/kWh	3.13E-05	3.13E-05	3.13E-05	3.13E-05	3.13E-05	3.13E-05	0
Elektrizitätsverbrauch	kWh/100 km	0.04	0.02	0.00	0.03	6.94	0.00	0
Stromverbrauch pro Fahrzeug	kWh/a	0.38	3	0.07	13.57	2731.53	0.01	0
Energiebedarf Elektrizität pro Fahrzeug	toe/a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
Emissionen aus Elektrizität pro Fahrzeug	t CO ₂ -eq./a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00
Stromverbrauch gesamt	kWh/a	2300773	19700636	37269	958333	24159262	3831	0
Energiebedarf Elektrizität gesamt	toe/a	72	616	1	30	756	0	0
Emissionen aus Elektrizität gesamt	t CO ₂ -eq./a	227	1941	4	94	2381	0	0
Treibstoff								
Treibstoffsverbrauch	l/100 km	2	7	12	30	39	71	0
Energiebedarf Treibstoff pro Fahrzeug*	toe/a	0.01	0.80	1.26	12.60	12.95	0.63	0.00
Emissionen aus Treibstoff pro Fahrzeug	t CO ₂ -eq./a	0.04	2.53	3.97	39.68	40.79	1.97	0.00
Energiebedarf Treibstoff gesamt	toe/a	65275	3654421	520983	671962	117092	163393	0
Emissionen aus Treibstoff gesamt	t CO ₂ -eq./a	205618	11511425	1641095	2116680	368841	514689	0

* Dichte Benzin: 0.750 kg/l; Dichte Diesel: 0.840 kg/l

Tabelle 3-16: Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien des Strassenverkehrs als Mittelwert pro Fahrzeug der Kategorie (konventionell und elektrisch).

¹⁴ Ecoinvent v.3.2, Zahlen 2016

Kategorie		Schienenverkehr		Schiffverkehr	Flugverkehr	Sonstiges
		Tram	Zug**	Schiff	Flug	Seilbahnen
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	42 382	72 512	407	107 941	29 925
Energietreiber	Typ	Elektr. Strommix CH	Elektr. Strommix SBB	Diesel	Diesel	Elektr. Strommix CH
Elektrizität						
Treibstoffsverbrauch pro kWh	toe/kWh	3.13E-05	3.34E-06	3.13E-05	3.13E-05	3.13E-05
Elektrizitätsverbrauch	kWh/100 km	475	249	0	0	14
Stromverbrauch pro Fahrzeug	kWh/a	201 312	180 322	0	0	4 240
Energiebedarf Elektrizität pro Fahrzeug	toe/a	6.30	0.60	0.00	0.00	0.13
Emissionen aus Elektrizität pro Fahrzeug	t CO ₂ -eq./a	19.84	1.90	0.00	0.00	0.42
Stromverbrauch gesamt	kWh/a	158 053 780	2 347 248 943	0	0	171 786 000
Energiebedarf Elektrizität gesamt	toe/a	4 945	7 850	0	0	5 374
Emissionen aus Elektrizität gesamt	t CO ₂ -eq./a	15 576	24 728	0	0	16 929
Treibstoff						
Treibstoffsverbrauch	l/100 km	0	0	134	416	0
Energiebedarf Treibstoff pro Fahrzeug*	toe/a	0.00	0.00	0.46	377.29	0.00
Emissionen aus Treibstoff pro Fahrzeug	t CO ₂ -eq./a	0.00	0.00	1.44	1 188.46	0.00
Energiebedarf Treibstoff gesamt	toe/a	0	0	44 946	1 302 881	0
Emissionen aus Treibstoff gesamt	t CO ₂ -eq./a	0	0	141 580	4 104 076	0

* Dichte Benzin: 0.750 kg/l; Dichte Diesel: 0.840 kg/l

** Der Elektrizitätsverbrauch pro 100 km enthält auch den null Verbrauch von Reisewagen und Güterwagen, deswegen ist er tiefer als für Trams

Tabelle 3-17: Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien ohne Strassenverkehr als Mittelwert pro Fahrzeug der Kategorie.

Werden die Mittelwerte pro Fahrzeug mit den jährlichen Fahrleistungen jeder Kategorie multipliziert, ergibt sich der jährliche Bedarf an Elektrizität und Treibstoff (in Tonnen Öl-Äquivalenten) für die gesamte Mobilitätsflotte. Gemessen in Elektrizität resultiert ein jährlicher Verbrauch von 2.72 Mio. kWh (9 807 TJ) und liegt somit im Bereich der 11 290 TJ, welche durch das BFE rapportiert werden (BFE 2016). In Tonnen Öl-Äquivalente umgerechnet ergeben sich folgende Zahlen (Tabelle 3-18):

Kategorie	Importfluss [Tonnen/a]												Total
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Elektrizität (toe)	72	616	1	30	756	0	0	4 945	7 850	0	0	5 374	19 645
Treibstoff (toe)	65 275	3 654 421	520 983	671 962	117 092	163 393	0	0	0	44 946	1 302 881	0	6 540 954

Tabelle 3-18: Energiebedarf der Haupt-Mobilitätskategorien für die gesamte Flotte.

Der Zufluss in Form von Tonnen widerspiegelt jedoch nicht den Massenfluss, welcher durch die Nutzung der Energie verursacht wird. Pro Tonne Öl-Äquivalent Treibstoff werden 3.15 Tonnen CO₂ freigesetzt, ein Massenfluss welcher in die Atmosphäre entsorgt wird (Tabelle 3-19):

Kategorie	Lagerabfluss [Tonnen/a]												Total
	Strassenverkehr							Schienenverkehr		Schiffver.	Flugverk.	Sonstiges	
	2Rad	PW	3.St	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff	Flug	Seilbahnen	
Elektrizität (t CO ₂ -eq)	227	1 941	4	94	2 381	0	0	15 576	24 728	0	0	16 929	61 880
Treibstoff (t CO ₂ -eq)	205 618	11 511 425	1 641 095	2 116 680	368 841	514 689	0	0	0	141 580	4 104 076	0	20 604 004

Tabelle 3-19: Treibhausgasemissionen der Haupt-Mobilitätskategorien für die gesamte Flotte.

4 Resultate

4.1 Zusammensetzung des Lagers 2016

In der 'Mobilität Schweiz' gibt es knapp 11 Mio. Fahrzeuge mit einer Gesamtmasse von ca. 11 Mio. Tonnen. Personenwagen (PW) umfassen den grössten Teil mit ca. 7 Mio. Tonnen. Alle anderen Mobilitätskategorien liegen unter 1 Mio. Tonnen (Abbildung 4-1 – Abbildung 4-3).

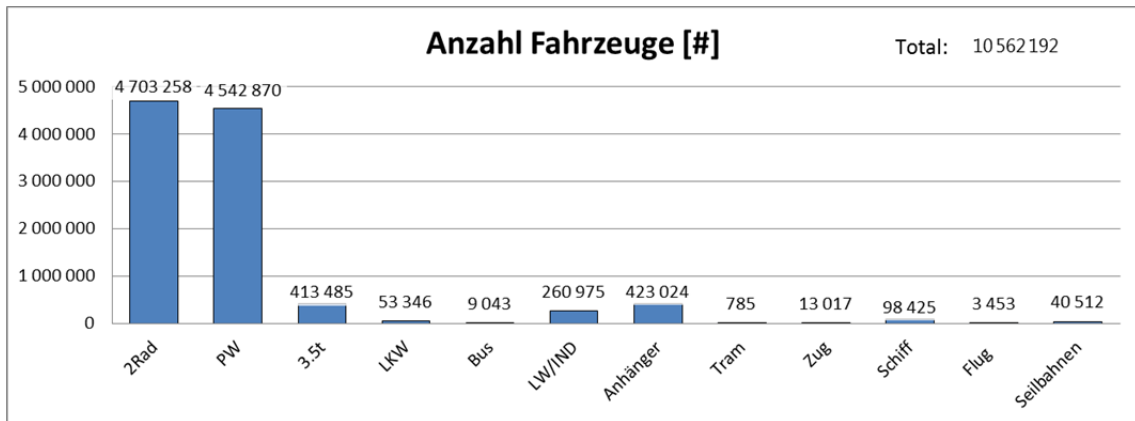


Abbildung 4-1: Anzahl Fahrzeuge im Jahr 2016.

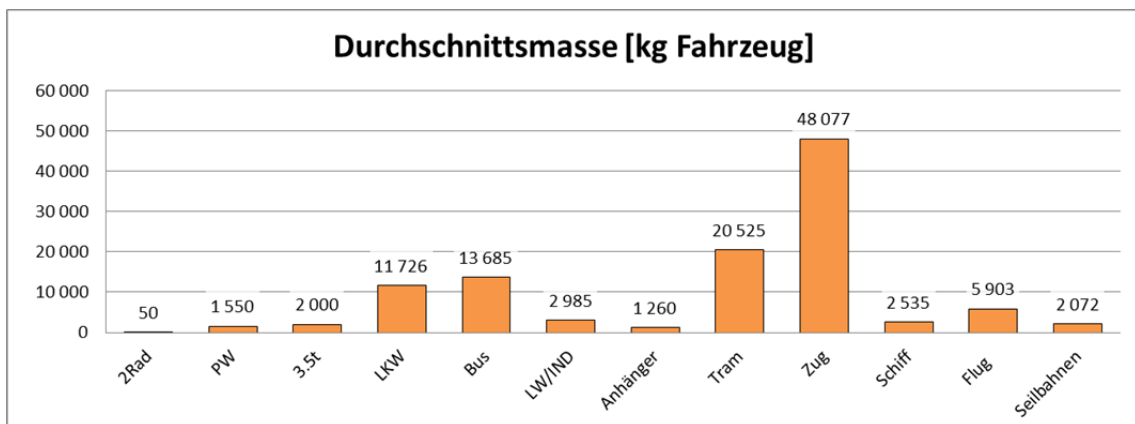


Abbildung 4-2: Durchschnittgewicht der schweizerischen Fahrzeuge im Jahr 2016.

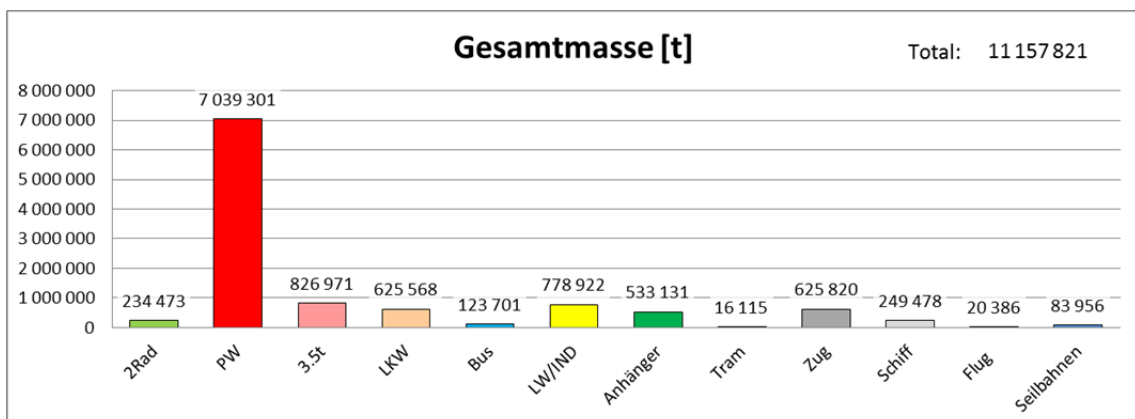


Abbildung 4-3: Gesamtmasse der schweizerischen Fahrzeuge im Jahr 2016.

Werden die Mobilitätskategorien differenziert nach Materialien, wird die Dominanz von Stahl mit ca. 7 Mio. Tonnen von total ca. 11 Mio. Tonnen offensichtlich (Abbildung 4-4, Abbildung 4-5).

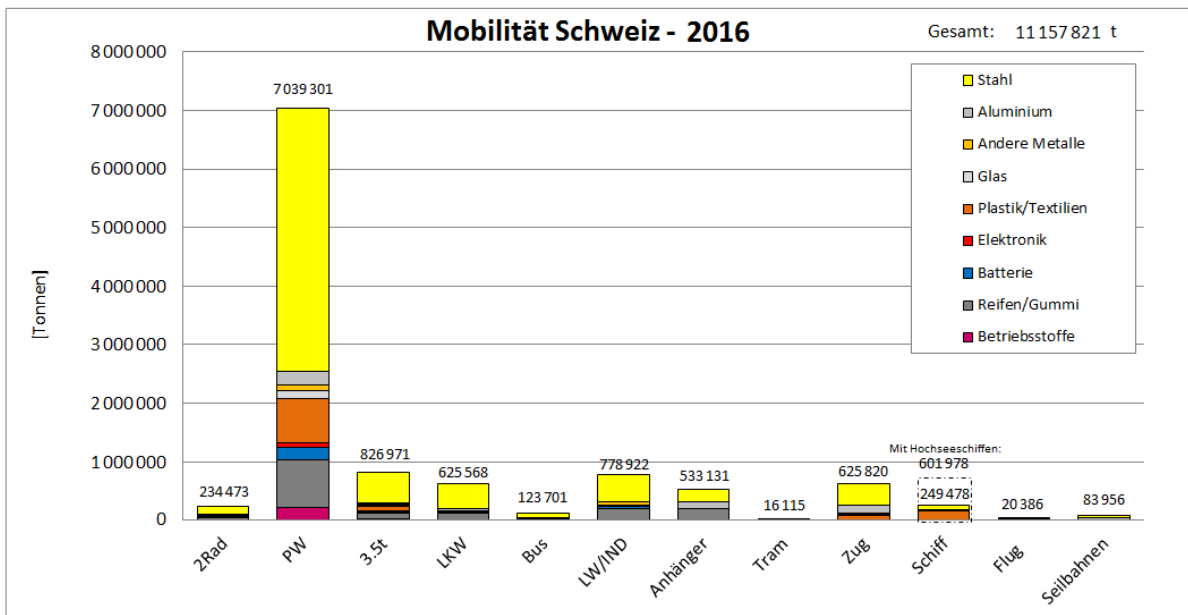


Abbildung 4-4: Materialien pro Mobilitätskategorie in der Schweiz im Jahr 2016. Insgesamt befinden sich 11.2 Mio. Tonnen im Lager. Personenwagen PW sind eindeutig dominierend mit 7.0 Mio. Tonnen (63% der gesamten Masse).

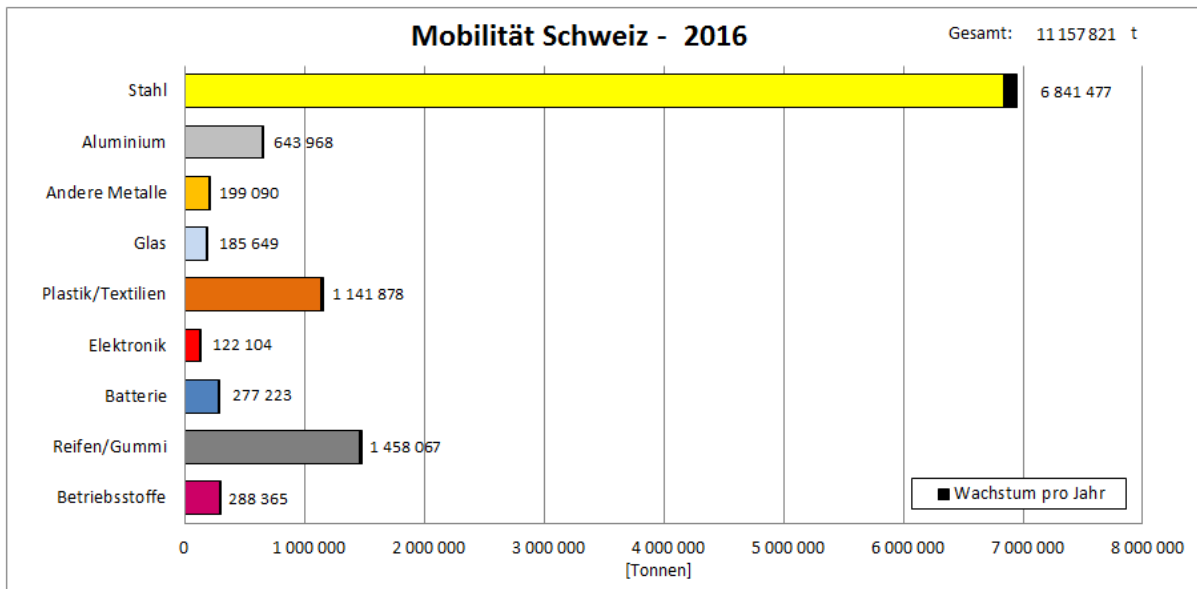


Abbildung 4-5: Lagermassen in der Mobilität Schweiz 2016 pro Materialkategorie. Zusätzlich zeigt die schwarze Schraffur den jährlichen Lagerzuwachs in den entsprechenden Materialkategorien im Verhältnis zu den Lagermassen (sichtbar praktisch nur bei Stahl). Stahl ist eindeutig dominierend mit 6.8 Mio. Tonnen (61% der gesamten Masse).

Unsere Mobilität ist auf Infrastruktur in Form von Strassen und Schienen angewiesen. Damit die 11 Mio. Tonnen an Fahrzeugen verkehren können, brauchen sie über 1000 Mio. Tonnen bauliche Infrastruktur (Gauch u. a. 2016).

Das Verhältnis zwischen dem mobilen und immobilen Teil der Mobilität beträgt ca. 1:100, das heisst pro Tonne Fahrzeug braucht es 100 Tonne Strasse oder Schiene (Abbildung 4-6).

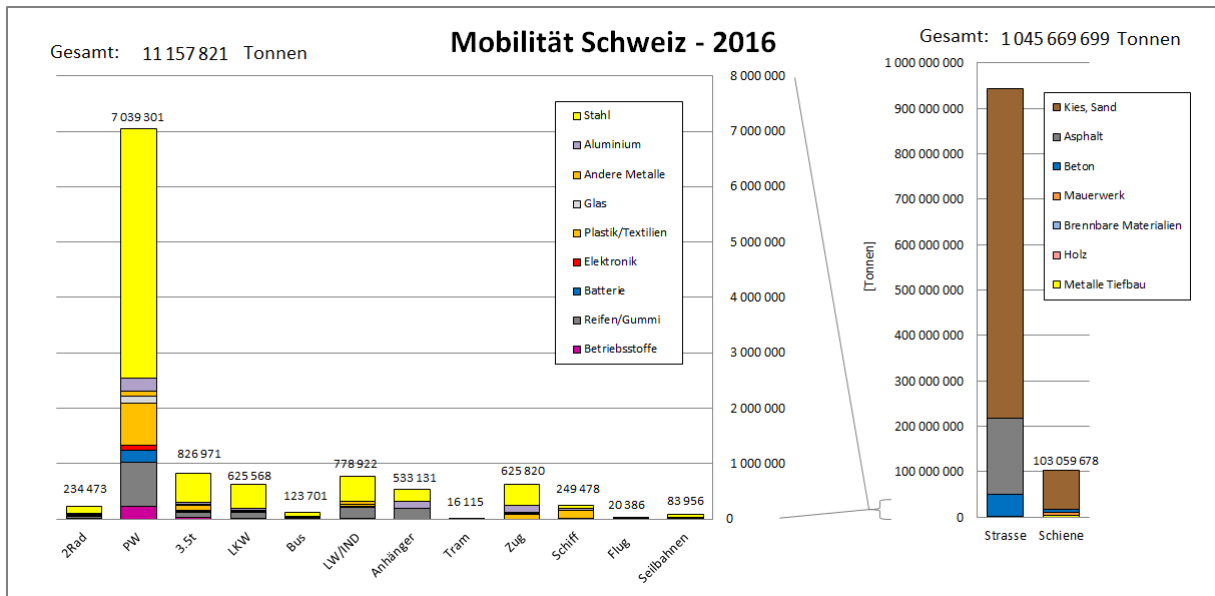


Abbildung 4-6: Die Masse der Mobilität Schweiz im Verhältnis mit den verbauten Massen im Strassen- und Schienennetz aus dem Bericht MatCH – Bau 2016 (Gauch u. a. 2016).

4.2 Modellierung der Materialflüsse 2016

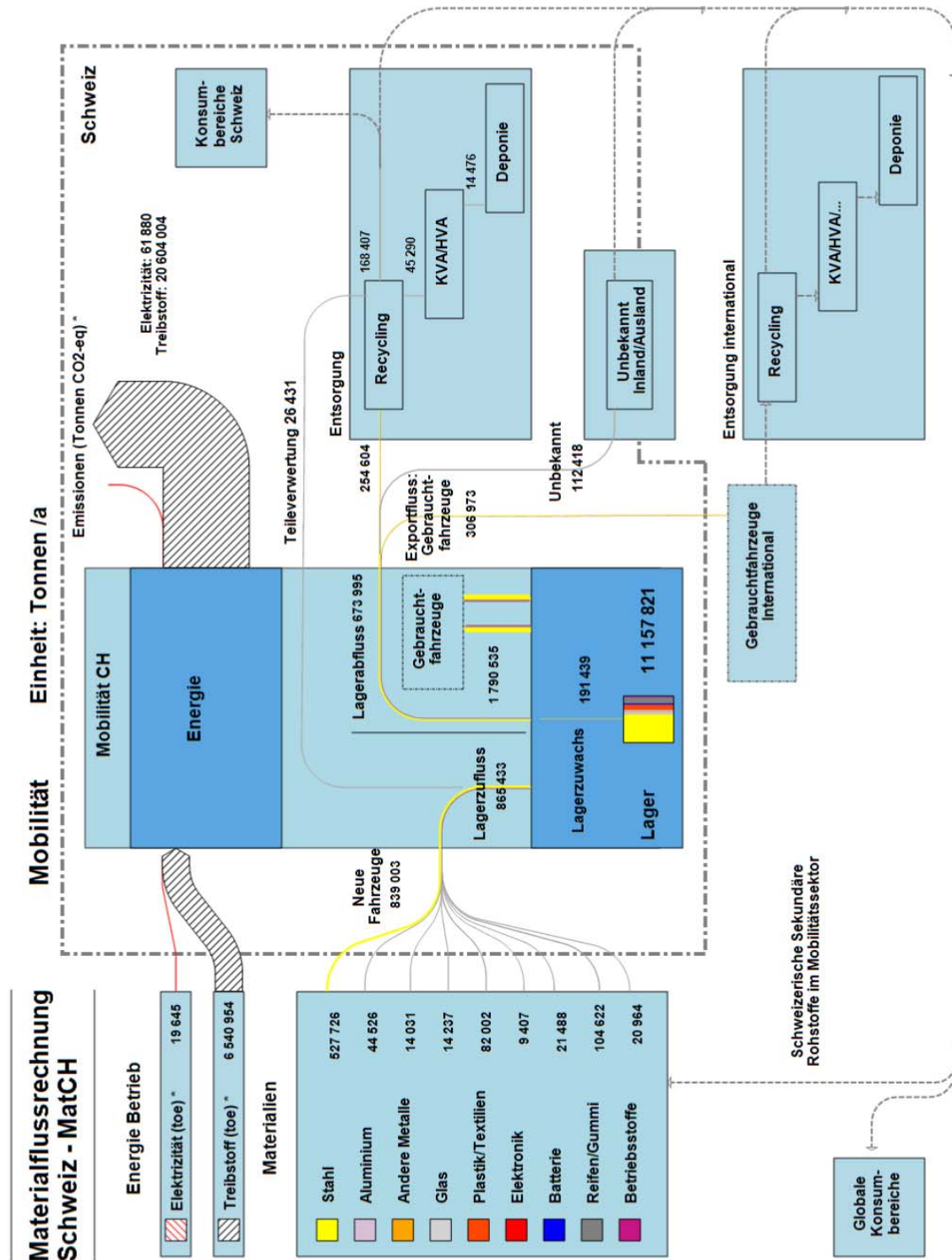


Abbildung 4-7: Material- und Energieflüsse im Mobilitätsbereich Schweiz für das Jahr 2016. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse und des Lagerbestands ist in Tabelle 4-1 zu finden.
 * Energieflüsse für den Betrieb der Fahrzeuge (reine Nutzungsphase ohne vorgelagerte Prozesse) werden dargestellt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe).
 Schraffierte Pfeile (Entsorgungsflüsse im Ausland) werden in dieser Studie nicht näher betrachtet.

2016	Lagerbestand	Lagerzuwachs	Direktverwertung	Lagerabfluss	Exportfluss	Unbekannt	Fluss in Entsorgung nach Export und Unbekannt	Fluss Teileverwertung	Recyclingfluss nach Teileverwertung	Fluss Recycling	Fluss KVA/HVA	Fluss Deponie	Lagerzufluss	Importzufluss
	[Tonnen]													
Elektrizität (toe) *	-	-	-	61 880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19 645
Treibstoff (toe) *	-	-	-	20 604 004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 540 954
Stahl	6 841 477	118 651	1 129 486	416 678	192 852	71 762	152 064	7 603	144 461	140 127	0	4 334	535 329	527 726
Aluminium	643 968	8 614	71 009	36 699	17 192	3 755	15 753	788	14 965	14 516	0	449	45 314	44 526
Andere Metalle	199 090	2 820	25 599	11 248	6 115	1 435	3 698	37	3 661	3 552	0	110	14 068	14 031
Glas	185 649	3 285	31 836	11 068	5 036	2 182	3 850	115	3 734	112	112	3 510	14 352	14 237
Plastik/Textilien	1 141 878	17 898	183 416	64 867	27 355	12 105	25 407	762	24 645	739	23 166	739	82 765	82 002
Elektronik	122 104	2 535	22 815	7 443	3 122	1 469	2 851	570	2 281	68	1 072	1 141	9 977	9 407
Batterie	277 223	5 830	50 804	16 931	7 265	3 299	6 367	1 273	5 094	5 094	0	0	22 761	21 488
Reifen/Gummi	1 458 067	26 399	221 039	91 505	40 770	12 787	37 948	13 282	24 666	0	20 473	4 193	117 904	104 622
Betriebsstoffe	288 365	5 408	54 531	17 556	7 267	3 624	6 665	1 999	4 665	4 199	467	0	22 963	20 964
Total Energie	-	-	-	20 665 884	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 560 598
Total Materialien	11 157 821	191 439	1 790 535	673 995	306 973	112 418	254 604	26 431	228 173	168 407	45 290	14 476	865 433	839 003
Total	11 157 821	191 439	1 790 535	21 339 879	306 973	112 418	254 604	26 431	228 173	168 407	45 290	14 476	865 433	7 399 601

Tabelle 4-1: Zusammenfassung des Lagerbestandes und der Flüsse für die verschiedenen Kategorien und Materialien (berechnet für 2016).

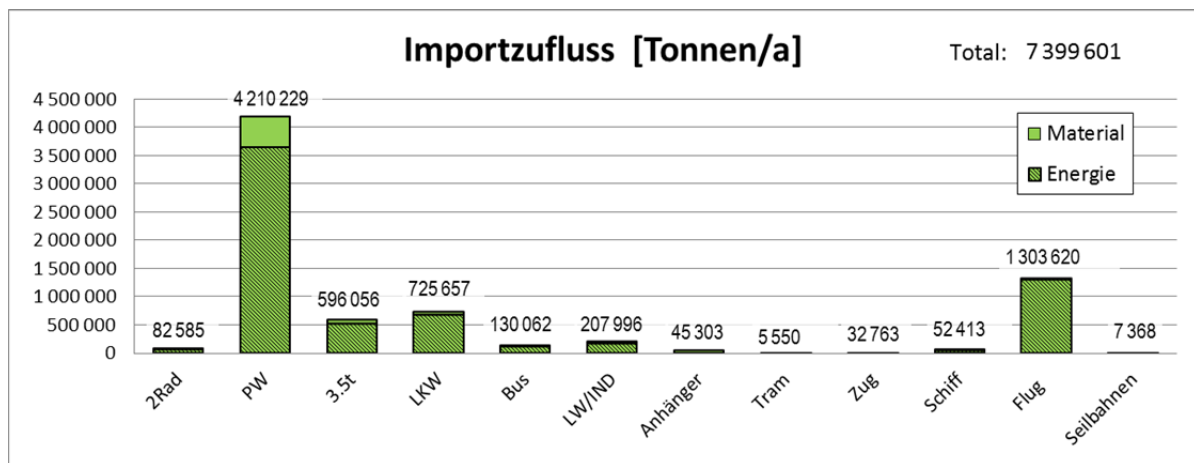


Abbildung 4-8: Darstellung Importfluss pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material.

Jährlich fließen mehr als halb so viele Tonnen Treibstoff (6.5 Mio. Tonnen) in die Schweizer Mobilität, wie die Masse aller Fahrzeuge im Lager beträgt (11.6 Mio. Tonnen). Im Schnitt benötigt also ein Fahrzeug jährlich über die Hälfte seines Gewichts in Form von Treibstoff.

4.3 Modellierung der Umweltbelastungen 2016

Die Materialflüsse im Mobilitätsbereich der Schweiz, dargestellt in Abbildung 4-7 und Tabelle 4-1, haben verschiedene Umweltauswirkungen zur Folge (vgl. Kapitel 2.2.).

Die Modellierung der Umweltbelastung erfolgte als vereinfachte Ökobilanz durch Multiplikation der einzelnen Materialflüsse mit Indikatoren (Emissionsfaktoren) aus der Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent v.3.2. Die genaue Herleitung der Indikatoren für die MatCH Materialkategorien ist im Anhang A V ersichtlich.

Beispiel:

Der Importzufluss an Aluminium beträgt 44 526 Tonnen¹⁵ pro Jahr (Abbildung 4-7 und Tabelle 4-1). Der Emissionsfaktor für den Treibhauseffekt beträgt für die Herstellung und den Transport von Aluminium 12.14 kg CO₂-eq./kg (Anhang A V). Der aus dem Zufluss von Aluminium resultierende Treibhauseffekt beträgt somit $44\,526 \text{ t/Jahr} * 12.14 \text{ t CO}_2\text{-eq./t} = 540\,660 \text{ t CO}_2\text{-eq./Jahr}$ wie in Abbildung 4-9 überprüft werden kann.

¹⁵ Gerundete Zahlen.

4.3.1 Treibhauseffekt

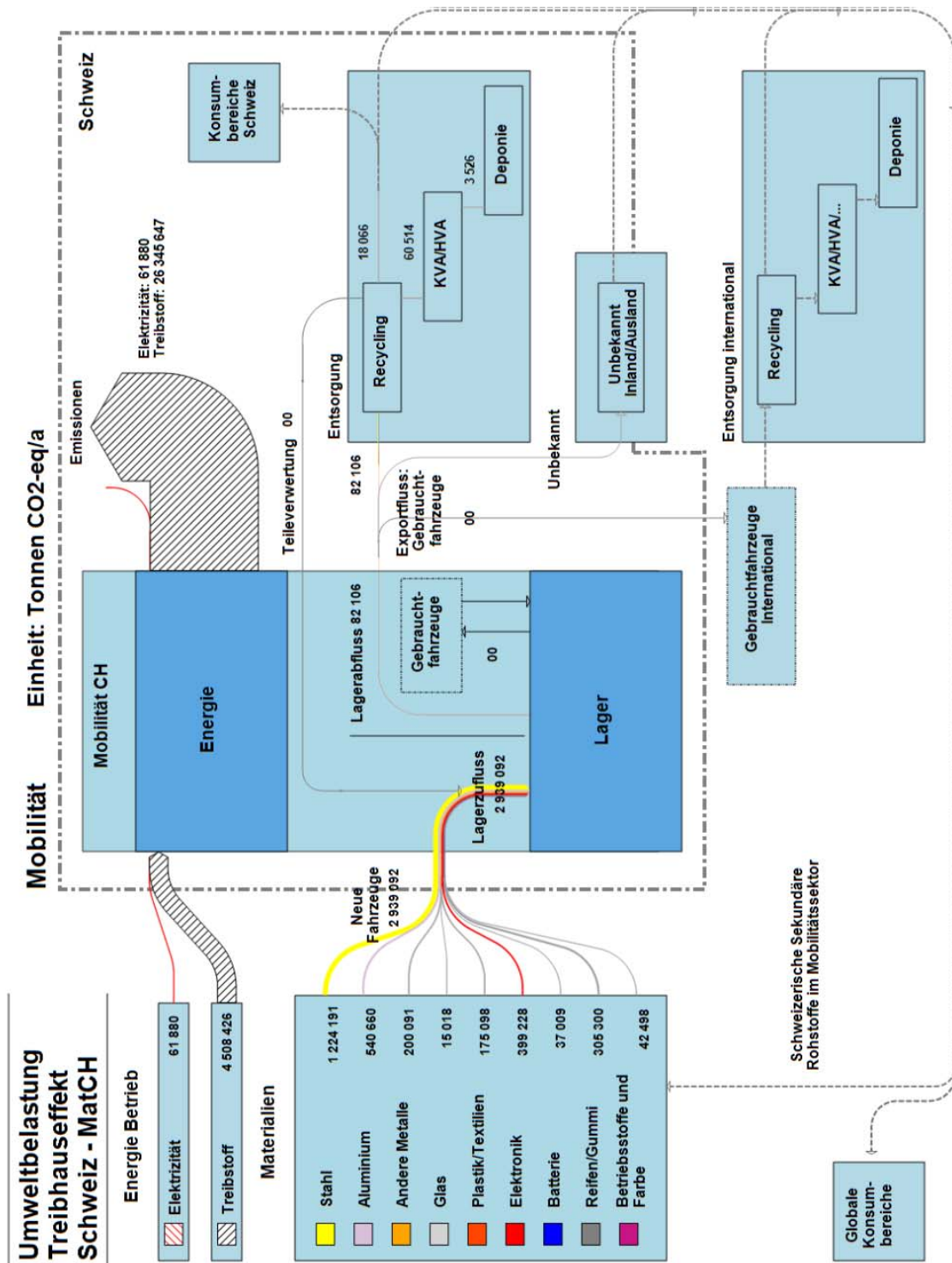


Abbildung 4-9: Treibhauseffekt (Tonnen CO₂-Äquivalente) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-2 zu finden.

4.3.2 Gesamter Energiebedarf (Kumulierter, nicht-erneuerbarer Energieaufwand)

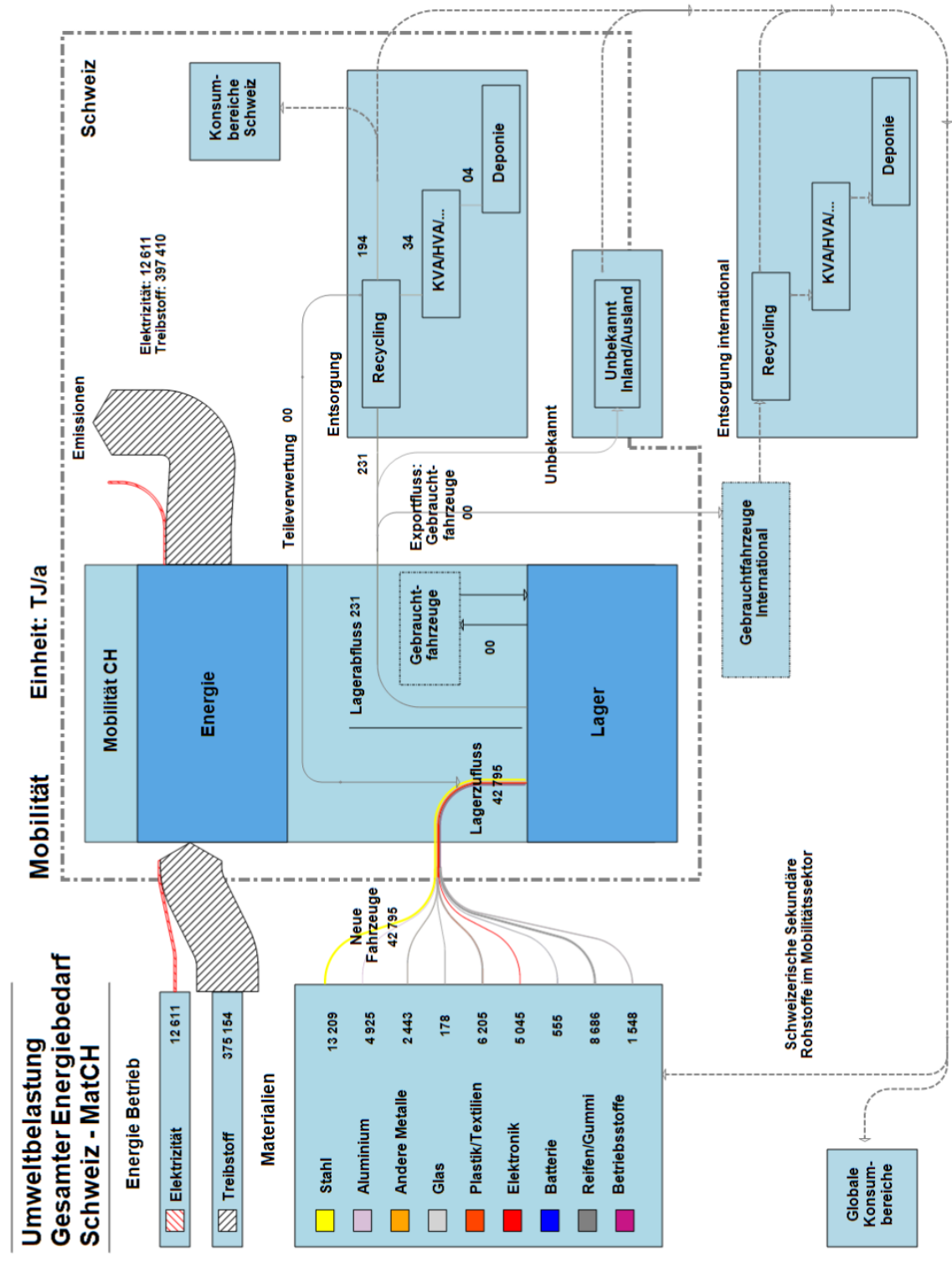


Abbildung 4-10: Gesamter Energiebedarf (TJ, inklusive Graue Energie) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-3 zu finden.

4.3.3 Gesamt-Umweltbelastung

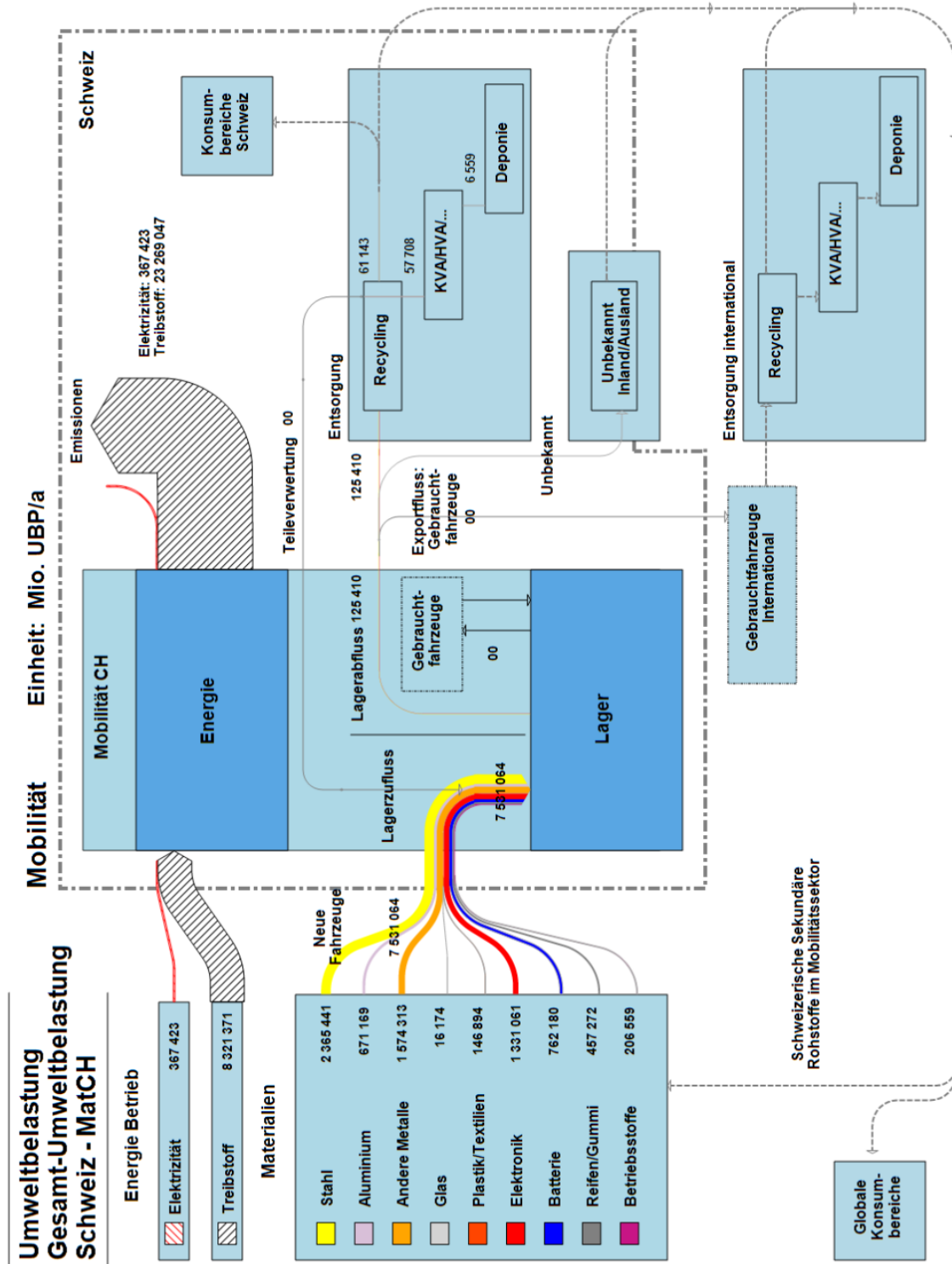


Abbildung 4-11: Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016 inklusive der vorgelagerten Prozesse, Nutzung und Entsorgung. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in Tabelle 4-4 zu finden.

4.3.4 Daten zu den Umweltbelastungen

Treibhauseffekt

2016	Fluss in Entsorgung	Recycling-fluss nach Teilverwertung	Fluss Recycling	Fluss KVA/HVA	Fluss Deponie	Lager-zufluss	Import-zufluss	Umweltbelastung durch Importe *
	[t CO ₂ -eq/a]							
Elektrizität *	61 880	-	-	-	-	-	61 880	61 880
Treibstoff *	26 345 647	-	-	-	-	-	4 508 426	26 345 647
Stahl	9 029	9 029	8 763	242	24	1 224 191	1 224 191	1 224 191
Aluminium	1 867	1 867	1 808	40	19	540 660	540 660	540 660
Andere Metalle	534	534	521	9	4	200 091	200 091	200 091
Glas	131	131	1	111	19	15 018	15 018	15 018
Plastik/Textilien	56 520	56 520	294	56 152	74	175 098	175 098	175 098
Elektronik	3 434	3 434	88	2 623	724	399 228	399 228	399 228
Batterie	2 520	2 520	2 520	0	0	37 009	37 009	37 009
Reifen/Gummi	2 662	2 662	0	0	2 662	305 300	305 300	305 300
Betriebsstoffe	5 408	5 408	4 071	1 337	0	42 498	42 498	42 498
Total Energie	26 407 527						4 570 306	26 407 527
Total Materialien	82 106	82 106	18 066	60 514	3 526	2 939 092	2 939 092	2 939 092
Total	26 489 633	82 106	18 066	60 514	3 526	2 939 092	7 509 398	29 346 619

* Emissionen durch Nutzung

Tabelle 4-2: Zahlen zum Treibhauseffekt (Tonnen CO₂-eq) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.

Gesamter Energiebedarf (nicht erneuerbar)

2016	Fluss in Entsorgung	Recycling-fluss nach Teilverwertung	Fluss Recycling	Fluss KVA/HVA	Fluss Deponie	Lager-zufluss	Import-zufluss	Umweltbelastung durch Importe *
	[TJ/a]							
Elektrizität *	12 611	-	-	-	-	-	12 611	12 611
Treibstoff *	397 410	-	-	-	-	-	375 154	397 410
Stahl	141	141	133	8	1	13 209	13 209	13 209
Aluminium	22	22	21	1	0	4 925	4 925	4 925
Andere Metalle	6	6	5	0	0	2 443	2 443	2 443
Glas	6	6	0	6	1	178	178	178
Plastik/Textilien	13	13	0	13	0	6 205	6 205	6 205
Elektronik	4	4	0	3	0	5 045	5 045	5 045
Batterie	32	32	32	0	0	555	555	555
Reifen/Gummi	1	1	0	0	1	8 686	8 686	8 686
Betriebsstoffe	7	7	3	4	0	1 548	1 548	1 548
Total Energie	410 020						387 765	410 020
Total Materialien	231	231	194	34	4	42 795	42 795	42 795
Total	410 251	231	194	34	4	42 795	430 559	452 815

* Emissionen durch Nutzung

Tabelle 4-3: Zahlen zum (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf (TJ) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.

Gesamt-Umweltbelastung

2016	Fluss in Entsorgung	Recycling-fluss nach Teilverwertung	Fluss Recycling	Fluss KVA/HVA	Fluss Deponie	Lager-zufluss	Import-zufluss	Umweltbelastung durch Importe *
	[Mio. UBP/a]							
Elektrizität *	367 423	-	-	-	-	-	367 423	367 423
Treibstoff *	23 269 047	-	-	-	-	-	8 321 371	23 269 047
Stahl	48 739	48 739	44 474	4 215	49	2 365 441	2 365 441	2 365 441
Aluminium	2 688	2 688	2 299	330	58	671 169	671 169	671 169
Andere Metalle	5 682	5 682	5 535	133	14	1 574 313	1 574 313	1 574 313
Glas	2 486	2 486	2	2 444	40	16 174	16 174	16 174
Plastik/Textilien	46 032	46 032	1 336	43 635	1 062	146 894	146 894	146 894
Elektronik	4 128	4 128	61	2 926	1 141	1 331 061	1 331 061	1 331 061
Batterie	4 779	4 779	4 779	0	0	762 180	762 180	762 180
Reifen/Gummi	4 195	4 195	0	0	4 195	457 272	457 272	457 272
Betriebsstoffe	6 681	6 681	2 657	4 024	0	206 559	206 559	206 559
Total Energie	23 636 469						8 688 794	23 636 469
Total Materialien	125 410	125 410	61 143	57 708	6 559	7 531 064	7 531 064	7 531 064
Total	23 761 880	125 410	61 143	57 708	6 559	7 531 064	16 219 858	31 167 534

* Emissionen durch Nutzung

Tabelle 4-4: Zahlen zur Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) in der Mobilität Schweiz für das Jahr 2016.

4.3.5 Darstellung der Umweltbelastung durch Importe pro Mobilitätskategorie

Treibhauseffekt

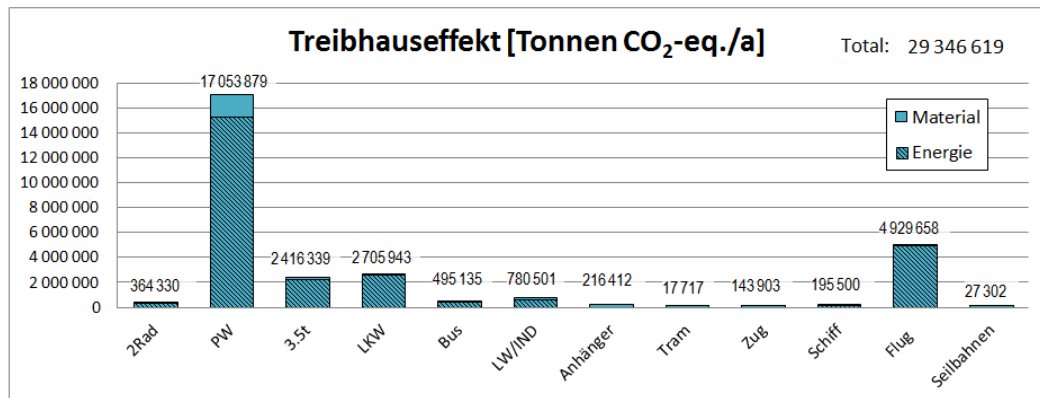


Abbildung 4-12: Darstellung Treibhauseffekt pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.

Gesamter Energiebedarf (nicht erneuerbar)

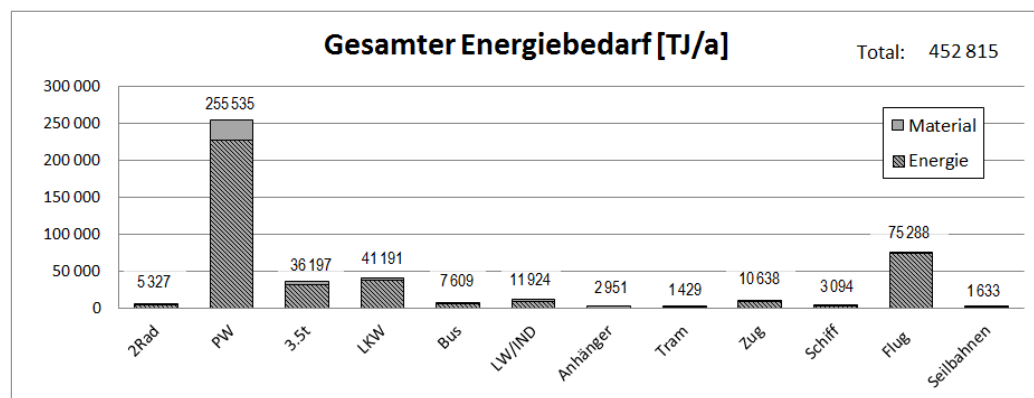


Abbildung 4-13: Darstellung Gesamter Energiebedarf pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.

Gesamt-Umweltbelastung

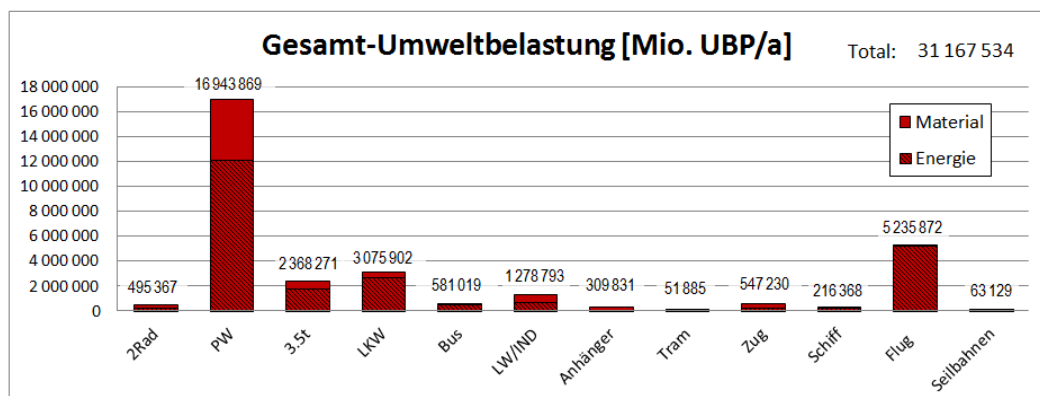


Abbildung 4-14: Darstellung Gesamt-Umweltbelastung pro Mobilitätskategorie mit Anteilen Energie (schraffiert) und Material. Energie: Emissionen durch Nutzung.

4.4 Diskussion: Materialflüsse und Umweltbelastungen

Ein hoher Materialfluss bedeutet nicht notwendigerweise auch hohe Auswirkungen auf die Umwelt. Die Tabelle stellt die Ergebnisse der Analyse gegenüber:

2016	Massenfluss		Umweltauswirkungen					
	Importfluss		Treibhauseffekt ¹		Gesamter Energiebedarf ^{1,2}		Gesamt-Umweltbelastung ¹	
	Tonnen/a	Prozentsatz	Tonnen CO ₂ -eq/a	Prozentsatz	TJ/a	Prozentsatz	Mio. UBP/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	19 645	0.3%	61 880	0.2%	12 611	2.8%	367 423	1.2%
Treibstoff (toe) *	6 540 954	88.4%	26 345 647	89.8%	397 410	87.8%	23 269 047	74.7%
Stahl	527 726	7.1%	1 224 191	4.2%	13 209	2.9%	2 365 441	7.6%
Aluminium	44 526	0.6%	540 660	1.8%	4 925	1.1%	671 169	2.2%
Andere Metalle	14 031	0.2%	200 091	0.7%	2 443	0.5%	1 574 313	5.1%
Glas	14 237	0.2%	15 018	0.1%	178	0.0%	16 174	0.1%
Plastik/Textilien	82 002	1.1%	175 098	0.6%	6 205	1.4%	146 894	0.5%
Elektronik	9 407	0.1%	399 228	1.4%	5 045	1.1%	1 331 061	4.3%
Batterie	21 488	0.3%	37 009	0.1%	555	0.1%	762 180	2.4%
Reifen/Gummi	104 622	1.4%	305 300	1.0%	8 686	1.9%	457 272	1.5%
Betriebsstoffe	20 964	0.3%	42 498	0.1%	1 548	0.3%	206 559	0.7%
Total Energie	6 560 598	88.7%	26 407 527	90.0%	410 020	90.5%	23 636 469	75.8%
Total Materialien	839 003	11.3%	2 939 092	10.0%	42 795	9.5%	7 531 064	24.2%
Total Mobilität Schweiz	7 399 601	100.0%	29 346 619	100.0%	452 815	100.0%	31 167 534	100.0%

¹ Inklusive vorgelagerte Prozesse und Nutzung

² Nicht erneuerbar

Tabelle 4-5: Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in den Mobilitätsbereich Schweiz 2016 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl-Äquivalente). Die Umweltauswirkungen schliessen Produktion und Transport mit ein.

* Der Massenfluss der Energieträger bezeichnet den reinen Verbrauch für die Fahrzeugnutzung.

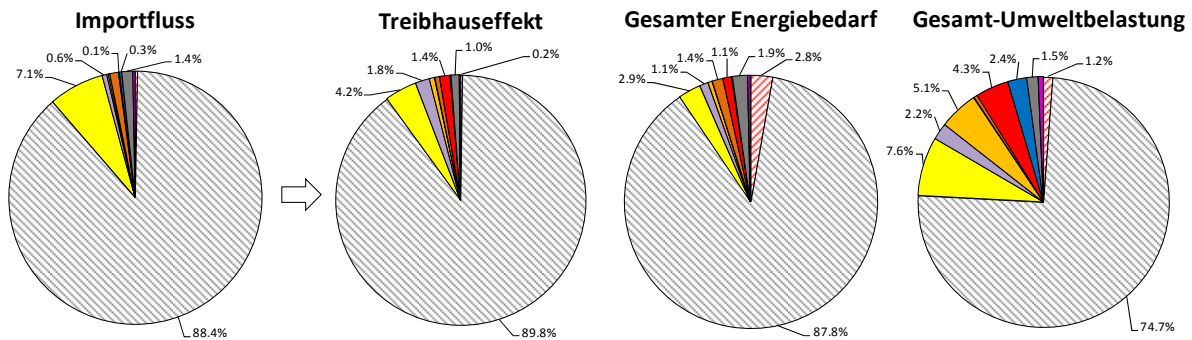


Abbildung 4-15: Anteile der Material- und Energieflüsse sowie die damit verbundenen Umweltauswirkungen für 2016 (Farblegende: siehe Tabelle 4-5).

Sämtliche Materialflüsse werden von Treibstoff dominiert (Abbildung 4-15, grau schraffiert), dessen Auswirkung auf die Umwelt bedeutend höher ist, als durch die Herstellung der Verkehrsmittel verursacht wird.

Obwohl der grösste Teil des öffentlichen Verkehrs elektrisch betrieben wird (rot schraffiert), sind die Umweltauswirkungen durch die Elektrizität gering, da zu etwa 90% der CO₂-arme Strommix der SBB eingesetzt wird (Rest: Schweizerischer Konsummix).

Importfluss

Der Importfluss in die 'Mobilität Schweiz' beträgt jährlich 7.40 Mio. Tonnen. Für den Betrieb der Verkehrsmittel werden 6.56 Mio. Tonnen (als Öl-Äquivalente) an Energie benötigt. Der jährliche Materialzufluss in Form von Verkehrsmitteln beträgt mit 0.84 Mio. Tonnen etwa 11.3% der Masse, die für den Betrieb der 'Mobilität Schweiz' benötigt wird.

Bei den Materialien für die Fahrzeuge überwiegt Stahl deutlich mit 7.1% (0.53 Mio. Tonnen) der gesamten Masse.

Treibhauseffekt

Die jährlichen Emissionen an Treibhausgasen verursacht durch die 'Mobilität Schweiz' betragen gesamthaft 29.3 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente.

Davon werden 90.0 % (26.4 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) durch die Verbrennung von Treibstoffen verursacht. Materialien in Form von importierten Fahrzeugen sind verantwortlich für 10.0% der Emissionen (2.94 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente). Stahl verursacht von den Materialien den höchsten Treibhauseffekt mit 4.2% Anteil (1.22 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente), vor Aluminium (1.8%, 0.54 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente) und Elektronik (1.4%, 0.40 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente).

Gesamter Energiebedarf

Bei dem nicht erneuerbaren gesamten Energiebedarf (mit einem Total von 452815 TJ) überwiegen mit 87.8% ebenfalls die Treibstoffe (397410 TJ). Von den Materialien zeigt Stahl mit 2.9% Anteil (13209 TJ) die grössten Auswirkungen, praktisch gleichauf wie die Elektrizität mit 2.8%, (12611 TJ).

Gesamt-Umweltbelastung

Die Gesamt-Umweltbelastung im Mobilitätsbereich beträgt total $31.2 \cdot 10^6$ Mio. UBP, sie wird zu 75.8% durch Energieträger dominiert. Der Anteil der Materialien ist mit 24.2% aber fast drei Mal so hoch wie in den anderen Umweltbelastungskategorien. Besonders Metalle (zusammen 14.9%) weisen einen beträchtlichen Ökologischen Rucksack auf. Mit 4.3% Anteil folgt nach den Metallen bereits die Elektronik, obwohl ihr Massenanteil nur 0.1% beträgt. Der Elektrizitätsverbrauch – vorwiegend durch den öffentlichen Verkehr – verursacht nur 1.2% der Gesamt-Umweltbelastung.

5 Vergleich mit anderen Quellen

5.1 Möglichkeiten des Vergleichs

Die Grunddaten für die Mobilitätskategorien basieren vorwiegend auf Werten aus der Literatur. Die Quellen sind in einer ausführlichen Excel-Datei (siehe Kapitel 1.5) ersichtlich. Bei vielen Detailkategorien wurden basierend auf den Quellen 'Best Guess' Werte angenommen (Illustration in Abbildung 2-2). Somit lassen sich sämtliche Eingabedaten überprüfen.

Bei den Resultaten sind gewisse Vergleiche (je nach Literatur) für Materialflüsse, Energieflüsse und Umweltauswirkungen möglich.

Materialflüsse:	Importzuflüsse für das Jahr 2014: Eidgenössische Zollverwaltung (EZV), teilweise (Rubli und Jungbluth 2005). Lager: Keine generellen Vergleiche verfügbar, teilweise mit (Rubli und Jungbluth 2005) für die Berechnung der Eisen- und Stahllager in den Fahrzeugen, im Schienen-, Bus- und Schiffsverkehr. Lagerabfluss, Recycling, KVA/HVA und Deponie: Keine generellen Vergleiche verfügbar. Teilweise: (BAFU 2015b) und (Rubli und Jungbluth 2005).
Energieflüsse:	Energieverbrauch: BFE
Umweltauswirkungen:	CO ₂ -Emissionen: BAFU

5.2 Vergleich der Materialflüsse mit anderen Quellen

Es ist zu berücksichtigen, dass die Massenbilanzen bei Vergleichswerten nicht ausgeglichen sind, da unterschiedliche Grundlagen verwendet wurden. So ergibt sich beispielsweise, dass der Zufluss in die Entsorgung nicht der Summe der Flüsse aus Recycling, KVA und Deponie entspricht, weil ein Teil der (organischen) Masse beim Verbrennungsprozess in gasförmige Stoffe umgewandelt wird.

Importzuflüsse: Gesamte Importmassen gemäss Eidgenössischer Zollverwaltung (EZV)

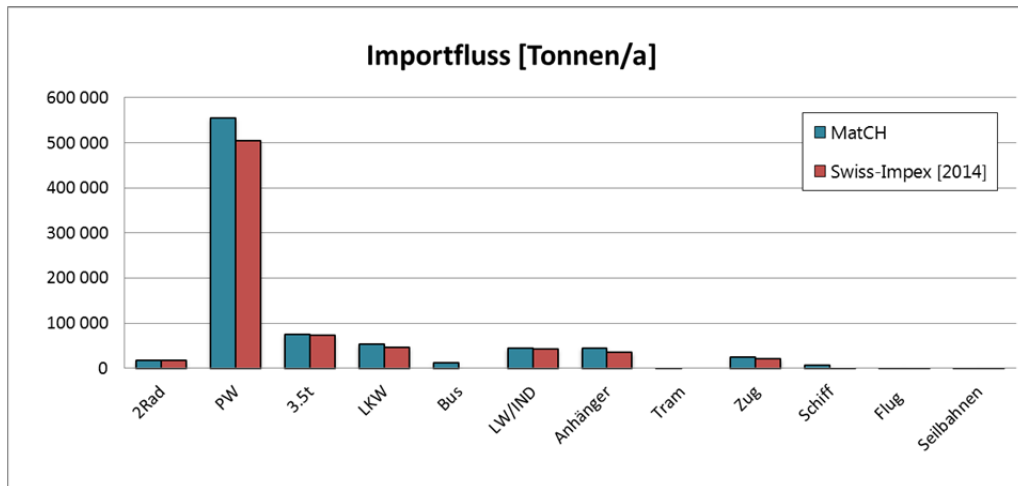


Abbildung 5-1: Vergleich MatCH 2016 mit Zahlen für Import der EZV für 2014.

Die in der Studie verwendeten Daten für die Anzahl importierter Fahrzeuge aller Kategorien stammen von der Swiss-Impex-Datenbank der Eidgenössischen Zollverwaltung EZV (Anhang A II). Die Abweichungen in obiger Abbildung sind gering, die leicht höheren Werte dieser Studie können erklärt werden mit der Einbeziehung von mehrfach ersetzten Teilen (Reifen, Batterien und Öl). Die Annahmen für das Gewicht pro Fahrzeug scheinen deshalb in der Studie und bei der EZV sehr ähnlich zu sein.

Lager: Stahl im Mobilitätslager gemäss (Rubli und Jungbluth 2005)

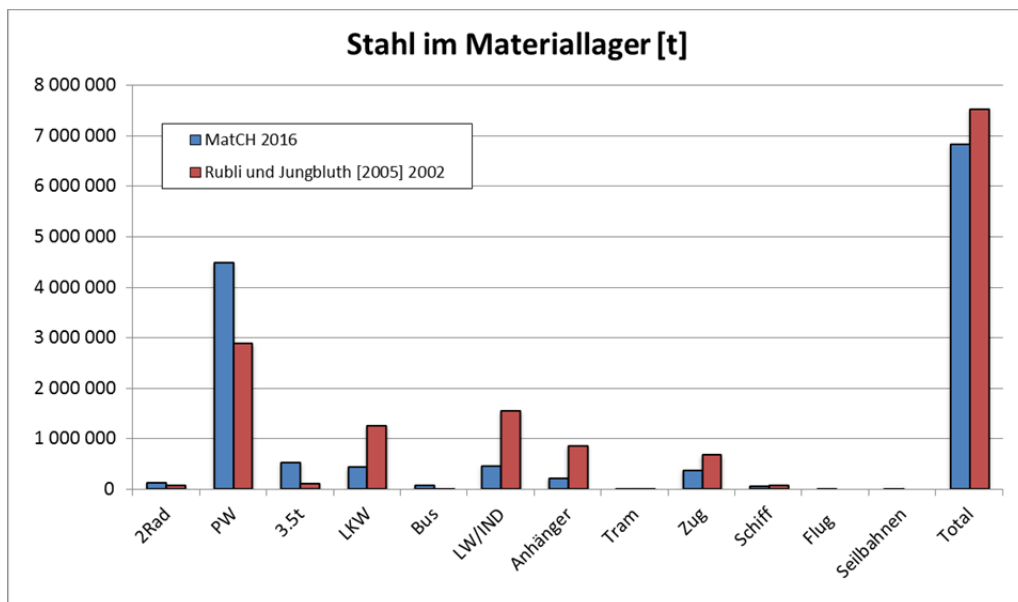


Abbildung 5-2: Vergleich Stahl im Lager (2016) mit (Rubli und Jungbluth 2005) (Zahlen 2002).

Ein Vergleich mit Rubli und Jungbluth 2005 ist nur möglich für Stahl. Es zeigen sich grössere Differenzen in den einzelnen Mobilitätskategorien wegen ungleicher Kategorisierung¹⁶, jedoch nur eine geringe Abweichung im Total.

¹⁶ Die Kategorien wurden als solche verglichen: 2Rad: Motorräder + Kleinmotorräder + Andere; PW: Personenwagen; 3.5t: leichte Motorwagen + schwere Motorwagen + Kleinbusse; LKW: Sachtransporter; Bus: Trolleybusse + Gesellschaftswagen +

5.3 Vergleich der Energieflüsse mit anderen Quellen

Gesamtenergiestatistik BFE (BFE 2016)

Im Unterschied zum 'bottom-up' Ansatz, welcher in dieser Studie verwendet wurde, kann der Energiebedarf der gesamten Mobilität Schweiz auf 'top down' auch aus der Gesamtenergiestatistik des Bundesamts für Energie entnommen werden.

Das BFE führt jährlich eine detaillierte Erfassung der Energieflüsse durch und weist diese fünf verschiedenen Endverbrauchern zu. Die Flüsse und die Zuweisungen sind in Abbildung 5-3 ersichtlich. Vier von fünf Endverbrauchern können dem „Baubereich Schweiz“ zugeordnet werden, nämlich Haushalte, Industrie, Dienstleistungen sowie Landwirtschaft (Gauch u. a. 2016). Der fünfte Endverbraucher „Verkehr“ wurde in dieser Studie betrachtet. Die beiden Konsumbereiche Bau und Mobilität weisen zusammen den gesamten Energiebedarf gemäss der Gesamtenergiestatistik des Bundesamtes für Energie (BFE 2016) auf. Aus dem Energieflussdiagramm lässt sich der Bedarf für die Mobilität mit 305 280 TJ herauslesen, die detaillierte Aufteilung des Energiebedarfs für den Verkehr auf Treibstoffe und Elektrizitätsformen ist in Tabelle 5-2 zu finden.

Für die Umrechnung und Zusammenfassung der Energieträger in Öl-Äquivalente wurden in einem ersten Schritt die CO₂-Emissionen berechnet, welche durch den Verbrauch von Strom (Elektrizität) bzw. Treibstoffen verursacht werden (Tabelle 5-3). Als Grundlage für diese Berechnung dienen die Umweltbelastungen gemäss (BAFU 2016b) für die verschiedenen Kategorien von Brenn- und Treibstoffen. Für den allgemeinen Strom-Mix in der Schweiz¹⁷ (Strom an der Steckdose inklusive Importanteile) sowie den Strom-Mix der SBB¹⁸ wurde die Datenbank Ecoinvent v.3.2 (Ecoinvent 2016) verwendet.

In einem zweiten Schritt wurden die Massen an CO₂-Äquivalenten mit dem Emissionsfaktor von Ölprodukten (3.15 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Tonne Öl) umgerechnet auf Tonnen Öl-Äquivalente (Tabelle 5-3). Das Resultat ergibt 6 822 367 Tonnen Öl-Äquivalente an Treibstoff und 19 251 Tonnen Öl-Äquivalente an Elektrizität. Trotz völlig unterschiedlicher Methodik liegen die Zahlen dieser Studie in einem ähnlichen Bereich mit 6 540 954 Tonnen Öl-Äquivalente für Treibstoff und 19 645 Tonnen Öl-Äquivalenten an Elektrizität.

	BFE/BAFU (toe)	MatCH (toe)
Elektrizität	19 251	19 645
Treibstoff	6 822 367	6 540 954

Tabelle 5-1: Vergleich Energiebedarf Mobilität Schweiz (in Tonnen Öl-Äquivalenten) zwischen Gesamtenergiestatistik des BFE und dieser Studie.

Gelenkbusse; LW/IND: Landwirtschaftliche Fahrzeuge + Industrielle Fahrzeuge; Anhänger: Anhänger; Tram: Tram (Triebwagen) + Anhänger; Zug: Lokomotiven + Triebwagen + Personenwagen + Gepäck-/Postwagen + Güterwagen; Schiff: Güterschiffe; Flug: n.a.; Seilbahnen: n.a..

¹⁷ 'Electricity, low voltage//[CH] market for electricity, low voltage' in Ecoinvent v.3.2.

¹⁸ 'Electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways//[CH] market for electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways' in Ecoinvent v.3.2. "Die Züge werden mit dem Verbrauchsmix der schweizerischen Eisenbahnen angetrieben: gut 74% des Bahnstromes wird mit eigenen oder Partnerwasserkraftwerken produziert. Der Restanteil an Elektrizität wird mit Kernkraft gedeckt, was insgesamt eine tiefe Klimabelastung ergibt." Umweltfahrplan SBB Hintergrundbericht Version 1.1, Oktober 2011

Gesamtenergiestatistik des BFE (BFE 2016)

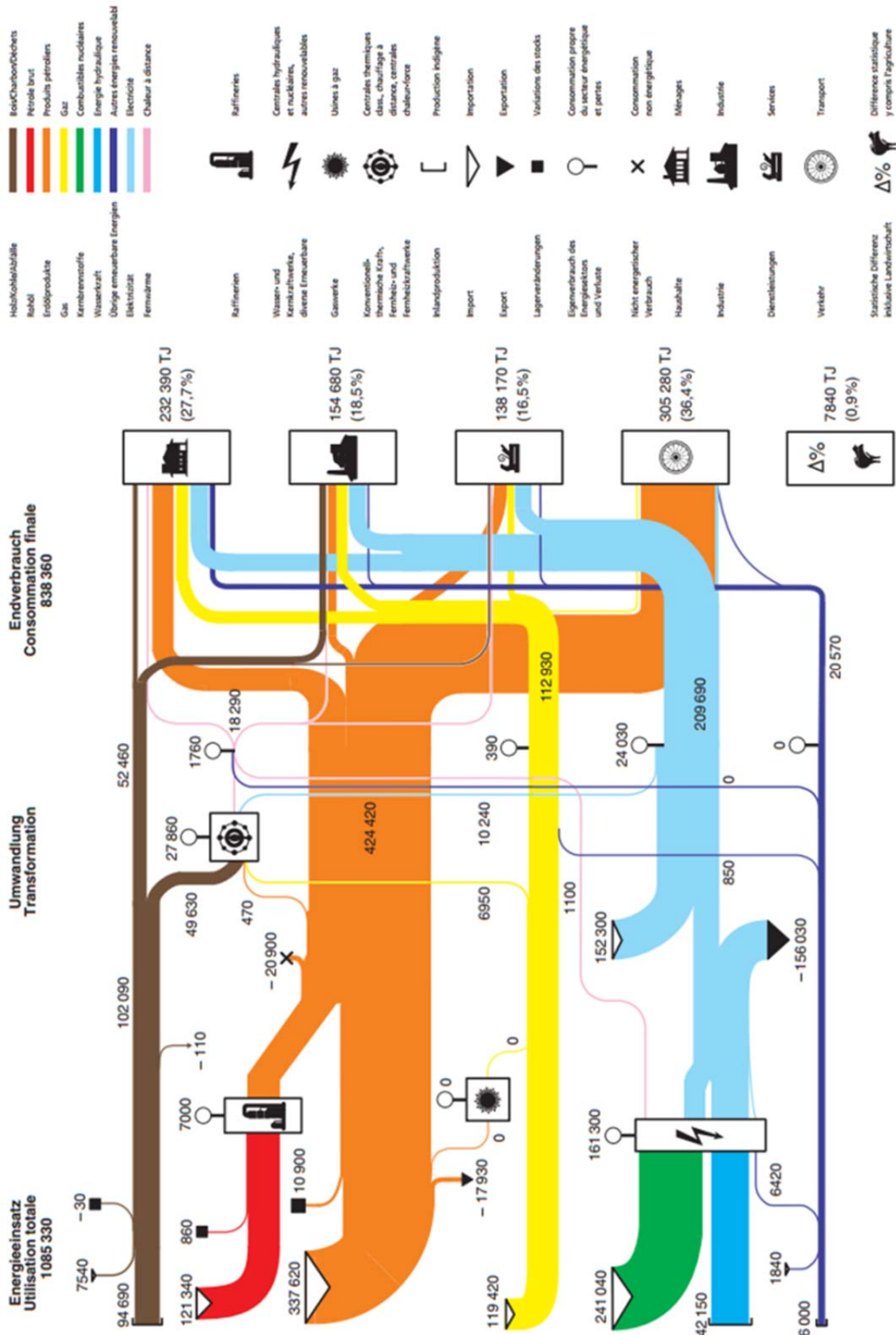


Abbildung 5-3 Energieflussdiagramm der Schweiz im Jahr 2015 (in TJ). Originaldarstellung (BFE 2016).

Auswertung und Umrechnungen der Gesamtenergiestatistik des BFE:

Energiebilanz	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Verkehr	Total	Stöchiometrischer Emissionsfaktor _{fossil} (BAFU 2016b) ¹⁾
	EFH + MFH [TJ]	DLG [TJ]	IND [TJ]	LWG + UEB [TJ]			
Holzenergie	17 970	7 860	10 430	590	0	36 850	0
Kohle	400	0	5 010	0	0	5 410	93
Müll und Industrieabfälle	0	0	10 200	0	0	10 200	44
Erdölprodukte	79 520	35 030	16 270	3 070	290 530	424 420	74
Gas	46 260	25 530	39 370	380	1 390	112 930	56
Übrige erneuerbare Energien	13 500	3 190	1 560	250	2 070	20 570	0
Fernwärme	7 200	4 010	7 080	0	0	18 290	44
Total Treibstoff / Brennstoff	164 850	75 620	89 920	4 290	293 990	628 670	
Elektr. SBB-Strommix					10 161		3
Elektr. CH-Strommix	67 540	62 550	64 760	3 550	1 129	209 690	27
Total Elektrizität	67 540	62 550	64 760	3 550	11 290	209 690	
Total	232 390	138 170	154 680	7 840	305 280	838 360	

¹⁾ BAFU 2016b: Faktenblatt CO₂ Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz.

²⁾ Transport: Davon 90% aus 'sauberem' Strom (SBB-Strommix). 77% (8680 TJ oder 2411 GWh) sind von der SBB produziert (SBB 2015 : Die SBB in Zahlen und Fakten)

* Keine Eingabe in BAFU 2016b, Wert aus Ecoinvent v3.2 (Electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways/[CH] market for electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways)

** Keine Eingabe in BAFU 2016b, Wert aus Ecoinvent v3.2 (Electricity, low voltage/[CH] market for electricity, low voltage | Alloc Rec, U; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00)

Tabelle 5-2: Energiebilanz der Schweiz (BFE 2016) und Emissionsfaktoren gemäss (BAFU 2016b). 90% der im Verkehr verwendeten Elektrizität entspricht dem SBB Strommix.

Treibhausgasbilanz	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Verkehr	Total	Emissionsfaktor
	EFH + MFH [t CO ₂ -eq tot]	DLG [t CO ₂ -eq tot]	IND [t CO ₂ -eq tot]	LWG + UEB [t CO ₂ -eq tot]			
Holzenergie	0	0	0	0	0	0	3.15
Kohle	37 080	0	464 427	0	0	501 507	
Müll und Industrieabfälle	0	0	451 860	0	0	451 860	
Erdölprodukte	5 860 624	2 581 711	1 199 099	226 259	21 412 061	31 279 754	
Gas	2 609 064	1 439 892	2 220 468	21 432	78 396	6 369 252	
Übrige erneuerbare Energien	0	0	0	0	0	0	
Fernwärme	318 960	177 643	313 644	0	0	810 247	
Total Treibstoff / Brennstoff	8 825 728	4 199 246	4 649 498	247 691	21 490 457	39 412 620	
Elektr. SBB-Strommix	0	0	0	0	29 735	29 735	
Elektr. CH-Strommix	1 848 864	1 712 266	1 772 764	97 179	30 906	5 461 979	
Total Elektrizität	1 848 864	1 712 266	1 772 764	97 179	60 640	5 491 714	
Total	10 674 592	5 911 512	6 422 262	344 870	21 551 097	44 904 334	

¹⁾ BAFU, 2016. Faktenblatt CO₂ Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz. Benzin/Diesel/Heizöl

Tabelle 5-3: Treibhausgasbilanz (Multiplikation der Energiemasse mit Emissionsfaktoren).

Massenbilanz	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Verkehr	Total	Ergebnis MatCH Mobilität
	EFH + MFH [toe]	DLG [toe]	IND [toe]	LWG + UEB [toe]	[toe]	[toe]	[toe]
Holzenergie	^{A1*B/C} 0	^{A2*B/C} 0	^{A3*B/C} 0	^{A4*B/C} 0	^{A6*B/C} 0	^{A7*B/C} 0	
Kohle	11 771	0	147 437	0	0	159 209	
Müll und Industrieabfälle	0	0	143 448	0	0	143 448	
Erdölprodukte	1 860 516	819 591	380 666	71 828	6 797 480	9 930 081	
Gas	828 274	457 109	704 910	6 804	24 888	2 021 985	
Übrige erneuerbare Energien	0	0	0	0	0	0	
Fernwärme	101 257	56 395	99 570	0	0	257 221	
Total Treibstoff / Brennstoff	2 801 818	1 333 094	1 476 031	78 632	6 822 367	12 511 943	6 540 954
Elektr. SBB-Strommix	0	0	0	0	9 440	9 440	
Elektr. CH-Strommix	586 941	543 577	562 782	30 850	9 811	1 733 962	
Total Elektrizität	586 941	543 577	562 782	30 850	19 251	1 743 401	19 645
Total	3 388 759	1 876 671	2 038 813	109 483	6 841 618	14 255 344	6 560 598

Tabelle 5-4: Massenbilanz in Tonnen Öl-Äquivalenten (toe).

5.4 Vergleich der Treibhausgasemissionen mit BAFU (BAFU 2016a)

Vergleich mit Gesamtenergiestatistik BFE (BFE 2016), ausgewertet nach Treibhausgasen

Auswertung mit Energiezahlen des BFE und Emissionsfaktoren des BAFU (BAFU 2016b): Siehe Tabelle 5-3.

Auswertung mit Energiezahlen des BFE und Emissionsfaktoren aus Ecoinvent v.3.2:

Nutzung	Energiebilanz (BFE 2016) [TJ]	Faktor (Ecoinvent v.3.2)			Umweltauswirkungen		
		Treibhaus-effekt ¹⁾ [t CO ₂ -eq tot / TJ]	Gesamter Energie-bedarf (ne) ²⁾ [TJ / TJ]	Gesamt-Umwelt-belastung ³⁾ [Mio. UBP / TJ]	Treibhaus-effekt [t CO ₂ -eq tot]	Gesamter Energie-bedarf (ne) [TJ]	Gesamt-Umwelt-belastung [Mio. UBP]
Holzenergie	0	N/A	N/A	N/A			
Kohle	0	N/A	N/A	N/A			
Müll und Industrie-abfälle	0	N/A	N/A	N/A			
Erdöl-produkte ⁴⁾	290 530	87.05	1.31	64.67	25 291 372	381 802	18 787 366
Gas ⁵⁾	1 390	71.80	1.20	45.09	99 803	1 664	62 679
Übrige erneuerbare Energien	2 070	N/A	N/A	N/A			
Fernwärme	0	N/A	N/A	N/A			
Total Treibstoff / Brennstoff	293 990				25 391 175	383 466	18 850 045
Elektr. SBB-Strommix	10 161	2.93	1.10	31.06	29 735	11 138	315 623
Elektr. CH-Strommix	1 129	27.37	2.47	77.32	30 906	2 785	87 299
Total Elektrizität	11 290				60 640	13 923	402 922
Total	305 280				25 451 815	397 389	19 252 967

¹⁾ Treibhauspotenzial - IPCC 2013: climate change: GWP 100a

²⁾ Kumulierter, nicht-erneuerbarer Energieaufwand - Cumulative, non-renewable Energy Demand (CED V 1.09)

³⁾ Ökologische Knappheit - ecological scarcity 2013: total total

⁴⁾ Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 {RER} | transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 | Alloc Rec, U (of project empa); Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁵⁾ Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 4/{RER} | transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 4; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁶⁾ Electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways/[CH] | market for electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways

⁷⁾ Electricity, low voltage/[CH] | market for electricity, low voltage | Alloc Rec, U; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

NA: nicht anwendbar

Tabelle 5-5: Berechnung der Umweltauswirkungen für die Nutzung von Treibstoffen und Elektrizität. Zusätzlich zur Bereitstellung ist auch die Verbrennung/Nutzung und die Infrastruktur inbegriffen. ne: nicht erneuerbar.

Für den Mobilitätsbereich resultieren aus dieser Auswertung – unter Berücksichtigung der Energiebereitstellung und der Infrastruktur - Treibhausgasemissionen von 25 391 175 Tonnen CO₂-Äquivalente für Treibstoffe und 60 640 Tonnen CO₂-Äquivalente für Elektrizität. Das Resultat der MatCH Studie ergibt 26 345 647 Tonnen CO₂-Äquivalente für Treibstoffe und 61 880 Tonnen CO₂-Äquivalente für Elektrizität.

	BFE/BAFU (t CO ₂ -eq.)	BFE/Ecoinvent (t CO ₂ -eq.) mit ökologischem Rucksack	MatCH (t CO ₂ -eq.)	MatCH (t CO ₂ -eq.) mit ökologischem Rucksack
Elektrizität	60 640	60 640	61 880	61 880
Treibstoff	21 490 457	25 391 175	20 604 004	26 345 647

Tabelle 5-6: Vergleich Treibhauseffekt Mobilität Schweiz (in Tonnen CO₂-Äquivalenten) zwischen Gesamtenergiestatistik des BFE (Emissionsfaktoren BAFU (Tabelle 5-3) bzw. Ecoinvent (Tabelle 5-5)) und dieser Studie (Tabelle 3-6).

Vergleich mit Treibhausgasinventar der Schweiz gemäss BAFU

Das Bundesamt für Umwelt überprüft die Einhaltung der Treibhausgas-Reduktionsvorgaben in der Schweiz gemäss Kyoto-Protokoll und CO₂-Gesetz. Die Berechnungsmethodik und die Kategorisierungen sind durch internationale Standards vorgegeben. Tabelle 5-7 zeigt den Vergleich der CO₂-Emissionen von MatCH mit den offiziellen Zahlen des BAFU (BAFU 2016b). Die detaillierte Zuweisung der offiziellen Kyoto-Kategorien wird im Anhang beschrieben unter Anhang A III.

Die Daten des BAFU für den öffentlichen und privaten Verkehr zeigen einen Wert von 20.80 Mio. t CO₂-eq. und damit praktisch gleich viel wie der durch eine völlig andere Berechnungsmethode (bottom-up) erhaltene Wert von 20.67 Mio. t CO₂-eq. in dieser Studie. Zu beachten ist, dass es sich nur um direkte Emissionen aus dem Betrieb handelt, das heisst die Emissionen aus der Herstellung der Treibstoffe und aus der dafür benötigten Infrastruktur sind nicht inbegriffen (im Unterschied zu Kapitel 4.3 mit Einbezug der Vorketten).

Emissionen (Mio. t CO ₂ -eq./a)		Strassen						Schienen		Schiff	Flug	Sonstiges	Total
MatCH 2016	2Rad	PW	3.5t	LKW	Bus	LW/IND	Anhänger	Tram	Zug	Schiff ³⁾	Flug ⁴⁾	Seilbahnen	Total
Elektrizität / Emissionen	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.06
Treibstoff / Emissionen	0.21	11.51	1.64	2.12	0.37	0.51	0.00	0.00	0.00	0.14	4.10	0.00	20.60
Total MatCH	0.21	11.51	1.64	2.12	0.37	0.51	0.00	0.04	0.04	0.14	4.10	0.02	20.67
BAFU 2014 (BAFU 2016a)²⁾													
1A3b	Motorräder	0.25											0.25
	Personenwagen		10.51										10.51
	Lieferwagen			0.85									0.85
	Lastwagen				1.75								1.75
	Bus					0.36							0.36
	Tanktourismus und stat. Diff.												2.01
1A3c	Bahn							0.03					0.03
1A3d	Schifffahrt									0.12			0.12
1A3a	Inland Flugverkehr (ohne Militär)										0.14		0.14
	Internationaler Flugverkehr										4.78		4.78
Total BAFU*		0.25	10.51	0.85	1.75	0.36	N/A	N/A	0.03	0.12	4.92	N/A	20.80

¹ CO₂-Äquivalente entspricht der Summe aller Gase. Nicht-CO₂-Emissionen wurden ihrem Treibhauspotenzial (GWP) entsprechend gewichtet.
² Kategorisierung nach IPCC.
³ Internationaler Schifffahrt (0.02 Mio. t CO₂-eq./a in BAFU 2016) in MatCH nicht betrachtet
⁴ Emissionen, die bei der Produktion von Importgütern (inkl. Importstrom) entstehen, sind im Treibhausgasinventar nicht berücksichtigt (<http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/14487/index.html?lang=de>).
 N/A: nicht anwendbar
 Quelle: Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016)

Tabelle 5-7: Vergleich der Treibhausgasemissionen mit (BAFU 2016a).

In der graphischen Darstellung obiger Tabelle ist die Übereinstimmung gut zu sehen:

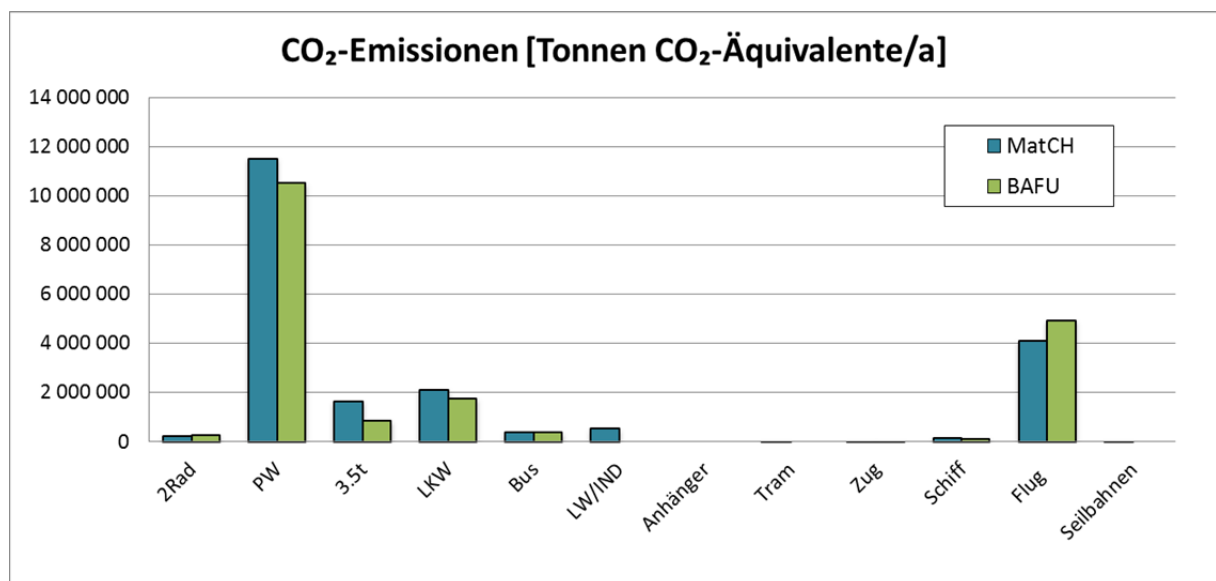


Abbildung 5-4: Vergleich CO₂-Emissionen mit BAFU (BAFU 2016a).

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1 Modellierung

Mit einfachen Basisüberlegungen für die Berechnungen war es im Rahmen dieser Studie möglich, den Materialfluss im Mobilitätsbereich Schweiz darzustellen. Folgende Basisannahmen wurden getroffen:

- Ein Startwert für die Massen im Mobilitätsbereich Schweiz wird mit einer bottom-up Rechnung pro Mobilitätskategorie berechnet.
- Annahmen über die Nutzungs- bzw. Lebensdauer von Materialien, damit der Mobilitätsbereich instand gehalten werden kann.
- Annahmen über die Expansion (oder Schrumpfung) des Mobilitätsbereichs Schweiz, basierend auf Indikatoren zur Konjunktur.
- Annahmen über die Entsorgung (Recycling, KVA/HVA, Deponie) der Materialien.

Die aus der Modellierung resultierenden Massenströme wurden mit Werten aus bereits existierenden Studien verglichen, wodurch das Modell kalibriert werden konnte. Es war nicht das Ziel der Studie, eine möglichst genaue Übereinstimmung mit Werten aus anderen Arbeiten zu erhalten, da diese untereinander nicht widerspruchsfrei sind und zudem aus unterschiedlichen Jahren stammen. Trotzdem konnte mit wenigen intuitiv plausiblen Annahmen eine hinreichende Übereinstimmung erreicht werden.

Um den Bedarf an Material mit dem Bedarf an Energie zu vergleichen, kann Energie in einen Massenfluss umgerechnet werden. Für die vorliegende Studie wurde Elektrizität und Energie aus festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (basierend auf der Gesamtenergiestatistik der Schweiz (BFE 2016) in Tonnen Öl-Äquivalente umgerechnet. Die Darstellung als Massenfluss in derselben Weise wie die Materialmassen war somit möglich, ohne dass dafür eine Anpassung der Skalierung zwischen Materialien und Energie nötig war.

Die Massenflüsse sind nicht gleichbedeutend mit ihrer Wirkung auf die Umwelt. Durch eine umfangreiche Zusammenstellung von Daten über Umweltauswirkungen von Materialien und Energie (basierend auf der Ecoinvent Datenbank) war es möglich, die Massenflüsse in Umweltauswirkungen umzurechnen. Die graphische Darstellung der Umweltauswirkungen erlaubt eine intuitive Erfassung von kritischen Umweltaspekten.

6.2 Verbesserung der Datengrundlagen

Der 'bottom-up' Ansatz bedingt die Eingabe von sehr vielen Einzeldaten. Dies ist zwar aufwändig, erlaubt jedoch eine Überprüfung aller Grundlagen und spätere Anpassungen. Die Daten zu Art und Anzahl von Fahrzeugen sind grösstenteils in Statistiken verfügbar. Daten über die Zusammensetzung von Fahrzeugen wurden vorwiegend aus Ökobilanz-Datenquellen entnommen, wobei nur ein Teil der untersuchten 78 Detailkategorien abgebildet ist. Eigene Erfahrungen sind nötig, um plausible Werte einsetzen zu können.

Grössere Unsicherheiten sind im Bereich der Teileverwertung und Gebrauchtfahrzeuge vorhanden. Es ist zu hoffen, dass nach Publikation von aktuell laufenden Arbeiten bessere Daten verfügbar werden. Der Einfluss dieser verbesserten Daten auf das Gesamtergebnis dürfte jedoch sehr gering bleiben, da Fahrzeuge vorwiegend als komplette Fahrzeuge und nicht in Teilen verschoben werden.

6.3 Modellierung von Zukunftsszenarien

Für jede Detailkategorie lassen sich in der Modellierung individuelle Wachstumsfaktoren einsetzen. Dies erlaubt beispielsweise, die Auswirkungen einer verstärkten Elektrifizierung der Mobilität über einen gewissen Zeitraum einfach darzustellen, indem beispielsweise bei Personewagen die Wachstumsraten von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen erhöht, von konventionell angetriebenen Fahrzeugen jedoch reduziert werden. Die Modellierung erfasst automatisch die Verschiebung des Energiebedarfs und der Materialzusammensetzung (z.B. deutlich mehr Batterien) und berechnet die resultierenden Umweltauswirkungen.

In ähnlicher Weise lassen sich Auswirkungen beispielsweise durch veränderte Recyclingquoten oder veränderte Materialzusammensetzungen der Fahrzeuge (beispielsweise mehr Aluminium statt Stahl) untersuchen.

Es wurde versucht, die Modellierung einfach und als Excel-Datei verfügbar zu halten ohne spezialisierte Software. Ein eigentliches ‚Spielen‘ mit Parametern ermöglicht es ein Gefühl für die Gesamtzusammenhänge zu erhalten. Die Interpretationen können durch graphische Darstellung gut visualisiert werden.

Als methodische Grundlage diente die Materialflussanalyse und ein einfaches Ökobilanz-Modell. Für zukünftige Arbeiten in diesem Bereich könnte die Umwelt-orientierte Materialflussanalyse (environmentally extended input-output analysis (EE-IOA)) von Bedeutung sein.

7 Literaturverzeichnis

- AGVS. 2016. „Personenwagen Halterwechsel CH und FL / Automarktstatistik AGVS/Eurotax“.
- BAFU. 2011. „Gesamt-Umweltbelastung durch Konsum und Produktion in der Schweiz - Input-Output Analyse verknüpft mit Ökobilanzierung“. Umweltwissen. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- . 2013. „Ressourceneffizienz Schweiz - Grundlagenbericht zur Ressourceneffizienz und Rohstoffnutzung“. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- . 2016a. „Excel-Daten: Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016)“.
http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/14487/index.html?lang=de&download=NHzLpZeg7t,Inp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCHeH94f2ym162epYbg2c_JkKbNoKSn6A--.
- . 2016b. „Faktenblatt CO2 Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz“. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- BFE. 2016. „Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2015“. Bundesamt für Energie BFE.
- BFS. 2013. „Mobilität und Verkehr 2013“. Bundesamt für Statistik BFS.
- Blaser, Fabian, Rolf Widmer, und Patrick Wäger. 2012. „Verwertung seltener Metalle aus der Automobilelektronik in der Schweiz: Systemübersicht und Probenahmekonzept Im Auftrag“. Empa, Abteilung Technologie und Gesellschaft im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- Böni, H., und P. Wäger. 2014. „Projekt ‚MatCH - Materialressourcen Schweiz‘: Vorschlag für ein Umsetzungskonzept“. St. Gallen: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Ecoinvent. 2016. „Ecoinvent Database v.3.2 (Status Jan. 2016)“.
- Frischknecht, R., und S. Büsser Knöpfel. 2013. „Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz.“ Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Gauch, Marcel, Cecilia Matasci, Ingrid Hincapié, Raphael Hörler, und Heinz Böni. 2016. „Projekt ‚MatCH Bau‘ - Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz“. Empa, Abteilung Technologie und Gesellschaft im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).
- GHK. 2006. „A study to examine the benefits of the End of Life Vehicles Directive and the costs and benefits of a revision of the 2015 targets for recycling, re-use and recovery under the ELV Directive - Final Report to DG Environment“.
- Haan, Peter de, und Rainer Zah. 2013. *Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz*. vdf Hochschulverlag AG.
- Habermacher, Fabienne. 2010. „Modeling Material Inventories and Environmental Impacts of Electric Cars“. Master Thesis, ETHZ Zürich.
- Hagelüken, C., und C.E.M. Meskers. 2010. „Complex Life Cycles of Precious and Special Metals“. In *Linkages of Sustainability*. Bd. 4. Strüngmann Forum Report. Cambridge, MA: The MIT Press.
- INFRAS. 1995. „Ökoinventar Transporte, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und für den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen“.
- . 1997. „Umweltindikatoren im Verkehr Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel“.

- Jungbluth, Niels, Rene Itten, und Matthias Stucki. 2012. „Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale“. ESU-services Ltd.
- Kaenzig, J, und O Jolliet. 2006. „Umweltbewusster Konsum: Schlüsselentscheide, Akteure und Konsummodelle. Umwelt-Wissen Nr. 0616.“ Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Leemann, Robert. 1992. „Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)“. Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK).
- Leuenberger, Marianne, und Rolf Frischknecht. 2010. „Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles“. ESU-services Ltd.
- Nemecek, Thomas, und Thomas Kägi. 2007. „Life Cycle Inventories of Agricultural Product Systems Data v2.0“. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART.
- Restrepo, Eliette, Amund Lovik, Patrick Wäger, Rolf Widmer, Radek Lonka, und Daniel Müller. 2017. „Stocks, Flows, and Distribution of Critical Metals in Embedded Electronics in Passenger Vehicles“. Environmental Science and Technology.
<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b05743>.
- Rubli, S., und N. Jungbluth. 2005. „Materialflussrechnung für die Schweiz“. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik BFS.
- SARS. 2010. „Jahresbericht 2010“. Stiftung Autorecycling Schweiz (SARS).
- Schneider, J. 2002. „Material- und Abfallbewirtschaftung des Systems Fahrbahn SBB.“ Diplomarbeit, ETH Zürich.
- Skinner, B.J. 1979. „Earth Resources“. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Nr. Vol. 76, No. 9, (September): 4212–17.
- Spielmann, M., und P. de Haan. 2008. „Umweltindikatoren im Verkehr—Vergleich der Verkehrsmittel anhand CO2-Emissionen, Energieaufwand und übriger Umweltauswirkungen“.
- Spielmann, Michael, Christian Bauer, Roberto Dones, und Matthias Tuchschnid. 2007. „Transport Services - Data v2.0“. Paul Scherrer Institute (PSI), ESU-services Ltd.
- Stiftung Autorecycling Schweiz. 2015. „Jahresbericht Stiftung Autorecycling Schweiz 2015“.
- Tuchschnid, Matthias. 2011. „SBB Ecocalculator Background Report Version 1.1, October 2011“.
- UBA. 2012. „Glossar zum Ressourcenschutz“. Umweltbundesamt UBA.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf>.
- VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt. 2012. *DI 4600 – Kumulierter Energieaufwand (KEA)*. Beuth Verlag.
- Wyss, Franziska, und Rolf Frischknecht. 2013. „Umweltauswirkungen der Autoflotte der Schweiz“. treeze Ltd.

Anhang

A I Entsorgung/Recycling im Mobilitätsbereich

Fahrzeuge bestehen zu einem Grossteil aus Materialien, welche seit geraumer Zeit mit traditionellen Methoden rezykliert werden (Stahl, Aluminium). Sie enthalten aber zunehmend auch Stoffe, welche schwieriger zu verwerten sind oder einen geringen ökonomischen Wert haben (Textilien, Kunststoffe). Es gibt Vorschriften bei der Entsorgung um zu verhindern, dass nur ökonomisch interessante Bestandteile herausgepickt werden und unerwünschte Materialien unsachgemäss mit entsprechenden Umweltbelastungen entsorgt werden.

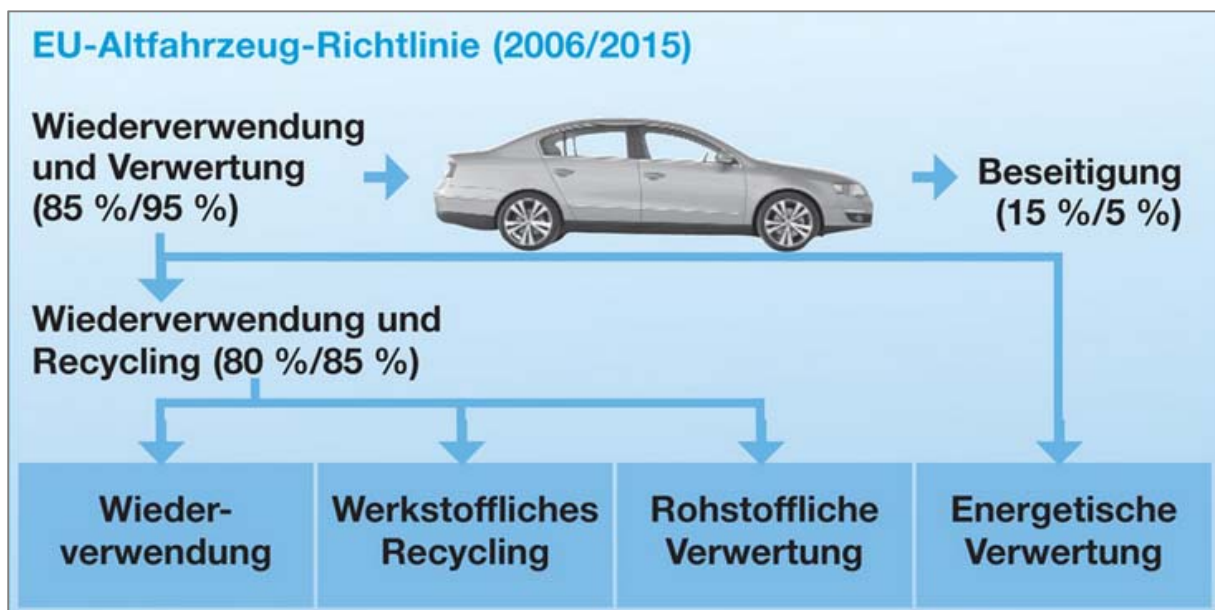


Abbildung A-1: Wiederverwendungsquoten gemäss der EU-Altfahrzeug-Richtlinie (2005/2105).

Als erstes muss ein Autoverwerter in einem Entgiftungsprozess (depollution) alle Betriebsflüssigkeiten, Öle, Treibstoffe und Airbags entnehmen. Batterien, Reifen und Katalysatoren werden ausgebaut und der Verwertung zugeführt. Im Durchschnitt werden rund 10% des Fahrzeuggewichtes demontiert und Teile je nach Bedarf für den Ersatzteilmarkt ausgeschieden. Im Schredderwerk wird die Restkarosserie in faustgrosse Stücke zerschlagen. Die Metalle aus Karosserie, Motor und Fahrwerk - 70 bis 75% des Fahrzeug-Gesamtgewichtes - werden sortiert, an Stahlwerke und Giessereien verkauft und somit vollständig der Wiederverwertung zugeführt.

Aus dem Shredder bleiben von einem Altfahrzeug noch rund 30% RESH übrig (REststoffe aus SHredderanlagen) mit der Zusammensetzung:

- Kunststoffe: 60%
- Glas und Sand: 15%
- Textilien, Leder, Holz: 10%
- Lackstaub und Rost: 10%
- Restmetalle (Eisen, Nichteisenmetalle): 5%

RESH gilt als Sonderabfall, welcher heute mit bis zu 5% Anteil dem Hausmüll der Kehrichtverbrennungsanlagen ohne Beeinträchtigung der Anlage beigemischt werden kann. Die organischen Anteile werden dabei thermisch verwertet¹⁹. Früher wurde RESH direkt deponiert, bei der thermischen Verwertung gehen nützliche Fraktionen verloren. Überlegungen zu neuen Prozessen sollen wertvolle Anteile zurückgewinnen und die stofflichen Recyclingraten steigern (GHK 2006).

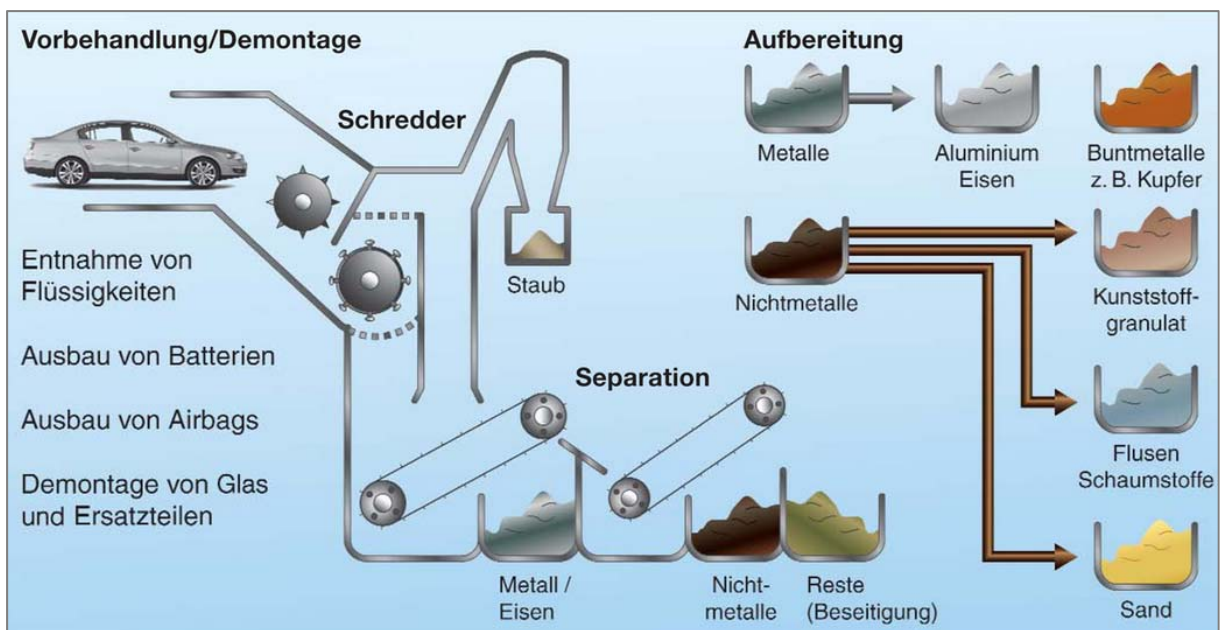


Abbildung A-2: Prinzipschema Fahrzeugrecycling, Beispiel PW²⁰.

Eine deutlich detaillierte Analyse inklusive seltene und kritische Metalle wurde durch (Restrepo u. a. 2017) publiziert. Zahlen zu Importen, Massen im Lager und Entsorgung decken sich mit den Resultaten dieser Studie. Abweichungen ergeben sich bei den Betrachtungen zu Fahrzeugen mit unbekanntem Schicksal (siehe Kapitel 3.7).

¹⁹ http://www.proofit.ch/de/infothek/detail-info/?tx_infomodule_pi2%5Buid%5D=903

²⁰ <https://www.chemie-am-auto.de/begleitmaterial/pdfs/Recycling.pdf>

Ein Teil der Materialien kann direkt vor dem Shredder-Prozess in Form von Ersatzteilen wiederverwendet werden (Vereinigung der Autosammelstellen-Halter der Schweiz VASSO):

Material	[%]	Teilverwertung
Eisen, Stahl	5%	Motorblöcke, Zylinderköpfe, Getriebe, Blechteile (Türen, Motorhauben, Hecktüren, etc.), Achsteile, Felgen
Aluminium	5%	Achsteile, Felgen
Andere Metalle	1%	
Glas	3%	Scheiben in Türen und Heckklappen
Plastik, Synthetisches	3%	Stossstangen, Interieurs, Beleuchtung
Elektronik	20%	Steuergeräte, Radio/CD, Navigation, Display, etc.
Batterie	20%	Es werden vor dem Shredder alle Batterien aus den Fahrzeugen ausgebaut, aber nur ca. 20% werden wiederverkauft, der Rest geht in die stoffliche Verwertung
Reifen, Gummi	35%	Es werden vor dem Shreddern alle Pneu an den Fahrzeugen entfernt, 30 bis 40% werden in der Schweiz wiederverkauft oder zum Wiedergebrauch exportiert, der Rest wird als Ersatzbrennstoff vorwiegend in Zementwerken eingesetzt oder zu einem kleinen Teil granuliert
Betriebsstoffe	30%	Die Fahrzeuge werden vor dem Shreddern von den Betriebsstoffen entfachtet, Treibstoff (Benzin + Diesel) wird gesammelt und als solcher gebraucht, das gilt teilweise auch für Klimafluide und Kühlerwasser, Motor- und Getriebe-Öl etc. wird der stofflichen Verwertung zugeführt

Tabelle A-1: Wiederverwertung pro Material: Anteil und Beschreibung (Andreas Kaufmann, VA-SSO, persönliche Mitteilung).

In der Studie konnte die Entsorgung von PW mit Werten aus folgender Tabelle und Illustration abgebildet werden:

Kategorie	Ausserbetrieb gesetzte Fahrzeuge	Exportfluss	Fluss in Entsorgung nach Export	Unbekannt	Fluss in Entsorgung nach Export und Unbekannt	Teilverwertung	Recyclingfluss nach Teilverwertung	Recycling zu KVA/HVA	KVA/HVA zu Recycling	KVA/HVA zu Deponie	Recycling nach KVA	Recycling zusammen- gefasst	KVA/HVA zusammen- gefasst
Stahl	280761	109895	170866	71762	99105	4955	94149	4707	1883	2824	89442	91325	0
Aluminium	14690	5750	8940	3755	5185	259	4926	246	99	148	4680	4778	0
Andere M. / RESH	5613	2197	3416	1435	1981	20	1961	98	39	59	1863	1903	0
Glas / RESH	8536	3341	5195	2182	3013	90	2923	2835	0	2747	88	88	88
Plastik / RESH	47361	18538	28823	12105	16718	502	16216	15730	0	486	486	486	15243
Elektronik / RESH	5760	2255	3505	1469	2036	407	1629	1580	0	814	49	49	765
Batterie	13940	5109	7932	3295	4637	926	3706	0	0	3706	3706	3706	0
Reifen, Gummi	50027	19581	30445	12787	17659	6181	11478	11478	0	1951	0	9527	0
Betriebsstoffe	14168	5545	8623	3624	4998	1500	3499	350	0	0	3149	3149	350
Total	439956	172211	267745	112418	155327	14840	140487	37024	2021	9031	103463	105484	25973

Tabelle A-2: Details Entsorgungsweg von PW-Altfahrzeugen in Tonnen. Beispielsjahr 2016. Daten verwendet in dieser Studie.

Entsorgungsweg Altfahrzeuge (PW)

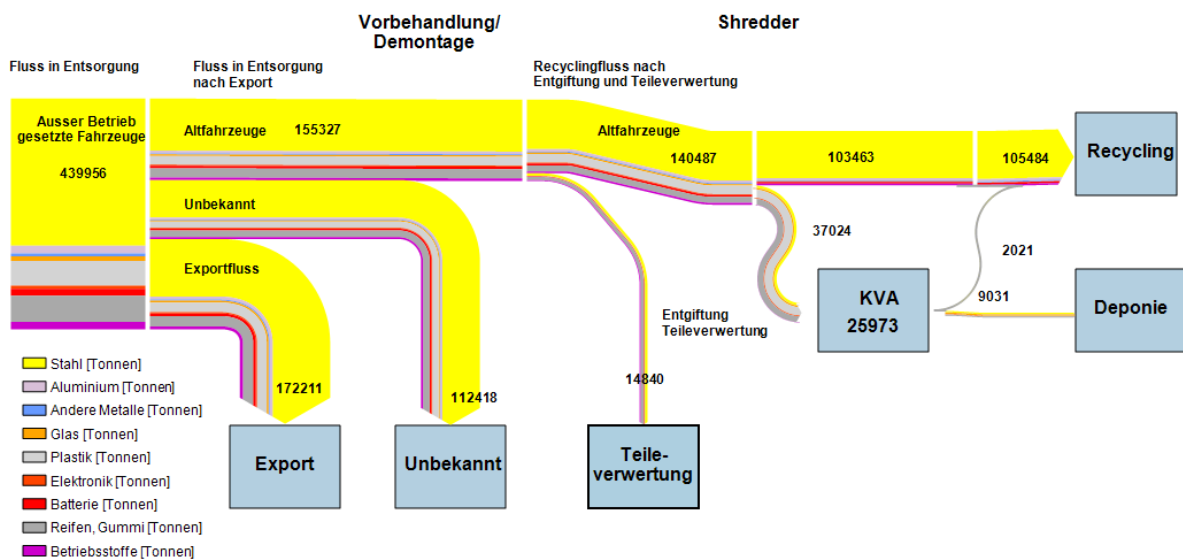


Abbildung A-3: Graphische Illustration des Entsorgungswegs für PW-Altfahrzeuge in Tonnen.

Für die Studie wurde angenommen, dass der Entsorgungspfad für Personenwagen (welche mit 7 von 11 Mio. Tonnen den dominanten Mobilitätsbereich darstellen) auch für die restlichen Mobilitätsbereiche angewandt werden kann.

Quervergleiche waren möglich mit Statistiken der Stiftung Autorecycling Schweiz (Personenwagenstatistik 2015 sowie persönliche Mitteilungen (Hr. Christen)).

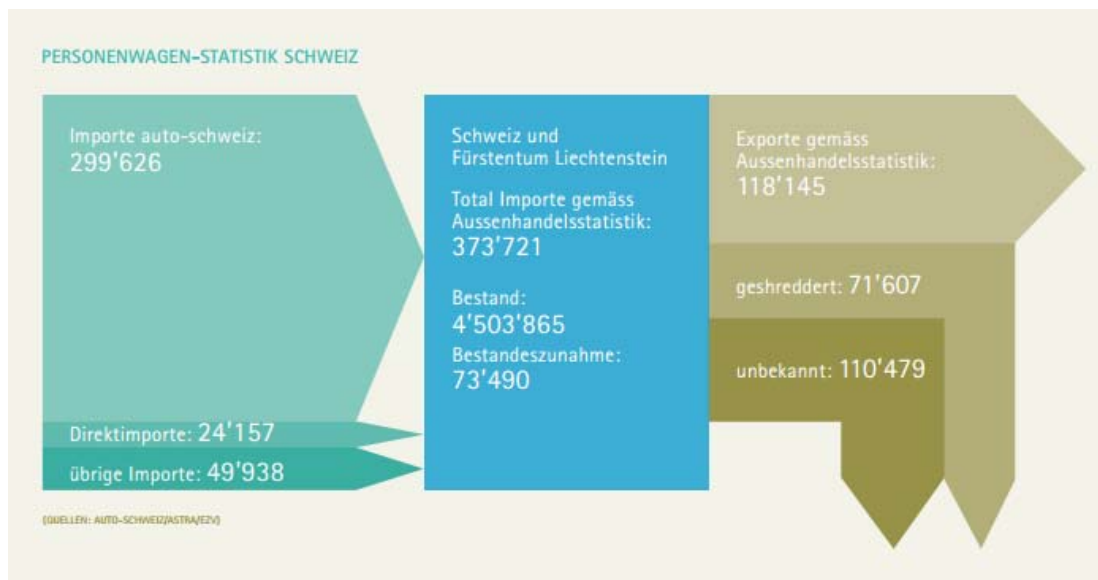


Abbildung A-4: Personenwagenstatistik Schweiz (Stiftung Autorecycling Schweiz 2015).

Genauere Analysen sind schwierig, wie auch aus der hohen Zahl von 110 000 'unbekannten' Fahrzeugen ersichtlich ist. Diese könnten auf Occasions- und Schrottplätzen lagern oder wurden ins Ausland verschoben oder im Ausland ohne Abmeldung in der Schweiz betrieben.

A II Datenvergleich Statistiken

Um das im Projekt MatCH verwendete Modell zu beurteilen, werden die Resultate im Bereich Materialzufluss mit Zahlen über Import von der eidgenössischen Zollverwaltung (EZV, Swiss-Impex)²¹ verglichen, welche nach Nummern gegliedert sind. Vergleiche sind so auch mit verschiedenen Ländern möglich. Das aktuell gültige Tarifnummern-Verzeichnis umfasst 97 Abschnitte (Warenarten) mit insgesamt über 8 000 Tarifnummern.

Die Aussenhandelsstatistik betrachtet Warentypen (z.B. Fleisch, Getreide, Bekleidung, Möbel, Autos) die gut mit dieser Studie vergleichbar sind. Für diese Studie wurden importierte Waren (Fahrzeuge) gemäss (Tabelle A-3) ausgewählt. Diese Kategorien sollten den Zufluss in den Mobilitätsbereich möglichst vollständig abdecken, da praktisch sämtliche betrachteten Fahrzeuge in die Schweiz importiert werden. Sie berücksichtigen aber nicht den Import und Export von Teilen. Wie Abbildung 5-1 zeigt, gibt es eine gute Übereinstimmung.

MatCH-Kategorie		Swiss-Impex Kategorie			
2Rad	Motorräder	8711.1	LW/IND		
	Motorräder	8711.2			
	Motorräder	8711.3			
	Motorräder	8711.4			
	Motorräder	8711.5			
	Motorfahrräder 15%	8711.9			
	Motorfahrräder 85%				
Fahrräder	8712	Landwirt. Traktor		8701.901	
PW	PW	8703.1		Traktor	8701.1
	PW	8703.21		Traktor	8701.2
	PW	8703.22		Traktor	8701.3
	PW	8703.231		Traktor	8701.909
	PW	8703.232		Arbeitsmaschine	8704.1
	PW	8703.233		Arbeitsmaschine	8705.101
	PW	8703.241		Arbeitsmaschine	8705.109
	PW	8703.242		Arbeitsmaschine	8705.3
	PW	8703.31		Arbeitsmaschine	8705.4
	PW	8703.321	Arbeitsmaschine	8705.901	
	PW	8703.322	Arbeitsmaschine	8705.909	
	PW	8703.323	Arbeitsmaschine	8710	
	PW	8703.331	Anhänger	Anhänger	8709.11
	PW	8703.332		Anhänger	8709.19
	PW	8703.901		Anhänger	8716.1
	PW	8703.902		Anhänger	8716.2
	PW	8703.903		Anhänger	8716.31
3.St	Leichter Motorwagen	8702.101		Anhänger	8716.39
	Leichter Motorwagen	8702.901		Anhänger	8716.4
	Kleinbus	8702.102	Anhänger	8716.801	
	Kleinbus	8702.902	Anhänger	8716.802	
	Lieferwagen	8704.211	Zug	Triebzüge + Triebwagen	8603
	Lieferwagen	8704.212		Güterwagen	8606
	Lieferwagen	8704.213		Streckenlokomotiven	8601
	Lieferwagen	8704.311		Streckenlokomotiven	8602
	Lieferwagen	8704.312		Reisezugwagen	8605
	Lieferwagen	8704.312	Sonstige Fahrzeuge	8604	
	Lieferwagen	8704.313	Schiff	Off. Personenschiffe	8901
Lieferwagen	8704.901	Priv. Personenschiffe		8902	
Lieferwagen	8704.902	Priv. Personenschiffe		8903	
LKW	Lastwagen	8704.22		Priv. Personenschiffe	8906
	Lastwagen	8704.23		Güterschiffe	8905
	Lastwagen	8704.32	Flug	Flugzeuge	8802.2
	Lastwagen	8704.903		Helikopters	8802.11
				Helikopters	8802.12
		Segelflugzeuge		8801.001	
		Freiballone		8801.009	
		Freiballone		8804	
		Flugzeuge (International)		8802.3	
		Flugzeuge (International)	8802.4		
		Seilbahnen	Luftseilbahnen	8428.6	

Tabelle A-3: Zuweisung Kategorien gemäss Swiss-Impex auf Mobilitätskategorien MatCH.

²¹ <https://www.swiss-impex.admin.ch>

A III Datenvergleich mit BAUFU

Treibhausgasemissionen der Schweiz				
MatCH Bericht	Kategorie MatCH	Kategorie BAUFU ²⁾		
		1		Energie
		1A		Energie (Verbrennung)
			1A1	Energieumwandlung
				davon: Kehrlichtverbrennungsanlagen
Bau	IND		1A2	Industrie
			1A3	Verkehr
Mobilität	Flug		1A3a	Inland Flugverkehr (ohne Militär)
			1A3b	Strassenverkehr
Mobilität	PW			Personenwagen
Mobilität	3.5t			Lieferwagen
Mobilität	LKW	LW/IND		Lastwagen
Mobilität	Bus			Bus
Mobilität	2Rad			Motorräder
Mobilität	PW			Tanktourismus und statistische Differenz
Mobilität	Zug	Tram	1A3c	Bahn
Mobilität	Schiff		1A3d	Schifffahrt
	nb		1A3e	Pipelinetransport
			1A4	Andere Sektoren
Bau	DLG		1A4a	Dienstleistungen / Gewerbe
Bau	EFH	MFH	1A4b	Privathaushalte
Bau	LWG		1A4c	Andere (Land- / Forstwirtschaft)
Bau	UEB		1A5	Übrige (Militär)
	nb		1B	Verdampfungsemissionen (Öl / Gas)
	nb			davon: Indirektes CO ₂
Konsum	Konsum	2		Industrielle Prozesse und Lösungsmittel
Konsum	Konsum			davon: Indirektes CO ₂
Konsum	Konsum	3		Landwirtschaft
Konsum	Konsum		3A	Nutztierhaltung
Konsum	Konsum			davon: Rindvieh (3A1)
Konsum	Konsum		3B	Hofdüngerbewirtschaftung
Konsum	Konsum		3D	Landwirtschaftliche Böden
Konsum	Konsum		5E	Andere (Schredder-Anlagen)
Konsum	Konsum			davon: Indirektes CO ₂
	nb	6		Andere
	nb		6Ad	Brand- und Feuerschäden
	nb			davon: Indirektes CO ₂
Mobilität	Flug			Internationaler Flugverkehr
	nb			Internationaler Schiffsverkehr
	nb	4		LULUCF (inklusive HWP)
	nb			Landnutzung und Waldbewirtschaftung
	nb			Holzprodukte (HWP)

¹⁾ CO₂-Äquivalente entspricht der Summe aller Gase. Nicht-CO₂-Emissionen wurden ihrem Erwärmungspotenzial (GWP) entsprechend gewichtet.

²⁾ Kategorien und Nummerierung nach IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

³⁾ Ohne internationalen Flug- und Schiffsverkehr, Landnutzungsänderungen / Forstwirtschaft und Sektor 6 (Kyoto-Systemgrenze).

Tabelle A-4: Zuweisung der Kategorien aus dem Treibhausgasinventar des BAUFU (BAUFU 2016b) zu MatCH-Kategorien. Der Bereich Mobilität wurde markiert.

A IV Basisinformationen zu den Kategorien im Detail (Ebene 3)

2Rad

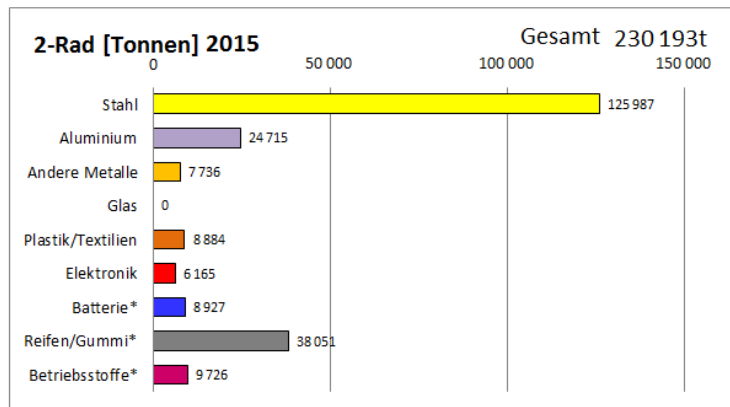
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
2-Rad	Motorräder e-Motorräder	<p>Motorräder sind einspurige Motorfahrzeuge mit zwei Rädern, mit oder ohne Seitenwagen. Als Motorrad gelten: Kleinmotorrad; Motorrad-Dreirad; Motorradseitenwagen; Kleinmotorrad-Dreirad, Motorschlitten. Motorroller.</p> <p>Kleinmotorräder sind zweirädrige Motorfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von höchstens 45 km/h und einem Hubraum bei Verbrennungsmotoren von höchstens 50 cm³ beziehungsweise einer Motorleistung bei anderen Motoren von höchstens 4 kW.</p> <p>Dreirädrige und vierrädrige Motorfahrzeuge sind Fahrzeuge, deren Leergewicht, Hubraum und Motorenleistung begrenzt sind und nicht als Kleinmotorräder gelten.</p> <p>Motorschlitten sind mit Raupen versehene Motorfahrzeuge, die nicht durch Abbremsen einer Raupe gelenkt werden und auch nicht die Merkmale von Motoreinachsern oder Motorhandwagen aufweisen, höchstens 1.30 m breit und 3.50 m lang sind sowie ein Gewicht von nicht mehr als 0.40 t haben.</p>
	Motorfahrräder e-Motorfahrräder	<p>Motorfahrräder sind einplätzig, einspurige Fahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 30 km/h, höchstens 1.00 kW Motorleistung und einem Verbrennungsmotor mit einem Hubraum von höchstens 50 cm³, oder einem Elektromotor, der bei einer allfälligen Tretunterstützung bis höchstens 45 km/h wirkt. Als Motorfahrräder gelten: Leichtmotorfahrzeug; Kleinmotorfahrzeug; und Dreirädriges-Motorfahrzeug.</p>
	Fahrräder e-Fahrräder	<p>Fahrräder sind Fahrzeuge mit nicht mehr als zwei Rädern, die durch mechanische Vorrichtungen ausschliesslich mit der Kraft der darauf sitzenden Personen fortbewegt werden. Kinderräder und Rollstühle gelten nicht als Fahrräder.</p> <p>Leicht-Motorfahrräder ('e-Bikes') verfügen über einem Elektromotor von höchstens 0.50 kW Motorleistung, einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h und einer allfälligen Tretunterstützung, die bis höchstens 25 km/h wirkt. Für Leicht-Motorfahrräder wird wie für Fahrräder kein Fahrgaugausweis und Kontrollschild benötigt.</p>

Kategorie	Einheit	Ebene 2			Ebene 3		
		2-Rad gesamt	2-Rad Akkumuliert	2-Rad pro Fahrzeug	Motorräder ²	Motorfahrräder ³	Fahrräder
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	4 580 022	4 345 521		689 427	19 094	3 637 000
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	1.86%	1.05%		1.65%	5.56%	0.92%
Treibstoff	Typ				Benzin	Benzin	-
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0.04		0	0	0	0
Treibstoffverbrauch	l/100 km	2		2	5	2	0
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	926		942	2 679	2 679	604
Materialzusammensetzung							
Stahl	kg	125 987 413	123 271 096	28	120	28	11
Aluminium		24 715 489	24 453 024	6	30	7	1
Anderer Metalle		7 735 976	7 470 037	2	5	1	1
Glas		0	0	0	0	0	0
Plastik/Textilien		8 884 341	8 757 175	2	10	2	1
Elektronik		6 165 446	5 550 940	1	8	2	0
Batterie*		8 926 939	8 273 124	2	12	0	0
Reifen/Gummi*		38 051 375	36 885 889	8	28	7	5
Betriebsstoffe*		9 725 531	9 714 145	2	14	3	0
Total		230 192 509	224 375 429	52	227	50	18

² Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 2		Ebene 3		
		e-2-Rad Akkumuliert	e-2-Rad pro Fahrzeug	e-Motorräder	e-Motorfahrräder	e-Fahrräder
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	234 501		1 500	1	233 000
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	33.10%		33.10%	33.10%	33.10%
Treibstoff	Typ			Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km		1	8	6	1
Treibstoffverbrauch	l/100 km		0	0	0	0
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug		617	2 679	2 679	604
Materialzusammensetzung						
Stahl	kg	2716 317	12	65	34	11
Aluminium		262 465	1	16	9	1
Anderer Metalle		265 938	1	3	1	1
Glas		0	0	0	0	0
Plastik/Textilien		127 166	1	5	3	1
Elektronik		614 506	3	6	6	3
Batterie*		653 815	3	32	15	3
Reifen/Gummi*		11 654 486	5	15	8	5
Betriebsstoffe*		11 387	0	8	4	0
Total		5 817 080	25	150	80	24

² Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Motorräder ²²	Motorfahrräder ²³	Fahrräder ²⁴
		

²² http://10-themes.com/data_images/wallpapers/48/455653-moto.jpg

²³ http://www.fahren-lernen.de/Portals/0/Inhalte/Z61773_Mofa.jpg

²⁴ <http://www.pdfontanaliri.it/wp-content/uploads/2016/04/bicicletta.jpg>

PW

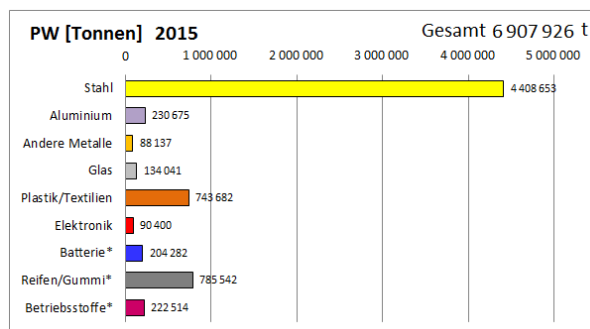
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
PW	Kleiner PW (PW und e-PW)	Personenwagen sind leichte Motorwagen zum Personentransport mit höchstens neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin (bis 3,50 t). Kleine Personenwagen sind Personenwagen mit einem Leergewicht von maximal 1.4 Tonnen.
	Mittlerer PW (PW und e-PW)	Mittlere Personenwagen sind Personenwagen mit einem Leergewicht von zwischen 1.4 und 2 Tonnen.
	Grosser PW (PW und e-PW)	Grosse Personenwagen sind solche mit einem Leergewicht über 2 Tonnen und einem Gesamtgewicht von maximal 3.5 Tonnen.

Kategorie	Einheit	Ebene 2			Ebene 3			
		PW gesamt	PW Akkumuliert	PW pro Fahrzeug	Kleiner PW	Mittlerer PW	Grosser PW	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	4 458 069	4 451 595		955 451	2 317 819	1 178 325	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	1.90%	1.86%		2.30%	1.81%	1.60%	
Treibstoff	Typ				Benzin	Benzin	Benzin	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0		0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	7		7	5	7	10	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	14 926		14 926	14 926	14 926	14 926	
Materialzusammensetzung								
Stahl	kg	4 408 653 158	4 403 320 520	989	633	990	1 277	
Aluminium		230 674 983	230 395 963	52	33	52	67	
Andere Metalle		88 136 992	88 030 383	20	13	20	26	
Glas		134 040 869	133 878 735	30	19	30	39	
Plastik/Textilien		743 681 896	742 782 350	167	107	167	215	
Elektronik		90 400 018	90 146 268	20	15	20	25	
Batterie*		204 282 005	202 444 132	45	36	42	60	
Reifen/Gummi*		785 541 835	784 591 656	176	113	176	227	
Betriebsstoffe*		222 514 190	222 389 925	50	32	50	64	
Total			6 907 925 948	6 897 979 933	1 550	1 000	1 547	2 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 2		Ebene 3			
		e-PW Akkumuliert	e-PW pro Fahrzeug	Kleiner e-PW	Mittlerer e-PW	Grosser e-PW	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	6 474		2 184	3 149	1 140	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	32.77%		33.98%	33.10%	29.81%	
Treibstoff	Typ			Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km		15	12	16	20	
Treibstoffverbrauch	l/100 km		0	0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug		14 926	14 926	14 926	14 926	
Materialzusammensetzung							
Stahl	kg	5 332 638	824	621	855	1 124	
Aluminium		279 021	43	32	45	59	
Andere Metalle		106 609	16	12	17	22	
Glas		162 134	25	19	26	34	
Plastik/Textilien		899 546	139	105	144	190	
Elektronik		253 750	39	35	40	45	
Batterie*		1 837 873	284	200	300	400	
Reifen/Gummi*		950 179	147	111	152	200	
Betriebsstoffe*		124 265	19	15	20	25	
Total			9 946 015	1 536	1 150	1 600	2 100

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Kleiner PW ²⁵	Mittlerer PW ²⁶	Grosser PW ²⁷
		

²⁵ http://image.img-erento.com/smart/auto-mieten-smart-cabrio-autom-smart-3000401-25328569_gallery.jpg

²⁶ <http://files.newsnetz.ch/story/2/0/1/20138725/8/topelement.jpg>

²⁷ <http://img01.ibnlive.in/ibnlive/uploads/2016/01/auto-expo-2016.jpg>

3.5t

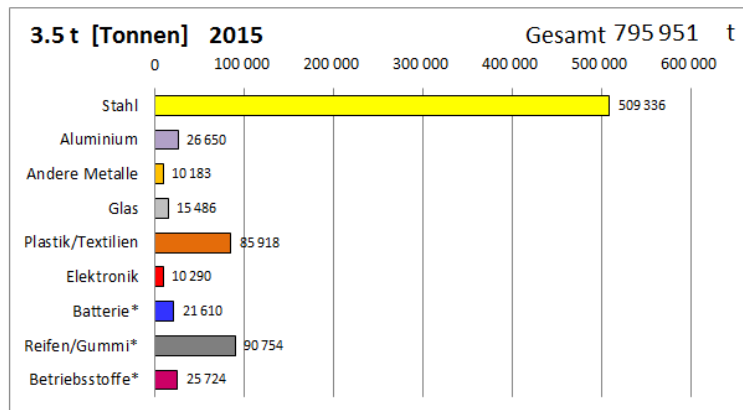
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
3.5t	Leichter Motorwagen (3.5t und e-3.5t)	Motorwagen sind Motorfahrzeuge mit mindestens vier Rädern - ausgenommen Leicht- und Kleinmotorfahrzeuge sowie Motorhandwagen-, Motorfahrzeuge mit drei Rädern und einem Leergewicht über eine Tonne, Arbeitsmotorwagen sowie Raupenfahrzeuge, die nicht als Motorräder gelten. Sie sind oft Fahrzeuge für einen speziellen Gebrauch, z.B. Camper oder Wohnwagen, Verkaufsfahrzeuge, Büros, Schirnbildfahrzeuge, Ausstellungsfahrzeuge, Ambulanzen, Leichenwagen usw. Dabei kann es sich um leichte oder schwere Motorwagen handeln. Motorwagen bis zu 3.5 Tonnen Gesamtgewicht sind "leichte Motorwagen" und umfassen die folgenden Kategorien: Personenwagen bis 3,5t Gesamtgewicht (leichte Personenwagen), Lieferwagen, Kleinbusse, leichte Sattelmotorfahrzeuge und übrige leichte Motorwagen.
	Schwerer Motorwagen (3.5t und e-3.5t)	Die übrigen Motorwagen sind schwere Motorwagen.
	Kleinbus (3.5t und e-3.5t)	Kleinbusse sind leichte Motorwagen zum Personentransport mit mehr als neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin.
	Lieferwagen (3.5t und e-3.5t)	Lieferwagen sind leichte Motorwagen zum Sachentransport, einschliesslich solcher mit zusätzlichen wegklappbaren Sitzen im Laderaum zum gelegentlichen, nicht gewerbsmässigen Personentransport, wenn insgesamt höchstens neun Sitzplätze einschliesslich Führer oder Führerin vorhanden sind.
	Leichtes Sattelmotorfahrzeug (3.5t und e-3.5t)	Sattelmotorfahrzeug ist die Kombination eines Sattelschleppers mit einem Sattelanhänger. Für die Einteilung als schwere oder leichte Fahrzeuge ist nur das Gesamtgewicht des Sattelschleppers massgebend.

Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2		Ebene 3			
		3.5t gesamt	3.5t Akkumuliert	3.5t pro Fahrzeug	Leichter Motorwagen	Schwerer Motorwagen	Kleinbus	Lieferwagen	Leichtes Sattelmotorfahrzeug	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	397 975	397 970		47 327	3 500	6 617	340 519	7	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	3.90%	3.90%		6.88%	7.09%	-5.62%	3.74%	-9.25%	
Treibstoff	Typ				Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	Benzin	
Elektrizitätsverbrauch	kWh/100 km	0		0	0	0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	12		12	12	12	12	12	12	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	14 000		14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	
Materialzusammensetzung										
Stahl	kg	509 336 164	509 330 183	1 280	1 280	1 280	1 280	1 280	1 280	
Aluminium		26 650 114	26 649 801	67	67	67	67	67	67	
Auflere Metalle		10 182 556	10 182 436	26	26	26	26	26	26	
Glas		15 485 877	15 485 695	39	39	39	39	39	39	
Plastik/Textilien		85 918 323	85 917 314	216	216	216	216	216	216	
Elektronik		10 289 641	10 289 499	26	26	26	26	26	26	
Batterie*		21 610 010	21 607 947	54	54	54	54	54	54	
Reifen/Gummi*		90 754 444	90 753 378	228	228	228	228	228	228	
Betriebsstoffe*		25 723 872	25 723 747	65	65	65	65	65	65	
Total			795 951 000	795 940 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 2		Ebene 3					
		e-3.5t Akkumuliert	e-3.5t pro Fahrzeug	e-Leichter Motorwagen	e-Schwerer Motorwagen	e-Kleinbus	e-Lieferwagen	e-Leichtes Sattelmotorfahrzeug	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	5		1	1	1	1	1	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	33.10%		33.10%	33.10%	33.10%	33.10%	33.10%	
Treibstoff	Typ			Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	
Elektrizitätsverbrauch	kWh/100 km		40	40	40	40	40	40	
Treibstoffverbrauch	l/100 km		0	0	0	0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug		14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	
Materialzusammensetzung									
Stahl	kg	5 981	1 196	1 196	1 196	1 196	1 196	1 196	
Aluminium		313	63	63	63	63	63	63	
Auflere Metalle		120	24	24	24	24	24	24	
Glas		182	36	36	36	36	36	36	
Plastik/Textilien		1 009	202	202	202	202	202	202	
Elektronik		142	28	28	28	28	28	28	
Batterie*		2 063	413	413	413	413	413	413	
Reifen/Gummi*		1 066	213	213	213	213	213	213	
Betriebsstoffe*		125	25	25	25	25	25	25	
Total			11 000	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200	2 200

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Leichter Motorwagen ²⁸	Schwerer Motorwagen ²⁹	Kleinbus ³⁰
		
Lieferwagen ³¹	Leichtes Sattelmotorfahrzeug ³²	
		

²⁸ https://farm2.staticflickr.com/1213/5138769893_dda90ef5ae_b.jpg

²⁹ <http://www.wohnwagen-wohnmobile-ankauf.de/Wohnmobil1.jpg>

³⁰ <http://www.expozzer.com/wp-content/uploads/2015/08/Minibus-Service-for-a-Perfect-Travel-Experience.png>

³¹ http://www.duden.de/_media/full/L/Lieferwagen-201020401163.jpg

³² <http://wl49www644.webland.ch/wp-content/uploads/2014/12/Fahrschulfahrzeuge-025.jpg>

LKW

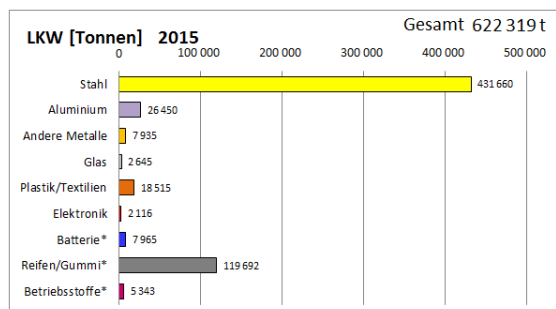
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
LKW	Lastwagen (LKW und e-LKW)	Lastwagen sind schwere Motorwagen mit höchstens neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin zum Sachentransport mit Aufbauten wie Brücken, Kasten, Tanks, Silos, Langmaterial usw.
	Schweres Sattelmotorfahrzeug (LKW und e-LKW)	Sattelmotorfahrzeug ist die Kombination eines Sattelschleppers mit einem Sattelanhänger. Für die Einteilung als schwere oder leichte Fahrzeuge ist nur das Gesamtgewicht des Sattelschleppers massgebend.
	Sattelschlepper (LKW und e-LKW)	Sattelschlepper sind die zum Ziehen von Sattelanhängern gebaute Motorwagen. Für die Einteilung als schwere oder leichte Fahrzeuge ist nur das Gesamtgewicht des Sattelschleppers, d.h. inkl. das Stützgewicht des Sattelanhängers auf den Sattel aber ohne das auf den Rädern des Anhängers lastende Gewicht, massgebend.

Kategorie	Einheit	Ebene 2			Ebene 3			
		LKW gesamt	LKW Akkumuliert	LKW pro Fahrzeug	Lastwagen	Schweres Sattelmotorfahrzeug	Sattelschlepper	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	53070	53058		41820	86	11152	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	0.52%	0.51%		0.49%	-1.32%	0.61%	
Treibstoff	Typ				Diesel	Diesel	Diesel	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0		0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	30		30	30	30	30	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	50000		50000	50000	50000	50000	
Materialzusammensetzung								
Stahl	kg	431 659 751	431 562 279	8 134	8 078	10 405	8 324	
Aluminium		26 449 740	26 443 767	498	495	638	510	
Andere Metalle		7 934 922	7 933 130	150	149	191	153	
Glas		2 644 974	2 644 377	50	50	64	51	
Plastik/Textilien		18 514 818	18 510 637	349	347	446	357	
Elektronik		2 116 105	2 115 501	40	40	51	41	
Batterie*		7 964 501	7 933 130	150	149	191	153	
Reifen/Gummi*		119 691 751	119 664 724	2 255	2 240	2 885	2 308	
Betriebsstoffe*		5 342 537	5 342 175	101	100	129	103	
Total			622 319 099	622 149 720	11 726	11 646	15 000	12 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 2		Ebene 3			
		e-LKW Akkumuliert	e-LKW pro Fahrzeug	e-Lastwagen	e-Schweres Sattelmotorfahrzeug	e-Sattelschlepper	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	12		10	1	1	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	33.10%		33.10%	33.10%	33.10%	
Treibstoff	Typ			Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km		120	120	120	120	
Treibstoffverbrauch	l/100 km		0	0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug		50000	50000	50000	50000	
Materialzusammensetzung							
Stahl	kg	97 473	8 123	8 078	9 208	7 481	
Aluminium		5 973	498	495	564	458	
Andere Metalle		1 792	149	149	169	138	
Glas		597	50	50	56	46	
Plastik/Textilien		4 181	348	347	395	321	
Elektronik		603	50	50	57	46	
Batterie*		31 371	2 614	2 600	2 963	2 408	
Reifen/Gummi*		27 027	2 252	2 240	2 553	2 074	
Betriebsstoffe*		362	30	30	34	28	
Total			169 379	14 115	14 038	16 000	13 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Lastwagen ³³	Schweres Sattelmotor-Fzg ³⁴	Sattelschlepper ³⁵
		

³³ <http://www.balmholz.ch/images/content/news/lastwagen.jpg>

³⁴ http://terlizzi.ch/wordpress/wp-content/uploads/Neuer-Volvo_2012_g.jpg

³⁵ http://www.topmieten.ch/ad_img/131955_4.png

Bus

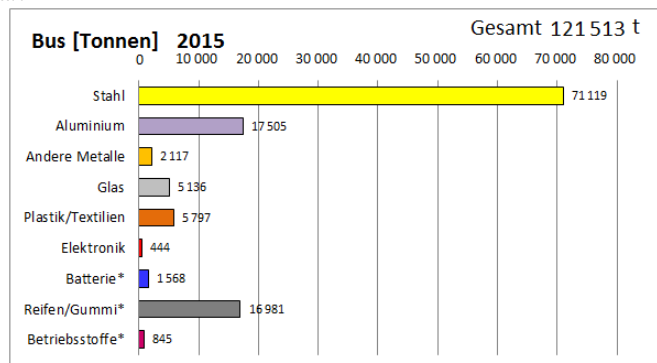
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Bus	Gesellschaftswagen (Bus und e-Bus)	Gesellschaftswagen sind schwere Motorwagen zum Personentransport mit mehr als neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin (Gesamtgewicht über 3,5t).
	Gelenkbus (Bus und e-Bus)	Gelenkbusse sind Gesellschaftswagen, die mit gelenkigen, fest verbundenen Nachlaufteilen einen durchgehenden Fahrgastraum aufweisen (Gesamtgewicht über 3,5t). Trolleybusse (Elektrisch betriebene Strassenfahrzeuge des öffentlichen Personenverkehrs, die ihre Fahrenergie aus einer Fahrleitung entnehmen) sind auch einbezogen.



Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2		Ebene 3	
		Bus gesamt	Bus Akkumuliert	Bus pro Fahrzeug	Gesellschaftswagen	Gelenkbus		
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	8879	8263		6769	1494		
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	1.80%	2.02%		1.60%	4.07%		
Treibstoff	Typ				Diesel	Diesel		
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	7		0	0	0		
Treibstoffverbrauch	l/100 km	39		42	42	42		
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	39 372		39 372	39 372	39 372		
Materialzusammensetzung								
Stahl	kg	71 119 031	64 787 583	7 841	7 292	10 328		
Aluminium		17 505 127	15 946 714	1 930	1 795	2 542		
Andere Metalle		2 117 387	1 928 884	233	217	307		
Glas		5 136 235	4 678 976	566	527	746		
Plastik/Textilien		5 796 608	5 280 559	639	594	842		
Elektronik		443 950	413 150	50	50	50		
Batterie*		1 568 450	1 239 450	150	150	150		
Reifen/Gummi*		16 981 021	15 469 267	1 872	1 741	2 466		
Betriebsstoffe*		844 780	826 300	100	100	100		
Total			121 512 988	110 570 883	13 381	12 466	17 531	

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 2		Ebene 3		
		e-Bus Akkumuliert	e-Bus pro Fahrzeug	e-Gesellschaftswagen	e-Gelenkbus (Trolleybus)	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	616		10	606	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	-0.39%		33.10%	-0.64%	
Treibstoff	Typ			Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km		100	100	100	
Treibstoffverbrauch	l/100 km		0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug		39 372	39 372	39 372	
Materialzusammensetzung						
Stahl	kg	6 331 448	10 278	7 292	10 328	
Aluminium		1 558 413	2 530	1 795	2 542	
Andere Metalle		188 503	306	217	307	
Glas		457 259	742	527	746	
Plastik/Textilien		516 049	838	594	842	
Elektronik		30 800	50	50	50	
Batterie*		329 000	534	2 600	500	
Reifen/Gummi*		1 511 754	2 454	1 741	2 466	
Betriebsstoffe*		18 480	30	30	30	
Total			10 941 705	17 763	14 846	17 811

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



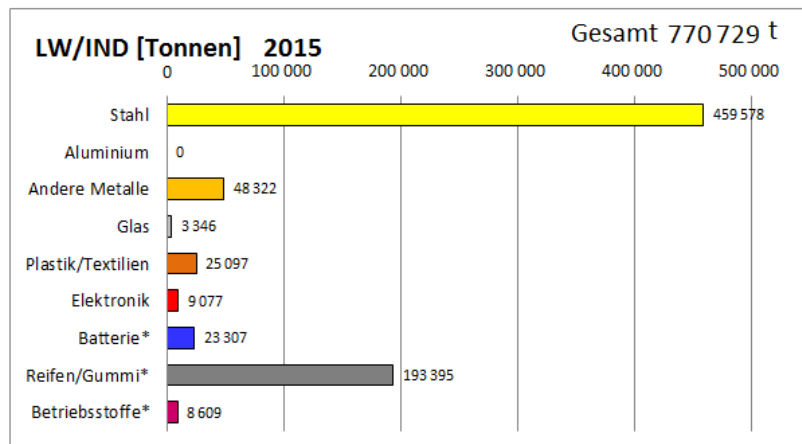
<p>Gesellschaftswagen³⁶</p> 	<p>Gelenkbus³⁷</p> 
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

³⁶ http://pngimg.com/upload/bus_PNG8615.png

³⁷ http://www.volvobuses.com/SiteCollectionImages/VBC/Austria%20-%20ILF/758x326/7700_GB_758x326.jpg

LW/IND

Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
LW/Ind.	Traktor (e- und nicht e-Landwirtschaftlich LW und industriell Ind.)	Traktoren sind zum Ziehen von Anhängern gebaute Motorwagen mit kurzem Radstand und höchstens einem geringen eigenen Tragraum.
	Arbeitskarren (e- und nicht e-LW & Ind.)	Arbeitskarren sind Arbeitsmotorwagen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 30 km/h (Messtoleranz 10%). Arbeitsmotorwagen sind Motorwagen, mit denen keine Sachentransporte ausgeführt werden, sondern die zur Verrichtung von Arbeiten (wie Sägen, Fräsen, Spalten, Dreschen, Heben und Verschieben von Lasten, Erdbewegungen, Schneeräumung usw.) gebaut sind und höchstens einen geringen Tragraum für Werkzeuge und Betriebsstoffe aufweisen. Ihr Motor kann neben dem Antrieb der Arbeitsgeräte auch für die Fortbewegung des Fahrzeugs dienen.
	Motorkarren (e- und nicht e-LW & Ind.)	Motorkarren sind Motorwagen mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 30km/h, die nicht für den Personentransport gebaut sind.
	Motoreinachser (e- und nicht e-LW & Ind.)	Motoreinachser sind Motorfahrzeuge mit zwei nebeneinander liegenden Rädern oder mit einem einzigen Rad, die von einer zu Fuss gehenden Person geführt oder mit einem Anhänger schwenkbar verbunden werden, und vergleichbare Fahrzeuge mit Raupen. Stützrollen hindern die Einreihung als Motoreinachser nicht.
	Kombinationsfahrzeug (e- und nicht e-LW)	Kombinationsfahrzeuge sind landwirtschaftliche Motorfahrzeuge, die von einer in eine andere der zulässigen Arten verwandelt werden können; die möglichen Arten sind in einem einzigen Fahrzeugausweis einzutragen. Sie unterstehen den Vorschriften der Fahrzeugart, der sie jeweils entsprechen.
	Arbeitsmaschine (e- und nicht e-Ind.)	Arbeitsmaschinen sind Arbeitsmotorwagen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 30 km/h (Messtoleranz 10%).



Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2			Ebene 3			Ind.Motorenachser	Ind.Motoren	Ind.Motorenachser
		LW/IND Akm	LW/IND pro Fahrzeug	LW/Traktor	LW.Arbeitskarnen	LW.Motorenachser	LW.Kombinations-Fahrzeug	Ind.Traktor	Ind.Arbeitskarnen	Ind.Arbeitsmaschine			
Anzahl in den Fahrzeugkategorien		258233		138489	35318	8625	30	3411	14226	28592	20633	231	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand		1.06%		0.87%	-1.20%	-1.92%	2.06%	11.7%	1.42%	2.8%	3.03%	0.44%	
Umweltstoff	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Elektronikverbrauch	W/100 km	71	21	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Freisetzung von CO ₂	kg/100 km	1045	1045	1492	500	500	1492	1492	500	500	500	500	
Materialumsatz	kg/100 km	459544009	1780	2646	403	63	974	1067	1192	151	1067	63	
Aluminium	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Andere Metalle	kg	48317981	187	288	44	7	106	116	259	16	116	7	
Gas	kg	3346205	13	20	3	8	7	18	0	1	8	0	
PKW/Taxien	kg	250965386	97	150	23	4	55	135	4	9	61	4	
Bus/Truck	kg	9076862	35	50	8	18	18	45	50	3	45	1	
Batterie	kg	23306501	90	36	5	0	147	147	15	5	36	0	
Bleifbatterie	kg	193354607	749	1289	0	176	176	1289	25	0	176	30	
Bleisäurebatterie	kg	869265	33	50	15	5	15	50	5	15	15	5	
Li-Ion	kg	770729337	2985	4640	500	110	1500	4337	1293	200	1500	110	

Bei den Werten für die Freisetzung von CO₂ sind die Werte für den Motor des Kraftfahrzeugs sowie für den Motor des Traktors und des Motors der Arbeitsmaschine einbezogen.

Kategorie	Einheit	Ebene 2			Ebene 3			e-Ind.Motorenachser	e-Ind.Motoren	e-Ind.Motorenachser
		e-W/IND Akm	e-W/IND pro Fahrzeug	e-W/Traktor	e-W.Arbeitskarnen	e-W.Motorenachser	e-W.Kombinations-Fahrzeug			
Anzahl in den Fahrzeugkategorien		89		30	1	1	1	1	1	1
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand		33.10%		33.10%	33.10%	33.10%	33.10%	33.10%	33.10%	33.10%
Umweltstoff	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elektronikverbrauch	W/100 km	13	8	8	8	8	8	8	8	8
Freisetzung von CO ₂	kg/100 km	1127	800	1492	500	500	1492	500	500	500
Materialumsatz	kg/100 km	33800	1779	2646	403	63	974	1067	1192	151
Aluminium	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andere Metalle	kg	3561	187	288	44	7	106	116	259	16
Gas	kg	287	13	20	3	8	7	18	0	1
PKW/Taxien	kg	1849	97	150	23	4	55	135	4	9
Bus/Truck	kg	666	35	50	8	18	18	45	50	3
Batterie	kg	28900	1322	2600	50	50	50	2600	25	50
Bleifbatterie	kg	14792	779	1289	0	176	176	1289	25	0
Bleisäurebatterie	kg	375	20	25	5	5	20	25	5	5
Li-Ion	kg	86200	4482	7088	535	119	1488	4241	1293	200

Bei den Werten für die Freisetzung von CO₂ sind die Werte für den Motor des Kraftfahrzeugs sowie für den Motor des Traktors und des Motors der Arbeitsmaschine einbezogen.

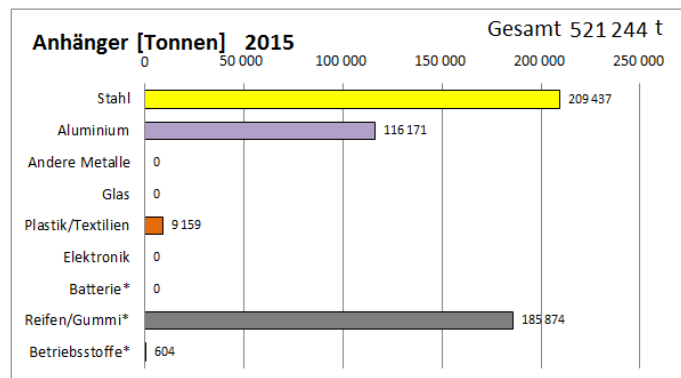
LW.Traktor	LW.Arbeitskarren	LW.Motorkarren
		
LW.Motoreinachser	LW.Kombinations-Fahrzeug	Ind.Traktor
		
Ind.Arbeitsmaschine	Ind.Arbeitskarren	Ind.Motorkarren
		
Ind.Motoreinachser		
		

Anhänger

Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Anhänger	Kleiner Anhänger	Anhänger sind Fahrzeuge ohne eigenen Antrieb, die gebaut sind, um von anderen Fahrzeugen gezogen zu werden und mit diesen durch eine geeignete Verbindungseinrichtung schwenkbar verbunden sind. Abschlepprollis gelten nicht als Anhänger. Ein wesentlicher Teil des Gewichts des Anhängers und seiner Ladung wird vom Zugfahrzeug getragen. Zu kleineren Anhänger gehören Motorradanhänger, Sportgeräteanhänger, Arbeitsanhänger, Sattelsachentransportanhänger, Sattelsportgeräteanhänger, Sattelarbeitsanhänger, und übrige Anhänger.
	Mittlerer Anhänger	Zu mittleren Anhänger gehören landwirtschaftliche Anhänger, landwirtschaftliche Arbeitsanhänger, Sattelwohnanhänger, Sachentransportanhänger, Personentransportanhänger, Wohnanhänger. Sachentransportanhänger sind Anhänger mit Ladebrücken, Tanks oder anderen Laderäumen zur Beförderung von Sachen. Personentransportanhänger sind Anhänger, die zur Personenbeförderung besonders eingerichtet sind. Wohnanhänger sind Anhänger, bei denen mindestens drei Viertel des zur Verfügung stehenden Volumens (inkl. Gepäckraum) als Wohnraum eingerichtet ist.
	Grosser Anhänger	Zu grösseren Anhänger gehören Sattelanhänger. Sattelanhänger sind Anhänger, die so an ein Motorfahrzeug (Sattelschlepper) angekuppelt werden, dass sie teilweise auf diesem aufliegen. Ein wesentlicher Teil des Gewichts des Anhängers und seiner Ladung wird vom Zugfahrzeug getragen.

Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2		Ebene 3		
		Anhänger gesamt	Anhänger Akkumuliert	Anhänger pro Fahrzeug	Kleiner Anhänger ²	Mittlerer Anhänger ³	Grosser Anhänger ⁴		
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	413 592	413 592						
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	2.28%	2.28%						
Treibstoff	Typ								
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0		0	0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	0		0	0	0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	5 014		5 014	5 000	5 000	50 000		
Materialzusammensetzung									
Stahl	kg	209 436 530	209 436 530	506	201	603	1 734		
Aluminium		116 170 969	116 170 969	281	111	334	962		
Anderer Metalle		0	0	0	0	0	0	0	
Glas		0	0	0	0	0	0	0	
Plastik/Textilien		9 159 186	9 159 186	22	9	26	76		
Elektronik		0	0	0	0	0	0	0	
Batterie*		0	0	0	0	0	0	0	
Reifen/Gummi*		185 873 550	185 873 550	449	178	535	1 539		
Betriebsstoffe*		604 040	604 040	1	1	2	5		
Total			521 244 275	521 244 275	1 260	500	1 500	4 315	

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Kleiner Anhänger ³⁸	Mittlerer Anhänger ³⁹	Grosser Anhänger ⁴⁰
		

³⁸ https://pics.ricardostatic.ch/2_774381572_Big/sonstige-fahrzeuge/zivilschutz-anhaenger-arbeitsanhaenger-bzs-ma.jpg

³⁹ http://www.auto-berger-ag.ch/_pics/281/7_trans_a.jpg

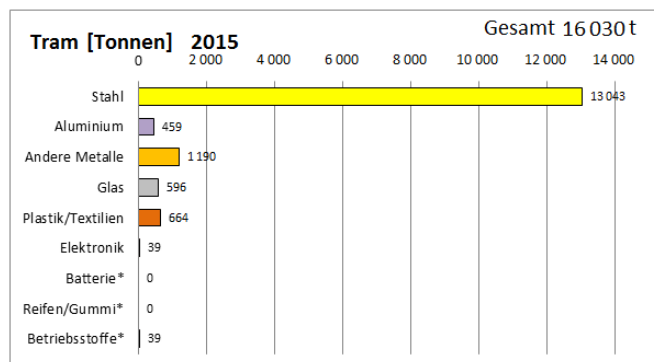
⁴⁰ <http://de.bmat.by/imgall/files/sto-gruzovikov-1.jpg>

Tram

Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Tram	Tram	Schienegebundene Fahrzeuge auf Normal- oder Schmalspurbahnanlagen des öffentlichen Personenverkehrs, auf denen ausschliesslich Agglomerations- und/oder Ortsverkehr betrieben wird (abgeltungsberechtigte Linien des Regionalverkehrs, sowie die Tramnetze der Städte Basel, Bern, Genf Zürich und die Linien m1 und m2 in Lausanne (BFS 2013a). Ein Tram, ist ein schienegebundenes, fast immer mit elektrischer Energie betriebenes öffentliches Personennahverkehrsmittel im Stadtverkehr, das den speziellen Bedingungen des Strassenverkehrs angepasst ist (Wikipedia).

Kategorie	Einheit	Ebene 1	Ebene 2		Ebene 3	
		Tram gesamt	Tram Akkumuliert	Tram pro Fahrzeug	Tram	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	781	781	0	781	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	0.53%	0.53%	0.00%	0.53%	
Treibstoff	Typ				Elektrizität Strom-Mix CH	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	475		475	475	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	0		0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	42 382		42 382	42 382	
Materialzusammensetzung						
Stahl	kg	13 042 700	13 042 700	16 700	16 700	
Aluminium		459 228	459 228	588	588	
Andere Metalle		1 190 322	1 190 322	1 524	1 524	
Glas		595 903	595 903	763	763	
Plastik/Textilien		663 850	663 850	850	850	
Elektronik		39 050	39 050	50	50	
Batterie*		0	0	0	0	
Reifen/Gummi*		0	0	0	0	
Betriebsstoffe*		39 050	39 050	50	50	
Total			16 030 103	16 030 103	20 525	20 525

¹⁾ Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



⁴¹ <http://blog.tagesanzeiger.ch/wp-content/uploads/sites/20/2012/05/cobra-2.jpg>

Zug

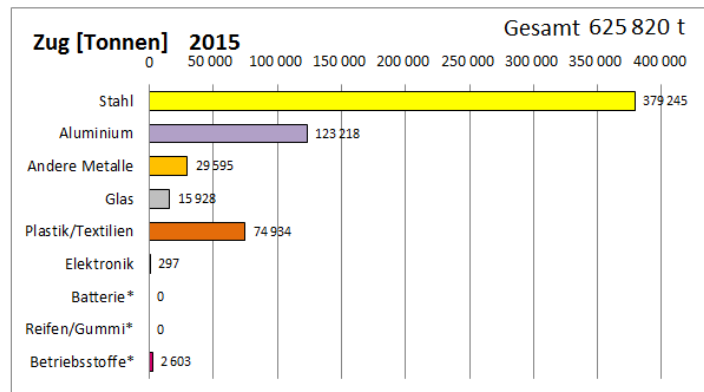
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Zug	Triebzüge	Ein Triebzug ist eine mit eigenem Antrieb versehene, im Regelbetrieb nicht trennbare Einheit aus mehreren Fahrzeugen, diese werden je nach Funktion als Triebwagen/Triebkopf, Mittel- und Steuerwagen bezeichnet. Vieltellige Gelenktriebwagen werden als Triebzüge bezeichnet. Der Triebzug unterscheidet sich vom Pendelzug dadurch, dass die Mittelwagen nicht als normale Reisezugwagen verwendet werden können. Allerdings werden Wendezüge heute oft im Regelbetrieb auch nicht mehr getrennt und nur noch in den Fahrzeugunterhaltungszentren umformiert. Andererseits umfassen manche Triebzüge keinen einzigen Triebwagen, wenn nämlich die Triebköpfe nichts ausser Führerstand und Antriebseinrichtungen enthalten und keine Achse der Fahrgastwagen angetrieben ist. Schliesslich gibt es Triebzüge, die betrieblich als untrennbare Einheiten behandelt und nummeriert sind, technisch aber durchaus als Einzelfahrzeuge Verwendung finden könnten (Wikipedia).
	Streckenlokomotiven	Die Streckenlokomotive ist eine Lokomotive, die zur Bespannung von Zugfahrten herangezogen wird.
	Rangierlokomotiven	Die Rangierlokomotive ist eine Lokomotive, die im Gegensatz zur Streckenlokomotive normalerweise nicht zur Bespannung von Zugfahrten herangezogen wird, sondern für Fahrten innerhalb eines Bahnhofs (Wikipedia).
	Triebwagen	Triebwagen sind angetriebene Schienenfahrzeuge (Triebfahrzeuge), die auch Platz für Fahrgäste oder Fracht bieten. Im Unterschied dazu bieten Lokomotiven, die zum Befördern angekuppelter Wagen dienen, mit Ausnahme der Gepäcklokomotiven keinen solchen separaten Raum für Beförderungen (Wikipedia).
	Reisezugwagen	Reisezugwagen oder Personenwagen sind Eisenbahnfahrzeuge, die durch Personen im Eisenbahnverkehr genutzt werden können – im Gegensatz zu Güterwagen (Wikipedia).
	Güterwagen	Güterwagen oder umgangssprachlich Güterwaggons sind Eisenbahnwagen, die dem Transport von Gütern dienen (Wikipedia).
	Sonstige Fahrzeuge	Sonstige Fahrzeuge sind alle anderen Fahrzeuge, die nicht in den oberen genannten Zugkategorien inbegriffen sind.








Kategorie	Einheit	Ebene 1		Ebene 2		
		Zug gesamt	Zug Akkumuliert	Zug pro Fahrzeug		
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	13 017	13 017			
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	0.00%	0.00%			
Treibstoff	Typ					
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	249		249		
Treibstoffverbrauch	l/100 km	0		0		
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	72 512		72 512		
Materialzusammensetzung						
Stahl	kg	379 244 990	379 244 990	29 135		
Aluminium		123 217 690	123 217 690	9 466		
Anderer Metalle		29 595 213	29 595 213	2 274		
Glas		15 927 725	15 927 725	1 224		
Plastik/Textilien		74 933 534	74 933 534	5 757		
Elektronik		297 009	297 009	23		
Batterien*		0	0	0		
Reifen/Gummi*		0	0	0		
Betriebsstoffe*		2 603 400	2 603 400	200		
Total			625 819 560	625 819 560	48 077	

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 3							
		Triebzüge	Streckenlokomotiven	Rangierlokomotiven	Triebwagen	Reisezugwagen	Güterwagen	Sonstige Fahrzeuge	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	530	999	334	780	2 925	7 024	425	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
Treibstoff	Typ	Elektrizität Strom-Mix SBB	Elektrizität Strom-Mix SBB	Elektrizität Strom-Mix SBB	Elektrizität Strom-Mix SBB	-	-	Elektrizität Strom-Mix SBB	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	1 525	912	912	912	0	0	1 180	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	0	0	0	0	0	0	0	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	72 512	72 512	72 512	72 512	72 512	72 512	72 512	
Materialzusammensetzung									
Stahl	kg	60 691	58 314	34 711	89 590	29 374	14 198	51 065	
Aluminium		179 163	6 060	3 607	7 859	2 577	723	5 306	
Anderer Metalle		11 175	7 722	4 597	6 641	2 177	0	6 763	
Glas		10 649	257	153	5 682	1 863	0	225	
Plastik/Textilien		86 222	7 305	4 348	10 216	3 350	0	6 397	
Elektronik		50	50	50	50	50	0	44	
Batterien*		0	0	0	0	0	0	0	
Reifen/Gummi*		0	0	0	0	0	0	0	
Betriebsstoffe*		200	200	200	200	200	200	200	
Total			348 151	79 908	47 665	120 238	39 590	15 122	70 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Triebzüge ⁴²	Streckenlokomotiven ⁴³	Rangierlokomotiven ⁴⁴
		
Triebwagen ⁴⁵	Reisezugwagen ⁴⁶	Güterwagen ⁴⁷
		
Sonstige Fahrzeuge ⁴⁸		
		

⁴² http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/triebzuege/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/1363775407621/Trie bzug.jpg

⁴³ http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/streckenlokomotiven/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/13637754 83780/Streckenlokomotive.jpg

⁴⁴ http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/rangierlokomotiven/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/136377555 5199/Rangierlokomotive.jpg

⁴⁵ http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/triebwagen/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/1364210604067/Trie bwagen_neu.jpg

⁴⁶ http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/reisezugwagen/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/1363965424918 /Reisezugwagen.jpg

⁴⁷ http://www.sbb.ch/content/sbb/de/desktop/sbb-konzern/ueber-die-sbb/zahlen-und-fak-ten/rollmaterial/gueterwagen/_jcr_content/contentPar/completeimage/image.spooler.completeimage.553.jpg/1363939099740/g ueterwagen.jpg

⁴⁸ <http://www.bahnbilder.de/bilder/thumbs/schweiz--rhaetische-bahn--sonstige-fahrzeuge-754615.jpg>

Schiff

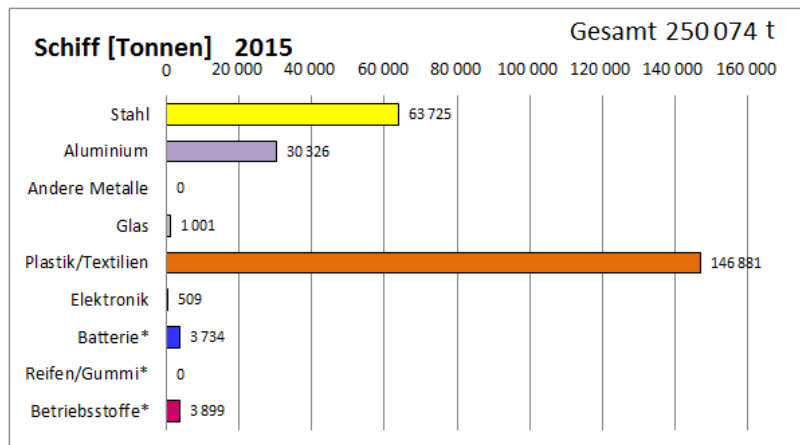
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Schiff	Öffentliche Personenschiffe	Ein Schiff ist ein Wasserfahrzeug oder ein anderer zur Fortbewegung auf oder unter der Wasseroberfläche bestimmter Schwimmkörper, oder ein schwimmendes Gerät. Schiffe mit Maschinenantrieb (Motorschiff) verfügen über einen mechanischen Antrieb. Öffentliche Personenschiffe sind Schiffe, die Konzessions- oder bewilligungspflichtige Personenbeförderungs-Dienstleistungen, die öffentlich zugänglich sind und einem räumlich-zeitlich definierten Schema (Fahrplan) folgen
	Private Personenschiffe (Motorboote)	Ein Motorboot als privates Personenschiff ist ein von einem oder mehreren Verbrennungsmotoren oder Elektromotoren angetriebenes Wasserfahrzeug. Es kann sowohl auf Binnen- als auch auf Küstengewässern eingesetzt werden (Wikipedia).
	Priv. Personenschiffe (Segelboote; Ruderboote, Pedalos usw.)	Ein Segelboot ist ein Schiff, das für die Fortbewegung mit Segeln versehen ist. Ruderboote sind Schiffe, die nur mittels Ruder, Tret- oder Handkurbel, Paddel oder auf ähnliche Weise mit menschlicher Kraft fortbewegt werden können. Schwimmende Geräte (Schwimmkörper mit Einrichtungen für Arbeiten auf dem Wasser) sind hier nicht betrachtet.
	Güterschiffe	Ein Güterschiff (auch Frachtschiff, oder kurz Frachter) ist ein Handelsschiff, das von der Konstruktion her ausschliesslich oder vorzugsweise zum Transport von Frachtgut vorgesehen ist (Wikipedia).
	Hochsee-Schiffe	Unter dem Begriff Schweizer Hochseeschiffahrt fasst man die Flotten zusammen, welche unter der Flagge des Binnenstaates Schweiz auf den Weltmeeren verkehren. Als Heimathafen für alle Schweizer Hochseeschiffe gilt Basel (Wikipedia). Diese Kategorie wird bei den Analysen nicht näher berücksichtigt, da Hochseeschiffe ausserhalb der Systemgrenze Schweiz verkehren.





Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2		
		Schiff gesamt	Schiff Akkumuliert	Schiff pro Fahrzeug	Schiff gesamt	Schiff pro Fahrzeug	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	98 660	98 660				
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	-0.24%	-0.24%				
Treibstoff	Typ						
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0			0		
Treibstoffverbrauch	l/100 km	134			134		
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	407			407		
Materialzusammensetzung							
Stahl	kg	63 724 906	63 724 906		646		
Aluminium		30 325 626	30 325 626		307		
Anderere Metalle		0	0		0		
Glas		1 000 680	1 000 680		10		
Plastik/Textilien		146 880 958	146 880 958		1 489		
Elektronik		509 140	509 140		5		
Batterie*		3 733 980	3 733 980		38		
Reifen/Gummi*		0	0		0		
Betriebsstoffe*		3 899 140	3 899 140		40		
Total			250 074 430	250 074 430		2 535	

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 3					
		Öff. Personenschiffe	Priv. Personenschiffe (Motorboote)	Priv. Personenschiffe ² (ohne Motor)	Güterschiffe	Hochsee-Schiffe	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	147	62 086	36 222	205	47	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	-0.53%	-0.20%	-0.20%	-11.79%	4.90%	
Treibstoff	Typ	"Diesel "	"Diesel "	-	"Diesel "	"Diesel "	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0	0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	319	34	0	1 119	14 881	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	15 646	500	100	15 646	0	
Materialzusammensetzung							
Stahl	kg	103 348	100	100	188 790	4 499 700	
Aluminium		29 528	150	155	53 940	1 499 900	
Anderere Metalle		0	0	0	0	0	
Glas		50	10	10	50	0	
Plastik/Textilien		14 764	1 600	1 100	26 970	749 950	
Elektronik		50	5	5	50	500	
Batterie*		60	60	0	0	0	
Reifen/Gummi*		0	0	0	0	0	
Betriebsstoffe*		200	50	20	200	749 950	
Total			148 000	1 975	1 390	270 000	7 500 000

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Öff. Personenschiffe ⁴⁹	Priv. Pers.schiffe (Motorboote) ⁵⁰	Priv. Pers.schiffe (ohne Motor) ⁵¹
		
Güterschiffe ⁵²		
		

⁴⁹ http://image.img-erento.com/personenschiff/personenschiff-ms-paretz-personenschiff-548-25422797_gallery.jpg

⁵⁰ http://image.img-erento.com/personenschiff/personenschiff-ms-paretz-personenschiff-548-25422797_gallery.jpg

⁵¹ <http://www.portier-yachts.com/img/portier-segelboot-moody-ac411024x0.jpg>

⁵² [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Henri-R_\(ship,_2002\)_003.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cc/Henri-R_(ship,_2002)_003.JPG)

Flug

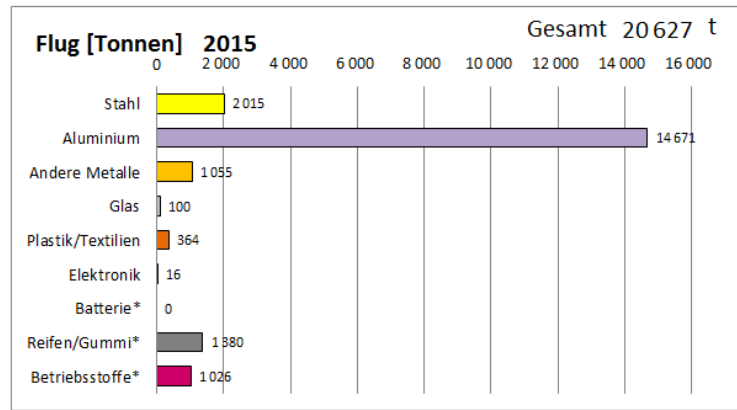
Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Flug	Flugzeuge (CH)	Ein Flugzeug ist ein Luftfahrzeug, das schwerer als Luft ist und den zum Fliegen nötigen dynamischen Auftrieb mit nicht-rotierenden Auftriebsflächen erzeugt (Wikipedia). Inländische Flugzeuge sind hier alle in der Schweiz registrierten Flugzeuge, ausgenommen die Swiss Flotte (die als internationale Flugzeuge gelten).
	Helikopters	Ein Helikopter ist ein senkrecht startendes und landendes Luftfahrzeug, das Motorkraft auf einen oder mehrere Rotoren für Auftrieb und Vortrieb überträgt. Diese arbeiten als sich drehende Tragflächen oder Flügel, weshalb Hubschrauber zu den Drehflüglern zählen (Wikipedia).
	Motorsegler	Motorsegler (auch Motorsegelflugzeuge) sind Flugzeuge, denen grundsätzlich alternativ die Betriebsarten Motorflug und Segelflug möglich sind. Sie stellen in der Schweiz eine eigene Luftfahrzeugklasse dar. Motorsegler lassen sich unterscheiden in Reisemotorsegler (engl. Touring Motor Glider) und Segelflugzeuge mit Hilfsmotor (Wikipedia).
	Segelflugzeuge	Ein Segelflugzeug ist ein für den Segelflug konstruiertes Luftfahrzeug. Das motorlose Fliegen bedeutet abwechselnd Steigen im Aufwind und Gleiten mit geringem Höhenverlust.
	Freiballone	Ein Freiballon ist ein freifliegender Ballon. Er muss als Gasballon mit einem Traggas, das leichter als Luft ist, gefüllt werden oder als Heissluftballon ausgeführt sein. Freiballone werden zusammen mit Fesselballonen (welche durch eine Leine eine ständige Verbindung zum Boden haben) in Deutschland luftrechtlich als eigene Luftfahrzeugklasse angesehen (Wikipedia).
	Luftschiffe	Ein Luftschiff ist ein lenkbares Luftfahrzeug, dessen Auftrieb auf aerostatischen Kräften beruht und das über eine eigene Antriebseinheit verfügt. Das Haupteinsatzgebiet heutiger Luftschiffe sind touristische Rundfahrten, Luftwerbung, Überwachungsaufgaben und vereinzelt auch Forschungsaufgaben (Wikipedia).
	Flugzeuge (International)	Als internationale Flugzeuge wird hier die Swiss Flotte betrachtet, welche national und international eingesetzt wird.








Kategorie	Einheit	Ebene 1		Ebene 2		
		Flug gesamt	Flug Akkumuliert	Flug pro Fahrzeug		
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	3 494	3 494			
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	-1.17%	-1.17%			
Treibstoff	Typ					
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0		0		
Treibstoffverbrauch	l/100 km	416		416		
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	107 941		107 941		
Materialzusammensetzung						
Stahl	kg	2 014 674	2 014 674	577		
Aluminium		14 670 873	14 670 873	4 199		
Andere Metalle		1 055 147	1 055 147	302		
Glas		99 890	99 890	29		
Plastik/Textilien		364 378	364 378	104		
Elektronik		16 095	16 095	5		
Batterie*		0	0	0		
Reifen/Gummi*		1 379 574	1 379 574	395		
Betriebsstoffe*		1 026 150	1 026 150	294		
Total			20 626 782	20 626 782	5 903	

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt

Kategorie	Einheit	Ebene 3							
		Flugzeuge (CH)	Helikopter	Motorsegler	Segelflugzeuge	Freiballone	Luftschiffe	Flugzeuge (International)	
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	1 767	326	253	696	358	11	83	
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	-0.67%	-0.06%	0.16%	-3.32%	-1.24%	4.10%	-0.67%	
Treibstoff	Typ	Kerosene = Diesel	Kerosene = Diesel	Kerosene = Diesel	-	Kerosene = Diesel	Kerosene = Diesel	Kerosene = Diesel	
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	0	0	0	0	0	0	0	
Treibstoffverbrauch	l/100 km	50	100	10	0	0	20	642	
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	70 000	20 000	10 000	10 000	10 000	10 000	2 816 345	
Materialzusammensetzung									
Stahl	kg	557	250	45	45	35	805	10 671	
Aluminium		4 576	1 500	230	230	200	4 485	69 361	
Andere Metalle		322	70	15	15	10	230	5 335	
Glas		30	30	30	30	0	30	100	
Plastik/Textilien		62	50	10	10	15	230	2 668	
Elektronik		5	5	5	5	0	5	10	
Batterie*		0	0	0	0	0	0	0	
Reifen/Gummi*		132	0	100	0	0	0	13 500	
Betriebsstoffe*		500	200	100	10	10	10	500	
Total			6 184	2 105	535	345	270	5 795	102 145

* Batterien (ausser für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeugs ersetzt



Flugzeuge (CH) ⁵³	Helikopter ⁵⁴	Motorsegler ⁵⁵
		
Segelflugzeuge ⁵⁶	Freiballone ⁵⁷	Luftschiffe ⁵⁸
		
Flugzeuge (International) ⁵⁹		
		

⁵³ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Cessna.182j.g-atpt.arp.jpg>

⁵⁴ https://www.schweizerbauer.ch/images/37279_1.jpg

⁵⁵ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Grob.g109b.glider.arp.jpg>

⁵⁶ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/DG1000_glider_crop.jpg

⁵⁷ <http://www.ballonteam-sauerland.de/images/D-OFJH-1.jpg>

⁵⁸ <https://www.ballonreisen.ch/photos/18e7f0c1f3.jpg>

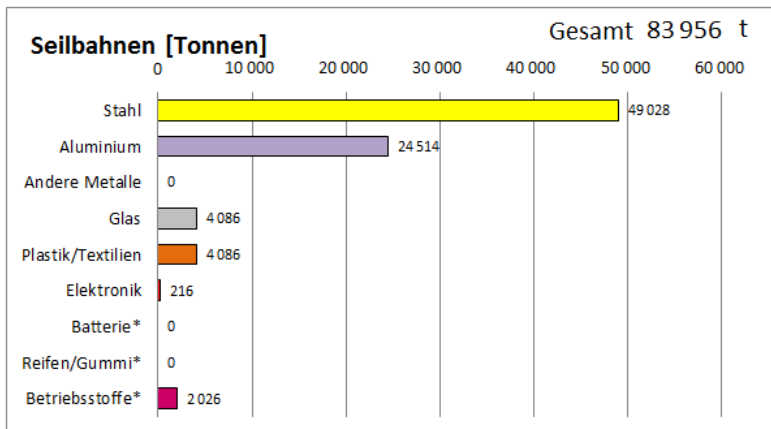
⁵⁹ <http://www.postmedien.ch/wp-content/uploads/2014/07/newsswissa330.jpg>

Seilbahnen

Kategorie Ebene 1	Kategorie Ebene 3	Erläuterungen
Seilbahnen	Zahnradbahnen	Zahnradbahnen: Schienengebundene Fahrzeuge auf Bahnanlage auf denen öffentlicher Personenverkehr oder Güterverkehr betrieben wird und die einen Zahnradanteil von mindestens 50% aufweisen."
	Luftseilbahnen	Eine Luftseilbahn (veraltet und technisch ungenau auch als Seilschwebebahn bezeichnet) ist eine Seilbahn, deren Fahrbetriebsmittel (Kabinen, Gondeln, Sessel, Materialkörbe, Kübel, Loren, Hunte, Seilrutschen) ohne feste Führungen von einem oder mehreren Seilen – in der Regel Drahtseilen – getragen in der Luft hängend bewegt werden. Sie kann zur Beförderung von Personen, Tieren oder Gütern dienen (Wikipedia).
	Standseilbahnen	Eine Standseilbahn ist ein zu den Seilbahnen gehörendes schienengebundenes Verkehrsmittel, dessen Fahrbetriebsmittel auf Schienen oder anderen festen Führungen fahren und durch ein oder mehrere Seile bewegt werden. Mit diesem Verkehrsmittel können auf kurzer Strecke beträchtliche Höhenunterschiede überwunden werden (Wikipedia).

Kategorie	Einheit	Ebene 1			Ebene 2		Ebene 3		
		Seilbahnen gesamt	Seilbahnen Akkumuliert	Seilbahnen pro Fahrzeug	Zahnradbahnen	Luftseilbahnen	Standseilbahnen		
Anzahl in den Fahrzeugkategorien	Anzahl Fahrzeuge 2015	40 512	40 512		202	40 208	102		
% Jahreswachstum Fahrzeugbestand	% Fahrzeugbestand	0.00%	0.00%		0.00%	0.00%	0.00%		
Treibstoff	Typ				Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH	Elektrizität Strom-Mix CH		
Elektritätsverbrauch	kWh/100 km	14		14	1 170	8	1 170		
Treibstoffverbrauch	l/100 km	0		0	0	0	0		
Gesamte Fahrleistung pro Fahrzeug / a	km/a Fahrzeug	29 925		29 925	20 000	30 000	20 000		
Materialzusammensetzung									
Stahl	kg	49 028 496	49 028 496	1 210	8 940	1 167	2 940		
Aluminium		24 514 248	24 514 248	605	4 470	584	1 470		
Andere Metalle		0	0	0	0	0	0		
Glas		4 085 708	4 085 708	101	745	97	245		
Plastik/Textilien		4 085 708	4 085 708	101	745	97	245		
Elektronik		216 240	216 240	5	50	5	50		
Batterie*		0	0	0	0	0	0		
Reifen/Gummi*		0	0	0	0	0	0		
Betriebsstoffe*		2 025 600	2 025 600	50	50	50	50		
Total			83 956 000	83 956 000	2 072	15 000	2 000	5 000	

* Batterien (außer für e-Fahrzeuge) werden 3x Mal, Reifen 4x und Betriebsstoffe etwa 5x Mal im Leben des Fahrzeuges ersetzt



Zahnradbahnen ⁶⁰	Luftseilbahnen ⁶¹	Standseilbahnen ⁶²
		

⁶⁰ <http://www.dieweltenbummler.de/wp-content/uploads/2015/07/Rote-Zahnradbahn.jpg>

⁶¹ <http://www.bahnbilder.de/bilder/die-luftseilbahn-zur-pilatus-kulm-126882.jpg>

⁶² https://www.google.ch/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKewipit-T88ffMAhWEOBQKHdBTcQjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fhttp://www.bergbahnen.org/images/seilbahnarten/ssb_modern.jpg

A V Umweltbelastungen: Zusammenstellung der Materialkategorien ('Rezept') und Verlinkung mit Daten aus Ecoinvent v.3.2

MatCH-Kategorien	Anteil	Ecoinvent v 3.2 "Market for"	Bezug	Treibhaus-effekt [kg CO2-eq]	Gesamter Energiebedarf n.e. [MJ]	Gesamt-Umweltbelastung [UBP]
Stahl	90.00%	reinforcing steel//[GLO] market for reinforcing steel	kg	2.37	25.60	4 492
	10.00%	steel, low-alloyed//[GLO] market for steel, low-alloyed	kg	1.83	19.94	4 395
	100.00%			2.32	25.03	4 482
Aluminium	50.00%	aluminium, cast alloy//[GLO] market for aluminium, cast alloy	kg	4.65	43.88	9 452
	50.00%	aluminium, wrought alloy//[GLO] market for aluminium, wrought alloy	kg	19.64	177.35	20 695
	100.00%			12.14	110.62	15 074
Andere Metalle	51.72%	zinc//[GLO] market for zinc	kg	4.87	50.80	111 131
	22.99%	chromium//[GLO] market for chromium	kg	32.11	418.43	54 838
	17.24%	copper//[GLO] market for copper	kg	3.81	42.93	83 459
	8.05%	nickel, 99.5%//[GLO] market for nickel, 99.5%	kg	11.46	129.23	80 617
	0.01%	platinum//[GLO] market for platinum	kg	29 287.83	355 410.10	220 319 590
	0.00%	palladium//[GLO] market for palladium	kg	5 246.95	68 438.86	57 564 434
	100.00%			14.26	174.11	112 203
Glas	100.00%	flat glass, uncoated//[GLO] market for flat glass, uncoated	kg	1.05	12.49	1 136
	100.00%			1.05	12.49	1 136
Plastik/Textilien	61.08%	polyethylene, high density, granulate//[GLO] market for polyethylene, high density, granulate	kg	2.13	77.67	1 651
	29.34%	polypropylene, granulate//[GLO] market for polypropylene, granulate	kg	2.14	75.91	1 673
	9.58%	polyvinylchloride, bulk polymerised//[GLO] market for polyvinylchloride, bulk polymerised	kg	2.17	62.18	3 047
	100.00%			2.14	75.67	1 791
Elektronik	30.00%	computer, laptop//[GLO] market for computer, laptop	kg	45.88	537.63	99 571
	25.00%	cable, unspecified//[GLO] market for cable, unspecified	kg	3.86	63.33	58 649
	20.00%	cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs//[GLO] market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs	kg	11.49	176.96	101 104
	15.00%	copper//[GLO] market for copper	kg	3.81	42.93	83 459
	10.00%	printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free//[GLO] market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free	kg	248.42	3 173.89	642 242
	100.00%			42.44	536.34	141 497
E-Batterie	80.00%	battery, Li-ion, rechargeable, prismatic//[GLO] battery production, Li-ion, rechargeable, prismatic	kg	8.38	111.83	58 455
	20.00%	battery, NiMH, rechargeable, prismatic//[GLO] battery production, NiMH, rechargeable, prismatic	kg	21.00	244.91	56 183
	100.00%			10.90	138.45	58 001
Batterie	76.47%	lead//[GLO] market for lead	kg	1.27	13.43	44 467
	11.76%	polypropylene, granulate//[GLO] market for polypropylene, granulate	kg	2.14	75.91	1 673
	11.76%	sulfuric acid//[GLO] market for sulfuric acid	kg	0.17	6.60	819
	100.00%			1.24	19.97	34 297
Reifen/Gummi	90.00%	synthetic rubber//[GLO] market for synthetic rubber	kg	3.04	90.03	4 368
	10.00%	steel, low-alloyed//[GLO] market for steel, low-alloyed	kg	1.83	19.94	4 395
	100.00%			2.92	83.02	4 371
Betriebsstoffe und Farbe	5.75%	ethylene, average//[GLO] market for ethylene, average	kg	1.45	66.77	1 107
	47.93%	lubricating oil//[GLO] market for lubricating oil	kg	1.17	82.37	2 216
	38.34%	ethylene glycol//[GLO] market for ethylene glycol	kg	1.96	52.59	1 995
	7.98%	alkyd paint, white, without water, in 60% solution state//[GLO] market for alkyd paint, white, without water, in 60% solution state	kg	6.20	81.67	13 994
	100.00%			1.89	70.00	3 007
Gesamte Gewicht						
Elektrizität SBB	100.00%	electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways//[CH] market for electricity, high voltage, for Swiss Federal Railways	kWh	0.01	3.95	112
	100.00%			0.01	3.95	112
Elektrizität andere	100.00%	electricity, low voltage//[CH] market for electricity, low voltage	kWh	0.10	8.88	278
	100.00%			0.10	8.88	278
Treibstoff Benzin verbrannt	100.00%	1 km *MatCH* Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 (RER) transport, passenger car, medium size, petrol,	kg	4.16	62.40	3 313
	100.00%			4.16	62.40	3 313
Treibstoff Diesel verbrannt	100.00%	5.79 tkm *MatCH* Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUROS (RER) transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUROS	kg	3.78	57.73	4 008
	100.00%			3.78	57.73	4 008
Treibstoff Benzin	100.00%	petrol, low-sulfur//[CH] market for petrol, low-sulfur	kg	0.83	60.85	1 440
	100.00%			0.83	60.85	1 440
Treibstoff Diesel	100.00%	diesel, low-sulfur//[CH] market for diesel, low-sulfur	kg	0.42	50.91	963
	100.00%			0.42	50.91	963

Tabelle A-5: Materialkategorien MatCH und prozentuale Zuweisung von Materialien aus der Datenbank Ecoinvent v.3.2 ('Rezept') mit den resultierenden Umweltauswirkungen.

