

2016

Projekt MatCH - Bau

Material- und Energieressourcen sowie Umweltauswirkungen der baulichen Infrastruktur der Schweiz



Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Abfall und Rohstoffe
3003 Bern

Begleitung BAFU

Bernhard Hammer, Michel Monteil

Auftragnehmer

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

Autoren

Marcel Gauch, Cecilia Matasci, Ingrid Hincapié, Raphael Hörler, 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 Projekt MatCH die Materialströme in die schweizerische Volkswirtschaft auf Stufe einzelner Konsumbereiche ausgewertet und 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 baulichen Infrastruktur der Schweiz deckt den kompletten Hoch- und Tiefbau ab. Zum Tiefbau gehören die Strassen- und Bahninfrastruktur sowie die Bauten zur Ent- und Versorgung (z.B. Kanalisation, Stromnetz).

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

Für den Lagerzufluss, das Lager „Bauwerk Schweiz“, den Lagerabfluss und die Entsorgung wurde jeweils ein Ansatz zur Berechnung der Materialflüsse erstellt. Die Materialflüsse erhalten das Bauwerk Schweiz (abhängig von der Lebens- bzw. Nutzungsdauer der Materialien) und erweitern/verkleinern es abhängig von der konjunkturellen Situation.

Zusammensetzung des Bauwerks Schweiz

Bei der Festlegung der momentan verbauten Materialien im Bauwerk Schweiz (Startwert für die Modellierung der Lagermenge) wurde auf aktuelle Studien für den Hochbau (Wüest & Partner 2015) und für den Tiefbau (Rubli 2016; Rubli und Jungbluth 2005) zurückgegriffen.

Für die Abschätzung der Veränderung des Bauwerks Schweiz über die Zeit dient ein Ansatz, welcher das Wachstum in die Fläche (Arealstatistik), in die Höhe (verdichtetes Bauen) und die Veränderung der Baumaterialien kombiniert. Mit den berechneten Wachstumsraten pro Materialkategorie lässt sich die Masse und Zusammensetzung des Bauwerks Schweiz zeitlich extrapolieren. Über beschränkte Zeithorizonte kann mit plausiblen Resultaten gerechnet werden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Auswertung der Zusammensetzung des Bauwerks Schweiz für das Jahr 2015, jeweils pro Materialkategorie und pro Bauwerk-Kategorie.

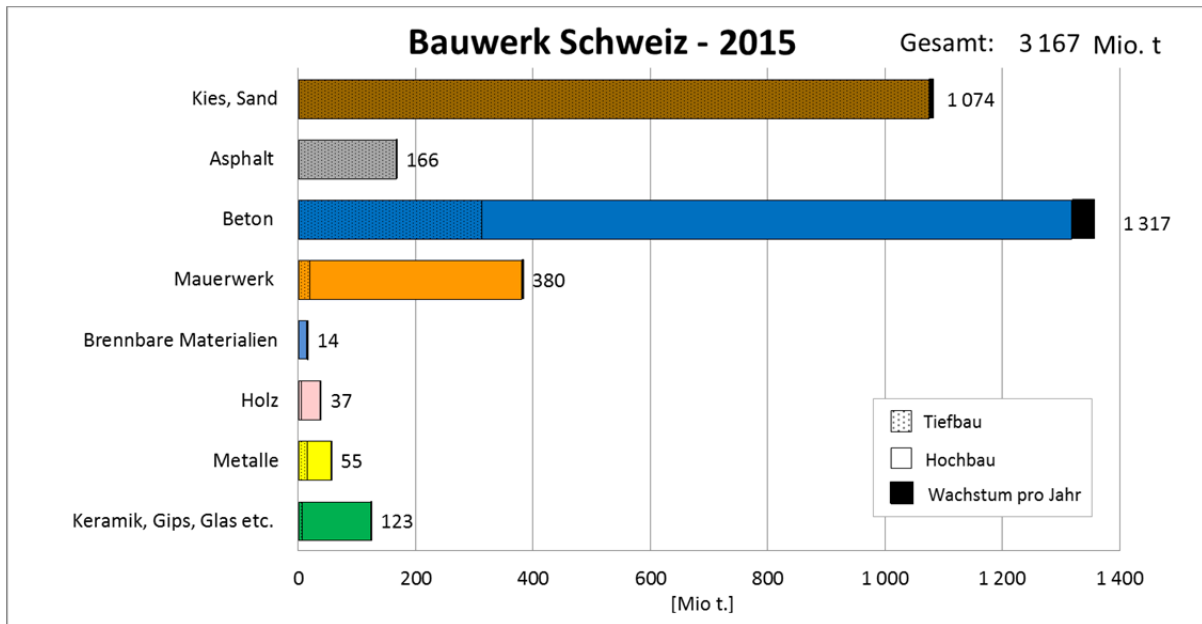


Abbildung: Lagermengen im Bauwerk Schweiz 2015 dargestellt pro Materialkategorie und differenziert nach Tiefbau (gepunktete Schraffur) und Hochbau. Gesamtmasse 3 167 Mio. Tonnen.

Mit zusammen ca. 2 400 Mio. Tonnen von total 3 167 Mio. Tonnen dominieren die beiden Kategorien Beton sowie Kies/Sand zu 75%.

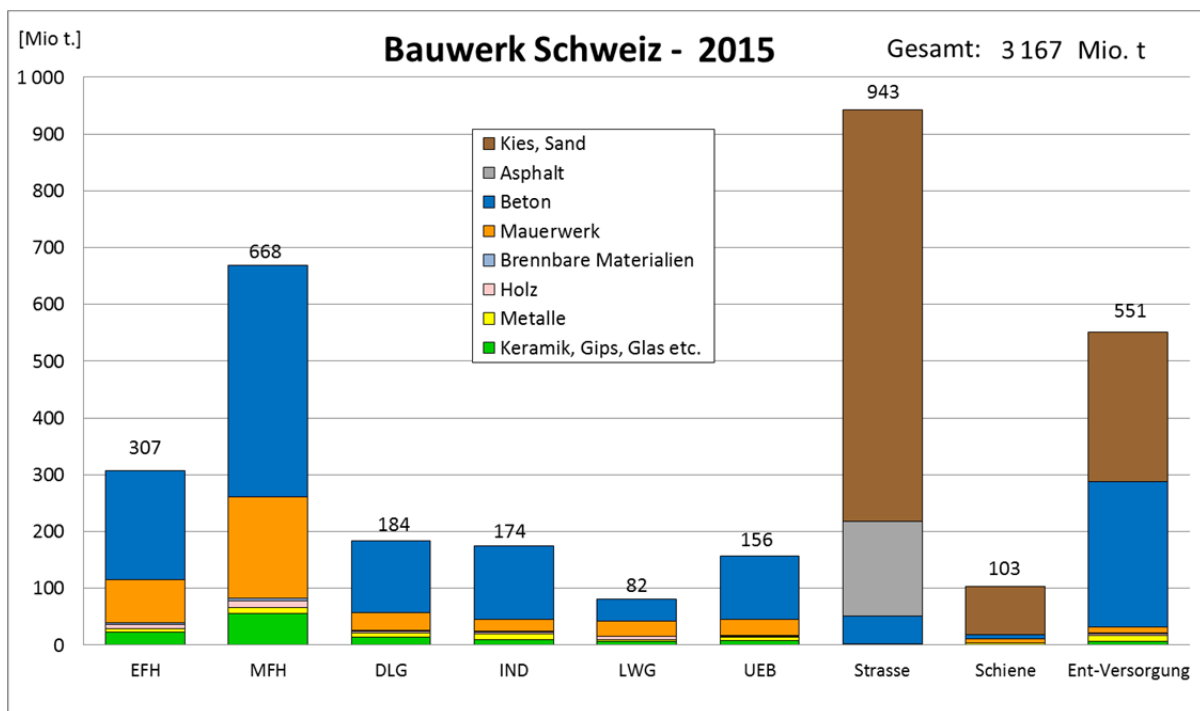


Abbildung: Lagermengen im Bauwerk Schweiz 2015 dargestellt pro Bauwerk-Kategorie sowie Materialanteilen. Gleiche Gesamtmasse wie obige Abbildung.

Das Massenverhältnis zwischen Hochbau und Tiefbau beträgt fast genau 50%/50% (je ca. 1 600 Mio. Tonnen). In den Hochbaukategorien dominiert Beton, in den Tiefbaukategorien Kies und Sand.

Materialflussrechnung für das Bauwerk Schweiz

Nebst den Materialmengen wurde berücksichtigt, welche Energiemengen nötig sind, um das Bauwerk Schweiz zu betreiben. Die Zahlen für die Energiemengen stammen aus der Gesamtenergiestatistik für die Schweiz (BFE 2016) und wurden umgerechnet in Tonnen Öl-Äquivalente. Dies ermöglicht eine gemeinsame Darstellung von Baumaterialien und Energie als Massenflüsse so wie in untenstehender Abbildung als Flussdiagramm für das Jahr 2015 dargestellt.

Materialflussrechnung Schweiz - MatCH

Einheit: [Mio. t/a]

Energie	Elektrizität * [Mio. toe/a]	1.72
	Brennstoff * [Mio toe/a]	5.69

Primärzufluss: 56.05	Kies, Sand	6.33
	Asphalt	1.31
	Beton	39.79
	Mauerwerk	2.90
	Brennbare Materialien	0.32
	Holz	0.86
	Metalle	1.39
	Keramik, Gips, Glas etc.	3.15

Jahr 2015

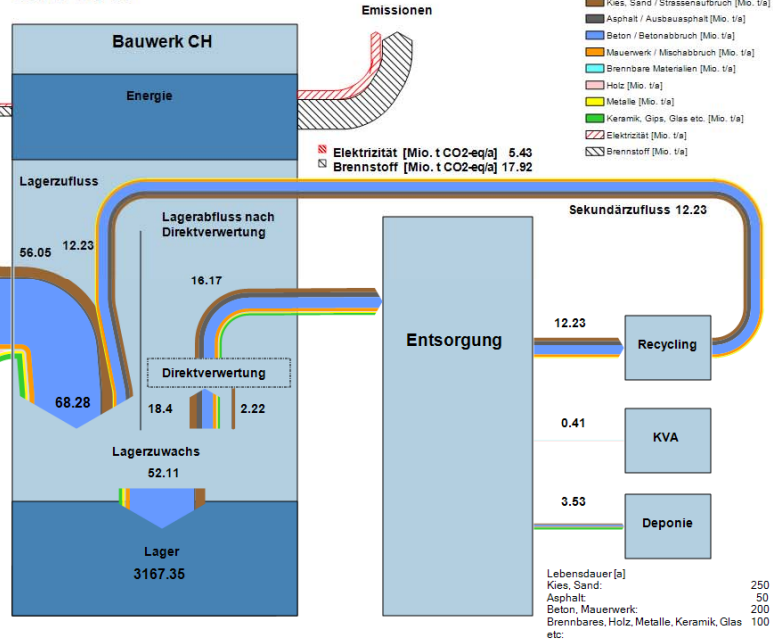


Abbildung: Übersicht der Material- und Energieflüsse im Bauwerk Schweiz 2015. Energieflüsse werden dargestellt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase.

Gesamthaft fließen jährlich ca. 56.05 Mio. Tonnen an Material und 7.41 Mio. Tonnen an Energie (ausgedrückt in Öl-Äquivalenten) in das Bauwerk Schweiz. Mit jährlich 39.79 Mio. Tonnen ist Beton mit Abstand das bedeutendste Baumaterial.

Die 5.69 Mio. Tonnen Öl-Äquivalente an Brennstoffzufluss pro Jahr (nur Nutzung, ohne Berücksichtigung des Mehraufwandes für die Bereitstellung) verursachen bei der Anwendung (Verbrennung) Emissionen in der Höhe von 17.92 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten.

Die Produktion von Elektrizität zur Deckung des Bedarfs des Bauwerks Schweiz (1.72 Mio. Tonnen Öl-Äquivalente pro Jahr, umgerechnet aus dem Schweizer Strommix) führt zu Emissionen von 5.43 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten.

Umweltauswirkungen durch den Material- und Energiebedarf

Die Massenflüsse wurden mit einer leicht vereinfachten Ökobilanz auf ihre Umweltrelevanz hin untersucht. Betrachtet man nicht nur die Massenflüsse, sondern den damit verbundenen ökologischen Rucksack (Treibhauseffekt, nicht erneuerbarer gesamter Energiebedarf, gesamte Umweltbelastung), ergibt sich die Erkenntnis, dass aus der Energieversorgung des Bauwerks Schweiz (zum Heizen, Kühlen, Lüften, Beleuchten, Betreiben von Prozessen) aktuell grössere Umweltauswirkungen resultieren, als aus den Massenflüssen durch die Baumaterialien.

2015	Materialfluss		Treibhauseffekt		Gesamter Energiebedarf **		Gesamt-Umweltbelastung	
	Mio. t/a	Prozentsatz	Mio. t. CO ₂ -eq/a	Prozentsatz	TJ/a	Prozentsatz	Mio. UBP/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	1.72	3%	5.43	15%	489 367	52%	15 341 076	27%
Brennstoff (toe) *	5.69	9%	20.84	56%	328 109	35%	16 057 456	28%
Kies, Sand	6.33	10%	0.16	0%	2 226	0%	523 331	1%
Asphalt	1.31	2%	0.38	1%	8 470	1%	446 130	1%
Beton	39.79	63%	3.15	8%	22 350	2%	3 672 565	6%
Mauerwerk	2.90	5%	0.89	2%	7 589	1%	809 784	1%
Brennbare Materialien	0.32	1%	0.77	2%	14 302	2%	857 379	2%
Holz	0.86	1%	0.32	1%	4 614	0%	677 671	1%
Metalle	1.39	2%	3.94	11%	43 021	5%	16 424 108	29%
Keramik, Gips, Glas etc.	3.15	5%	1.41	4%	16 978	2%	1 731 122	3%
Total Energie	7.41	12%	26.27	70%	817 476	87%	31 398 532	56%
Total Baumaterialien	56.05	88%	11.01	30%	119 550	13%	25 142 090	44%
Total Bauwerk Schweiz	63.46	100%	37.28	100%	937 026	100%	56 540 622	100%

** Nicht erneuerbar

Tabelle: Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in das Bauwerk Schweiz 2015 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen. Der gesamte Energiebedarf bezeichnet den akkumulierten nicht erneuerbaren Energieaufwand im Lebensweg der Materialien und Energieträger in Zusammenhang mit deren Herstellung und Nutzung. * Elektrizität und Brennstoffe in der Nutzungsphase. toe: Tonnen Öl-Äquivalente.

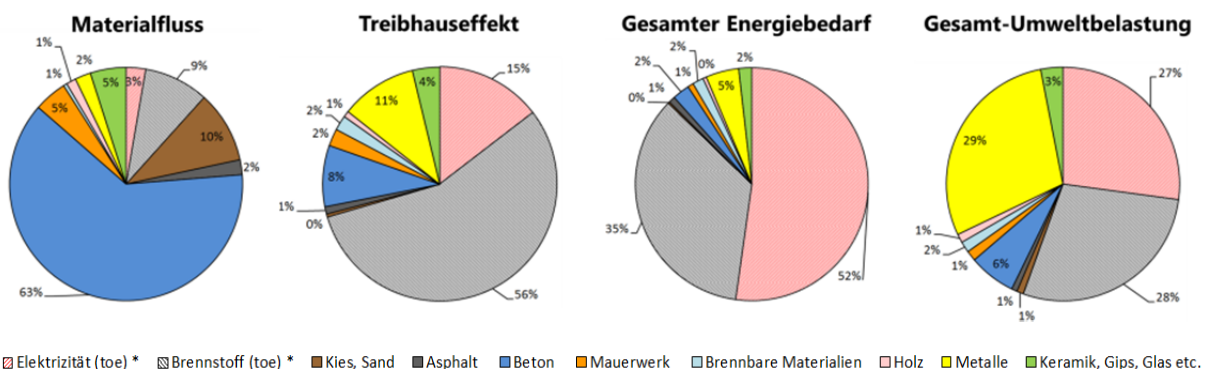


Abbildung: Visualisierung der Anteile verschiedener Materialien am Materialfluss bzw. den daraus entstehenden Umweltauswirkungen in drei Kategorien.

Die Ergebnisse zeigen dass ein hoher Materialfluss nicht notwendigerweise auch hohe Auswirkungen auf die Umwelt bewirkt:

- Der gesamte Materialfluss beträgt 63.46 Mio. Tonnen. Davon entfallen 12% auf Energie (7.41 Mio. Tonnen Öl-Äquivalente) und 88% (56.05 Mio. Tonnen) auf Baumaterialien.
- Beim CO₂-Rucksack (Treibhauseffekt) mit total 37.28 Mio. Tonnen CO₂-äq. kehren sich die Verhältnisse deutlich um mit 70% (26.27 Mio. Tonnen CO₂-äq.) der verursachten Treibhausgase durch Energie und 30% (11.01 Mio. Tonnen CO₂-äq.) durch Baumaterialien.
- Beim (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf ist mit 0.94 Mio. TJ/a die Situation noch ausgeprägter mit 87% (0.82 Mio. TJ/a) bedingt durch Energiebezug und 13% (0.12 Mio. TJ/a) durch die Baumaterialien.
- Die Gesamt-Umweltbelastung (der Ökologische Rucksack) im Baubereich beträgt 57 Bio. Umweltbelastungspunkte pro Jahr, wovon 56% (31 Bio. UBP) durch den Energieverbrauch und 44% (25 Bio. UBP) durch den Einsatz von Baumaterialien verursacht werden.

In der Studie wurden die Resultate der MatCH-Modellierung mit Daten aus Vergleichsstudien in graphischen Darstellungen verglichen. Dabei zeigten sich trotz einfacher Modellannahmen gute Übereinstimmungen.

Inhalt

Verzeichnis der Abbildungen	8
Verzeichnis der Tabellen	10
Begriffe	12
Abkürzungen	15
1 Einleitung	16
1.1 Motivation und Zielsetzung	16
1.2 Umsetzungskonzept	17
1.3 Datengrundlagen	18
1.4 Darstellung der Resultate	19
2 Grundlagen	20
2.1 Systemaufbau	20
2.2 Kategorisierung des Bauwerks.....	21
2.3 Umweltauswirkungen.....	25
3 Methodischer Ansatz	28
3.1 Massenflüsse.....	28
3.2 Lagermenge	29
3.3 Lagerzuwachs	30
3.4 Lagerabfluss	33
3.5 Fluss in die Entsorgung.....	35
3.6 Entsorgungsprozess und Aufbereitung zu Sekundärmaterial	36
3.7 Primärzufluss.....	39
3.8 Lagerzufluss.....	41
3.9 Energiefluss	41
4 Resultate	47
4.1 Zusammensetzung des Lagers 2015	47
4.2 Modellierung der Materialflüsse 2015	48
4.3 Vergleich der Materialflüsse mit anderen Quellen.....	49
4.4 Modellierung der Umweltbelastungen 2015.....	55
4.5 Diskussion: Materialflüsse und Umweltbelastungen	60
5 Schlussfolgerungen und Ausblick	63
5.1 Modellierung	63
5.2 Verbesserung der Datengrundlagen	64
5.3 Modellierung von Zukunftsszenarien.....	64
6 Literaturverzeichnis	65
Anhang	67
A I Datenvergleich mit Bundesamt für Statistik	68
A II Datenvergleich mit anderen Quellen	71
A III Datenvergleich mit BAFU	74
A IV Datenvergleich mit Deutschland.....	75
A V Umweltbelastungen: Zusammenstellung der Materialkategorien ('Rezept') und Verlinkung mit Daten aus Ecoinvent v.3.2	78

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1-1:	Schematische Darstellung des Umsetzungskonzeptes, Materialfluss Schweiz.....	17
Abbildung 1-2:	Zusammenstellung der Hauptpublikationen und Erhebungen im Bauwesen Schweiz mit Darstellung der gegenseitigen Verknüpfungen	18
Abbildung 2-1:	Schematische Darstellung der Materialflüsse im Bauwerk Schweiz.....	20
Abbildung 2-2:	Übersicht der in dieser Studie verwendeten Gebäude-, Infrastruktur- und Material-kategorien. EFH: Einfamilienhäuser, MFH: Mehrfamilienhäuser, DLG: Dienstleistungsgebäude, IND: Industriegebäude, LWG: Landwirtschaftsgebäude, UEB: Übrige Gebäude.....	21
Abbildung 2-3:	Schematische Darstellung des Berechnungsprinzips für die Umweltauswirkungen	26
Abbildung 3-1:	Methodischer Ansatz MatCH und Massenflüsse	28
Abbildung 3-2:	Startwerte für Materialien pro Bauwerkskategorie	30
Abbildung 3-3:	Detaillierte Darstellung der Aufteilung der Materialien im Entsorgungsprozess (in % der verschiedenen Materialien).....	37
Abbildung 3-4:	Aufteilung der entsorgten Materialien auf Recycling, KVA und Deponie.....	37
Abbildung 3-5:	Energieflussdiagramm der Schweiz im Jahr 2015 (in TJ), Originalgrafik aus der Gesamtenergiestatistik des Bundes (BFE 2016).....	42
Abbildung 4-1:	Lagermengen im Bauwerk Schweiz 2015 pro Materialkategorie	47
Abbildung 4-2:	Materialfluss im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse und des Lagerbestands ist in Tabelle 4-1 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (toe: Tonnen Öl-Äquivalente)	48
Abbildung 4-3:	Vergleich Gesamtmengen mit anderen Studien.....	50
Abbildung 4-4:	Vergleich Kies-, Sandfluss mit anderen Studien.....	50
Abbildung 4-5:	Vergleich Asphaltfluss mit anderen Studien.....	51
Abbildung 4-6:	Vergleich Betonfluss mit anderen Studien	51
Abbildung 4-7:	Vergleich Mauerwerkfluss mit anderen Studien	52
Abbildung 4-8:	Vergleich Fluss brennbarer Materialien mit anderen Studien	52
Abbildung 4-9:	Vergleich Holzfluss mit anderen Studien.....	53
Abbildung 4-10:	Vergleich Metallfluss mit anderen Studien	53
Abbildung 4-11:	Vergleich mineralischer Materialfluss mit anderen Studien.....	54
Abbildung 4-12:	Treibhauseffekt (t CO ₂ -eq) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-3 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).	56
Abbildung 4-13:	Gesamter Energiebedarf (TJ, inklusive Graue Energie) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-4 zu finden. * Nur Energie in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).	57
Abbildung 4-14:	Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-5 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).	58
Abbildung 4-15:	Anteile der Materialflüsse und damit verbundenen Umweltauswirkungen für das Jahr 2015	60
Abbildung A-1:	Visualisierung der Zuteilung von STAT-TAB Kategorien auf MatCH Kategorien	69
Abbildung A-2:	Vergleich Betonmengen FSKB mit MatCH 2004 - 2013.....	71
Abbildung A-3:	Schichten einer Asphaltstrasse (Wikipedia 2014).....	72
Abbildung A-4:	Zuweisung der Kategorien aus dem Treibhausgasinventar des BAFU (BAFU 2016b) zu MatCH-Kategorien.....	74
Abbildung A-5:	Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (UBA 2015).....	75

Abbildung A-6:	Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des mehrschichtigen Stoffflussmodells (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen (Mio. t) (UBA 2015).....	75
Abbildung A-7:	Link zwischen dem KBOB Bauteilkatalog und Daten gemäss Ecoinvent v.3.2 für den Primärzufluss. In orange: inländische Prozesse, in grün: Proxys, in grau: von m ² oder m ³ in kg umgerechnete Werte.	78

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2-1:	Bauwerkategorien, adaptiert nach (Rubli und Schneider 2007).....	22
Tabelle 2-2:	Materialkategorien nach (Rubli und Schneider 2007).....	23
Tabelle 2-3:	Energiekategorien.....	24
Tabelle 2-4:	Kategorien der Umweltauswirkungen.....	25
Tabelle 3-1:	Lager 2013 „Startwert“.....	29
Tabelle 3-2:	Modellansatz Wachstumsrate pro Material- und Energiekategorie. * Nur Energie in der Nutzungsphase.....	31
Tabelle 3-3:	Modellansatz Lagerabfluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015).....	34
Tabelle 3-4:	Modellansatz Lagerabfluss nach Direktverwertung (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase.....	35
Tabelle 3-5:	Anteile (%) der Materialmengen welche in die drei Entsorgungsprozesse Recycling, KVA und Deponie ein- und ausfliessen. Fett: Zusammengefasste Netto-Werte.....	36
Tabelle 3-6:	Modellansatz Entsorgung (Beispielrechnung für das Jahr 2015).....	38
Tabelle 3-7:	Modellansatz Sekundärzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015).....	39
Tabelle 3-8:	Modellansatz Primärzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase.....	40
Tabelle 3-9:	Modellansatz Lagerzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase. (toe: Tonnen Öl-Äquivalente).....	41
Tabelle 3-10:	Energiebilanz der Schweiz für das Jahr 2015 (in TJ) aus der Gesamtenergiestatistik (BFE 2016) und Emissionsfaktoren gemäss (BAFU 2016c).....	43
Tabelle 3-11:	Treibhausgasbilanz. Ergebnis der Multiplikation der Energiemengen aus der Gesamtenergiestatistik mit den Emissionsfaktoren aus (BAFU 2016c).....	44
Tabelle 3-12:	Massenbilanz ausgedrückt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe). Ergebnis der Division der Treibhausgasemissionen mit dem Emissionsfaktor für Erdöl.....	44
Tabelle 3-13:	Vergleich der Treibhausgasemissionen zusammengefasst aus Tabelle 3-11 mit dem Treibhausgasinventar der Schweiz (BAFU 2016b).....	45
Tabelle 3-14:	Berechnung der Umweltauswirkungen für die Bereitstellung von Brennstoffen und Elektrizität (Energiebilanz für die Gewinnung, Ausarbeitung und Transport bis zum Heizkessel bzw. zur Steckdose). ne: nicht erneuerbar.....	46
Tabelle 3-15:	Berechnung der Umweltauswirkungen für die Nutzung von Brennstoffen und Elektrizität. Zusätzlich zur Bereitstellung sind auch die Verbrennung/Nutzung und die Infrastruktur inbegriffen. ne: nicht erneuerbar.....	46
Tabelle 4-1:	Zusammenfassung des Lagerbestands und der Flüsse für die verschiedenen Kategorien von Materialien (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (toe: Tonnen Öl-Äquivalente).....	49
Tabelle 4-2:	Resultate des materialspezifischen Vergleichs der Materialflüsse mit anderen Studien.....	54
Tabelle 4-3:	Zahlen zum Treibhauseffekt (Tonnen CO ₂ -eq) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015. Negative Zahlen: Umweltentlastung durch Recycling.....	59
Tabelle 4-4:	Zahlen zum (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf (TJ) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015.....	59
Tabelle 4-5:	Zahlen zur Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015.....	59
Tabelle 4-6:	Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in das Bauwerk Schweiz 2015 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl-Äquivalente). * Für Energieträger: die Umweltbelastungen beziehen sich auf die Nutzungsphase.....	60
Tabelle A-1:	Materialbezeichnungen gemäss STAT-TAB mit Zolltarifnummern.....	68
Tabelle A-2:	Umverteilung der Materialmengen aus STAT-TAB zu den Materialkategorien aus MatCH.....	69

Tabelle A-3:	Vergleich des Lagers und der Materialflüsse zwischen den Studien MatCH (mit Faktor 10 multipliziert) und KartAL-I (D), Vergleichsjahr 2010.....	76
Tabelle A-4:	Vergleich des Sekundärzuflusses (rezykliertes Material) und des Lagerabflusses zwischen den Studien MatCH (mit Faktor 10 multipliziert) und KartAL-I (D), Vergleichsjahr 2010.....	77

Begriffe

Ausbauasphalt	Oberbegriff für den durch schichtweises Kaltfräsen eines Asphaltbelages gewonnenen kleinstückigen Fräsasphalt und den beim Aufbrechen bituminöser Schichten in Schollen anfallenden Aufbruchasphalt (BAFU 2006).
Betonabbruch	Durch Abbrechen oder Fräsen von Betonkonstruktionen und Belägen gewonnenes Material (BAFU 2006).
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 (Leemann 1992).
Gesamter Energiebedarf	<p>Der Begriff bezeichnet im Sinne dieser Studie die kumulierte nicht erneuerbare Energiemenge, welche für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf, Nutzung und Entsorgung eines Produkts benötigt wurde. Dabei werden alle Vorprodukte und Energiemengen bis zurück zur Rohstoffgewinnung und der Energieeinsatz für alle angewandten Produktionsprozesse berücksichtigt. Ökobilanzen verwenden den Begriff kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand (CED_nr, cumulative non-renewable energy demand), auch der Begriff „Energetischer Rucksack“ wird manchmal verwendet.</p> <p>Siehe auch „Kumulierter Energieaufwand (KEA)“.</p>
Graue Energie	Als "Graue Energie" bezeichnet man die insgesamt zur Herstellung eines Produktes direkt und indirekt aufgewendete Energiemenge, gemessen am Produktionsort (Energieinhalt des fertigen Produktes selber, Energieverbrauch für den Produktionsprozess einschliesslich Energieinhalt der im Produktionsprozess verbrauchten zusätzlichen Materialien). 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 primär-energetisch 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.

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).
Metalle	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).
Mischabbruch	Gemisch von ausschliesslich mineralischen Bauabfällen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk (BAFU 2006).
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).
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), Nutz Elektrizität (Leemann 1992). Durch Übertragungs- und Umwandlungsverluste ist die Nutzenergie geringer als die am Übergabepunkt gemessene Endenergie (Wikipedia).
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“.

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).
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).
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 Baumaterialstrom, der vom Lager in die Entsorgung fließt und dann in Recycling und Entsorgung aufgeteilt (sortiert) wird.
Strassenaufbruch	Oberbegriff für das durch Ausheben, Aufbrechen oder Fräsen von nicht gebundenen Fundationsschichten und von stabilisierten Fundations- und Tragschichten gewonnenem Material (BAFU 2006).
Technologiemetalle	Ein Metall, welches für die Herstellung von "high-tech" und "cleantech" Produkten benötigt wird und denen für die Entwicklung der Gesellschaft eine wichtige Rolle zugesprochen wird (Hagelüken und Messers 2010).
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.

Abkürzungen

ARV	Aushub- Rückbau- und Recycling-Verbands Schweiz
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BKI	Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (ab 2006 BAFU)
CED	Kumulierter Energieaufwand (KEA, 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)
DLG	Dienstleistungsgebäude
DMC	Inländischer Materialverbrauch (Domestic Material Consumption)
EFH	Einfamilienhäuser
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FSKB	Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie
GWP	Treibhauspotenzial (Global Warming Potential)
IND	Industriegebäude
IPCC	Weltklimarat der Vereinten Nationen (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KAR-Modell	Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflussmodell
KEA	Kumulierter Energieaufwand (CED, Cumulative Energy Demand)
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LWG	Landwirtschaftsgebäude
MFH	Mehrfamilienhäuser
MJ	Megajoule
ne	Nicht erneuerbar
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenstoffe
RC-B	Beton aus Recyclingbetongranulat
RC-M	Recycling-Mischabbruch-Granulat
STAT-TAB	Interaktive Statistik Datenbank des Bundes
TJ	Terajoule
toe	Tonnen Öl-Äquivalente (tons of oil equivalents). Häufig verwendete Einheit, um verschiedene Energieformen vergleichbar zu machen
UBA	Deutsches Umweltbundesamt
UBP	Umweltbelastungspunkte. Vorwiegend in der Schweiz verwendete Einheit, um die gesamte Belastung auf die Umwelt in einem Gesamtindikator darzustellen
UEB	Übrige Gebäude
USG	Umweltschutzgesetz

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Die Industrie- und Konsumgesellschaft ist hungrig nach Rohstoffen, Produkten und Dienstleistungen. Im Jahre 2013 betrug der inländische Materialkonsum der Schweiz pro Einwohner ca. 12.1 Tonnen. Zusätzlich wurden für die Bereitstellung dieser Menge rund 20.9 Tonnen im Ausland und rund 6.6 Tonnen im Inland benötigt, welche nicht an den Endkonsumenten gelangten. Insgesamt verbrauchte ein Schweizer im Jahre 2013 also rund 41.9 Tonnen Material. Davon wurden rund 7.5 Tonnen in die Natur emittiert und 2.3 Tonnen exportiert¹.

Die Gewinnung von Rohstoffen, deren Nutzung als Materialien in Gütern, Produkten, indirekt als Dienstleistungen, sowie deren Verwertung und Entsorgung verursachen zum Teil hohe Umweltbelastungen. Um die Umweltbelastung durch den hohen und stetig steigenden Materialverbrauch während des gesamten Lebensweges zu verkleinern, gilt es Massnahmen für eine nachhaltige Materialbewirtschaftung zu entwickeln und umzusetzen.

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.

Die bauliche Infrastruktur induziert in der Schweiz die grössten Materialflüsse. Zum Ausbau und der Erhaltung des „Bauwerks Schweiz“ werden grosse Mengen an Baumaterialien, insbesondere Beton, Kies und Sand sowie spezielle Baustoffe, wie Gips, Glas, Metalle und Holz verwendet. Um die Ressourcen-, resp. Rohstoffeffizienz im Bereich Bau zu beurteilen und szenarienbasierte Prognosen zu entwickeln, sind Kenntnisse zu den Materialströmen entscheidend. Zwar wurden in den letzten 10-15 Jahren diverse Teil-Studien erstellt, es fehlt jedoch ein umfassendes Bild zu den Material und Energieressourcen, welche die bauliche Infrastruktur in der Schweiz induziert.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Material- und Energieflüsse und die Lagermengen der baulichen Infrastruktur und mögliche Veränderungen in der Zukunft zu erfassen. Da die Datenquellen aus verschiedenen Jahren stammen und unterschiedliche Materialklassierungen aufweisen, kann kein homogenes und widerspruchsfreies Datenmodell erzeugt werden. Ziel ist es jedoch, die Verhältnisse möglichst gut zu erfassen, um generelle Aussagen zu den Material- und Energieströmen im Hoch- und Tiefbau machen zu können.

Durch Kalibrierungen mit besseren realen Daten wird die Genauigkeit der Massenflüsse des Modells in Zukunft verbessert werden können.

¹ Diese Materialflussrechnung wird vom Bundesamt für Statistik auf gesamtwirtschaftlicher Ebene und aufgeschlüsselt in einzelne Kategorien und Materialien ausgewertet und publiziert.

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/02/05/blank/data/03/01.html>

In diesem Bericht werden zusätzlich zu den Massenflüssen auch die Umweltauswirkungen ausgewiesen (Kapitel 4), welche durch den Material- und Energieverbrauch im Bausektor 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.

1.2 Umsetzungskonzept

Abbildung 1-1 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 2011), welcher auf der internationalen Klassierung nach 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)).

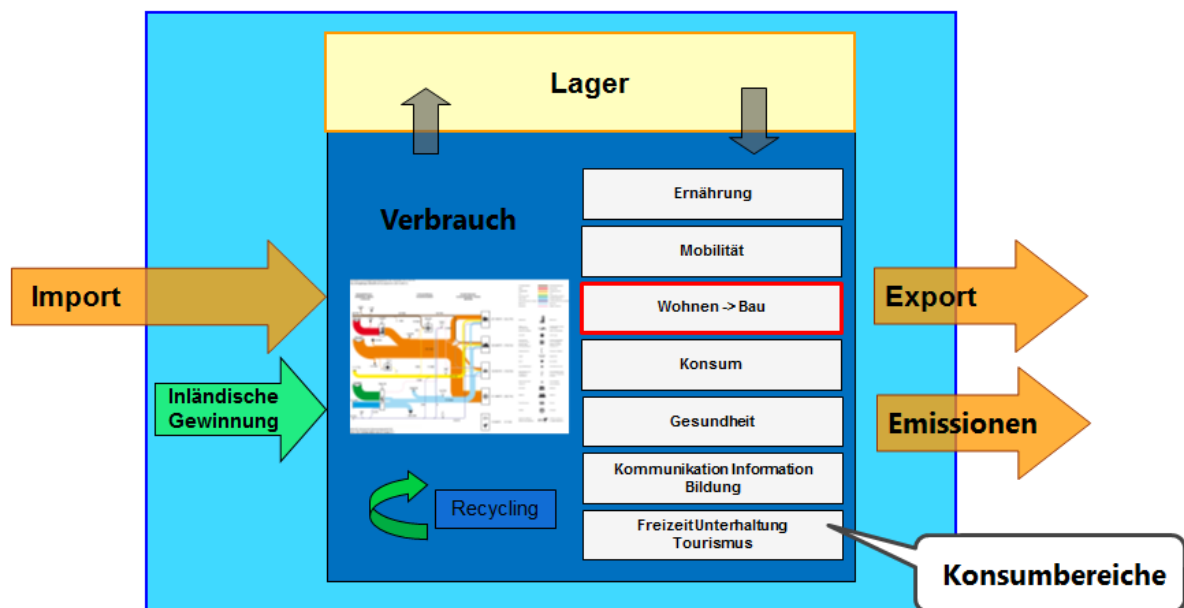


Abbildung 1-1: Schematische Darstellung des Umsetzungskonzeptes, Materialfluss Schweiz

Im Unterschied zu anderen Konsumbereichen ist die Produktion im Konsumbereich Bau vorwiegend einheimisch. Import und Export werden deshalb nicht im Detail betrachtet. Die bauliche Infrastruktur ist zudem im Vergleich mit anderen Bereichen charakterisiert durch eine lange Nutzungsdauer und entsprechend grosse Lagermengen.

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 Datengrundlagen

Die meisten bisherigen Arbeiten zum Thema Baumaterialflüsse in der Schweiz beinhalten keine neuen Erhebungen, sondern basieren auf verschiedenen, bereits vorhandenen Daten. Abbildung 1-2 zeigt einen Überblick über die verschiedenen Studien und verdeutlicht deren Vernetzung.

In grün sind die in der vorliegenden Studie analysierten Berichte dargestellt und in blau die Ursprungsquellen, auf welche sich die Publikationen beziehen. Alle Quellen, ausser diejenige des Bundesamtes für Statistik (BFS), des Fachverbands der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB), des Aushub- Rückbau- und Recycling-Verbands Schweiz (ARV), und von cemsuisse, können auf Erhebungen von Wüest und Partner in 1997, 2000, 2008 und 2013 zurückgeführt werden. Die Daten beruhen teilweise auf alten Quellen und wurden mit neuen Ansätzen aufbereitet. Zusätzlich zu den aufgeführten Quellen wurden für die zwei grössten Materialflüsse Beton und Kies, Sand (grau) zwei weiteren Studien untersucht.

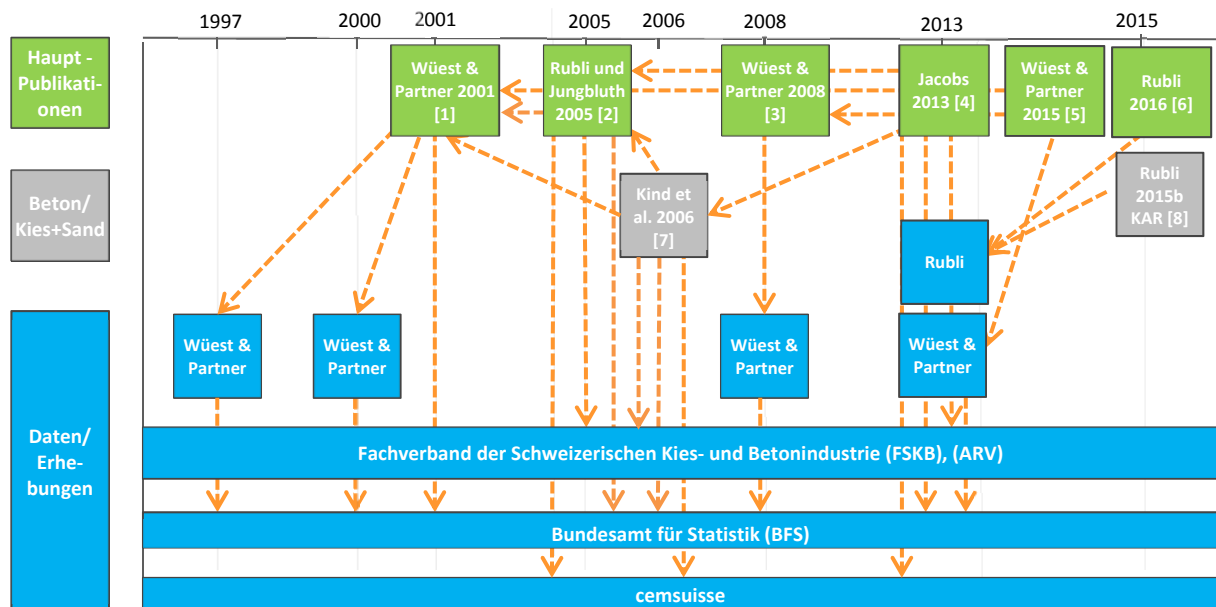


Abbildung 1-2: Zusammenstellung der Hauptpublikationen und Erhebungen im Bauwesen Schweiz mit Darstellung der gegenseitigen Verknüpfungen

Die Hauptpublikationen, welche in dieser Studie berücksichtigt werden, sind:

- [1] Wüest & Partner, 2001: Bauabfälle Schweiz – Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege, Bericht BUWAL Umweltmaterialien; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 131. (Im Dokument als: (Wüest & Partner 2001)).
- [2] Rubli und Jungbluth 2005: Materialflussrechnung für die Schweiz, Machbarkeitsstudie; Bundesamt für Statistik. (Im Dokument als: (Rubli und Jungbluth 2005)).
- [3] Wüest & Partner, 2008: Bauabfälle Hochbau in der Schweiz; Ergebnisse der Studie 2008; Bundesamt für Umwelt. (Im Dokument als: (Wüest & Partner 2008)).
- [4] Jacobs 2013: Evaluation von Baustoffen und Bauabfällen; TFB Wildegg. (Im Dokument als: (Jacobs 2013)).

- [5] Wüest & Partner, 2015: Bauabfälle in der Schweiz – Hochbau; Studie 2015; Bundesamt für Umwelt. (Im Dokument als: (Wüest & Partner 2015)).
- [6] Rubli, 2016: Bauabfälle in der Schweiz – Tiefbau. Aktualisierung 2015 mit dazugehörigen Exceldaten: „Materiallager und Bauabfälle Tiefbau CH 2013“ zuhanden BAFU. (Im Dokument als: (Rubli 2016)).

Als weitere wichtige Quellen dienten neben (Kind u. a. 2006) [7] zum Kieshaushalt in der Schweiz die Publikation von Rubli über die Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse in acht Schweizer Kantonen (Rubli 2015b) [8]. Eine detaillierte Studie für den Kanton Zürich (Stäubli 2010) analysiert und modelliert die wichtigsten Materialflüsse aus dem Hoch- und Tiefbau inklusive der Entsorgung.

Vergleiche mit der Situation in Deutschland waren möglich dank einer Ende 2015 publizierten Studie des Umweltbundesamtes UBA „Kartierung des Anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“ (UBA 2015). Resultate und Analogien mit dieser Studie zeigt (A IV Datenvergleich mit Deutschland).

Bei der Energie wurden die Daten der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik des Bundesamts für Energie (BFE 2016) entnommen.

1.4 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 basieren³.

Für die graphischen Darstellungen wurde die Dicke der Flusspfeile proportional zu ihrer Menge als Sankey-Diagramme dargestellt. Dazu wurde die Software e!Sankey⁴ verwendet, welche Daten aus der Excel-Tabelle bezieht. Über Verknüpfungen können Flussdiagramme bei Änderung der Excel-Daten automatisch aktualisiert werden.

³ Die Excel-Tabellen können auf Anfrage von den Autoren zur Verfügung gestellt werden.

⁴ Das Programm ist hier erhältlich: <http://www.e-sankey.com/de/kaufen/>.

2 Grundlagen

2.1 Systemaufbau

Das System setzt sich aus den Teilbereichen **Lagerzufluss**, **Bauwerk Schweiz** und **Lagerabfluss** zusammen, für die unterschiedliche Ansätze und Datenquellen verwendet wurden (Abbildung 2-1):

- Der **Lagerzufluss** setzt sich zusammen aus dem Primärzufluss (aus neu produzierten Rohmaterialien) und dem Sekundärzufluss von Materialien, welche aus dem Recycling stammen. Vergleiche erlauben eine Abschätzung, welche Massen jährlich dem Materiallager zufließen.
- Das **Bauwerk Schweiz** umfasst die Mengen an Materialien, welche aktuell in Gebrauch sind. Die Grösse des Lagers kann sich über die Zeit (z.B. durch Wachstum) verändern. Materialien, welche direkt vor Ort wiederverwertet werden, bleiben im Lager. Im Lager werden die in Gebäuden, Strassen, Schienen und Anlagen zur Ver- und Entsorgung verbauten Materialien zusammengefasst.
- Im **Lagerabfluss** werden Materialflüsse analysiert, welche dem Materiallager entnommen und einer Nachnutzung zugeführt werden. Durch Wiederaufbereitung (Recycling) kann ein Teil der Materialien erneut in eine nutzbare Form dem Gebrauch zugeführt werden. Dadurch entsteht ein Materialfluss in ein neues Lager. Ein Teil ist nicht mehr wiederverwendbar und muss entsorgt werden (Kehrichtverbrennungsanlage (KVA), Deponie).



Abbildung 2-1: Schematische Darstellung der Materialflüsse im Bauwerk Schweiz

Verschiedene Vorarbeiten zu diesem Projekt haben gezeigt, dass es äusserst schwierig ist, ein konsistentes Gesamtmodell der Materialflüsse in der Schweiz zu erhalten. Unterschiedliche Erfassungsmethoden und Materialkategorisierungen erschweren bzw. verunmöglichen direkte Datenvergleiche.

Durch die Betrachtung von drei grossen und unterschiedlichen Bereichen wurde eine Abschätzung der 'richtigen' Grössenordnung der wichtigsten Materialflüsse gemacht. Die dabei auftretenden Unterschiede wurden stehen gelassen. Es wurde jedoch versucht, diese zu interpretieren.

2.2 Kategorisierung des Bauwerks

2.2.1 Übersicht

Für das Bauwerk Schweiz wurden die wichtigsten Materialkategorien erfasst. In den verschiedenen Datenquellen und Studien existieren unterschiedliche Nomenklaturen und Materialkategorien. Teilweise werden diese Kategorien selbst innerhalb einer Studie nicht konsistent verwendet. Um den hier gewählten Ansatz mit anderen Berichten vergleichen zu können, musste eine Kategorisierung vorgenommen werden.

Als Grundlage für die vorliegende Studie wurden die Gebäude- und Materialkategorien gemäss Wüest und Partner übernommen (Wüest & Partner 2001), da der dortige Detaillierungsgrad nicht zu hoch ist und dennoch genügend genau. Ausserdem ist diese weitgehend konsistent mit der Kategorisierung von (Rubli und Jungbluth 2005), die auch verwendet wurde (vgl. Kapitel 2.2, 2.3).

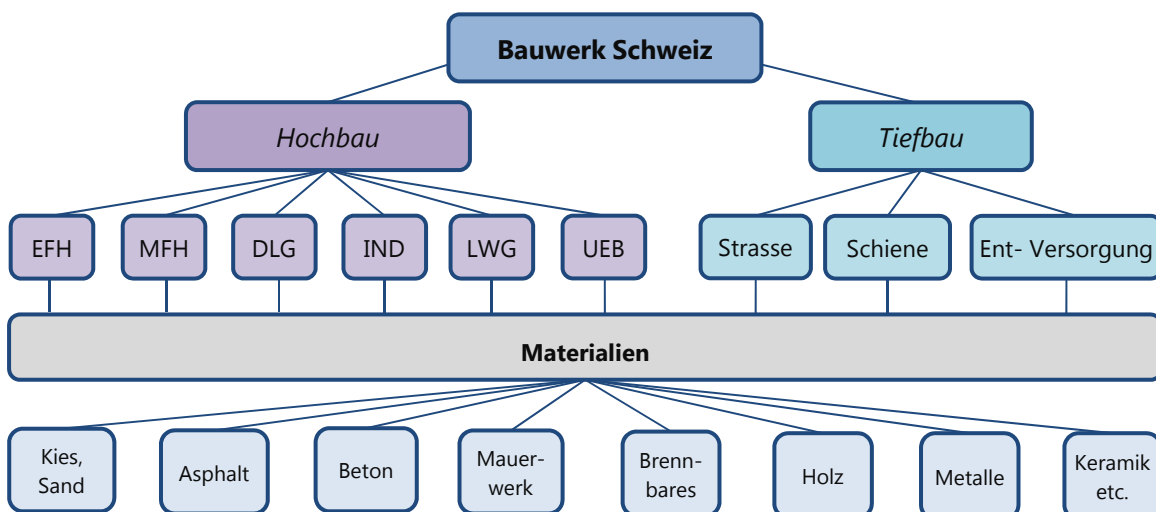


Abbildung 2-2: Übersicht der in dieser Studie verwendeten Gebäude-, Infrastruktur- und Materialkategorien. EFH: Einfamilienhäuser, MFH: Mehrfamilienhäuser, DLG: Dienstleistungsgebäude, IND: Industriegebäude, LWG: Landwirtschaftsgebäude, UEB: Übrige Gebäude

Zusätzlich zu den Materialressourcen wurde auch die Energiemenge ermittelt, welche jährlich in Form von Elektrizität oder Brennstoff im Bauwerk Schweiz benötigt wird (vgl. Kapitel 2.2.4 Energiekategorien).

2.2.2 Bauwerkkategorien

In den generellen Kategorien „Hochbau“ und „Tiefbau“ wurden folgende Bauwerkkategorien verwendet (Tabelle 2-1):

Kategorie	Erläuterungen
Einfamilienhäuser (EFH)	Einfamilienhäuser sind Gebäude, die nur eine Wohnung enthalten. Reiheneinfamilienhäuser und zusammengebaute Einfamilienhäuser zählen ebenfalls als EFH.
Mehrfamilienhäuser (MFH)	Mehrfamilienhäuser umfassen sowohl reine Wohngebäude mit mehr als einer Wohnung sowie Wohnhäuser mit Geschäftsräumen (Wohnfläche > 50% der Nutzfläche).
Dienstleistungsgebäude (DLG)	Unter Dienstleistungsgebäude fallen alle Verwaltungsgebäude der öffentlichen Hand, aber auch alle privaten Bürohäuser und Verkauf-Gastgewerbe.
Industriegebäude (IND)	Als Industriegebäude werden die Industriebauten und Werkstätten zusammengefasst.
Landwirtschaftsgebäude (LWG)	Zu den Landwirtschaftsgebäuden zählen Gebäude der Landwirtschaft, Gärtnerei und Forstwirtschaft.
Übrige Gebäude (UEB)	Zu den übrigen Gebäuden zählen etwa Einstellhallen, Parkhäuser, Kirchen, Gemeinschaftszentren und Mehrzweckhallen.
Strasse	Zur Strasse zählen die National-, Kantons- und Gemeindestrassen. Dazu kommen andere Strassen und Wege, Parkplätze und Gehsteige.
Schiene	Die Schiene umfasst das gesamte Schienennetz der Schweiz. Dazu zählen auch die Oberleitungen und Kunstbauten.
Ver- und Entsorgung	Die Entsorgung umfasst die Kanalisation der Abwasserbereiche, während zur Versorgung die Wasser-, Gas- und Stromnetze gezählt werden.

Tabelle 2-1: Bauwerkkategorien, adaptiert nach (Rubli und Schneider 2007)

2.2.3 Materialkategorien

In der vorliegenden Studie wurde die Zusammensetzung des Hochbaulagers der Schweiz aus dem Bericht (Rubli und Schneider 2007) entnommen, wo mit fixen Materialzusammensetzungen pro Bauwerkategorie gerechnet wurde (Tabelle 2-2):

Kategorie	Erläuterungen
Kies, Sand / Strassenaufbruch	Kies und Sand werden in loser Form im Strassenbau und für die Infrastruktur- Netze eingesetzt. Dort dienen sie als Koffermaterial und zum Auffüllen der Gräben. Kies und Sand fällt beim Rückbau als Strassenaufbruch an und kann nach entsprechender Aufbereitung als RC-Kiessand in den drei Qualitäten P (rein), A (Asphalt) und B (Beton) wieder eingesetzt werden.
Asphalt / Ausbaupasphalt	Die Strassenbeläge werden heute mit bitumierten Bindemittel ausgeführt, früher war es meist Asphalt. Die Beläge können als Ausbaupasphalt in die Aufbereitung gelangen und anschliessend als RC-Asphalt wieder verwendet werden. Das gilt allerdings nur für Belag, der weniger als 5 000 mg PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenstoffe)/kg im Bindemittel enthält. Falls der PAK-Gehalt zwischen 5 000 und 20 000 mg/kg liegt, darf der Ausbaupasphalt nur in dafür geeigneten Anlagen oder als sogenanntes «Kaltrecycling» verarbeitet werden. Wenn der Wert 20 000 mg PAK/kg im Bindemittel überschritten wird, muss das Material auf einer Reaktordeponie entsorgt werden.
Beton / Betonabbruch	Beton ist heutzutage der häufigste und wichtigste Baustoff für die Erstellung von Gebäuden. Beton ist ein Gemisch aus Zement, dem Zuschlagstoff (Kies/Sand aus Primärer- oder Recyclingproduktion), Wasser und allenfalls chemischen Zusatzstoffen, die das Abbindeverhalten beeinflussen. Wird Beton sauber abgebrochen, entsteht Betonabbruch, der zu Recycling-Beton-Granulat aufbereitet werden kann. Daraus kann RC-B (Beton aus Recyclingbetongranulat) hergestellt werden.
Mauerwerk / Mischabbruch	Unter Mauerwerk werden alle Mauern aus Formsteinen (Ziegelstein, Backstein, Kalksandsteine) oder aus Natursteinen zusammengefasst. Der Mörtel ist dabei ebenfalls eingeschlossen. Bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts wurden viele Gebäude aus Mauerstein errichtet. Daher fallen heute beim Rückbau von Gebäuden grosse Mengen von Mauerwerk an. Diese werden als Mischabbruch zu RC-M (Recycling-Mischabbruch-Granulat) aufbereitet.
Brennbare Materialien	Zu den brennbaren Materialien zählen vor allem Kunst- und Wärmedämmstoffe. Holz wird separat betrachtet.
Holz	Unter Holz versteht man in dieser Studie das Konstruktions- und Industrieholz. Holz für die Energiegewinnung wird nicht miteinbezogen.
Metalle	Zu dieser Fraktion werden alle Metalle gezählt, die im Bauwesen Verwendung finden und einen wesentlichen Anteil an der Gesamtmetallmasse haben, also vor allem Eisen und Stahl.
Gips, Keramik, Glas	Die Fraktionen Gips, Keramik und Glas werden für die Untersuchung zur mineralischen Fraktion zusammengefasst. Dies sind Materialien, die einerseits nicht in grossen Mengen verbaut werden und andererseits beim Rückbau der Gebäude als Inertstoffe deponiert werden.

Tabelle 2-2: Materialkategorien nach (Rubli und Schneider 2007)

2.2.4 Energiekategorien

Beim Energiebedarf für das Bauwerk Schweiz wurden die Energieträger auf zwei Hauptkategorien aufgeteilt: Elektrizität und Brennstoff (Tabelle 2-3):

Elektrizität	Elektrizität
Brennstoff	Holzenergie, Kohle, Müll und Industrieabfälle, Erdölprodukte, Gas, Fernwärme, übrige erneuerbare Energien ⁵

Tabelle 2-3: Energiekategorien

Die verwendeten Energiedaten stammen aus der Gesamtenergiestatistik des Bundesamts für Energie (BFE) für das Jahr 2015 (BFE 2016). Die Statistik weist den Endverbrauch verschiedener Energieträger für verschiedene Verbraucher aus. Die Verbraucher, die betrachtet wurden, sind Haushalte, Dienstleistungen, Industrie und die statistische Differenz inklusive Landwirtschaft (vgl. Abbildung 3-5). Damit ist der einzige nicht berücksichtigte Verbraucher der Verkehr, welcher im Bericht „Mobilität“ berücksichtigt wird (Empa in prep. 2016).

⁵ 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.

2.3 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 der Umwelteinflüsse.

Das Prinzip von Ökobilanzen für eine Beurteilung der Umweltauswirkungen basiert auf der Zuordnung eines Indikators für jeden Massenfluss, welcher jeweils die Auswirkungen auf die Umwelt ausdrückt. Da es viele Kategorien von Umweltauswirkungen gibt (z.B. Wasser, Boden, Luft, Gesundheit) ist es in jeder Analyse 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 werden drei Methoden angewandt gemäss Tabelle 2-4.

Eine allgemein verwendete Grundlage zur Beurteilung von Umweltaspekten im Baubereich ist der Bauteilkatalog der KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren). Als Datenbasis dienen die "Ökobilanzdaten im Baubereich" gemäss KBOB/eco-bau Empfehlung 2009/1, welche an der Empa erarbeitet wurden und auf Ecoinvent v.2 zurückgehen (KBOB 2015).

Treibhauseffekt CO ₂ -Rucksack (IPCC 2013 GWP 100a V1.00)	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 CO ₂ -Äquivalente dargestellt. Häufig wird der Begriff CO ₂ -Fussabdruck (Carbon Footprint) für den Wert verwendet.
Gesamter Energiebedarf (ne) Energiebedarf, nicht erneuerbar (CED V1.09)	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.
Gesamt-Umweltbelastung Ökologische Knappheit (Ecological Scarcity 2013 V1.01)	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 Mengeneinheit angeben (Frischknecht und Büsser Knöpfel 2013). Der Wert aggregiert und bewertet verschiedene Umweltauswirkungen, welche zusammengefasst als Ökologischer Fussabdruck bezeichnet werden können.

Tabelle 2-4: Kategorien der Umweltauswirkungen

Datengrundlage für die Berechnungen der Umweltauswirkungen:

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 Umweltbelastungen: Zusammenstellung der Materialkategorien ('Rezept') und Verlinkung mit Daten aus Ecoinvent v.3.2) ist ersichtlich, wie die Zuweisung von Materialien aus der häufig verwendeten, jedoch weniger aktuellen KBOB-Materialienliste auf Ecoinvent v.3.2 erfolgte. Im Anhang ist auch ersichtlich, aus welchen Einzelmaterien die acht verwendeten Materialkategorien (gemäss Kapitel 2.2.3) und die zwei Energiekategorien (gemäss Kapitel 2.2.4) bestehen. Die Zusammensetzung der Einzelmaterien bildet die Grundlage („Materialrezept“) für die Hauptkategorie, angelehnt an (Matasci 2006) mit Bezug auf den Katalog des BKI (Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern).

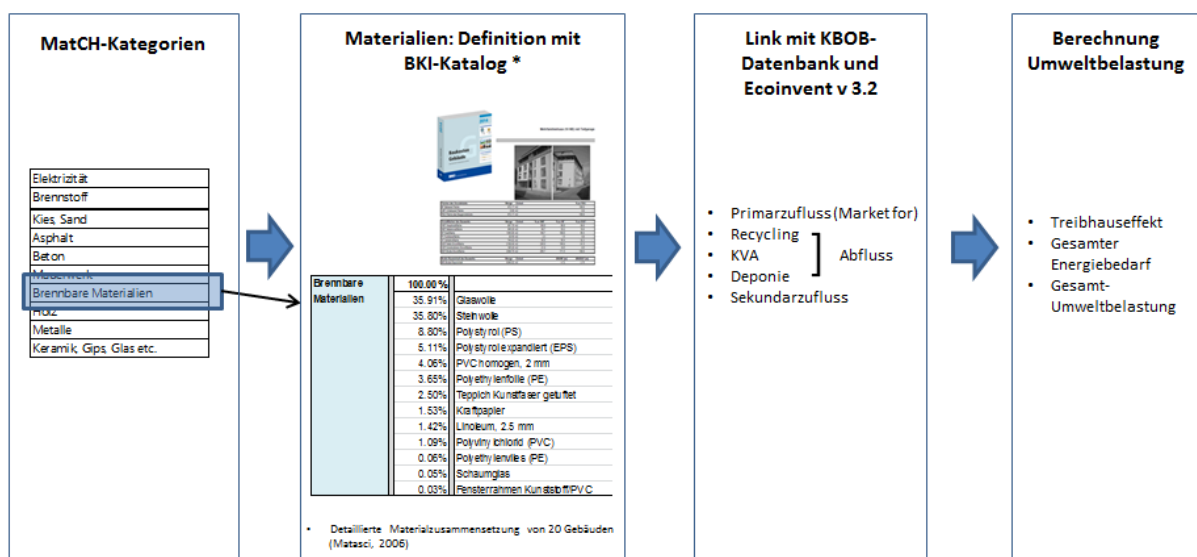


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung des Berechnungsprinzips für die Umweltauswirkungen

Recycling:

Der Einsatz von rezykliertem Sekundärmaterial wird berücksichtigt, indem die vermiedene Umweltauswirkung aus der Bereitstellung von Primärmaterial als Gutschrift gerechnet wird (Gewinn durch Sekundärzufluss).

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 somit ohne „Schadensrucksack“ in den Recyclingprozess und verlässt diesen als Sekundärmaterial mit den Umweltauswirkungen des Recyclingprozesses⁶.

⁶ <http://www.ecoinvent.org/>

Systemgrenzen:

Der gesamte Lebenszyklus („cradle to grave“) wurde in den Daten zu den Primärmaterialien berücksichtigt, also die Extraktion des Rohmaterials, die Verarbeitung zu Halb- und Endprodukten, die Nutzungsphase und die Entsorgung.

3 Methodischer Ansatz

3.1 Massenflüsse

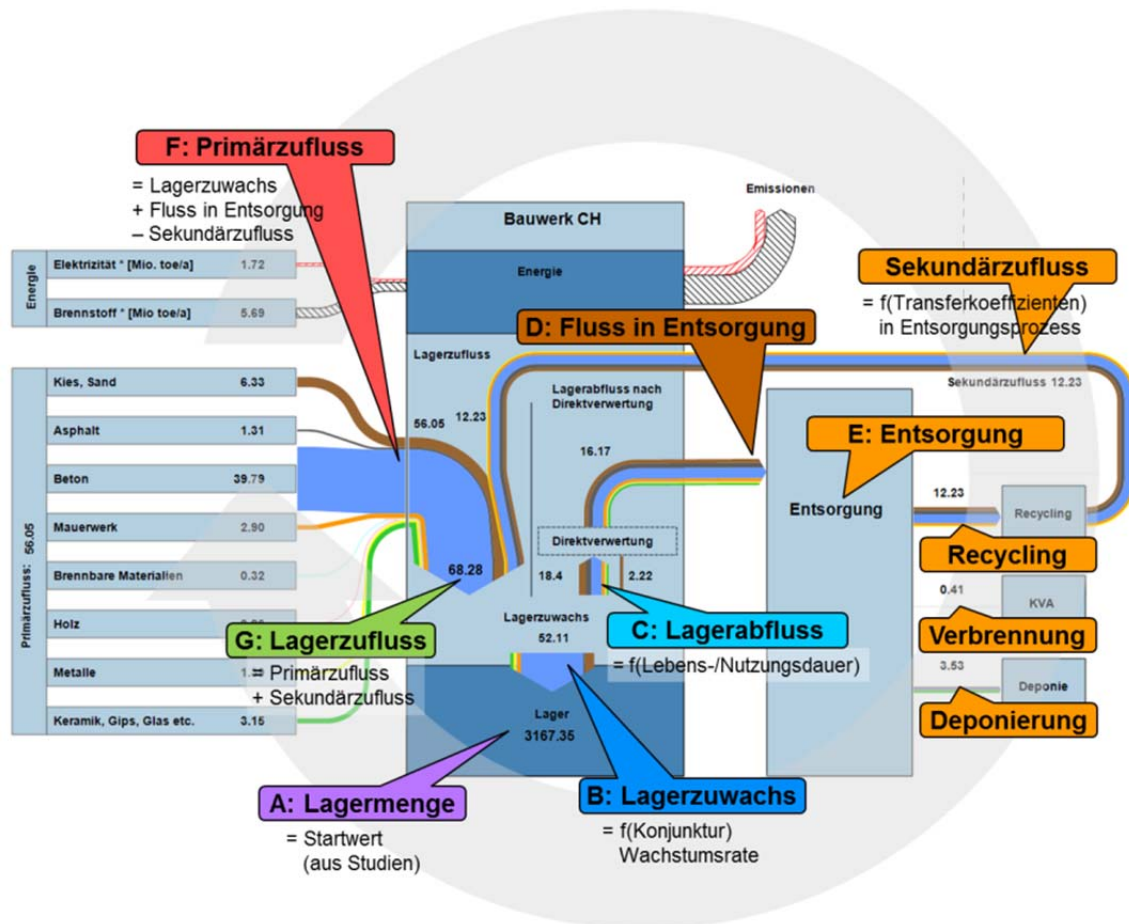


Abbildung 3-1: Methodischer Ansatz MatCH und Massenflüsse

Die Massenflüsse und die Menge im Lager wurden gemäss Abbildung 3-1 berechnet (Schritte A bis G, bzw. Kapitel 3.2 bis 3.8).

In einem ersten Schritt wurde die Menge im Lager mit einem Startwert aus der Literatur (A, Kapitel 3.2) festgelegt. Die Wachstumsrate des Lagers ist konjunkturabhängig. Sie erlaubt die Berechnung des Lagerzuwachses über einen definierten Zeitraum (B, Kapitel 3.3).

Der Lagerabfluss (C, Kapitel 0) ist abhängig von der Lebens- oder Nutzungsdauer der Materialien. Ein Teil des Lagerabflusses wird direkt vor Ort wiederverwendet (v.a. Kies und Sand), der Hauptteil gelangt in die Entsorgung (D, Kapitel 0). In der Entsorgung werden die Materialien aufgeteilt auf den Recyclingprozess, die Verbrennung in einer Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) oder die Deponierung. Für jedes Material werden Transferkoeffizienten für diese drei Entsorgungsoptionen definiert. Nach der Aufarbeitung im Recyclingprozess kann das Material dem System als Sekundärzufluss wieder zugeführt werden (E, Kapitel 3.6) und reduziert somit den Bedarf an benötigtem Primärmaterial (F, Kapitel 3.7).

Die Summe von Primärzufluss und Sekundärzufluss ergibt den Lagerzufluss (G, Kapitel 3.8).

Nimmt man die Wachstumsrate, die Lebensdauer/Nutzungsdauer der Materialien und die Transferkoeffizienten als gegeben an, ist es möglich, vergangene und zukünftige Entwicklungen über die Zeit abzuschätzen.

3.2 Lagermenge

Als Grundlage zur Bestimmung des Materiallagers der Schweiz liegen zwei detaillierte Berichte vor: (Wüest & Partner 2015) für den Hochbau sowie (Rubli 2016) für den Tiefbau. Die Datengrundlage beider Berichte geht zurück auf das Jahr 2013.

Im Bericht von Wüest und Partner wurde zur Berechnung des Lagers im Hochbau eine Kombination von Daten zum Gebäudepark, den Geometriedaten und Kenndaten zu den wichtigsten Baukonstruktionen und Zusammensetzungen verwendet. Daten zur Kies-, Sand- und Asphaltmengen wurden im Gegensatz zu früheren Studien nun dem Tiefbau zugeordnet.

Als Grundlage für die Definition des Lagerbestandes im Tiefbau dient die Analyse von (Rubli 2016) aus dem Jahr 2015. Die mineralische Restfraktion der Ent-Versorgung besteht fast ausschliesslich aus Steinzeug-Rohren und Formsteinen im Stromnetz, welche der Kategorie Keramik, Gips, Glas, etc. zugerechnet wurden. Für die drei Kategorien brennbare Materialien, Holz und Metalle wurden Daten aus (Rubli und Jungbluth 2005) verwendet.

Die Daten (Tabelle 3-1) mit graphischer Darstellung in (Abbildung 3-2) dienen als Startwert für die Berechnung der Materialflüsse in den nachfolgenden Jahren.

2013	Ursprungslager aus Wüest und Partner (2015), Rubli (2016), Rubli und Jungbluth (2005)									Total	Hochbau	Tiefbau
	3 068.00											
	Lagerbestand der einzelnen Gebäudekategorien [Mio. t]											
	Hochbau						Tiefbau					
Kategorie	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers			
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	718.52	84.93	259.05	1 062.50	0.00	1 062.50
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	164.78	0.00	0.00	164.78	0.00	164.78
Beton	172.77	373.14	120.03	123.55	39.05	108.73	49.04	6.40	250.94	1 243.66	937.28	306.38
Mauerwerk	75.60	175.76	31.00	20.08	25.84	28.76	0.00	7.32	10.96	375.32	357.04	18.28
Brennbare Materialien	2.67	4.61	2.15	1.77	0.51	1.19	0.00	0.03	0.76	13.68	12.89	0.79
Holz	7.13	11.32	2.77	2.78	5.65	1.87	0.00	0.74	4.08	36.34	31.52	4.82
Metalle	5.30	9.76	6.55	9.27	2.72	4.51	1.29	3.35	9.92	52.66	38.11	14.55
Keramik, Gips, Glas etc.	21.44	53.04	13.43	9.67	7.02	8.45	0.00	0.00	6.01	119.06	113.05	6.01
Total	284.91	627.63	175.94	167.12	80.78	153.50	933.63	102.75	541.73	3 068.00	1 489.88	1 578.10

Tabelle 3-1: Lager 2013 „Startwert“

Gesamthafte beträgt die Masse des Bauwerks Schweiz über 3 000 Mio. Tonnen, wobei die Verteilung zwischen Hoch- und Tiefbau mit je ca. 1 500 Mio. Tonnen praktisch ausgeglichen ist.

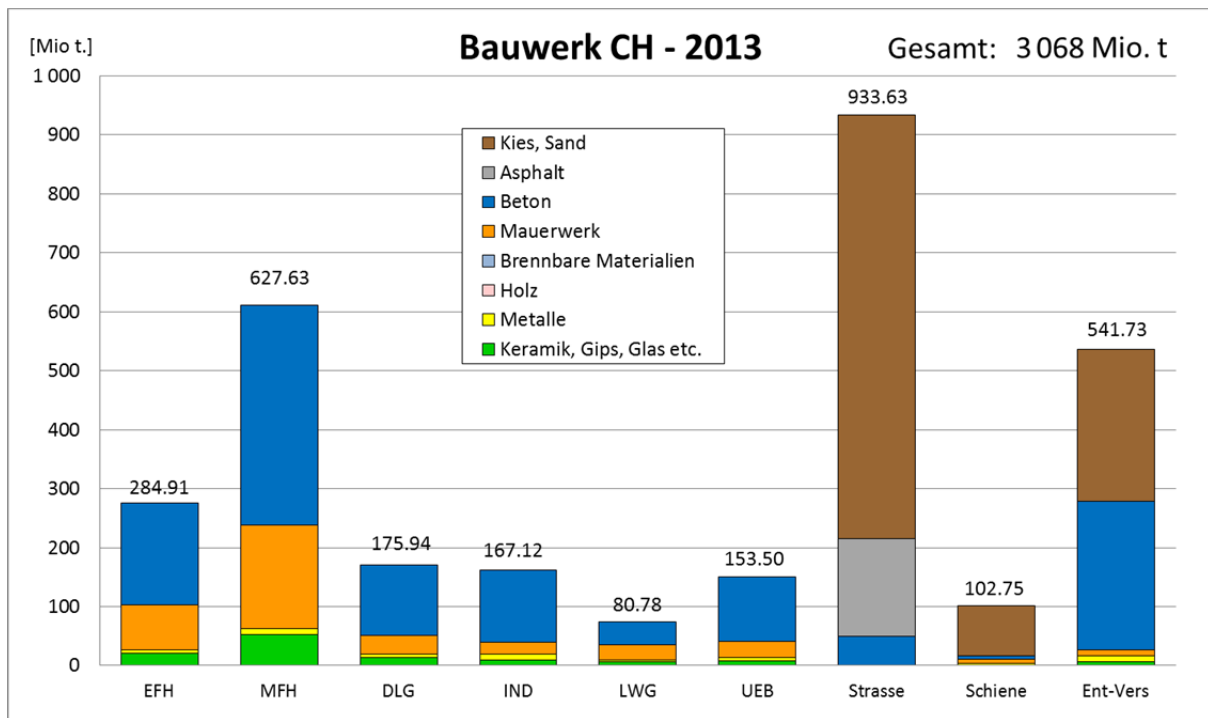


Abbildung 3-2: Startwerte für Materialien pro Bauwerkkategorie

Betrachtet man die einzelnen Bauwerkkategorien, sind die Mehrfamilienhäuser (42% Anteil an der Hochbaumasse oder 20% der Gesamtmasse) sowie die Strassen (30% der Gesamtmasse) dominant, gefolgt von der Ent- und Versorgungsinfrastruktur (18% der Gesamtmasse).

3.3 Lagerzuwachs

Ob und wie stark die Lagermenge sich verändert, hängt von der konjunkturellen Entwicklung ab. Als Indikator dafür dient in dieser Studie der jährliche Flächenzuwachs an Bauland.

Wachstumsrate pro Bauwerkkategorie:

Die Wachstumsrate pro Bauwerkkategorie (Tabelle 3-2) wurde aus der Arealstatistik des Bundesamts für Statistik abgeschätzt (BFS 2013a). Diese gibt die bebaute Gesamtfläche für verschiedene Gebäude und Infrastrukturen in Hektaren für die Jahre 1992/1997 und 2004/2009 an. Aktuell erfolgt eine Aktualisierung für die Jahre 2013 bis 2018. Ausgehend von diesen Erhebungen kann die jährliche Wachstumsrate für die Hoch- und Tiefbaukategorien wie nachfolgend beschrieben abgeschätzt werden.

Wachstumsrate (Arealstatistik)

Wachstum (Arealstatistik)								
Hochbau						Tiefbau		
EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
1.6%	1.4%	0.9%	0.9%	0.3%	0.4%	0.5%	0.2%	0.9%

* Höhenfaktor

Höhenfaktor (eigene Schätzung)								
Hochbau						Tiefbau		
EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
1.40	1.40	1.40	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00

= Wachstum (effektiv)

Wachstum effektiv (3D)								
Hochbau						Tiefbau		
EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%

* Änderungsfaktoren Materialzusammensetzung

	Faktoren zur Änderung der Wachstumsraten auf heutigen Baustandart								
	Hochbau						Tiefbau		
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
Beton	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	-	-	-
Mauerwerk	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	-	-	-
Metalle	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	-	-	-

= Wachstumsrate pro Material- und Energiekategorie

	Wachstum pro Materialkategorie [%]								
	Hochbau						Tiefbau		
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
Elektrizität *	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Brennstoff *	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Kies, Sand	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Asphalt	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Beton	5.2%	4.5%	2.7%	2.4%	0.7%	1.1%	0.5%	0.2%	0.9%
Mauerwerk	0.9%	0.8%	0.5%	0.4%	0.1%	0.2%	0.5%	0.2%	0.9%
Brennbare Materialien	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Holz	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Metalle	5.2%	4.5%	2.7%	2.4%	0.7%	1.1%	0.5%	0.2%	0.9%
Keramik, Gips, Glas etc.	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%

Tabelle 3-2: Modellansatz Wachstumsrate pro Material- und Energiekategorie. * Nur Energie in der Nutzungsphase

Höhenfaktor:

Da die Arealstatistik nur die Flächenzunahme betrachtet, wurde für den Hochbau zusätzlich ein Faktor angenommen, der das Wachstum in die Höhe respektive die innere Verdichtung berücksichtigt (Tabelle 3-2). Die Wachstumsrate der Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie Dienstleistungsgebäude wurde mit dem Faktor 1.4 multipliziert, während die Industrie, Landwirtschafts- und Übrigen Gebäude mit dem Faktor 1.2 multipliziert wurden. Die Materialmengen aus (Wüest & Partner 2015), (Rubli 2016) und (Rubli und Jungbluth 2005) (d.h. der Startwert für das Lager) wurden mit der Wachstumsrate multipliziert, um daraus den Lagerzuwachs zu erhalten. Der aus dem Flächenwachstum und dem Höhenfaktor multiplizierte Wert entspricht einem dreidimensionalen Wachstum.

Änderungsfaktor Materialzusammensetzung:

Die Zusammensetzung der im Lager vorhandenen Materialien stimmt nicht zwingend mit den heutigen Verhältnissen im Zufluss überein. Gemäss (Wüest & Partner 2001) wurde früher viel mehr mit Mauerwerk und weniger mit Beton gebaut. Falls das Beton- und Mauerwerklager, gleich wie die übrigen Materialien, mit dem effektiven Wachstum multipliziert wird, ergibt sich ein zu tiefes Beton- resp. zu hohes Mauerwerkwachstum. Auch Metalle werden heute häufiger verwendet als früher. Somit muss die Wachstumsrate für diese Materialien angepasst werden, damit der Lagerzufluss dem heutigen Verhältnis entspricht. Um diese neuen Verhältnisse in der Berechnung zu berücksichtigen, wurde die effektive Wachstumsrate für Beton und Metalle mit dem Faktor 2.3 und für Mauerwerk mit dem Faktor 0.4 (Tabelle 3-2) multipliziert. Da Mauerwerk im Tiefbau praktisch nicht verwendet wird und somit kein überproportionales Wachstum von Beton und Metallen möglich ist, wurde in der Berechnung nur der Hochbau betrachtet⁷.

Die Änderungsfaktoren wurden als fix angenommen, gelten jedoch über einen limitierten Zeitraum, da sich die Lagerzusammensetzung (sowie Nutzungsdauern und Transferkoeffizienten) mit der Zeit verändert. Da sich das Verhältnis von Beton zu Mauerwerk aber seit einiger Zeit stabilisiert hat, sollte diese Vereinfachung keine grösseren Auswirkungen haben⁸.

⁷ Beton, Mauerwerk und Metalle haben nicht die gleiche Dichte. Das Wachstum der Masse des Lagerbestands ist deswegen nicht gleich wie das 3-dimensionale Wachstum.

⁸ Zwischen Lagerzufluss und -Abfluss bzw. Konstruktion und Entsorgung gibt es eine Zeitverschiebung von mehreren Dekaden (Stäubli 2010). Betrachtungen über längere Zeiträume werden naturgemäss ungenau.

3.4 Lagerabfluss

Der Lagerabfluss ist abhängig von der Lebensdauer/Nutzungsdauer der Materialien und vom anfallenden Anteil an Abfall in den entsprechenden Bauwerks-Kategorien (Tabelle 3-3):

Jedes Jahr wird ein Teil des Bauwerks Schweiz entweder erneuert, neu gebaut oder abgebrochen. Der Lagerabfluss hängt nicht nur von der Lebens-/Nutzungsdauer in einer Bauwerkskategorie ab, sondern auch von der Erneuerungs- oder Renovationsrate in Teilbereichen des Bauwerks (Abbaudynamik). Beispielsweise werden Fenster häufiger erneuert als Wände.

Das Lager pro Bauwerkskategorie wird aufgeteilt auf einzelne Baumaterialien kombiniert mit deren durchschnittlichen Lebens-/Nutzungsdauer. Daraus resultiert der jährliche Fluss aus dem Lager.

Aus den aktuellen Studien ist kein Umschichtungstrend von alten zu neuen Gebäuden erkennbar (Stäubli 2010). Obwohl sich die Gebäudezusammensetzung geändert hat (vor 1960 deutlich weniger Beton (Wüest & Partner 2008)), wird für diese Studie deshalb keine Differenzierung der Gebäude beim Übergang in den Recyclingprozess vorgenommen.

Lebensdauer/Nutzungsdauer:

Der Begriff ‚Lebensdauer‘ wird unterschiedlich verwendet je nach Interpretation und Konsumsektor. In dieser Studie ist 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 Lebensdauer/Nutzungsdauer verwendet.

Für die Abschätzung der Lebensdauer/Nutzungsdauer werden Literaturwerte (z.B. (Rubli 2015b)) verwendet. Für Kies und Sand sind dies 250 Jahre, für Asphalt 50 Jahre, für Beton und Mauerwerk 200 Jahre sowie 100 Jahre für die restlichen Materialien (Tabelle 3-3).

Lagerbestand Ursprungslager*Wachstum^{ΔJahre} (Kapitel 3.2, 3.3)

2015	Lager Hoch- und Tiefbau									Total
	3 167.35									
	Lagerbestand der einzelnen Gebäudekategorien [Mio. t]									
	Hochbau						Tiefbau			
Kategorie	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	725.44	85.18	263.58	1 074.19
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.37	0.00	0.00	166.37
Beton	191.04	407.54	126.69	129.63	39.59	111.14	49.51	6.42	255.33	1 316.88
Mauerwerk	76.96	178.52	31.30	20.25	25.91	28.87	0.00	7.34	11.15	380.30
Brennbare Materialien	2.79	4.79	2.20	1.81	0.51	1.20	0.00	0.03	0.77	14.10
Holz	7.46	11.77	2.84	2.84	5.68	1.89	0.00	0.74	4.15	37.36
Metalle	5.86	10.66	6.92	9.73	2.75	4.61	1.30	3.36	10.09	55.27
Keramik, Gips, Glas etc.	22.41	55.14	13.75	9.88	7.06	8.53	0.00	0.00	6.12	122.88
Total	306.51	668.43	183.70	174.12	81.50	156.23	942.61	103.06	551.19	3 167.35

*Abfall durch Erneuerung/Renovation = f(Lebensdauer)

	Lebensdauer/Nutzungsdauer [a]								
	Hochbau						Tiefbau		
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
Kies, Sand / Strassenaufbruch	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Asphalt / Ausbauasphalt	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Beton / Betonabbruch	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Mauerwerk / Mischabbruch	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Brennbare Materialien	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Holz	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Metalle	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Keramik, etc. / Min. Fraktion	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Anteil Abbaumaterial aus Lagerunterhalt, berechnet aus Lebensdauer/Nutzungsdauer [%/a]								
	Hochbau						Tiefbau		
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%	0.40%
Asphalt / Ausbauasphalt	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%	2.00%
Beton / Betonabbruch	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
Mauerwerk / Mischabbruch	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%	0.50%
Brennbare Materialien	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
Holz	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
Metalle	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%
Keramik, etc. / Min. Fraktion	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%

= Lagerabfluss

Tabelle 3-3: Modellansatz Lagerabfluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015)

3.5 Fluss in die Entsorgung

Direktverwertung:

Ein Teil des abgebauten Materials wird direkt vor Ort wiederverwertet (Tabelle 3-4). Dies gilt im speziellen für Kies und Sand sowie Asphalt und ist demzufolge im Tiefbau relevant. Gemäss (Rubli 2016) werden 44% bzw. 10% dieser Materialien direkt vor Ort wiederverwertet, während der Erneuerung, des Neubaus oder des Abbruchs. Diese Menge wurde vom Lagerabfluss subtrahiert, woraus der reale Fluss resultiert, welcher das Lager in den Entsorgungsprozess verlässt.

Lagerabfluss (Kapitel 3.4)										
Lagerabfluss/Fluss in Entsorgung [Mio. t/a]										
	Hochbau						Tiefbau			Total
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Elektrizität / Emissionen *	1.85		1.71	1.77	0.10					5.43
Brennstoff / Emissionen *	8.83		4.20	4.65	0.25					17.92
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.34	1.05	4.30
Asphalt / Ausbausphal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	0.00	3.33
Beton / Betonabbruch	0.96	2.04	0.63	0.65	0.20	0.56	0.25	0.03	1.28	6.58
Mauerwerk / Mischabbruch	0.38	0.89	0.16	0.10	0.13	0.14	0.00	0.04	0.06	1.90
Brennbare Materialien	0.03	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.14
Holz	0.07	0.12	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00	0.01	0.04	0.37
Metalle	0.06	0.11	0.07	0.10	0.03	0.05	0.01	0.03	0.10	0.55
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.22	0.55	0.14	0.10	0.07	0.09	0.00	0.00	0.06	1.23
Total	1.73	3.75	1.05	0.99	0.49	0.86	6.49	0.45	2.60	18.40
Anteil Lagerbestand	0.56%	0.56%	0.57%	0.57%	0.60%	0.55%	0.69%	0.44%	0.47%	
	0.56%						0.60%			

*** (1-Transferanteil Direktverwertung)**

Transferanteil Direktverwertung										
	Hochbau						Tiefbau			
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Asphalt / Ausbausphal	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Beton / Betonabbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mauerwerk / Mischabbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Brennbare Materialien	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Holz	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Metalle	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

= Lagerabfluss nach Direktverwertung in Entsorgung

Tabelle 3-4: Modellansatz Lagerabfluss nach Direktverwertung (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase

3.6 Entsorgungsprozess und Aufbereitung zu Sekundärmaterial

Der Lagerabfluss nach einer Direktverwertung wird als Bauabfall dem Entsorgungsprozess zugeführt. Ein Teil gelangt in den Recyclingprozess und kann als Sekundärmaterial wiederverwertet werden, während der Rest via Verbrennung/KVA oder Deponierung entsorgt wird. Die Zuordnung erfolgte anhand von materialabhängigen Transferkoeffizienten.

Entsorgung und Transferkoeffizienten:

Als Grundlage für die Festlegung der Transferkoeffizienten wurden aktualisierte Daten aus dem Bericht (Wüest & Partner 2001) benutzt. Dieser unterteilt die Bauabfälle in drei Bereiche:

1. Abfälle, die nach Aufbereitung wieder zurück ins Lager geführt werden können (Recycling)
2. Abfälle, die in die Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) gelangen
3. Abfälle, die deponiert werden müssen

Tabelle 3-5 zeigt die detaillierten und zusammengefassten prozentualen Anteile der Aufteilung auf die drei Entsorgungskategorien.

Da keine allgemein anerkannten Mittelwerte der gesamten Schweiz vorliegen, handelt es sich bei den Werten in Tabelle 3-5 um Schätzungen, welche auf verschiedenen Literaturangaben und Gesprächen mit Experten beruhen. Wichtigste Quelle war neben Berichten von Wüest & Partner das KAR-Modell (Rubli 2015b) mit ausführlichen Daten aus acht grossen Schweizer Kantonen.

[%]	Recycling				KVA				Deponie			
	Recycling EIN direkt	Recycling zu KVA	Recycling zu Deponie	Recycling zusammengefasst (=Sekundärzufluss)	KVA EIN direkt	KVA EIN aus Recycling	KVA AUS zu Deponie	KVA zusammengefasst	Deponie EIN direkt	Deponie EIN aus Recycling	Deponie EIN aus KVA	Deponie zusammengefasst
Kies, Sand	91%	0%	9%	82%	0%	0%	0%	0%	9%	9%	0%	18%
Asphalt	94%	0%	11%	83%	0%	0%	0%	0%	6%	11%	0%	17%
Beton	90%	0%	5%	85%	0%	0%	0%	0%	10%	5%	0%	15%
Mauerwerk	85%	0%	5%	80%	0%	0%	0%	0%	15%	5%	0%	20%
Brennbare Materialien	48%	20%	0%	28%	47%	20%	3%	64%	5%	0%	3%	8%
Holz	65%	55%	0%	10%	33%	55%	1%	87%	2%	0%	1%	3%
Metalle	98%	0%	0%	98%	1%	0%	1%	0%	1%	0%	1%	2%
Keramik, Gips, Glas etc.	20%	0%	17%	3%	0%	0%	0%	0%	80%	17%	0%	97%

Tabelle 3-5: Anteile (%) der Materialmengen welche in die drei Entsorgungsprozesse Recycling, KVA und Deponie ein- und ausfliessen. Fett: Zusammengefasste Netto-Werte

In der detaillierten graphischen Darstellung obiger Zahlen in Abbildung 3-3 ist ersichtlich, dass ein geringer Anteil aus dem Recyclingprozess in die KVA bzw. in die Deponie fliesst, ebenso fliesst ein Teil aus der KVA in die Deponierung.

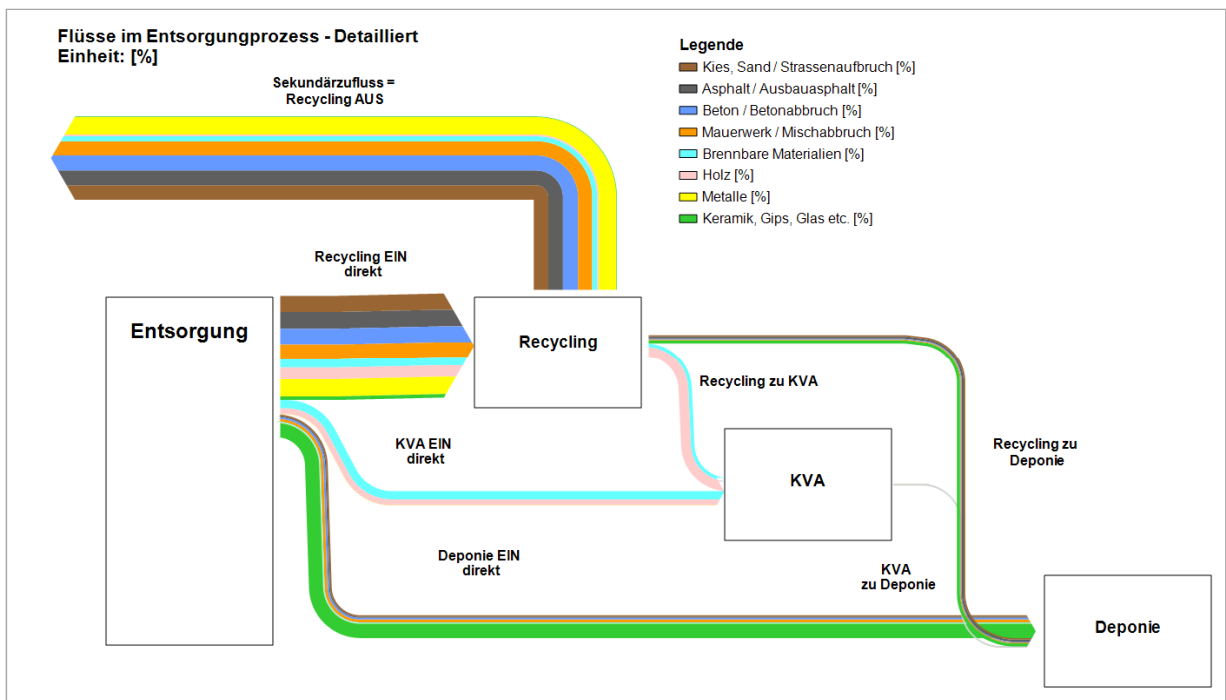


Abbildung 3-3: Detaillierte Darstellung der Aufteilung der Materialien im Entsorgungsprozess (in % der verschiedenen Materialien)

Werden die detaillierten Materialströme zu einer einfachen Aufteilung auf Recycling, KVA und Deponie zusammengefasst, resultieren die Anteile (Transferkoeffizienten) welche in Abbildung 3-4 visualisiert werden.

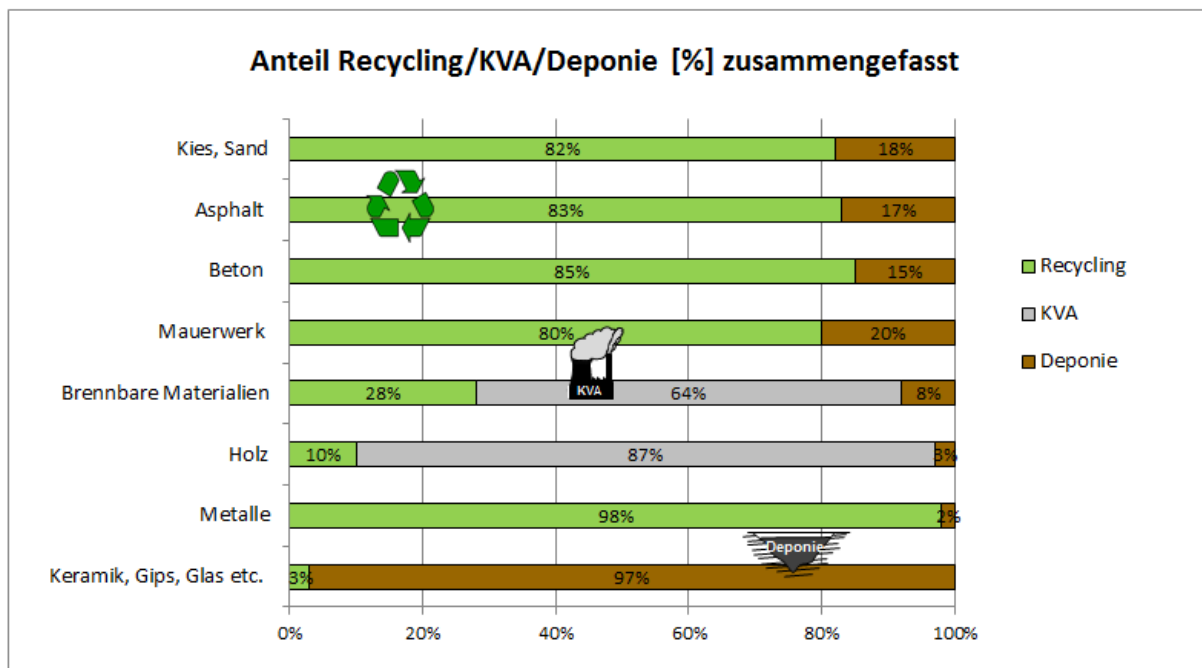


Abbildung 3-4: Aufteilung der entsorgten Materialien auf Recycling, KVA und Deponie

Lagerabfluss nach Direktverwertung in Entsorgung

(Kapitel 3.5)

	Lagerabfluss nach Direktverwertung [Mio. t/a]									Total
	Hochbau						Tiefbau			
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.62	0.19	0.59	2.41
Asphalt / Ausbauasphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00	2.99
Beton / Betonabbruch	0.96	2.04	0.63	0.65	0.20	0.56	0.25	0.03	1.28	6.58
Mauerwerk / Mischabbruch	0.38	0.89	0.16	0.10	0.13	0.14	0.00	0.04	0.06	1.90
Brennbare Materialien	0.03	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.14
Holz	0.07	0.12	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00	0.01	0.04	0.37
Metalle	0.06	0.11	0.07	0.10	0.03	0.05	0.01	0.03	0.10	0.55
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.22	0.55	0.14	0.10	0.07	0.09	0.00	0.00	0.06	1.23
Total	1.73	3.75	1.05	0.99	0.49	0.86	4.88	0.30	2.13	16.17
Anteil Lagerbestand	0.56%	0.56%	0.57%	0.57%	0.60%	0.55%	0.52%	0.29%	0.39%	
	0.56%						0.46%			

* Transferkoeffizienten

	Transferkoeffizienten für Aufteilung in Verwertung/Entsorgung nach Direktverwertung			Total
	Recycling	KVA	Deponie	
	Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.82	0.00	
Asphalt / Ausbauasphalt	0.83	0.00	0.17	1.00
Beton / Betonabbruch	0.85	0.00	0.15	1.00
Mauerwerk / Mischabbruch	0.80	0.00	0.20	1.00
Brennbare Materialien	0.28	0.64	0.08	1.00
Holz	0.10	0.87	0.03	1.00
Metalle	0.98	0.00	0.02	1.00
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.03	0.00	0.97	1.00

= Fluss (Recycling/KVA/Deponie)

	Fluss Recycling [Mio. t/a]	Fluss KVA [Mio. t/a]	Fluss Deponie [Mio. t/a]	Total
Kies, Sand / Strassenaufbruch	1.98	0.00	0.43	2.41
Asphalt / Ausbauasphalt	2.48	0.00	0.51	2.99
Beton / Betonabbruch	5.59	0.00	0.99	6.58
Mauerwerk / Mischabbruch	1.52	0.00	0.38	1.90
Brennbare Materialien	0.04	0.09	0.01	0.14
Holz	0.04	0.32	0.01	0.37
Metalle	0.54	0.00	0.01	0.55
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.04	0.00	1.19	1.23
Total	12.23	0.41	3.53	16.17

Tabelle 3-6: Modellansatz Entsorgung (Beispielrechnung für das Jahr 2015)

Der Recyclingfluss wird mit der prozentualen Massenverteilung der Materialien pro Gebäudeklasse multipliziert und zurück ins Lager geführt (Sekundärzufluss, Tabelle 3-7). Kies und Sand fließen so beispielsweise vor allem wieder zurück in den Strassenbau, da dort viel Kies und Sand gelagert ist. Daten zur anschliessenden Verteilung der Recyclingmaterialien in den verschiedenen Bereichen im Hoch- und Tiefbau konnten nicht gefunden werden, weshalb diese vereinfachende Annahme getroffen wurde. In der Realität dürfte momentan ein grösserer Anteil Sekundärmaterial in den Tiefbau statt in den Hochbau fließen.

Fluss Recycling* %-Verteilung pro Materialkategorie

	Prozentuale Verteilung pro Materialkategorie [%]									
	Hochbau						Tiefbau			Total
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0%	0%	0%	0%	0%	0%	68%	8%	25%	100%
Asphalt / Ausbaupasphalt	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
Beton / Betonabbruch	15%	31%	10%	10%	3%	8%	4%	0%	19%	100%
Mauerwerk / Mischabbruch	20%	47%	8%	5%	7%	8%	0%	2%	3%	100%
Brennbare Materialien	20%	34%	16%	13%	4%	9%	0%	0%	5%	100%
Holz	20%	32%	8%	8%	15%	5%	0%	2%	11%	100%
Metalle	11%	19%	13%	18%	5%	8%	2%	6%	18%	100%
Keramik, etc. / Min. Fraktion	18%	45%	11%	8%	6%	7%	0%	0%	5%	100%

= Sekundärzufluss (aus Recycling)

Tabelle 3-7: Modellansatz Sekundärzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015)

3.7 Primärzufluss

Der Primärzufluss ist eine Funktion der Wachstumsrate der einzelnen Bauwerkskategorien, des Lagerabflusses und des Sekundärzuflusses (Tabelle 3-8). Die durch Erneuerung oder Renovation abfliessende Menge muss für den Erhalt des Lagers ersetzt werden. Zusätzlich ergibt sich ein konjunkturabhängiger Bedarf für einen Ausbau des Lagers. Die Erneuerungs- und Ausbaumenge zusammen ergeben den jährlichen Materialbedarf für das Bauwerk Schweiz, dieser Bedarf wird durch die Summe von Primär- und Sekundärmaterial gedeckt. Eine gesteigerte Menge an Sekundärmaterial aus dem Recycling entlastet somit den Bedarf an Primärmaterial.

Der Bedarf an Primärmaterial sollte sich damit mit der Menge decken, welche durch das BFS jährlich in der Statistikdatenbank des Bundes vor (BFS 2013b) berichtet wird (siehe Anhang A I Datenvergleich mit Bundesamt für Statistik). Für die Vergleiche in graphischer Form siehe Kapitel 4.3.

Lagerbestand Gebäudekategorien (Kapitel 3.2)

2015	Lager Hoch- und Tiefbau									
	3 167.35									
	Lagerbestand der einzelnen Gebäudekategorien [Mio. t]									
	Hochbau						Tiefbau			Total
Kategorie	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	725.44	85.18	263.58	1 074.19
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	166.37	0.00	0.00	166.37
Beton	191.04	407.54	126.69	129.63	39.59	111.14	49.51	6.42	255.33	1 316.88
Mauerwerk	76.96	178.52	31.30	20.25	25.91	28.87	0.00	7.34	11.15	380.30
Brennbare Materialien	2.79	4.79	2.20	1.81	0.51	1.20	0.00	0.03	0.77	14.10
Holz	7.46	11.77	2.84	2.84	5.68	1.89	0.00	0.74	4.15	37.36
Metalle	5.86	10.66	6.92	9.73	2.75	4.61	1.30	3.36	10.09	55.27
Keramik, Gips, Glas etc.	22.41	55.14	13.75	9.88	7.06	8.53	0.00	0.00	6.12	122.88
Total	306.51	668.43	183.70	174.12	81.50	156.23	942.61	103.06	551.19	3 167.35

* Wachstumsrate pro Materialkategorie (Kapitel 3.3)

	Wachstum pro Materialkategorie [%]								
	Hochbau						Tiefbau		
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers
Elektrizität *	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Brennstoff *	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Kies, Sand	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Asphalt	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Beton	5.2%	4.5%	2.7%	2.4%	0.7%	1.1%	0.5%	0.2%	0.9%
Mauerwerk	0.9%	0.8%	0.5%	0.4%	0.1%	0.2%	0.5%	0.2%	0.9%
Brennbare Materialien	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Holz	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%
Metalle	5.2%	4.5%	2.7%	2.4%	0.7%	1.1%	0.5%	0.2%	0.9%
Keramik, Gips, Glas etc.	2.2%	2.0%	1.2%	1.1%	0.3%	0.5%	0.5%	0.2%	0.9%

+ Lagerabfluss nach Direktverwertung (Kapitel 3.5)

	Lagerabfluss nach Direktverwertung [Mio. t/a]									Total
	Hochbau						Tiefbau			
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.62	0.19	0.59	2.41
Asphalt / Ausbauasphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.99	0.00	0.00	2.99
Beton / Betonabbruch	0.96	2.04	0.63	0.65	0.20	0.56	0.25	0.03	1.28	6.58
Mauerwerk / Mischabbruch	0.38	0.89	0.16	0.10	0.13	0.14	0.00	0.04	0.06	1.90
Brennbare Materialien	0.03	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.14
Holz	0.07	0.12	0.03	0.03	0.06	0.02	0.00	0.01	0.04	0.37
Metalle	0.06	0.11	0.07	0.10	0.03	0.05	0.01	0.03	0.10	0.55
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.22	0.55	0.14	0.10	0.07	0.09	0.00	0.00	0.06	1.23
Total	1.73	3.75	1.05	0.99	0.49	0.86	4.88	0.30	2.13	16.17
Anteil Lagerbestand	0.56%	0.56%	0.57%	0.57%	0.60%	0.55%	0.52%	0.29%	0.39%	
	0.56%						0.46%			

- Sekundärzufluss (Kapitel 3.6)

	Sekundärzufluss (Recycling) [Mio. t/a]									Total
	Hochbau						Tiefbau			
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand / Strassenaufbruch	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.34	0.16	0.49	1.98
Asphalt / Ausbauasphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	0.00	2.48
Beton / Betonabbruch	0.81	1.73	0.54	0.55	0.17	0.47	0.21	0.03	1.08	5.59
Mauerwerk / Mischabbruch	0.31	0.71	0.13	0.08	0.10	0.12	0.00	0.03	0.04	1.52
Brennbare Materialien	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
Holz	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
Metalle	0.06	0.10	0.07	0.10	0.03	0.04	0.01	0.03	0.10	0.54
Keramik, etc. / Min. Fraktion	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
Total	1.20	2.59	0.74	0.74	0.31	0.64	4.04	0.25	1.72	12.23

= Primärzufluss

	Primärzufluss [Mio. t/a]									Total
	Hochbau						Tiefbau			
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.77	0.16	2.40	6.33
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	0.00	1.31
Beton	9.99	18.68	3.56	3.25	0.30	1.31	0.28	0.01	2.41	39.79
Mauerwerk	0.77	1.58	0.18	0.11	0.06	0.08	0.00	0.02	0.11	2.90
Brennbare Materialien	0.08	0.13	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.32
Holz	0.23	0.34	0.06	0.06	0.07	0.03	0.00	0.01	0.07	0.86
Metalle	0.30	0.48	0.19	0.24	0.02	0.05	0.01	0.01	0.09	1.39
Keramik, Gips, Glas etc.	0.72	1.61	0.30	0.20	0.09	0.12	0.00	0.00	0.11	3.15
Total	12.09	22.82	4.33	3.88	0.54	1.61	5.36	0.21	5.21	56.05

Tabelle 3-8: Modellansatz Primärzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase

3.8 Lagerzufluss

Der Lagerzufluss ist die Summe des Primärzuflusses und des Sekundärzuflusses. Er entspricht dem Materialbedarf, um das Bauwerk Schweiz zu erhalten (Renovationen, Unterhalt) und auszubauen wegen des steigenden Bedarfs (abhängig von Konjunktur).

Primärzufluss (Kapitel 3.7) + Sekundärzufluss (Kapitel 3.6) = Lagerzufluss										
Lagerzufluss [Mio. t/a]										
	Hochbau						Tiefbau			Total
	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Vers	
Elektrizität (toe) *	0.59		0.54	0.56	0.03					1.72
Brennstoff (toe) *	2.80		1.33	1.48	0.08					5.69
Kies, Sand	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.11	0.32	2.88	8.31
Asphalt	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.79	0.00	0.00	3.79
Beton	10.80	20.41	4.10	3.80	0.47	1.78	0.49	0.04	3.50	45.38
Mauerwerk	1.07	2.29	0.31	0.19	0.16	0.20	0.00	0.05	0.15	4.42
Brennbare Materialien	0.09	0.14	0.05	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.36
Holz	0.24	0.35	0.06	0.06	0.07	0.03	0.00	0.01	0.08	0.90
Metalle	0.36	0.59	0.26	0.33	0.05	0.10	0.02	0.04	0.19	1.93
Keramik, Gips, Glas etc.	0.73	1.63	0.30	0.20	0.09	0.13	0.00	0.00	0.11	3.19
Total	13.29	25.41	5.08	4.62	0.85	2.25	9.40	0.46	6.93	68.28

Tabelle 3-9: Modellansatz Lagerzufluss (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase. (toe: Tonnen Öl-Äquivalente)

3.9 Energiefluss

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde nebst den Materialflüssen auch der Energiefluss in das Bauwerk Schweiz bestimmt. Dazu sind prinzipiell zwei Ansätze möglich:

- Berechnung vom Einzel- auf den Gesamtbedarf (**bottom-up**). Das heisst, der thermische und elektrische Bedarf einer Grundeinheit jeder Kategorie im Hoch- und Tiefbau wird auf die gesamte Schweiz hochgerechnet.
- Umlegung der statistischen Daten für den Energieverbrauch der Schweiz (Gesamtbedarf) auf das Bauwerk Schweiz (**top-down**).

Für diese Studie wurde die zweite Variante gewählt, weil das BFE jährlich eine detaillierte Erfassung der Energieflüsse durchführt und diese fünf verschiedenen Endverbrauchern zuweist. Die Flüsse und deren Zuweisung sind in Abbildung 3-5 ersichtlich.

Vier von fünf Endverbrauchern können zusammengefasst als Verbraucher „Bauwerk Schweiz“ betrachtet werden, nämlich Haushalte, Industrie, Dienstleistungen sowie Landwirtschaft. Beim Endverbraucher Industrie ist anzumerken, dass beim Energieverbrauch auch industrielle Prozesse mit eingeschlossen sind und nicht nur die Energie für den Betrieb der Gebäude.

Der fünfte Endverbraucher „Verkehr“ wird beim Konsumbereich Mobilität betrachtet. Die beiden Konsumbereiche Bau und Mobilität weisen zusammen den gesamten Energiebedarf gemäss der Gesamtenergiestatistik des Bundesamtes für Energie (BFE 2016) auf.

Aus den Daten kann pro Endverbraucher eine Aufteilung in **Elektrizität** und in **Brennstoff** (Summe von Holz, Kohle, Müll- und Industrieabfälle, Erdöl, Gas, Fernwärme, übrige erneuerbare Energien, siehe Tabelle 2-3) vorgenommen werden.

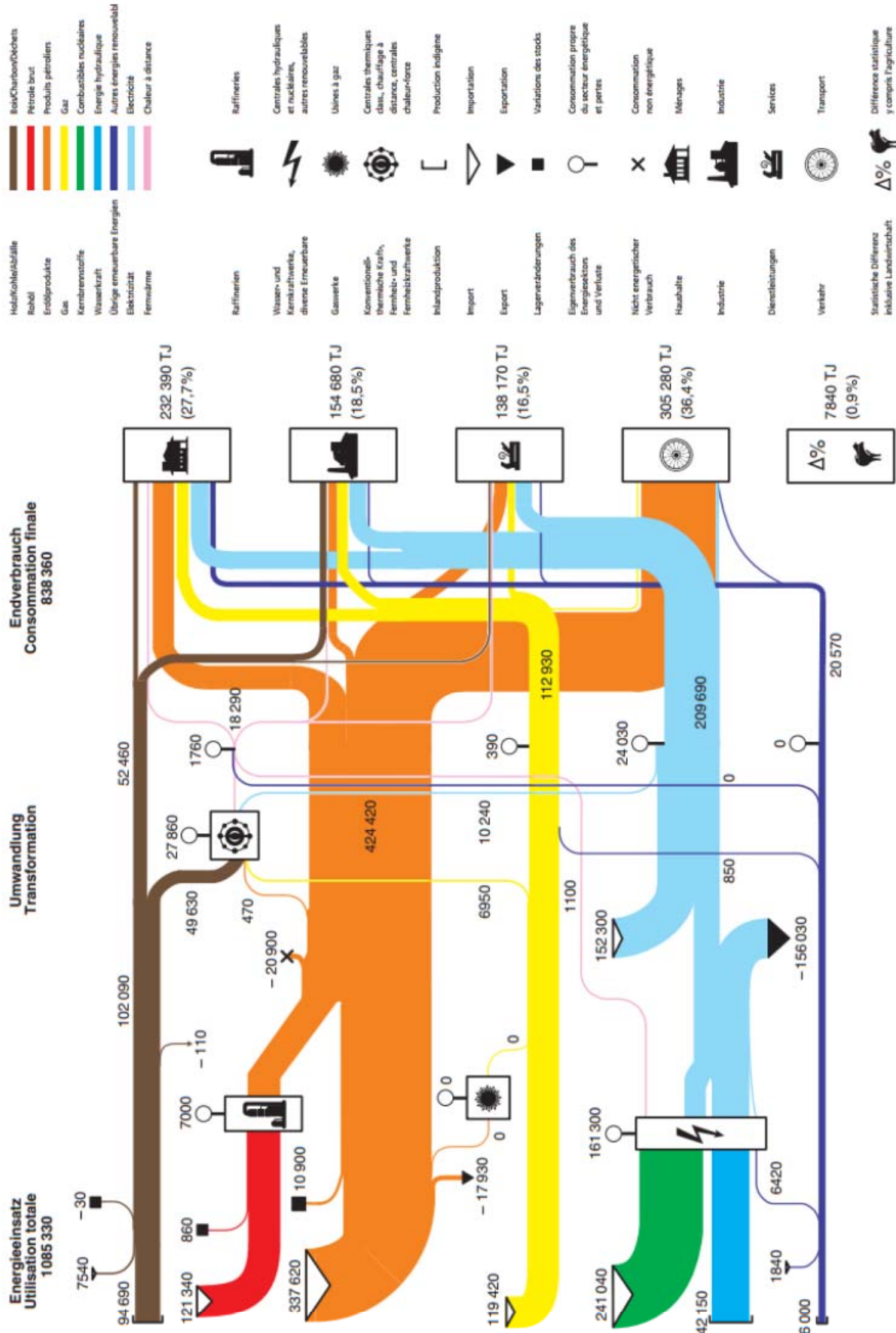


Abbildung 3-5: Energieflussdiagramm der Schweiz im Jahr 2015 (in TJ), Originalgrafik aus der Gesamtenergiestatistik des Bundes (BFE 2016)

Umrechnung Energie- in Massenfluss:

Damit der Energiebedarf für das Bauwerk Schweiz in der gleichen Art als Massenfluss dargestellt werden kann wie die Materialflüsse, wurde eine Umrechnung auf Tonnen Öl-Äquivalente (toe) vorgenommen.

Als methodischer Ansatz für diese Umrechnung wurde im ersten Schritt die CO₂-Emission berechnet, welche durch den Verbrauch von Strom (Elektrizität) bzw. Brennstoffen verursacht wird. Als Grundlage für diese Berechnung dienen die Energieflüsse der Schweiz im Jahr 2015 (BFE 2016) und die Umweltbelastungen gemäss BAFU (BAFU 2016c) für die verschiedenen Kategorien von Brenn- und Treibstoffen. Für den allgemeinen Strom-Mix in der Schweiz (Strom an der Steckdose inklusive Importanteile) wurde die Datenbank Ecoinvent v.3.2 (Ecoinvent 2016) benutzt mit einem Wert von 0.099 kg CO₂-Äquivalenten pro kWh (oder 27 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro TJ) (Tabelle 3-10; Tabelle 3-11).

In einem zweiten Schritt wurden die Mengen an CO₂-Äquivalenten mit dem Emissionsfaktor von Ölprodukten (3.15 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Tonne Öl) umgerechnet auf Tonnen Öl-Äquivalente (Tabelle 3-12). Der Energieverbrauch wurde als konstant angenommen (Tabelle 3-2), was einer vereinfachenden Annahme entspricht, welche sich jedoch mit den Prognosen gemäss den Analysen für die Energieperspektiven der Schweiz bis 2050 gut deckt (Prognos 2012).

Die Umrechnung in Öl-Äquivalente ist eine pragmatische Vereinfachung, welche jedoch mit genügender Genauigkeit ermöglicht, die Material- und Energieströme einander gegenüberzustellen (vgl. Kapitel 4).

Energiebilanz (BFE 2016)	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Total Bauwerk Schweiz	Verkehr	Total inkl. Verkehr	Stöchiometrischer Emissionsfaktor _{fossil} (BAFU 2016c) ¹⁾
	EFH + MFH [TJ]	DLG [TJ]	IND [TJ]	LWG + UEB [TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]	[t CO ₂ / TJ]
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B
Holzenergie	17 970	7 860	10 430	590	36 850	0	36 850	0
Kohle	400	0	5 010	0	5 410	0	5 410	93
Müll und Industrieabfälle	0	0	10 200	0	10 200	0	10 200	44
Erdölprodukte	79 520	35 030	16 270	3 070	133 890	290 530	424 420	74
Gas	46 260	25 530	39 370	380	111 540	1 390	112 930	56
Übrige erneuerbare Energien	13 500	3 190	1 560	250	18 500	2 070	20 570	0
Fernwärme	7 200	4 010	7 080	0	18 290	0	18 290	44
Total Brennstoff	164 850	75 620	89 920	4 290	334 680	293 990	628 670	
Total Elektrizität	67 540	62 550	64 760	3 550	198 400	11 290	209 690	27*
Total	232 390	138 170	154 680	7 840	533 080	305 280	838 360	

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

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

Tabelle 3-10: Energiebilanz der Schweiz für das Jahr 2015 (in TJ) aus der Gesamtenergiestatistik (BFE 2016) und Emissionsfaktoren gemäss (BAFU 2016c)

Treibhausgasbilanz	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Total Bauwerk Schweiz	Verkehr	Total ink. Verkehr	Emissionsfaktor (BAFU 2016b)
	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]	[t CO ₂ -eq tot]	[t CO ₂ -eq tot]	[t CO ₂ -eq tot]	
Holzenergie	0	0	0	0	0	0	0	3.15
Kohle	37 080	0	464 427	0	501 507	0	501 507	
Müll und Industrieabfälle	0	0	451 860	0	451 860	0	451 860	
Erdölprodukte	5 860 624	2 581 711	1 199 099	226 259	9 867 693	21 412 061	31 279 754	
Gas	2 609 064	1 439 892	2 220 468	21 432	6 290 856	78 396	6 369 252	
Übrige erneuerbare Energien	0	0	0	0	0	0	0	
Fernwärme	318 960	177 643	313 644	0	810 247	0	810 247	
Total Brennstoff	8 825 728	4 199 246	4 649 498	247 691	17 922 163	21 490 457	39 412 620	
Total Elektrizität	1 848 864	1 712 266	1 772 764	97 179	5 431 073	309 057	5 740 130	
Total	10 674 592	5 911 512	6 422 262	344 870	23 353 236	21 799 514	45 152 750	

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

Tabelle 3-11: Treibhausgasbilanz. Ergebnis der Multiplikation der Energiemengen aus der Gesamtenergiestatistik mit den Emissionsfaktoren aus (BAFU 2016c)

Massenbilanz	Haushalte	Dienstleistungen	Industrie	Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	Total Bauwerk Schweiz	Verkehr	Total ink. Verkehr
	EFH + MFH [toe]	DLG [toe]	IND [toe]	LWG + UEB [toe]	[toe]	[toe]	[toe]
Holzenergie	0	0	0	0	0	0	0
Kohle	11 771	0	147 437	0	159 209	0	159 209
Müll und Industrieabfälle	0	0	143 448	0	143 448	0	143 448
Erdölprodukte	1 860 516	819 591	380 666	71 828	3 132 601	6 797 480	9 930 081
Gas	828 274	457 109	704 910	6 804	1 997 097	24 888	2 021 985
Übrige erneuerbare Energien	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	101 257	56 395	99 570	0	257 221	0	257 221
Total Brennstoff	2 801 818	1 333 094	1 476 031	78 632	5 689 576	6 822 367	12 511 943
Total Elektrizität	586 941	543 577	562 782	30 850	1 724 150	98 113	1 822 263
Total	3 388 759	1 876 671	2 038 813	109 483	7 413 726	6 920 480	14 334 206

Tabelle 3-12: Massenbilanz ausgedrückt als Tonnen Öl-Äquivalente (toe). Ergebnis der Division der Treibhausgasemissionen mit dem Emissionsfaktor für Erdöl

Durch den Betrieb des Bauwerks Schweiz werden jährlich total 23.35 Mio. t CO₂-Äquivalente emittiert (wovon 5.43 Mio. t CO₂-Äq. aus Elektrizität) (Tabelle 3-11), was der Verbrennung von total 7.41 Mio. toe (wovon 1.72 Mio. toe für Elektrizität) entspricht (Tabelle 3-12).

Vergleich der Treibhausgasemissionen mit dem Treibhausgasinventar der Schweiz:

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 3-13 zeigt den Vergleich der CO₂-Emissionen von MatCH mit den offiziellen Zahlen des BAFU (BAFU 2016b). Die detaillierte Zuweisung der offiziellen Kyoto-Kategorien ist im Anhang beschrieben unter (A III Datenvergleich mit BAFU).

Emissionen [Mio. t CO ₂ -eq./a]		Hochbau					Tiefbau			Total
MatCH 2015	EFH	MFH	DLG	IND	LWG	UEB	Strasse	Schiene	Ent-Ver	
Elektrizität / Emissionen	1.85	1.71	1.77	0.10						5.43
Brennstoff / Emissionen	8.83	4.20	4.65	0.25						17.92
Total MatCH	10.67	5.91	6.42	0.34	0.00	0.00	0.00			23.35
BAFU 2014 (BAFU 2016a)^{1, 2)}										
1A2		Industrie		5.12						5.12
1A4		Andere Sektoren								0.00
	1A4a	Dienstleistungen / Gewerbe	3.81							3.81
	1A4b	Privathaushalte	8.07							8.07
	1A4c	Andere (Land- / Forstwirtschaft)			0.43					0.43
	1A5	Übrige (Militär)				0.14				0.14
Total BAUFU*		8.07	3.81	5.12	0.57	0.00	0.00	0.00		17.57

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

²⁾ Kategorien und Nummerierung nach IPCC.

* 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>).

Tabelle 3-13: Vergleich der Treibhausgasemissionen zusammengefasst aus Tabelle 3-11 mit dem Treibhausgasinventar der Schweiz (BAFU 2016b)

Im Unterschied zu den BAUFU-Zahlen liegen die Werte der vorliegenden Studie erwartungsgemäss etwas höher, da auch Emissionen berücksichtigt werden, welche bei der Produktion von Importgütern (inklusive Importstrom) anfallen. Die Schweiz hat für das Jahr 2014 insgesamt 48.71 Mio. t CO₂-äq. ausgewiesen (BAFU 2016b; BAUFU 2016a), wovon 17.57 Mio. t CO₂-äq. oder 36% aus dem Baubereich stammen. Inklusive Importanteile resultieren total 23.35 Mio. t CO₂-äq., wovon 17.92 Mio. t CO₂-äq. auf Brennstoff und 5.43 Mio. t CO₂-äq. auf Elektrizität entfallen. Die Klimarelevanz der Produktion von Elektrizität wird bei der BAUFU-Methodik aufgrund des hohen Anteils CO₂-armer inländischer Stromproduktion in Wasser- und Nuklearkraftwerken (BAFU 2016d) und wegen Vernachlässigung des importierten Stroms zu tief bewertet.

Berechnungen der Umweltauswirkungen durch den Energiebedarf des Bauwerks Schweiz:

Für die Berechnung der Umweltauswirkungen des Energiekonsums wurde für diese Studie ein Unterschied zwischen der Energiebereitstellung (Gewinnung, Ausarbeitung und Transport bis zum Heizkessel bzw. zum Stecker) und der kompletten Energienutzung vorgenommen (zusätzlich zur Bereitstellung ist auch die Nutzung und deren Infrastruktur inbegriffen).

Für die Bestimmung der Umweltauswirkungen durch die **Energiebereitstellung** wurden vereinfachend die in Öl-Äquivalente umgerechneten Energieträger (Tabelle 3-12) mit den Emissionsfaktoren für Öl multipliziert (Tabelle 3-14).

Bei der massgebenden Berechnung der Umweltauswirkungen der **Energienutzung** (Bereitstellung plus Verbrennung/Nutzung) konnten die Umweltauswirkungen einzelner Energieträger präzise aus den Energiemengen der Gesamtenergiestatistik (Tabelle 3-10) mit individuellen Emissionsfaktoren aus Ecoinvent v.3.2 multipliziert werden (Tabelle 3-15). Bei der Darstellung der Resultate in Kapitel 4.4 werden diese Ergebnisse zusammengefasst als Total der Brennstoffe und Total der Elektrizität dargestellt.

Bereitstellung	Massenbilanz [toe]	Faktor (Ecoinvent v 3.2)			Umweltauswirkungen		
		Treibhaus- effekt ¹⁾ [t CO ₂ -eq tot / t]	Gesamter Energie- bedarf (n.e.) ²⁾ [TJ-Eq / t]	Gesamt- Umwelt- belastung ³⁾ [Mio. UBP / t]	Treibhaus- effekt [t CO ₂ -eq tot]	Gesamter Energie- bedarf (ne) [TJ]	Gesamt- Umwelt- belastung [Mio. UBP]
Holzenergie ⁴⁾	0	0.53	0.06	1.13	0	0	0
Kohle ⁴⁾	159 209				83 732	8 807	180 072
Müll und Industrie- abfälle ⁴⁾	143 448				75 443	7 935	162 245
Erdöl-produkte ⁴⁾	3 132 601				1 647 521	173 283	3 543 107
Gas ⁴⁾	1 997 097				1 050 328	110 472	2 258 803
Übrige erneuerbare Energien ⁴⁾	0				0	0	0
Fernwärme ⁴⁾	257 221				135 280	14 228	290 928
Total Brennstoff	5 689 576						2 992 304
Total Elektrizität⁵⁾	1 724 150			5 431 073	489 367	15 341 076	
Total	7 413 726			8 423 377	804 092	21 776 232	

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

²⁾ Kumulierter, nicht-erneuerbarer Energieaufwand - Cumulative, non-renewable Energy Demand (CED V1.09)

³⁾ Ökologische Knappheit - ecological scarcity 2013: total total

⁴⁾ Light fuel oil/[CH] market for light fuel oil; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁵⁾ Gleich wie bei der Nutzung

Tabelle 3-14: Berechnung der Umweltauswirkungen für die Bereitstellung von Brennstoffen und Elektrizität (Energiebilanz für die Gewinnung, Ausarbeitung und Transport bis zum Heizkessel bzw. zur Steckdose). ne: nicht erneuerbar

Nutzung	Energiebilanz (BFE 2016) [TJ]	Faktor (Ecoinvent v 3.2)			Umweltauswirkungen		
		Treibhaus- effekt ¹⁾ [t CO ₂ -eq tot / TJ]	Gesamter Energie- bedarf (n.e.) 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 ⁴⁾	36 850	12.51	0.22	40.67	461 035	8 019	1 498 871
Kohle ⁵⁾	5 410	96.55	1.12	54.91	522 328	6 034	297 041
Müll und Industrie- abfälle ⁶⁾	10 200	0.41	0.00	0.80	4 173	35	8 126
Erdöl-produkte ⁷⁾	133 890	87.05	1.31	64.67	11 655 463	175 953	8 658 109
Gas ⁸⁾	111 540	71.80	1.20	45.09	8 008 690	133 489	5 029 634
Übrige erneuerbare Energien ⁹⁾	18 500	9.79	0.24	29.79	181 112	4 517	551 103
Fernwärme ¹⁰⁾	18 290	0.41	0.00	0.80	7 483	63	14 571
Total Brennstoff	334 680				20 840 284	328 109	16 057 456
Total Elektrizität¹¹⁾	198 400	27.37	2.47	77.32	5 431 073	489 367	15 341 076
Total	533 080				26 271 357	817 476	31 398 532

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

²⁾ Kumulierter, nicht-erneuerbarer Energieaufwand - Cumulative, non-renewable Energy Demand (CED V1.09)

³⁾ Ökologische Knappheit - ecological scarcity 2013: total total

⁴⁾ Heat, central or small-scale, other than natural gas/[CH] heat production, wood pellet, at furnace 25kW; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁵⁾ Heat, district or industrial, other than natural gas/[DE] heat and power co-generation, hard coal; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁶⁾ Heat, district or industrial, other than natural gas/[CH] heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁷⁾ Heat, central or small-scale, other than natural gas/[CH] heat production, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁸⁾ Heat, central or small-scale, natural gas/[CH] heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

⁹⁾ Heat, central or small-scale, other than natural gas/[CH] operation, solar collector system, Cu flat plate collector, one-family house, for hot water; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

¹⁰⁾ Heat, district or industrial, other than natural gas/[CH] heat, from municipal waste incineration to generic market for heat district or industrial, other than natural gas; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

¹¹⁾ Electricity, low voltage/[CH] market for electricity, low voltage | Alloc Rec, U; Ecoinvent v.3.2 - IPCC 2013 GWP 100a V1.00

Tabelle 3-15: Berechnung der Umweltauswirkungen für die Nutzung von Brennstoffen und Elektrizität. Zusätzlich zur Bereitstellung sind auch die Verbrennung/Nutzung und die Infrastruktur inbegriffen. ne: nicht erneuerbar

4 Resultate

4.1 Zusammensetzung des Lagers 2015

Die in Kapitel 3.2 dargestellten Lagermengen für das Jahr 2013 („Startwert“) basieren im Bereich Hochbau auf der Studie von (Wüest & Partner 2015) und im Bereich Tiefbau auf Daten von (Rubli 2016) und (Rubli und Jungbluth 2005). Die Gesamtmasse des Bauwerks Schweiz beträgt über 3 000 Mio. Tonnen, wobei die Verteilung zwischen Hoch- und Tiefbau mit je ca. 1 500 Mio. Tonnen praktisch ausgeglichen ist.

Die Daten lassen sich nach Bauwerkskategorien (siehe Abbildung 3-2 für 2013) oder nach Materialkategorien darstellen.

Für das Jahr 2015 zeigt Abbildung 4-1 die Berechnung der Materialmengen, unterschieden nach Hochbau und Tiefbau (punktierte Schraffur). Zusätzlich zeigt die schwarze Kennzeichnung den jährlichen Lagerzuwachs in den entsprechenden Materialkategorien im Verhältnis zu den Lagermengen (sichtbar praktisch nur bei Beton und Kies, Sand).

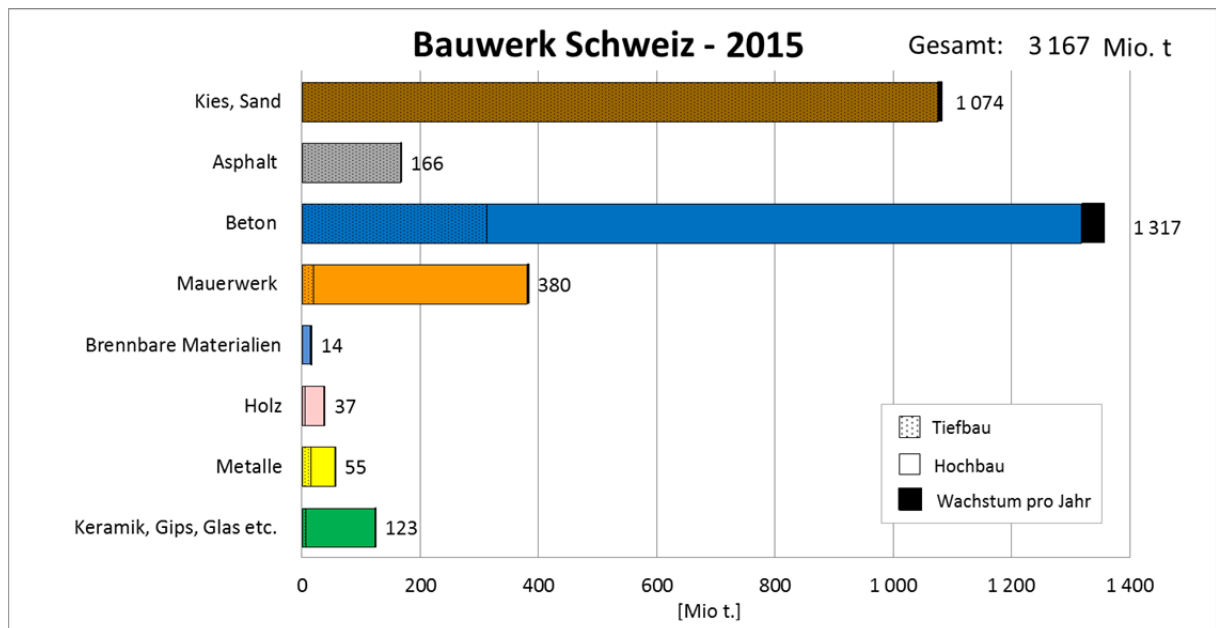


Abbildung 4-1: Lagermengen im Bauwerk Schweiz 2015 pro Materialkategorie

Kies, Sand, Asphalt und ca. $\frac{1}{4}$ der Betonmenge sind im Tiefbau gelagert (Tiefbau gesamt 2015: 1 597 Mio. t), diese Menge entspricht fast genau der Materialmenge im Hochbau (2015: 1 571 Mio. t).

4.2 Modellierung der Materialflüsse 2015

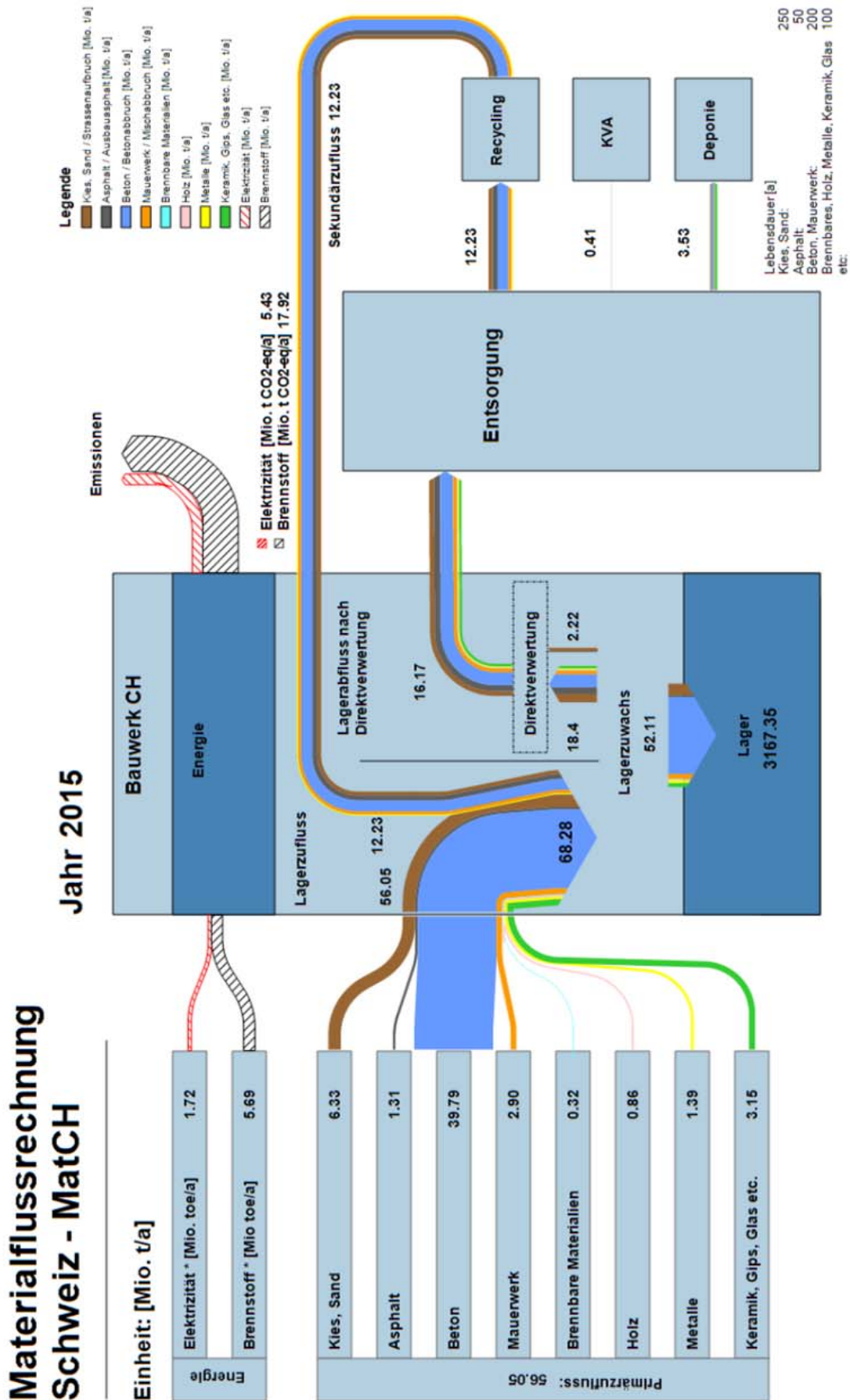


Abbildung 4-2: Materialfluss im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse und des Lagerbestands ist in Tabelle 4-1 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (toe: Tonnen Öl-Äquivalente)

2015	Lagerbestand	Lagerzuwachs	Lagerabfluss / Fluss in Entsorgung	Direktverwertung	Lagerabfluss nach Direktverwertung	Fluss Recycling (Sekundärzufluss)	Fluss KVA	Fluss Deponie	Primärzufluss	Lagerzufluss
	[Mio. t]									
Elektrizität (toe) *	-	-	5.43	-	-	-	-	-	-	1.72
Brennstoff (toe) *	-	-	17.92	-	-	-	-	-	-	5.69
Kies, Sand	1 074.19	5.90	4.30	1.89	2.41	1.98	0.00	0.43	6.33	8.31
Asphalt	166.37	0.80	3.33	0.33	2.99	2.48	0.00	0.51	1.31	3.79
Beton	1 316.88	38.80	6.58	0.00	6.58	5.59	0.00	0.99	39.79	45.38
Mauerwerk	380.30	2.52	1.90	0.00	1.90	1.52	0.00	0.38	2.90	4.42
Brennbare Materialien	14.10	0.22	0.14	0.00	0.14	0.04	0.09	0.01	0.32	0.36
Holz	37.36	0.52	0.37	0.00	0.37	0.04	0.32	0.01	0.86	0.90
Metalle	55.27	1.38	0.55	0.00	0.55	0.54	0.00	0.01	1.39	1.93
Keramik, Gips, Glas etc.	122.88	1.97	1.23	0.00	1.23	0.04	0.00	1.19	3.15	3.19
Total	3 167.35	52.11	18.40	2.22	16.17	12.23	0.41	3.53	56.05	68.28

Tabelle 4-1: Zusammenfassung des Lagerbestands und der Flüsse für die verschiedenen Kategorien von Materialien (Beispielrechnung für das Jahr 2015). * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (toe: Tonnen Öl-Äquivalente)

4.3 Vergleich der Materialflüsse mit anderen Quellen

Die Materialflüsse gemäss der vorliegenden Studie für das Jahr 2015 sind in Abbildung 4-3 bis

Abbildung 4-11 den Werten aus anderen Studien gegenübergestellt. Der Vergleich kann für den gesamten Materialfluss (Abbildung 4-3) oder für jedes Material separat erfolgen (Abbildungen 4-4 bis 4-11).

Es wurden folgende Grundlagen verwendet:

- **Primärzufluss für das Jahr 2013:** Bundesamt für Statistik, STAT-TAB Datenbank (BFS 2013b). Der Primärzufluss wird definiert als Inländischer Materialkonsum für den Gebäudebereich, berechnet als Inländische Gewinnung + Importe – Exporte (siehe Anhang (A I Datenvergleich mit Bundesamt für Statistik).
- **Lager, Lagerabfluss und Direktverwertung basierend auf Daten von 2013:** Studien für den Hochbau von (Wüest & Partner 2015) und von (Rubli 2016) für den Tiefbau.
- **Recycling, KVA und Deponie für das Jahr 2001:** Da keine aktuelleren Informationen vorliegen, wurden die Daten von (Wüest & Partner 2001) verwendet.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Massenbilanzen bei den Vergleichswerten nicht ausgeglichen sind, da unterschiedliche Grundlagen verwendet wurden. So kann es sich beispielsweise ergeben, dass der Abfluss aus dem Lager nach einer Direktverwertung (bzw. der Zufluss in die Entsorgung) nicht der Summe der Flüsse in Recycling, KVA oder Deponie entspricht.

In Tabelle 4-2 werden die Resultate verglichen. Detailliertere Kommentare sind im Anhang (A II Datenvergleich mit anderen Quellen) ersichtlich.

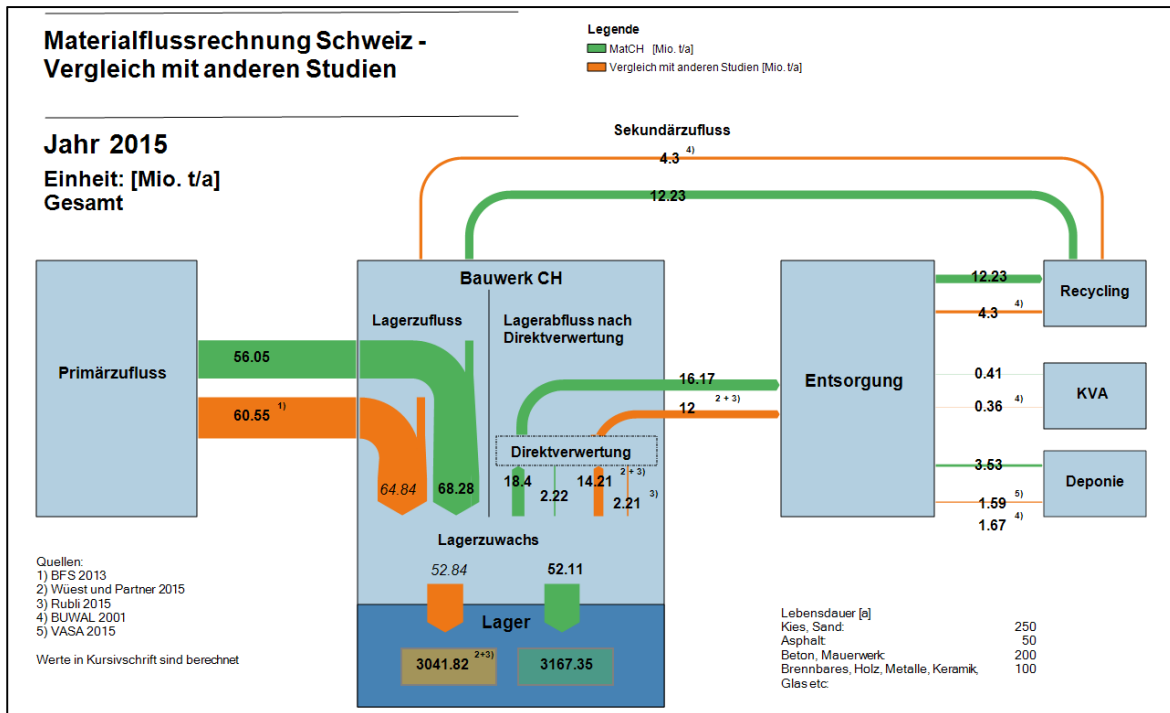


Abbildung 4-3: Vergleich Gesamtmengen mit anderen Studien

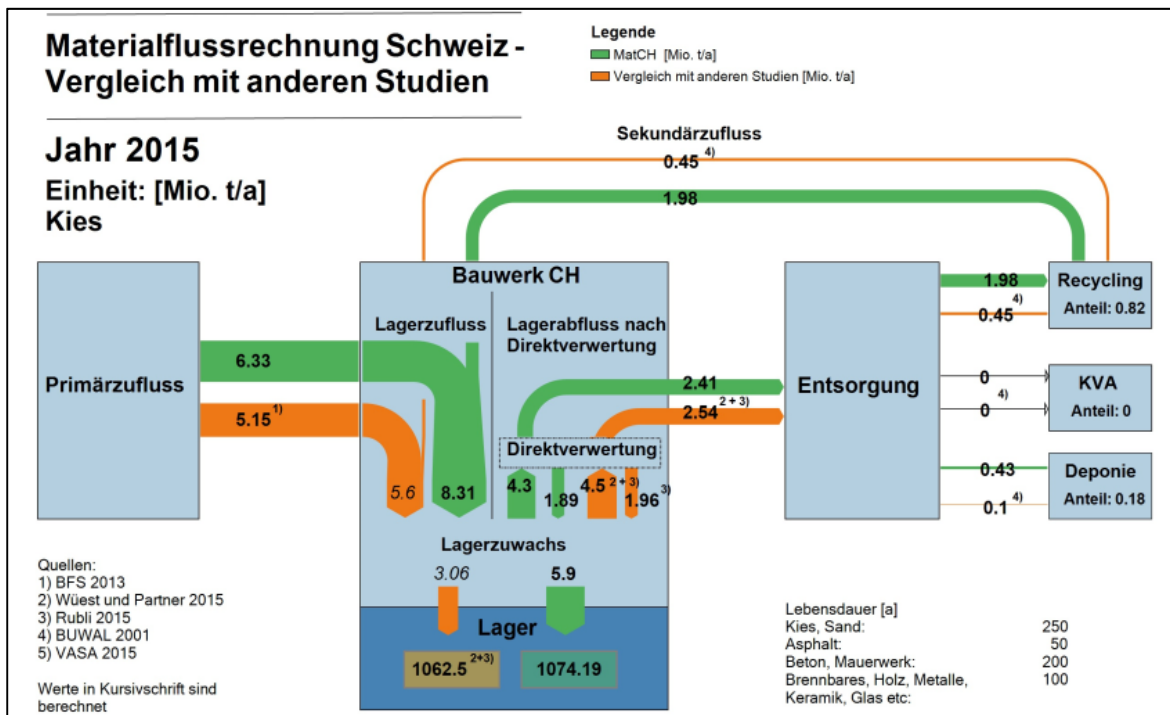


Abbildung 4-4: Vergleich Kies-, Sandfluss mit anderen Studien

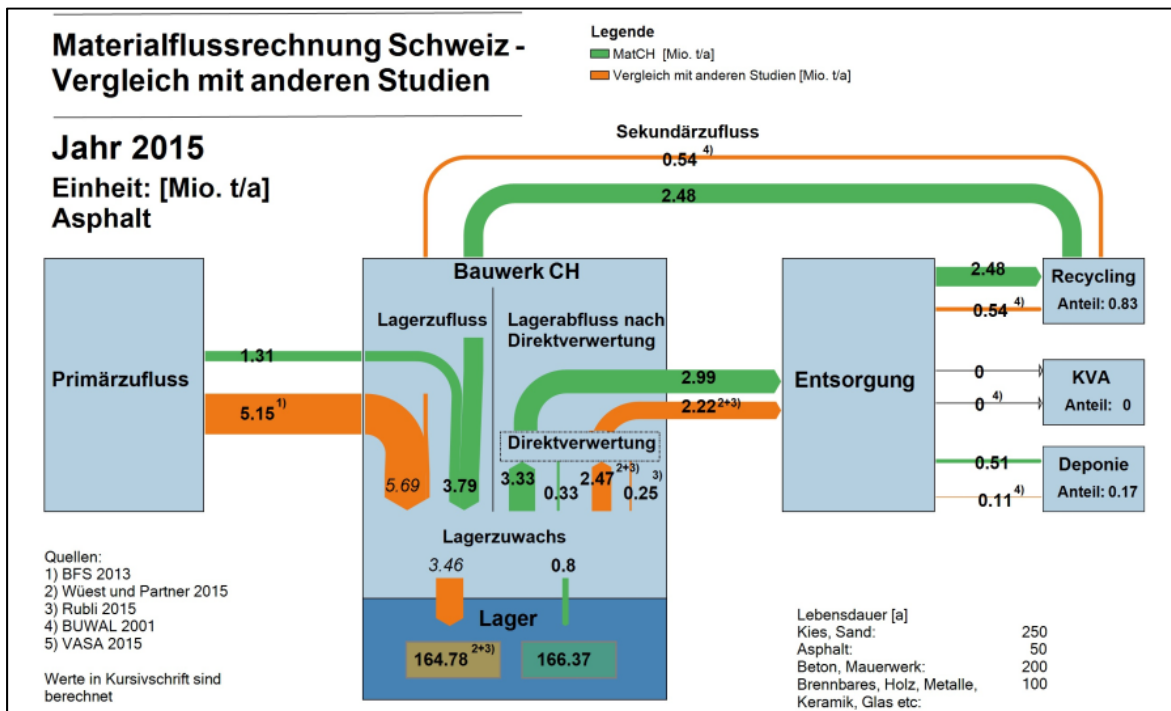


Abbildung 4-5: Vergleich Asphaltfluss mit anderen Studien

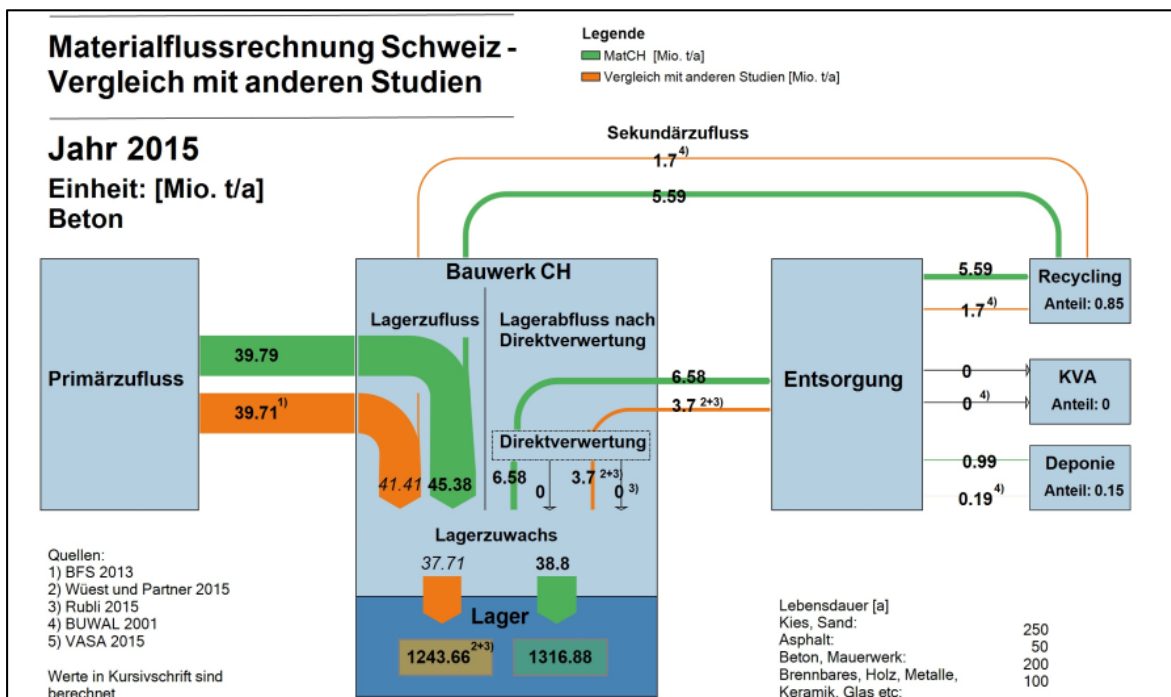


Abbildung 4-6: Vergleich Betonfluss mit anderen Studien

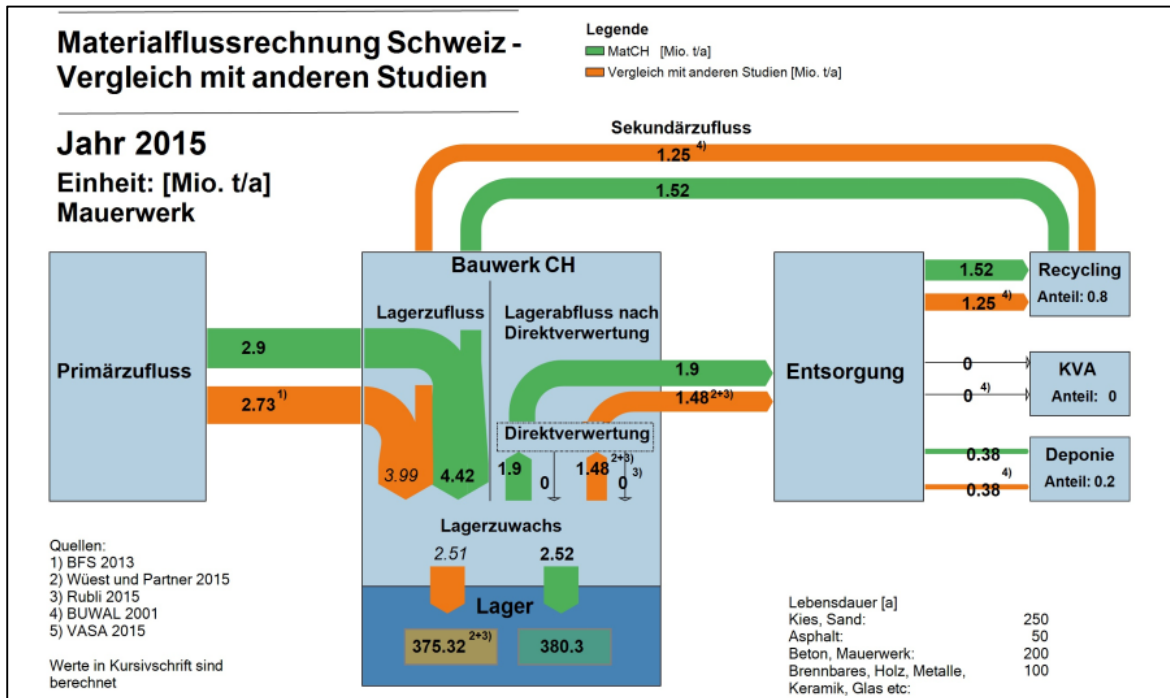


Abbildung 4-7: Vergleich Mauerwerkfluss mit anderen Studien

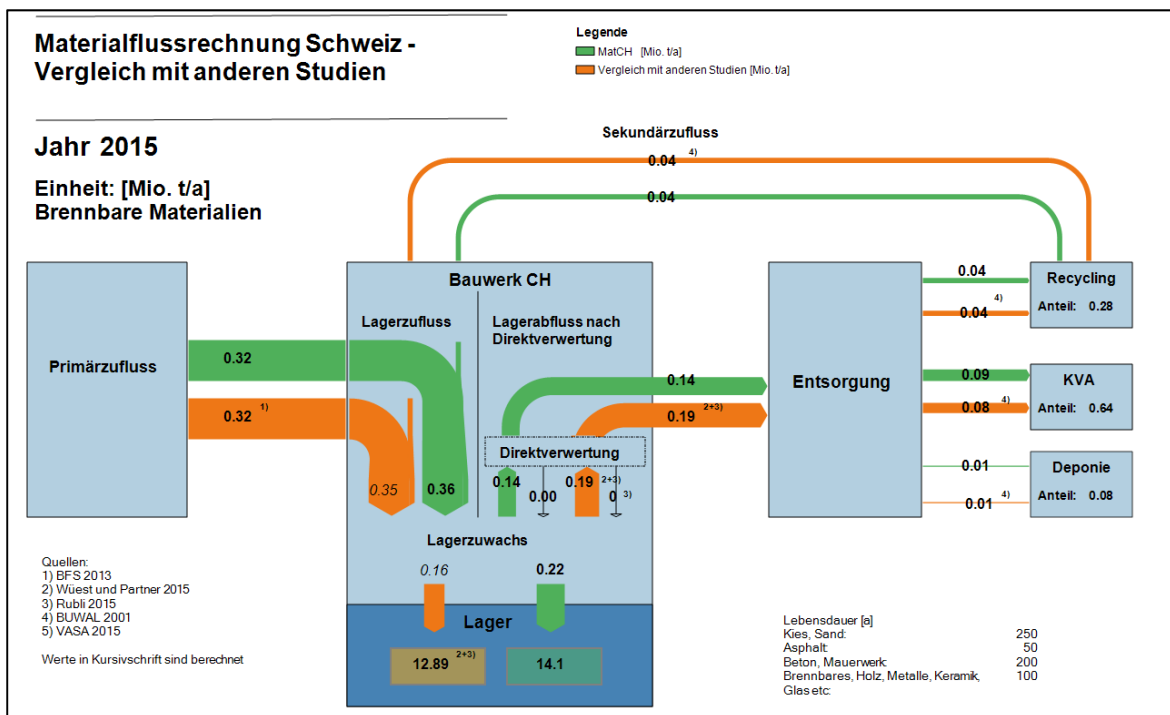


Abbildung 4-8: Vergleich Fluss brennbarer Materialien mit anderen Studien

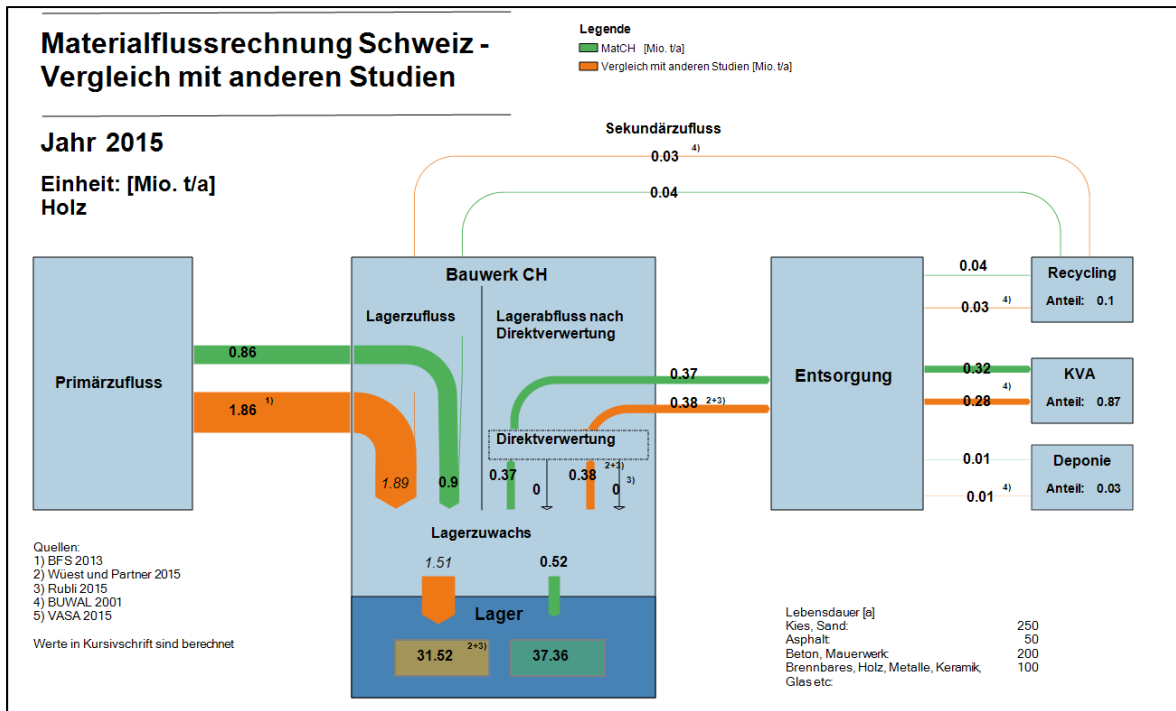


Abbildung 4-9: Vergleich Holzfluss mit anderen Studien

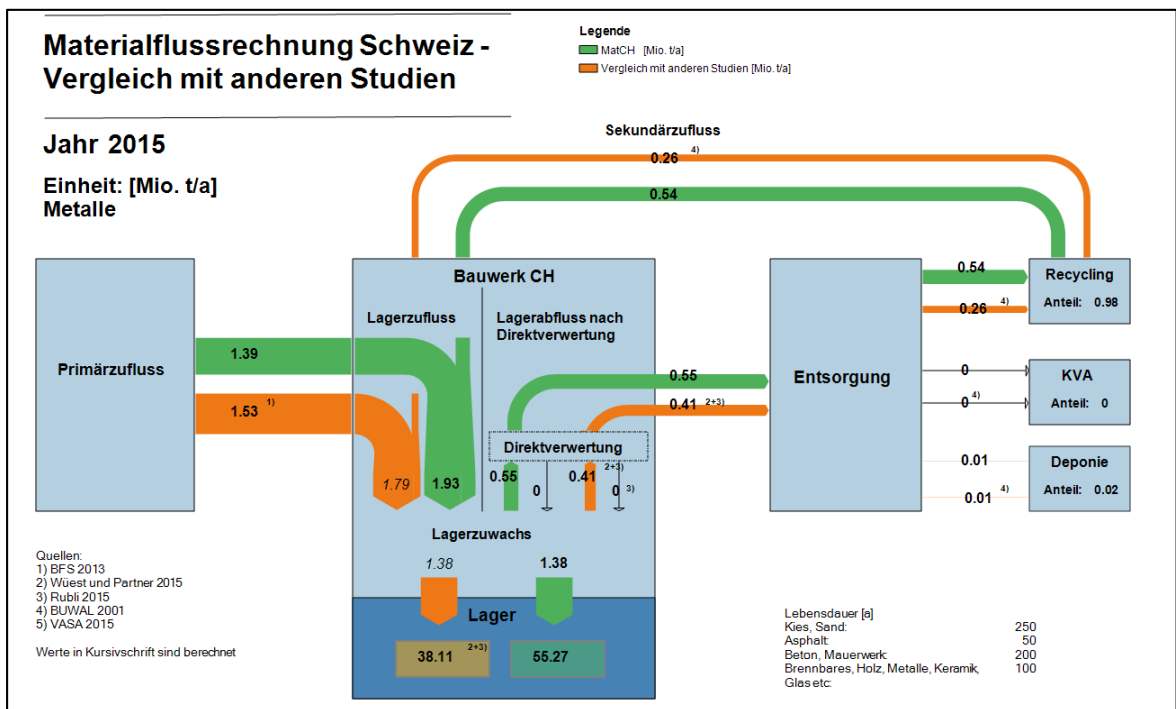


Abbildung 4-10: Vergleich Metallfluss mit anderen Studien

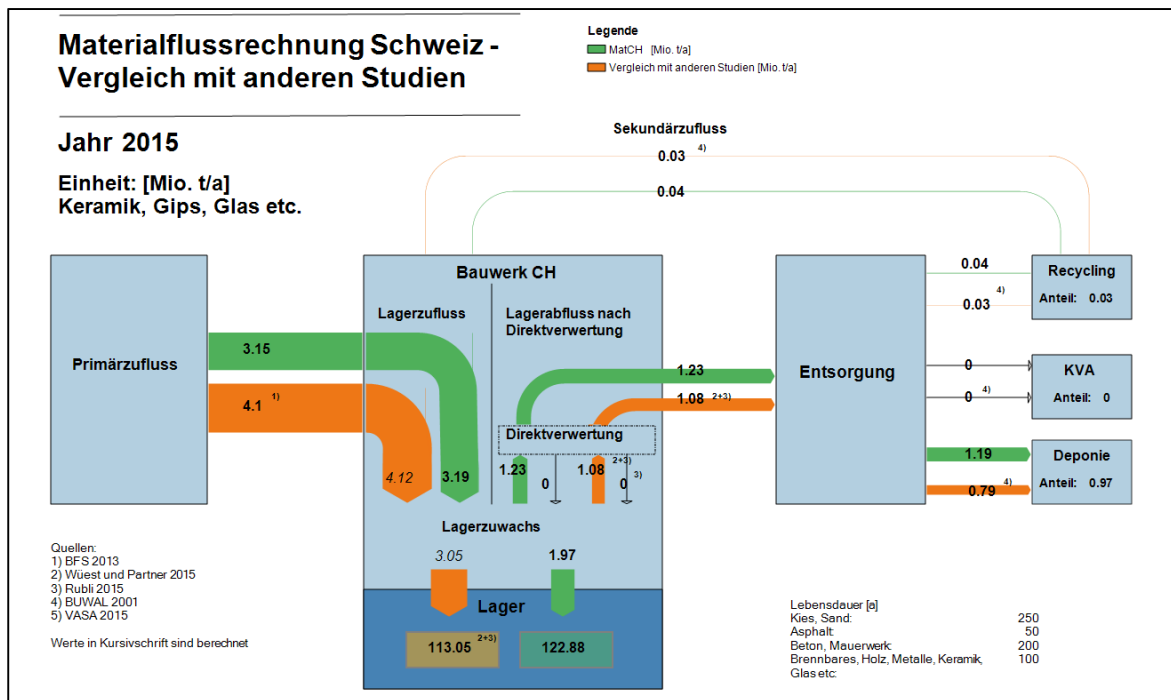


Abbildung 4-11: Vergleich mineralischer Materialfluss mit anderen Studien

Material	Resultate (MatCH im Vergleich zu Vergleichsstudien)	Siehe
Total	Höherer Sekundärfluss wegen deutlich höherer Recyclingrate. Vergleichswert ist veraltet (2001), deshalb dürfte ein deutlich höherer heutiger Wert plausibel sein.	Abbildung 4-3
Kies und Sand	Sekundärfluss deutlich höher (Vergleichswert 2001) Leicht höherer Primärfluss	Abbildung 4-4
Asphalt	Sekundärfluss deutlich höher (Vergleichswert 2001) Tieferer Lagerzuwachs, tieferer Primärfluss	Abbildung 4-5
Beton	Sekundärfluss etwas höher Gute Übereinstimmung	Abbildung 4-6
Mauerwerk	Gute Übereinstimmung	Abbildung 4-7
Brennbares Material	Gute Übereinstimmung	Abbildung 4-8
Holz	Tieferer Lagerzufluss als Vergleichswert. Eventuell Abgrenzungsprobleme in den Statistikdaten zwischen verschiedenen Holzarten (Bauholz, Brennholz, Holz zur Papierherstellung).	Abbildung 4-9
Metalle	Gute Übereinstimmung	Abbildung 4-10
Mineralisches Material	Gute Übereinstimmung	Abbildung 4-11

Tabelle 4-2: Resultate des materialspezifischen Vergleichs der Materialflüsse mit anderen Studien

4.4 Modellierung der Umweltbelastungen 2015

Die Materialflüsse im Bauwerk Schweiz, dargestellt in Abbildung 4-2 und Tabelle 4-1, haben verschiedene Umweltauswirkungen zur Folge gemäss den Beschreibungen in Kapitel 2.3.

Die Modellierung der Umweltbelastung erfolgt 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 Umweltbelastungen: Zusammenstellung der Materialkategorien ('Rezept') und Verlinkung mit Daten aus Ecoinvent v.3.2 ersichtlich.

Beispiel:

Der Primärzufluss an Mauerwerk beträgt 2.90 Mio. Tonnen pro Jahr (Abbildung 4-2, Tabelle 4-1). Der Emissionsfaktor für den Treibhauseffekt beträgt für Mauerwerk 0.31 kg CO₂-eq./kg (Anhang A V). Der aus dem Zufluss von Mauerwerk resultierende Treibhauseffekt beträgt somit $2.90 \cdot 10^6 \text{ t/Jahr} \cdot 0.31 \text{ t CO}_2\text{-eq./t} = 887\,779 \text{ t CO}_2\text{-eq./Jahr}$ wie in Abbildung 4-12 überprüft werden kann.

4.4.1 Treibhauseffekt

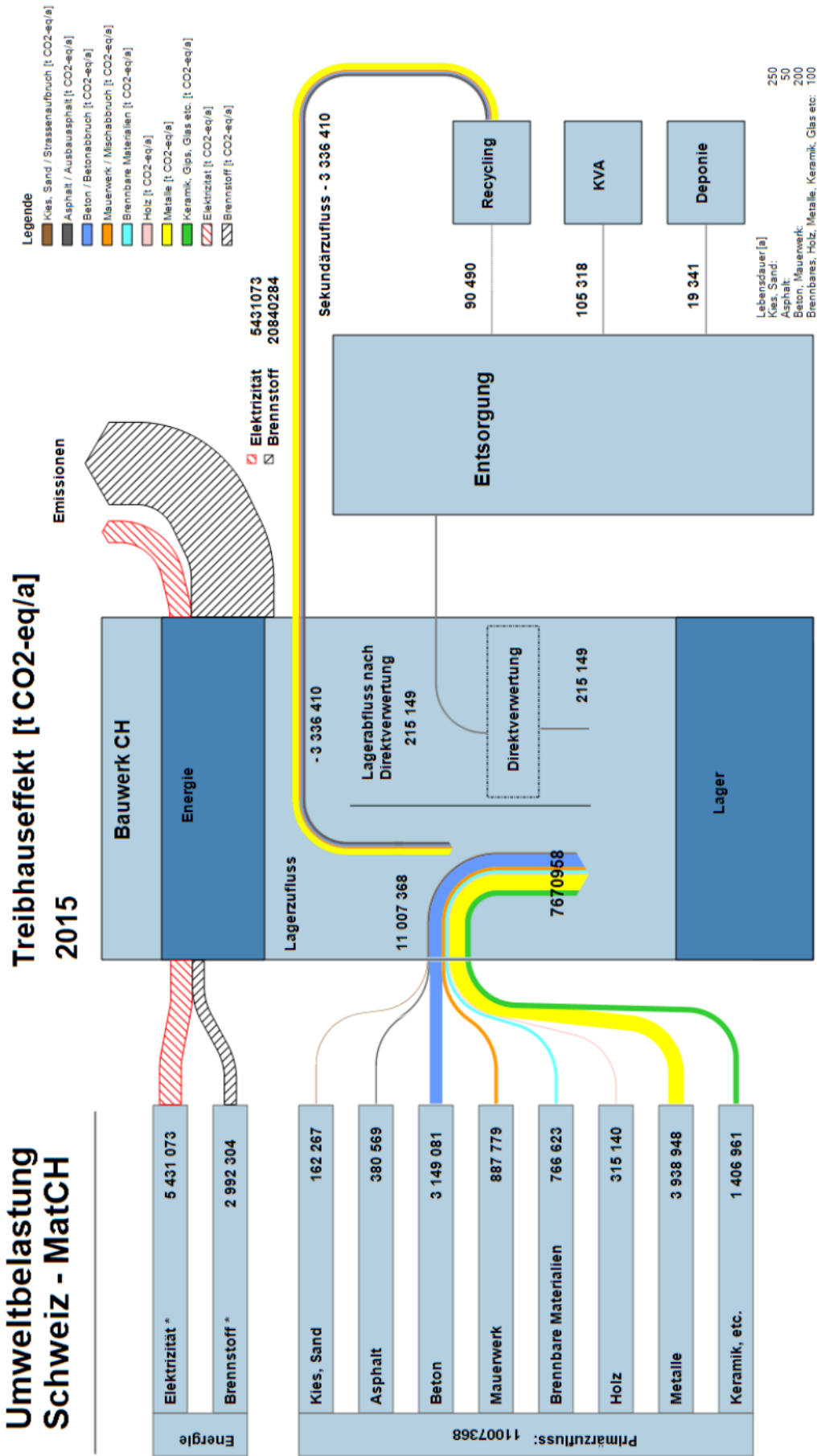


Abbildung 4-12: Treibhauseffekt (t CO₂-eq) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-3 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).

4.4.2 Gesamter Energiebedarf

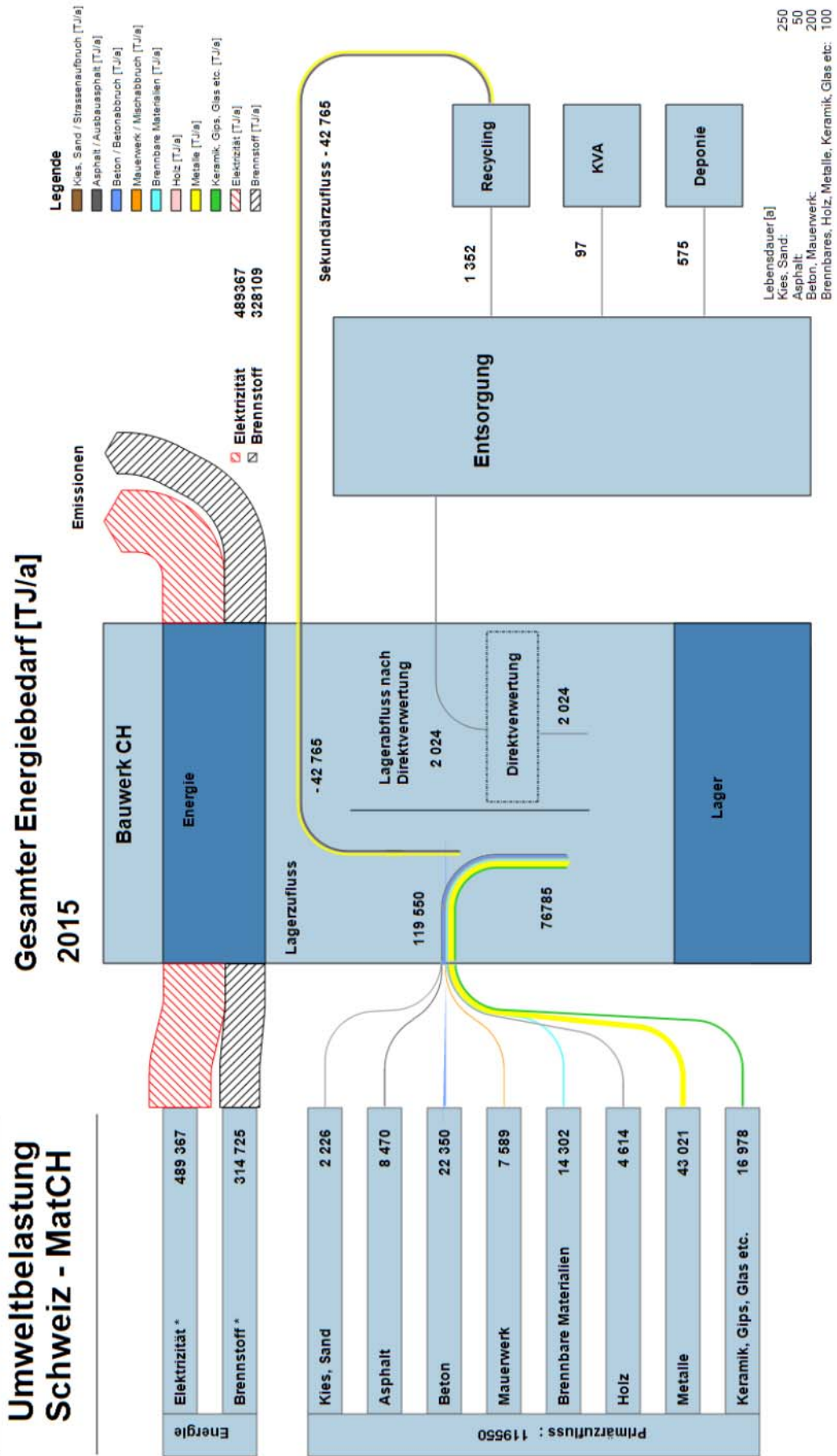


Abbildung 4-13: Gesamter Energiebedarf (TJ, inklusive Graue Energie) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-4 zu finden. * Nur Energie in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).

4.4.3 Gesamt-Umweltbelastung

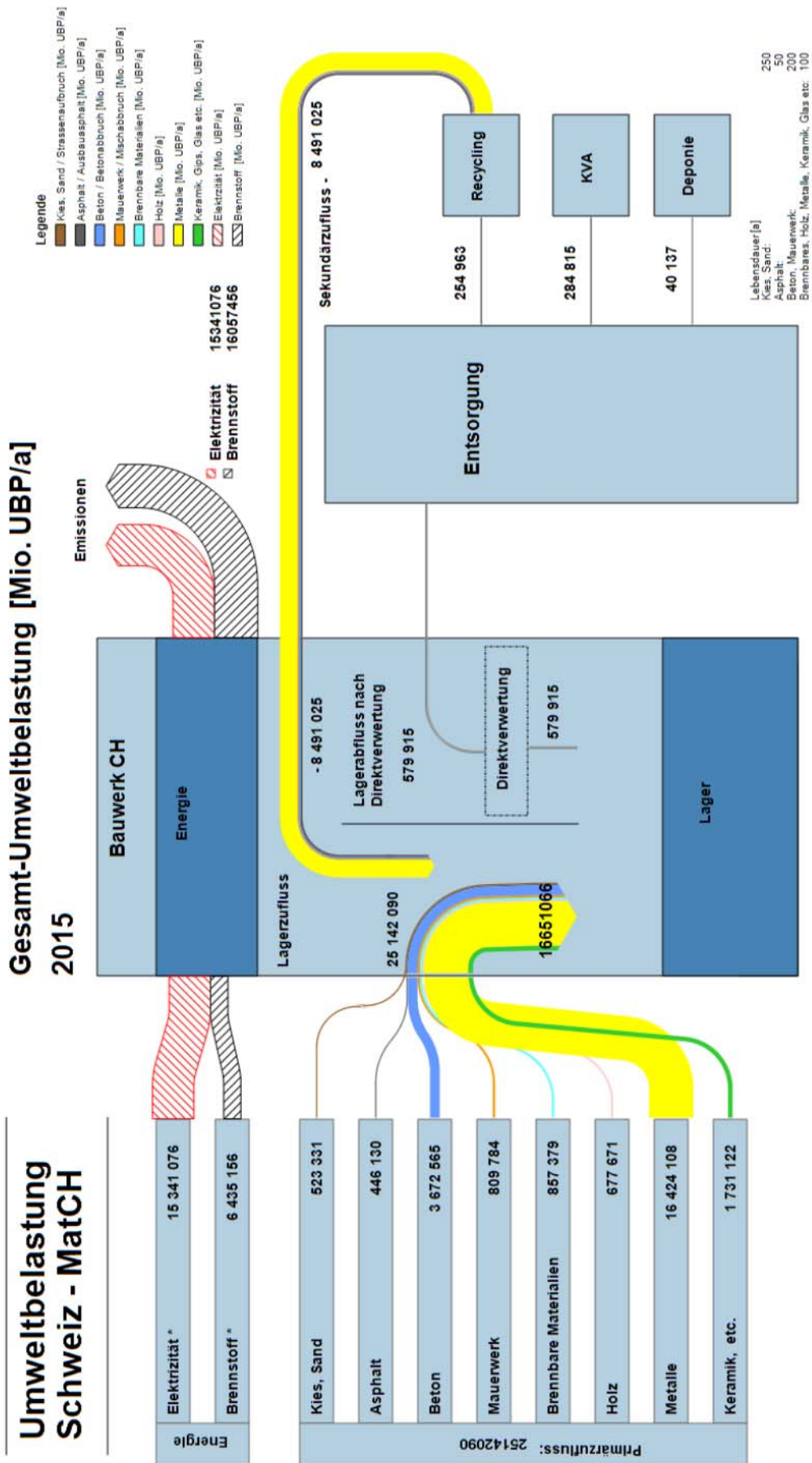


Abbildung 4-14: Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) im System Schweiz für das Jahr 2015. Eine detaillierte Beschreibung der Flüsse ist in der Tabelle 4-5 zu finden. * Nur Energiebedarf in der Nutzungsphase (Unterscheidung bereitgestellt/ genutzt).

4.4.4 Daten zu den Umweltbelastungen

Treibhauseffekt

2015	Lagerabfluss/ Fluss in Entsorgung	Fluss Recycling	Fluss KVA	Fluss Deponie	Primär- zufluss	Sekundär- zufluss	Lager- zufluss
	[Tonnen CO ₂ -eq]						
Elektrizität (toe) *	5 431 073	-	-	-	-	-	5 431 073
Brennstoff (toe) *	20 840 284	-	-	-	-	-	2 992 304
Kies, Sand	10 490	8 134	0	2 356	162 267	-50 763	111 504
Asphalt	12 982	10 188	0	2 794	380 569	-718 692	-338 122
Beton	36 957	31 533	0	5 424	3 149 081	-442 371	2 706 710
Mauerwerk	7 218	5 136	0	2 082	887 779	-465 358	422 421
Brennbare Materialien	101 653	0	101 598	55	766 623	-96 827	669 796
Holz	3 775	0	3 720	55	315 140	-13 838	301 302
Metalle	35 411	35 356	0	55	3 938 948	-1 530 722	2 408 226
Keramik, Gips, Glas etc.	6 663	143	0	6 520	1 406 961	-17 839	1 389 121
Total	215 149	90 490	105 318	19 341	11 007 368	-3 336 410	7 670 958

Tabelle 4-3: Zahlen zum Treibhauseffekt (Tonnen CO₂-eq) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015. Negative Zahlen: Umweltentlastung durch Recycling.

Gesamter Energiebedarf (nicht erneuerbar)

2015	Lagerabfluss/ Fluss in Entsorgung	Fluss Recycling	Fluss KVA	Fluss Deponie	Primär- zufluss	Sekundär- zufluss	Lager- zufluss
	[TJ]						
Elektrizität (toe) *	489 367	-	-	-	-	-	489 367
Brennstoff (toe) *	328 109	-	-	-	-	-	314 725
Kies, Sand	195	125	0	70	2 226	-697	1 530
Asphalt	239	156	0	83	8 470	-15 996	-7 526
Beton	644	483	0	161	22 350	-3 140	19 210
Mauerwerk	141	79	0	62	7 589	-3 978	3 611
Brennbare Materialien	57	0	55	2	14 302	-1 806	12 496
Holz	44	0	42	2	4 614	-215	4 399
Metalle	509	507	0	2	43 021	-16 718	26 302
Keramik, Gips, Glas etc.	195	2	0	193	16 978	-215	16 763
Total	2 024	1 352	97	575	119 550	-42 765	76 785

Tabelle 4-4: Zahlen zum (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf (TJ) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015.

Gesamt-Umweltbelastung

2015	Lagerabfluss/ Fluss in Entsorgung	Fluss Recycling	Fluss KVA	Fluss Deponie	Primär- zufluss	Sekundär- zufluss	Lager- zufluss
	[Mio. UBP]						
Elektrizität (toe) *	15 341 076	-	-	-	-	-	15 341 076
Brennstoff (toe) *	16 057 456	-	-	-	-	-	6 435 156
Kies, Sand	38 094	33 205	0	4 889	523 331	-163 718	359 613
Asphalt	47 389	41 590	0	5 799	446 130	-842 501	-396 371
Beton	116 621	105 365	0	11 256	3 672 565	-515 908	3 156 656
Mauerwerk	28 309	23 988	0	4 321	809 784	-424 475	385 310
Brennbare Materialien	72 871	321	72 436	114	857 379	-108 290	749 090
Holz	212 493	0	212 379	114	677 671	-31 579	646 092
Metalle	49 990	49 876	0	114	16 424 108	-6 382 604	10 041 503
Keramik, Gips, Glas etc.	14 148	618	0	13 530	1 731 122	-21 950	1 709 173
Total	579 915	254 963	284 815	40 137	25 142 090	-8 491 025	16 651 066

Tabelle 4-5: Zahlen zur Gesamt-Umweltbelastung (Mio. UBP) im Bauwerk Schweiz für das Jahr 2015.

4.5 Diskussion: Materialflüsse und Umweltbelastungen

Ein hoher Materialfluss ist nicht gleichbedeutend mit einer hohen Umweltbelastung. Je nach Kategorie der Umweltauswirkungen können geringe Mengen eines bestimmten Materialflusses eine höhere Umweltauswirkung aufweisen. Tabelle 4-6 und Abbildung 4-15 zeigen einen Vergleich der Anteile der Materialflüsse und der jeweiligen Umweltauswirkung in absoluten und relativen Zahlen.

2015	Materialfluss		Treibhauseffekt		Gesamter Energiebedarf **		Gesamt-Umweltbelastung	
	Mio. t/a	Prozentsatz	Mio. t. CO ₂ -eq/a	Prozentsatz	TJ/a	Prozentsatz	Mio. UBP/a	Prozentsatz
Elektrizität (toe) *	1.72	3%	5.43	15%	489 367	52%	15 341 076	27%
Brennstoff (toe) *	5.69	9%	20.84	56%	328 109	35%	16 057 456	28%
Kies, Sand	6.33	10%	0.16	0%	2 226	0%	523 331	1%
Asphalt	1.31	2%	0.38	1%	8 470	1%	446 130	1%
Beton	39.79	63%	3.15	8%	22 350	2%	3 672 565	6%
Mauerwerk	2.90	5%	0.89	2%	7 589	1%	809 784	1%
Brennbare Materialien	0.32	1%	0.77	2%	14 302	2%	857 379	2%
Holz	0.86	1%	0.32	1%	4 614	0%	677 671	1%
Metalle	1.39	2%	3.94	11%	43 021	5%	16 424 108	29%
Keramik, Gips, Glas etc.	3.15	5%	1.41	4%	16 978	2%	1 731 122	3%
Total Energie	7.41	12%	26.27	70%	817 476	87%	31 398 532	56%
Total Baumaterialien	56.05	88%	11.01	30%	119 550	13%	25 142 090	44%
Total Bauwerk Schweiz	63.46	100%	37.28	100%	937 026	100%	56 540 622	100%

** Nicht erneuerbar

Tabelle 4-6: Jährlicher Zufluss an Energie und Materialien in das Bauwerk Schweiz 2015 mit damit verbundenen Umweltauswirkungen (toe: Tonnen Öl-Äquivalente). * Für Energieträger: die Umweltbelastungen beziehen sich auf die Nutzungsphase.

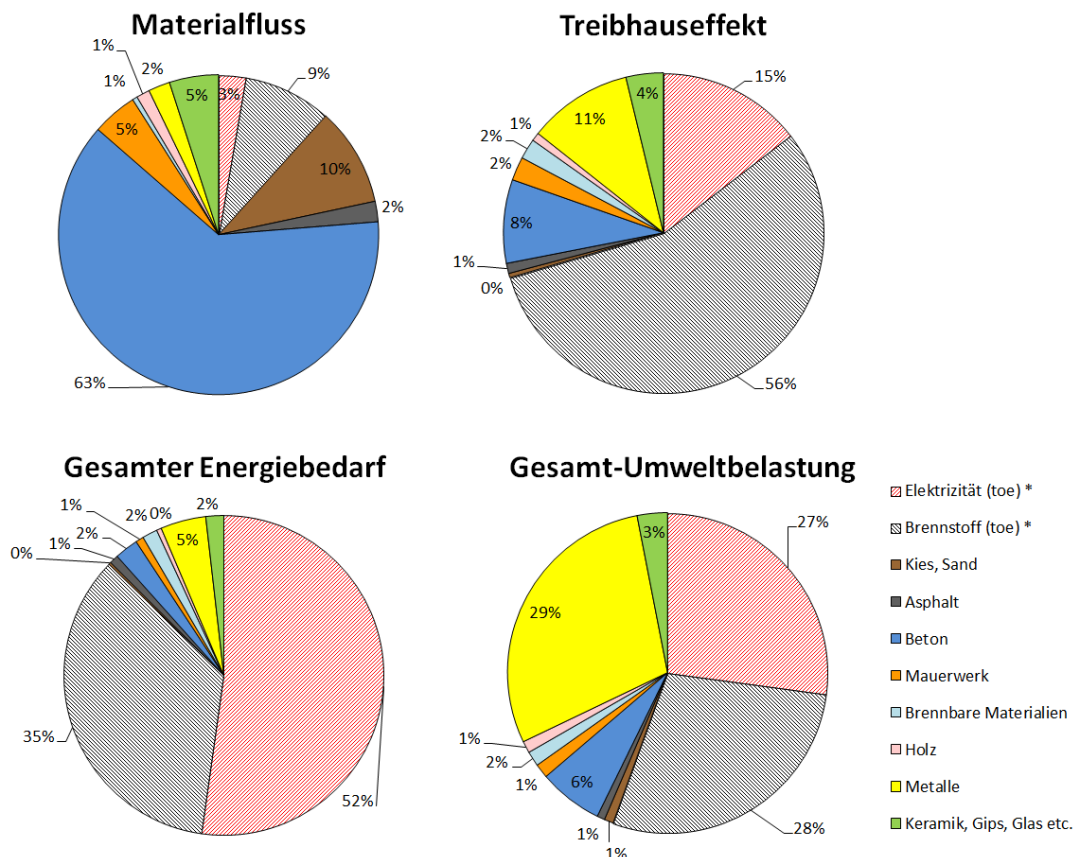


Abbildung 4-15: Anteile der Materialflüsse und damit verbundenen Umweltauswirkungen für das Jahr 2015

Baustoffe:

Beim jährlichen Materialfluss dominiert klar der **Beton** mit einem Primärzufluss von 39.79 Millionen Tonnen pro Jahr und 63% Anteil. Bei den damit verbundenen Umweltbelastungen hat Beton jedoch nur noch einen Anteil von 8% beim Treibhauseffekt, 2% beim (nicht erneuerbaren) gesamten Energiebedarf und 6% bei der gesamten Umweltbelastung.

Kies und Sand haben mit 10% einen sechsmal geringeren Materialfluss als Beton, die Umweltauswirkungen sind verglichen mit den anderen Primärflüssen vernachlässigbar (zwischen 0 und 1%).

Der Materialfluss von **Metallen** ist mit 2% (1.39 Mio. Tonnen pro Jahr) gering, die damit zusammenhängenden Umweltbelastungen sind jedoch mit 11% bei den Treibhausgasen, 5% bei dem (nicht erneuerbaren) Gesamten Energiebedarf und sogar 29% bei der Gesamten Umweltbelastung beträchtlich.

Energie:

Für den Betrieb des Bauwerks Schweiz müssen 5.69 Mio. toe als **Brennstoff** eingeführt werden, damit ist dies mit 9% der dritthöchste Massenfluss nach Beton und Kies und Sand. Bei den Umweltauswirkungen dominiert jedoch der Verbrauch von Brennstoffen klar vor dem Materialverbrauch mit 56% bei den Treibhausgasen, 35% Anteil bei dem (nicht erneuerbaren) gesamten Energiebedarf und 28% bei der Gesamt-Umweltbelastung.

Der in Öl-Äquivalente umgerechnete jährliche Bedarf an **elektrischer Energie** hat einen Materialfluss-Anteil von 3%. Trotz des als relativ ‚sauber‘ geltenden Strommixes an den Schweizer Steckdosen (mit 0.099 kg CO₂-eq/kWh) liegen die Umweltauswirkungen mit 15% bei Treibhausgasen und sogar 52% beim (nicht erneuerbaren) gesamten Energiebedarf sowie 27% bei der gesamten Umweltbelastung in einem hohen Bereich. Der Grund dafür liegt beim hohen Anteil von fast 40% Nuklearenergie und dem Anteil an importiertem Strom aus Kohle und Gas im CH-Strommix (Abbildung 3-5). Nuklearenergie weist bezüglich CO₂ tiefe Werte auf, zeigt jedoch bei Betrachtung anderer Umweltkategorien ungünstige Auswirkungen.

Zu den Energiebetrachtungen ist anzumerken, dass in der Gesamtenergiestatistik (BFE 2016) nicht unterschieden wird, ob Strom und Brennstoff für industrielle Prozesse oder für Heizung/Beleuchtung im Haushalts-, Industrie- und Dienstleistungsbereich eingesetzt wird. Klammert man den Bedarf für industrielle Prozesse aus, wäre der Energiebedarf für den Betrieb des Bauwerks Schweiz etwas geringer, über die Grössenordnung der Verringerung gibt es jedoch keine Daten.

Verhältnis Energie- vs. Baustoffbedarf des Bauwerks Schweiz:

Vergleicht man den gesamten jährlichen Energiebedarf für den Betrieb (Elektrizität und Brennstoff) mit der gesamten jährlich eingesetzten Baustoffmenge, ergeben sich interessante Erkenntnisse:

- Der gesamte Materialfluss beträgt 63.46 Mio. Tonnen, davon entfallen 12% auf Energie (7.41 Mio. Tonnen Öläquivalente) und 88% (56.05 Mio. Tonnen) auf Baumaterialien.
- Beim CO₂-Rucksack (Treibhauseffekt) mit total 37.28 Mio. Tonnen CO₂-äq. kehren sich die Verhältnisse deutlich um mit 70% (26.27 Mio. Tonnen CO₂-äq.) der verursachten Treibhausgase durch Energie und 30% (11.01 Mio. Tonnen CO₂-äq.) durch Baumaterialien.
- Bei dem Gesamten Energiebedarf (nicht erneuerbarer energetischer Rucksack inklusive Nutzung) mit 0.94 Mio. TJ/a ist die Situation noch ausgeprägter mit 87% (0.82 Mio. TJ/a) bedingt durch Energiebezug und 13% (0.12 Mio. TJ/a) durch die Baumaterialien.
- Die gesamte Umweltbelastung (der Ökologische Rucksack) im Baubereich beträgt 57 Bio. Umweltbelastungspunkte pro Jahr, wovon 56% (31 Bio. UBP) durch den Energieverbrauch und 44% (25 Bio. UBP) durch den Einsatz von Baumaterialien verursacht werden.

Diese Resultate zeigen, dass es sich aus Umweltsicht lohnt, das Bauwerk Schweiz im Hinblick auf einen tieferen Energiebedarf zu modernisieren. Dies bedingt zwar einen höheren Materialeinsatz, der jedoch durch den Vorteil eines geringeren Energieeinsatzes für den Betrieb des Bauwerks Schweiz kompensiert wird.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

5.1 Modellierung

Mit wenigen, jedoch zentralen Basisannahmen war es im Rahmen dieser Studie möglich, den Materialfluss im Bauwerk Schweiz darzustellen und Extrapolationen für die Zukunft zu machen. Folgende Basisannahmen wurden verwendet:

- Ein Startwert bestehend aus aktuellen Studien für die Mengen im Bauwerk Schweiz
- Annahmen über die Nutzungs- bzw. Lebensdauer von Materialien, damit die Bauwerke instand gehalten werden können
- Annahmen über die Expansion (oder Schrumpfung) des Bauwerks Schweiz, basierend auf Indikatoren zur Konjunktur
- Annahmen über die Entsorgung (Recycling, KVA, Deponie) der Baumaterialien

Die aus der Modellierung resultierenden Massenströme konnten mit Werten aus spezifischen Studien verglichen werden, wodurch das Modell kalibriert werden konnte. Es war jedoch nicht das Ziel der Studie, eine möglichst genaue Übereinstimmung mit Werten aus anderen Studien zu erhalten, da diese in sich nicht völlig widerspruchsfrei sind und 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, wurde die Energiemenge in einen Massenfluss umgerechnet. Für die vorliegende Studie wurde Elektrizität und Energie aus festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen (basierend auf der Gesamtenergiestatistik der Schweiz (BFE 2016) in Öl-Äquivalente umgerechnet. Die Darstellung als Massenfluss in derselben Weise wie die Baustoffmengen war somit möglich, ohne dass dafür eine Anpassung der Skalierung zwischen Baustoffen und Energie nötig war.

Die Massenflüsse sind nicht gleichbedeutend mit der Wirkung dieser Flüsse auf die Umwelt. Durch eine umfangreiche Zusammenstellung von Daten über Umweltauswirkungen von Baumaterialien und Energie (basierend auf der Ecoinvent Datenbank) war es möglich, die Massenflüsse in Umweltauswirkungen umzurechnen. Interessant dabei ist die Erkenntnis, dass mit dem Energiefluss in das Bauwerk Schweiz grössere Umweltauswirkungen verbunden sind als aus dem Fluss von Baumaterialien.

5.2 Verbesserung der Datengrundlagen

Weitere Untersuchungen werden insbesondere im Bereich Entsorgung benötigt. Die aktuellsten Daten zur Verteilung des Lagerabflusses auf das Recycling, die KVA und die Deponie stammen aus (Wüest & Partner 2001) mit einer Datengrundlage für das Jahr 1997. Hier bedarf es zwingend neuere Daten, damit verbesserte Rückschlüsse zur Ressourceneffizienz gemacht werden können. Verschiedene Publikationen erwähnen diese lückenhafte Datenbasis (Jacobs 2013; Rubli und Jungbluth 2005). Abbildung 1-2 zeigt, dass seit dem Jahr 2000 keine neuen Erhebungen für den gesamten Baubereich, also Hoch- und Tiefbau, durchgeführt wurden, weshalb auch (Jacobs 2013) nicht auf aktuellere Daten zurückgreifen konnte. Es gibt einige Verwirrungen zwischen Basisdaten und aggregierten Daten, da sich verschiedene Studien nicht direkt auf die Ursprungsquelle beziehen. Zusätzlich erschweren die unterschiedlichen Materialbezeichnungen die Datenauswertung und Aggregation. Einheitliche Bezeichnungen wären deshalb von grossem Nutzen.

5.3 Modellierung von Zukunftsszenarien

Die Zusammenstellung von Flüssen zu Baumaterialien, Energie und Umweltauswirkungen in einem einfachen Modell ermöglicht, verschiedene Szenarien für die Zukunft zu untersuchen.

Das Ziel der Modellierung kann dabei verschieden sein, beispielsweise:

- Abschätzung der künftig benötigten Mengen an Baumaterial
- Abschätzung des Bestandes eines bestimmten Materials im verbauten Lager der Schweiz auf der Zeitachse
- Minimierung des Zuflusses von Primärmaterialien und damit Erhöhung der Ressourceneffizienz durch Erhöhung der Recyclingraten oder Verlängerung der Nutzungsdauer
- Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt durch eine Verschiebung des Materialmixes bei den Primärmaterialien
- Minimierung der Auswirkungen auf die Umwelt durch eine verbesserte Schliessung von Stoffkreisläufen mittels Förderung des Recyclings zulasten von Verbrennung bzw. Deponierung

Indem die Modellierung bewusst einfach gehalten wurde (und als Excel-Datei verfügbar ist), können mögliche Szenarien durch Veränderung weniger Parameter relativ einfach und rasch berechnet werden. Ein eigentliches ‚Spielen‘ mit Parametern ermöglicht ein Gefühl für die komplexen Gesamtzusammenhänge zu erhalten. Die Resultate können durch graphische Darstellung gut visualisiert werden.

6 Literaturverzeichnis

- BAFU. 2006. „Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle“. Umwelt-Vollzug Nr. 0631. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt 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. „Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020)“. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- . 2016b. „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,lnp6iONTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCHeH94f2ym162epYbg2c_JjKbNoKS n6A--.
- . 2016c. „Faktenblatt CO₂ Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz“. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- . 2016d. „Switzerland’s Greenhouse Gas Inventory 1990–2014 - National Inventory Report including reporting elements under the Kyoto Protocol“. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- BFE. 2015. „Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014“. Bundesamt für Energie BFE.
- . 2016. „Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2015“. Bundesamt für Energie BFE.
- BFS. 2013a. „BFS Arealstatistik der Schweiz“. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik BFS. http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/erhebungen_quellen/blank/blank/arealstatistik/02/04.html.
- . 2013b. „STAT-TAB Interaktive Datenbank Bundesamt für Statistik“. November. <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/onlinedb/stattab.html>.
- 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)“.
- Empa in prep. 2016. „Material- und Energieressourcen im Mobilitätssektor der Schweiz“. Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Erdölvereinigung. 2013. November. http://www.erdoelvereinigung.ch/UserContent/Shop/Petrosphaere_3_2013_de_20131112.pdf.
- 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.
- FSKB. 2014. „Jahresbericht“. Schweiz: Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie FSKB.
- 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.
- Härig, S., K. Günther, und D. Klausen. 1994. „Technologie der Baustoffe“. C.F. Müller Verlag.
- Jacobs, F. 2013. „Evaluation von Baustoffen und Bauabfällen“. TFB Wildeggen.
- KBOB. 2015. „Bauteilkatalog, Datenbank mit Ökobilanzdaten“. <http://www.bauteilkatalog.ch/ch/de/Bauteilkatalog.asp>.
- Kind, E., E. Müller, L. Vogt, und B. Sutter. 2006. „Kieshaushalt Schweiz“. ETH Zürich.
- Kytzia, S., A. Rota, F. Wenk, U. Stüssi, S. Lier, und Bless. 2009. „Vorzüge nachhaltigen Bauens mit Beton“. Rapperswil: Institut für Bau und Umwelt (IBU) - Fachstelle Umweltingenieurwesen.
- Leemann, Robert. 1992. „Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)“. Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK).

- Lichtensteiger, T. 1998. „Ressourcen im Bau: Aspekte einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung im Bauwesen“. Vdf Verlag der Fachvereine. Zürich, Schweiz: Lehrstuhl für Stoffhaushalt und Entsorgungstechnikvdf - Verlag der Fachvereine.
- Matasci, C. 2006. „Life Cycle Assessment of 21 buildings: analysis of the different life phases and highlighting of the main causes of their impact on the environment“. ETH Zürich.
- Neubauer-Letsch, B., C. Groetsch, T. Näher, und K. Wüthrich. 2012. „Holzendverbrauch Schweiz, Holz im Aussenbereich, Möbel, Innenausbau, Verpackungen sowie Holzwaren für das Jahr 2009“. Umwelt-Wissen Nr. 1219. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Prognos. 2012. „Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050“. Bundesamt für Energie BFE.
- Rubli. 2016. „Bauabfälle in der Schweiz - Tiefbau Aktualisierung 2015 mit dazugehörigen Excel-Daten ,Excel-Daten: Materiallager und Bauabfälle Tiefbau CH 2013' zuhanden BAFU“.
- Rubli, S. 2015a. „Excel-Daten: Materiallager und Bauabfälle Tiefbau CH 2013 zuhanden BAFU“.
- . 2015b. „KAR-Modell - Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Nachführung 2013“. Umweltämter der Kantone Bern, Luzern, Thurgau, Solothurn, St. Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli, S., und N. Jungbluth. 2005. „Materialflussrechnung für die Schweiz“. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik BFS.
- Rubli, S., und M. Schneider. 2007. „Ressourcenmodell mineralischer Baustoffe auf der Ebene der Stadt Zürich“. Amt für Hochbauten der Stadt Zürich / Tiefbauamt der Stadt Zürich.
- Schiller, Georg, Regine Ortlepp, Norbert Krauss, Sören Steger, Helmut Schütz, Jan Reichenbach, und Felix Müller. 2015. „Kartierung des anthropogenen Lagers: eine neue Planungsgrundlage zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft in Deutschland wurde erarbeitet.“ *ReSource* 28 (2015) 4, S. 4-10. *ReSource* 28 (2015) 4, S. 4-10.
- Skinner, B.J. 1979. „Earth Resources“. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Nr. Vol. 76, No. 9, (September): 4212–17.
- Stäubli, B. 2010. „Bau- und Rückbau: Massenflüsse 1900-2020; Modellierung der wichtigsten Materialflüsse rund um das Bauwerk Kanton Zürich“. Zürich, Schweiz: Baudirektion Kanton Zürich, A-WEL.
- Swissasphalt. 2015. „Asphaltgeschichten“. <http://www.swissasphalt.ch/pages/de/geschichten.html>.
- UBA. 2012. „Glossar zum Ressourcenschutz“. Umweltbundesamt UBA. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4242.pdf>.
- . 2015. „Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft“. ISSN 1862-4 804. TEXTE 83 /2015. Dessau-Roßlau: UBA, Leibniz Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf.
- VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt. 2012. *DI 4600 – Kumulierter Energieaufwand (KEA)*. Beuth Verlag.
- Wüest & Partner. 2001. „Bauabfälle Schweiz – Mengen, Perspektiven und Entsorgungswege“. Umweltmaterialien 131. Bern: BUWAL.
- . 2008. „Bauabfälle Hochbau in der Schweiz Ergebnisse der Studie 2008“. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- . 2015. „Bauabfälle in der Schweiz - Hochbau“. Zürich, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.

Anhang

A I Datenvergleich mit Bundesamt für Statistik

Um das Modell im Projekt MatCH zu beurteilen, werden die Resultate im Bereich Primärzufluss mit den Zahlen des Inländischen Materialkonsums des BFS verglichen⁹. Dieser Indikator setzt sich zusammen aus der inländischen Gewinnung von Material, zuzüglich Importe und abzüglich Exporte. Das BFS stellt die Zahlen aus der Aussenhandelsstatistik der Oberzolldirektion zusammen, welche nach Zolltarifnummern gegliedert ist. Das System der Zolltarifnummern wurde international harmonisiert, Vergleiche sind so auch mit verschiedenen Ländern möglich. Das aktuell gültige Tarifnummern-Verzeichnis umfasst 21 Abschnitte (Warenarten) mit insgesamt über 8 000 Tarifnummern.

Die Aussenhandelsstatistik betrachtet Produkttypen (Möbel, Autos), wogegen sich die für die Studie relevante Klassifizierung gemäss der BFS Statistikdatenbank STAT-TAB (BFS 2013b) nach dem Materialtyp richtet (Holz, Stahl). Um von der Klassierung nach Produkten zur Klassierung nach Materialien zu gelangen, werden die Produkte gemäss ihrem Hauptmaterialbestandteil zugewiesen. Es ist offensichtlich, dass dabei ein Qualitätsverlust der Daten auftritt, besonders bei Produkten die aus verschiedenen Materialien bestehen.

Für die MatCH Studie wurden STAT-TAB Materialien gemäss (Tabelle A-1). ausgewählt Diese Materialien sollen den Primärzufluss in den Baubereich möglichst vollständig abdecken.

Bezeichnung STAT-TAB
1.03.01 Industrierundholz (Stamm- und Faserholz)
2.01 Eisen und Stahl
2.02.01 Kupfer
2.02.07 Bauxit und sonstiges Aluminium
2.03 Produkte vorwiegend aus Metallen
3.01 Marmor, Granit, Sandstein, Porphyr, Basalt, sonst. Naturwerk- u. Natursteine (ohne Tonschiefer)
3.06 Kalk- und Gipsstein
3.07 Ton und Kaolin
3.08 Sand und Kies
3.11 Produkte vorwiegend aus nichtmetallischen Mineralstoffen

Tabelle A-1: Materialbezeichnungen gemäss STAT-TAB mit Zolltarifnummern

Damit ein Vergleich möglich ist, müssen die Materialkategorien der STAT-TAB auf diejenigen von MatCH angepasst werden.

Die Umrechnung erfolgte mithilfe des Berichts von (Jacobs 2013), Berichten des Fachverbands der Schweizerischen Beton- und Kiesindustrie (FSKB 2014), cemsuisse und eigenen Überlegungen. (Jacobs 2013) untersuchte, welcher Anteil von der Kalk- und Gipssteinkategorie gemäss STAT-TAB in Zement verwendet wird. Der Zement fliesst wiederum in die Kategorie Beton gemäss MatCH.

Tabelle A-2 und Abbildung A-1 zeigen den Vorgang, wie man von den in STAT-TAB ausgewiesenen Materialien (in Mio. Tonnen) auf die acht Materialkategorien von MatCH gelangt.

⁹ www.pxweb.bfs.admin.ch

Zuerst werden die Materialmengen mit dem Prozentsatz am Bausektor multipliziert. Es kann hierbei vorkommen, dass einige Materialien zu 100% in den Bausektor fließen und andere nur zu einem geringen Teil, da sie z.B. im Bereich Mobilität mehr Verwendung finden. Anschliessend werden die Materialien auf MatCH Kategorien umverteilt.

Jahr	STAT-TAB Inländischer Materialkonsum DMC 1	Umverteilung auf MatCH-Kategorien [Mio. t.]											Total
		Menge [Mio. t.]	Anteil Bausektor	Neue Menge [Mio. t.]	Kies, Sand/Strassenabruch	Asphalt/Ausbauasphalt	Beton/Betonabbruch	Mauerwerk etc./Mischabbruch	Brennbare Materialien/brennb. KVA	Holz	Metalle	Keramik, Gips, Glas etc./Minerale. Fraktion	
2013	1.03 Holz	1.86	100%	1.86						1.86			1.86
	2.01 Eisen und Stahl	1.18	65%	0.77							0.77		0.77
	2.02.01 Kupfer	0.03	100%	0.03							0.03		0.03
	2.02.07 Bauxit und sonstiges Aluminium	0.10	25%	0.03							0.03		0.03
	2.03 Produkte vorwiegend aus Metallen	1.08	65%	0.70							0.70		0.70
	3.01 Marmor, Granit, Sandstein, etc.	0.99	100%	0.99				0.99					0.99
	3.06 Kalk- und Gipsstein	5.93	100%	5.93			3.38					2.55	5.93
	3.07 Ton und Kaolin	1.58	100%	1.58			0.30	1.28					1.58
	3.08 Sand und Kies	46.79	100%	46.79	5.15	5.15	36.03	0.47					46.79
	3.11 Produkte vorw. aus nichtmet. Mineralstoffen	1.87	100%	1.87					0.32			1.55	1.87
	Total	61.41		60.54	5.15	5.15	39.71	2.73	0.32	1.86	1.53	4.10	60.54

Tabelle A-2: Umverteilung der Materialmengen aus STAT-TAB zu den Materialkategorien aus MatCH

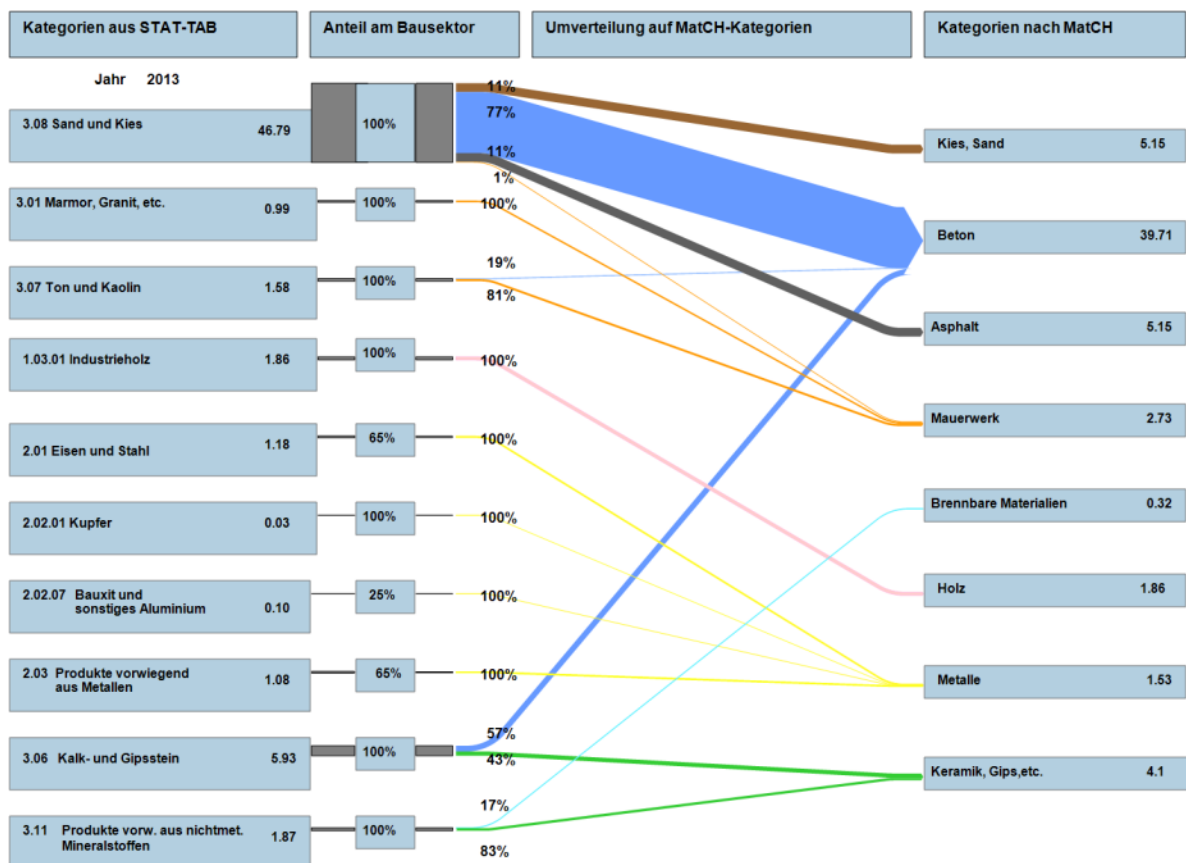


Abbildung A-1: Visualisierung der Zuteilung von STAT-TAB Kategorien auf MatCH Kategorien

Folgende Zuteilungen wurden vorgenommen:

- Sand & Kies aus STAT-TAB fliesst in vier Materialkategorien. Gemäss STAT-TAB beträgt 2013 der inländische Kies, Sand Konsum 46.79 Mio. Tonnen. Aus Daten des Fachverbands der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB 2014) kann der Anteil für die Betonproduktion auf 77% und für die Asphaltproduktion auf 11% abgeschätzt werden. Weiter wird ein geringer Teil (1%) für die Herstellung von Kalksandsteinen im Mauerwerksbau verwendet (Jacobs 2013). Der Rest von 11% wurde der Kies, Sand Fraktion in MatCH zugeteilt. Asphalt besteht zu ca. 95% aus Sand und Kies, der Rest ist Bitumen. Jährlich werden ca. 0.3 Mio. t Bitumen importiert (Erdölvereinigung 2013), diese Menge wird hier jedoch vernachlässigt, da keine STAT-TAB Kategorie dafür existiert.
- Marmor, Granit, Sandstein, etc. wurde zu 100% dem Mauerwerk zugeordnet.
- Ton und Kaolin wird zu 81% für Mauerwerk (Ziegel- und Backsteinproduktion) verwendet (Jacobs 2013). Der Rest findet Verwendung bei der Betonherstellung.
- Das Industrierundholz aus STAT-TAB wurde der Kategorie Holz zugeordnet.
- Aus STAT-TAB wurden vier Metalle ausgewählt, die hauptsächlich im Bauwesen verwendet werden. Der Grossteil besteht dabei aus Eisen und Stahl, gefolgt von Aluminium, Kupfer und Produkten vorwiegend aus Metallen. Bei Letzteren kann angenommen werden, dass diese wiederum hauptsächlich aus Eisen und Stahl bestehen. Gemäss (Jacobs 2013) fliesst über 50% des inländischen Eisen- und Stahlkonsums in das Bauwesen. (Lichtensteiger 1998) weist mit 76% einen etwas höheren Prozentsatz aus. In MatCH wird mit 65% gerechnet bei Eisen und Stahl sowie bei Produkten vorwiegend aus Metallen. Ca. 25% des in der Schweiz konsumierten Aluminiums wird im Bauwesen eingesetzt (Jacobs 2013). Bei Kupfer wurde angenommen, dass es zu 100% in die Bauwirtschaft fliesst, da die Zahlen nach STAT-TAB in etwa der Menge entsprechen, die in Baustoffen und Bauabfällen ausgewiesen wurde.
- Kalk- und Gipsstein wird zu 57% für die Produktion von Zement verwendet, welcher schliesslich zu Beton verarbeitet wird (Jacobs 2013). Für den Rest wurde angenommen, dass er in die mineralische Fraktion fliesst.
- Die Produkte vorwiegend aus nichtmetallischen Mineralstoffen fliessen zu 17% in die Kategorie Brennbare Materialien, basierend auf (Jacobs 2013) welcher Wärmedämmstoffe und Kunststoffe mit ca. 0.32 Mio. t pro Jahr angibt. Der Rest von 83% wurde als Keramik, Gips, etc. deklariert.

A II Datenvergleich mit anderen Quellen

Beton:

Der Vergleich von verschiedenen Quellen zu einem spezifischen Material ermöglicht die Verifizierung von Werkangaben, wie sie beispielsweise vom Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB) für Beton vorliegen. FSKB gibt den Bedarf an Beton für die Schweiz im Jahr 2013 mit 40.2 Mio. t an (FSKB 2014). Um die Angaben des FSKB zu überprüfen, werden Daten des Bundesamts für Statistik (BFS) und der Zementindustrie herbeigezogen. Beton besteht zu 81.3% aus Sand und Kies, zu 12.5% aus dem Bindemittel Zement und zu ungefähr 6.2% aus Wasser (Kytzia u. a. 2009).

Die Zementindustrie (cemsuisse) gibt den inländischen Materialverbrauch (DMC) für Zement in 2010 mit 5.2 Mio. t an. Da angenommen werden kann, dass Zement fast ausschliesslich für die Betonherstellung verwendet wird, kann nun mithilfe der prozentualen Zusammensetzung von Beton nachgeprüft werden, ob die 40.2 Mio. t Beton vom FSKB plausibel sind. 12.5 Prozent von 40.2 Mio. t ergeben 5 Mio. t, welche aus Zement bestehen sollten. Man erkennt, dass die berechnete Zementmenge von 5 Mio. t ziemlich genau mit der angegebenen Menge der Zementindustrie von 5.2 Mio. t übereinstimmt. Daraus lässt sich folgern, dass die Angabe der FSKB zur Betonproduktion von 40.2 Mio. t plausibel ist.

FSKB rapportiert eine Stagnation des Betonabsatzes in den letzten Jahren, wogegen die Mengen gemäss MatCH leicht ansteigen. Die Grössenordnung ist jedoch gleich.

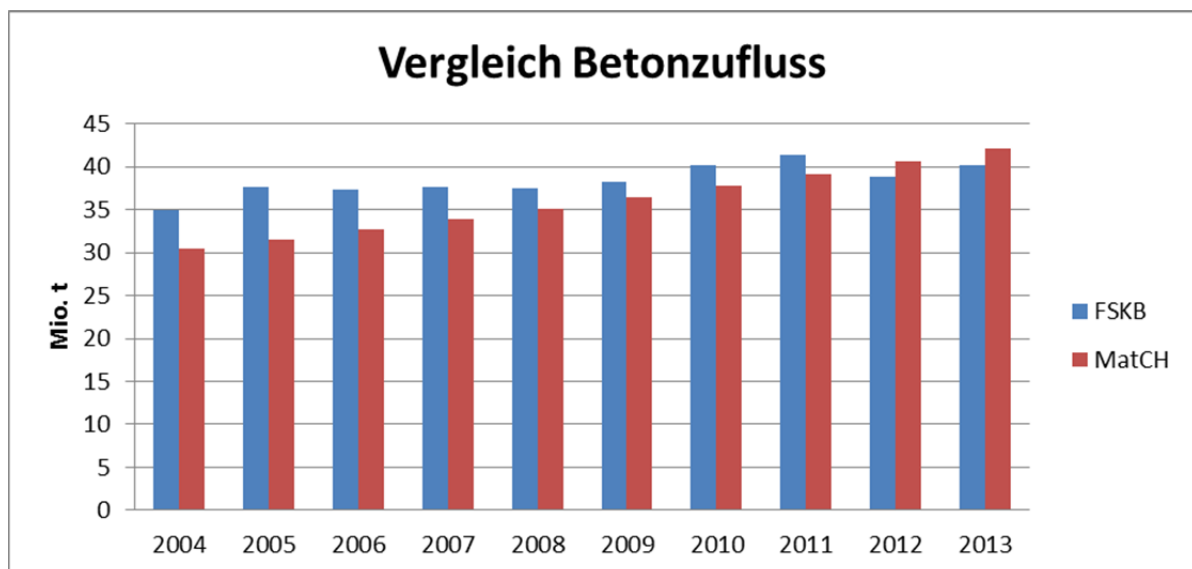


Abbildung A-2: Vergleich Betonmengen FSKB mit MatCH 2004 - 2013

Kies, Sand:

Laut BFS beträgt der inländische Materialverbrauch (DMC) für Kies und Sand 45.53 Mio. Tonnen im Jahr 2010 (inklusive Import)¹⁰ (Jacobs 2013) untersuchte verschiedene Quellen zur Angabe von Sand und Kies Produktion. Die Zahlen vom FSKB mit 61,15 Mio. t für den Bedarf Gesteinskörnungen Schweiz in 2010 sind deutlich höher, als die 45.53 Mio. t des BFS. (Jacobs 2013) stellte fest, dass die Unterschiede wahrscheinlich auf den unterschiedlichen Abgrenzungen beruhen. Während sich die Zahlen des BFS nur auf gewonnene Gesteinskörnung aus Kiesgruben beziehen, sind bei den Zahlen des FSKB auch gebrochene Gesteinskörnung, Recyclinggesteinskörnung und kieshaltiger Aushub enthalten, welche ca. 10 Mio. t ausmachen. Trotzdem werden gemäss FSKB ca. 6 Mio. t mehr primärer Sand und Kies inländisch produziert und ca. 2 Mio. t mehr importiert als bei den Angaben des BFS. Diese Diskrepanzen sind weiterhin ungeklärt.

Nachfolgende Grafik vergleicht fünf verschiedene Angaben zur Kies und Sand Produktion in der Schweiz. Man erkennt sofort zwei Gruppen, was auf unterschiedliche Abgrenzungen zurückzuführen ist.

Bitumen/Asphalt:

Bitumen ist eine schwarze, organische Substanz, die aus der Erdölraffinerie gewonnen wird.

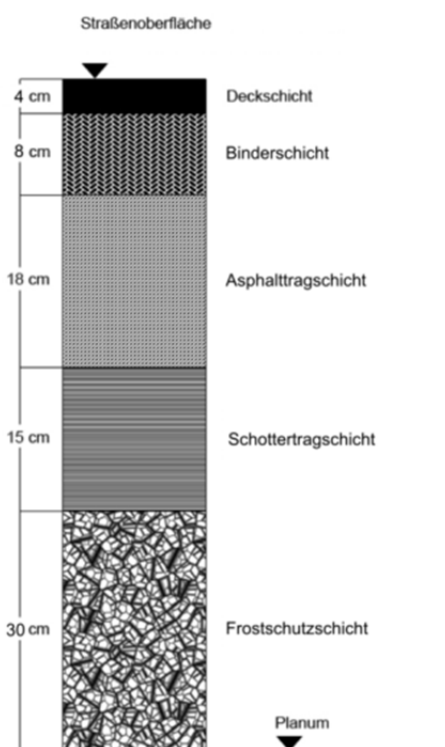


Abbildung A-3: Schichten einer Asphaltstrasse (Wikipedia 2014)

¹⁰ www.pxweb.bfs.admin.ch

Als Asphalt bezeichnet man die Mischung zwischen dem Bindemittel Bitumen, Sand und Kies, welche hauptsächlich für den Strassenbau verwendet wird. Dabei werden drei Asphaltsschichten mit jeweils unterschiedlicher Dicke und Funktion unterschieden. Die Deckschicht soll witterungsbeständig sein und hat gewöhnlich eine Dicke von 4 cm. Die Asphaltbinderschicht mit der Dicke von 4-8 cm wird nur bei stark belasteten Strassen verwendet und nimmt die einwirkenden Kräfte des Verkehrs auf. Die Asphalttragschicht ist mindestens 8 cm dick, schützt den Untergrund vor Niederschläge und leitet die Spannungen gleichmässig zur Unterlage (Swissasphalt 2015).

Bitumen wird vollständig importiert, ca. 0.29 Mio. t/a (Erdölvereinigung 2013). Bei diesem Rohstoff kann angenommen werden, dass er praktisch ausschliesslich zur Herstellung von Asphalt gebraucht wird (vgl. (Jacobs 2013)). Mit den Mischgutausstossangaben vom FSKB für das Jahr 2012 von 5.3 Mio. t ergibt das einen Bitumen Anteil von ca. 6.1%, was gut in den Bereich von 3 – 18% (Härig, Günther, und Klausen 1994) passt. Folglich liegt der Asphalt-Primärzufluss gemäss FSKB von 5 Mio. Tonnen in einem plausiblen Bereich.

Das Asphaltlager kann mit Hilfe der Länge des Strassennetzes der Schweiz, der Breite, der oben erklärten Schichtdicke, dem Anteil der Asphaltstrassen von 90% und der Dichte (2.4 t/m^3) von Asphalt berechnet werden. Dabei erhalten wir, für das Jahr 2012, 158 Mio. Tonnen. MatCH liegt mit 164 Mio. t für dasselbe Jahr dieser Zahl sehr nahe.

Holz:

(Jacobs 2013) verweist auf (Neubauer-Letsch u. a. 2012) die für das Jahr 2009 einen inländischen Holzverbrauch von 2.8 Mio. m^3 feststellten. Nimmt man für Holz eine Dichte von 0.5 t/m^3 an, resultiert ein jährlicher Verbrauch von 1.4 Mio. t. Die Zahlen aus STAT-TAB von 1.4 Mio. t in 2009 passen sehr gut überein. Der MatCH-Bedarf an Holz beträgt mit 0.82 Mio. t rückgerechnet für 2009 weniger als die Vergleichswerte, was aber auch mit Holznutzung ausserhalb des Baubereichs zusammenhängen könnte (z.B. Möbel, Abgrenzungsprobleme zu Brennholz).

A III Datenvergleich mit BAFU

MatCH Bericht	Kategorie MatCH		Kategorie BAFU ²⁾			
			1			Energie
				1A		Energie (Verbrennung)
				1A1		Energieumwandlung
						davon: Kehrverbrennungsanlagen
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	LWVG				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
						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			3G		Kalkdüngung
Konsum	Konsum			3H		Harnstoffdüngung
Konsum	Konsum		5			Abfall
Konsum	Konsum			5A		Deponie
Konsum	Konsum			5B		Industrielle Kompostierung / Vergärung
Konsum	Konsum			5C		Übrige Verbrennung (ohne energetische Nutzung)
Konsum	Konsum					davon: Indirektes CO ₂
Konsum	Konsum			5D		Abwasserreinigung
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).

Abbildung A-4: Zuweisung der Kategorien aus dem Treibhausgasinventar des BAFU (BAFU 2016b) zu MatCH-Kategorien

A IV Datenvergleich mit Deutschland

Das Deutsche Umweltbundesamt hat 2015 eine umfangreiche Analyse publiziert, in der die Materiallager in Deutschland quantifiziert wurden im Hinblick auf die Bewirtschaftung der Sekundärmaterialien. Die Studie „**Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft**“ KartAL-I (UBA 2015) und der ergänzende Bericht (Schiller u. a. 2015) weisen Ähnlichkeiten auf mit der vorliegenden Studie.

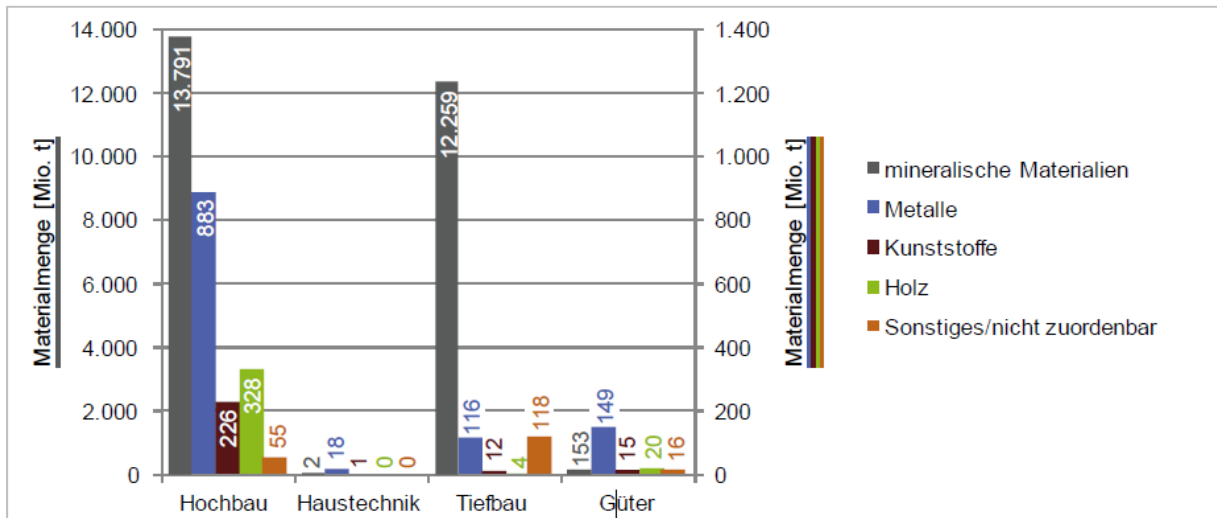


Abbildung A-5: Bestände an Materialien nach Hauptmaterialgruppen im Basisjahr 2010 (UBA 2015)

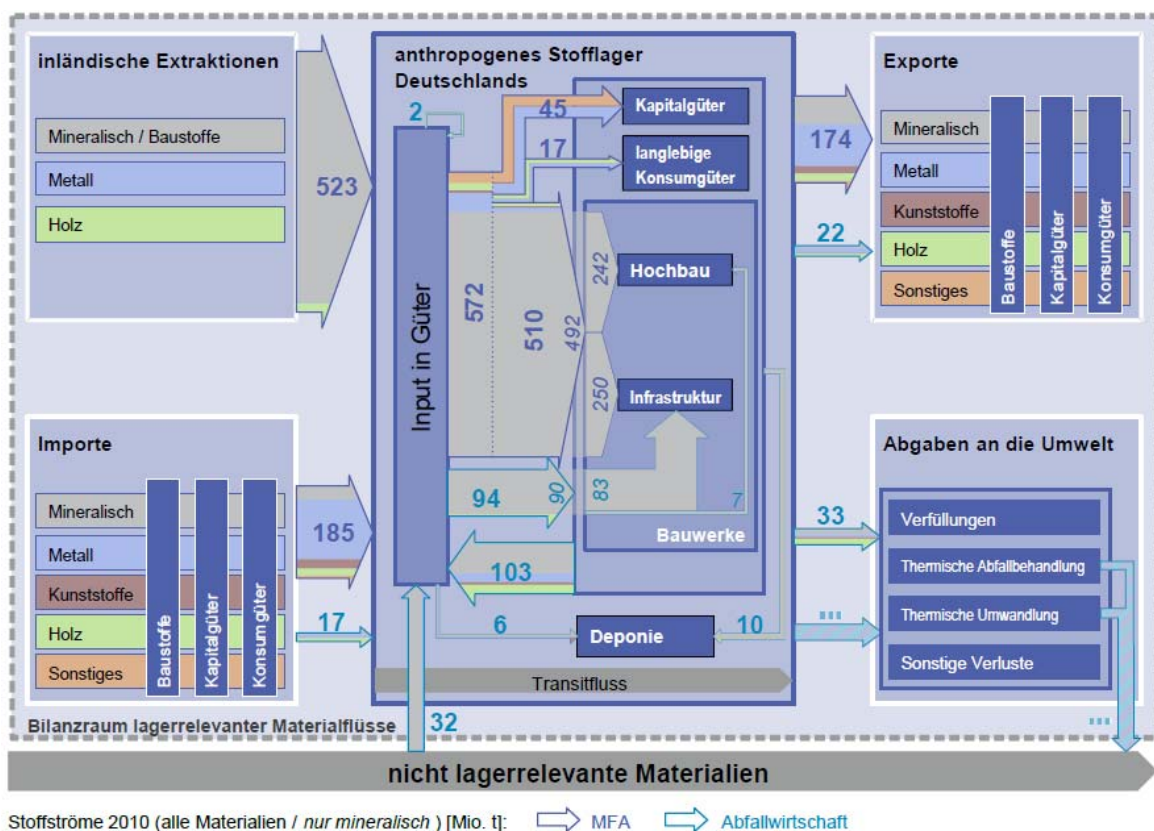


Abbildung A-6: Materialflüsse im Anthropogenen Lager - Schicht 2 des mehrschichtigen Stoffflussmodells (2010), differenziert nach Hauptmaterialgruppen (Mio. t) (UBA 2015)

Der Bericht umfasst drei Analyseniveaus: Ein genereller Top-Down Ansatz, ein detaillierter Top-Down Ansatz und ein Bottom-Up Ansatz. Die Differenzen zwischen den Resultaten der Ansätze sind beträchtlich, beispielsweise liegt der gesamte Zufluss an Primärmaterialien deutlich höher bei dem auf gesamtwirtschaftlichen Daten basierenden Top-Down Modell. Nur 56% davon resultierte beim Bottom-Up Ansatz, welcher auf Hochrechnungen beruht. Der Trend zeigte sich bei allen Material- und Baubereichen (Hochbau, Haustechnik, Tiefbau, Güter).

Als Gründe für die Unterschiede werden genannt: Lücken bei den beobachteten Warenmassen, unzureichende Berücksichtigung von Sekundärstoffströmen sowie Unstimmigkeiten bei der Zuordnung der einzelnen Waren zu Warengruppen der verschiedenen Datenquellen.

Beim Lagerabfluss wurde vermutet, dass nur Materialien erfasst werden konnten, für welche gesetzliche Definitionen von Abfallmaterialien existieren. Materialströme, die dieser Definition nicht entsprechen, wurden damit nicht erfasst.

Vergleich UBA-Bericht ‚KartAL-I‘ – MatCH für das Jahr 2010:

Da die Bevölkerungszahl in Deutschland mit 81.8 Mio. etwa um Faktor 10 höher liegt als in der Schweiz mit 7.8 Mio. (Zahlen aus 2010) wurde mit diesem einfachen Anpassungsfaktor ein einfacher Vergleich vorgenommen.

2 010	Lagerbestand [Mio. t]						Lagerzufluss [Mio. t/a]					
	MatCH Gesamt 10x	KartAL-I Bottom-up Gesamt	MatCH Hochbau 10x	KartAL-I Bottom-up Hochbau	MatCH Tiefbau 10x	KartAL-I Bottom-up Tiefbau	MatCH Gesamt 10x	KartAL-I Top-down	MatCH Hochbau 10x	KartAL-I Bottom-up Hochbau	MatCH Tiefbau 10x	KartAL-I Bottom-up Tiefbau
Kies, Sand	27 195	26 050	11 947	13 791	15 248	12 259	538	488	379	104	158	248
Asphalt												
Beton												
Mauerwerk												
Brennbare Materialien	131	238	123	226	8	12	3	4	3	2	0	0
Holz	349	332	302	328	47	4	8	6	7	3	1	0
Metalle	491	999	348	883	143	116	17	8	14	9	2	0
Keramik, Gips, Glas etc.	1 136	173	1 077	55	59	118	29	0	28	0	1	0
Hochbau			13 796	15 284					432	119		
Tiefbau					15 504	12 508					163	248
Gesamt	29 301	27 792					595	505				

Tabelle A-3: Vergleich des Lagers und der Materialflüsse zwischen den Studien MatCH (mit Faktor 10 multipliziert) und KartAL-I (D), Vergleichsjahr 2010

Der Vergleich zeigt eine erstaunlich gute Übereinstimmung beim Total der Lagermengen und bei den üblichen Baumaterialien. Nur bei den Metallen liegen die deutschen Zahlen deutlich höher und bei mineralischen Materialien tiefer.

Auch der Lagerzufluss zeigt gute Übereinstimmung insbesondere verglichen mit dem deutschen Top-Down Ansatz. Hoch- und Tiefbauzahlen sind schwierig zu vergleichen wegen fehlenden Informationen.

2 010	Sekundärzufluss [Mio. t/a]						Lagerabfluss [Mio. t/a]					
Kategorie	MatCH Gesamt 10x	KartAL-I Bottom- up Gesamt	MatCH Hochbau 10x	KartAL-I Bottom- up Hochbau	MatCH Tiefbau 10x	KartAL-I Bottom- up Tiefbau	MatCH Gesamt 10x	KartAL-I Bottom- up Gesamt	MatCH Hochbau 10x	KartAL-I Bottom- up Hochbau	MatCH Tiefbau 10x	KartAL-I Bottom- up Tiefbau
Kies, Sand												
Asphalt	107		50	7	57		150	206	60	38	90	168
Beton												
Mauerwerk												
Brennbare Materialien												
Holz	0		0	0	0		1	1	1	1	0	0
Metalle	5		3	3	1		5	5	3	2	1	2
Keramik, Gips, Glas etc.	0		0		0		11	1	11	0	1	0
Hochbau			54	12					78	43		
Tiefbau					58						93	170
Gesamt	113						171	214				

Tabelle A-4: Vergleich des Sekundärzuflusses (rezykliertes Material) und des Lagerabflusses zwischen den Studien MatCH (mit Faktor 10 multipliziert) und KartAL-I (D), Vergleichsjahr 2010

Beim Sekundärzufluss, d.h. den rezyklierten Materialien, ergeben sich deutliche Unterschiede mit höheren Werten für die Schweiz. Die Autoren der deutschen Studie erwähnen Diskrepanzen zwischen den verschiedenen Modellansätzen und nennen grosse Unsicherheiten bei Recyclingraten. Ein Vergleich zwischen den Studien ist deshalb kaum sinnvoll.

Beim Lagerabfluss sind die Übereinstimmungen wieder deutlich besser, besonders beim Total des Hoch- und Tiefbaus beider Länder. Gleich wie in MatCH wird auch in der deutschen Studie auf die Direktverwertung von Bauabfällen vor Ort hingewiesen (sog. In-Situ-Recycling für Geländeausgleichsmassnahmen). Der in MatCH verwendete Direktverwertungsanteil (basierend auf aktuellen Zahlen von (Rubli 2015b)) beträgt 45% für Kies und Sand resp. 10% für Asphalt, wogegen die deutsche Studie einen erstaunlich hohen Direktverwertungs-Anteil von 75% bis 85% nennt.

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

MatCH-Kategorien	Anteil	KBOB Material	Ecoinvent v 3.2 'Market for'	Bezug	Treibhaus-effekt [kg CO2-eq]	Gesamter Energiebedarf n.e. [MJ]	Gesamt-Umweltbelastung [UBP]	
Kies, Sand	100.00%				0.03	0.35	82.69	
	98.13%	Rundkies	gravel, crushed/(GLO) market for gravel, crushed	kg	0.02	0.26	55.95	
	1.20%	Sand	sand/(GLO) market for sand	kg	0.01	0.18	47.31	
	0.67%	Natursteinplatte poliert, 15 mm	natural stone plate, polished/(GLO) market for natural stone plate, polished	kg	1.04	14.10	4 075.05	
Asphalt	100.00%				0.29	6.45	339.73	
	100.00%	Gussasphalt, 27.5 mm	mastic asphalt/(GLO) market for mastic asphalt	kg	0.29	6.45	339.73	
Beton	100.00%				0.08	0.56	92.29	
	93.19%	Hochbaubeton, CEM I/B (Zementgehalt 290 kg/m³)	concrete, normal/(CH) market for concrete, normal	kg	0.07	0.52	84.62	
	6.81%	Unterlagsboden Zement	cement cast plaster floor/(GLO) market for cement cast plaster floor	kg	0.20	1.19	197.28	
Mauerwerk	100.00%				0.31	2.62	279.26	
	46.63%	Kalksandstein	sand-lime brick/(GLO) market for sand-lime brick	kg	0.19	1.63	198.23	
	28.49%	Porenbetonstein	autoclaved aerated concrete block/(GLO) market for autoclaved aerated concrete block	kg	0.49	3.46	414.41	
	24.27%	Backstein	clay brick/(GLO) market for clay brick	kg	0.31	3.56	277.24	
	0.47%	Leichtzementstein, Naturbims	lightweight concrete block, pumice/(GLO) market for lightweight concrete block, pumice	kg	0.25	1.55	235.01	
	0.14%	Zementmörtel	cement mortar/(GLO) market for cement mortar	kg	0.27	1.92	262.44	
Brennbare Materialien	100.00%				2.42	45.17	2 707.63	
	35.91%	Glaswolle	glass wool mat/(GLO) market for glass wool mat	kg	2.93	45.96	3 663.59	
	35.80%	Steinwolle	rock wool/(GLO) market for rock wool	kg	1.40	17.29	1 775.37	
	8.80%	Polystyrol (PS)	polystyrene, high impact/(GLO) market for polystyrene, high impact	kg	3.74	89.16	2 706.86	
	5.11%	Polystyrol expandiert (EPS)	polystyrene foam slab/(GLO) market for polystyrene foam slab	kg	4.17	93.74	3 467.07	
	4.06%	PVC homogen, 2 mm	polyvinylchloride, suspension polymerised/(GLO) market for polyvinylchloride, suspension polymerised	kg	2.01	59.78	2 905.81	
	3.65%	Polyethylenfolie (PE)	packaging film, low density polyethylene/(GLO) market for packaging film, low density polyethylene	kg	2.97	90.93	2 568.93	
	2.50%	Teppich Kunstfaser getuftet	polypropylene, granulate/(GLO) market for polypropylene, granulate	kg	2.14	75.91	1 672.85	
	1.53%	Kraftpapier	kraft paper, bleached/(GLO) market for kraft paper, bleached	kg	1.75	26.17	2 905.31	
	1.42%	Linoleum, 2.5 mm	n-olefins/(GLO) market for n-olefins	kg	2.11	74.47	2 022.91	
	1.09%	Polyvinylchlorid (PVC)	polyvinylchloride, suspension polymerised/(GLO) market for polyvinylchloride, suspension polymerised	kg	2.01	59.78	2 505.81	
	0.06%	Polyethylenfas (PE)	fleece, polyethylene/(GLO) market for fleece, polyethylene	kg	3.03	96.33	2 744.30	
	0.05%	Schaumglas	foam glass/(GLO) market for foam glass	kg	2.08	29.87	2 155.83	
	0.03%	Fensterrahmen Kunststoff/PVC -> Polyvinylchlorid (PVC)	polyvinylchloride, suspension polymerised/(GLO) market for polyvinylchloride, suspension polymerised	kg	2.01	59.78	2 505.81	
	Holz	100.00%				0.37	5.37	789.45
		80.28%	Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt	sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed/(RER) market for sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed	kg	0.29	4.07	684.45
		6.16%	Spanplatte, UF-gebunden, Trockenbereich	particle board, for indoor use/(GLO) market for particle board, for indoor use	kg	0.63	11.39	1 110.23
5.23%		Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich	glued laminated timber, for indoor use/(GLO) market for glued laminated timber, for indoor use	kg	0.57	9.03	1 195.25	
3.47%		Hartfaserplatte	fibreglass, hard/(GLO) market for fibreglass, hard	kg	1.27	15.83	1 713.56	
3.38%		Fensterrahmen Holz -> Massivholz Fichte...	sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed/(RER) market for sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed	kg	0.29	4.07	684.45	
1.49%		Sperholz/Multiplex, UF-gebunden, Trockenbereich	plywood, for indoor use/(RER) market for plywood, for indoor use	kg	0.91	16.72	1 773.36	
0.01%		Korkplatte	cork slab/(GLO) market for cork slab	kg	1.91	28.35	2 704.24	
Metalle	100.00%				2.83	30.96	11 819.10	
	91.26%	Stahlprofil, blank	steel, low-alloyed, hot rolled/(GLO) market for steel, low-alloyed, hot rolled	kg	2.14	24.35	4 904.64	
	5.37%	Titanzinkblech	titanium zinc plate, without pre-weathering/(GLO) market for titanium zinc plate, without pre-weathering	kg	6.08	67.92	124 529.39	
	1.73%	Fensterahmen Aluminium -> Aluminiumprofil, blank	aluminium, wrought alloy/(GLO) market for aluminium, wrought alloy	kg	19.64	177.35	20 694.97	
	1.07%	Aluminiumprofil, blank	aluminium, wrought alloy/(GLO) market for aluminium, wrought alloy	kg	19.64	177.35	20 694.97	
	0.51%	Kupferblech, blank	selective coat, copper sheet, black chrome/(GLO) market for selective coat, copper sheet, black chrome	kg	1.43	20.33	6 341.18	
	0.04%	Blei	lead/(GLO) market for lead	kg	1.27	13.43	44 467.01	
	0.02%	Messing-/Baubronzeblech	brass/(GLO) market for brass	kg	4.31	47.73	94 535.15	
Keramik, Gips, Glas etc.	100.00%	/ Min. Fraktion			0.45	5.38	548.72	
	21.32%	Gips-/Weissputz	cover plaster, mineral/(GLO) market for cover plaster, mineral	kg	0.17	2.20	249.67	
	18.02%	Zementputz	base plaster/(GLO) market for base plaster	kg	0.27	1.71	251.32	
	16.45%	Unterlagsboden Anhydrit	anhydrite floor/(GLO) market for anhydrite floor	kg	0.11	1.57	169.13	
	14.94%	Gipskartonplatte	gypsum plasterboard/(GLO) market for gypsum plasterboard	kg	0.44	5.00	511.16	
	8.46%	Kalkstein, Fassadenplatte	limestone, crushed, washed/(GLO) market for limestone, crushed, washed	kg	0.01	0.08	16.72	
	5.59%	2-IV Verglasung	glazing, double, U<1.1 W/m2K/(GLO) market for glazing, double, U<1.1 W/m2K	kg	1.95	23.93	2 243.73	
	4.96%	Sanitärkeramik	sanitary ceramics/(GLO) market for sanitary ceramics	kg	2.36	35.93	3 449.49	
	4.92%	Tonziegel	roof tile/(GLO) market for roof tile	kg	0.44	4.73	369.56	
	4.08%	Betonziegel	concrete roof tile/(GLO) market for concrete roof tile	kg	0.27	2.05	314.18	
	1.20%	Faserzementplatte gross	fibre cement facing tile/(GLO) market for fibre cement facing tile	kg	1.38	12.37	1 368.47	
	0.03%	Flachglas beschichtet	flat glass, coated/(GLO) market for flat glass, coated	kg	1.23	15.00	1 399.28	
	0.01%	Faserzement-Wellplatte	fibre cement corrugated slab/(GLO) market for fibre cement corrugated slab	kg	0.90	7.85	958.80	

Abbildung A-7: Link zwischen dem KBOB Bauteilkatalog und Daten gemäss Ecoinvent v.3.2 für den Primärzufluss. In orange: inländische Prozesse, in grün: Proxys, in grau: von m² oder m³ in kg umgerechnete Werte.

