

KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2015

Juni 2017

Energie- und Ressourcen-Management GmbH
Wolleraustrasse 15g
CH-8807 Freienbach
Tel 044 371 40 90
rubli@energie-ressourcen.ch
www.energie-ressourcen.ch

Impressum

Herausgeber

Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Thurgau
Solothurn, St. Gallen, Zug und Zürich

Bericht

Dr. Stefan Rubli, Energie- und
Ressourcen-Management GmbH,
8807 Freienbach

Grafiken (Abbildungen. 2-4)

Martin Schneider
Tinu Schneider Datenanalyse
3600 Thun

Projektgruppe

Dr. Stefan Rubli, Energie- und
Ressourcen-Management GmbH,
Martin Schneider, Tinu Schneider
Datenanalyse

Begleitgruppe

David Schönbächler (Departement Bau, Verkehr
und Umwelt, Kanton Aargau),
Oliver Steiner, Martin Moser (Amt für Wasser und Abfall
des Kantons Bern),
Christian Sieber, (AWEL),
Andy Lancini (Umwelt und Energie Kanton Luzern),
Bernhard Brunner (Amt für Umweltschutz Kanton Zug),
Thilo Art (Amt für Umwelt Kanton Solothurn),
Nik Maurer, (Amt für Umwelt Kanton Thurgau),
Daniela Marugg, Chaspar Gmünder, (Amt für Umwelt und
Energie Kanton St. Gallen),
David Hiltbrunner (Bundesamt für Umwelt),
Walter Osterwalder, (ILU)

Bezug

In den Umweltämtern der Kantone
Aargau, Bern, Luzern, Thurgau, Solothurn,
St.Gallen, Zug und Zürich

Download als pdf über:

Google: KAR-Modell - Modellierung der Bau-,
Rückbau- und Aushubmaterialflüsse:
Nachführung 2015

Zürich, Juni 2017



Zusammenfassung

Die schweizerische Bauindustrie setzt jährlich grosse Volumen an mineralischen Baustoffen um. Um unser Bauwerk zu bewirtschaften, müssen mineralische Primärressourcen abgebaut, die anfallenden Rückbaumaterialien aufbereitet und das Aushubmaterial in Abbaustellen und Aushubdeponien abgelagert werden. Durch die zunehmende bauliche Verdichtung steigt der Rückbaumaterialanfall laufend. Die aufbereiteten Rückbaustoffe substituieren einen Teil der primären Gesteinskörnungen, womit beispielsweise weniger Kies abgebaut werden muss. Der geringere Kiesabbau führt wiederum dazu, dass weniger Auffüllvolumen zur Ablagerung von Aushubmaterial zur Verfügung steht und deshalb in gewissen Regionen teilweise Aushubdeponien betrieben werden oder geplant sind.

Um diese Zusammenhänge und die Verknüpfungen dieser Materialströme besser zu verstehen und deren künftige Entwicklung abzuschätzen, finanzieren und betreiben die Kantone Aargau, Bern, Luzern, Schaffhausen, Solothurn, Schwyz, St.Gallen, Thurgau, Zug und Zürich sowie das Bundesamt für Umwelt (BAFU) seit dem Jahr 2012 in unterschiedlicher Zusammensetzung ein Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialfluss-Modell (KAR-Modell). Die mittlerweile breite Anwendung sowie die einheitliche Erhebung der Materialflüsse in den 10 Kantonen und auf Bundesebene erlauben die Abschätzung der interkantonalen Materialflüsse sowie die Modellierung der wichtigsten Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse in den einzelnen Kantonen.

Die Umweltämter der Kantone AG, BE, LU, SG, SO, TG, ZG und ZH haben eine Nachführung der Modelle für das Bezugsjahr 2015 durchführen lassen, um die Resultate aus den Modellierungen im statischen Modell mit der modellierten Entwicklung der Materialflüsse (dynamische Modelle) zu vergleichen. Ziel hierbei ist, mit Hilfe der Resultate aus dem statischen Modell die Resultate der dynamischen Modellierung zu validieren und allenfalls neu zu kalibrieren. Da das Bundesamt für Statistik (BFS) neue Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung auf Ebene der Kantone publiziert hat (BFS 2016), wurden diese Datengrundlagen für die dynamischen Modellierungen neu in das dynamische Modell integriert.

Die Ausführungen zu den methodischen Grundlagen wurden nochmals aus dem Vorjahresbericht übernommen, wobei die Tabellen mit den Modellparametern aktualisiert wurden. Anhand einer Grafik (Abbildung 1) und erklärenden Kommentaren wird aufgezeigt, welche Materialflüsse erhoben werden und wie der iterative Prozess der Modellierung abläuft. In einer separaten Tabelle sind die zu erhebenden Materialflüsse nach ihrer Relevanz für die Modellierung gegliedert. Diese Angaben dienen als Hilfestellung für die künftigen Erhebungen der Kantone.

Die Nachführung der statischen Modelle ergab die folgenden Erkenntnisse:

- Die mit den statischen Modellen gerechneten Baustoffinputflüsse ins Bauwerk und der Aushubanfall aus dem Bauwerk korrespondieren für die Bezugsjahre 2010 sowie für die Jahre 2013 bis 2015 bei allen Kantonen relativ gut mit den neu modellierten Entwicklungen (Basis: neue BFS-Daten zur Bevölkerungsentwicklung) der entsprechenden Materialflüsse überein.
- Gleiches gilt für den Primärmaterialabbau und die Aushubablagerung: Auch hier stimmen die Werte aus dem statischen Modell in den meisten Kantonen recht gut mit den modellierten Entwicklungen überein. In den Kantonen Luzern, Thurgau und St.Gallen liegt die Aushubablagerung relativ deutlich über dem Niveau des Primärmaterialabbaus. Diese



Kantone importieren im Verhältnis zum Kiesabbau netto relativ viel Kies. Sie verfügen jedoch über Aushubdeponien, in denen der „Materialüberschuss“ abgelagert werden kann. Auch im Kanton Zug, welcher ebenfalls über Aushubdeponien verfügt, liegt die Aushubablagerung heute noch über dem Niveau des Primärmaterialabbaus. Allerdings wird dies künftig unter den gegebenen Modellvoraussetzungen nicht mehr der Fall sein. Primärmaterialanfall und Aushubablagerung nähern sich hier immer mehr an.

- Bei der jährlichen Differenz „Ablagerung – Abbau“ und der kumulierten Differenz stimmen die modellierten Entwicklungen für die Kantone ZH, BE, LU, SG und TG relativ gut mit den Werten der Bezugsjahre 2013 bis 2015 überein. Beim Kanton SO bewegt sich die jährliche Differenz nahe bei null. Durch die geringen jährlichen Differenzen resultiert bei der modellierten Entwicklung bis zum Jahr 2035 eine geringe Differenz. Bei den Kantonen AG und BE bewegen sich die jährlichen Differenzen im negativen Bereich. Der Grund hierfür ist der Einbezug des weiteren Materialabbaus (Kalk/Mergel, Ton, Gipsstein) in die Bilanz. Diese Auffüllvolumina stehen aber aktuell nur beschränkt für die Auffüllung zur Verfügung.
- Die Entwicklungen der kumulierten Differenz verläuft in vier Kantonen (LU, SG, TG, ZG) in den positiven Bereich. Dies bedeutet, dass die in Abbaustellen geschaffenen Volumen nicht ausreichen, um das anfallende Aushubmaterial dort aufzunehmen. Ein Teil davon muss in Aushubdeponien abgelagert oder falls möglich, exportiert werden. In den Kantonen ZH, BE, AG und SO verläuft die kumulierte Differenz in den negativen Bereich. Die Gründe dafür können sehr unterschiedlich sein: Im Kanton Zürich sind es beispielsweise die Aushubmaterialexporte, die zu dieser Entwicklung führen. Würden die Aushubexporte in diese Bilanz mit einbezogen, würde die Entwicklung in diesem Kanton zunehmend in den positiven Bereich verlaufen. In den Kantonen AG und BE hingegen, verläuft die Entwicklung aus den oben erwähnten Gründen (Einbezug des Abbaus von Festgestein usw.) in den negativen Bereich. Würden diese Volumina, als auch die Reduktion der Aushubimporte berücksichtigt, würde die Entwicklung zunehmend in den positiven Bereich verlaufen

Die Gegenüberstellungen der modellierten Bezugsjahre mit den langfristigen Entwicklungen der Materialflüsse bis ins Jahr 2035 zeigen, dass die Übereinstimmung zwischen den Einzeljahren und den langfristigen Entwicklungen nun bei beinahe allen Kantonen als gut zu bezeichnen ist, so dass hier vorerst keine weiteren Anpassungen im dynamischen Modell vorgenommen werden müssen.

Die Modelle werden auch für das Bezugsjahr 2016 nachgeführt. Neben den bereits teilnehmenden Kantonen (Entscheid des Kantons Luzern noch ausstehend) werden zusätzlich die Kantone Baselland und Basel-Stadt erstmalig ein gemeinsames Modell erstellen lassen. Zudem wird der Kanton Schwyz wieder an der Modellierung teilnehmen, womit 10 bis 11 Kantone aktiv eine KAR-Modellierung durchführen lassen.

In der nächsten Modellversion werden im statischen Modell die Materialflüsse 'Kies/Sand' und 'Weitere Baustoffe' vollständig voneinander getrennt gerechnet und dargestellt. Dazu wird das statische Modell mit den Prozessen «weitere Baustoffe abbauen» und «Aushub ablagern» (in weiteren Abbaustellen) ergänzt und in einem Subsystem zusammengefasst (analog Kiesabbau und Aushubablagerung). Das Bezugsjahr 2016 wird somit mit dem überarbeiteten statischen Modell gerechnet.



INHALTSVERZEICHNIS

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	7
1.1	Ausgangslage.....	7
1.2	Zielsetzung	7
2	METHODEN	8
2.1	Verknüpfung der erhobenen und modellierten Materialflüsse.....	8
2.2	Modellierung der Materialflüsse.....	10
2.3	Relevante Materialflüsse für die Modellierung.....	12
2.4	Vergleich der Modellparameter	13
3	RESULTATE	15
3.1	Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall	15
3.2	Materialflüsse über die Kantonsgrenzen.....	16
3.2.1	Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen.....	16
3.2.2	Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	16
3.2.3	Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	16
3.3	Autarkiegrad bezüglich der Baustoffversorgung und Aushubentsorgung.....	20
3.4	Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis.....	22
3.5	Entwicklung der Materialflüsse bis 2035	24
3.5.1	Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls	24
3.5.2	Entwicklung des Primärmaterialabbaus und der Aushubablagerung	27
3.5.3	Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau.....	29
4	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	31
4.1	Baustoffbedarf und Verwertung der Rückbaumaterialien (RBM).....	31
4.2	Primärmaterialabbau und Aushubentsorgung: Autarkiegrade und Entwicklung.....	32
4.3	Schlussfolgerungen.....	32
5	AUSBLICK	33
5.1	Nachführung der statischen Modelle.....	33
5.2	Mitwirkung der Verbände.....	33
5.3	Vorschlag zur Weiterentwicklung	33
6	LITERATUR	34
	ANHANG	35
A.1.	Kurzbeschreibung der Prozesse.....	35
A.2.	Beschreibung der Materialflüsse im KAR-Modell	36
A.3.	Abgelagertes Aushubmaterial aus dem Kanton, importiertes Aushubmaterial und Material in Terrainanpassungen	37
A.4.	Materialflussschemen der einzelnen Kantone	38
A.5	Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial.....	46



Glossar

BFS	Bundesamt für Statistik
KAR-Modell	Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflussmodell
MFA	Materialflussanalyse
Mio.	Millionen
m ³	Kubikmeter: Alle Angaben in m ³ beziehen sich auf das Festmass!
Primärmaterialabbau	Umfasst den Abbau der mineralischen Rohstoffe Kies/Sand, Kalk, Mergel, Gestein und Tonminerale.
RC	Recycling
RBM	Rückbaumaterial
RBS	Rückbaustoffe

Definitionen

Aushub- /Ausbruchmaterial	Oftmals wird bei der Entsorgung von Aushub- und Ausbruchmaterial keine Unterscheidung zwischen Bodenaushub- und Aushubmaterial gemacht. Im vorliegenden Bericht entsprechen die angegebenen Volumen dem gesamten Aushub, das heisst, der Summe von A-, B- und C-Horizont. In den Abbildungen und Tabellen wird das Aushub- und Ausbruchmaterial unter dem vereinfachten Begriff «Aushub» zusammengefasst
Rekultivierung	Unter dem Begriff «Rekultivierung» ist die Wiederauffüllung von Materialentnahmestellen zu verstehen.
Aushubanfall	Aushub-/Ausbruchmaterial und Bodenaushubmaterial welches aus der Bewirtschaftung des Bauwerks anfällt → Entspricht dem Materialfluss vom Prozess «Bauwerk» in den Prozess «Triage Aushub».
Baustoffe	Der Begriff Baustoffe beinhaltet Kies und Sand als Hauptkomponenten. Die Beiträge von Zement (bzw. Kalk(Mergel), Back- und Kalksandsteinen sowie Ziegeln (bzw. Tonmineralabbau) zu den Baustoffflüssen sind grob abgeschätzt. In Kantonen mit Kalk/Mergel- und Tonmineralabbau gelangt ein grosser Teil dieser Materialien in den Exportfluss von Baustoffen.
Rückbaumaterial	Rückbaumaterial umfasst sämtliches während einer Sanierung bzw. eines Rückbaus anfallendes mineralischen Material (z.B. Misch- und Betonabbruch, Ausbauasphalt usw.), welches noch nicht aufbereitet wurde.
Rückbaustoffe	Rückbaustoffe umfassen sämtliche mineralische Rückbaumaterialien, welche aus Aufbereitungsanlagen stammen und als rezyklierte Gesteinskörnung dem Baustoffkreislauf zugeführt werden.



1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Die Kantone Aargau, Bern, Luzern, St.Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich haben ein Modell entwickeln lassen, mit dem die Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse in den einzelnen Kantonen auf jährlicher Basis beschrieben werden können (statisches KAR-Modell). Mit dem dynamischen Teil des Modells lasse sich Szenarien bis 2035 auf der Basis der Bevölkerungsentwicklung rechnen. Hier ist vor allem die Änderung des Bevölkerungswachstums für die Neubaurate massgebend. Die Entwicklung der Sanierungs- und Rückbauraten hängen hingegen von der Entwicklung des Bestandes des Bauwerks und damit nur indirekt von der Bevölkerungsentwicklung ab (dynamisches KAR-Modell). Die Modellierungen von Entwicklungsszenarien ermöglichen ein proaktives Vorgehen bei der Steuerung der Materialflüsse sowie bei der Planung entsprechender Deponie- und Verwertungskapazitäten in den einzelnen Kantonen.

Das Modell wird ständig weiterentwickelt. Es beteiligen sich nicht jedes Jahr alle Kantone an der Modellnachführung, aber alle am Projekt beteiligte Kantone stellen jedes Jahr die Daten aus den Erhebungen zu den Materialflüssen zur Verfügung. In der Tabelle 1 sind zur Übersicht die Modellentwicklungsschritte sowie die jeweils an den Projekterweiterungen und Modellnachführungen beteiligten Kantone aufgeführt.

Tabelle 1: Modellentwicklungsschritte sowie die jeweils an den Projekterweiterungen/Nachführungen beteiligten Kantone.

Modellversion	Modellinhalt und Erweiterungen	Bezugsjahr stat. Modell	Beteiligte Kantone	Berichte zum Modell
Version 1	- Entwicklung Basismodell	2010	AG, SH, SZ, SO, SG, TG, ZG, ZH	Rubli, 2012
Version 2	- Zentralisierung Modell. - Reduktion Sensivität des Modells bezgl. Bevölkerungsentwicklung mittels Dämpfungsfunktionen. - Neuvalidierung mit Datenreihen von 1995 - 2010 von zwei Kantonen. - Automatisierung und Integration BFS-Bevölkerungsentwicklungsszenarien in Szenarienrechnung. - Nachführung Bezugsjahr 2013	2013	BE, LU, SO, SG, TG, ZG, ZH	Rubli, 2015
Version 3	- Differenzierung der Aushubmaterialflüsse in Rekultivierung, Aushubdeponien und Deponien Typ B - Nachführung Bezugsjahr 2014	2014	BE, SO, SG, TG, ZG, ZH Nur Daten: LU, SZ	Rubli, 2016
Version 3	- Keine wesentlichen Änderungen	2015	AG, BE, LU, SO, SG, TG, ZG, ZH Nur Daten: GL, SZ	Rubli, 2017 (vorliegender Bericht)

1.2 Zielsetzung

Die am Projekt teilnehmenden Kantone haben sich für eine Nachführung des Bezugsjahres 2015 ausgesprochen, um die Datengrundlagen besser abzustützen. Es wurden keine Modell-erweiterungen oder -anpassungen vorgenommen. Allerdings wurden die Daten der neuen



Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung auf Ebene der Kantone, welche das Bundesamt für Statistik publiziert hat (BFS 2016), in das dynamische Modell integriert.

2 Methoden

Die methodischen Grundlagen und der Aufbau des Modells (statischer und dynamischer Teil) sind in den drei vorangegangenen Berichten ausführlich beschrieben (Rubli, 2012, 2015, 2016). Um die Modellgrundlagen zu verstehen und die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, wurden die wichtigsten Aspekte in den Kapiteln 2.1 – 2.4 nochmals aus dem Bericht des Vorjahres übernommen.

2.1 Verknüpfung der erhobenen und modellierten Materialflüsse

Die Datenlagen bezüglich der Materialflüsse unterscheidet sich von Kanton zu Kanton. Einige Kantone verfügen über sehr detaillierte Daten, andere wiederum können nur relativ wenige Daten zu den Materialflüssen zur Verfügung stellen. Trotzdem sollen und können für alle beteiligten Kantone Modelle erstellt werden. Grundsätzlich gilt: Je mehr Angaben von den Kantonen zu den Materialflüssen gemacht werden können, umso besser stimmen die modellierten Teilflüsse mit den realen Materialflüssen überein.

Wie ist es nun möglich, trotz unterschiedlichen Angaben zu den Materialflüssen einheitliche und konsistente Modelle zu erstellen? Es gibt verschiedene Gründe dafür:

1. Es stehen für jeden Kanton die Grundlagedaten zum Gebäudepark und zur Infrastruktur zur Verfügung. Damit können der Gebäudepark und die Infrastruktur materialisiert und die Materiallager abgeschätzt werden. Über die Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten können die Materialflüsse in das und aus dem Bauwerk (Hoch- und Tiefbau) gerechnet werden.
2. Die Kantone machen Angaben zu den Materialimporten und, wenn möglich, auch zu den Exporten. Diese Angaben werden in Input-Output-Tabellen (IOT) bearbeitet. Oft verfügen die Kantone nur über unvollständige Informationen zu den Materialimporten und beinahe über keine Informationen zu den Materialexporten. Mittels der Angaben der umliegenden Kantone und weiteren Schätzungen können aber dennoch die kantonsübergreifenden Materialflüsse abgeschätzt werden. Dabei werden die angegebenen Werte zu den Materialimporten und -exporten mit Unsicherheitsbereichen versehen. Mittels Ausgleichsrechnungen werden anschliessend im überregionalen KAR-Modell die Materialimporte/-exporte für die einzelnen Kantone gerechnet. Diese Werte werden anschliessend in die statischen Modelle eingelesen.
3. Mittels iterativem Vorgehen werden nun die Modellparameter so verändert, dass die modellierten Materialflüsse möglichst gut mit den angegebenen Materialflüssen übereinstimmen (Validierung der Daten). Hier ist nun entscheidend, wie gut die Datengrundlagen zu den Materialflüssen sind. Je mehr bekannte Materialflüsse vorhanden sind, umso realitätsnaher sind die modellierten Teilmaterialflüsse im System.

Anhand des Materialflussschemas in der Abbildung 1 wird erläutert, welche Materialflüsse modelliert werden, welche Flüsse aus den IOT stammen und welche Flüsse auf den Angaben der Kantone basieren. Die Materialflüsse sind wie folgt differenziert (Legende zur Abbildung 1):



Legende zu Abbildung 1:

	Modellierte Materialflüsse: über Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten, über Bilanzierung der Prozesse (P2 und P9) und über Schätzung (direkte Verwertung).
	Materialflüsse werden angegeben und über Parameter daran angenähert.
	Materialflüsse aus Input-Output-Tabellen (über Ausgleichsrechnungen).
	a). Falls Angaben zu Materialflüssen bekannt: Annäherung mittels Modellparameter. b). Materialflüsse unbekannt: modelliert über geschätzte Modellparameter.

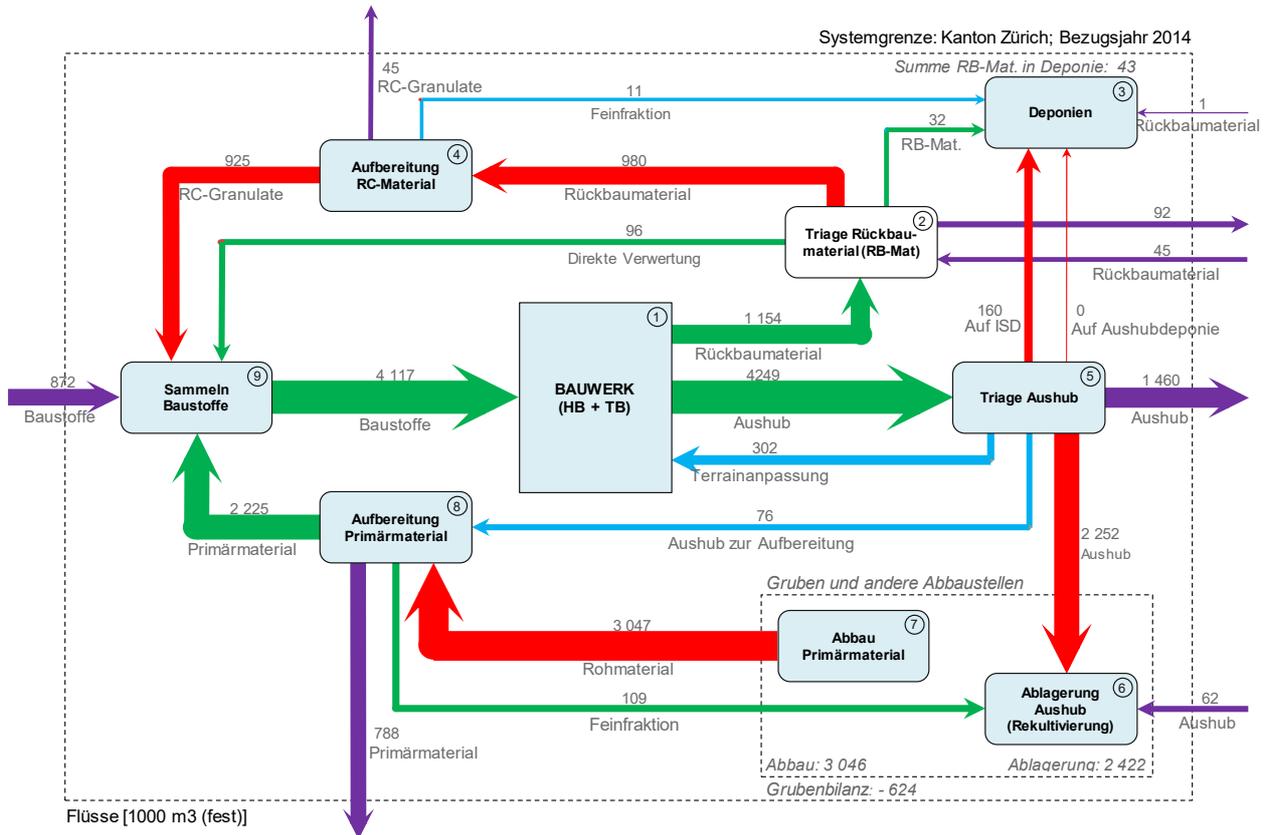


Abbildung 1: Beispiel des Materialflussschemas des Kantons Zürich.

Die Beschreibungen und Bezeichnungen der Prozesse und der Materialflüsse sind in den Anhängen A.1 und A.2 aufgeführt.

1. Modellierte Materialflüsse → Grüne Pfeile:

Der Baustoffinput ins Bauwerk sowie der Aushub- und Rückbaumaterialoutput aus dem Bauwerk ergeben sich aus den Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten. Diese Raten werden aus Datengrundlagen zur Bevölkerungsentwicklung sowie zur Bautätigkeit abgeleitet (Statistiken, Studien, eigene Abschätzungen). Für die beiden Materialflüsse A86 (Feinfraktion) und A29 (direkte Verwertung) liegen meist keine Daten vor. Aus diesem Grund werden diese Materialflüsse über die Festlegung entsprechender Parameterwerte abgeschätzt. Die Materialflüsse A89 (Primärmaterial) und A32 (Rückbaumaterial in Deponie) ergeben sich aus der Bilanzierung der Prozesse P8 und P2.



2. Bekannte Materialflüsse → Rote Pfeile:

Die Materialflüsse zur Aushubablagerung in Kiesgruben (Rekultivierung), in Aushubdeponien und Deponien des Typs B (früher Inertstoffdeponien) sind meistens bekannt, wobei die Mengen der zwei letzteren Flüsse direkt (d.h. ohne Parametrisierung) ins Modell eingelesen werden. Ebenfalls bekannt sind oftmals die Materialflüsse in die und aus der Bauschuttzubereitung. Ebenfalls sehr wichtig ist der Rohmaterialabbau (A78). Dieser Materialfluss muss immer bekannt sein und deshalb angegeben werden. Das Modell ist so aufgebaut, dass dieser Materialfluss in Abhängigkeit aller anderen Parameter modelliert wird. Das heisst, im Rahmen der Modellierung wird versucht, die Modellparameter so einzustellen, dass der modellierte Materialfluss A78 möglichst nahe am erhobenen Rohmaterialabbau liegt. Die Abweichung zwischen dem modellierten und erhobenen Rohmaterialabbau soll dabei immer kleiner als 5% sein.

3. Materialflüsse aus den IOT → Violette Pfeile:

Diese Materialflüsse stammen aus den Input-Output-Tabellen. Die Daten stammen somit von den einzelnen Kantonen und werden dann über die Ausgleichsrechnungen abgeschätzt (siehe Beschreibung oben). Damit können sich die Importe und Exporte im Modell etwas von den angegebenen Werten der Kantone unterscheiden.

4. Bekannte oder modellierte Materialflüsse → Blaue Pfeile:

Einige Kantone erheben Daten zu den Terrainanpassungen, zur Aushubaufbereitung (kiesiger Aushub) und zum Anfall der Feinfraktion aus der Bauschuttzubereitung. Andere Kantone führen keine diesbezüglichen Erhebungen durch. Dort werden diese Materialflüsse über die entsprechenden Parameter abgeschätzt. Die blau markierten Pfeile bedeuten deshalb, dass die Materialflüsse entweder bekannt sind oder vom Modellierer abgeschätzt werden müssen.

2.2 Modellierung der Materialflüsse

Die Modellierung des statischen Systems erfolgt in einem iterativen Vorgehen. Dabei werden die Modellparameter so verändert bis eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen modellierten und erhobenen Materialflüssen erreicht wird. Um die Güte der Übereinstimmung zu sehen, dient eine im Modell integrierte Tabelle. Diese entspricht der Tabelle 2 (Kanton Zürich, Bezugsjahr 2014). In der Tabelle ist zu erkennen, dass die Differenzen der ersten acht Materialflüsse jeweils 0% entsprechen. Der Grund dafür ist, dass diese Daten aus den Input-Output-Tabellen stammen und ohne weitere Änderungen ins statische Modell integriert werden. Bei den anderen Materialflüssen sind die Abweichungen zwischen modellierten und erhobenen Materialflüssen zu erkennen. Die Materialflüsse werden bei der Modellierung so optimiert, dass die Abweichungen bei den Materialflüssen A78 (Abbau Primärmaterial) und „Summe Ablagerung sauberer Aushub“ möglichst gering sind.



Tabelle 2: Vergleich der modellierten (Spalte „Modell“) und der erhobenen Materialflüsse (Spalte „Daten“), sowie deren Differenz in Prozenten zum Gesamtfluss (hinterste Spalte) für den Kanton Zürich.

Vergleich Modell-Daten		Modell	Daten	Differenz Modell bzgl. Daten in Prozent
		1000m3 (fest)	1000m3 (fest)	
A09	Import Baustoffe	872	872	0.0
A02	Import Rückbaumaterial (in Triage)	45	45	0.0
A03	Import Rückbaumaterial (in Deponie)	1	1	0.0
A06	Import Aushub	62	62	0.0
A20	Export Rückbaumaterial	92	92	0.0
A50	Export Aushub	1'460	1'460	0.0
A40	Export RC-Baustoffe	45	45	0.0
A80	Export Primäre Baustoffe	788	788	0.0
∑	Rückbaumaterial in Deponien	43	43	-1.5
A24	In Aufbereitung RC-Baustoffe	980	1'056	7.1
A29	Direkte Verwertung (nur Tiefbau)	96		na
∑	Aufbereitete RC-Granulate	970	933	-4.0
A51	Aushub für Terrainanpassung	28	-	na
∑	Ablagerung sauberer Aushub (Rekultivierung)	2'313	2'258	-2.4
A58	Aufbereitung kiesiger Aushub	76	-	na
A78	Abbau Primärmaterial	3'047	3'086	1.3
∑	Aushub auf Deponien (ISD und MBS)	160	160	0.0

Erklärung zu den Bezeichnungen der Flüsse: Beispiel Fluss A24 entspricht Materialfluss von Prozess 2 in den Prozesse 4 (siehe Abbildung 1). Fluss A09 entspricht Materialfluss von ausserhalb des Kantons (d.h. 0) in den Prozess 9.



2.3 Relevante Materialflüsse für die Modellierung

Für die teilnehmenden Umweltämter ist es oft schwierig zu beurteilen, welche Materialflüsse für die Modellierungen wichtig sind bzw. welche Materialflüsse erhoben werden sollen. Aus diesem Grund sind in der Tabelle 3 die verschiedenen Materialflüsse aufgeführt. Jedem Materialfluss ist die Relevanz für die Modellierung zugeordnet. In der letzten Spalte ist angegeben, welche Materialflüsse unbedingt erhoben werden sollten (grün) und bei welchen Materialflüssen eine Erhebung sinnvoll (gelb) bzw. wünschenswert wäre (orange).

Tabelle 3: Relevanz der Materialflüsse für die Modellierung und erforderliche Erhebungen.

Bezeichnung	Materialfluss	Relevanz für Modellierung	Erhebung
A78	Rohmaterialabbau	sehr wichtig	unbedingt erforderlich
A56	Aushub in Rekultivierung	sehr wichtig	unbedingt erforderlich
A53a	Aushub in Aushubdeponie	sehr wichtig	unbedingt erforderlich
A53b	Aushub in ISD	wichtig	erforderlich
A24	Rückbaumaterial in Aufbereitung	sehr wichtig	unbedingt erforderlich
A49	RC-Granulate	sehr wichtig, wenn A24 nicht bekannt	unbedingt erforderlich, wenn A24 nicht bekannt
A06	Importe Aushub in Rekultivierung, Aushubdeponie und ISD	wichtig, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen	erforderlich, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen
A80	Export Primärmaterial	wichtig, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen	erforderlich, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen
A09	Importe Baustoffe	wichtig	Nicht unbedingt erforderlich, weil kaum zu erheben
A02	Import Rückbaumaterial in Aufbereitung (über Triage)	Wichtig, wenn grosse Mengen	wenn möglich, dann erheben
A04	Import Rückbaumaterial in ISD	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben
A23	Rückbaumaterial in Deponie	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben
A40	Export RC-Granulate	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben
A51	Terrainanpassungen	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben
A51	Aushub zur Aufbereitung	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben
A43	Feinfraktion	weniger wichtig	wenn möglich, dann erheben



2.4 Vergleich der Modellparameter

In der Tabelle 4 sind die wichtigsten Modellparameter des Moduls BAUWERK für die verschiedenen Kantone für die Bezugsjahre 2013 bis 2015 zusammengefasst. Die unterschiedlichen Raten im Hochbau widerspiegeln die Intensität der Bautätigkeit in den einzelnen Kantonen. Im Kanton Luzern waren im Jahr 2015 mit 2.05% (Wohnen) und 2.25% (Nicht-Wohnen) die stärkste Bautätigkeit zu verzeichnen. Auch in den anderen Kantonen war die Bautätigkeit mit Werten zwischen 1,65% (ZG) und 1.78% (AG und SG) im Bereich Wohnen immer noch recht ausgeprägt. Im Kanton Zürich scheint die Bautätigkeit im Vergleich zum Vorjahr zurückgegangen zu sein. Der Vergleich zwischen den Bezugsjahren zeigt, dass die Neubauraten, aber auch die Sanierungs- und Rückbauraten, je nach Kanton zu oder abgenommen haben. Es ist somit keine einheitliche Entwicklung zu erkennen.

Tabelle 4: Vergleich der verwendeten Modellparameter mit den Parametern der Vorjahre (Rubli 2015 und 2016), welche im Modul BAUWERK eingesetzt wurden, um die Materiallager und -flüsse des Prozesses Bauwerk zu bestimmen.

	AG	BE	BE	BE	LU	LU	SG	SG	SG	SO	SO	SO	TG	TG	TG	ZG	ZG	ZG	ZH	ZH	ZH	
	2015	2013	2014	2015	2013	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015	
Veränderung Hochbau (Gebäude)																						
Wohnen (EFH und MFH)																						
Neubaurate in % des Bestandes	1.78	1.65	1.15	1.72	1.65	2.05	1.66	1.72	1.78	1.88	1.65	1.70	2.05	2.07	1.70	2.05	1.85	1.65	1.58	1.68	1.47	
Sanierungsrate in % des Bestandes	3.70	3.50	4.60	4.40	4.13	4.85	3.84	4.28	4.28	4.95	4.95	4.25	4.20	4.20	4.35	4.70	4.45	4.45	4.20	4.55	4.55	
Rückbaurate in % des Bestandes	0.12	0.09	0.28	0.21	0.13	0.35	0.13	0.27	0.27	0.35	0.22	0.18	0.13	0.11	0.15	0.55	0.40	0.45	0.28	0.33	0.30	
Nicht-Wohnen (restliche)																						
Neubaurate in % des Bestandes	1.75	1.95	1.30	1.95	1.55	2.25	1.58	1.61	1.69	1.54	1.45	1.55	1.88	2.05	1.65	1.95	1.80	1.55	1.50	1.58	1.53	
Sanierungsrate in % des Bestandes	6.80	7.20	7.20	6.80	7.80	7.80	7.84	7.85	7.50	8.90	7.80	6.80	7.50	8.24	7.80	8.85	7.80	7.80	7.50	7.90	7.90	
Rückbaurate in % des Bestandes	0.15	0.24	0.41	0.20	0.40	0.40	0.40	0.49	0.41	0.48	0.31	0.28	0.25	0.25	0.25	1.23	0.82	0.62	0.65	0.68	0.65	
Veränderung Tiefbau (Infrastruktur)																						
Erneuerungsraten																						
Kies/Sand in % des Bestandes	0.45	0.25	0.25	0.35	0.54	0.60	0.30	0.35	0.45	0.50	0.15	0.15	0.20	0.20	0.20	0.30	0.21	0.31	0.45	0.21	0.21	
Belag in % des Bestandes	1.20	1.20	2.50	2.00	1.50	1.50	1.10	1.10	1.40	2.00	1.95	1.95	1.10	1.10	1.10	1.50	2.00	1.50	1.55	2.00	2.00	
Beton in % des Bestandes	0.50	0.35	0.50	0.50	1.00	1.00	0.49	0.49	0.49	0.53	0.53	0.53	0.45	0.45	0.45	0.80	0.80	0.80	0.55	0.55	0.55	
Mauerwerk in % des Bestandes	1.15	0.80	0.80	0.80	0.50	0.50	0.96	0.96	0.96	1.20	0.90	0.90	1.24	1.24	1.24	0.85	0.85	0.85	1.30	0.65	0.65	
Mineral. Fraktion in % des Bestandes	1.20	1.60	1.60	1.60	1.53	1.53	1.56	1.56	1.56	1.55	1.55	1.55	1.65	1.65	1.65	1.69	1.69	1.35	1.53	1.53	1.53	
Neubaurate Neubaurate in % des Bestandes	1.36	1.90	1.50	1.00	1.21	1.52	1.25	1.30	1.20	1.42	0.85	0.85	0.95	1.03	0.95	1.60	1.00	0.90	1.00	1.10	0.70	
Grossprojekte																						
Anfall Aushub in m ³ fest	-	150'000	150'000	150'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	125'000	150'000	100'000	370'000

Mit Hilfe dieser Parameter werden im Modul BAUWERK die Materiallager und -flüsse des Prozesses BAUWERK berechnet. Ausgehend von den nun quantifizierten drei Materialflüssen «Baustoffbedarf», «Rückbaumaterialanfall» und «Aushubmaterialanfall» werden im Modul STOFFFLUSSANALYSE die weiteren systemrelevanten Materialflüsse modelliert.

In der Tabelle 5 ist eine Auswahl von verwendeten Modellparametern, welche im Modul STOFFFLUSSANALYSE verwendet wurden, aufgeführt. Die Angaben zu den Importen und Exporten basieren auf Angaben der Kantone und weiteren Abschätzungen. Die Daten wurden mittels Input-Output-Tabellen und Ausgleichsrechnungen berechnet.

Es ist gut zu erkennen, dass sich die Materialflüsse deutlich unterscheiden können. Wie bereits in den vorangegangenen Jahren, exportiert der Kanton Zürich Aushubmaterial von über 1.5 Mio. Kubikmetern Festmass in die umliegenden Kantone. Die Kantone Aargau und Bern exportieren sehr grosse Mengen an primären Baustoffen. Es handelt sich dabei vor allem um Kalk/Mergel für die Zementproduktion. Beim Vergleich der Verwertungsanteile (siehe Definition unterhalb Tabelle 5) fällt auf, dass die Anteile mit Ausnahme des Mischabbruchs nicht stark voneinander abweichen. Beim Mischabbruch liegen die Verwertungsanteile in den Kantonen Bern und Solothurn im Vergleich zu den anderen Kantonen tiefer.



Tabelle 5: Vergleich von ausgewählten Modellparametern, welche im Modul STOFFFLUSSANALYSE für das Bezugsjahr 2015 eingesetzt wurden, um die Materialflüsse im System zu modellieren.

		Einheit	AG	BE	LU	SG	SO	TG	ZG	ZH
Importe										
A09	Import Baustoffe (in Bauwerk) in m ³ fest	m ³ fest	204'573	240'000	793'500	708'623	255'000	457'528	108'001	1'010'592
A02	Import Rückbaumaterial (in Triage) in m ³ fest	m ³ fest	21'718	22'494	30'357	19'366	29'767	24'374	14'964	31'666
A03	Import Rückbaumaterial (in Deponie) in m ³ fest	m ³ fest	443	10'106	24'838	1'915	4'846	6'479	6'723	646
A06	Import Aushub (in Ablagerung) in m ³ fest	m ³ fest	825'001	297'847	134'100	306'802	190'000	66'217	236'342	70'000
Exporte										
A20	Export Rückbaumaterial in m ³ fest	m ³ fest	60'017	35'000	43'529	35'198	28'098	28'077	16'797	71'532
A40	Export RC-Baustoffe (aufbereitet) in m ³ fest	m ³ fest	35'000	5'000	30'000	17'000	10'000	10'000	13'000	50'000
A50	Export Aushub in m ³ fest	m ³ fest	275'000	260'000	153'000	100'610	180'084	112'947	76'916	1'530'227
A80	Export Primäre Baustoffe (aufbereitet) in m ³	m ³ fest	1'195'000	1'200'000	154'999	249'818	390'043	88'304	245'957	950'000
Innere Flüsse										
A24	Rückbaumaterial in Aufbereitung (RC-Quoten der Materialfraktionen); setzt sich zusammen aus:									
	Betonabbruch: Verwertungsanteil in % (1)	%	95	95	95	95	96	98	90	96
	Mischabbruch: Verwertungsanteil in % (1)	%	85	58	80	90	61	95	80	90
	Strassenaufbruch: Verwertungsanteil in % (1)	%	95	85	87	95	95	98	95	98
	Ausbauphosphat: Verwertungsanteil in % (1)	%	90	95	80	94	93	95	95	96
A29	Anteil direkte Verwertung im TB in % des Anfalls	%	50	22	35	40	45	45	45	42
A43	Anteil Feinfraktion aus Aufbereitung (RC-Mat.)	%	1.0	1.5	2.5	2.7	3.0	1.0	3.0	2.5
A86	Anteil Feinfraktion aus Aufbereitung (Primärmat.)	%	1.4	4.9	9.0	2.7	10.0	3.7	5.0	3.0
A51	Anteil Aushub für Terrainanpassung	%	3.0	13.0	5.0	5.5	5.0	14.0	13.7	6.3
A58	Anteil in Aufbereitung kiesiger Aushub	%	5.1	18.7	2.8	2.5	4.3	2.8	9.5	2.3
A53.1	Aushub in Deponie Typ B	m ³ fest	41'500	150'757	101'800	74'466	31'000	130'998	44'262	182'000
A53.2	Aushub in Aushubdeponie Typ A	m ³ fest	181'760	133'571	475'000	379'067	-	344'385	158'630	-
A23	Rückbaumaterial in Deponien	m ³ fest	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>							
A49	Aufbereitete RC-Baustoffe für Bauwerk	m ³ fest	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>							
A56	Ablagerung Aushub	m ³ fest	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>							
A78	Abbau Primärmaterial	m ³ fest	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>							

(1) Bemerkung: Die angegebenen Verwertungsanteile unter dem Materialfluss A24 (Rückbaumaterialien in die Aufbereitung) sind wie folgt definiert (Bezeichnung Materialflüsse siehe Abbildung 1):

$$\text{Verwertungsanteil in \%} = \frac{A24}{(A12 + A02 - A20 - A29)} * 100$$



3 Resultate

Die Resultate aus den Modellierungen der Materialflüsse der einzelnen Kantone für das Bezugsjahr 2015 liegen wiederum für jeden der teilnehmenden Kantone in Form einer grafischen Darstellung und als Tabellen vor. Nachfolgend werden die Resultate aus den Modellierungen als Quervergleich zwischen den Kantonen präsentiert. Im Zentrum stehen dabei vor allem die über- bzw. interregionalen Aspekte.

3.1 Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall

Der Vergleich des Baustoffbedarfs, des Aushub- und des Rückbaumaterialanfalls auf kantonaler Ebene und auf der überregionalen Ebene mit dem Vorjahr zeigt folgendes Bild (Tabelle 6):

Der Baustoffbedarf, welcher ein Abbild der Bautätigkeit ist, hat in den Kantonen SG, SO und ZG gegenüber dem Vorjahr mit 1% bis 4% leicht zugenommen. Demgegenüber nahm er im Kanton BE leicht (-1%) und in den Kantonen TG (-9%) und ZH (-10%) etwas stärker ab.

Beim Aushubanfall sind die Veränderungen im Gegensatz zum Vorjahr mit einer Bandbreite von -13% bis +15% recht gross: Im Kanton ZG ist eine Zunahme von 11% und in den Kantonen TG und ZH von 4% bzw. 3% zu verzeichnen. Im Kanton SG ist eine recht starke Abnahme von -15% zu verzeichnen. Allerdings resultierte im letzten Jahr in diesem Kanton eine entsprechende Zunahme von 11%. In den Kantonen BE und SO ging der Aushubanfall gegenüber dem Vorjahr um 7% bzw. 3% zurück.

Beim Rückbaumaterialanfall sind die Veränderungen nicht mehr so stark ausgeprägt wie im Vorjahr (Rubli, 2015). Im Kanton Bern nahm dieser um 10% ab. Auch im Kanton SO ist der Rückgang mit 7% in einem ähnlichen Bereich. Mit einem Plus von 13% ist der Rückbaumaterialanfall im Kanton TG gegenüber dem Vorjahr doch deutlich angestiegen. In den anderen Kantonen (SG, ZG und ZH) sind nur geringfügige Veränderungen zu verzeichnen.

Tabelle 6: Modellierter Baustoffbedarf (inkl. Rückbaustoffe), Aushub- und Rückbaumaterialanfall in den verschiedenen Kantonen und der gesamten Region in den Jahren 2014 und 2015, sowie die prozentuale Zu-/Abnahme im Vergleich zum Vorjahr. Angaben in 1'000m³ fest.

Kanton	Baustoffbedarf in 1000 m ³ fest		Abweich. zu 2014	Aushubanfall in 1000m ³ fest		Abweich. zu 2014	Rückbaumaterialanf. in 1000 m ³ fest		Abweich. zu 2014
	2014	2015	in %	2014	2015	in %	2014	2015	in %
AG		2'529			2'650			487	
BE	3'669	3'635	-1	2'705	2'528	-7	1'044	941	-10
LU		1'732			1'423			456	
SG	1'644	1'682	+2	1'511	1'291	-15	414	421	2
SO	877	885	+1	915	890	-3	230	214	-7
TG	1'082	986	-9	1'080	1'126	+4	200	226	+13
ZG	418	434	+4	578	640	+11	131	127	-3
ZH	4'117	3'705	-10	4'249	4'390	+3	1'154	1'128	-2
Total	11'807	13'059	-	11'038	12'303	-	3'173	3'512	-



3.2 Materialflüsse über die Kantonsgrenzen

In den Abbildungen 2 bis 4 sind die kantonsübergreifenden Materialflüsse, welche auf den Input-Output-Analysen basieren, getrennt nach den Materialien Kies, Aushub- und Rückbaumaterial, dargestellt. Die Exportflüsse sind jeweils gleich eingefärbt wie die Farbe der Kantonsflächen. Damit wird erkennbar, welche Materialflüsse in welche Kantone führen. Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist die Summe der Importe und Exporte für jeden Kanton und für die gesamte Region jeweils separat angegeben.

3.2.1 Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen

Wie in den Vorjahren ist der Austausch von Kies zwischen den Kantonen intensiv (Abbildung 2). Die gesamte Region importierte im Jahr 2015 rund 1.74 Mio. Kubikmeter Kies (Vorjahr 1.64 Mio. m³) und exportierte rund 2.3 Mio. Kubikmeter Kies (Vorjahr 2 Mio. m³). Somit resultiert ein Exportüberschuss knapp 600'000 m³ für die gesamte Region. Die grössten Nettoimporteure innerhalb der Region sind die Kantone Thurgau (rund 370'000 m³; VJ: 460'000 m³) St. Gallen (459'000 m³; VJ: 360'000 m³) und der Kanton Luzern (638'000 m³; VJ: 500'000 m³). Die Kantone Aargau und Bern (VJ: 1.5 Mio. m³) exportierten rund 1 Mio. Kubikmeter Kies und Gesteine (Kalk/Mergel für Zementproduktion) in die umliegenden Kantone. Auch die Kantone Solothurn und Zug exportierten netto rund 140'000 m³ Kies. Der Kanton Zürich weist in Bezug auf den Kies eine relativ ausgeglichene Bilanz auf.

3.2.2 Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Bei den Aushubmaterialflüssen ist der Austausch zwischen den Kantonen ebenfalls intensiv (Abbildung 3). Dies ist durchaus nachvollziehbar, da die Aushub- und Kiestransporte per LKW zur Optimierung der Transportlogistik oftmals gekoppelt sind. Auffallend sind wiederum die sehr grossen Materialflüsse über die Grenze des Kantons Zürich. Mit einem Exportvolumen von 1.53 Mio. Kubikmetern (VJ: 1.46 Mio. m³) wurden etwas mehr Aushubmaterial exportiert als im Vorjahr. Wie in den Vorjahren gelangt knapp die Hälfte des exportierten Aushubvolumens des Kantons Zürich in den Kanton Aargau. Weitere grosse Abnehmer von Aushubmaterial aus dem Kanton Zürich sind Abnehmer in Deutschland sowie die Kantone St. Gallen und Zug. Der Kanton St. Gallen weist wiederum sowohl Nettoimporte beim Kies (ca. 460'000 m³) als auch beim Aushubmaterial (200'000 m³) auf. Offensichtlich hält dieser Trend an, so dass in diesem Kanton weitere Aushubdeponiekapazitäten geschaffen werden müssen, falls sich hier künftig keine Änderungen ergeben.

3.2.3 Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Die Rückbaumaterialflüsse Abbildung 4 über die Kantonsgrenzen bewegen sich im Vergleich zum Kies und Aushub auf deutlich tieferem Niveau. Der Austausch zwischen den Kantonen ist nicht sehr intensiv. Oftmals halten sich die Importe und Exporte die Waage. Die meisten Import- und Exportflüsse basieren auf groben Schätzungen. Aus diesem Grund sind die angegebenen Materialflüsse mit hohen Unsicherheiten behaftet. Diese können sich durchaus im Bereich von +/- 50% bewegen.

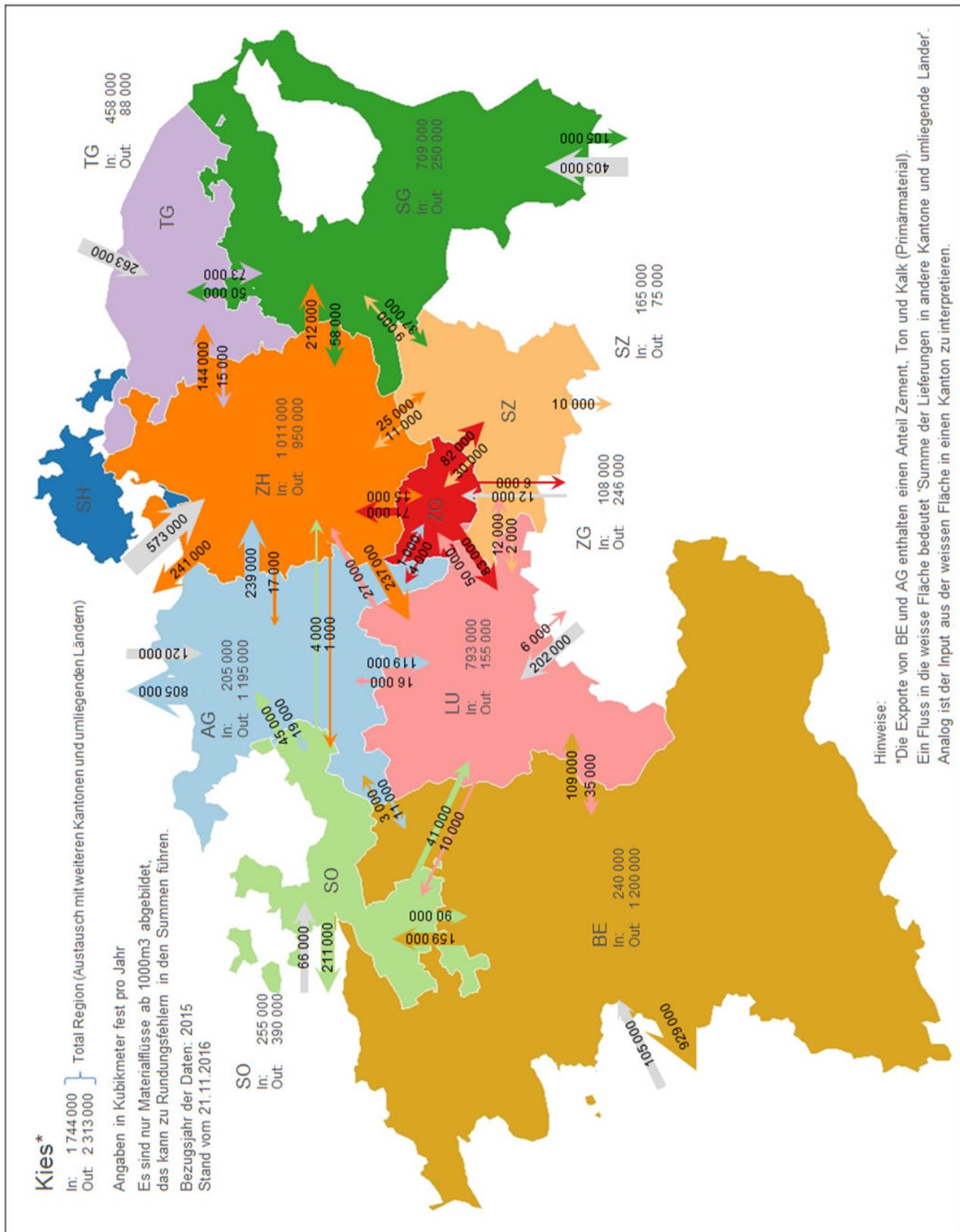


Abbildung 2: Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2015. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Kies» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

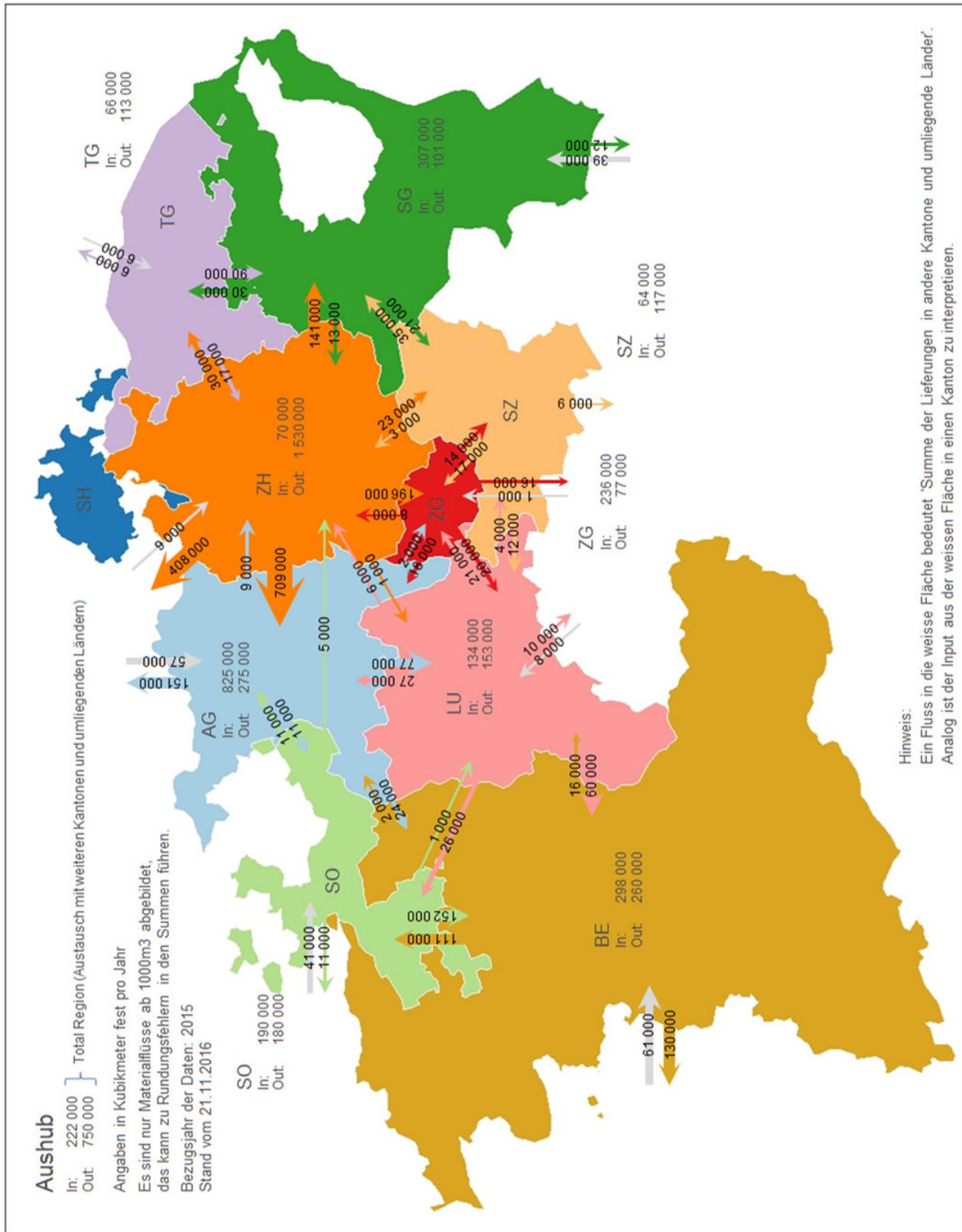


Abbildung 3: Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2015. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Aushub» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

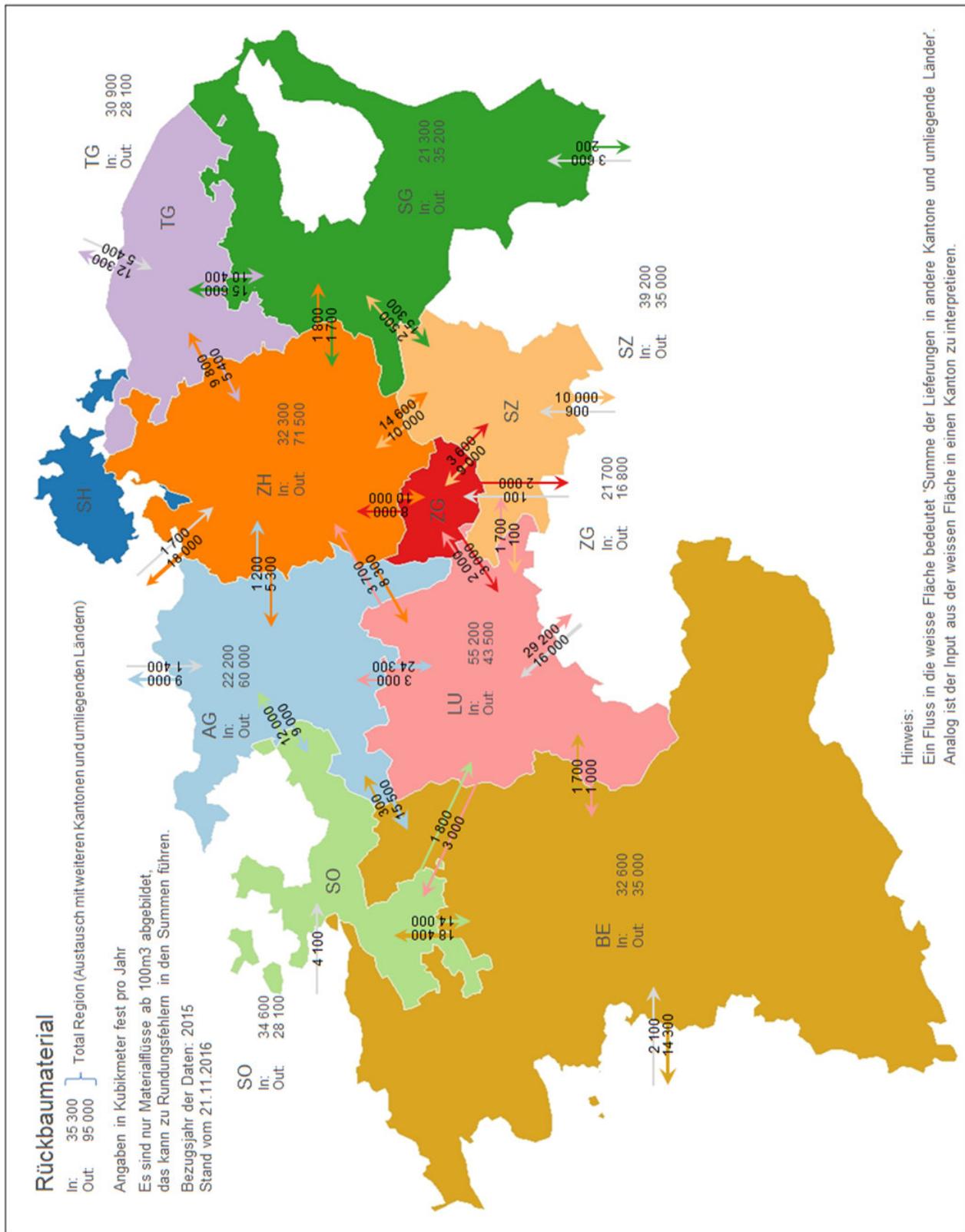


Abbildung 4: Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2015. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Rückbaumaterial» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.



3.3 Autarkiegrad bezüglich der Baustoffversorgung und Aushubentsorgung

Ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der regionalen Rohstoffversorgung und der Materialentsorgung ist der Autarkiegrad. Aus den Modellresultaten lässt sich der Autarkiegrad in Bezug auf die regionale Baustoff- bzw. Kiesversorgung sowie auf die Aushubentsorgung mittels der entsprechenden Formeln¹ ableiten. Dabei ist zu bemerken, dass die Kantons Grenzen zur Beurteilung der Autarkiegrade bei der Baustoffversorgung und Entsorgung nicht der Realität entsprechen, da die Ver- und Entsorgung regional und in den jeweiligen Wirtschaftsräumen erfolgt. Da die Abbau- und Deponieplanungen jedoch auf kantonaler Basis erfolgen, geben die Autarkiegrade einen gewissen Hinweis auf die Situation in den jeweiligen Kantonen. Nachfolgend wird auf die Autarkiegrade in den Kantonen bezüglich der Baustoffversorgung und der Aushubmaterialentsorgung eingegangen.

Kiesversorgung

In der Abbildung 5 sind die regionalen Autarkiegrade der Baustoff- bzw. Kiesversorgung für die Bezugsjahre 2013, 2014 und 2015 dargestellt. In den Kantonen Aargau², Bern², Solothurn² und Zug lag der Autarkiegrad im Jahr 2015 bei über 100%. Die hohen Werte bei den Kantonen Aargau, Bern und Solothurn sind darauf zurückzuführen, dass in diesen Kantonen neben Kies/Sand auch der Kalk- und Mergelabbau für die Zementproduktion sowie teilweise auch der Ton- und Gipsabbau mit einbezogen sind. Der Autarkiegrad im Kanton Zürich bewegt sich kaum und liegt im Bereich von 100%. Auch im Kanton Thurgau bewegt sich der Autarkiegrad nur geringfügig, allerdings auf einem deutlich tieferen Niveau von 58% – 64%. Im Kanton St.Gallen ist eine leichte aber stetige Abnahme von 81% auf 73% zu verzeichnen. Die tiefen Werte in diesen beiden Kantonen dürften unter anderem auf die recht hohen Importvolumen von Kies aus den grenznahen Abbaustellen in Deutschland und Österreich liegen. Im Kanton Solothurn nimmt der Autarkiegrad tendenziell zu. Im Kanton Zug ist keine Tendenz festzustellen. Der Autarkiegrad schwankt relativ stark zwischen 91% und 132%. Aufgrund der geringen Fläche des Kantons wirken sich Veränderungen bei den Importen und Exporten relativ stark auf die Autarkiegrade aus.

Aushubentsorgung

Bei der Aushubentsorgung sieht die Situation je nach Kanton anders aus als bei der Baustoffversorgung (Abbildung 5). Bis auf den Kanton Zürich bewegen sich die Autarkiegrade in alle Kantonen im Bereich von 100% oder darüber. Im Kanton St.Gallen liegen die Werte im Bereich von 110% - 119%. Im Kanton Solothurn reduzierte sich der Autarkiegrad in den letzten drei Jahren kontinuierlich von 119% auf 101%. In den Kantonen Bern (101%) und Thurgau (96%) sind die Veränderungen nur geringfügig. Im Kanton Zug ist eine Zunahme gegenüber dem Vorjahr um 11% auf 125% zu verzeichnen. Im Kanton Zürich ist der Autarkiegrad von 59% auf 67% angestiegen. Er verbleibt somit aber noch immer auf sehr tiefem Niveau.

¹ Formel → Autarkiegrad Baustoffe/Kies = (Abbau Primärmaterial – Feinfraktion aus Primärmaterialabbau + RC-Baustoffe + direkte Verwertung RC-Baustoffe + aufbereiteter kiesiger Aushub)/Baustoffbedarf x 100%.

Formel → Autarkiegrad Aushubentsorgung = (1 - (Aushubexport - Aushubimport)/Anfall Aushub) * 100%

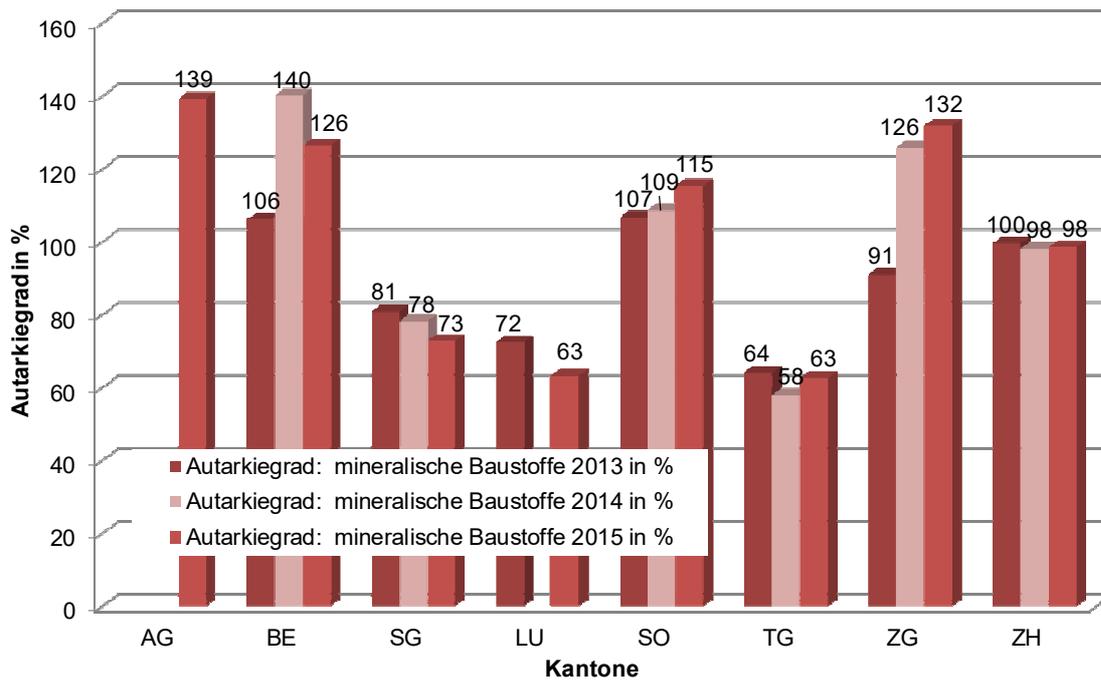


Abbildung 5: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Versorgung mit mineralischen Baustoffen bzw. Kies für die Bezugsjahre 2013, 2014 und 2015. Angaben in Prozenten.

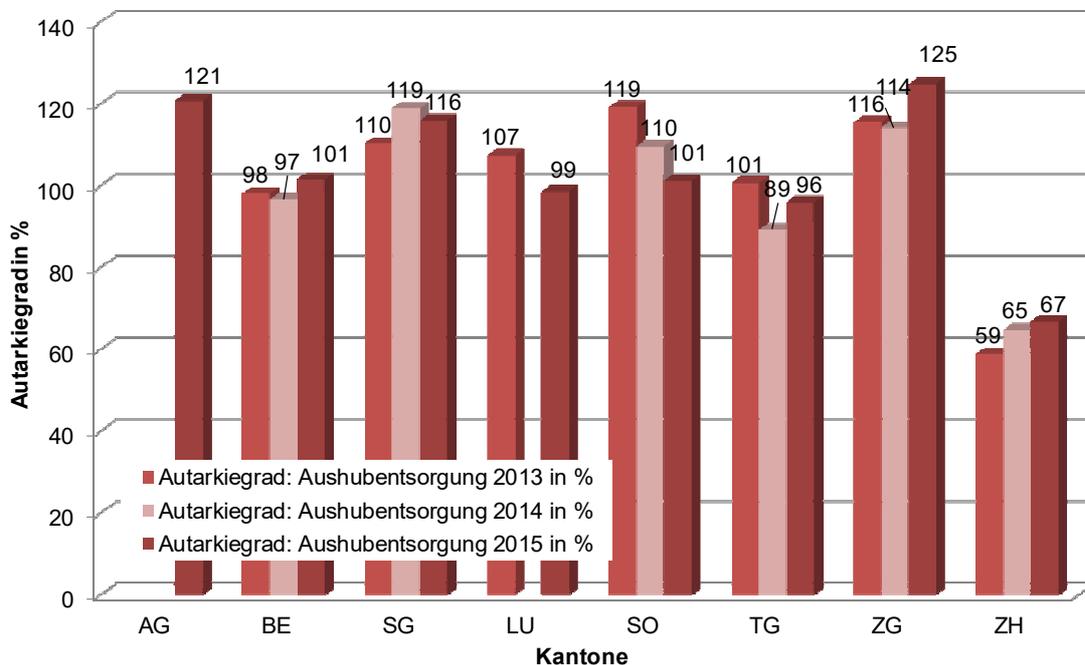


Abbildung 6: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Aushubentsorgung für die Bezugsjahre 2013, 2014 und 2015. Angaben in Prozenten.

² Bei den Kantonen Aargau, Bern und Solothurn sind auch die Baustoffe Kalksteine und Tonminerale enthalten. Würde der Autarkiegrad nur auf Kies bezogen, lägen diese tiefer.

3.4 Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis

In der Abbildung 7 ist der Baustoffbedarf sowie der Aushub- und Rückbaumaterialanfall auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2015 dargestellt. Der pro-Kopf-Baustoffbedarf bewegt sich im Bereich von 2.5 – 4.3 m³/Einwohner. Der Höchstwert wird im Kanton Luzern aufgrund der intensiven Bautätigkeit erreicht (siehe Tabelle 4). In den Kantonen Zürich und Thurgau reduzierte sich die Bautätigkeit und damit verbunden, der pro-Kopf-Baustoffbedarf, relativ stark gegenüber dem Vorjahr (Rubli 2016). Bei den anderen Kantonen sind die Veränderungen weniger stark. Die Kantone Aargau und Luzern, die nach einem Unterbruch wieder eine Modellierung vornehmen liessen, weisen mit 3.9 bzw. 4.3 m³/Einwohner einen eher überdurchschnittlichen pro-Kopf-Baustoffbedarf für das Bezugsjahr 2015 auf.

Beim Aushubanfall aus dem Bauwerk liegt die Bandbreite zwischen 2.5 – 5.4 m³/Einwohner. Im Kanton Zug wird mit 5.2 m³/Einwohner der höchste pro-Kopf-Aushubanfall erreicht. Die Veränderungen bei den pro-Kopf-Werten gegenüber dem Vorjahr sind bei den Kantonen BE, SO, TG und ZH relativ gering (± 0.2 m³/Einwohner). Die stärksten Veränderungen sind bei den Kantonen Zug (+0.5 m³/Einwohner) und St.Gallen (-0.5 m³/Einwohner) zu verzeichnen.

Die pro-Kopf-Werte für die Rückbaustoffe haben sich kaum verändert und liegen zwischen 0.7 – 1.1 m³/Einwohner.

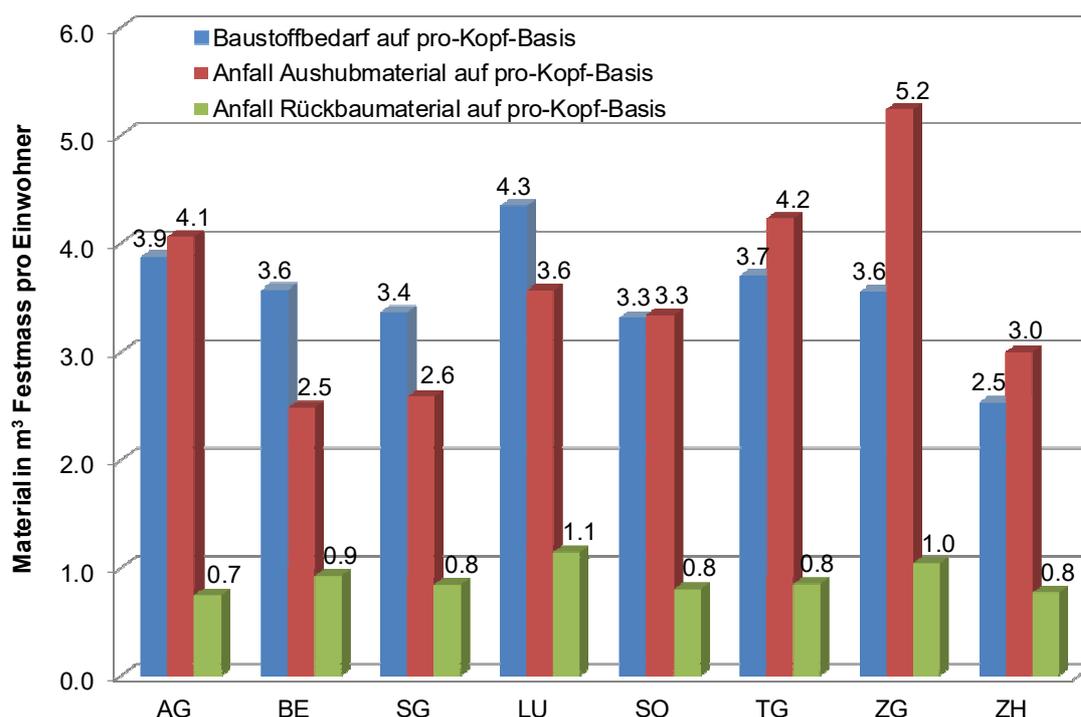


Abbildung 7: Vergleich des Baustoffbedarfs (blaue Säulen), des Rückbaumaterialanfalls (grün) und des Aushubanfalls aus dem Bauwerk (braun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2015 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

In der Abbildung 8 ist Primärmaterialabbau, die Aushubablagerung (inkl. Importe) und der Aushubanfall auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2015 dargestellt. Beim Primärmaterialabbau ist bei den Kantonen AG, BE und im geringen Ausmass beim Kanton SO jeweils der Abbau von Festgesteinen usw. enthalten. Insbesondere das Festgestein, welches in die Zementproduktion gelangt, wird später zu grossen Anteilen in die anderen Kantone exportiert.



Auffallend sind hier die deutlich stärkeren Unterschiede beim Primärmaterialabbau und bei der Aushubablagerung zwischen den einzelnen Kantonen im Vergleich den pro-Kopf-Werten in der Abbildung 7. Dies hat mit den Materialimporten und –exporten zu tun. Die Kantone Luzern, St.Gallen und Thurgau importierten im Bezugsjahr 2015 auf Nettobasis sehr grossen Mengen an Primärmaterial (Abbildung 2). Aus diesem Grund sind die pro-Kopf-Werte beim Primärmaterialabbau deutlich tiefer als in den anderen Kantonen. Würde der Beitrag aus dem Abbau von Felsgestein und Ton in den Kantonen AG und BE nicht berücksichtigt, lägen die Werte beim Kanton AG mit 3.2 m³/Einwohner und beim Kanton BE mit 2.9 m³/Einwohner erheblich tiefer.

Die tiefen pro-Kopf-Werte für den Kanton Bern (2 m³/Einwohner) und Zürich (1.7 m³/Einwohner) beim abgelagerten Aushubmaterial haben unterschiedliche Ursachen. Im Kanton Bern gelangt ein nicht unerheblicher Teil des anfallenden Aushubmaterials in die Terrainveränderung bzw. in die Kiesaufbereitung. Im Kanton Thurgau aber vor allem im Zürich wird ein erheblicher Teil des anfallenden Aushubmaterials exportiert, womit entsprechend weniger Aushubmaterial innerhalb der Kantonsgrenzen abgelagert werden muss. Dies zeigt auch der Vergleich der pro-Kopf-Werte zwischen dem abgelagerten Aushubmaterial (hellbraune Säulen) und dem Aushubmaterialanfall (braune Säulen): In jenen Kantonen, die grössere Nettoexporte beim Aushubmaterial aufweisen (siehe Abbildung 3 sowie Abbildung 9), sind die dunkelbraunen Säulen deutlich höher als die hellbraunen Säulen. In den anderen Kantonen liegen diese beinahe auf gleicher Höhe.

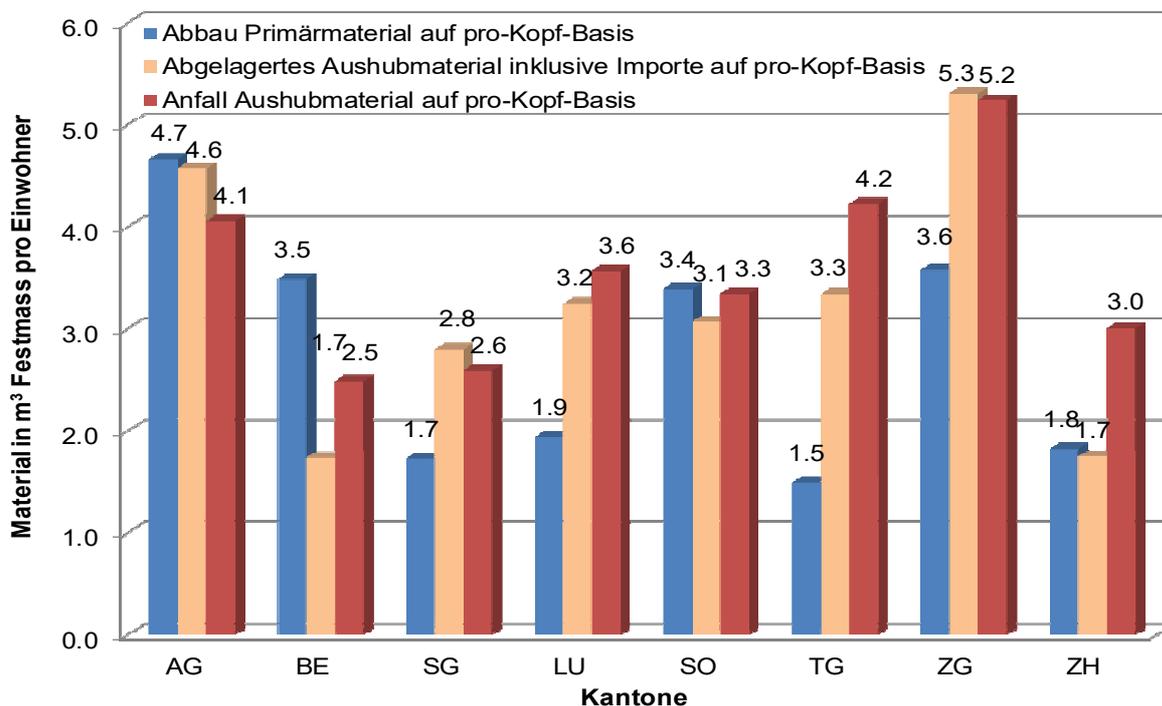


Abbildung 8: Vergleich des Primärmaterialabbaus (blaue Säulen), der Aushubablagerung (ohne Terrainanpassungen) inklusive Aushubimporte (hellbraun) und des Aushubanfalls aus dem Bauwerk (rotbraun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2015 nach Kantonen. Im Primärmaterialabbau ist der Abbau von Kalk/Mergel, Gipsgestein und Ton enthalten (v.a. Kantone AG, BE). Würde dieser Beitrag nicht berücksichtigt, lägen die Werte beim Kanton AG bei 3.2m³/Einwohner und beim Kanton BE bei 2.9m³/Einwohner. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

In der Abbildung 9 sind die abgelagerten Aushubmengen aus den Kantonen (grüne Säulen), sowie die Importe (dunkelbraun) und Exporte (hellbraun) dargestellt. Auch in dieser Grafik ist zu



BE, AG, LU, SG, TG, SO und ZG dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass der modellierte Baustoffbedarf und Aushubanfall, welche auf den jährlichen Erhebungen der Kantone basieren, in allen Kantonen recht gut mit den modellierten Entwicklungen dieser Materialflüsse übereinstimmen. Beim Kanton Thurgau liegt der Aushubanfall etwas deutlicher über der modellierten Entwicklung. Möglicherweise war der Aushubanfall im Bezugsjahr 2010, welcher jeweils als Startpunkt für die dynamischen Modellierungen dient, nicht unbedingt repräsentativ für die nachfolgenden Jahre.

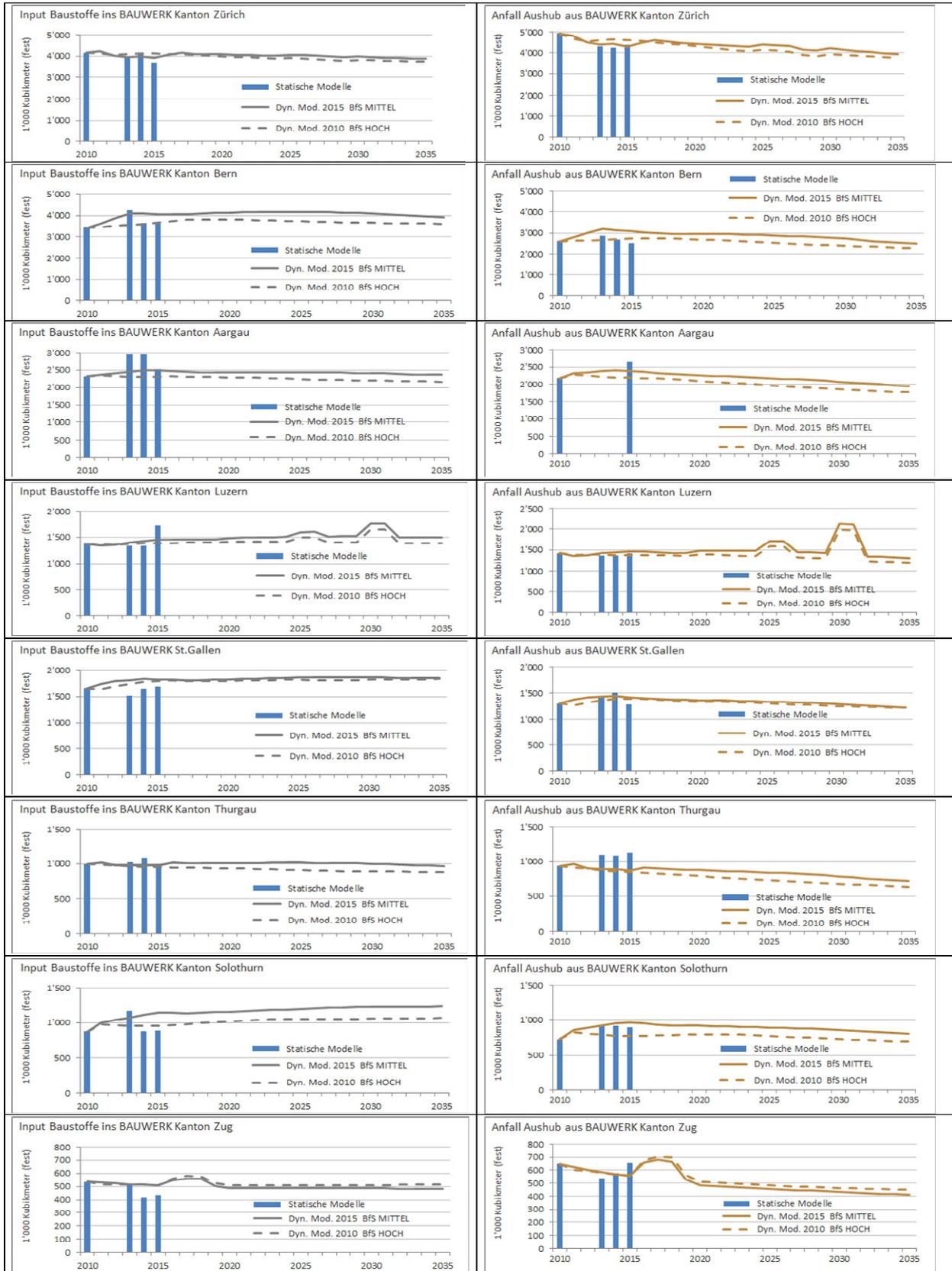


Abbildung 10: Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubanfalls in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2015. Angaben in 1000 m³ fest.



3.5.2 Entwicklung des Primärmaterialabbaus und der Aushubablagerung

Neben den Input- und Outputflüssen ins und aus dem Bauwerk sind für die Kantone insbesondere der Abbau von Primärmaterial und die Aushubablagerung sowie deren künftige Entwicklung von Interesse. In der Abbildung 11 sind diese analog der Abbildung 10 für alle Kantone dargestellt. Auch hier stimmen die in den statischen Modellen gerechneten Werte zum Primärmaterialabbau und zur Aushubablagerung³ für die Bezugsjahre 2010 sowie für die Jahre 2013 - 2015 in allen Kantonen recht gut mit den modellierten Entwicklungen dieser Materialflüsse überein. Grundsätzlich ist die Übereinstimmung der auf den neuen Bevölkerungsentwicklungs-szenarien basierenden Szenarien «Dyn. Mod. 2015 BfS MITTEL» mit den Jahreswerten gegenüber den Vorjahren nochmals besser geworden (Rubli 2012, 2014 und 2015).

Die Achsenskalierungen in den Grafiken zum Primärmaterialabbau und Aushubablagerungen wurden für die einzelnen Kantone jeweils gleich eingestellt. Damit können die zeitlichen Entwicklungen dieser Materialflüsse besser miteinander verglichen werden. Wie bereits im Vorjahresbericht beschrieben, unterscheiden sich die Niveaus von Primärmaterialabbau und Aushubablagerung in den einzelnen Kantonen teilweise deutlich: Im Kanton Bern liegt die Aushubablagerung deutlich tiefer als der Primärmaterialabbau. Der Unterschied ist einerseits auf den Abbau von Kalk und Mergel zurückzuführen, welcher für die Zementproduktion benötigt wird. Andererseits wird beispielsweise im Kanton Bern im Verhältnis zu anderen Kantonen ein relativ hoher Anteil des anfallenden Aushubmaterials für Terrainveränderungen eingesetzt und relativ viel Aushubmaterial zu Kies aufbereitet. Auch in den Kantonen Aargau, Solothurn und Zürich liegt die Aushubablagerung tendenziell etwas tiefer als der Primärmaterialabbau. Während es im Kanton Aargau und Solothurn ebenfalls der Abbau von Kalkgestein und Tonmineralien sind, welche den Primärmaterialabbau erhöhen, sind im Kanton Zürich die massiven Aushubexporte für den Unterschied verantwortlich. Hierzu ist zu beachten, dass das frei werdende Volumen aus dem Abbau von Festgestein nur beschränkt für die Auffüllung zur Verfügung steht.

In den Kantonen Luzern, Thurgau und St.Gallen liegt die Aushubablagerung relativ deutlich über dem Niveau des Primärmaterialabbaus. Diese Kantone importieren im Verhältnis zum Kiesabbau netto relativ viel Kies. Die besagten Kantone verfügen zudem über Aushubdeponien, in denen der „Materialüberschuss“ abgelagert werden kann. Auch im Kanton Zug, welcher ebenfalls über Aushubdeponien verfügt, liegt die Aushubablagerung heute noch über dem Niveau des Primärmaterialabbaus. Allerdings wird dies künftig unter den gegebenen Modellvoraussetzungen nicht mehr der Fall sein. Primärmaterialanfall und Aushubablagerung nähern sich hier immer mehr an.

³ Summe aus Aushubmaterialflüssen in die Rekultivierung, Aushubdeponien und in Deponien Typ B.

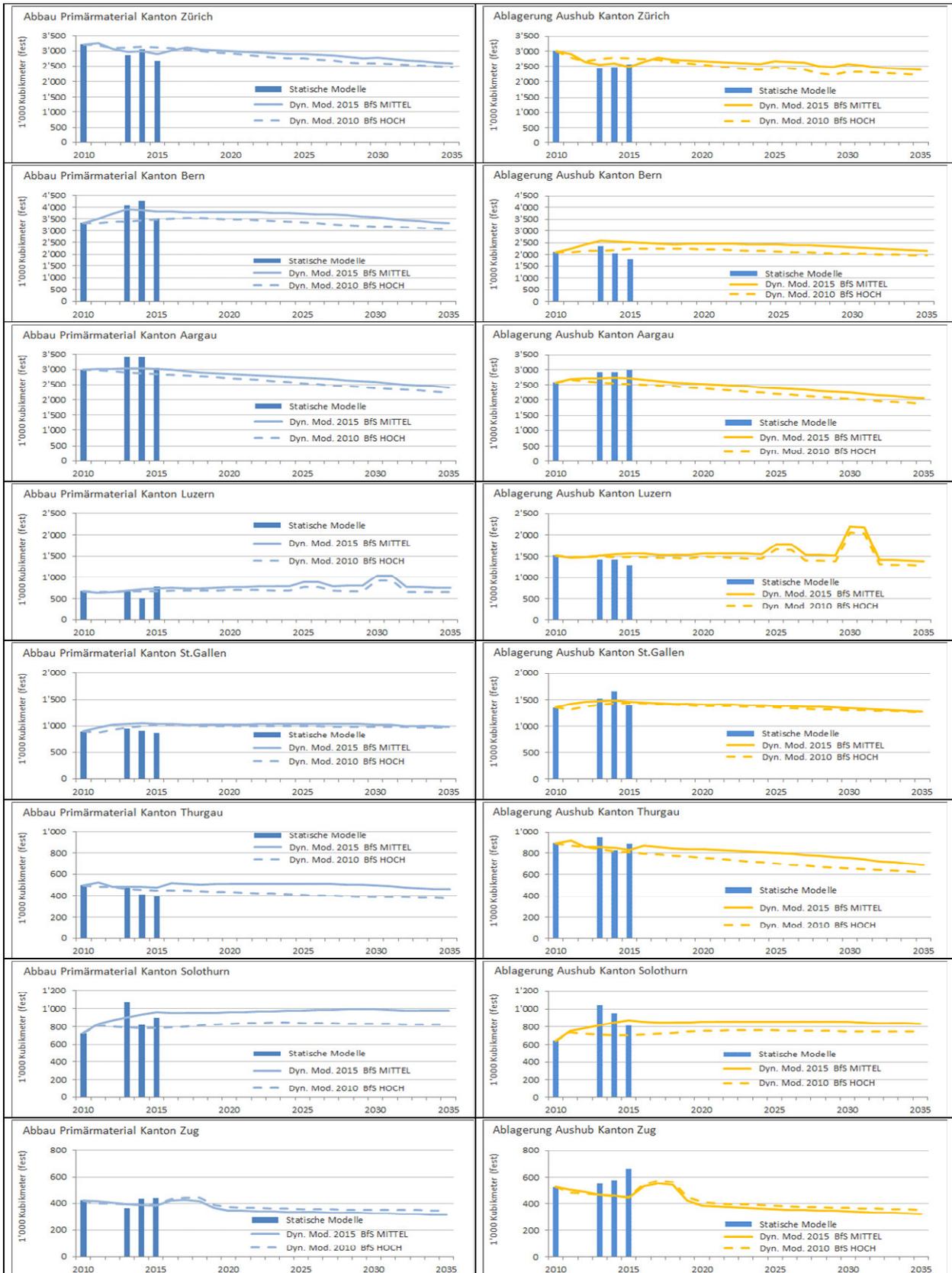


Abbildung 11: Entwicklung des Primärmaterialabbaus und der Aushubablagerung in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2015. Angaben in 1000 m³ fest.



3.5.3 Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau

In der Abbildung 12 sind die Entwicklungen der jährlichen Differenz „Ablagerung – Abbau“ (siehe auch Abbildung 11) und der kumulierten Differenz für die Kantone ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO und ZG zwischen 2010 und 2035 sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 bis 2015 dargestellt. In der jährlichen und kumulierten Differenz nicht, beziehungsweise nur indirekt berücksichtigt, sind die Aushub- sowie Kiesexporte und –importe. Würden im Kanton Zürich beispielsweise die Aushubimporte in die Berechnung der jährlichen und kumulierten Differenz mit einbezogen, würde ein deutlicher Aushubüberschuss entstehen.

Da die jährliche Differenz jeweils aus zwei grossen Zahlen gebildet wird, können die jährlichen Schwankungen relativ gross und die Werte der Bezugsjahre mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet sein. Dennoch stimmen die modellierten Entwicklungen für die Kantone ZH, BE, LU, SG und TG relativ gut mit den Werten der Bezugsjahre 2013 bis 2015 überein.

Beim Kanton Solothurn bewegt sich die jährliche Differenz nahe bei null. Sie kann sowohl positive als auch negative Werte aufweisen. Dies führt dazu, dass die Entwicklung der kumulierten Differenz (Grafik rechts) in den negativen Bereich fällt und somit in die entgegengesetzte Richtung der Werte der Bezugsjahre 2013 bis 2015. Durch die geringen jährlichen Differenzen resultiert bei der modellierten Entwicklung bis zum Jahr 2035 eine geringe Differenz von rund -1'000 Kubikmeter (fest).

Bei der Analyse der Entwicklungen der kumulierten Differenz fällt auf, dass die Kurven in vier Kantonen (LU, SG, TG, ZG) in den positiven Bereich verlaufen. Dies bedeutet, dass die in Abbaustellen geschaffenen Volumen nicht ausreichen, um das anfallende Aushubmaterial dort aufzunehmen, sondern ein Teil davon muss in Aushubdeponien abgelagert oder entsprechend exportiert werden. Alternativ könnten auch die Aushubimporte reduziert werden.

In den Kantonen ZH, BE, AG und SO verläuft die kumulierte Differenz in den negativen Bereich. Die Gründe dafür können sehr unterschiedlich sein: Im Kanton Zürich sind es vor allem die Aushubmaterialexporte, die zu dieser Entwicklung führen. Würden die Aushubexporte in diese Bilanz mit einbezogen, würde die Entwicklung zunehmend in den positiven Bereich verlaufen. In den Kantonen Aargau und Bern wird zur Zeit der Primärmaterialabbau (inkl. Kalk/Mergel) im Modell mit einbezogen. Dies führt dazu, dass sich die kumulierten Differenzen stark in den negativen Bereich entwickeln. Künftig kann der Beitrag aus dem «weiteren Primärmaterialabbau» separat betrachtet und ausgewiesen werden (siehe dazu Kapitel 4 und 5). Auf die Entwicklung der kumulierten Differenz im Kanton Solothurn wurde bereits oben eingegangen. In den Kantonen Aargau und Bern wird zurzeit der Primärmaterialabbau (inkl. Kalk/Mergel) im Modell mit einbezogen, obwohl die durch den Abbau des Festgesteins freiwerdenden Volumen aktuell nur beschränkt für Auffüllungen zur Verfügung stehen.

Die Entwicklungen der jährlichen und kumulierten Differenzen basieren auf der Annahme, dass sich die heute vorliegenden Abbau- und Entsorgungssituationen in den verschiedenen Kantonen in den kommenden Jahren gleich weiterentwickeln. Dies muss nicht unbedingt der Fall sein. So können beispielsweise Auffüllquoten zur Rekultivierung verändert werden (z.B. im Kanton Zürich in Diskussion) oder bestehende Abbaustellen teilweise wieder aufgefüllt werden. Solche Massnahmen können zu erheblichen Verschiebungen bei der Aushubentsorgung führen, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Entwicklung der kumulierten Differenzen.

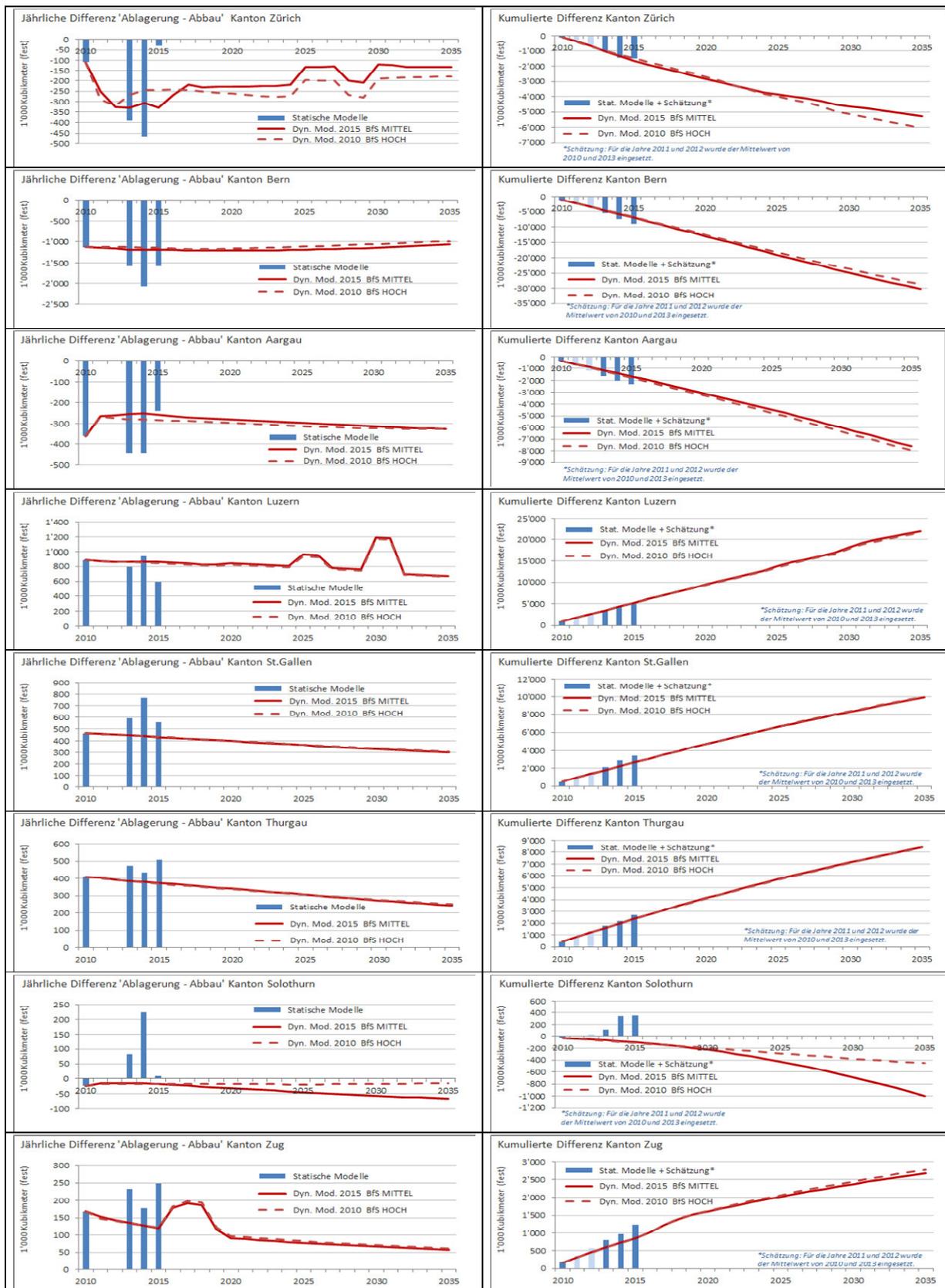


Abbildung 12: Entwicklung der jährlichen Differenz „Ablagerung – Abbau“ und die kumulierte Differenz in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2015. Angaben in 1000 m3 fest.



4 Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Baustoffbedarf und Verwertung der Rückbaumaterialien (RBM)

Mit der Nachführung des Bezugsjahres 2015 in den statischen Modellen liegen nun für acht Kantone ein bis drei vollständige Datensätze plus ein Datensatz für das Startjahr 2010 vor. In der Tabelle 7 ist der Baustoffbedarf, der Rückbaumaterialanfall inklusive Nettoimporte, die verwerteten Rückbaustoffvolumen sowie die Verhältnisse RBS/RBM (Definition unterhalb Tabelle 7) und die RBS-Anteile am Baustoffbedarf für die Kantone AG, BE, LU, SG, SO, TG, ZG und ZH sowie in der gesamten Region für die Jahre 2014 und 2015 aufgeführt. Die Veränderungen der Materialflüsse und der Verhältnisse im Vergleich zu jenen des Vorjahres bewegen sich in einer relativ engen Bandbreite. Es sind keine einheitlichen Tendenzen festzustellen. Die Materialflüsse nahmen teilweise zu, in anderen Kantonen jedoch ab. Gleiches gilt für das Verhältnis RBS/RBM bzw. die RBS-Anteile am Baustoffbedarf. Einzig beim Kanton Thurgau ist das Verhältnis RBS/RBM von 15.9% auf 21.8% angestiegen und liegt nun im Bereich der entsprechenden Verhältnisse der anderen Kantone. Über die gesamte Region betrachtet, hat sich das Verhältnis RBS/RBM kaum verändert. Beim RBS-Anteil ist ein leichter Anstieg von 22.8% auf 23.0% zu verzeichnen.

Der Baustoffbedarf über die gesamte Region liegt bei etwas über 13 Mio. m³. Da die Daten von zwei zusätzlichen Kantonen (AG und LU) hinzugekommen sind, liegt der Baustoffbedarf rund 1.25 Mio.m³ höher als im Vorjahr. Ohne diese beiden Kantone wäre der Baustoffbedarf um rund 0.5 Mio.m³ zurückgegangen. Der Rückbaumaterialanfall liegt mit Einbezug von AG und LU bei 3.43 Mio.m³. Ohne diese Kantone würde sich der Rückbaumaterialanfall mit 3.057 Mio.m³ auf Vorjahresniveau bewegen.

Tabelle 7: Baustoffbedarf, Anfall von Rückbaumaterial inklusive Nettoimporte, total verwertete Rückbaustoffe (RBS) sowie das Verhältnis RBS/RBM und der RBS-Anteil am Baustoffbedarf in den Kantonen AG, BE, LU, SG, SO, TG, ZG und ZH sowie in der gesamten Region im Jahr 2014 und 2015.

Kanton	Baustoffbedarf in 1000 m ³ fest		RBM-Anfall ⁽¹⁾ in 1000m ³ fest		Rückbaustoffe ⁽²⁾ in 1000m ³ fest		Verhältnis RBS/RBM ⁽³⁾ in %		RBS-Anteil am Baustoffbed. in %	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
AG	-	2'529	-	449	-	419	-	93.2	-	16.6
BE	3'669	3'635	1'016	928	826	783	81.3	84.3	22.4	21.5
LU	-	1'732	-	443	-	371	-	91.6	-	22.1
SG	1'644	1'682	391	405	358	386	91.4	87.1	20.7	22.3
SO	877	885	229	215	197	183	86.0	84.8	21.4	20.6
TG	1'082	986	191	223	185	215	96.9	96.4	15.9	21.8
ZG	418	434	131	127	108	112	82.9	87.1	22.8	22.9
ZH	4'117	3'705	1'108	1'088	1065	1'010	96.2	92.9	24.8	27.3
Total	11'807	13'059	3'066	3'427	2'740	3'065	89.4	89.2	22.8	23.0

(1) Rückbaumaterialanfall inklusive Nettoimporte/-exporte (RBM) = A12 + A02 – A20 (Bsp.: Fluss A12 = Materialfluss von Prozess 1 nach Prozess 2)

(2) Rückbaustoffe inklusive Exporte und direkte Verwertung (RBS) = A49 + A40 + A29

(3) Verhältnis = RBS in 1000m³ / RBM in 1000m³ x 100%



4.2 Primärmaterialabbau und Aushubentsorgung: Autarkiegrade und Entwicklung

Die Autarkiegrade für mineralische Baustoffe liegen bei einem Grossteil der Kantone im Bereich von 100% oder mehr. Die Ausnahme bilden die Kantone Luzern, Thurgau und St. Gallen. In diesen Kantonen liegen die Autarkiegrade bei rund 70% (LU), 75% (SG) bzw. 60% (TG). Der Grund hierfür sind vor allem die Kies- und Betonimporte aus den Nachbarkantonen (LU), aus Deutschland und Österreich (TG, SG). Der damit verbundene geringere Kiesabbau in diesen Kantonen führt dazu, dass weniger Rekultivierungsvolumen zur Ablagerung von Aushub in Kiesgruben zur Verfügung steht. Damit müssen zusätzliche Aushubdeponien geschaffen werden. Sollte sich diese Entwicklung fortsetzen, sind vor allem in diesen Kantonen künftig zusätzliche Aushubdeponien oder allenfalls Aushubexporte notwendig. In welchem Umfang zusätzliches Aushubdeponievolumen notwendig ist, kann mittels der kumulierten Differenz in Abbildung 12 aufgezeigt werden. Bei den gegebenen Voraussetzungen würden bis zum Jahr 2035 im Kanton Thurgau rund 8 Mio.m³, im Kanton St.Gallen rund 10 Mio.m³ und im Kanton Luzern über 20 Mio.m³ Aushubdeponievolumen benötigt. Davon müssten jeweils die verfügbaren Leervolumina abgezogen werden.

4.3 Schlussfolgerungen

Durch die gesamtheitliche Betrachtung aller relevanten mineralischen Materialflüsse, welche zur Bewirtschaftung des Bauwerks notwendig sind, werden die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Materialflüssen sichtbar. Ebenso wird erkennbar, dass auf der Ebene der Kantone jeweils recht unterschiedliche Voraussetzungen und ressourcenwirtschaftliche Rahmenbedingungen vorliegen. Da die Bauwirtschaft keine Kantons- und immer mehr auch keine internationalen Grenzen kennt (siehe Situation in den Kantonen TG, SG und ZH), sind die Herausforderungen für die kantonalen Stellen, welche die entsprechenden Abbau- und Deponieplanungen in ihren Kantonen vornehmen müssen, enorm. Die Modellierung der längerfristigen Entwicklung der Materialflüsse kann hier möglicherweise einen wichtigen Beitrag als Planungstool leisten. Immer wichtiger wird zudem der Einbezug der umliegenden Kantone und Grenzregionen in diese Planung. Nur so wird es möglich sein, ein nachhaltiges Ressourcen- und Deponiemanagement aufzubauen und zu betreiben. Das vorliegende Projekt, in dem mittlerweile bis zu 10 Kantone beteiligt sind, soll den Austausch und die Zusammenarbeit zwischen den Kantonen erleichtern.

Im diesjährigen KAR-Modell wurden die neuen Datengrundlagen des BFS zur Bevölkerungsentwicklung in den verschiedenen Kantonen integriert. Die Anpassungen haben zur verbesserten Übereinstimmung zwischen den modellierten Einzeljahren (statisches Modell) mit der modellierten langfristigen Entwicklung in den einzelnen Kantonen geführt (Abbildungen 10 – 12). Somit müssen vorerst keine weiteren Anpassungen im dynamischen Modell vorgenommen werden.



5 Ausblick

5.1 Nachführung der statischen Modelle

Die Nachführung der Modelle wird auch für das Bezugsjahr 2016 durchgeführt. Neben den bereits im Jahr 2015 teilnehmenden Kantonen (Entscheid des Kantons Luzern noch ausstehend) werden zusätzlich die Kantone Baselland und Basel-Stadt erstmalig ein gemeinsames Modell erstellen lassen. Zudem wird auch der Kanton Schwyz wieder an der Modellierung teilnehmen. Somit werden 10 bis 11 Kantone aktiv eine KAR-Modellierung durchführen lassen.

5.2 Mitwirkung der Verbände

Neben dem ARV (Aushub-, Rückbau- und Recycling-Verband Schweiz) hat sich nun auch der FSKB (Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie) dafür ausgesprochen, sich ab dem Jahr 2017 an der Entwicklung des KAR-Modells zu beteiligen und in der Begleitgruppe mitzuwirken. Neben der finanziellen Unterstützung können die beiden Verbände möglicherweise zusätzliche Datengrundlagen für die Modelle zur Verfügung stellen. Damit werden die statischen Modelle noch besser abgestützt. Zudem liefern die Verbände wichtige Informationen zu Entwicklungen in ihren Branchen.

5.3 Vorschlag zur Weiterentwicklung

Da sich nun die beiden oben erwähnten Verbände finanziell an der Entwicklung des KAR-Modells beteiligen und zusätzlich die beiden Kantone Basel-Stadt und Baselland die KAR-Modelle entwickeln lassen, kann die Weiterentwicklung im Jahr 2017 realisiert werden.

Im überarbeiteten statischen Modell werden die Materialflüsse 'Kies/Sand' und 'Weitere Baustoffflüsse' vollständig voneinander getrennt gerechnet und dargestellt. Dazu wird das statische Modell mit den Prozessen «weitere Baustoffe abbauen» und «Aushub ablagern» (in weiteren Abbaustellen) ergänzt und in einem Subsystem zusammengefasst (analog Kiesabbau und Aushubablagerung). Die weiteren Ergänzungen und Anpassungen sind im letztjährigen Bericht aufgeführt und werden so ausgeführt. Das Bezugsjahr 2016 wird somit mit dem überarbeiteten statischen Modell gerechnet.



6 Literatur

Bundesamt für Statistik, 2011: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone der Schweiz 2010-2035 – Ständige Wohnbevölkerung nach Kantonen gemäss 3 Szenarien.

Bundesamt für Statistik, 2016: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone - 2015-2045, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung.assetdetail.40822.html>

Baudirektion des Kantons Zug, 2014: *Deponieplanung 2013 - Aushub und Inertstoffe. Schlussbericht*. Amt für Umweltschutz Kanton Zug.

Rubli Stefan, 2012: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Überregionale Betrachtung*. Umweltämter der Kantone Aargau, Schaffhausen, St.Gallen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich

Rubli Stefan, 2015: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2013*. Umweltämter der Kantone Bern, Luzern, Thurgau, Schwyz, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.

Rubli Stefan, 2016: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2014*. Umweltämter der Kantone Bern, Thurgau, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.



Anhang

A.1. Kurzbeschreibung der Prozesse

Nr.	Prozess	Beschreibung
1	Bauwerk	Das BAUWERK umfasst Hoch- und Tiefbau mit den Bautätigkeiten aus Neu- bau, Sanierung und Rückbau. Das ist der einzige Prozess im KAR-Modell mit einem modellierten Lager.
2	Triage Rückbaumaterial	Im Modell wird das anfallende Rückbaumaterial aus dem BAUWERK in diesem Prozess aufgenommen und zu den Folgeprozessen 'verteilt. In der Realität passiert diese Triage auf der Baustelle oder einer Sortierstelle.
3	Deponieren	Die Deponien stehen im Modell für alle Deponietypen (ISO, Reaktor, 'Aushub', bzw. Typ A-E).
4	Aufbereiten RC-Material	Rückbaumaterial wird aufbereitet. Dabei fällt die Feinfraktion an, welche deponiert wird.
5	Triage Aushub	Das anfallende Aushubmaterial aus dem BAUWERK wird in diesem Prozess (virtuell) gesammelt und auf die Folgeprozesse verteilt. In der Realität passiert diese Triage auf der Baustelle oder einem Zwischenlager.
6	Ablagern Aushub (Rekultivierung)	Wiederauffüllung von Abbaustellen mit sauberem Aushubmaterial (Rekultivierung).
7	Abbauen Primärmaterial	Der Abbau von Primärmaterial umfasst Kies-, Sand-, Gips-, Ton- Abbau in Gruben und anderen Abbaustellen.
8	Aufbereiten Primärmaterial	Das abgebaute Primärmaterial wird aufbereitet. Dabei fällt ei- ne Feinfraktion an, die abgelagert wird.
9	Sammeln Baustoffe	Primäre und RC-Baustoffe sowie die Importe werden virtuell gesammelt und stehen als Total für das BAUWERK zur Verfügung. In der Realität geschieht dies auf der Baustelle oder in einem Zwischenlager.



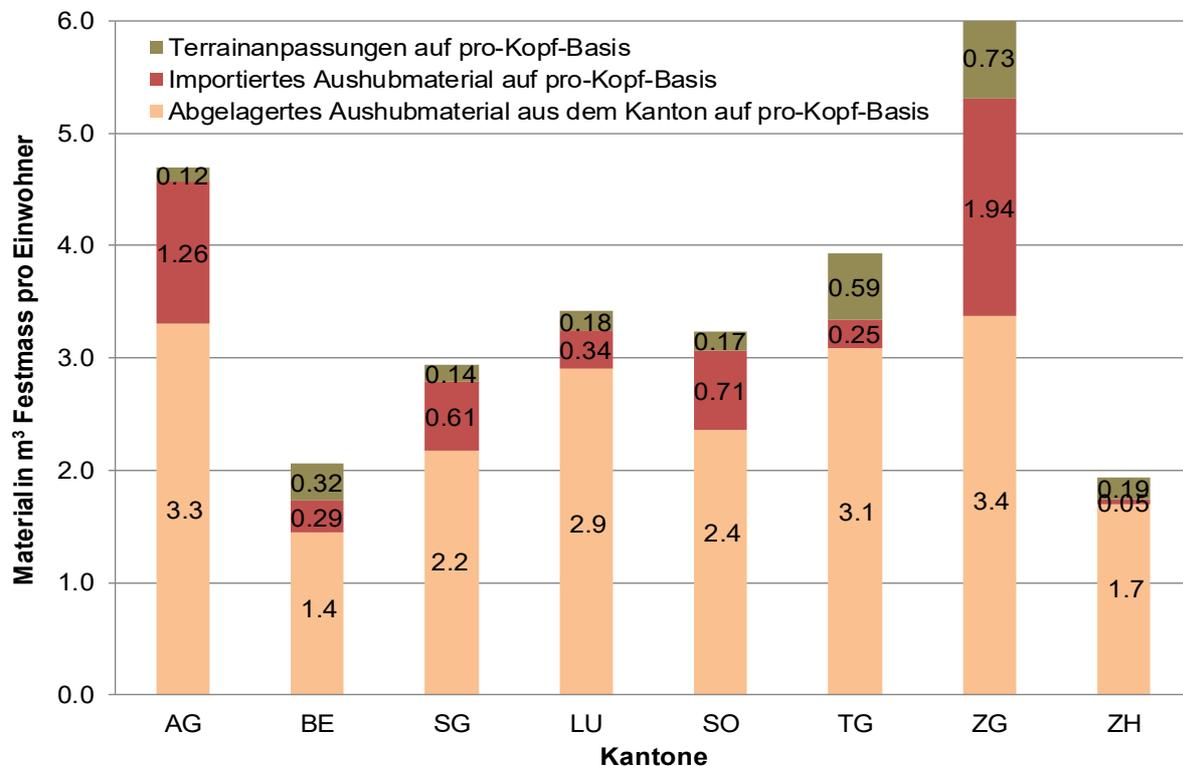
A.2. Beschreibung der Materialflüsse im KAR-Modell

Bemerkung: Die Nummernbezeichnung der Materialflüsse basiert auf der Richtung des Flusses von einem Prozess in den anderen Prozess. Beispiel: Der Fluss A12 (Anfall Rückbaumaterial aus dem BAUWERK) führt vom Prozess 1 «Bauwerk» in den Prozess 2 «Triage Rückbaumaterial».

Nr.	Beschreibung des Materialflusses
A12	Anfall Rückbaumaterial aus dem BAUWERK
A15	Anfall Aushub aus dem BAUWERK
A23	Rückbaumaterial, das deponiert wird
A24	Rückbaumaterial, das aufbereitet wird
A29	Rückbaumaterial, das direkt auf der Baustelle verwertet wird (nur im Tiefbau)
A43	Feinfraktion aus der Aufbereitung von Rückbaumaterial, die deponiert wird
A49	RC-Granulate, die als Baustoffe eingesetzt werden können; im Modell explizit ohne Primärmaterial
A51	Aushub, der für Terrainanpassungen auf der Parzelle verwendet wird
A53.1	Aushub, der auf Inerstoffdeponien (ISD) abgelagert wird
A53.2	Unverschmutzter Aushub, der auf 'Aushubdeponien' (Typ A) abgelagert wird
A56	Unverschmutzter Aushub, der für die Wiederauffüllung von Abbaustellen verwendet wird (Rekultivierung)
A58	Kiesiger Aushub, der zu Primärmaterial aufbereitet werden kann
A78	Abbau von Primärmaterial; dieser Fluss wird in der SFA als 'Zielfluss' modelliert
A86	Feinfraktion aus der Aufbereitung von Primärmaterial, wird direkt in der Abbau- stelle abgelagert
A89	Primäre Baustoffe für das BAUWERK
A91	Input in das BAUWERK, bzw. der Bedarf an Baustoffen im BAUWERK
Materialimporte	
A02	Rückbaumaterial in die Triage Rückbaumaterial '
A03	Rückbaumaterial, das direkt in die Deponien gelangt
A06	Aushub für die Rekultivierung von Abbaustellen
A09	Baustoffe für den Input in das BAUWERK
Materialexporte	
A20	Rückbaumaterial aus der Triage Rückbaumaterial'
A40	RC-Granulate aus der Aufbereitung RC-Material
A50	Aushubmaterial aus der Triage Aushub
A80	Primäre Baustoffe aus der Aufbereitung Primärmaterial



A.3. Abgelagertes Aushubmaterial aus dem Kanton, importiertes Aushubmaterial und Material in Terrainanpassungen

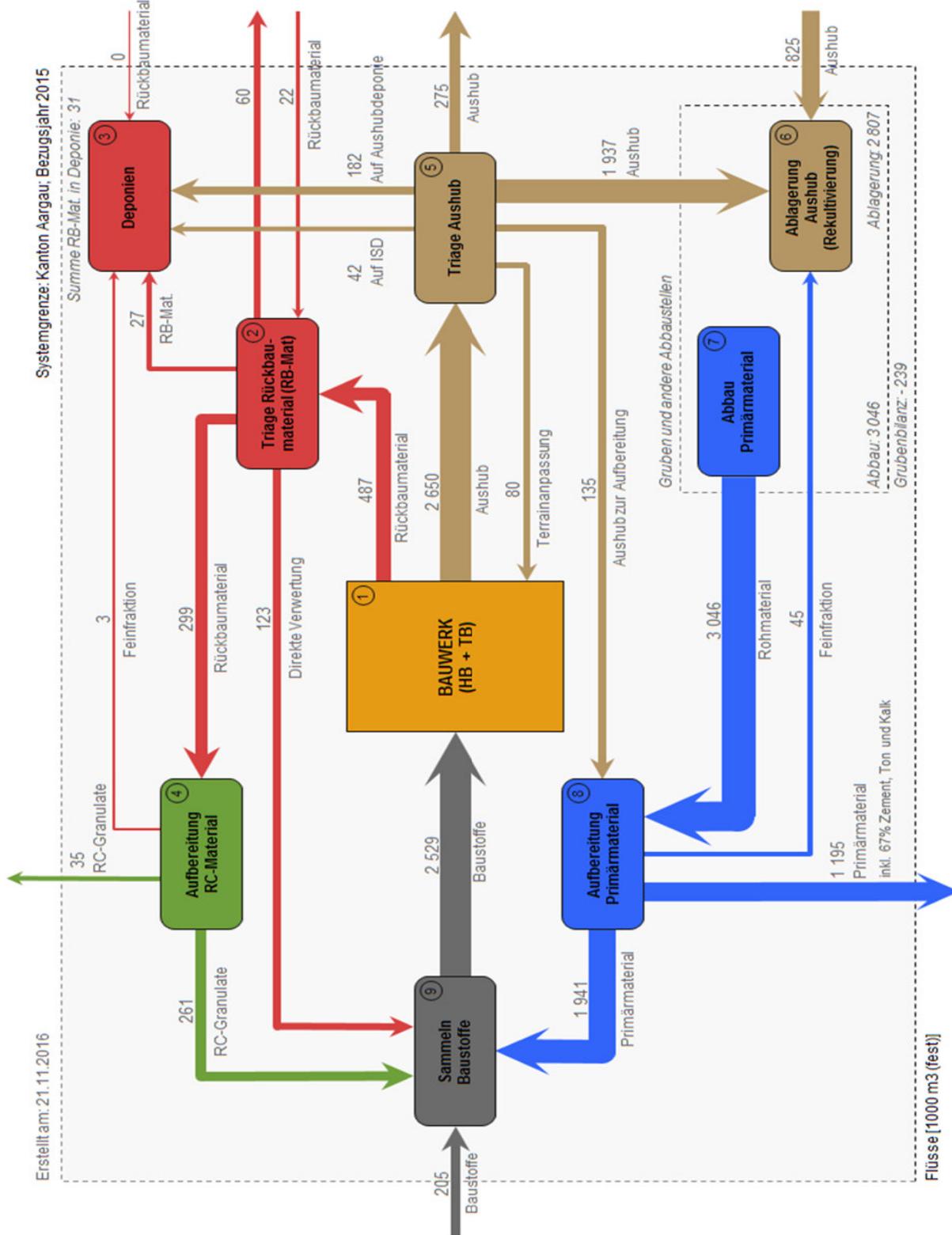


Bemerkung: Beim Kanton Zug sind bei den Terrainanpassungen auch die Materialverschiebungen innerhalb einer Bauparzelle bzw. jene die von einer Baustelle auf eine andere Baustelle erfolgen enthalten. Diese Materialverschiebungen beanspruchen dort den grössten Anteil.



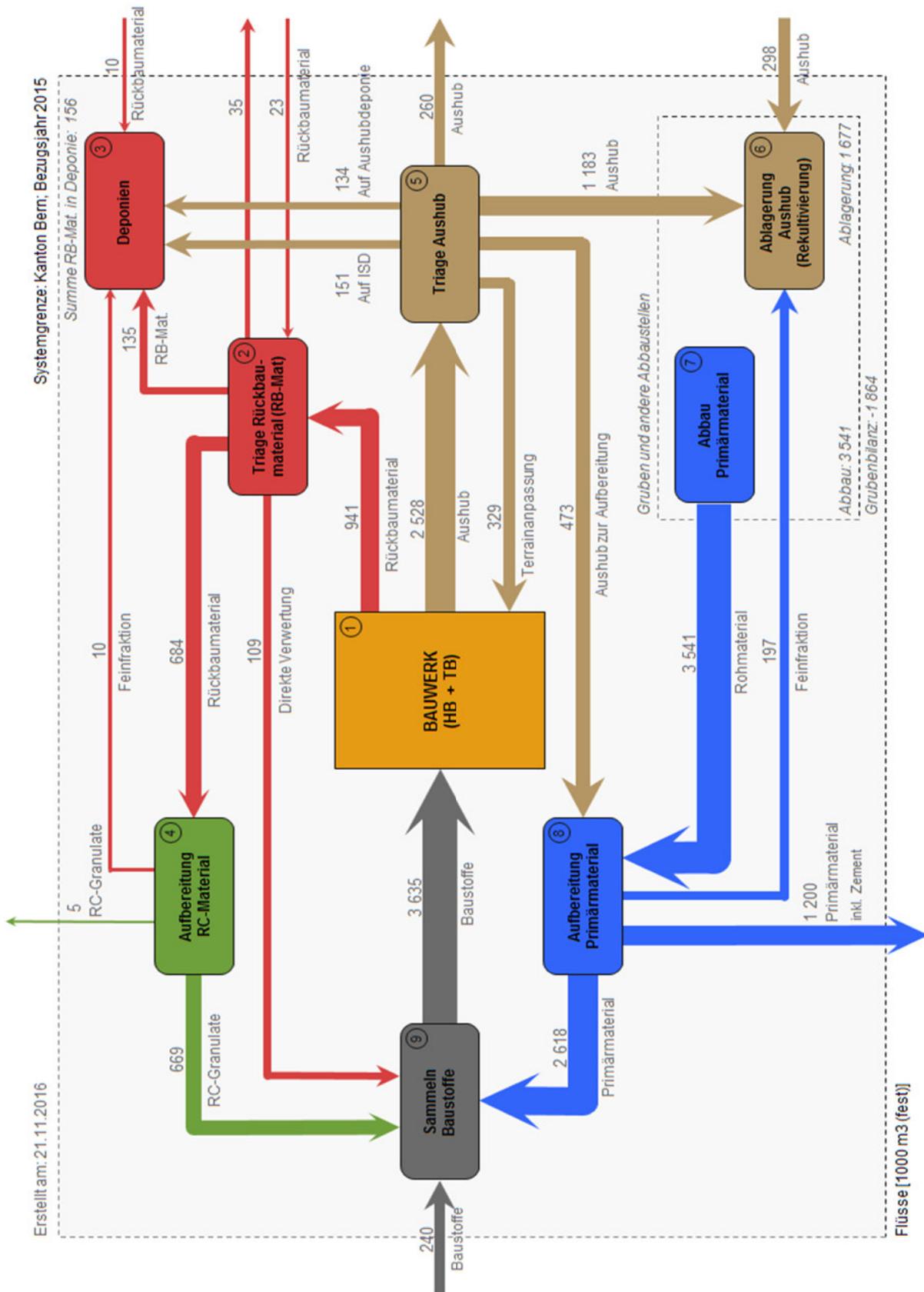
A.4. Materialflussschemen der einzelnen Kantone

Materialflussschema Kanton Aargau (Bezugsjahr 2015)



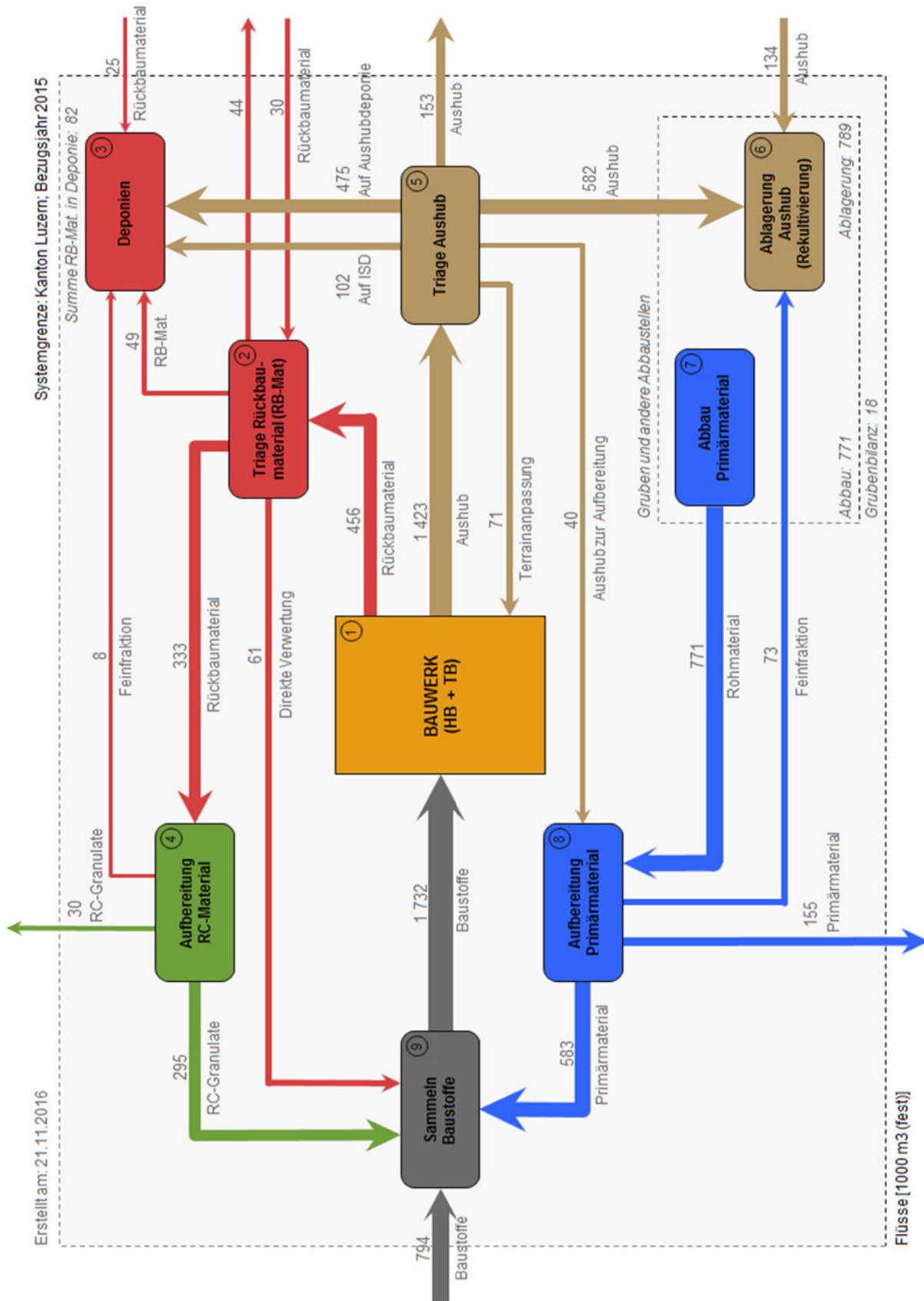


Materialflussschema Kanton Bern (Bezugsjahr 2015)



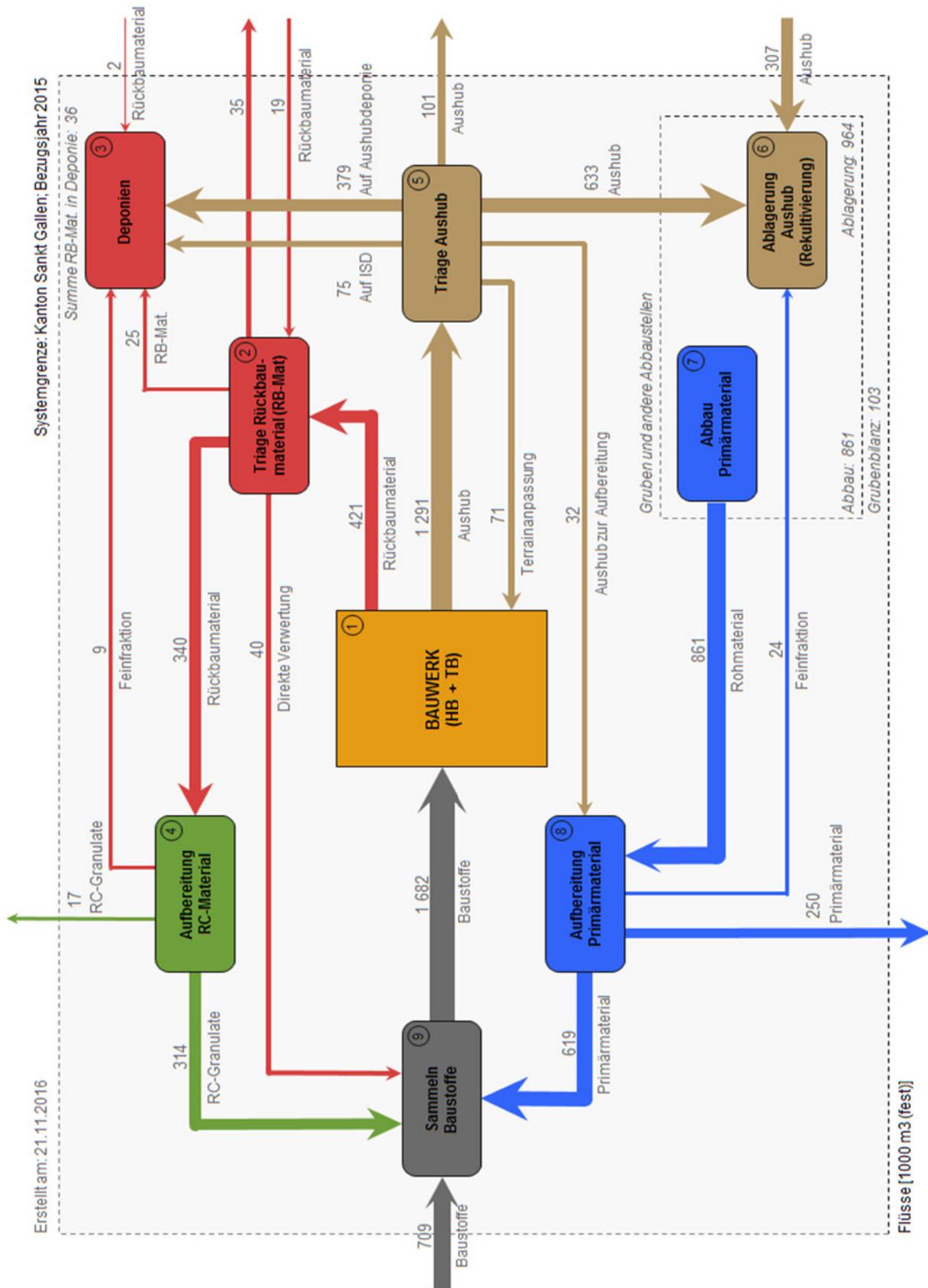


Materialflussschema Kanton Luzern (Bezugsjahr 2015)



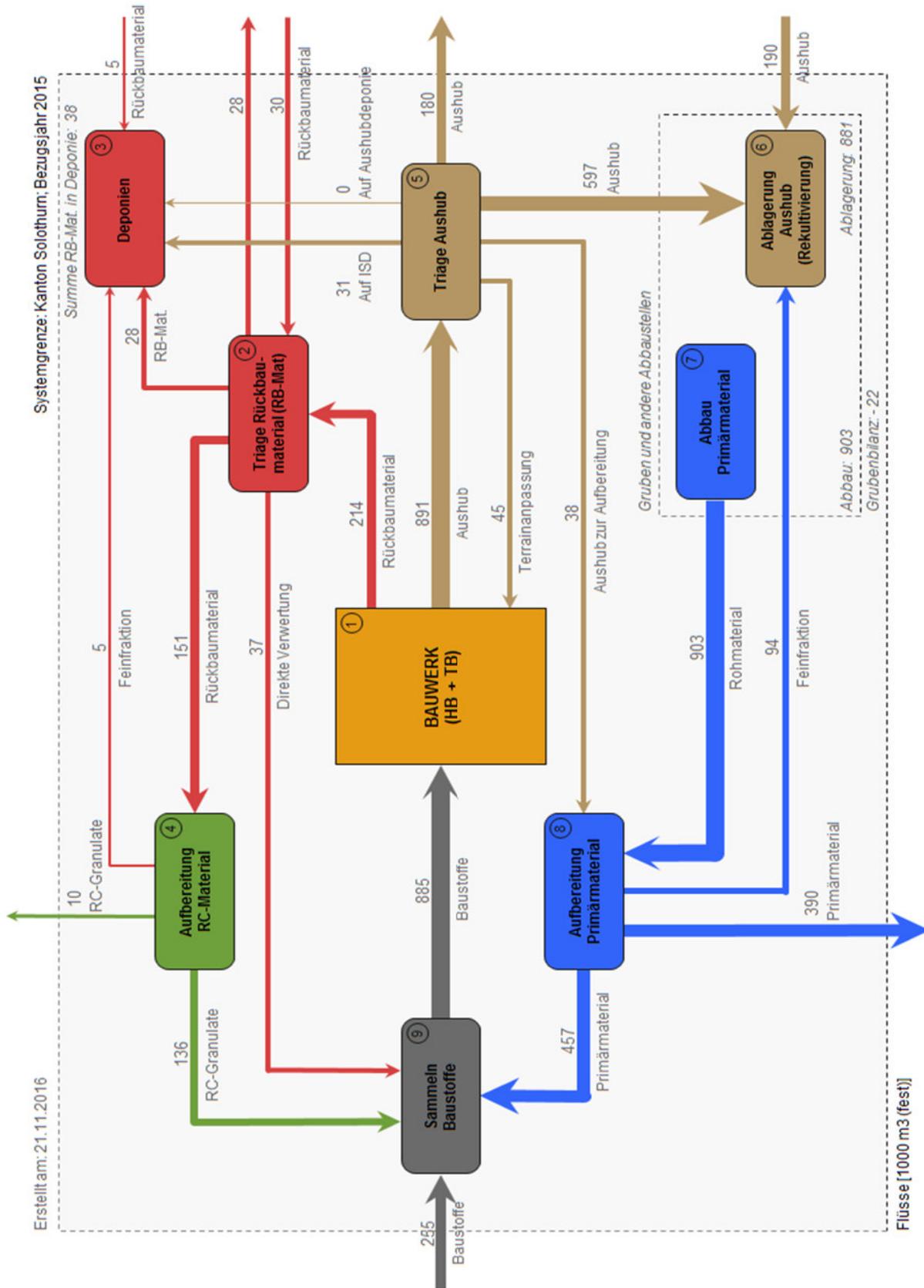


Materialflussschema Kanton St.Gallen (Bezugsjahr 2015)



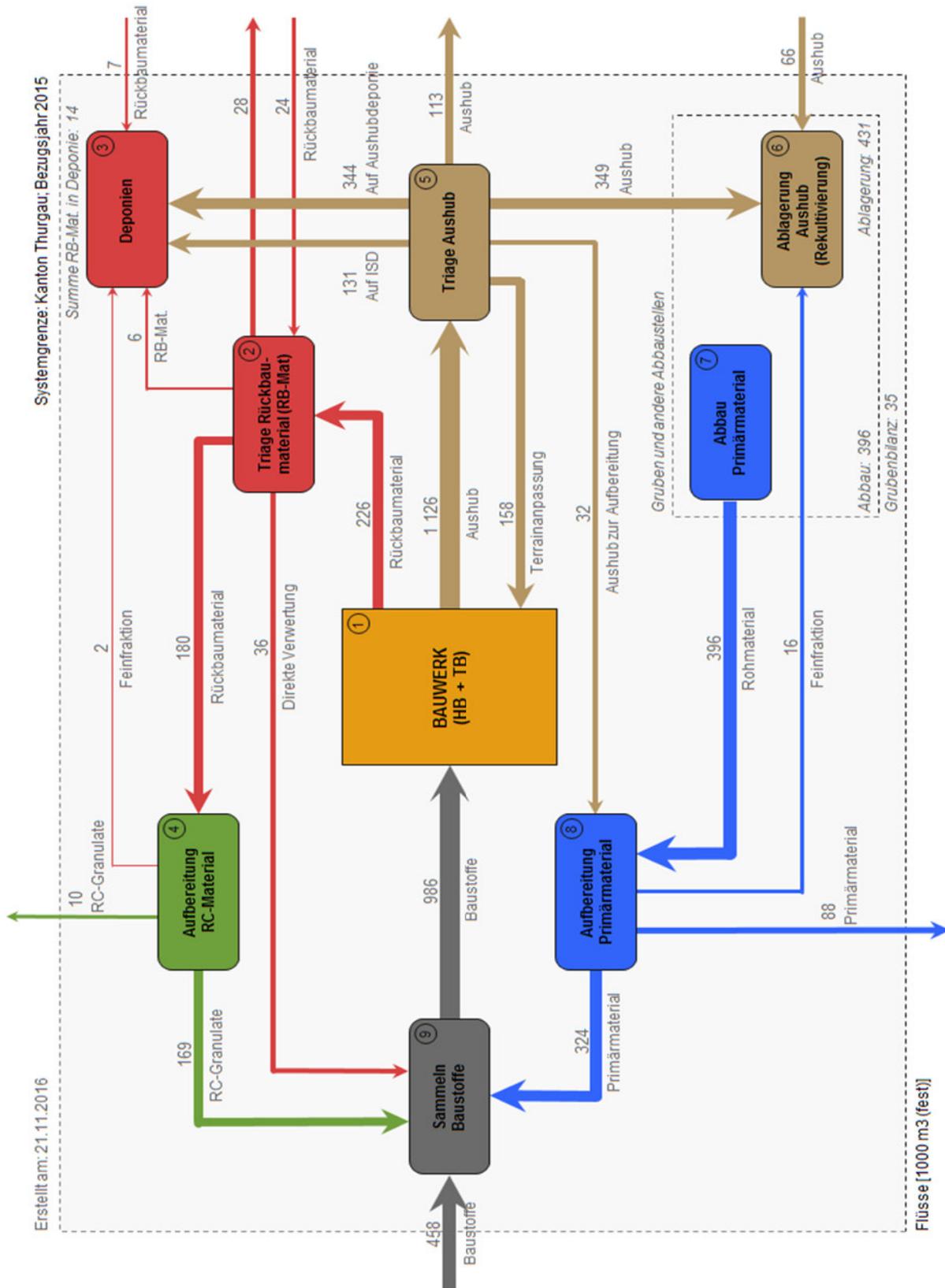


Materialflussschema Kanton Solothurn (Bezugsjahr 2015)



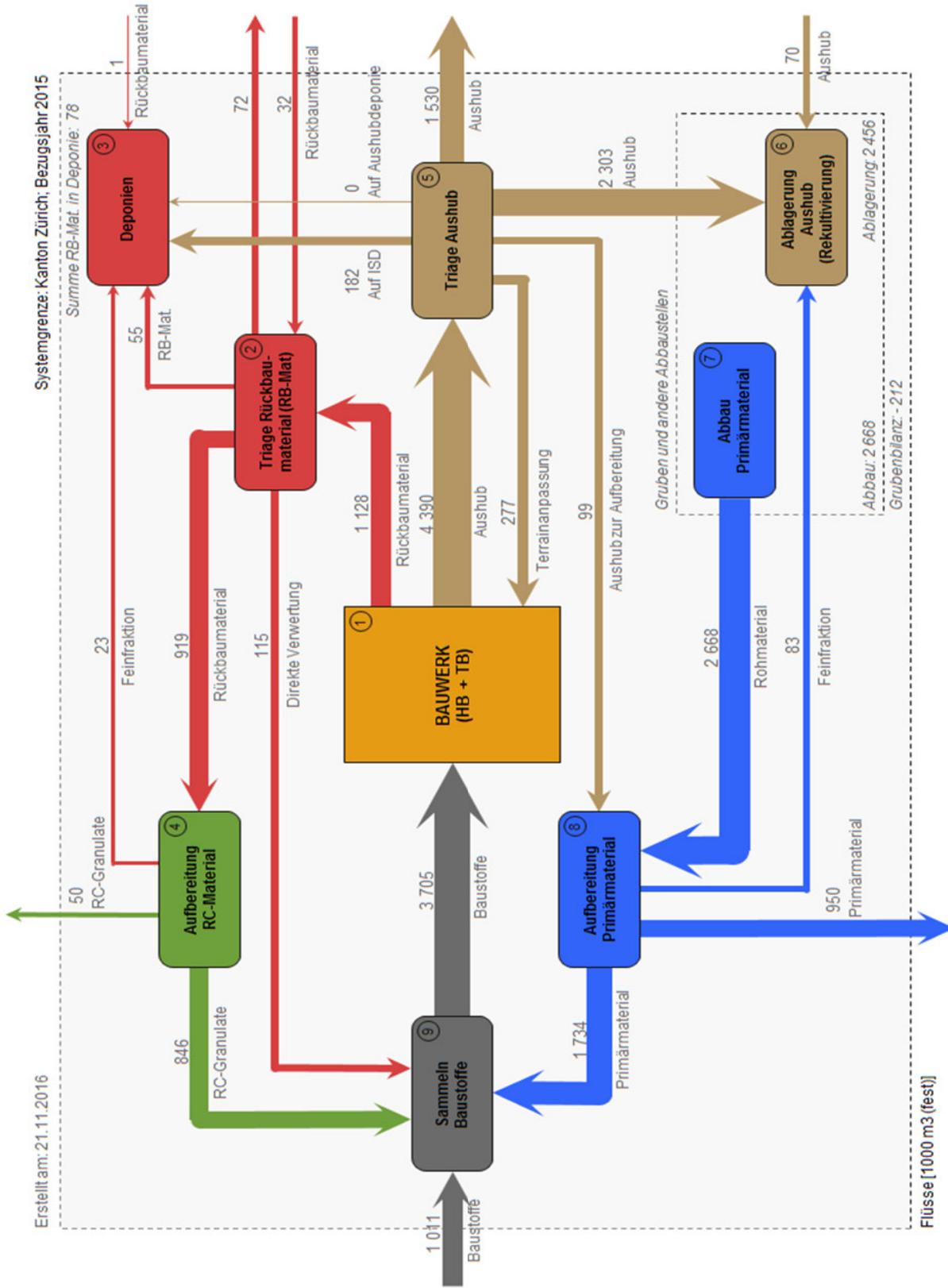


Materialflussschema Kanton Thurgau (Bezugsjahr 2015)





Materialflussschema Kanton Zürich (Bezugsjahr 2015)





A.5 Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial

Werte nach Ausgleichsrechnung

I-O-Tabelle Kies

RESULTAT SOLVER															Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.	
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell		
AG	0	10'106	119'119	0	18'901	0	998	241'284	390'408	804'591	1'194'999	1'195'000	0	0.0%		
BE	27'19	0	110'116	0	158'450	0	0	0	271'284	928'716	1'200'000	1'200'000	0	0.0%		
LU	14'515	34'314	0	0	10'376	0	51'118	28'607	138'930	16'070	154'999	155'000	1	0.0%		
SG	0	0	0	0	0	50'388	0	58'290	108'678	141'140	249'819	249'818	1	0.0%		
SO	44'997	90'846	40'845	0	0	0	0	4'775	181'462	212'044	393'506	395'000	1'494	-0.4%		
TG	0	0	0	78'683	0	0	0	16'314	94'996	4	95'000	95'000	0	0.0%		
ZG	3'837	0	83'415	0	0	0	0	73'386	160'638	85'319	245'957	245'958	0	0.0%		
ZH	17'100	0	236'644	217'510	899	143'934	15'121	0	631'208	318'792	950'000	950'000	0	0.0%		
Total Import	83'167	135'266	590'139	296'193	188'626	194'323	67'237	422'654	1977'606	2'506'676	4'484'282	4'485'776	1'494	0.0%		
Importe aus EXTERN	119'512	104'734	203'361	410'309	66'374	264'227	40'763	587'938	1'797'218							
Total Importe 2, SOLVER	202'679	240'001	793'500	706'502	255'000	458'550	108'000	10'105'993	3'774'824							
Angaben Importe Total	165'000	240'000	793'500	706'502	255'000	510'000	108'000	10'105'992	3'788'594							
Differenz Zeilen	37'679	1	0	0	0	51'450	0	1	89'131							
Differenz Spalten	1	0	1	1	1'494	0	0	0		90'627	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER					
Abweichung SOLVER zu Modell	22.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-10.1%	0.0%	0.0%	-0.4%							

I-O-Tabelle Aushubmaterial

RESULTAT SOLVER															Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.	
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell		
AG	0	24'378	77'268	0	11'130	0	1'861	9'264	123'901	151'099	275'000	275'000	0	0.0%		
BE	2'042	0	16'907	0	111'150	0	0	0	129'198	130'801	260'000	260'000	0	0.0%		
LU	27'494	61'209	0	0	26'347	0	20'757	6'192	141'999	11'001	153'000	153'000	0	0.0%		
SG	0	0	0	0	0	30'000	0	13'002	43'002	58'095	101'097	105'000	3'903	-3.7%		
SO	10'805	152'015	723	0	0	0	0	5'314	168'856	10'713	179'569	210'000	30'431	-14.5%		
TG	0	0	0	89'605	0	0	0	17'002	106'607	6'331	112'938	125'000	12'062	-9.6%		
ZG	17'730	0	19'886	0	0	0	0	8'000	45'615	31'853	77'468	95'000	17'532	-18.5%		
ZH	710'461	0	836	143'309	992	32'190	197'204	0	10'849'993	410'806	14'958'800	14'958'800	0	0.0%		
Total Import	768'531	237'602	114'720	232'914	149'619	62'191	219'822	58'774	18'441'172	810'700	2'654'872	2'718'800	63'928	-2.4%		
Importe aus EXTERN	56'470	60'244	19'380	73'888	40'381	6'302	16'520	13'208	286'393							
Total Importe 2, SOLVER	825'001	297'846	134'100	306'802	190'000	68'492	236'342	71'982	2'130'566							
Angaben Importe Total	825'001	297'846	134'100	306'802	190'000	45'000	236'342	70'000	2'105'091							
Differenz Zeilen	0	0	0	0	0	23'492	0	1'982	25'475							
Differenz Spalten	0	0	0	3'903	30'431	12'062	17'532	0	63'928	89'403	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER					
Abweichung SOLVER zu Modell	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	52.2%	0.0%	2.8%	1.2%							



I-O-Tabelle Rückbaustoffe

RESULTAT SOLVER														Abweichung SOLVER zu Modell
Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.														
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	
AG	0	15929	24729	0	8002	0	685	1654	50998	9002	60000	60000	0	0.0%
BE	284	0	1733	0	20943	0	0	331	23290	11671	34961	35000	33	-0.1%
LU	3000	1012	0	0	1950	0	2000	3675	11637	28081	39718	35000	4718	13.5%
SG	0	0	0	0	0	17518	0	1654	19172	16001	35173	35000	173	0.5%
SO	11960	13960	1764	0	0	0	0	331	28015	3	28017	28000	17	0.1%
TG	0	0	0	10800	0	0	0	5400	16200	11672	27872	28000	128	-0.5%
ZG	210	0	2990	0	0	0	0	8000	11200	5580	16780	16000	780	4.9%
ZH	7088	0	8720	2481	165	11760	13500	0	43714	22001	65715	70000	4285	-6.1%
Total Import	22541	30901	39936	13281	31060	29278	16185	21044	204226	104010	308236	307000	10140	0.4%
Importe aus EXTERN	1418	2082	16099	3601	3942	5405	10803	8269	51618					
Total Importe 2, SOLVER	23959	32982	56034	16882	35003	34683	26988	29313	255843					
Angaben Importe Total	30750	57825	73350	22000	35000	40500	29000	61000	349425					
Differenz Zeilen	6791	24643	17316	5118	3	5817	2012	31667	93567					
Differenz Spalten	0	35	4718	173	17	128	780	4285	10110	103727	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER			
Abweichung SOLVER zu Modell	-22.1%	-43.0%	-23.6%	-23.3%	0.0%	-14.4%	-6.9%	-51.9%	-26.8%					

A.6 Verwendete Dichten und Umrechnungsfaktoren

Material	Dichte (fest)	Umrechnung	Dichte (lose)
	t/m ³	fest -> lose	t/m ³
Kies/Sand	2,00	1,20	1,67
Belag	2,00	1,20	1,67
Beton	2,40	1,20	2,00
Mauerwerk	1,60	1,20	1,33
Brennbares KVA	0,16	1,20	0,13
Holz	0,70	1,20	0,58
Metalle	5,90	1,20	4,92
Mineral. Fraktion	1,50	1,20	1,25
Aushub	2,00	1,20	1,67
Betonabbruch	2,40	1,20	2,00
Mischabbruch	2,08	1,20	1,73
Strassenaufbruch	2,00	1,20	1,67
Ausbauasphalt	2,00	1,20	1,67
Betongranulat	2,40	1,20	2,00
Mischgranulat	2,08	1,20	1,73
RC-Kies/Sand	2,00	1,20	1,67
RC-Belag	2,00	1,20	1,67