

KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2013

Juni 2015

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 Bern, Luzern,
Thurgau, Solothurn, St. Gallen, Zug und Zürich

Bericht

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

Grafiken S. 15-17

Martin Schneider
Tinu Schneider Datenanalyse
3600 Thun

Projektgruppe

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

Begleitgruppe

Oliver Steiner (Amt für Wasser und Abfall
des Kantons Bern), Franz Adam, Christian Sieber,
Elmar Kuhn, (AWEL), Mathias Achermann,
Andy Lancini (Umwelt und Energie Kanton Luzern),
Bernhard Brunner, Christoph Troxler (Amt für
Umweltschutz Kanton Zug), Stefan Rüegg
(Amt für Umwelt-schutz Kanton Schwyz),
Martin Moser (Amt für Umwelt Kanton Solothurn),
Martin Eugster (Amt für Umwelt Kanton Thurgau),
Daniela Marugg (Amt für Umwelt und
Energie Kanton St. Gallen), David Hiltbrunner
(Bundesamt für Umwelt), Josef Wanner (ILU)

Bezug

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

Download als pdf über:

Google: KAR-Modell - Modellierung der Bau-,
Rückbau- und Aushubmaterialflüsse:
Nachführung 2013

Zürich, Juni 2015



Zusammenfassung

Die Kantone Aargau, St.Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich haben im Jahr 2012 ein Modell entwickeln lassen, mit dem die Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse in Abhängigkeit von vorgegebenen Szenarienbedingungen gerechnet werden können (KAR-Modell). In der Zwischenzeit haben sich weitere Kantone (Bern und Luzern) sowie das Bundesamt für Umwelt zur Nutzung des KAR-Modells entschieden. Die neuen Nutzer des Modells leisten jeweils einen finanziellen Beitrag zur Weiterentwicklung des Modells.

Die Vertreter der Umweltämter der acht Kantone BE, LU, SG, SO, SZ, TG, ZG und ZH haben sich deshalb entschlossen, einen weiteren Modellausbau und ein Datenupdate für das Bezugsjahr 2013 durchzuführen und zu finanzieren. Folgende Arbeitspakete wurden dabei bearbeitet:

- Optimierung des dynamischen Modells – Reduktion der Sensitivität des Modells hinsichtlich des Bevölkerungswachstums und Neu-Validierung mit ausgewählten Daten von zwei Kantonen.
- Einbezug der Daten zur Bevölkerungsentwicklung des Bundesamtes für Statistik sowie Automatisierung der Integration der Bevölkerungsentwicklungsszenarien (hoch, mittel, tief) in die Szenarienrechnung des dynamischen Modells.
- Zentralisierung des Modells für jährliche Updates
- Nachführung Bezugsjahr 2013

Das weiterentwickelte KAR-Modell erlaubt eine zentrale Verwaltung der kantonalen Modelle, womit weitere Modellerweiterungen einfacher zu implementieren sind. Jährliche Nachführungen können nun auf kostengünstige Weise erstellt werden. Im zentralen Modell eingebaut ist eine Dämpfungsfunktion, die aussagekräftigere Prognosen zur Entwicklung der Materialflüsse erlaubt. Zusammenfassend konnten die folgenden Erkenntnisse erzielt werden:

Modelländerung:

- Der Einfluss des Bevölkerungswachstums auf das Baugeschehen wurde gedämpft. Die Höhe der Dämpfung ergab sich aus einer Validierung des dynamischen Modells an Datensätzen 1995 bis 2010 der Kantone Zug und Zürich.
- Die Bevölkerungsprognosen des Bundesamtes für Statistik wurden im dynamischen Modell unter den Szenarien hoch, mittel und tief fix eingebunden.
- Das gesamte Modell wurde zentralisiert und die Teilmodelle umstrukturiert. Wesentliche Grafiken werden automatisch generiert. Jeder Kanton kann bei Bedarf sein Gebiet individuell modellieren und zusätzliche Grafiken herstellen.

Resultate:

- Die Validierung mit den 15-jährigen Kies- und Aushubdatensätzen der Kantone Zug und Zürich ergab eine erstaunlich gute Übereinstimmung zwischen Modell und Wirklichkeit. Das Modell kann damit bestehende Daten nachmodellieren.



- Die Validierung am Datenset 2013 ergibt zum Teil gute und zum Teil verbesserungsfähige Resultate: es braucht weitere Datenpunkte und darauf basierend eine Diskussion der Datenlage 2010.
- Es ist gut möglich, dass in einzelnen Kantonen die Daten zum Bezugsjahr 2010 zu wenig repräsentativ sind. Mit der Modellierung der nächsten 3 bis 5 Jahre werden die Datengrundlagen verbessert, was eine Nachvalidierung der kantonalen Modelle erlauben wird.

Mit dem nun vorliegenden KAR-Modell ist es möglich, auf relativ einfache Weise neue Kantone ins Modellsystem einzubinden. Sollte sich bereits teilnehmende Kantone entscheiden, für ein Jahr keine Nachführung durchführen zu lassen, dann ist es wichtig, dass diese Kantone trotzdem Angaben zu den Materialimporten und -exporten machen. Nur so können die kantonsübergreifenden Materialflüsse mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden, was wiederum die Voraussetzung für die Nachführungen der KAR-Modelle der teilnehmenden Kantone ist.



INHALTSVERZEICHNIS

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	7
1.1	Ausgangslage.....	7
1.2	Zielsetzung	7
2	METHODEN	8
2.1	Änderungen am KAR-Modell	8
2.1.1	Modul 1: Optimierung des dynamischen Modells	8
2.1.2	Modul 2: Wahl der Bevölkerungsprognose des Bundesamtes für Statistik (BFS)	9
2.1.3	Modul 3: Zentralisierung.....	9
2.2	Kalibrierung und Validierung des weiterentwickelten KAR-Modells	10
2.3	Vergleich der Modellparameter	11
3	RESULTATE	13
3.1	Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall	13
3.2	Materialflüsse über die Kantonsgrenzen	13
3.2.1	Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen.....	14
3.2.2	Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	14
3.2.3	Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	14
3.3	Autarkiegrad bezüglich der Baustoffversorgung und Aushubentsorgung	18
3.4	Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis	20
3.5	Entwicklung der Materialflüsse bis 2035	22
3.5.1	Einfluss der Dämpfungsfunktion auf die Entwicklung der Materialflüsse	22
3.5.2	Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls	23
3.5.3	Entwicklung des Rückbaumaterialanfalls	25
3.5.4	Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau.....	25
3.5.5	Überregionale Betrachtung der Entwicklung der Materialflüsse	26
4	DISKUSSION	27
4.1	Baustoffbedarf und Verwertung der Rückbaumaterialien (RBM)	27
4.2	Materialaustausch zwischen den Kantonen	28
4.3	Dynamischer Modellteil: Auswirkungen der Dämpfungsfunktion	29
4.4	Der Anteil der Rückbaustoffe am totalen Baustoffbedarf	29
5	DIE WICHTIGSTEN ERKENNTNISSE	31
6	LITERATUR	32
	ANHANG	33
A.1.	Materialflussschemen der einzelnen Kantone	33
A.2	Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial	40



Glossar/Definitionen

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!
MFA	Materialflussanalyse
Primärmaterialabbau	Umfasst den Abbau der mineralischen Rohstoffe Kies/Sand, Kalk, Mergel, Gestein und Tonmineralien.
RC	Recycling



1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Die Kantone Aargau, St.Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich haben im Jahr 2012 ein Modell entwickeln lassen, mit dem die Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse in den einzelnen Kantonen für das Bezugsjahr 2010 beschrieben werden können (KAR-Modell, statischer Modellteil). Zudem lassen sich mit dem Modell mittels Zukunftsszenarien mögliche Entwicklungen bis zum Jahr 2035 abschätzen (KAR-Modell, dynamischer Modellteil). Damit ist ein proaktives Vorgehen zur Steuerung der Materialflüsse sowie die Planung entsprechender Deponie- und Verwertungskapazitäten möglich.

Der dynamische Teil des aktuellen KAR-Modells berechnet die Szenarien bis 2035 auf der Basis der Bevölkerungsentwicklung. Im Modell ist dies so implementiert, dass die Änderung der Bevölkerung – üblicherweise ein Wachstum – für die Neubaurate massgebend ist. Die Sanierungs- und Rückbauraten hängen vom Bestand des Bauwerkes und damit nicht von der Bevölkerungsentwicklung ab.

Die Prognosen des Bundesamtes für Statistik (BfS) weisen in den ersten Jahren jeweils relativ grosse Veränderungen der Wachstumsraten auf. Dies bewirkt im Modell, dass die Materialmengen von Jahr zu Jahr deutliche Unterschiede aufweisen können. Diese ‚Sprünge‘ sind in der Praxis schwierig zu kommunizieren und sollen daher mittels zu entwickelnden Dämpfungsfunktionen reduziert werden (Modul 1). Die Auswirkung dieser Modelländerung wird mit Daten der Vergangenheit von zwei ausgewählten Kantonen validiert, um sicherzustellen, dass die Modellresultate die reale Entwicklung der Materialflüsse möglichst gut abbilden.

Gleichzeitig soll das Modell so weiterentwickelt werden, dass die zugrundeliegende BfS-Bevölkerungsprognose ‚per Klick‘ für die Modellierung gewählt werden kann (Modul 2).

1.2 Zielsetzung

Die Vertreter der Umweltämter der acht Kantone BE, LU, SG, SO, SZ, TG, ZG und ZH haben sich deshalb entschlossen, den besagten Modellausbau- und das Datenupdate für das Bezugsjahr 2013 mittels der nachfolgend aufgeführten Arbeitsmodule durchzuführen:

- **Modul 1:** Optimierung des dynamischen Modells – Reduktion der Sensitivität des Modells hinsichtlich des Bevölkerungswachstums und Neu-Validierung mit ausgewählten Daten von zwei Kantonen.
- **Modul 2:** Einbezug der Daten zur Bevölkerungsentwicklung des Bundesamtes für Statistik sowie Automatisierung der Integration der Bevölkerungsentwicklungsszenarien (hoch, mittel, tief) in die Szenarienrechnung des dynamischen Modells.
- **Modul 3:** Zentralisierung des Modells, jährliches Update
Anpassung und Programmierung des Modells und der Input-Output-Tabellen, so dass die Resultate als Grafiken und Tabellen automatisch generiert werden können. Zudem soll die Darstellung der interkantonalen Materialflüsse automatisch generiert werden.



- **Validierung:** Mittels den zur Verfügung stehenden Daten zum Kiesabbau und zur Aushubablagerung in den Kantonen Zug und Zürich wird das weiterentwickelte KAR-Modell kalibriert und validiert.

Anschliessend wurde mit dem KAR-Modell das Bezugsjahr 2013 für alle beteiligten Kantone neu gerechnet und eine dynamische Modellierung bis zum Jahr 2035 vorgenommen. Diese Resultate werden in diesem Bericht dargestellt und mit den Ergebnissen zum Bezugsjahr 2010 verglichen¹.

2 Methoden

Im methodischen Teil wird zunächst auf die Änderungen am KAR-Modell eingegangen. Die Arbeitsmodule werden kurz beschrieben. In einem weiteren Kapitel folgen die Erkenntnisse aus der Kalibrierung und Validierung des weiterentwickelten Modells. Dazu wurde mit Hilfe von Daten aus der Vergangenheit die Parameter der Dämpfungsfunktion bestimmt (Kalibration) und ein Vergleich der modellierten Daten mit bekannten Daten vorgenommen (Validierung).

Im Anschluss werden in einem weiteren Kapitel die wichtigsten Modellparameter der an der Modellierung beteiligten Kantone aufgeführt und miteinander verglichen.

2.1 Änderungen am KAR-Modell

Am KAR-Modell wurden drei wesentliche Anpassungen und Erweiterungen vorgenommen.

2.1.1 Modul 1: Optimierung des dynamischen Modells

Bisher reagierte das dynamische Modell stark auf Änderungen der Bevölkerungsprognose. Von verschiedenen Seiten wurde gewünscht, dass dieser Effekt 'gedämpft' wird. Neu kann im Modell ein 'Dämpfungsfaktor' angegeben werden. Dieser kann Werte zwischen 0 und ∞ annehmen. Liegt er nahe bei 0, dann ist sein Einfluss gering und das Modell reagiert wie bisher; ist der Wert gross (grösser als 10, dann verschwindet der Einfluss der Bevölkerungsprognose und die Bautätigkeit im BAUWERK bleibt über die modellierte Zeit konstant auf dem Stand des Startjahres (2010).

Die Abbildung 1 zeigt den Einfluss auf die Entwicklung des Baustoffbedarfs (mit und ohne Dämpfung, fiktive Zahlen). Um sinnvolle Grössen des Dämpfungsfaktors zu finden, wurde aus historischen Daten der Kantone Zürich und Zug die entsprechenden Werte eruiert. Der Wert dieses Faktors wurde mit 1.5 für die dynamischen Modelle eingesetzt.

¹ Die Daten für den Kanton Schwyz sind nur in den Abbildungen mit den kantonsübergreifenden Materialflüssen enthalten.

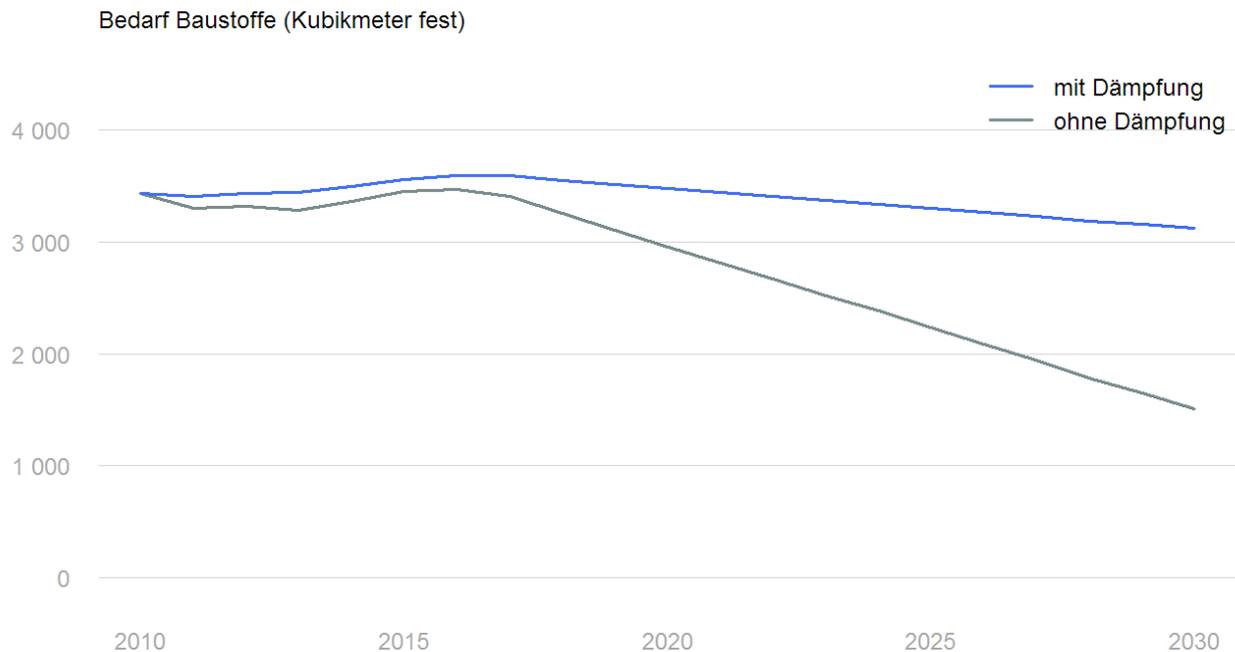


Abbildung 1: Der Einfluss des Dämpfungsfaktors auf die Entwicklung des Baustoffbedarfs (fiktive Werte).

2.1.2 Modul 2: Wahl der Bevölkerungsprognose des Bundesamtes für Statistik (BFS)

Das dynamische KAR-Modell ist so aufgebaut, dass zwei Szenarien synchron gerechnet werden können. Bisher wurde für beide Szenarien die 'mittlere' BFS-Bevölkerungsprognose als Grundlagedaten fix eingesetzt. Neu kann für jedes der zwei KAR-Szenarien die BFS-Bevölkerungsprognose individuell gewählt werden ('tief', 'mittel' oder 'hoch').

Damit ist es möglich, den Einfluss der BFS-Prognosen auf die Modellannahmen zu vergleichen. Die Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Excel-Blatt 'Variablen'. Die Benutzer können nun für die BFS-Prognosen wählen.

Startwerte 2010	Szenario REFERENZ	Werte für das Jahr 2035*	Werte für das Jahr 2035*
	BFS hoch		
	BFS mittel		
	BFS hoch		

Das Szenario 'AUTARK' berechnen lassen
 Ein eigenes Szenario berechnen lassen Diese Werte ab 2011 konstant übernehmen

Wahl Bevölkerungsprognose BFS (Szenario tief, mittel oder hoch)

Abbildung 2: Die Wahl des BFS-Prognosen 'tief', 'mittel' oder 'hoch' ist neu im Blatt 'Variablen' möglich.

2.1.3 Modul 3: Zentralisierung

Die wichtigste Änderung am Modell betrifft die Zentralisierung. Bisher wurde für jeden Kanton ein 'eigenes' Modell mit allen Daten, Excel-Dateien und individuellen Anpassungen erstellt. Dies ist für die Pflege des Modells umständlich, da jede Erweiterung oder Änderung in jedem einzelnen Kantonsmodell gemacht werden muss.

Neu gibt es ein sogenannt 'Zentrales KAR-Modell'. Dieses wird über eine Steuerungs-Datei (Excel) verwaltet. Damit sind die Daten aller Kantone und die Modelle sauber getrennt.

Das zentrale Modell rechnet die 'Überregionale Modellierung' (Importe und Exporte der an der Modellierung beteiligten Kantone), das statische Modell (mit den zuvor berechneten Importen und Exporten) zum entsprechenden Bezugsjahr und das dynamische Modell 2010 - 2035.

Die Resultate der Berechnungen werden direkt zum jeweiligen Kanton geschrieben.

Das zentrale Modell bleibt aber trotzdem so aufgebaut, dass es an die interessierten Umweltämter für eigene Modellierungen abgegeben werden kann. Es läuft somit auch autonom.

2.2 Kalibrierung und Validierung des weiterentwickelten KAR-Modells

Das erweiterte KAR-Modell wurde mit den Daten zum Kiesabbau und Aushubablagerung im Kanton Zürich (Zeitraum 1995 bis 2013) und im Kanton Zug (Zeitraum 1997 – 2013) unter Einbezug der Grossprojekte kalibriert bzw. validiert. Dabei wurden zunächst die Parameter der neu eingeführten Dämpfungsfunktion definiert und anschliessend das Szenario REFERENZ (mittleres Bevölkerungswachstum) gerechnet. Danach erfolgte der Vergleich der „modellierten“ Werte zum Kiesabbau und zur Aushubablagerung mit den bekannten Werten aus den Kies- und Aushubstatistiken. Diese Schritte wurden in iterativer Weise fortgesetzt, bis eine möglichst gute Übereinstimmung von Modell und statistischen Daten erreicht wurde. Insofern kann dieser Prozess sowohl als Kalibration als auch Validierung bezeichnet werden.

In der Abbildung 3 ist die modellierte und tatsächliche Entwicklung des Kiesabbaus (links) und der Aushubablagerung (rechts) im Kanton Zürich dargestellt. Sowohl beim Kiesabbau als auch bei der Aushubablagerung ist recht gute Übereinstimmung in Bezug auf die Mengen als auch auf die zeitliche Entwicklung festzustellen. Unterschiede sind vor allem auf die jährlichen Veränderungen der realen Importe und Exporte zurückzuführen.

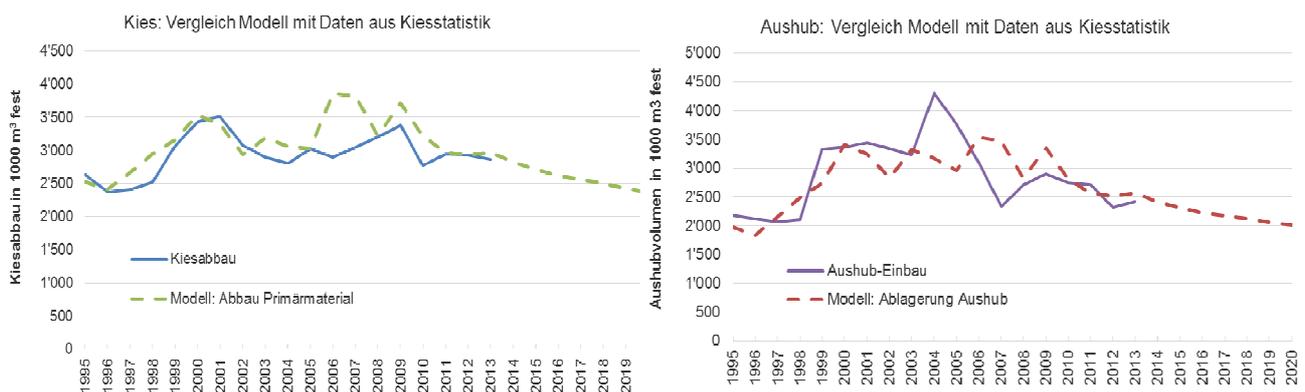


Abbildung 3: Vergleich der modellierten (gestrichelte Linien) und der tatsächlichen (ausgezogene Linien) Entwicklung des Kiesabbaus (links) und der Aushubablagerung (rechts) im Kanton Zürich.

Auch beim Kanton Zug bewegt sich die modellierte und tatsächliche Entwicklung in ähnlichen Bereichen. Beim Kiesabbau (Abbildung links) scheint das Modell die Entwicklung etwas stark zu dämpfen. Die reale Entwicklung des Kiesabbaus variiert etwas stärker als jene im Modell. Bei der Aushubablagerung bewegen sich die jährlichen Schwankungen hingegen in etwa im gleichen Rahmen. Da der Kanton Zug bezüglich seiner Fläche ein kleiner Kanton ist, schwanken die jährlichen Kies- und Aushubimporte und –exporte stärker als in anderen Kantonen. Aus diesem

Grund weichen die modellierten und statistischen Daten für die einzelne Jahre stärker ab als im Durchschnitt.

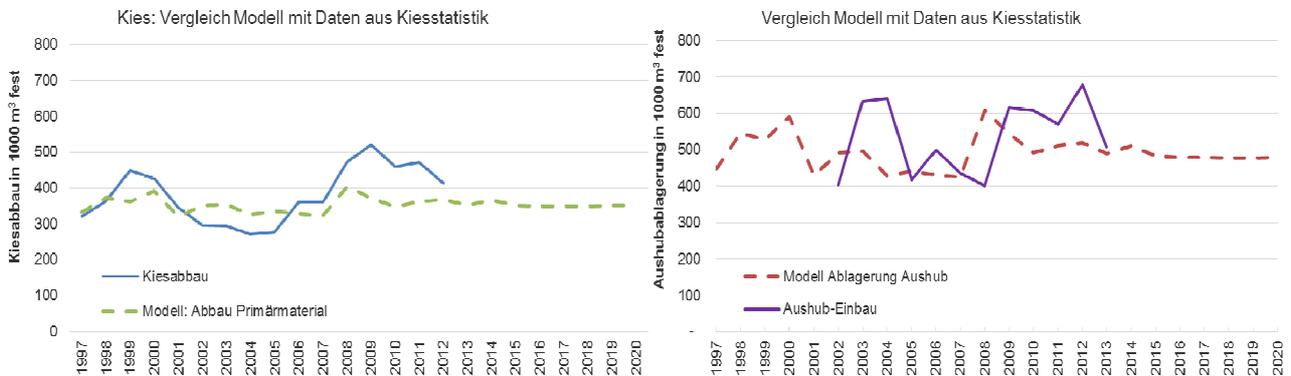


Abbildung 4: Vergleich der modellierten (gestrichelte Linien) und der tatsächlichen (ausgezogene Linien) Entwicklung des Kiesabbaus (links) und der Aushubablagerung (rechts) im Kanton Zug.

Die hier vorgestellte Kalibrierung und Validierung ist sehr zeitaufwändig. Aus diesem Grund konnte diese im Rahmen des Projekts nur für zwei Kantone durchgeführt werden. Bei den anderen Kantonen können die Dämpfungsfaktoren angepasst werden, sobald die Daten aus den jährlichen Nachführungen für einige Jahre vorliegen.

2.3 Vergleich der Modellparameter

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Modellparameter des Moduls BAUWERK für die verschiedenen Kantone für das Bezugsjahr 2013 zusammengefasst. Bei jenen Kantonen, welche bereits eine Modellierung für das Bezugsjahr 2010 vorgenommen haben, sind die entsprechenden Daten in kursiver Schrift zum Vergleich angegeben. Die unterschiedlichen Raten im Hochbau widerspiegeln die Intensitäten der Bautätigkeit. Mit Neubauraten von 2.05% war die Bautätigkeit in den Kantonen Zug und Thurgau im Jahr 2013 sehr ausgeprägt. Auch in den anderen Kantonen war die Bautätigkeit mit Werten zwischen 1,58% (ZH) und 1.88% (SO) immer noch ausgeprägt. Der Vergleich zwischen den Bezugsjahren zeigt, dass die Bautätigkeiten in den Kantonen Solothurn, St. Gallen und Thurgau teilweise stark zugenommen haben, währenddessen in den Kantonen Zug und Zürich eine Abnahme zu verzeichnen ist. Dies hat unmittelbare Auswirkung auf die Materialflüsse, insbesondere auf den Baustoffbedarf des BAUWERKS.



Tabelle 1: Vergleich der Modellparameter, welche im Modul BAUWERK eingesetzt wurden, um die Materiallager und –flüsse des Prozesses Bauwerk zu bestimmen.

	BE	LU	SG	SG	SO	SO	TG	TG	ZG	ZG	ZH	ZH
	2013	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013
Veränderung Hochbau (Gebäude)												
Wohnen (EFH und MFH)												
Neubaurate in % des Bestandes	1.65	1.65	1.55	1.66	1.38	1.88	1.60	2.05	2.47	2.05	1.87	1.58
Sanierungsrate in % des Bestandes	3.50	4.13	3.60	3.84	4.74	4.95	3.60	4.20	4.40	4.70	4.33	4.20
Rückbaurate in % des Bestandes	0.09	0.13	0.12	0.13	0.05	0.35	0.10	0.13	0.48	0.55	0.25	0.28
Nicht-Wohnen (restliche)												
Neubaurate in % des Bestandes	1.95	1.55	1.28	1.58	0.98	1.54	1.31	1.88	2.26	1.95	1.71	1.50
Sanierungsrate in % des Bestandes	7.20	7.80	7.35	7.84	8.49	8.90	6.70	7.50	8.99	8.85	8.04	7.50
Rückbaurate in % des Bestandes	0.24	0.40	0.37	0.40	0.15	0.48	0.29	0.25	1.45	1.23	0.62	0.65
Veränderung Tiefbau (Infrastruktur)												
Erneuerungsraten												
Kies/Sand in % des Bestandes	0.25	0.54	0.58	0.30	0.53	0.50	0.52	0.20	0.65	0.30	0.59	0.45
Belag in % des Bestandes	1.20	1.50	1.50	1.10	1.50	2.00	1.50	1.10	1.50	1.50	1.50	1.55
Beton in % des Bestandes	0.35	1.00	0.49	0.49	0.53	0.53	0.45	0.45	0.46	0.80	0.55	0.55
Mauerwerk in % des Bestandes	0.80	0.50	0.96	0.96	1.20	1.20	1.24	1.24	1.01	0.85	1.30	1.30
Mineral. Fraktion in % des Bestandes	1.60	1.53	1.56	1.56	1.55	1.55	1.65	1.65	1.69	1.69	1.53	1.53
Neubaurate in % des Bestandes	1.90	1.21	1.25	1.25	1.40	1.42	1.23	0.95	1.70	1.60	0.90	1.00
Grossprojekte Anfall Aushub in m ³ fest	150'000	-	-	-	-	-	-	-	61'000	-	400'000	150'000

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

Es ist gut zu erkennen, dass sich die Materialflüsse deutlich unterscheiden können. Auffallend ist, wie bereits beim Bezugsjahr 2010, der hohe Exportfluss beim Aushubmaterial des Kantons Zürich von über 1.8 Mio. Kubikmetern Festmass. Ebenfalls interessant sind die tiefen Verwertungsanteile im Kanton Bern. Offenbar gelangen in diesem Kanton noch grosse Mengen Rückbaumaterial in die Inertstoffdeponien.

Tabelle 2: Vergleich von ausgewählten Modellparametern, welche im Modul STOFFFLUSSANALYSE eingesetzt wurden, um die Materialflüsse im System zu modellieren.

		BE	LU	SG	SO	TG	ZG	ZH
Importe								
A09	Import Baustoffe (in Bauwerk) in m ³ fest	225'461	602'601	589'581	272'002	426'792	175'671	762'444
A06	Import Aushub (in Ablagerung) in m ³ fest	215'829	191'993	274'631	334'763	130'014	215'030	56'517
Exporte								
A50	Export Aushub in m ³ fest	234'404	90'544	126'194	160'255	122'817	85'502	1'827'056
A80	Export Primäre Baustoffe (aufbereitet) in m ³	479'666	232'115	311'461	350'001	50'000	133'000	732'000
Innere Flüsse								
A24	Rückbaumaterial in Aufbereitung. Es setzt sich zusammen aus:							
	Betonabbruch: Verwertungsanteil in %	80	95	97	98	98	90	98
	Mischabbruch: Verwertungsanteil in %	10	65	85	80	85	80	95
	Strassenaufbruch: Verwertungsanteil in %	50	87	95	97	100	95	100
	Ausbauasphalt: Verwertungsanteil in %	70	80	95	97	95	95	96
A29	Direkte Verwertung im TB in % des Anfalls	10	35	50	20	40	41	43
A23	Rückbaumaterial in Deponien	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>						
A49	Aufbereitete RC-Baustoffe für Bauwerk	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>						
A56	Ablagerung Aushub	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>						
A78	Abbau Primärmaterial	<i>Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet.</i>						



3 Resultate

Die Resultate aus der Modellierung der Materialflüsse der einzelnen Kantone für das Bezugsjahres 2013 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 Baustoffbedarf, der Aushub- und der Rückbaumaterialanfall im Jahr 2013 kann nun auf kantonaler Ebene und auf der überregionalen Ebene mit dem Bezugsjahr 2010 verglichen werden (Tabelle 3). Es zeigt sich, dass der Baustoffbedarf in den Kantonen BE, SO und TG gegenüber dem Jahr 2010 teilweise stark zugenommen hat (blau markierte Felder). In den anderen Kantonen ist teilweise eine deutliche Abnahme (SG, ZG und ZH) zu verzeichnen (rot markierte Felder). Auch beim Aushubanfall sind teilweise markante Unterschiede festzustellen: So ist der Aushubanfall im Kanton Solothurn aufgrund der intensiven Bautätigkeit stark angestiegen. Im Kanton Zug hingegen, hat der Aushubanfall stark abgenommen. Beim Rückbaumaterialanfall sind Veränderungen, bis auf den Kanton Thurgau, relativ gering.

Tabelle 3: Baustoffbedarf (inkl. Rückbaustoffe), Aushub- und Rückbaumaterialanfall in den verschiedenen Kantonen und der gesamten Region im Jahr 2010. Angaben in 1'000m³ fest.

Kanton	Baustoffbedarf in 1000 m ³ fest		Aushubanfall in 1000m ³ fest		Rückbaumaterialanfall in 1000 m ³ fest	
	2010	2013	2010	2013	2010	2013
BE	3'439	4'256	2'614	2'867	796	707
LU	1'376	1'338	1'417	1'435	323	336
SG	1'650	1'511	1'303	1'355	409	380
SO	874	1'168	728	908	208	343
TG	993	1'027	931	1'089	250	199
ZG	588	507	820	539	155	161
ZH	4'159	3'934	4'666	4'299	1'105	1'173
Total	13'079	13'741	12'479	12'492	3'246	3'299

Bemerkung: Blau markierten Felder → Zunahme gegenüber 2010

Rot markierte Felder → Abnahme gegenüber 2010

Auf der überregionalen Ebene sind die Veränderungen gegenüber dem Jahr 2010 äusserst gering. Offenbar verlagerte sich im betrachteten Zeitraum die Bautätigkeit innerhalb der Region, über die gesamte Region gesehen blieb diese hingegen relativ konstant.

3.2 Materialflüsse über die Kantonsgrenzen

Auf Basis der Angaben der Kantone und mit Hilfe der Input-Output-Tabellen sowie der Ausgleichsrechnungen, können die grenzüberschreitenden Materialflüsse abgeschätzt werden. In den Abbildungen 5 bis 7 sind diese Materialflüsse getrennt nach den Materialien Kies, Aushub- und Rückbaumaterial dargestellt. Die Exportflüsse sind jeweils gleich eingefärbt wie die Farbe der Kantonsflächen. Damit wird sehr schnell 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 separat angegeben.

3.2.1 Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen

Die Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen sind erheblich (Abbildung 5). Es findet somit ein reger Austausch zwischen den Kantonen statt. Die gesamte Region importierte im Jahr 2013 rund 1.5 Mio. Kubikmeter Kies und exportierte etwas mehr als 0.8 Mio. Kubikmeter, was einen Nettoimport von rund 0.7 Mio. Kubikmeter ergibt. Die grössten Nettoimporteure innerhalb der Region sind die Kantone Thurgau (rund 370'000m³), St. Gallen (rund 300'000m³), Luzern (rund 370'000m³) und Schwyz (rund 120'000m³). Der Kanton Bern exportiert netto rund 260'000m³ Kies in die umliegenden Kantone. Allerdings ist hier die Datenlage bezüglich der Importe und Exporte von bzw. in die Kantone Waadt, Neuenburg Freiburg und Jura sehr unsicher. Auch der Kanton Solothurn exportierte netto rund 80'000m³ Kies.

3.2.2 Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Bei den Aushubmaterialflüsse ist der Austausch zwischen den Kantonen ebenfalls sehr intensiv. Auffallend sind wiederum die sehr grossen Materialflüsse über die Grenze des Kantons Zürich. Mit einem Exportvolumen von über 1.8 Mio. Kubikmetern ist das Volumen gegenüber dem Jahr 2010 nochmals um beinahe 20% gestiegen (2010: 1.55 Mio. m³). Knapp die Hälfte davon gelangte zur Ablagerung in den Kanton Aargau. Weiter grosse Abnehmer von Aushubmaterial aus dem Kanton Zürich sind Deutschland sowie die Kantone Zug, Schaffhausen, St. Gallen und Thurgau. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass in den Kantonen Zug und St. Gallen ein Grossteil des Importüberschusses auf die Importe aus dem Kanton Zürich zurückzuführen sind. Zu erwähnen ist hier besonders die Situation im Kanton St.Gallen: Hier sind sowohl beim Kies als auch beim Aushubmaterial Nettoimporte im grösseren Umfang festzustellen. Dies bedeutet, dass auf längere Sicht zu wenig Kies abgebaut wird, um den anfallenden Aushub zu deponieren. Entweder müssen Aushubdeponien geschaffen werden oder der Aushubanfall oder die Aushubimporte müssen reduziert werden. Bei der künftigen Kiesabbau- und Aushubdeponieplanung sind aufgrund der geografischen Lage die regionalen Unterschiede innerhalb des Kantons St.Gallen mit zu berücksichtigen.

3.2.3 Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Die Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen bewegen sich im Vergleich zum Kies und Aushub auf deutlich tieferem Niveau (Abbildung 7). Der Austausch zwischen den Kantonen ist nicht sehr intensiv. Vermutlich wird das Rückbaumaterial oftmals wieder dort eingesetzt wo es anfällt, das heisst, vor allem in dicht besiedelten Gebieten. Die grössten Nettoexporteure von jeweils rund 60'000m³ Rückbaumaterial sind die Kantone Aargau und Zürich. In diesen Kantonen fallen auch entsprechen hohe Volumen an (siehe Tabelle 3). Auch im Kanton Bern fallen grosse Rückbaumaterialvolumen. Trotzdem ist hier ein Nettoimport festzustellen. Der Grund dafür dürfte darin zu sehen sein, dass im Kanton Bern heute noch relativ viel Mischabbruch in Inertstoffdeponien abgelagert wird (siehe Tabelle 2).

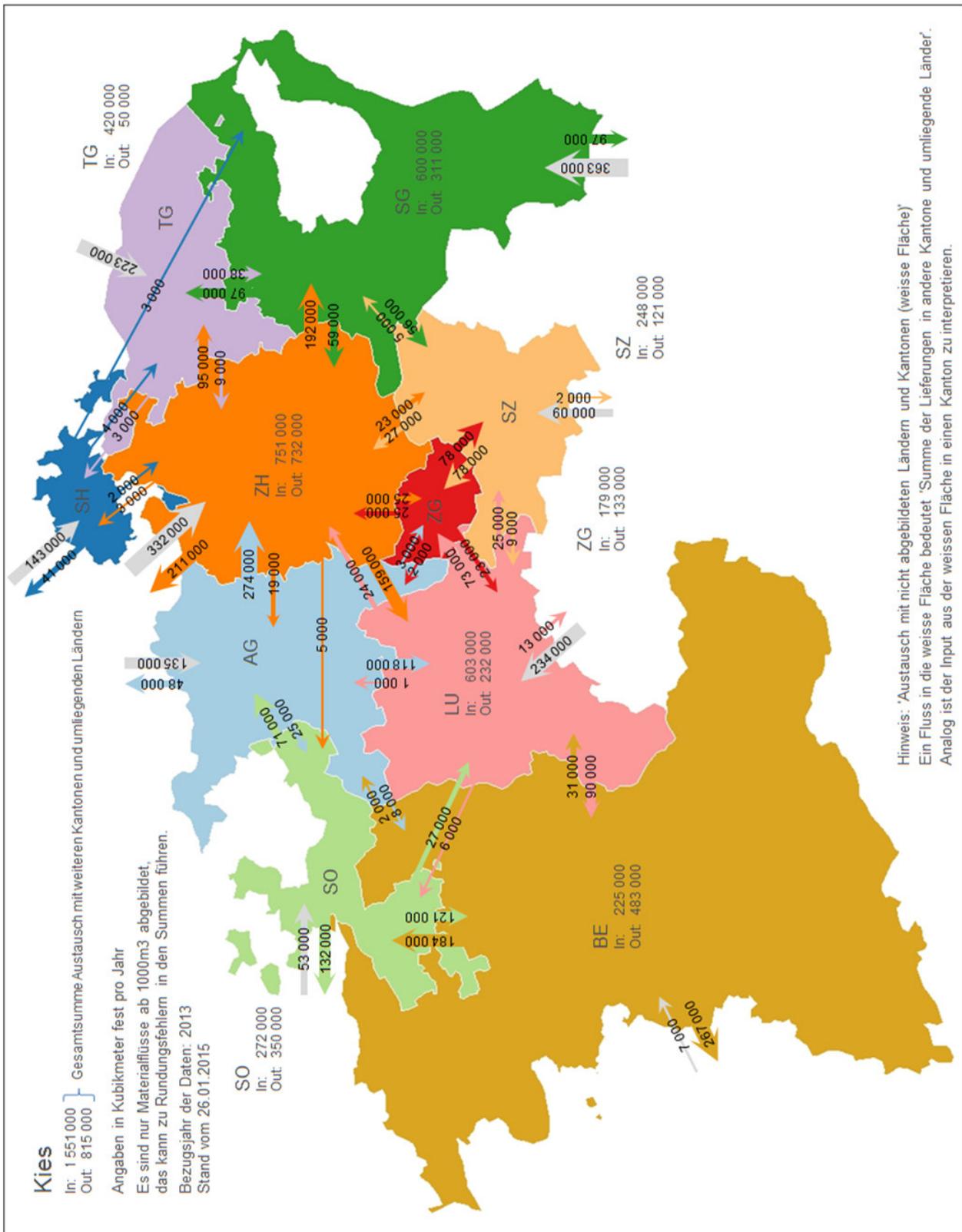


Abbildung 5: Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2013. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Kies» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

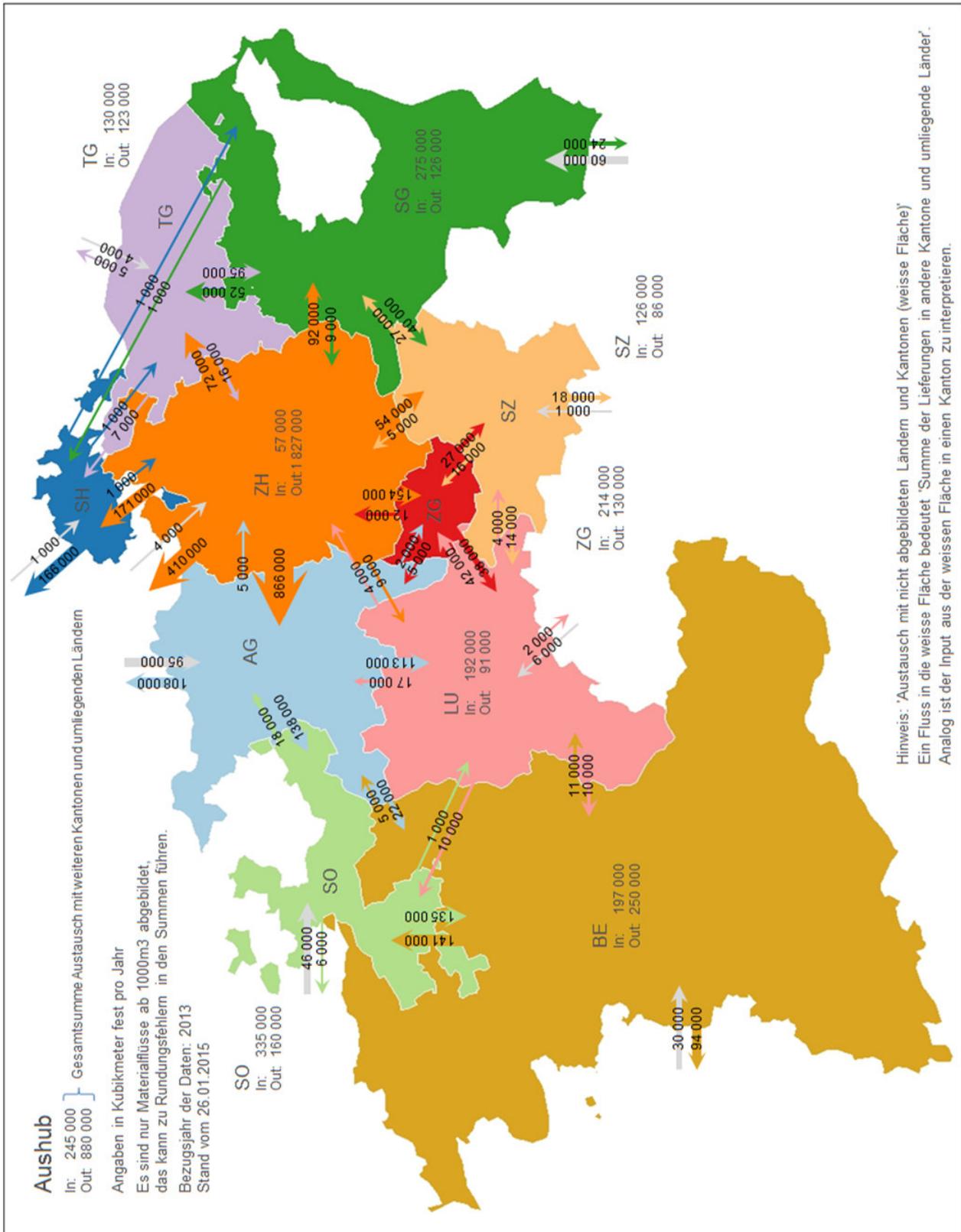


Abbildung 6: Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2013. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Aushub» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

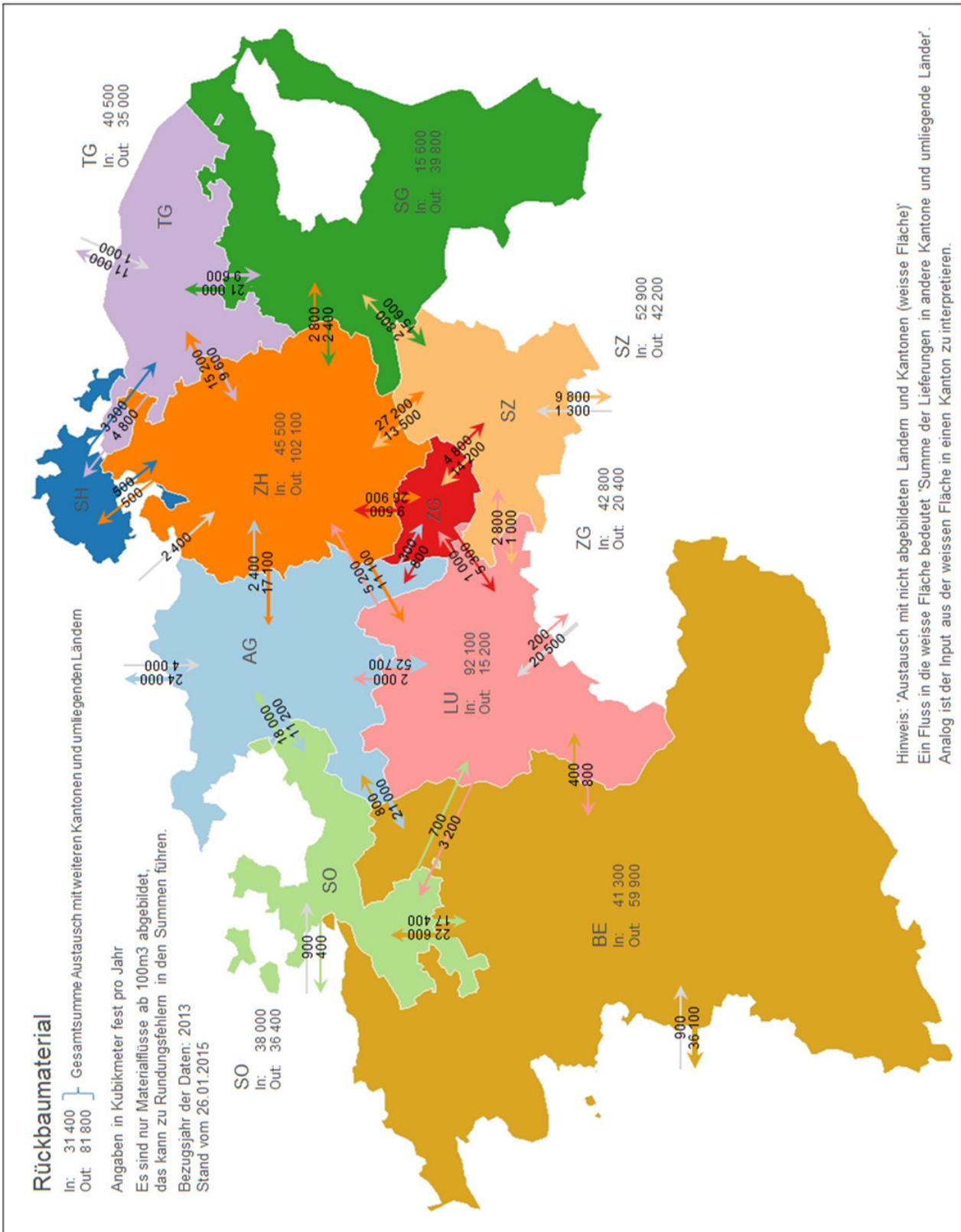


Abbildung 7: Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2013. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Rückbaumaterial» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.



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 den entsprechenden Formeln² ableiten. Nachfolgend wird auf die Autarkiegrade in den Kantonen bezüglich der Baustoffversorgung und der Aushubmaterialentsorgung eingegangen.

Kiesversorgung

In der Abbildung 8 sind die regionalen Autarkiegrade der Baustoff- bzw. Kiesversorgung für die Bezugsjahre 2010 und 2013 dargestellt. In den Kantonen Bern, Solothurn³, Zug und Zürich liegt der Autarkiegrad im Bereich von 91- 107%. Im Kanton Zug hat sich der Autarkiegrad im Vergleich zum Jahr 2010 relativ stark reduziert. Wie erwähnt, haben die Importe und Exporte aufgrund der geringen Fläche des Kantons einen grösseren Einfluss als in anderen Kantonen. Aus diesem Grund schwankt dieser Indikator entsprechend stärker. In den Kantonen Luzern, St. Gallen Thurgau bewegt sich der Autarkiegrad mit 64% bis 81% deutlich unter 100%. Diese Kantone sind somit „unterversorgt“ und müssen Kies importieren. Auch dies kommt in der Abbildung 5 in Form von Importüberschüssen deutlich zum Ausdruck. Der Vergleich mit 2010 zeigt zudem, dass sich die Autarkiegrade in den einzelnen Kantonen mit Ausnahme des Kantons Zug nicht stark verändert haben.

Aushubentsorgung

Bei der Aushubentsorgung sieht die Situation je nach Kanton anders aus als bei der Kiesversorgung (Abbildung 9). Bis auf den Kanton Zürich, weisen alle Kantone Autarkiegrade von rund 100% auf. Grösser Anstiege gegenüber dem Jahr 2010 sind in den Kantonen Solothurn und Zug zu verzeichnen. Hier liegen die Autarkiegrade knapp unter 120%. Im Kanton Solothurn wurde im Jahr 2013 deutlich mehr Kies abgebaut als im Jahr 2010. Es fiel zwar auch mehr Aushubmaterial an, allerdings liegt das Aushubvolumen unter dem Kiesabbauvolumen (Tabelle 3). Hinzu kommt, dass deutlich mehr Rückbaustoffe angefallen sind (plus 70%) und diese zudem vermehrt in den Materialkreislauf zurückgeführt wurden. Dies sind dann auch die Gründe, warum der Autarkiegrad in diesem Kanton im Jahr 2013 deutlich höher liegt als im Jahr 2010.

Im Kanton Zug wurde im Jahr 2010 etwas weniger Kies abgebaut. Es ist aber vor allem weniger Aushubmaterial angefallen (Tabelle 3). Aus diesem Grund liegt der Autarkiegrad im 2013 deutlich höher als im Jahr 2010.

Der Autarkiegrad bei der Aushubentsorgung ist im Kanton Zürich nochmals zurückgegangen. Zwar ist sowohl das Kiesabbauvolumen als auch der Aushubmaterialanfall gegenüber dem Jahr 2010 zurückgegangen. Die Abnahme des Autarkiegrades ist jedoch vor allem auf den rund 20%igen Anstieg der Aushubexporte zurückzuführen.

² 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%

³ Beim Kanton Solothurn sind auch die Baustoffe Kalksteine und Tonmineralien enthalten. Würde der Autarkiegrad nur auf Kies bezogen, läge dieser noch etwas tiefer.

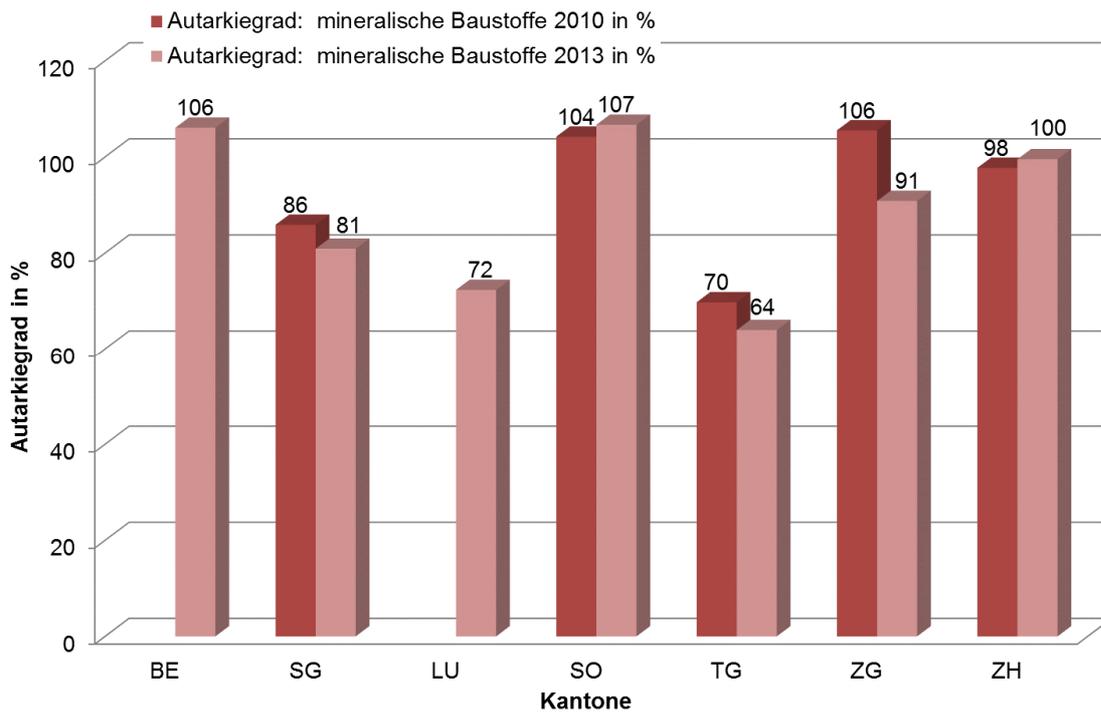


Abbildung 8: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Versorgung mit mineralischen Baustoffen bzw. Kies für die Bezugsjahre 2010 und 2013. Angaben in Prozenten.

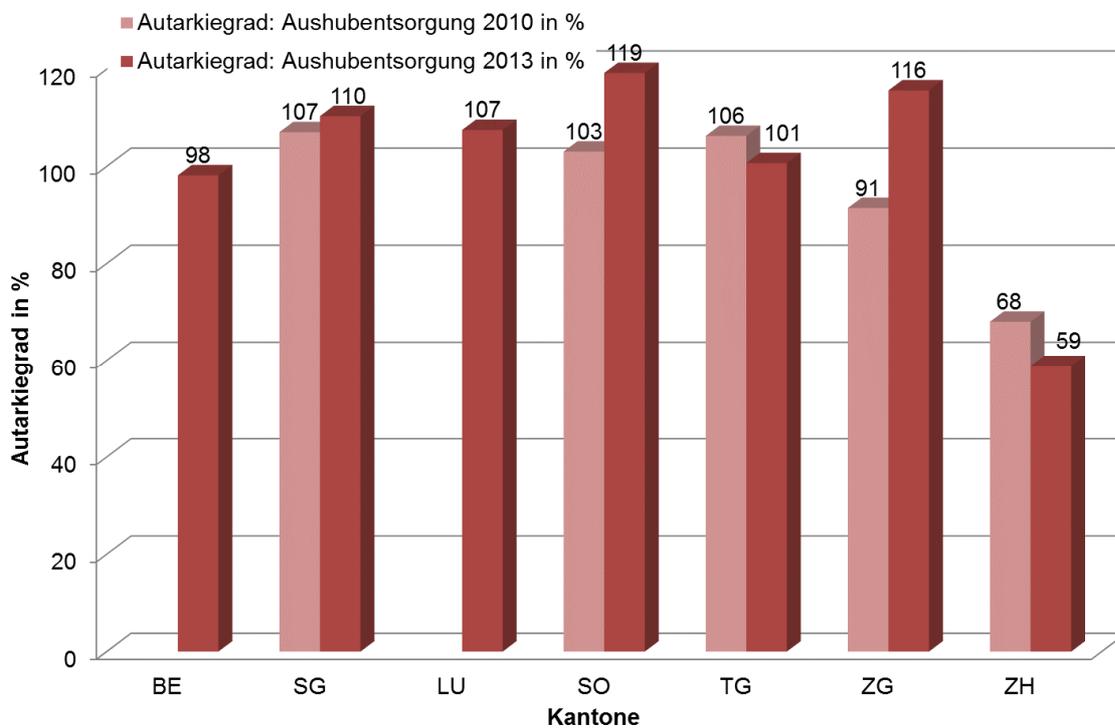


Abbildung 9: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Aushubentsorgung für die Bezugsjahre 2010 und 2013. Angaben in Prozenten.



3.4 Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis

In der Abbildung 10 ist der Baustoffbedarf, der Aushub- und Rückbaumaterialbedarf auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2013 dargestellt. Es sind erhebliche Unterschiede zwischen den Kantonen feststellbar. Auffallend ist der deutliche höhere pro-Kopf-Baustoffbedarf in den Kantonen Bern und Solothurn im Vergleich zum Aushubanfall. In diesen Kantonen war die Zunahme des Baustoffbedarfs in Vergleich zum Jahr 2010 sehr stark (Tabelle 3). Diese war im Jahr 2013 gar überproportional zur Bevölkerungsentwicklung (pro-Kopf-Baustoffbedarf im Jahr 2010: 3.4m³/Einwohner). Insgesamt bewegen sie die pro-Kopf-Werte für den Baustoffbedarf und Aushubmaterialanfall im Bereich von 2.8 bis 4.6 Kubikmeter pro Einwohner. Zu erwähnen ist zudem, dass die Werte des Kantons Zug im Bezugsjahr 2013 im Bereich der anderen Kantone liegen. Diese lagen im Jahr 2010 mit 5.2m³/Einwohner (Baustoffbedarf) und 7.3m³/Einwohner noch deutlich höher.

Die pro-Kopf-Werte für die Rückbaustoffe haben sich im Vergleich zu jenen für das Jahr 2010 nur geringfügig verändert.

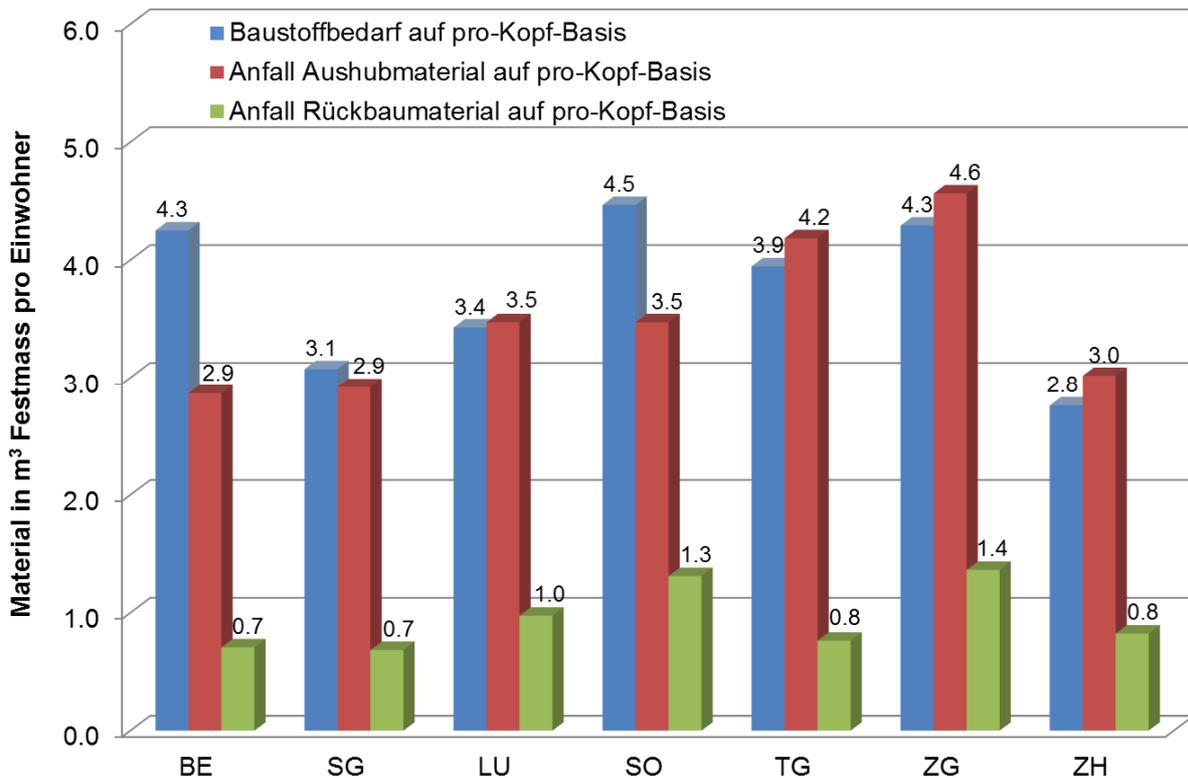


Abbildung 10: Vergleich des Baustoffbedarfs (blaue Säulen), des Aushubanfalls (braun) und des Rückbaumaterialanfalls (grün) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2013 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

In der Abbildung 11 ist Primärmaterialabbau, die Aushubablagerung (inkl. Importe) und der Aushubanfall auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2013 dargestellt. Auch hier ist die Situation von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich. Insbesondere beim Primärmaterialabbau sind die Unterschiede sehr gross. So sind die pro-Kopf-Werte in den Kantonen Bern und Solothurn rund



doppelt so hoch, wie in den anderen Kantonen. Der Kanton Zug liegt mit 3.13m³/Einwohner dazwischen.

Interessante Informationen liefert der Vergleich der pro-Kopf-Werte zwischen dem abgelagerten Aushubmaterial (hellbraune Säulen) und dem Aushubmaterialanfall (braune Säulen) für die jeweiligen Kantone. Bei den meisten Kantonen liegen diese Werte relativ nahe beieinander. Die Ausnahme bildet der Kanton Zürich. Dieser orientiert sich bei der Aushubablagerung vor allem auf ein Gleichgewicht zwischen Kiesabbau und Aushubablagerung innerhalb des Kantons. Die Konsequenz davon ist, dass viel Aushubmaterial in die umliegenden Kantone exportiert wird (siehe auch Abbildung 12). Diese Kantone verfügen heute noch über relativ grosse Ablagerungskapazitäten (z.B. Kanton Aargau) oder sie planen Aushubdeponien (LU, ZG). Sie orientieren sich somit am pro-Kopf-Anfall von Aushubmaterial. Würden diese Kantone nun einen Strategiewechsel bei der Aushubdeponieplanung vornehmen und diese analog dem Kanton Zürich umsetzen, dann müsste der Kanton Zürich eigene Aushubdeponien bauen, um das im Kanton anfallende Aushubmaterial auch innerhalb des Kantons zu entsorgen.

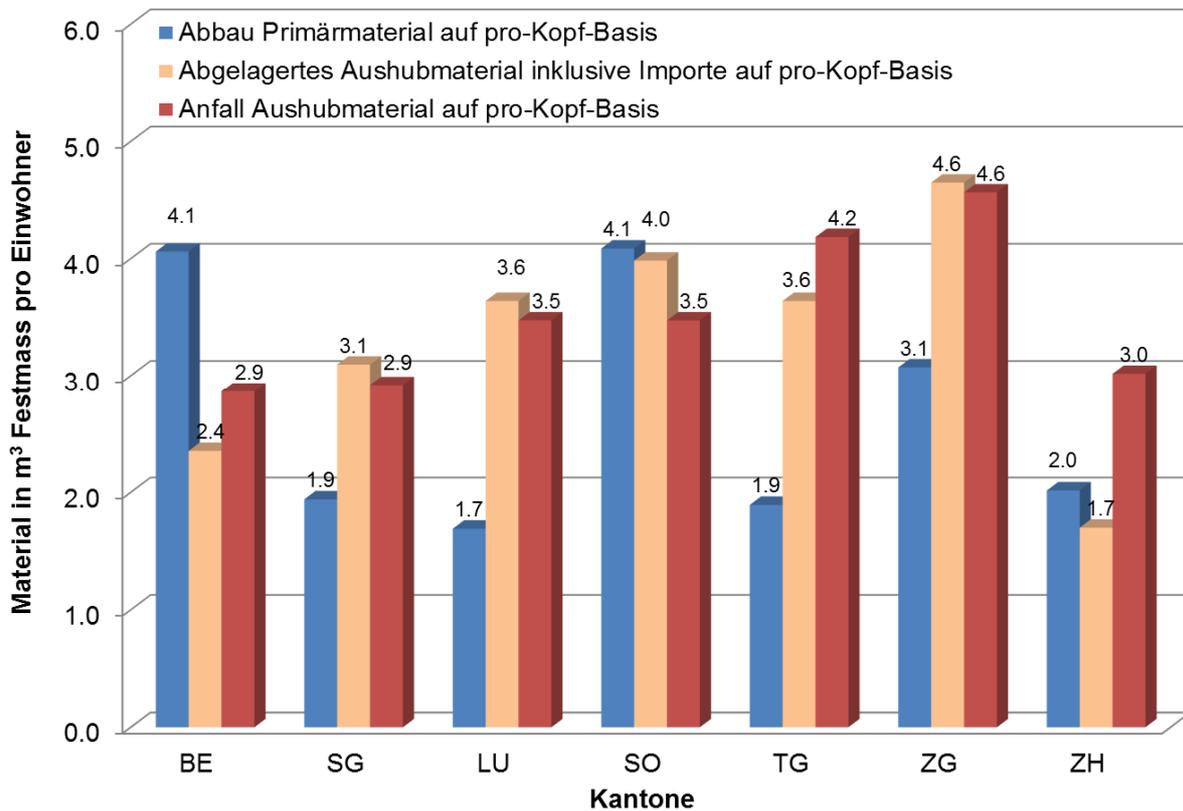


Abbildung 11: Vergleich des Primärmaterialabbaus (blaue Säulen), der Aushubablagerung inklusive Aushubimporte (hellbraun) und des Aushubanfalls (rot-braun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2013 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

Unterstützt wird diese These nochmals bei der Betrachtung der pro-Kopf-Importe und –Exporte, welche in der Abbildung 12 dargestellt sind. Es ist gut zu erkennen, dass der Kanton Zürich pro Kopf sehr viel Aushubmaterial exportiert und nur sehr geringe Volumen importiert. Der Kanton Zug exportiert zwar ebenfalls erhebliche Mengen aber gleichzeitig wird mehr Aushubmaterial



importiert. Wie bereits erwähnt, hängt dies mit der geografischen Situation des Kantons Zug zusammen. Bei den anderen Kantonen ist gut zu erkennen, dass die pro-Kopf-Werte der Aushubimporte und -exporte deutlich niedriger ausfallen als beim Aushubmaterial, welches aus dem Kanton stammt.

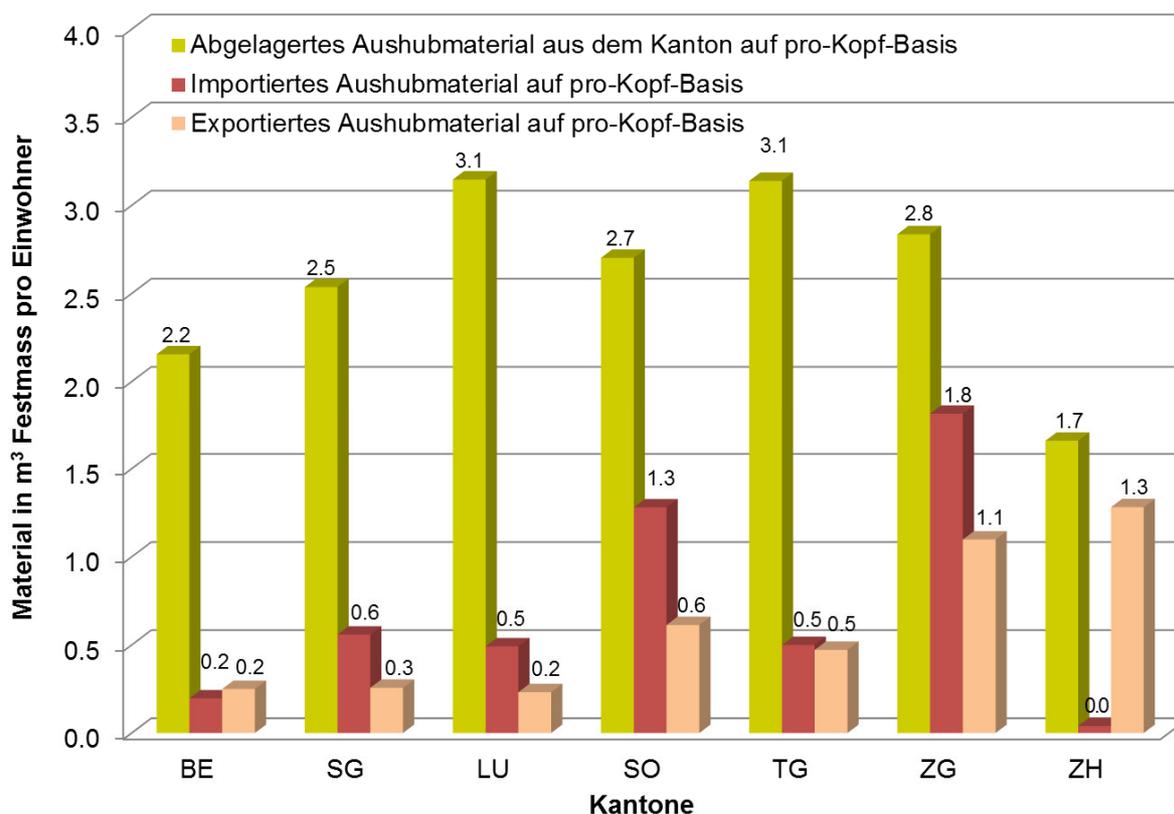


Abbildung 12: Aus den Kantonen stammende Aushubvolumina, die in den Kantonen abgelagert wurden sowie die Aushubimporte- und Exporte auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2013.

3.5 Entwicklung der Materialflüsse bis 2035

Die mit der neu integrierten Dämpfungsfunktion im weiterentwickelten KAR-Modell gerechneten zeitlichen Entwicklungen der Materialflüsse (Szenario REFERENZ) unterscheiden sich deutlich von jenen, die mit dem alten KAR-Modell berechnet wurden. Am Beispiel des Kantons Solothurn wird diese Veränderung aufgezeigt. Anschliessend wird auf die zeitlichen Entwicklungen der einzelnen Materialflüsse eingegangen.

3.5.1 Einfluss der Dämpfungsfunktion auf die Entwicklung der Materialflüsse

In der Abbildung 13 ist die Entwicklung des Baustoffinputs in das Bauwerk, der Aushub- und Rückbaumaterialanfall aus dem Bauwerk des Kantons Solothurn für das Szenario REFERENZ dargestellt. Es wurden jeweils die zwei Bevölkerungsentwicklungsszenarien „hoch“ und „mittel“ des Bundesamtes für Statistik (BFS) zugrunde gelegt (Grafik rechts unten). Zum Vergleich ist jeweils die Entwicklung der mit dem alten KAR-Modell berechneten Materialflüsse (hellgraue Linien) dargestellt.

Der Dämpfungsfaktor von 1.5 wirkt sich im Modell für den Kanton SO stark aus. Dadurch verändern sich die drei grossen Materialflüsse Bedarf Baustoffe (Input), Anfall von Aushub und Anfall von Rückbaumaterial im dynamischen Modell 2013 viel weniger ausgeprägt, als dies im Szenario REFERENZ aus dem Jahr 2010 der Fall war.

Der Input von Baustoffen in das BAUWERK bleibt über den modellierten Zeitraum 2010 - 2035 annähernd konstant (BFS MITTEL) oder leicht ansteigend (BFS HOCH) und zeigt für die beiden Prognosen MITTEL und HOCH nur geringe Unterschiede. Im alten Modell (ohne Dämpfungsfaktor) reduzierte sich der Input bis zum Jahr 2035 auf rund die Hälfte des Startwertes von 2010.

Ähnlich sieht es beim Anfall von Aushub aus: Dieser nimmt im dynamischen Modell 2013 deutlich langsamer ab, als dies im Szenario REFERENZ 2010 der Fall war. Auch hier ist der Einfluss des Dämpfungsfaktors gross.

Beim Rückbaumaterial ist der Unterschied bei der zeitlichen Entwicklung nicht sehr ausgeprägt. Der Anfall von Rückbaumaterial nimmt nach dem Modell 2013 etwas stärker zu als im Szenario REFERENZ 2010. Der höhere Input von Baustoffen impliziert ein grösseres Wachstum des Lagers. Damit verbunden sind - auch bei konstanten Sanierungs- und Rückbauraten - grössere absolute Rückbaumaterialmengen.

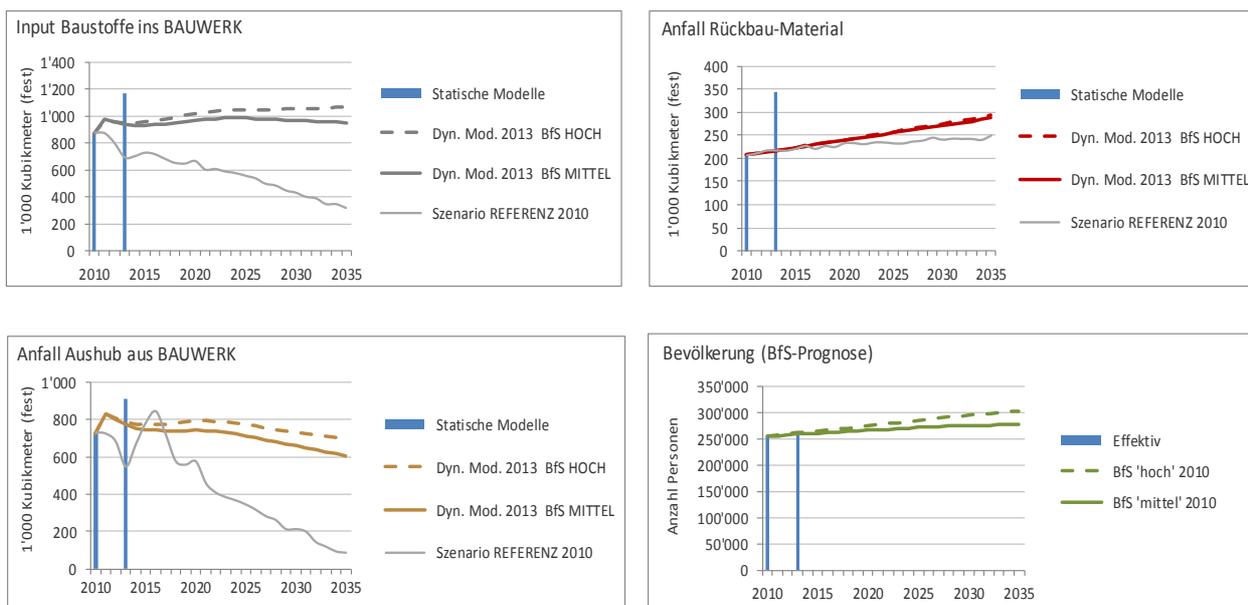


Abbildung 13: Resultate des dynamischen Modells für den Kanton Solothurn (Stand 2013, farbig) und der Vergleich mit dem Resultat REFERENZ von 2010 (grau). Die blauen Säulen zeigen die Ergebnisse der statischen Modelle 2010 und 2013. Unten rechts sind die beiden BFS-Prognosen 'mittel' und 'hoch' dargestellt.

3.5.2 Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls

In der Abbildung 14 ist die mit dem weiterentwickelten KAR-Modell gerechnete Entwicklung des Baustoffbedarfs zwischen 2010 und 2035 dargestellt. Diese basiert jeweils auf den mittleren Bevölkerungsentwicklungsszenarien des BFS oder der Kantone und ist jeweils szenarien-unabhängig. Wie bereits im Kapitel 3.5.1 erwähnt, nimmt der Baustoffbedarf in den meisten Kantonen bis 2035 nur noch geringfügig ab. Im Kanton Bern ist zunächst gar eine Zunahme zu verzeichnen, bevor ab dem Jahr 2019 ebenfalls eine rückläufige Tendenz prognostiziert wird.

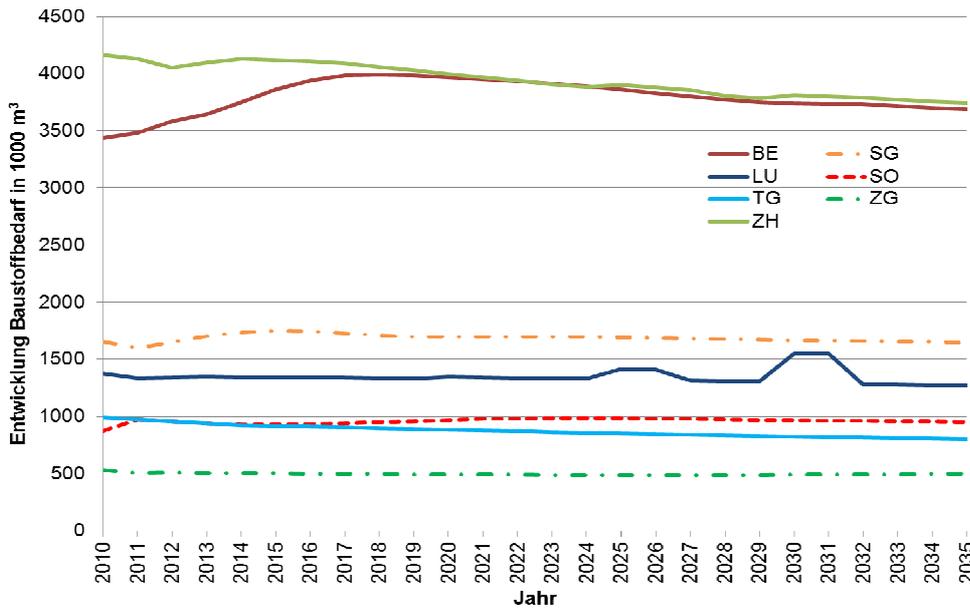


Abbildung 14: Entwicklung des neu modellierten Baustoffbedarfs in den Kantonen zwischen 2010 und 2035 auf Basis der Bevölkerungsentwicklungsszenarien MITTEL des BFS. Angaben in 1000 m³ fest.

Beim Aushubmaterialanfall sind die zeitlichen Entwicklungen tendenziell etwas stärker abnehmend als beim Baustoffbedarf (Abbildung 15). So reduziert sich im Kanton Zürich der Aushubanfall von knapp 4.7 Mio. m³ im Jahr 2010 auf knapp 3.6 Mio. m³ im Jahr 2035. Die stärkere Abnahme lässt sich damit begründen, dass die Entwicklung des Baustoffbedarfs nicht nur von Neubaubauraten, sondern auch von den Sanierungsraten, welche in den Szenarien als konstant angenommen wurden, abhängig ist. Der Aushubanfall ist ausschliesslich von den Neubauraten abhängig, die in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung in den Kantonen relativ stark zurückgehen.

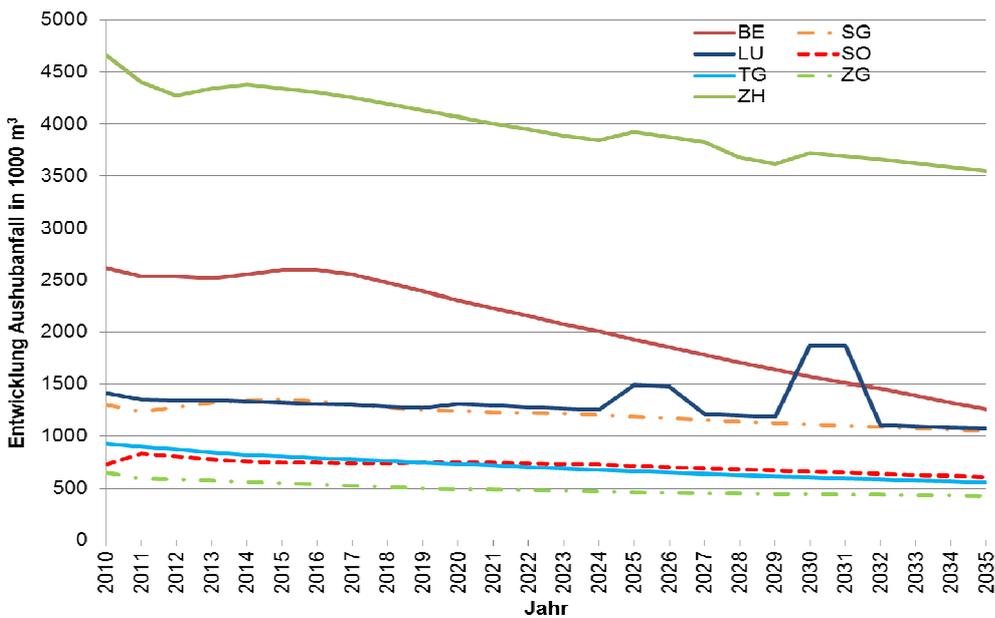


Abbildung 15: Entwicklung des neu modellierten Aushubanfalls in den Kantonen zwischen 2010 und 2035 auf Basis der Bevölkerungsentwicklungsszenarien MITTEL des BFS. Angaben in 1000 m³ fest.



3.5.3 Entwicklung des Rückbaumaterialanfalls

Bei der Entwicklung der Rückbaumaterialflüsse ist keine wesentliche Änderung im Vergleich zum alten KAR-Modell erkennbar. Der Verlauf ist sehr ähnlich (Abbildung 16). Allerdings steigen die Kurven etwas steiler als im alten KAR-Modell an, weil der Baustoffinput ins Bauwerk grösser ist, das Lagerwachstum entsprechend zunimmt und somit der Rückbaumaterialanfall bei gleichbleibenden Rückbau- und Sanierungsraten ansteigt.

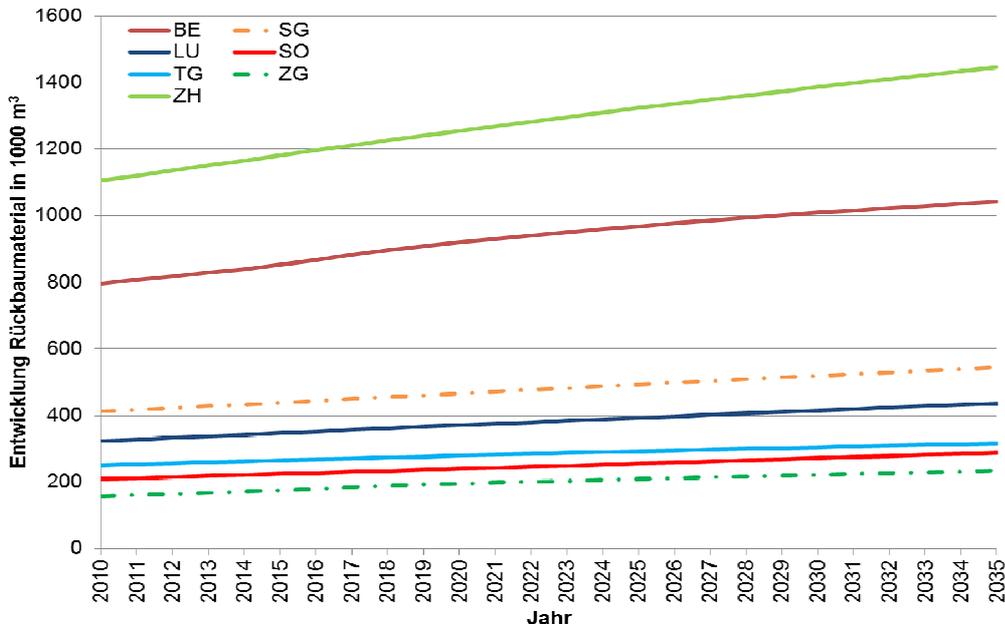


Abbildung 16: Entwicklung der neu modellierten Rückbaumaterialflüsse in den Kantonen zwischen 2010 und 2035 auf Basis der Bevölkerungsentwicklungsszenarien MITTEL des BFS. Angaben in 1000 m³ fest.

3.5.4 Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau

In der Abbildung 17 sind die Entwicklungen der kumulierten Differenzen⁴ zwischen der Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau in den Kantonen und in der gesamten Region für das Szenario REFERENZ dargestellt. In dieser Betrachtung sind die bereits bestehenden Grubenvolumen nicht mit einbezogen. Diese müssten deshalb bei einer der Deponieplanung zusätzlich berücksichtigt werden, wie auch die Importe und Exporte. Insgesamt scheint die Situation in den Kantonen Thurgau, Solothurn, St.Gallen und Zug relativ ausgeglichen zu verlaufen. Dies gilt ebenso für die gesamte Region. Eine sehr stark ansteigende Entwicklung ist im Kanton Luzern festzustellen. Würde man dort bis zum Jahr 2035 gleich weiterfahren wie heute, ergäbe sich ein kumuliertes Volumen von über 20 Mio. Kubikmetern. Der Grund für diese Entwicklung ist darin zu sehen, dass der Kanton Luzern zurzeit netto rund 370'000 Kubikmeter Kies importiert (Grund: Widerstand gegen Kiesabbau in Teilen des Kantons) und gleichzeitig auch Nettoimporte von rund 100'000 Kubikmetern beim Aushub hat (Tabelle 2). Gerade umgekehrt verläuft die Entwicklung der kumulierten Differenz im Kanton Bern, da deutlich mehr

⁴ Die kumulierte Differenz zwischen der Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau ergibt sich, indem für jedes Jahr die Differenz zwischen dem Kiesabbau („-“) und Aushubablagerung („+“) gebildet und zum Wert des Vorjahres addiert wird.

Kies abgebaut als Aushub eingebaut wird. Im Jahr 2035 ergäbe dies eine kumulierte Differenz von minus 26 Mio. Kubikmetern. Interessant ist auch der Verlauf der Kurve für den Kanton Zürich. Auch hier resultiert ein negatives Volumen von rund 10 Mio. Kubikmetern bis 2035. Da aus dem Kanton Zürich mehr als ein Drittel des anfallenden Aushubmaterials in andere Kanton exportiert wird, besteht hier somit ein gewisses Optimierungspotenzial.

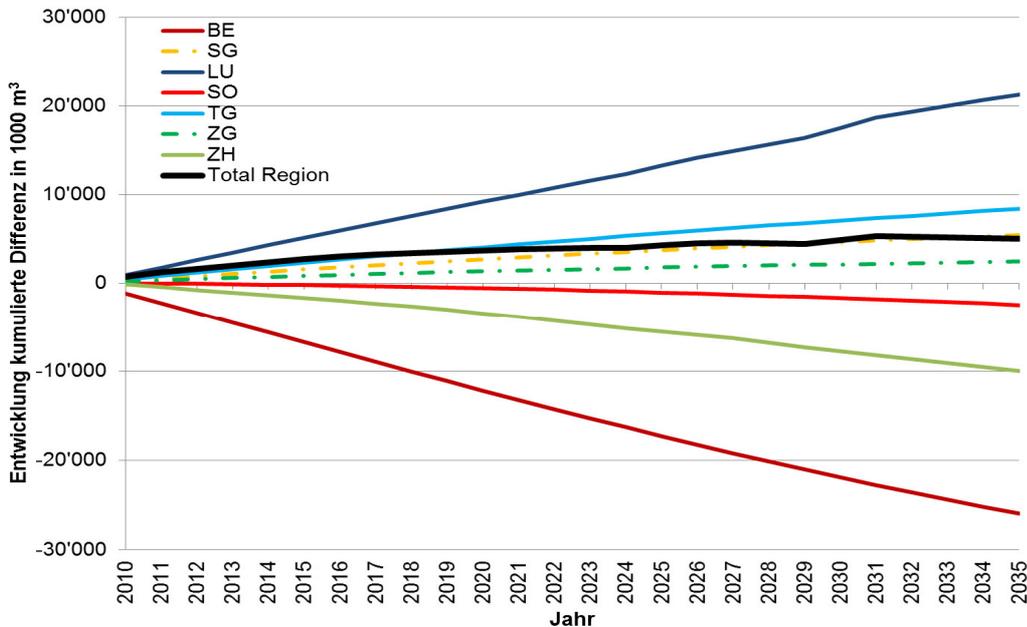


Abbildung 17: Entwicklung der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau zwischen 2010 und 2035 für das Szenario REFERENZ. Angaben in 1000 m³ fest.

3.5.5 Überregionale Betrachtung der Entwicklung der Materialflüsse

Die Entwicklung des überregionalen Baustoffbedarfs, des Aushub- und Rückbaumaterialanfalls sowie der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau verläuft unterschiedlich (Abbildung 18). Der Baustoffbedarf bewegt sich im Bereich 13 – 14 Mio. Kubikmetern, wobei ab dem Jahr 2017 ein Rückgang auf 13 Mio. m³ prognostiziert wird.

Der Aushubmaterialanfall reduziert sich zwischen 2010 von knapp 13 Mio. m³ auf rund 9 Mio. m³. Wie bereits erwähnt, ist die stärkere Abnahme beim Aushub im Vergleich zum Baustoffbedarf darauf zurückzuführen, dass dieser nur von der Neubaurate und damit direkt von der Bevölkerungsentwicklung abhängig ist.

Trotzdem steigt die kumulierte Differenz im gleichen Zeitraum auf rund 5 Mio. m³ an. Dieser Widerspruch löst sich bei der Betrachtung der Abbildung 5 und Abbildung 6 auf. In den Abbildungen ist erkennbar (jeweils links oben), dass die Region netto relativ viel Kies importiert und gleichzeitig Aushub exportiert. Die Summe von Kiesimporten und Aushubexporten ist höher als die Differenz von Kiesabbau und Aushubablagerung. Aus diesem Grund steigt die kumulierte Differenz an.

Wie in den einzelnen Kantonen steigt der Rückbaumaterialfluss vor allem aufgrund des zunehmenden Baustofflagers bis zum Jahr 2035 kontinuierlich an.

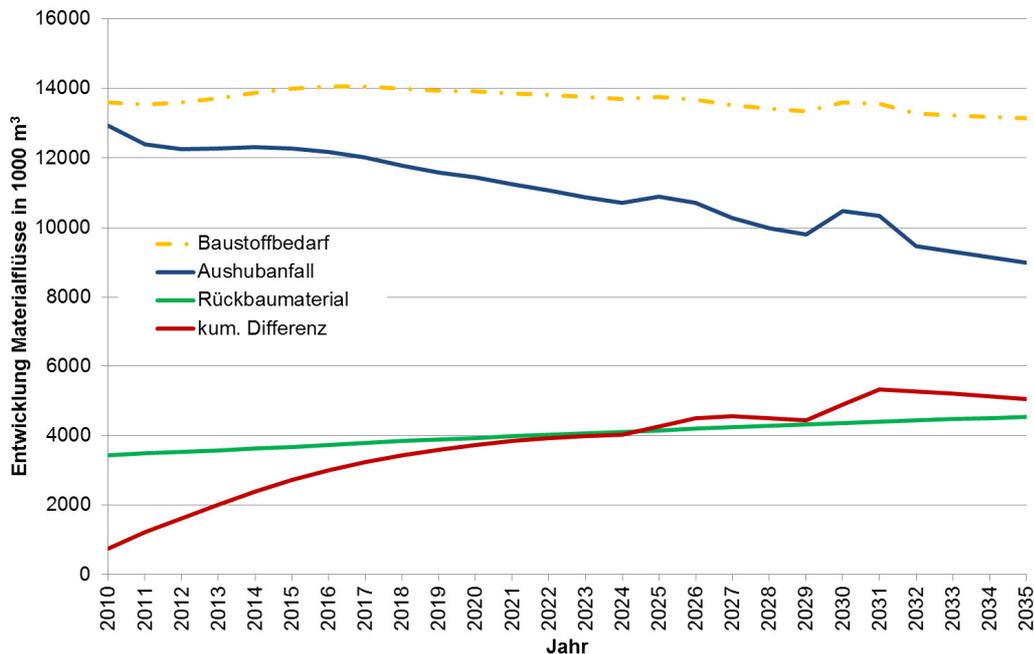


Abbildung 18: Entwicklung des Baustoffbedarfs, des Aushub- und Rückbaumaterialanfalls sowie der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau für die gesamte Region (alle sieben Kantone zusammen) zwischen 2010 und 2035. Angaben in 1000 m³ fest.

4 Diskussion

Mit den neu überarbeiteten Materialflussmodellen können die Verknüpfungen zwischen dem Kiesabbau, der Aushubentsorgung und der Verwertung und Entsorgung der mineralischen Rückbaustoffe in den einzelnen Kantonen für das Bezugsjahr 2013 auf übersichtliche Weise dargestellt werden. Hinzu kommen die kantonsübergreifenden Materialflüsse, welche wichtige Informationen zum Materialaustausch zwischen den Kantonen liefern. Ein wichtiger Aspekt des weiterentwickelten Modells ist der Einbau einer Dämpfungsfunktion im KAR-Modell. Mittels dieser mathematischen Funktion bzw. den Parametern der Funktion kann die aus der Bevölkerungsentwicklung berechnete Entwicklung der Materialflüsse beeinflusst werden, was entsprechende Auswirkungen auf diese hat. In den nachfolgenden Kapiteln wird auf diese Aspekte näher eingegangen.

4.1 Baustoffbedarf und Verwertung der Rückbaumaterialien (RBM)

Die Modellierung des Istzustandes liefert wertvolle Daten zum Baustoffbedarf und zur Verwertung der anfallenden Rückbaumaterialien, welche einen Vergleich zwischen den Kantonen erlaubt. In der Tabelle 4 ist der Baustoffbedarf, Rückbaumaterialanfall inklusive Nettoimporte, die verwerteten Rückbaustoffvolumen sowie die RC-Quoten und die RC-Anteile am Baustoffbedarf in den Kantonen BE, LU, SG, SO, TG, ZG und ZH sowie in der gesamten Region für die Jahre 2010 und 2013 aufgeführt. Der Rückbaumaterialanfall hat in den Kantonen Solothurn und Zürich zwischen 2010 und 2013 zugenommen. In den anderen Kantonen ist dieser aus verschiedenen Gründen zurückgegangen. Die Recyclingquoten haben in allen Kantonen, in denen ein Vergleich



mit dem Jahr 2010 möglich ist, zugenommen. So nahm die RC-Quote im Kanton Solothurn von 74.2% auf über 90% zu. Offensichtlich etablieren sich die Rückbaustoffe immer mehr im Baustoffmarkt als wertvolle alternative Baustoffe. Als Konsequenz davon nimmt auch der RC-Anteil am Baustoffbedarf in den meisten Kantonen zu. Beim Vergleich der Daten für das Bezugsjahr 2013 fallen vor allem die tiefen Werte im Kanton Bern auf. Hier liegt die RC-Quote bei etwas über 52%. Der RC-Anteil ist mit 8.3% dann auch deutlich tiefer als in den anderen Kantonen. Im Kanton Bern wird der anfallende Mischabbruch zu geschätzten 90% deponiert. Würde dieses Material vermehrt in den Baustoffkreislauf zurückgeführt, könnten Primärressourcen und Deponievolumen geschont werden. Es besteht somit erhebliches Optimierungspotenzial bei der Verwertung von Rückbaumaterialien.

Auf die gesamte Region bezogen, haben die RC-Quoten und die RC-Anteile gegenüber dem Jahr 2010 etwas abgenommen. Allerdings ist dies grösstenteils auf die Situation im Kanton Bern zurückzuführen, welcher aufgrund der relativ grossen Materialströme einen starken Einfluss auf die überregionale Betrachtung hat.

Tabelle 4: Baustoffbedarf, Anfall von Rückbaumaterial inklusive Nettoimporte, verwertete Rückbaustoffe sowie die RC-Quote und der RC-Anteil am Baustoffbedarf in den Kantonen BE, LU, SG, SO, TG, ZG und ZH sowie in der gesamten Region im Jahr 2010 und 2013.

Kanton	Baustoffbedarf in 1000 m ³ fest		RBM-Anfall ⁽¹⁾ in 1000m ³ fest		Rückbaustoffe in 1000m ³ fest		RC-Quote in %		RC-Anteil am Baustoffbed. in %	
	2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013	2010	2013
BE	3'439	4'256	-	677	-	354	-	52.3	-	8.3
LU	1'376	1'338	-	425	-	359	-	84.4	-	26.8
SG	1'650	1'511	399	380	326	288	81.7	92.7	19.3	19.1
SO	874	1'168	231	343	171	307	74.2	90.5	18.3	26.3
TG	993	1'027	255	199	228	189	89.3	94.4	20.2	18.4
ZG	588	507	183	161	150	141	81.8	87.1	19.9	27.8
ZH	4'159	3'934	979	1'173	879	1084	89.9	97.2	20.3	27.5
Total	13'079	13'741	2'047	3'299	1'754	2'722	85.7	84.3	21.2	19.8

⁽¹⁾ Rückbaumaterialanfall inklusive Nettoimporte

4.2 Materialaustausch zwischen den Kantonen

Der Materialaustausch zwischen den Kantonen war auch im Jahr 2013 intensiv (Abbildung 5 – 7). Insbesondere Kies und Aushub werden weiterhin im grösseren Umfang verschoben. Der wirtschaftliche Transport dieser Materialien über grössere Distanzen ist im Grundsatz nur möglich, wenn die entsprechenden Rückfahren mit dem jeweils anderen Material möglich sind oder die Kies- oder Deponiepreise deutlich niedriger sind als im eigenen Kanton. Allerdings exportiert der Kanton Zürich beispielsweise netto viel mehr Aushubmaterial (knapp 1.8 Mio m³ fest) als Kies importiert wird (beinahe ausgeglichene Bilanz beim Kies). Der Grund dafür ist, dass die grossen Kiesabbaugebiete im nördlichen Teil des Kantons Zürich liegen. Sie sind somit rund 25 bis 35 km von den wichtigen Zentren (Stadt Zürich, Limmattal) entfernt. Ein grosser Teil des dort anfallenden Aushubmaterials wird daher über die Achse (Autobahn N1) Limmattal Baden-Brugg entsorgt. Ein weiterer Teil wird in die südlich liegenden Nachbarkantone verschoben.



Die Kantone Thurgau, St. Gallen und Luzern sind relativ grosse Nettoimporteure von Kies. Bei den beiden erstgenannten Kantonen wird relativ viel Kies aus dem angrenzenden Ausland (v.a. Deutschland) importiert. Die Importe haben gegenüber dem Jahr 2010 etwas zugenommen, was vermutlich mit den günstigen Wechselkursbedingungen zu tun hat. Der Kanton Luzern importiert aufgrund von zurzeit blockierten Kiesabbauprojekten relativ viel Kies. Dies dürfte sich ändern, sobald die geplanten Projekte bewilligt werden können. Grundsätzlich haben sich die Import- und Exportflüsse im Vergleich zum Jahr 2010 nicht massiv verändert. Eine Ausnahme bildet der Kanton Zug. Dort wurde im Jahr 2010 netto rund 30'000m³ Kies exportiert. Im 2013 mussten dann netto knapp 50'000m³ importiert werden. Im Gegensatz dazu ist die Situation beim Aushub umgekehrt. Während im Jahr 2010 netto 70'000m³ Aushub exportiert wurden, sind im Jahr 2013 Nettoimporte von über 70'000m³ zu verzeichnen. Aufgrund der geringen Fläche des Kantons Zug ist der Materialaustausch mit den umliegenden Kantonen entsprechend intensiver, was zu grösseren jährlichen Schwankungen beim Kiesabbau und bei der Aushubablagerung führen kann als in anderen Kantonen.

4.3 Dynamischer Modellteil: Auswirkungen der Dämpfungsfunktion

Wie in den Kapiteln 2.1.1 und 3.5.1 geschildert, hat die neu ins KAR-Modell integrierte Dämpfungsfunktion einen recht starken Einfluss auf die Entwicklung der Materialflüsse. Diese reagieren nun nicht mehr so sensitiv auf die Bevölkerungsentwicklung, was dazu führt, dass die Entwicklung des Baustoffbedarfs und Aushubanfalls, im Gegensatz zum früheren KAR-Modell, kaum (Baustoffbedarf) oder deutlich weniger stark (Aushubanfall) abnimmt. Die Dämpfungsfunktion ist parametrisiert und kann somit beeinflusst und für jeden Kanton separat angepasst werden. Für die Kantone Zug und Zürich wurde eine Kalibrierung und Validierung mit zurückliegenden Daten vorgenommen. Die Übereinstimmung zwischen den Daten zum Kiesabbau sowie zur Aushubablagerung mit den modellierten Daten ist in diesen Kantonen recht gut (Kapitel 2.2) und deutlich besser als im alten KAR-Modell. Bei beiden Kantonen wurden die gleichen Parameterwerte eingesetzt. In anderen Kantonen müssen im Nachhinein allenfalls andere Werte eingesetzt werden.

Um herauszufinden, mit welchen Parameterwerten die Situation in den verschiedenen Kantonen am besten abgebildet werden kann, müssen weitere Informationen zu den künftigen Materialflüssen vorhanden sein. Es ist deshalb sinnvoll, dass die Kantone in den kommenden Jahren die KAR-Modellierungen auf Jahresbasis durchführen lassen. Damit werden die Grundlagen zur späteren Nachvalidierung der Modelle geschaffen, was zu verbesserten Prognosen zur künftigen Entwicklung der Materialflüsse führen wird.

4.4 Der Anteil der Rückbaustoffe am totalen Baustoffbedarf

Wie oben beschrieben verläuft die Entwicklung des Baustoffbedarfs auf der überregionalen Ebene im Gegensatz zum alten Modell beinahe auf konstantem Niveau (Abbildung 18). Der Rückbaumaterialanfall nimmt tendenziell zwar ebenfalls leicht zu. Da nun aber keine starke Abnahme bei der Entwicklung des Baustoffbedarfs zu verzeichnen ist, entwickelt sich den Anteil der Rückbaustoffe am Baustoffbedarf weniger ausgeprägt (Abbildung 19). Bei der Modellrechnung zum Szenario REFERENZ mit dem alten Modell nimmt der Rückbaustoffanteil von 20% (2010) auf 56% (2035) zu. Im neuen Modell erhöht sich der Anteil im Szenario REFERENZ nur noch auf 30%.

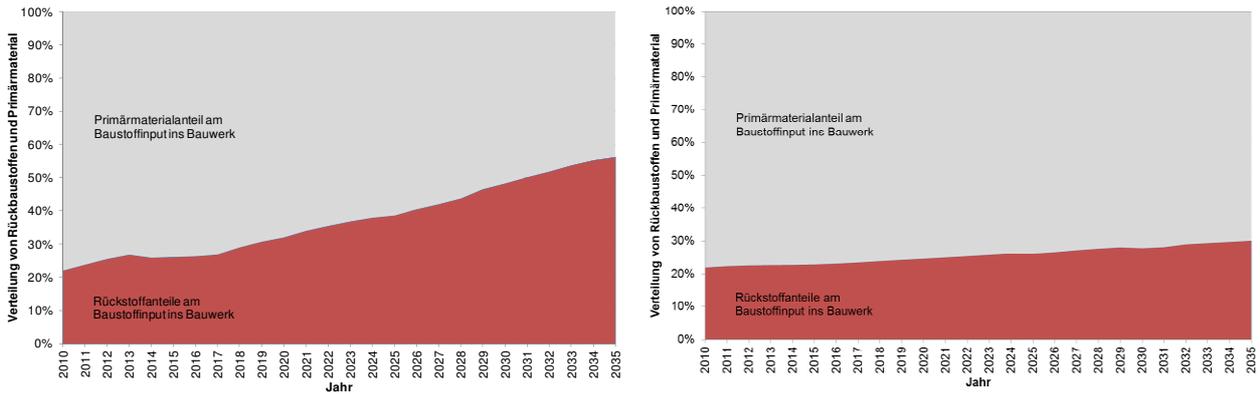


Abbildung 19: Entwicklung des Rückbaustoffanteils am totalen Baustoffinput (Baustoffbedarf) in den Prozess BAUWERK auf Grundlage des Szenario REFERENZ für die gesamten Region für die Bezugsjahr 2010 (links) und 2013 (rechts).



5 Die wichtigsten Erkenntnisse

Mit dem Umbau und Erweiterung des KAR-Modells steht nun eine Struktur zur Verfügung, die eine zentrale Verwaltung der kantonalen Modelle erlaubt. Damit sind künftige Modell-Updates leichter zu implementieren. Auch die Datenverwaltung ist nun deutlich einfacher, womit die jährlichen Nachführungen auf kostengünstige Weise durchgeführt werden können. Im zentralen Modell eingebaut ist nun eine Dämpfungsfunktion, mit der bessere Prognosen zur Entwicklung der Materialflüsse möglich sind. Zusammenfassend konnten die folgenden Erkenntnisse erzielt werden:

Modelländerung:

- Der Einfluss des Bevölkerungswachstums auf das Baugeschehen wurde gedämpft. Die Höhe der Dämpfung ergab sich aus einer Validierung des dynamischen Modells an Datensätzen 1995 bis 2010 der Kantone Zug und Zürich.
- Die Bevölkerungsprognosen des Bundesamtes für Statistik wurden im dynamischen Modell unter den Szenarien hoch, mittel und tief fix eingebunden.
- Das gesamte Modell wurde zentralisiert und die Teilmodelle umstrukturiert. Wesentliche Grafiken werden automatisch generiert. Jeder Kanton kann bei Bedarf sein Gebiet individuell modellieren und zusätzliche Grafiken herstellen

Resultate:

- Die Validierung mit den 15-jährigen Kies- und Aushubdatensätzen der Kantone Zug und Zürich ergab eine erstaunlich gute Übereinstimmung zwischen Modell und Wirklichkeit. Das Modell kann damit bestehende Daten nachmodellieren.
- Die Validierung am Datenset 2013 ergibt zum Teil gute und zum Teil verbesserungsfähige Resultate: es braucht weitere Datenpunkte und darauf basierend eine Diskussion der Datenlage 2010.
- Es ist gut möglich, dass in einzelnen Kantonen die Daten zum Bezugsjahr 2010 zu wenig repräsentativ sind. Mit der Modellierung der nächsten 3 bis 5 Jahre werden die Datengrundlagen verbessert, was eine Nachvalidierung der kantonalen Modelle erlauben wird.

Mit dem nun vorliegenden KAR-Modell ist es möglich, auf relativ einfache Weise neue Kantone ins Modellsystem einzubinden. Sollte sich bereits teilnehmende Kantone entscheiden, für ein Jahr keine Nachführung durchführen zu lassen, dann ist es wichtig, dass diese Kantone trotzdem Angaben zu den Materialimporten und -exporten machen. Nur so können die kantonsübergreifenden Materialflüsse mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden, was wiederum die Voraussetzung für die Nachführungen der KAR-Modelle der teilnehmenden Kantone ist.



6 Literatur

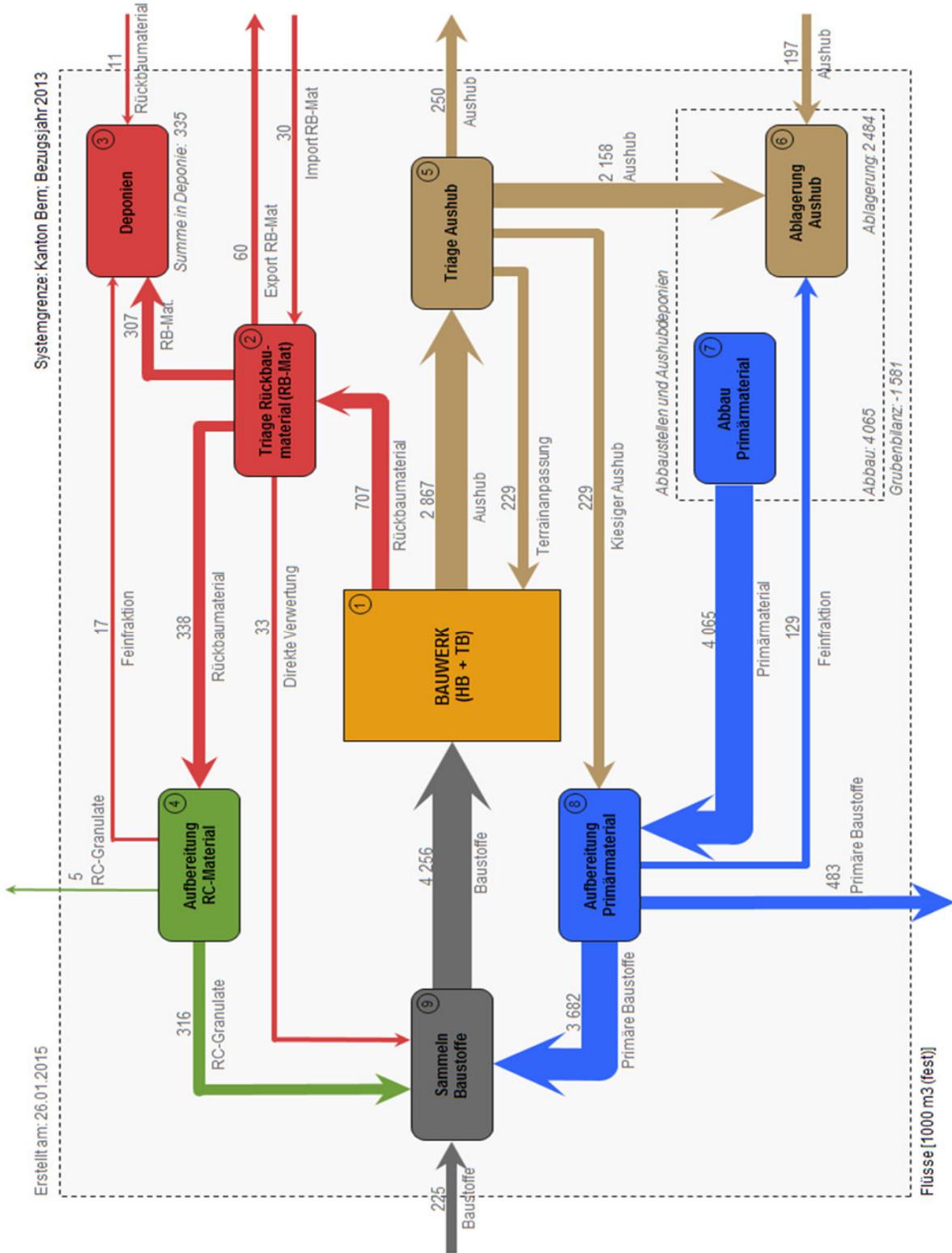
Rubli Stefan, 2012: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Überregionale Betrachtung*. Amt AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.



Anhang

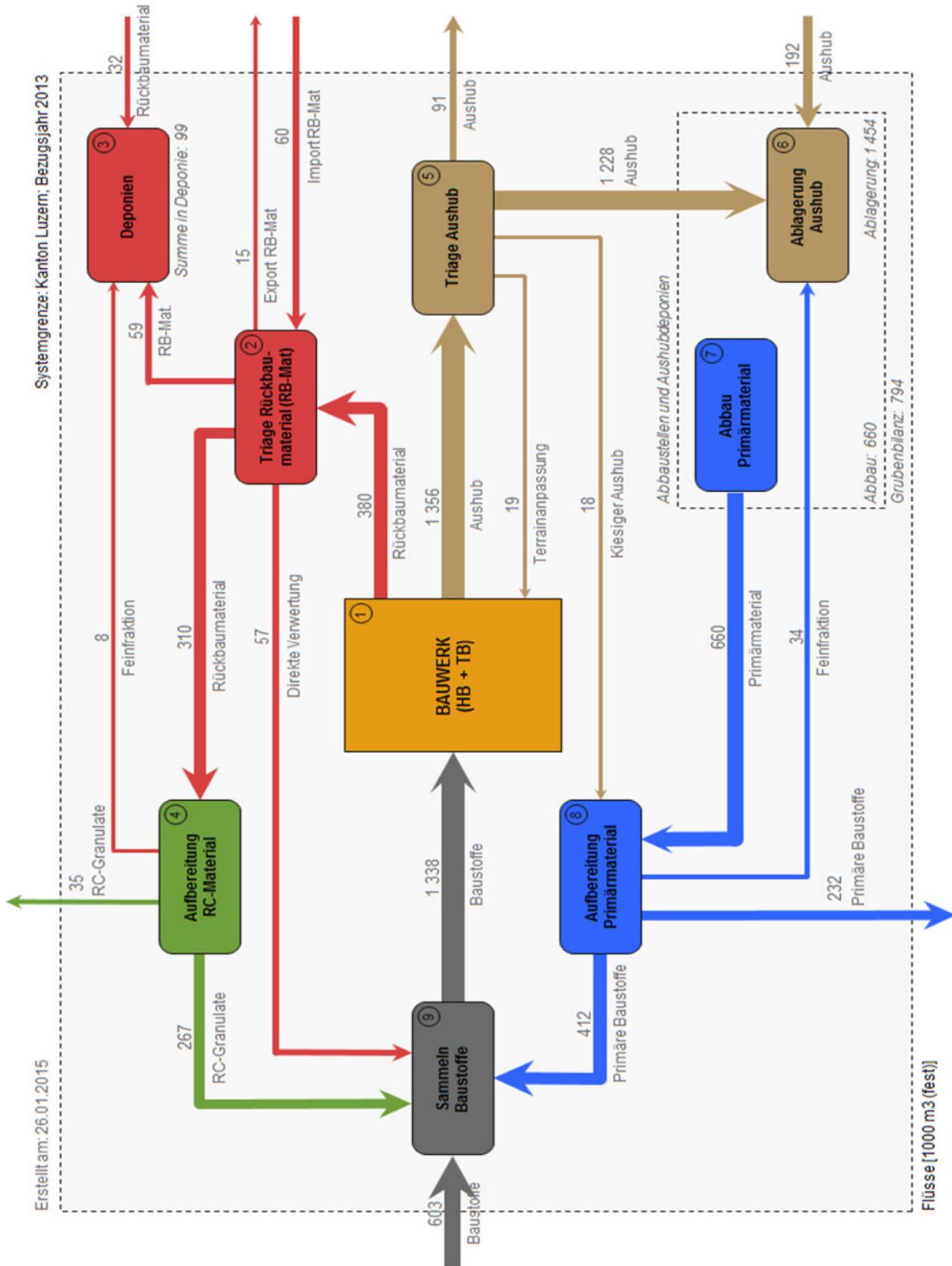
A.1. Materialflussschemen der einzelnen Kantone

Materialflussschema Kanton Bern (Bezugsjahr 2013)



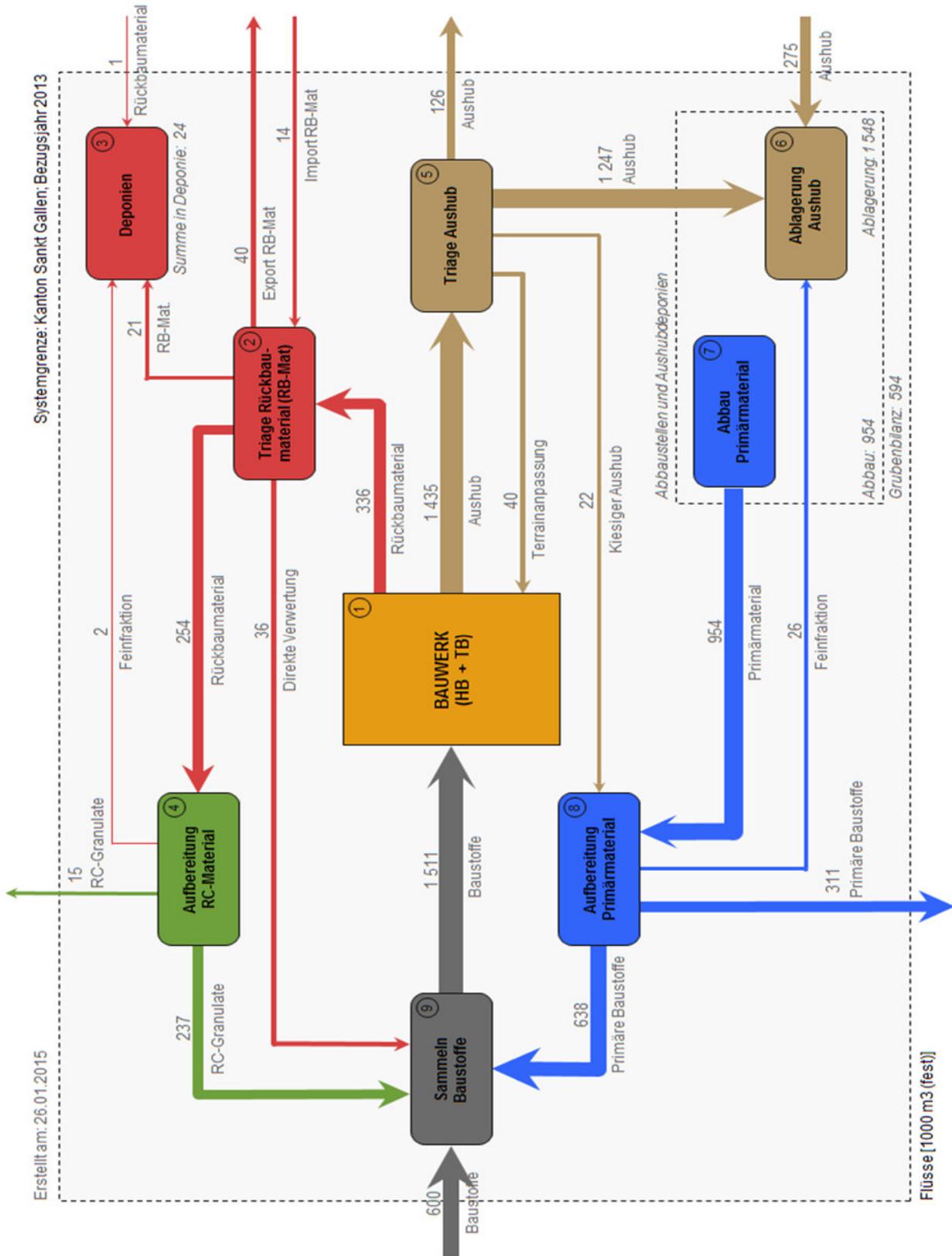


Materialflussschema Kanton Luzern (Bezugsjahr 2013)



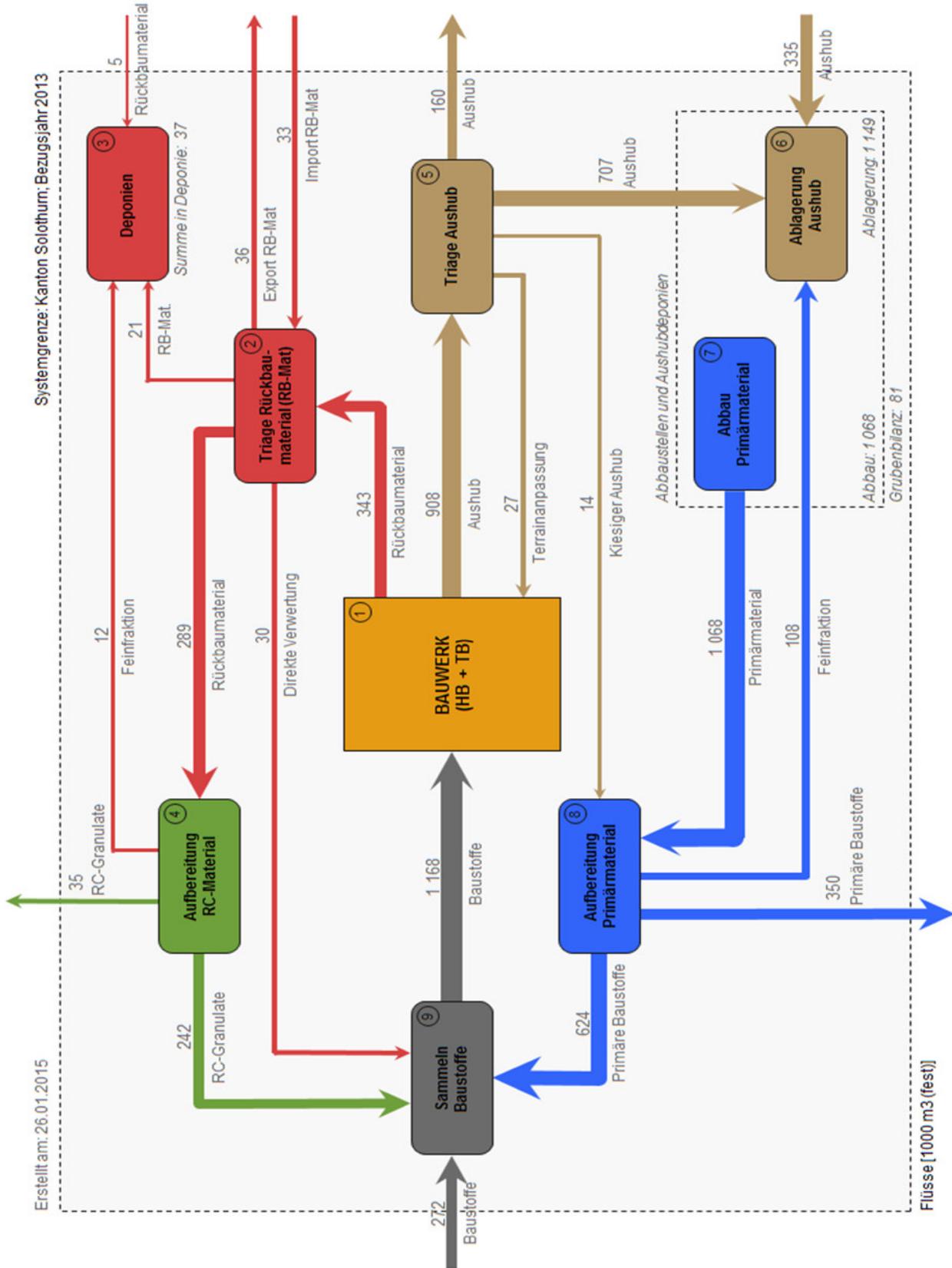


Materialflussschema Kanton St.Gallen (Bezugsjahr 2013)



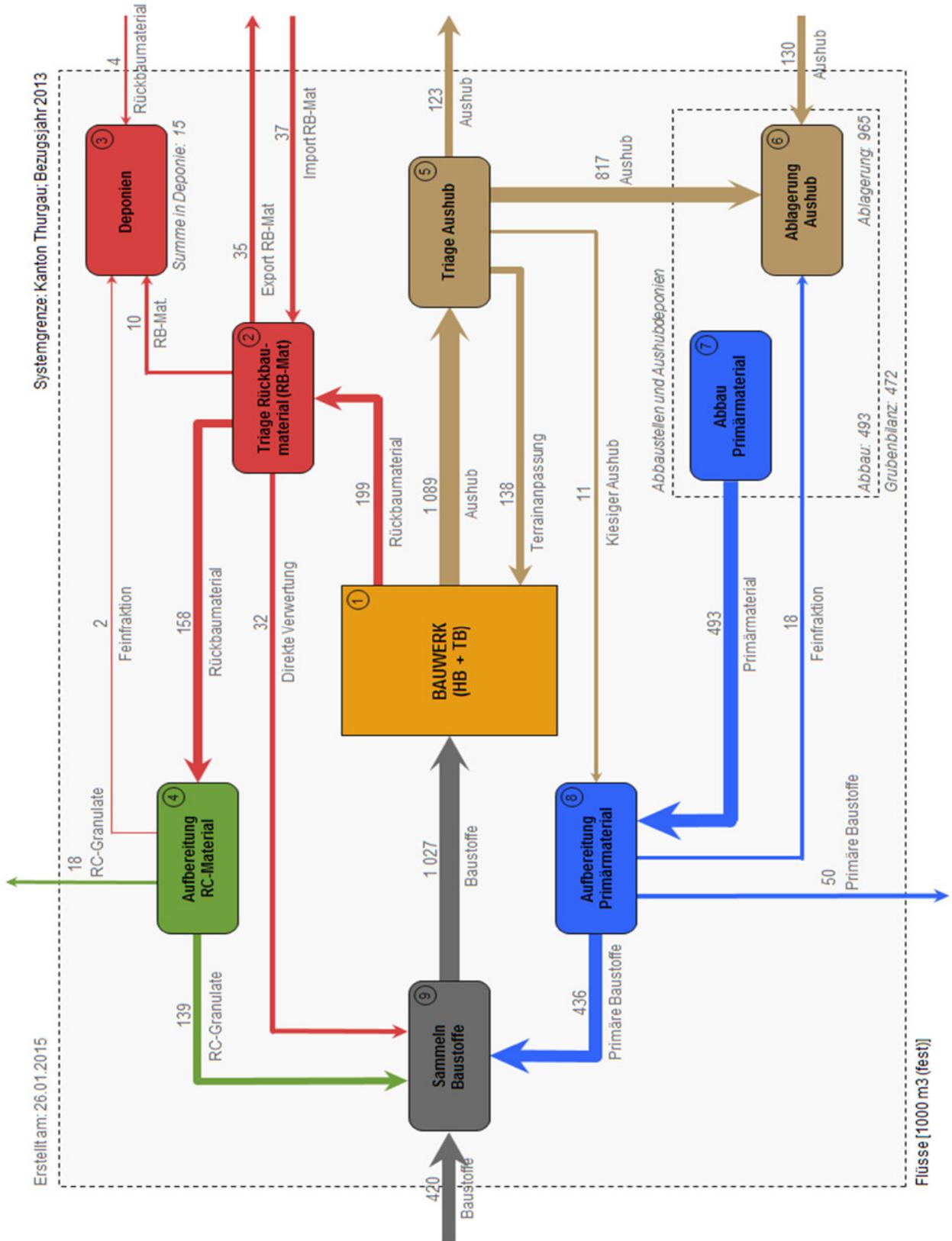


Materialflussschema Kanton Solothurn (Bezugsjahr 2013)



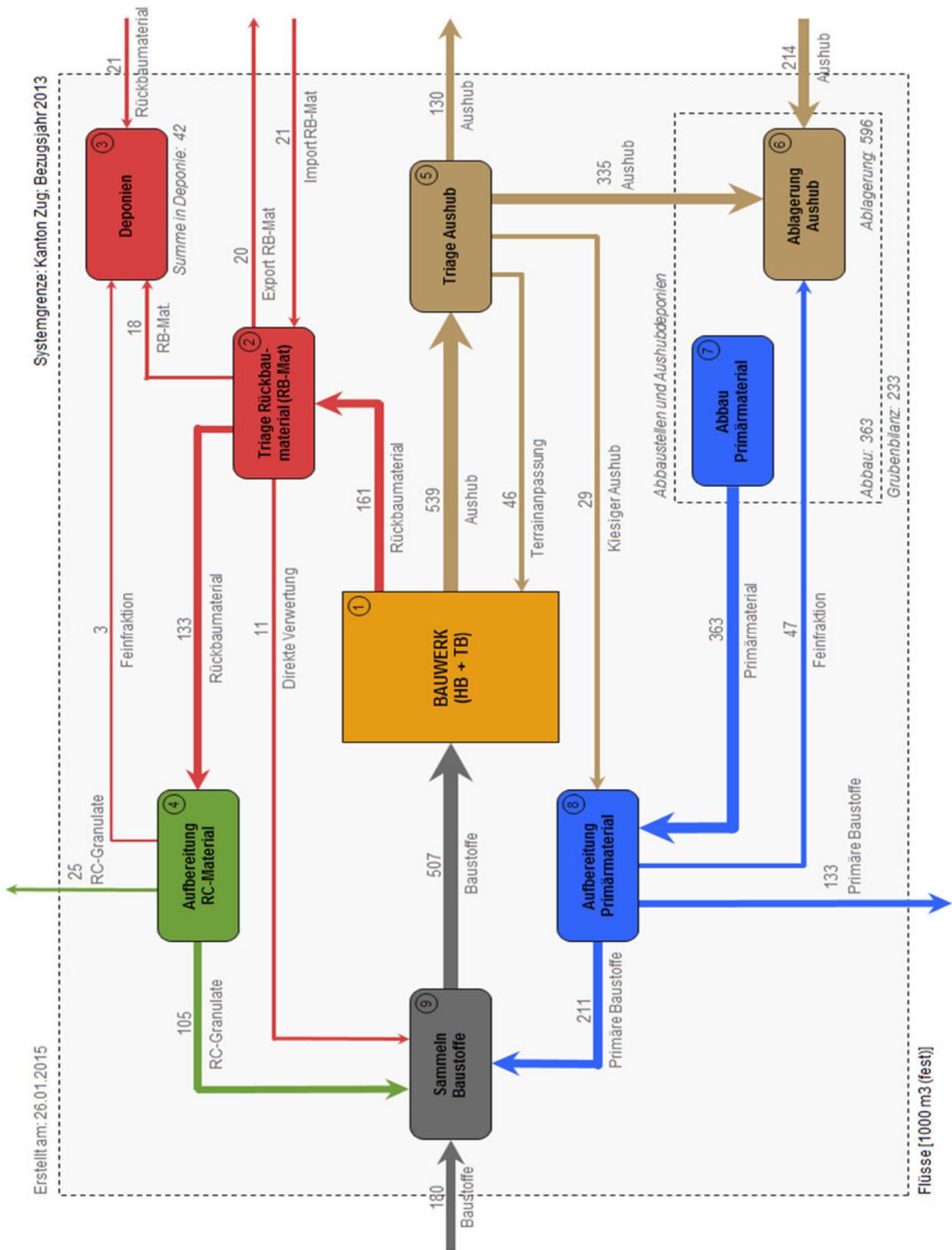


Materialflussschema Kanton Thurgau (Bezugsjahr 2013)



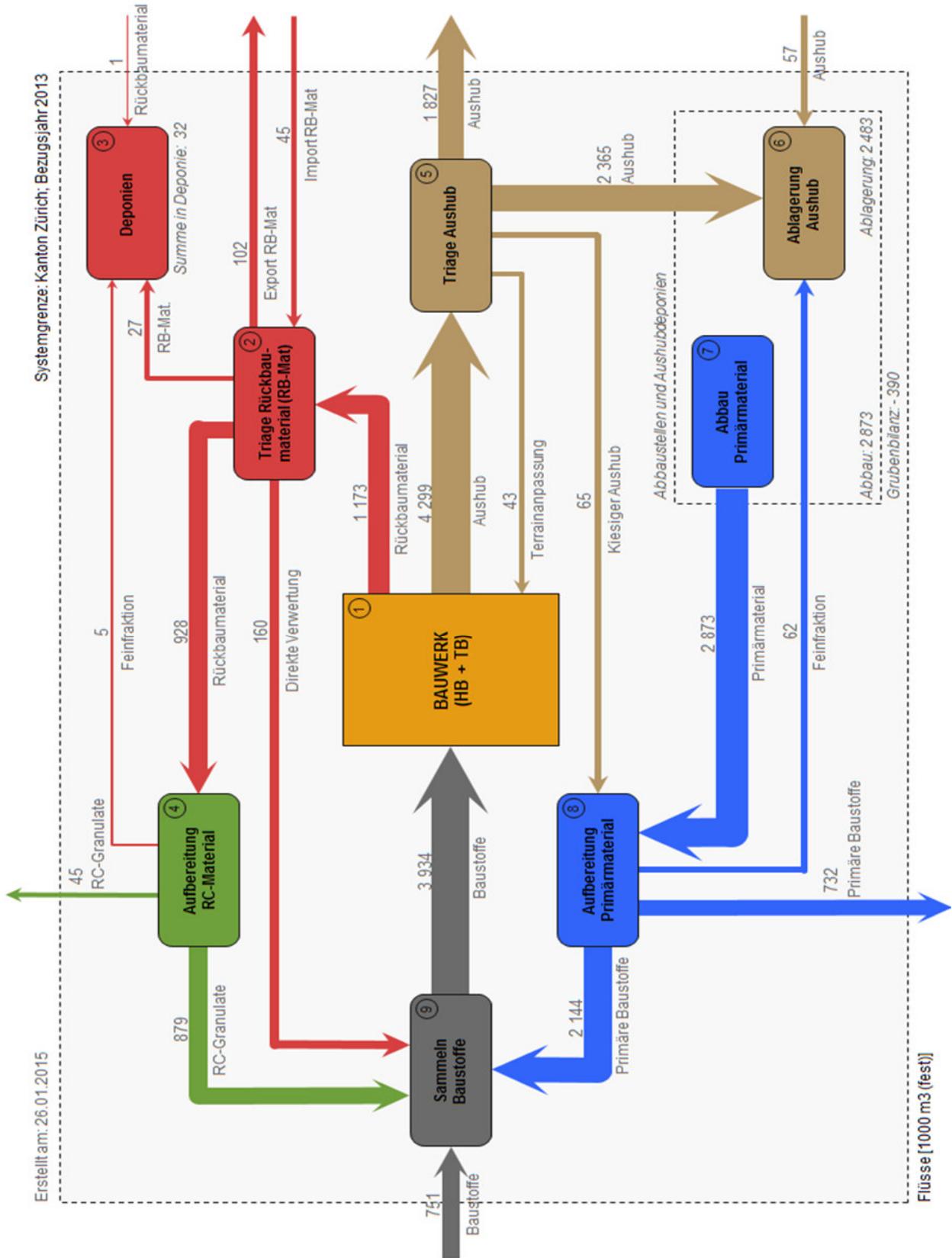


Materialflussschema Kanton Zug (Bezugsjahr 2013)





Materialflussschema Kanton Zürich (Bezugsjahr 2013)





A.2 Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial

Werte nach Ausgleichsrechnung

I-O-Tabelle Kies

RESULTAT SOLVER														Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.		Abweichung SOLVER zu Modell
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SH	SZ	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	
AG	0	7500	118'125	0	0	6'261	24'806	0	2'750	274'000	433'442	48'002	481'444	600'000	118'556	-19.8%
BE	2'100	0	30'870	0	0	0	183'597	0	0	0	216'567	266'801	483'369	500'000	16'631	-3.3%
LU	1'365	90'000	0	0	0	25'000	6'500	0	72'500	23'750	219'115	13'000	232'115	220'000	12'115	5.5%
SG	0	0	1'805	0	341	55'937	0	97'167	0	59'116	214'367	96'910	311'277	305'621	5'656	1.9%
SH	0	0	0	2'835	0	0	0	4'103	0	1'665	8'604	40'501	49'105	50'000	895	-1.8%
SZ	0	0	9'215	4'800	0	0	0	0	78'000	26'600	118'615	2'491	121'106	120'000	1'106	0.9%
SO	70'833	120'833	26'622	0	0	0	0	0	0	0	218'289	131'712	350'001	350'000	1	0.0%
TG	0	0	0	37'978	3'472	0	0	0	0	8'550	50'000	1	50'002	50'000	2	0.0%
ZG	2'340	0	22'997	0	0	78'100	0	0	0	25'175	128'612	4'389	133'001	133'000	1	0.0%
ZH	18'900	0	158'695	191'747	3'186	23'100	4'570	95'400	25'300	0	520'898	21'106	732'004	732'000	4	0.0%
Total Impo	95'538	218'333	368'329	237'360	7'000	188'398	219'473	196'671	178'550	418'856	2'128'509	814'913	2'943'422	3'060'621	154'965	-3.8%
Importe aus EXTERN	135'002	6'750	234'271	362'641	143'001	60'000	52'529	223'447	902	332'500	1'551'044					
Total Importe 2, SOLVER	230'540	225'083	602'601	600'002	150'000	248'398	272'002	420'117	179'452	751'356	3'679'552					
Angaben Importe																
Total	220'000	200'000	602'600	600'000	150'000	265'000	272'000	420'000	191'000	682'000	3'602'600					
Differenz Zeilen	10'540	25'083	1	2	0	16'602	2	117	11'548	69'356	133'252					
Differenz Spalten	118'556	16'631	12'115	5'656	895	1'106	1	2	1	4	154'965	288'217	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER			
Abweichung SOLVER zu Modell	4.8%	12.5%	0.0%	0.0%	0.0%	-6.3%	0.0%	0.0%	-6.0%	10.2%	2.1%					

I-O-Tabelle Aushubmaterial

RESULTAT SOLVER														Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.		Abweichung SOLVER zu Modell
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SH	SZ	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	
AG	0	21'875	112'860	0	0	0	137'854	0	2'318	5'400	280'307	108'001	388'308	345'000	43'308	12.6%
BE	4'780	0	10'815	0	0	0	140'905	0	0	0	156'500	93'777	250'277	250'000	277	0.1%
LU	17'195	10'448	0	0	0	4'000	10'448	0	42'446	3'959	88'495	2'050	90'544	90'000	544	0.6%
SG	0	0	101	0	851	40'000	0	52'126	0	9'000	102'077	24'116	126'194	180'000	53'806	-29.9%
SH	0	0	0	1'298	0	0	0	1'479	0	900	3'677	166'323	170'000	170'000	0	0.0%
SZ	4'780	0	14'385	27'210	0	0	0	0	15'589	5'400	67'364	18'241	85'606	85'000	606	0.7%
SO	18'000	135'114	840	0	0	0	0	0	0	0	153'954	6'302	160'256	160'000	256	0.2%
TG	0	0	0	94'612	7'200	0	0	0	0	16'200	118'012	4'801	122'813	110'000	12'813	11.6%
ZG	5'335	0	38'430	0	0	27'000	0	0	0	11'700	82'465	47'250	129'715	130'000	285	-0.2%
ZH	866'321	0	8'788	91'706	171'076	54'000	0	72'000	153'665	0	1'417'556	409'500	1'827'056	1'740'000	87'056	5.0%
Total Impo	916'412	167'436	186'218	214'827	179'127	125'000	289'207	125'605	214'017	52'559	2'470'408	880'362	3'350'769	3'260'000	190'769	2.8%
Importe aus EXTERN	94'501	29'531	5'775	59'805	851	917	45'557	4'436	0	3'959	245'330					
Total Importe 2, SOLVER	1'010'913	196'968	191'993	274'631	179'977	125'917	334'763	130'041	214'017	56'517	2'715'738					
Angaben Importe																
Total	1'011'700	227'014	192'200	274'705	180'000	114'596	354'428	130'000	214'826	53'000	2'752'468					
Differenz Zeilen	787	30'045	207	74	23	11'321	19'665	41	808	3'517	66'488					
Differenz Spalten	43'308	277	544	53'806	0	606	255	12'813	285	87'056	188'951	265'440	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER			
Abweichung SOLVER zu Modell	-0.1%	-13.2%	-0.1%	0.0%	0.0%	9.9%	-5.5%	0.0%	-0.4%	6.6%	-1.3%					



I-O-Tabelle Rückbaustoffe

RESULTAT SOLVER																
Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.																
SOLVER	AG	BE	LU	SG	SH	SZ	SO	TG	ZG	ZH	Total Exporte 1	Output nach EXTERN	Total Exporte 2, SOLVER	Angaben Exporte Total	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell
AG	0	21'000	52'666	0	0	1'252	11'200	0	284	2'363	88'764	24'002	112'766	170'000	57'234	-33.7%
BE	803	0	435	0	0	0	22'609	0	0	23'847	36'099	59'946	60'000	54	-0.1%	
LU	2'000	750	0	0	0	2'783	3'200	0	1'050	5'250	15'033	171	15'203	14'000	1'203	8.6%
SG	0	0	435	0	33	15'600	0	21'000	0	2'363	39'431	354	39'785	40'000	215	-0.5%
SH	0	0	0	189	0	0	0	3'300	0	473	3'961	3	3'964	4'000	36	-0.9%
SZ	803	0	1'048	2'835	0	0	0	0	14'235	13'541	32'463	9'750	42'213	42'000	213	0.5%
SO	18'000	17'400	660	0	0	0	0	0	0	0	36'060	354	36'414	40'000	3'586	-9.0%
TG	0	0	0	9'600	4'800	0	0	0	0	9'600	24'000	11'043	35'043	35'000	43	0.1%
ZG	803	0	5'291	0	0	4'800	0	0	0	9'521	20'415	0	20'415	20'000	415	2.1%
ZH	17'057	1'200	11'113	2'835	496	27'182	91	15'182	26'900	0	102'056	1	102'058	100'000	2'058	2.1%
Total Importe	39'467	40'350	71'648	15'459	5'329	51'617	37'100	39'482	42'469	43'110	386'030	81'778	467'808	525'000	65'055	-10.9%
Importe aus EXTERN	4'016	900	20'456	189	33	1'252	900	1'040	284	2'363	31'431					
Total Importe 2, SOLVER	43'483	41'250	92'104	15'648	5'362	52'869	38'000	40'522	42'752	45'472	417'462					
Angaben Importe Total	51'000	75'000	92'148	22'000	7'000	53'000	38'000	44'000	60'000	61'000	503'148					
Differenz Zeilen	7'517	33'750	44	6'352	1'638	131	0	3'478	17'248	15'528	85'686					
Differenz Spalten	57'234	54	1'203	215	36	213	3'586	43	415	2'058	65'055	150'741	Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER			
Abweichung SOLVER zu Modell	-14.7%	-45.0%	0.0%	-28.9%	-23.4%	-0.2%	0.0%	-7.9%	-28.7%	-25.5%	-17.0%					

A.3 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