

KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2016

April 2018

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, Schwyz
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),
Andy Lancini (Dienststelle Umwelt und Energie Kanton Luzern),
Chaspar Gmünder (Amt für Umwelt und
Energie Kanton St. Gallen),
Thilo Art (Amt für Umwelt Kanton Solothurn),
Stefan Rüegg (Amt für Umweltschutz Kanton Schwyz)
Nik Maurer (Amt für Umwelt Kanton Thurgau),
Bernhard Brunner (Amt für Umweltschutz Kanton Zug),
Dominik Oetiker (AWEL),
David Hiltbrunner (Bundesamt für Umwelt),
Martin Weder, (FSKB)
Cyril Inderbitzin (arv Baustoffrecycling Schweiz).

Bezug

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

Download als pdf über:

Google: KAR-Modell - Modellierung der Bau-,
Rückbau- und Aushubmaterialflüsse:
Nachführung 2016

Zürich, April 2018



Zusammenfassung

Mittlerweile beteiligen sich die neun Kantone AG, BE, LU, SG, SO, SZ, TG, ZG und ZH an der Modellierung der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse (KAR-Materialflüsse) in ihren Kantonen. Zudem lassen die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft zurzeit gemeinsam ein KAR-Modell für das Bezugsjahr 2016 entwickeln. Einige Kantone verfügen nun bereits über Daten von vier aufeinanderfolgenden Bezugsjahren (2013 – 2016). Die erhobenen und die mit den statischen Modellen ermittelten Materialflüsse können nun einerseits miteinander verglichen und andererseits den modellierten Entwicklungen der Materialflüsse aus der dynamischen Modellierung gegenübergestellt werden. Die Auswertungen zeigen, dass die modellierten Materialflüsse in den einzelnen Kantonen gut mit den erhobenen Materialflüssen übereinstimmen. Dies gilt ebenfalls für die zeitlichen Entwicklungen. Durch die regelmässigen Erhebungen in den verschiedenen Kantonen und durch die verschiedenen Modelloptimierungsmassnahmen konnten die Modelle entsprechend gut validiert werden.

Bisher konnten in den statischen Modellen die Kies-/Sandflüsse nicht gesondert betrachtet werden. In Kantonen in denen Baustoffe wie Kalk/Mergel, Tonminerale, Gipsstein usw. im grösseren Umfang abgebaut werden, ist die Analyse und Vergleichbarkeit der Materialflüsse zwischen den Kantonen schwierig. Im nun erweiterten Modell können die Kies-/Sandflüsse und die weiteren mineralischen Materialien nun getrennt voneinander betrachtet und dargestellt werden, was die Interpretation der Resultate vereinfacht.

Die Nachführung der statischen Modelle ergab die folgenden Erkenntnisse:

- Bezüglich der Versorgung mit mineralischer Gesteinskörnung liegen die Autarkiegrade in den Kantonen AG, BE, SO und ZH für das Bezugsjahr 2016 im Bereich von 100%. Demgegenüber bewegen sich diese in den Kantonen LU, SG und TG mit 54% – 67% auf deutlich tieferen Niveaus. Zudem nimmt in den Kantonen SG und TG der Autarkiegrad tendenziell weiter ab. Im Kanton SZ beträgt der Wert 87% und im Kanton ZG liegt der Autarkiegrad bei 118%.
- Bei der Aushubentsorgung bewegen sich die Autarkiegrade mit Ausnahme des Kantons Zürich in allen Kantonen im Bereich von 100% oder darüber. Im Kanton Zürich ist der Autarkiegrad im betrachteten Zeitraum von 59% auf 74% angestiegen. Er verbleibt jedoch noch immer auf tiefem Niveau.
- Die mit den statischen Modellen gerechneten Inputflüsse ins Bauwerk und der Aushubanfall aus dem Bauwerk korrespondieren für die Bezugsjahre 2010 sowie für die Jahre 2013 bis 2016 bei allen Kantonen relativ gut mit den im dynamischen Modell gerechneten Entwicklungen 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 gut mit den modellierten Entwicklungen überein. Erstmals ist in den Grafiken in Form von Säulen ein Vergleich von erhobenen mit den im statischen Modell gerechneten Materialflüssen möglich. Auch hier sind die Übereinstimmungen bei allen Kantonen als gut zu bezeichnen.
- Die Entwicklung der kumulierten Differenzen stimmen in allen Kantonen relativ gut mit den Werten der Bezugsjahre 2013 bis 2016 überein. Bei den Kantonen AG und BE bewegen sich die jährlichen Differenzen im negativen Bereich. Der Grund hierfür ist der Einbezug



des Abbaus von weiteren Baustoffen wie Kalk/Mergel, Ton, Gipsgestein usw. in die Bilanz. Diese Auffüllvolumina stehen aktuell jedoch erst beschränkt für die Auffüllung zur Verfügung.

- Die Entwicklungen der kumulierten Differenz verläuft in fünf Kantonen (LU, SG, TG, SZ, ZG) in den positiven Bereich. Dies bedeutet, dass die in Abbaustellen geschaffenen Volumen unter den gegebenen Rahmenbedingungen längerfristig nicht ausreichen, um das anfallende Aushubmaterial dort aufzunehmen.

Inzwischen decken die Rückbaustoffe je nach Kanton bereits knapp 20% bis über 30% des Gesteinskörnungsbedarfs der Kantone ab. Dies hat entsprechende Auswirkungen auf die Bewirtschaftung der anderen Materialflüsse. Durch die Substitution von Kies und Sand findet weniger Kiesabbau statt, was wiederum zu einer Reduktion der verfügbaren Auffüllvolumina führt. In einigen Kantonen begegnen die Kiesgrubenbetreiber dieser Herausforderung mit höheren Annahmegebühren für Aushubmaterial. Gleichzeitig verbilligen sie den Preis für den an sich höherwertigen Kies/Sand, um konkurrenzfähig zu den Rückbaustoffen zu bleiben. Dies führt teilweise zur eher ungewöhnlichen Situation, dass der Entsorgungspreis für unverschmutztes Aushubmaterial höher liegt als der Einkaufspreis von Kies/Sand. Gerade in Kantonen, welche viel Kies importieren oder über keine oder zu wenige Aushubdeponien verfügen, akzentuiert sich diese Marktverzerrung (z.B. Kanton Zürich). Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, müssen entweder mehr Kiesvorkommen in den Kantonen mit hohen Kiesimporten erschlossen oder mehr Aushubdeponien geplant werden. Dazu ist jedoch ein langer Planungshorizont notwendig. Die Modelle und Modellresultate sollen die Kantone bei der Planung und Ausscheidung von neuen Kiesabbaugebieten und Aushubdeponien unterstützen. Die mit dem Modell erzeugten Grafiken können dabei unterstützend bei der Kommunikation mit den verschiedenen Akteuren bzw. zwischen den Kantonen eingesetzt werden.

Eine nächste Nachführung ist für das Bezugsjahr 2018 vorgesehen. Voraussichtlich werden die hier aufgeführten Kantone und die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft mit einem gemeinsamen Modell eine Modellierung durchführen lassen.



INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG | 7 |
| 1.1 | Ausgangslage..... | 7 |
| 1.2 | Zielsetzung | 8 |
| 2 | METHODEN | 8 |
| 2.1 | Trennung der Kies-/Sandflüsse von den restlichen mineralischen Baustoffen..... | 8 |
| 2.2 | Weitere Modellanpassungen | 9 |
| 2.3 | Modellierung der Materialflüsse..... | 10 |
| 2.4 | Relevante Materialflüsse für die Modellierung | 11 |
| 2.5 | Vergleich der Modellparameter | 12 |
| 3 | RESULTATE | 14 |
| 3.1 | Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall | 14 |
| 3.2 | Materialflüsse über die Kantonsgrenzen | 15 |
| 3.2.1 | Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen | 15 |
| 3.2.2 | Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen..... | 15 |
| 3.2.3 | Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen..... | 15 |
| 3.3 | Autarkiegrad bezüglich der Baustoffversorgung und Aushubentsorgung | 19 |
| 3.4 | Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis..... | 21 |
| 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 | 26 |
| 3.5.3 | Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau..... | 28 |
| 4 | DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN | 30 |
| 4.1 | Baustoffbedarf und Verwertung der Rückbaumaterialien (RBM)..... | 30 |
| 4.2 | Primärmaterialabbau und Aushubentsorgung: Autarkiegrade und Entwicklung | 31 |
| 4.3 | Schlussfolgerungen | 31 |
| 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 | 37 |
| A.5 | Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial | 47 |



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 |
| VVEA | Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen |

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 und werden neu separat dargestellt. In Kantonen mit Kalk/Mergel- und Tonmineralabbau gelangt ein grosser Teil dieser Materialien in den Export von weiteren mineralischen Baustoffen. |
| Rückbaumaterial | Als Rückbaumaterial wird sämtliches während einer Sanierung bzw. eines Rückbaus anfallendes mineralisches Material (z.B. Misch- und Betonabbruch, Ausbauasphalt usw.), welches noch nicht aufbereitet wurde, bezeichnet. |
| 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 neun Kantone Aargau, Bern, Luzern, St.Gallen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich haben die Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse (KAR-Materialflüsse mit dem statischen KAR-Modell) für das Bezugsjahr 2016 rechnen lassen. Im dynamischen Teil des Modells wurden wiederum die Szenarien, welche auf der Bevölkerungsentwicklung in den Kantonen basieren, bis zum Jahr 2035 gerechnet. Die Modellierungen dieser Szenarien ermöglicht einerseits Aussagen zur künftigen Entwicklung der KAR-Materialflüsse in den einzelnen Kantonen. Andererseits können auf Basis dieser Resultate bei Bedarf frühzeitig Massnahmen zur Steuerung der Materialflüsse sowie zur Planung von Deponie- und Verwertungskapazitäten definiert werden.

Das Modell wurde und 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. | 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 |
| Version 4 | - Weitere Differenzierung des statischen Modells: Einführung des Subprozesses «Weitere Entnahmestellen» in dem der Abbau von mineralischen Baustoffen wie Kalk, Mergel, Tonmineralabbau usw. sowie die Wiederauffüllungen mit Aushubmaterial stattfindet. - Trennung der Kiesimporte/-exporte und der Importe/Exporte der weiteren mineralischen Baustoffe - Bezeichnungen gem. VVEA | 2016 | AG, BE, LU, SO, SG, SZ, TG, ZG, ZH BS+BL: Modellierung noch nicht abgeschlossen Nur Daten: GL | Rubli, 2018 (vorliegender Bericht) |



1.2 Zielsetzung

Die am Projekt teilnehmenden Kantone haben sich für eine Nachführung des Bezugsjahres 2016 ausgesprochen, um die Datengrundlagen noch besser abstützen zu können. Es wurden zudem Modellerweiterungen oder -anpassungen vorgenommen, welche im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben werden.

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). Im letztjährigen Bericht wurde insbesondere auf die Verknüpfung von erhobenen und modellierten Materialflüssen eingegangen. Einige Kantone verfügen über detaillierte Daten, andere wiederum können nur relativ wenige Daten zu den Materialflüssen zur Verfügung stellen. Trotzdem können für alle beteiligten Kantone Modelle erstellt werden. Allerdings gilt: Je mehr Angaben von den Kantonen zu den Materialflüssen gemacht werden können, umso besser stimmen die modellierten mit den realen Materialflüssen überein.

2.1 Trennung der Kies-/Sandflüsse von den restlichen mineralischen Baustoffen

In den bisherigen statischen Modellen konnten die Kies- und Sandflüsse nicht von den weiteren mineralischen Baustoffen, wie Tonmineralien, Gipsstein, Kalk- und Mergel usw. unterschieden werden. Insbesondere in Kantonen, in denen solche mineralischen Baustoffe im grösseren Umfang abgebaut werden, führte dies oftmals zu Interpretationsschwierigkeiten bei der Analyse der Materialflüsse. Aus diesem Grund wurde das Modell in der Weise differenziert, dass die Kies-/Sandflüsse und die weiteren mineralischen Materialien getrennt voneinander betrachtet und dargestellt werden können. Dazu wurden die folgenden drei Prozesse neu eingeführt (siehe Abbildung 1):

Prozess Nummer 10: In den Prozess **«Weitere Baustoffe aufbereiten»** gelangen die Importe der «weiteren Baustoffe» und der Materialfluss aus dem Prozess **«Weitere Primärmaterialien abbauen»**. Bei den Outputflüssen handelt es sich um die Materialexporte und die weiteren mineralischen Baustoffe, welche in den Prozess **«Baustoffe produzieren»** gelangen.

Prozess Nummer 11: Im Prozess **«Weitere Primärmaterialien abbauen»** ist der Abbau der weiteren mineralischen Baustoffe, wie Tonmineralien, Gipsstein, Kalk- und Mergel usw. enthalten. Hier gibt es keinen Inputfluss.

Prozess Nummer 12: Der Prozess **«Teil- und Wiederauffüllung»** fasst die Teil- und Wiederauffüllung der im Subsystem **«Weitere Entnahmestellen»** durch den Abbau der weiteren Primärmaterialien entstandenen Volumen mit unverschmutztem Aushubmaterial zusammen.

Wie in der Abbildung 1 zu erkennen ist, sind die Prozesse 11 und 12 im Subsystem **«Weitere Entnahmestellen»** zusammengefasst, da der Materialabbau und die Teil- und Wiederauffüllung jeweils am gleichen Standort stattfindet.

2.2 Weitere Modellanpassungen

Im Vergleich zu den vorangegangenen Modellen wurden zudem die folgenden Anpassungen vorgenommen (Abbildung 1):

- Die Aushubimporte und -exporte erfolgen nun jeweils über den Prozess «Aushub triagieren». Es gibt keinen direkten Import in die «Wiederauffüllung», d.h. in den Prozess Nr. 6.
- Die Importe und Exporte von weiteren Baustoffen erfolgen über den Prozess «Weitere Baustoffe aufbereiten». Es gibt keinen direkten Import oder Export in den bzw. aus dem Prozess «Baustoffe produzieren», d.h. in den Prozess Nr. 9.
- Die Aushubflüsse $A_{53,A}$ und $A_{53,B}$ vom Prozess Nr. 5 in den Prozess Nr. 3 werden nun neu gemäss der VVEA bezeichnet (Deponie Typ A und Deponie Typ B).
- Bei den Resultaten aus der dynamischen Modellierung werden zusätzlich zu den Jahreswerten der Resultate aus der statischen Modellierung (dunkelblaue Säulen) auch die Werte zu den erhobenen Daten der Kantone zum Kies-/Sandabbau und zur Aushubablagerung aufgeführt (hellblaue Säulen in Abbildung 11).

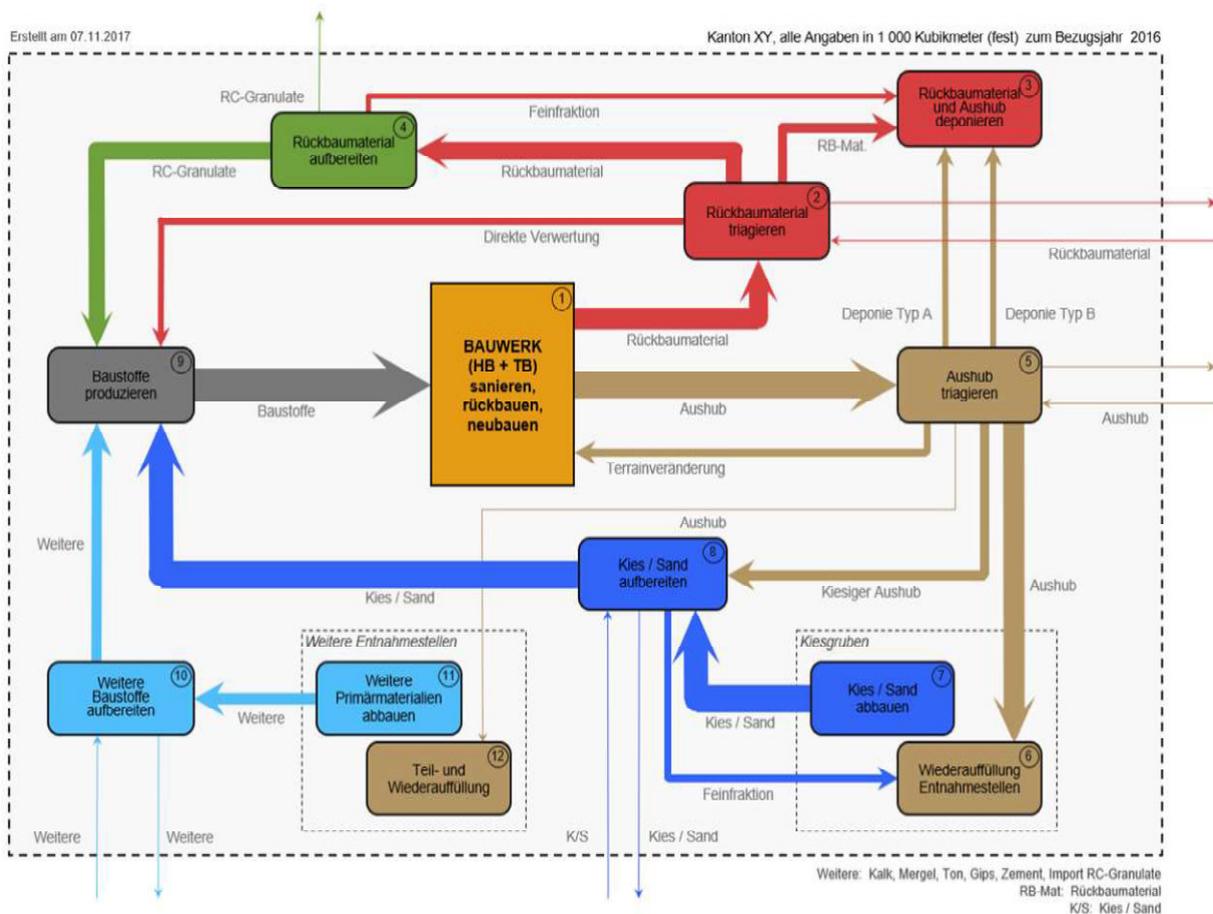


Abbildung 1: Beispiel des Materialflussschemas eines Kantons ohne Angabe der Kubaturen.



2.3 Modellierung der Materialflüsse

Die Modellierung des statischen Systems erfolgt weiterhin mittels eines iterativen Vorgehens. 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 Aargau, Bezugsjahr 2016). Die Materialflüsse werden bei der Modellierung so optimiert, dass die Abweichungen bei den Materialflüssen A78 (Abbau Primärmaterial) und „Summe Ablagerung unverschmutzter Aushub“ möglichst gering sind. Die Abweichung beim Materialfluss A49 ist deshalb so gross, weil davon ausgegangen wird, dass in den 284'000m³ RC-Granulate ein Anteil an primärer Gesteinskörnung im Umfang von mindestens 11% enthalten ist.

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 Aargau.

| Vergleich Modell-Daten | | Modell | Daten | Abweichung | |
|------------------------|------------------------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------------|
| | | 1000m3 (fest) | 1000m3 (fest) | = (Modell / Daten) - 1 | |
| A23 + A43 | RB-Material und Feinfraktion | 27 | 24 | 11% | Modell grösser als Daten |
| A24 | Rückbaumaterial | 265 | 265 | 0% | Modell kleiner als Daten |
| A29 | Direkte Verwertung | 124 | 0 | na | |
| A43 | Feinfraktion | 3 | 0 | na | |
| A49 | RC-Granulate | 252 | 284 | -11% | Modell kleiner als Daten |
| A51 | Terrainveränderung | 80 | 0 | na | |
| A53.A | Deponie Typ A | 210 | 210 | 0% | Modell grösser als Daten |
| A53.B | Deponie Typ B | 20 | 20 | 0% | Modell grösser als Daten |
| A56 | Aushub | 2'440 | 2'437 | 0% | Modell grösser als Daten |
| A58 | Kiesiger Aushub | 109 | 110 | -1% | Modell kleiner als Daten |
| A512 | Aushub | 158 | 158 | 0% | Modell grösser als Daten |
| A78 | Kies / Sand | 1'972 | 1'977 | 0% | Modell kleiner als Daten |
| A86 | Feinfraktion | 29 | 0 | na | |
| A89 | Kies / Sand | 1'882 | 0 | na | |
| A91 | Baustoffe | 2'541 | 0 | na | |
| A1110 | Weitere | 986 | 986 | 0% | Modell grösser als Daten |
| A100 | Weitere | 743 | 700 | 6% | Modell grösser als Daten |
| A010 | Weitere | 40 | 0 | na | |

Erklärung zu den Bezeichnungen der Flüsse: Beispiel Fluss A24 entspricht Materialfluss von Prozess 2 in den Prozesse 4 (siehe Abbildung1). Fluss A010 entspricht Materialfluss von ausserhalb des Kantons (d.h. 0) in den Prozess 10.



2.4 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 | Kies-/Sandabbau | sehr wichtig | unbedingt erforderlich |
| A1110 | Abbau weitere Primärmaterialien | sehr wichtig | unbedingt erforderlich |
| A56 | Aushub in Rekultivierung | sehr wichtig | unbedingt erforderlich |
| A53.A | Aushub in Deponie Typ A | sehr wichtig | unbedingt erforderlich |
| A512 | Aushub in Teil- und Wiederauffüllung | sehr wichtig | unbedingt erforderlich |
| A53.B | Aushub in Deponie Typ B | 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 |
| A05 | Importe Aushub in Rekultivierung, Deponien Typ A und B | wichtig, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen | erforderlich, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen |
| A80 | Export Kies und Sand | wichtig, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen | erforderlich, wenn möglich differenziert nach Herkunftskantonen |
| A09 | Importe Kies und Sand | wichtig | Nicht unbedingt erforderlich, weil kaum zu erheben |
| A02 | Import Rückbaumaterial in Aufbereitung (über Triage) | Wichtig, wenn grosse Mengen | 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 |
| A58 | Aushub zur Aufbereitung | weniger wichtig | wenn möglich, dann erheben |
| A43 | Feinfraktion | weniger wichtig | wenn möglich, dann erheben |



2.5 Vergleich der Modellparameter

In der Tabelle 4 sind die wichtigsten Modellparameter des Moduls BAUWERK für die verschiedenen Kantone für das Bezugsjahr 2016 und für die Vorjahre aufgeführt. Die unterschiedlichen Raten im Hochbau widerspiegeln die Intensität der Bautätigkeit in den einzelnen Kantonen. Im Kanton Zug lagen die geschätzten Neubauraten im Jahr 2016 mit Werten von 2.69% (Wohnen) und 2.45% (Nicht-Wohnen) am höchsten. In diesem Kanton variieren die Neubauraten von Jahr zu Jahr relativ stark, was auf den relativ kleinen Gebäudebestand zurückzuführen ist. Werden grossvolumige Gebäude erstellt, haben diese Bauprojekte einen relativ starken Einfluss auf die Neubaurate. In den anderen Kantonen bewegen sich die Neubauraten für den Bereich «Wohnen» mit 1,48% (SO) bis 2.25% (LU) innerhalb einer recht grossen Spannweite. Der Vergleich mit den Vorjahren zeigt, dass die Neubauraten insgesamt eine konstante bis leicht zunehmende Tendenz aufweisen. Die Sanierungs- und Rückbauraten weisen keine einheitlichen Tendenzen auf.

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

| | AG | AG | BE | BE | BE | LU | LU | LU | SG | SG | SG | SO | SO | SO | SZ | SZ | TG | TG | TG | ZG | ZG | ZG | ZH | ZH | ZH |
|--|------|------|---------|---------|------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|---------|---------|---------|
| | 2015 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 | 2013 | 2015 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 | 2013 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 | 2014 | 2015 | 2016 |
| Veränderung Hochbau (Gebäude) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Wohnen (EFH und MFH) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neubaurate in % des Bestandes | 1.78 | 1.95 | 1.15 | 1.72 | 1.82 | 1.65 | 2.05 | 2.25 | 1.72 | 1.78 | 1.77 | 1.65 | 1.70 | 1.48 | 2.15 | 1.90 | 2.07 | 1.70 | 1.73 | 1.85 | 1.65 | 2.69 | 1.68 | 1.47 | 1.75 |
| Sanierungsrate in % des Bestandes | 3.70 | 3.70 | 4.60 | 4.40 | 3.40 | 4.13 | 4.85 | 4.85 | 4.28 | 4.28 | 4.28 | 4.95 | 4.25 | 4.50 | 4.90 | 4.50 | 4.20 | 4.35 | 4.50 | 4.45 | 4.45 | 4.45 | 4.55 | 4.55 | 4.55 |
| Rückbaurate in % des Bestandes | 0.12 | 0.12 | 0.28 | 0.21 | 0.13 | 0.13 | 0.35 | 0.36 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.22 | 0.18 | 0.20 | 0.31 | 0.35 | 0.11 | 0.15 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.25 | 0.33 | 0.30 | 0.30 |
| Nicht-Wohnen (restliche) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neubaurate in % des Bestandes | 1.75 | 1.79 | 1.30 | 1.95 | 1.66 | 1.55 | 2.25 | 2.20 | 1.61 | 1.69 | 1.63 | 1.45 | 1.55 | 1.40 | 2.05 | 1.55 | 2.05 | 1.65 | 1.63 | 1.80 | 1.55 | 2.45 | 1.58 | 1.53 | 1.57 |
| Sanierungsrate in % des Bestandes | 6.80 | 6.80 | 7.20 | 6.80 | 5.80 | 7.80 | 7.80 | 7.80 | 7.85 | 7.50 | 6.80 | 7.80 | 6.80 | 6.80 | 9.50 | 7.50 | 8.24 | 7.80 | 7.80 | 7.80 | 7.80 | 6.80 | 7.90 | 7.90 | 6.80 |
| Rückbaurate in % des Bestandes | 0.15 | 0.10 | 0.41 | 0.20 | 0.10 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.49 | 0.41 | 0.35 | 0.31 | 0.28 | 0.20 | 1.38 | 0.45 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.82 | 0.62 | 0.23 | 0.68 | 0.65 | 0.27 |
| Veränderung Tiefbau (Infrastruktur) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Erneuerungsrate | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kies/Sand in % des Bestandes | 0.45 | 0.35 | 0.25 | 0.35 | 0.40 | 0.54 | 0.60 | 0.60 | 0.35 | 0.45 | 0.55 | 0.15 | 0.15 | 0.53 | 0.50 | 0.50 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.31 | 0.60 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| Belag in % des Bestandes | 1.20 | 1.20 | 2.50 | 2.00 | 2.00 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.10 | 1.40 | 1.40 | 1.95 | 1.95 | 1.50 | 1.70 | 1.70 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 2.00 | 1.50 | 1.50 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| Beton in % des Bestandes | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.40 | 0.40 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.80 | 0.80 | 0.50 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| Mauerwerk in % des Bestandes | 1.15 | 1.15 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 1.24 | 1.24 | 1.24 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.65 | 0.65 | 0.65 |
| Mineral. Fraktion in % des Bestandes | 1.20 | 1.20 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.53 | 1.53 | 1.53 | 1.56 | 1.56 | 1.56 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.53 | 1.53 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 1.69 | 1.35 | 1.35 | 1.53 | 1.53 | 1.53 |
| Neubaurate/Neubaurate in % des Bestandes | 1.36 | 1.25 | 1.50 | 1.00 | 1.08 | 1.21 | 1.52 | 1.50 | 1.30 | 1.20 | 1.15 | 0.85 | 0.85 | 0.70 | 0.80 | 0.94 | 1.03 | 0.95 | 0.68 | 1.00 | 0.90 | 1.27 | 1.10 | 0.70 | 1.05 |
| Grossprojekte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anfall Aushub in m ³ fest | - | - | 150'000 | 150'000 | - | - | - | - | - | - | 125'000 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 125'000 | - | 100'000 | 370'000 | 500'000 |

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 1.3 Mio. Kubikmetern Festmass in die umliegenden Kantone. Die entspricht beinahe der Summe der Aushubexporte aller anderen Kantone (1.46 Mio. m³). Die Kantone Aargau und Bern exportieren sehr grosse Mengen an primären Baustoffen. Es handelt sich dabei vor allem um Kalk/Mergel in Form von Klinker, respektive Zement aus der 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 2016 eingesetzt wurden, um die Materialflüsse im System zu modellieren.

| | Einheit | AG | BE | LU | SG | SZ | SO | TG | ZG | ZH | |
|----------------------|--|---------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Importe | | | | | | | | | | | |
| A02 | Import Rückbaumaterial (in Triage) | m ³ fest | 20'537 | 22'836 | 44'218 | 13'406 | 14'875 | 12'426 | 28'470 | 18'039 | 44'634 |
| A05 | Import Aushub | m ³ fest | 721'812 | 286'490 | 163'000 | 251'680 | 74'183 | 289'999 | 115'000 | 320'581 | 70'000 |
| A08 | Import Kies / Sand | m ³ fest | 228'555 | 201'451 | 670'728 | 681'893 | 147'003 | 240'562 | 470'000 | 118'445 | 823'029 |
| A010 | Import weitere Baustoffe | m ³ fest | 40'000 | 30'000 | 145'000 | 45'000 | 56'000 | 46'000 | 56'000 | 62'500 | 425'000 |
| Exporte | | | | | | | | | | | |
| A20 | Export Rückbaumaterial | m ³ fest | 44'885 | 5'010 | 43'337 | 15'893 | 19'165 | 28'230 | 36'394 | 6'173 | 49'216 |
| A40 | Export RC-Granulate (aufbereitet) | m ³ fest | 10'000 | 5'000 | 30'000 | 17'000 | 3'000 | 10'000 | 10'000 | 5'000 | 25'000 |
| A50 | Export Aushub | m ³ fest | 370'000 | 274'402 | 225'605 | 140'000 | 66'741 | 142'003 | 120'203 | 120'000 | 1'331'784 |
| A80 | Export Kies / Sand | m ³ fest | 398'624 | 221'538 | 144'186 | 179'263 | 84'679 | 210'433 | 77'089 | 197'896 | 988'115 |
| A100 | Export weitere Baustoffe | m ³ fest | 743'000 | 600'000 | 36'000 | 63'000 | 36'000 | 60'000 | 80'000 | - | - |
| Innere Flüsse | | | | | | | | | | | |
| A24 | Rückbaumaterial in Aufbereitung (geschätzter Verwertungsanteil der Materialfraktionen); setzt sich zusammen aus: | | | | | | | | | | |
| | Betonabbruch: Verwertungsanteil in % (1) | % | 93 | 80 | 95 | 95 | 95 | 90 | 95 | 95 | 96 |
| | Mischabbruch: Verwertungsanteil in % (1) | % | 88 | 45 | 77 | 85 | 90 | 65 | 75 | 90 | 90 |
| | Strassenaufbruch: Verwertungsanteil in % (1) | % | 95 | 85 | 85 | 95 | 95 | 90 | 95 | 98 | 95 |
| | Ausbauasphalt: Verwertungsanteil in % (1) | % | 90 | 80 | 80 | 90 | 95 | 85 | 90 | 95 | 95 |
| A29 | Direkte Verwertung (nur Tiefbau) | % | 60 | 22 | 35 | 40 | 35 | 45 | 45 | 50 | 35 |
| A43 | Anteil Feinfraktion bzgl. Input in Bauschutttaufbereitung | % | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.5 |
| A49 | Aufbereitete RC-Baustoffe für Bauwerk | m ³ fest | Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet | | | | | | | | |
| A51 | Anteil für Terrainanpassung bzgl. Aushubanfall aus Bauwerk | % | 3.0 | 10.3 | 4.4 | 7.5 | 2.4 | 5.0 | 7.0 | 0.4 | 6.9 |
| A56 | Ablagerung Aushub | m ³ fest | Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet | | | | | | | | |
| A58 | Anteil kiesiger Aushub in Aufbereitung bzgl. Aushubanfall | % | 4.1 | 5.8 | 2.6 | 4.7 | 3.9 | 3.7 | 3.8 | 11.9 | 2.1 |
| A78 | Abbau Kies / Sand | m ³ fest | Dieser Materialfluss wird im Modell berechnet | | | | | | | | |
| A86 | Anteil Feinfraktion aus Kiesaufbereitung | % | 1.4 | 4.9 | 9.0 | 2.7 | 5.0 | 10.0 | 3.7 | 27.6 | 3.0 |
| A53.A | Aushub auf Typ A | m ³ fest | 209'513 | 138'972 | 566'900 | 369'805 | 108'844 | - | 245'000 | 13'617 | - |
| A53.B | Aushub auf Typ B | m ³ fest | 19'593 | 301'674 | 71'000 | 91'917 | 2'500 | 43'000 | 184'000 | 14'400 | 182'500 |
| A512 | Aushub in weitere Abbaustellen | m ³ fest | 157'985 | - | - | 82'000 | - | 26'000 | - | - | - |

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

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



3 Resultate

Die Resultate aus den Modellierungen der Materialflüsse der einzelnen Kantone für das Bezugsjahr 2016 liegen für jeden der teilnehmenden Kantone in Form von grafischen Darstellungen und Tabellen vor. Nachfolgend werden die Resultate aus den Modellierungen als Quervergleiche zwischen den Kantonen präsentiert. Im Zentrum stehen dabei vor allem die über- bzw. interregionalen Aspekte.

3.1 Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall

Der Baustoffbedarf bewegte sich in den Kantonen AG, BE, LU, SG, SO, SZ und TG gegenüber dem Vorjahr nur unwesentlich (Bereich: $\pm 3\%$). In den Kantonen ZG und ZH ist jedoch eine erhebliche Zunahme von +18% bzw. +15% zu verzeichnen, was auf eine verstärkte Bautätigkeit gegenüber dem Vorjahr hinweist.

In diesen Kantonen ist auch ein erhöhter Aushubanfall zu verzeichnen. Die Zunahmen fallen mit +3.7% (ZG) und +9.7% (ZH) jedoch geringfügiger als beim Baustoffbedarf aus. Bei einigen Kantonen sind die Veränderungen beim Aushubanfall gegenüber dem Vorjahr deutlich stärker ausgeprägt als beim Baustoffbedarf. Insbesondere in den Kantonen LU und SO ist der Aushubanfall mit -16.6% (LU) bzw. mit -12.6% (SO) relativ stark zurückgegangen. Im Kanton BE ist hingegen eine Zunahme von über 10% zu verzeichnen. Bei den anderen Kantonen (AG, SG und TG) gab es nur geringfügige Veränderungen. Über die gesamte Region gesehen ist etwas mehr Aushub angefallen als im Vorjahr.

Tabelle 6: Modellierter Baustoffbedarf (inkl. Rückbaustoffe), Aushub- und Rückbaumaterialanfall in den verschiedenen Kantonen und der gesamten Region in den Jahren 2015 und 2016, sowie die prozentuale Zu-/Abnahme im Vergleich zum Vorjahr. Angaben in 1'000m³ fest.

| Kanton | Baustoffbedarf | | | Aushubanfall | | | Rückbaumaterialanf. | | |
|--------------|-----------------------------|---------------|------------------|-----------------------------|---------------|------------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| | in 1000 m ³ fest | | Abweich. zu 2015 | in 1000 m ³ fest | | Abweich. zu 2015 | in 1000 m ³ fest | | Abweich. zu 2015 |
| | 2015 | 2016 | in % | 2015 | 2016 | in % | 2015 | 2016 | in % |
| AG | 2'529 | 2'541 | +0.5 | 2'650 | 2'664 | +0.5 | 487 | 437 | -10.3 |
| BE | 3'635 | 3'606 | -0.8 | 2'528 | 2'786 | +10.2 | 941 | 868 | -7.7 |
| LU | 1'732 | 1'790 | +3.3 | 1'423 | 1'187 | -16.6 | 456 | 462 | +1.5 |
| SG | 1'682 | 1'707 | +1.5 | 1'291 | 1'280 | -0.9 | 421 | 420 | -0.3 |
| SO | 885 | 858 | -3.0 | 890 | 778 | -12.6 | 214 | 271 | +26.7 |
| SZ | | 537 | | | 594 | | | 166 | |
| TG | 986 | 969 | -1.7 | 1'126 | 1'094 | -2.9 | 226 | 265 | +17.0 |
| ZG | 434 | 513 | +18.2 | 640 | 663 | +3.7 | 127 | 106 | -16.4 |
| ZH | 3'705 | 4'276 | +15.4 | 4'390 | 4'815 | +9.7 | 1'128 | 960 | -14.8 |
| Total | 15'588 | 16'798 | - | 14'939 | 15'861 | - | 4'000 | 3'956 | - |

Beim Rückbaumaterialanfall sind die Veränderungen deutlich stärker ausgeprägt als im Vorjahr (Rubli, 2017). Während sich die Veränderungen in den Kantonen AG, BE, LU und SG im Bereich von -10% bis +1.5% bewegen, liegen die Veränderungen in den Kantonen SO, TG, ZG und ZH deutlich über $\pm 10\%$. So nahm der Rückbaumaterialanfall in den Kantonen SO mit 26.7% und TG mit +17.0% stark zu, was mit einer verstärkten Rückbautätigkeit in diesen Kantonen zu erklären ist. Demgegenüber nahm der Rückbaumaterialanfall in den Kantonen ZG (-16.4%) und ZH (-



14.8%) relativ stark ab. Interessant ist, dass gerade in diesen Kantonen gleichzeitig der Baustoffbedarf deutlich zugenommen hat.

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. Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist die Summe der Importe und Exporte für jeden Kanton und für die gesamte Region (links oben) jeweils separat angegeben.

3.2.1 Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen

Der Austausch von Kies zwischen den Kantonen ist nach wie vor sehr intensiv (Abbildung 2). Die gesamte Region importierte im Jahr 2016 rund 1.67 Mio. Kubikmeter und exportierte rund 0.6 Mio. Kubikmeter Kies. Der Nettoimport von rund 1 Mio. Kubikmeter Kies in die Region ist vor allem auf die Kiesimporte aus den Nachbarländern Frankreich, Deutschland und Österreich in die Kantone AG, ZH, TG und SG zurückzuführen. Die grössten Nettoimporteure innerhalb der Region sind die Kantone Thurgau (rund 393'000 m³; VJ: 370'000 m³) St. Gallen (459'000 m³; VJ: 503'000 m³) und der Kanton Luzern (527'000 m³; VJ: 638'000 m³). Der Kanton Schwyz weist ebenfalls einen Nettoimport von 62'000 m³ auf, während die Kantone Aargau und Zug Nettoexporteure von 170'000 m³ bzw. 80'000 m³ Kies waren. Die Kantone BE, SO und ZH weisen relativ ausgeglichene Bilanzen auf.

3.2.2 Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Da die Aushub- und Kiestransporte per LKW zur Optimierung der Transportlogistik oftmals gekoppelt sind, resultiert ein entsprechender Austausch von Aushubmaterial zwischen den Kantonen (Abbildung 3). Auffallend sind noch immer die sehr grossen Materialflüsse über die Grenze des Kantons Zürich. Mit einem Exportvolumen von 1.33 Mio. Kubikmetern (VJ: 1.53 Mio. m³) wurden im Jahr 2016 rund 13% weniger Aushubmaterial exportiert als im Vorjahr. Weiterhin gelangt knapp die Hälfte (594'000 m³) des exportierten Aushubvolumens des Kantons Zürich in den Kanton Aargau, gefolgt von Exporten nach Deutschland (361'000 m³) sowie in die Kantone Zug (193'000 m³) und St. Gallen (86'000 m³). Die Kantone Aargau und Zug weisen aufgrund dessen, hohe Nettoimporte von 352'000 m³ bzw. 201'000 m³ auf. Die Kantone St.Gallen und Solothurn weisen ebenfalls recht hohe Nettoimporte im Umfang von 112'000 m³ (SG: Vorjahr 200'000 m³) und 148'000 m³ (SO) auf, währenddessen der Kanton Luzern netto rund 60'000 m³ exportiert. Die Kantone BE, TG und SZ weisen relativ ausgeglichene Bilanzen auf.

3.2.3 Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Die Rückbaumaterialflüsse Abbildung 4 über die Kantonsgrenzen sind deutlich geringer als beim Kies und Aushubmaterial. Da die Bauschuttzubereitungsanlagen oftmals in der Nähe von dichtbesiedelten Räumen stehen, bewegt sich der Austausch über die Kantonsgrenzen hinweg auf tiefem Niveau. Die meisten Import- und Exportflüsse basieren sehr auf groben Schätzungen und weisen entsprechende Unsicherheiten auf.

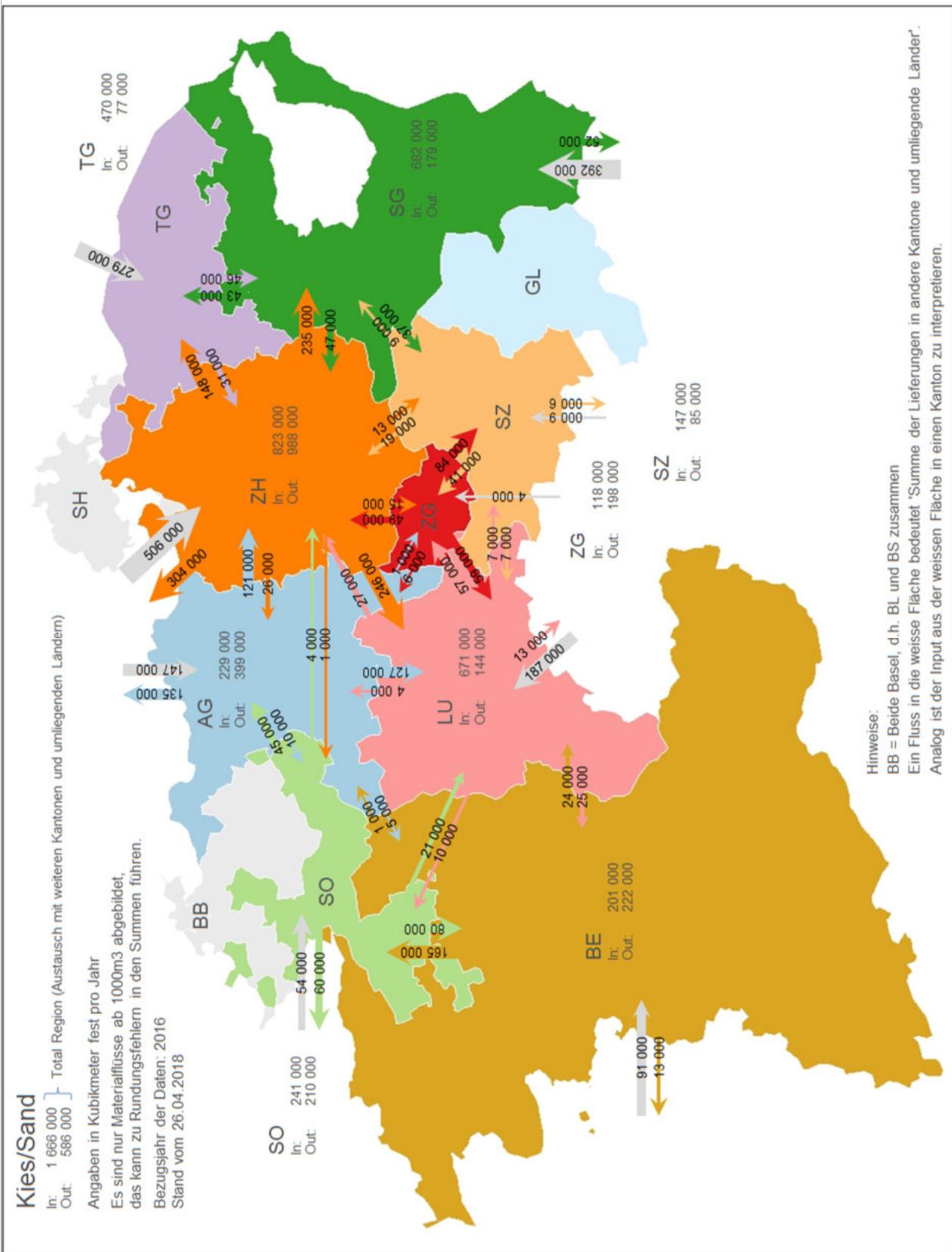


Abbildung 2: Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2016. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Kies» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

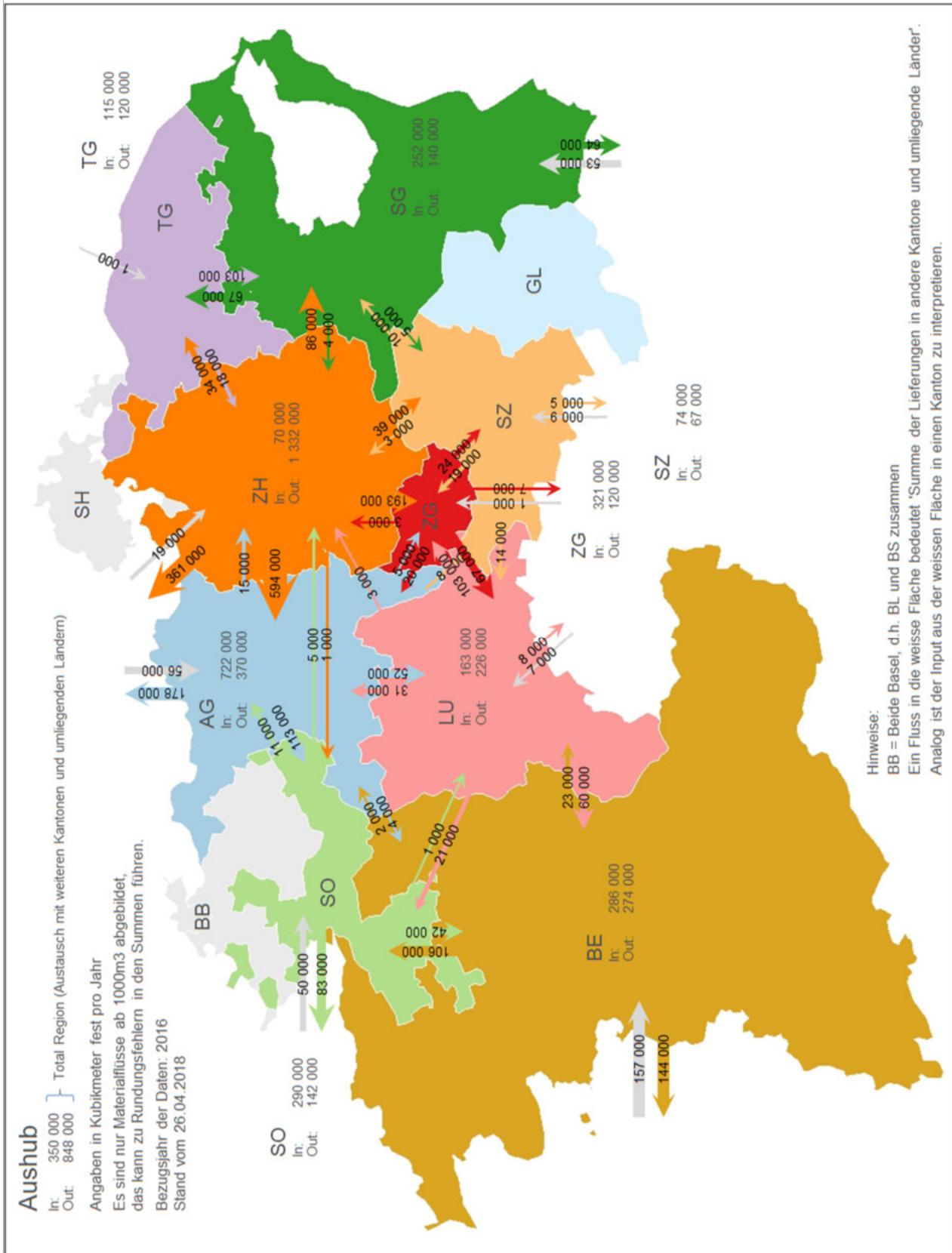


Abbildung 3: Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2016. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Aushub» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

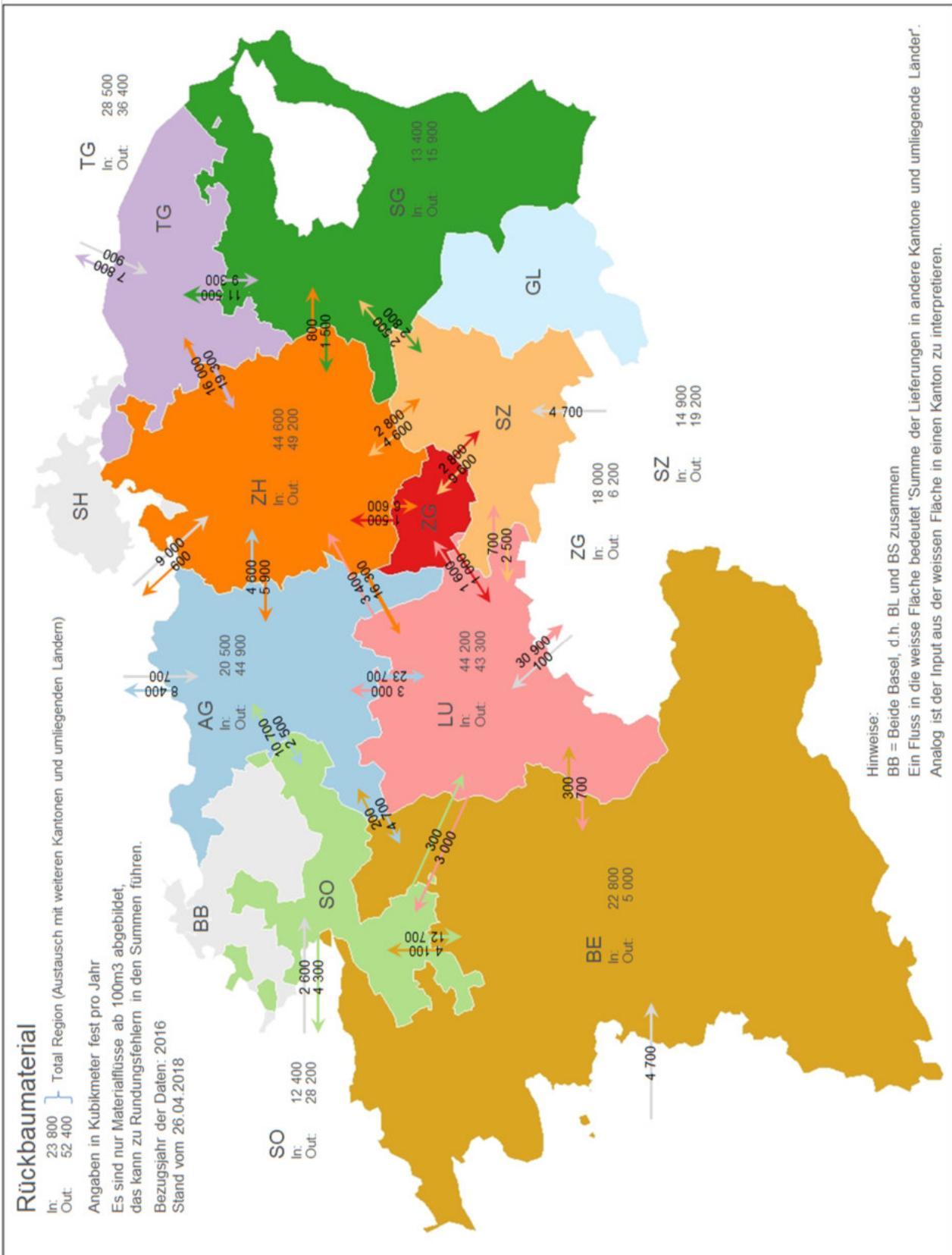


Abbildung 4: Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2016. Die Werte unterhalb der Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafittitel «Rückbaumaterial» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.



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.

Baustoffversorgung bzw. Versorgung mit mineralischen Gesteinskörnungen

In der Abbildung 5 sind die regionalen Autarkiegrade der Baustoffversorgung für die Bezugsjahre 2013, 2014, 2015 und für die Versorgung mit mineralischen Gesteinskörnungen für das Bezugsjahr 2016 dargestellt. Da im Modell für das Bezugsjahr 2016 die Kiesflüsse und die weiteren mineralischen Baustoffflüsse nun getrennt voneinander modelliert werden, kann nun neu der Autarkiegrad in Bezug auf die mineralische Gesteinskörnung (Kies + RC-Gesteinskörnungen) dargestellt werden. In der Abbildung 5 sind die Autarkiegrade für Kies für das Jahr 2016 als gepunktete Säulen dargestellt. Dies führt bei gewissen Kantonen zu entsprechenden Unterschieden beim Vergleich der Autarkiegrade mit den Vorjahren. So liegen diese nun in den Kantonen Aargau², Bern² und Solothurn² im Jahr 2016 deutlich tiefer als in den Vorjahren, da in diesen Kantonen der Kalk- und Mergelabbau für die Zementproduktion sowie teilweise auch der Ton- und Gipsabbau nicht mehr mit einbezogen ist. Dafür ist nun die Vergleichbarkeit zwischen den Kantonen besser gewährleistet. In den Kantonen AG, BE, SO und ZH liegen die Autarkiegrade im Bereich von 100%. Demgegenüber bewegen sich in den Kantonen LU, SG und TG die Autarkiegrade mit 54% – 67% auf deutlich tieferen Niveaus. Zudem nimmt in den Kantonen SG und TG der Autarkiegrad tendenziell ab. Die tiefen Werte in diesen beiden Kantonen sind auf die starken Kiesimporte aus den grenznahen Abbaustellen in Deutschland und Österreich zurückzuführen. Der Kanton Luzern weist aufgrund hängiger Kiesabbaubewilligungsverfahren, welche zurzeit den Kiesabbau einschränken, einen tiefen Autarkiegrad auf. Es ist davon auszugehen, dass sich die Situation in diesem Kanton in den kommenden Jahren verbessern wird. Im Kanton Zug variiert die jährliche Veränderung des Autarkiegrades relativ stark zwischen 91% und 132%. Aufgrund der geringen Fläche des Kantons wirken sich Veränderungen bei den Importen und Exporten relativ stark auf den

¹ Formel → Autarkiegrad Baustoffe (bis 2015) = $(\text{Abbau Primärmaterial} - \text{Feinfraktion aus Primärmaterialabbau} + \text{RC-Baustoffe} + \text{direkte Verwertung RC-Baustoffe} + \text{aufbereiteter kiesiger Aushub}) / \text{Baustoffbedarf} \times 100\%$.

Formel → Autarkiegrad min. Gesteinskörnung (ab 2016) = $(\text{kiesig. Aushub} + \text{Kiesabbau} - \text{FF Kiesabbau} + \text{RC-Granul.} + \text{Rc direkte Verw.}) / (\text{Kies aus Aufber.} + \text{RC-Granul.} + \text{Rc direkte Verw.}) \times 100\%$.

Formel → Autarkiegrad Aushubentsorgung = $(1 - (\text{Aushubexport} - \text{Aushubimport}) / \text{Anfall Aushub}) \times 100\%$.

² Bei den Kantonen Aargau, Bern und Solothurn sind bis zum Bezugsjahr 2015 auch die Baustoffe Kalkstein, Mergel und Tonminerale enthalten. Ab dem Bezugsjahr 2016 bezieht sich der Autarkiegrad auf die mineralische Gesteinskörnung (Kies + RC-Gesteinskörnungen).



Autarkiegrad aus. Im Kanton Schwyz wurde der Autarkiegrad erstmals bestimmt. Dieser liegt für das Bezugsjahr 2016 bei 87%.

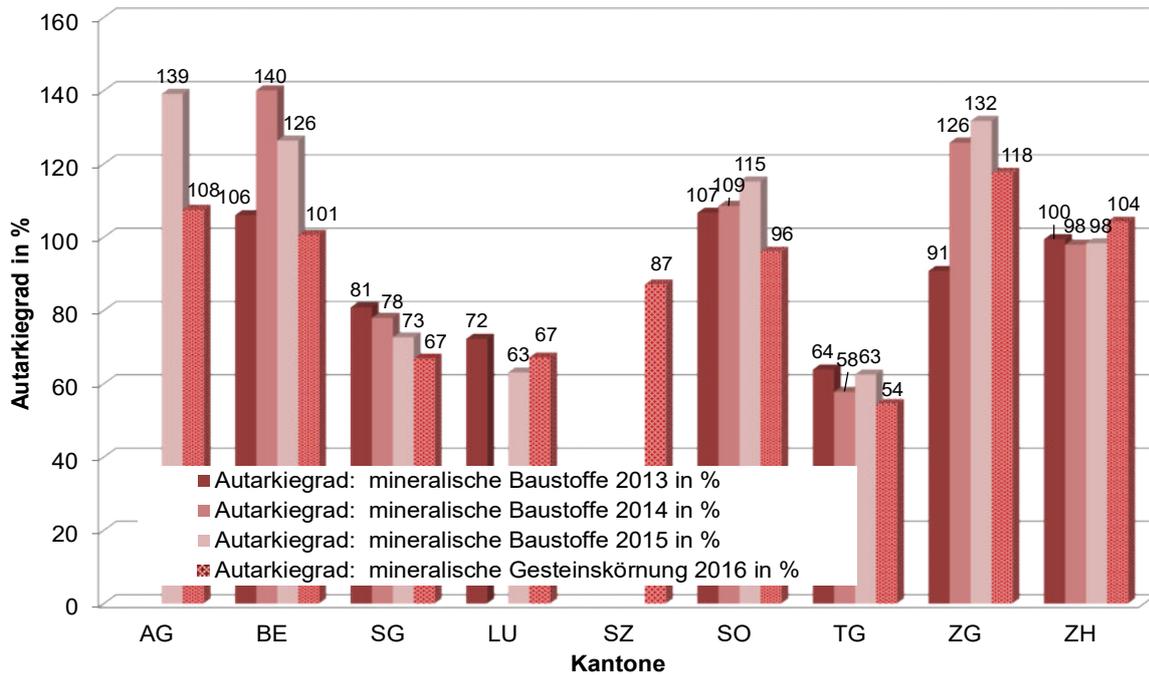


Abbildung 5: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Versorgung mit mineralischen Baustoffen bzw. mineralische Gesteinskörnung (Bezugsjahr 2016) für die Bezugsjahre 2013 - 2016. Angaben in Prozenten.

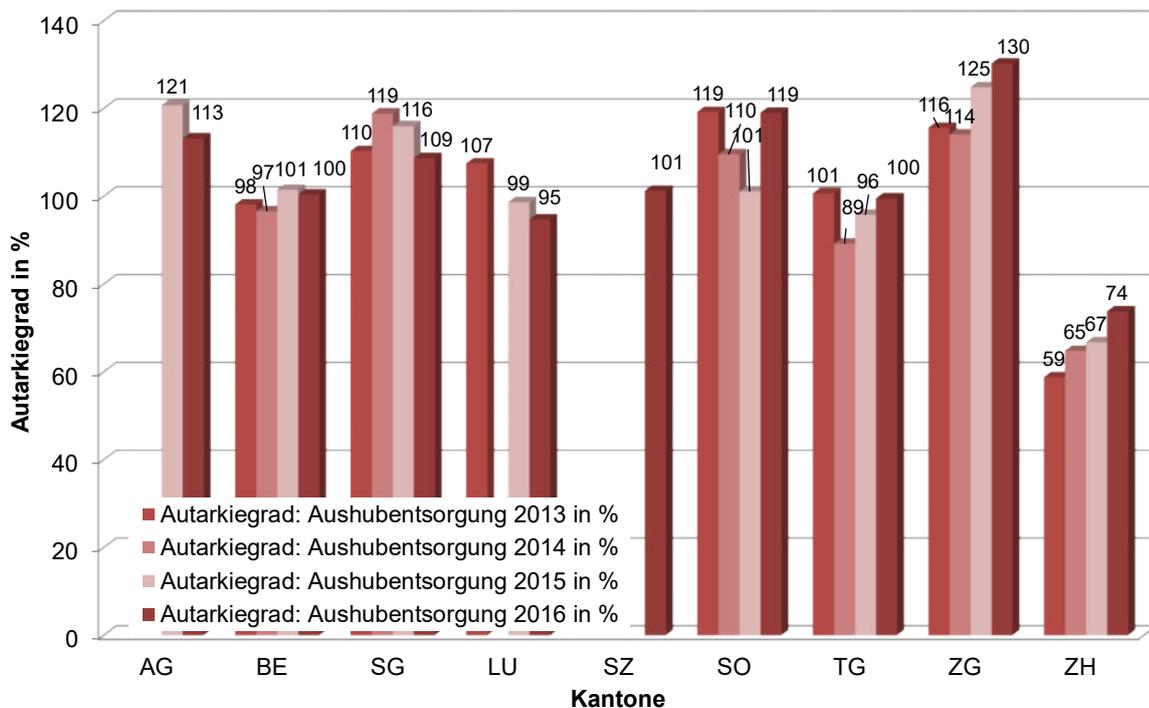


Abbildung 6: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Aushubentsorgung für die Bezugsjahre 2013 - 2016. Angaben in Prozenten.



Aushubentsorgung

Bei der Aushubentsorgung haben sich die Autarkiegrade gegenüber den Vorjahren nicht sehr stark verändert (Abbildung 6). Bis auf den Kanton Zürich bewegen sich die Autarkiegrade in allen Kantonen im Bereich von 100% oder darüber. Im Kanton Zug ist der Autarkiegrad nochmals um 5% auf 130% angestiegen. Auch im Kanton Solothurn hat der Autarkiegrad mit 119% den Stand von 2013 erreicht. Im Kanton Zürich ist der Autarkiegrad im betrachteten Zeitraum von 59% auf 74% angestiegen. Er verbleibt jedoch noch immer auf tiefem Niveau.

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 2016 dargestellt. Der pro-Kopf-Baustoffbedarf bewegt sich im Bereich von 2.9 – 4.4 m³/Einwohner. Der Höchstwert wird im Kanton Luzern aufgrund der noch immer intensiven Bautätigkeit erreicht (siehe Tabelle 4). In den Kantonen AG, BE, SG LU, SO und TG veränderten sich der pro-Kopf-Baustoffbedarf im Bereich ±0.1 m³/Einwohner. Grössere Veränderungen sind in den Kantonen Zug und Zürich zu verzeichnen, wo der pro-Kopf-Baustoffbedarf um 0.5 bzw. 0.4 m³/Einwohner gegenüber dem Vorjahr zunahm (Rubli 2017). Bei den anderen Kantonen sind die Veränderungen weniger stark. Im Kanton Schwyz liegt der pro-Kopf-Baustoffbedarf bei 3.5 m³/Einwohner, was in etwa dem Mittelwert aller Kantone entspricht.

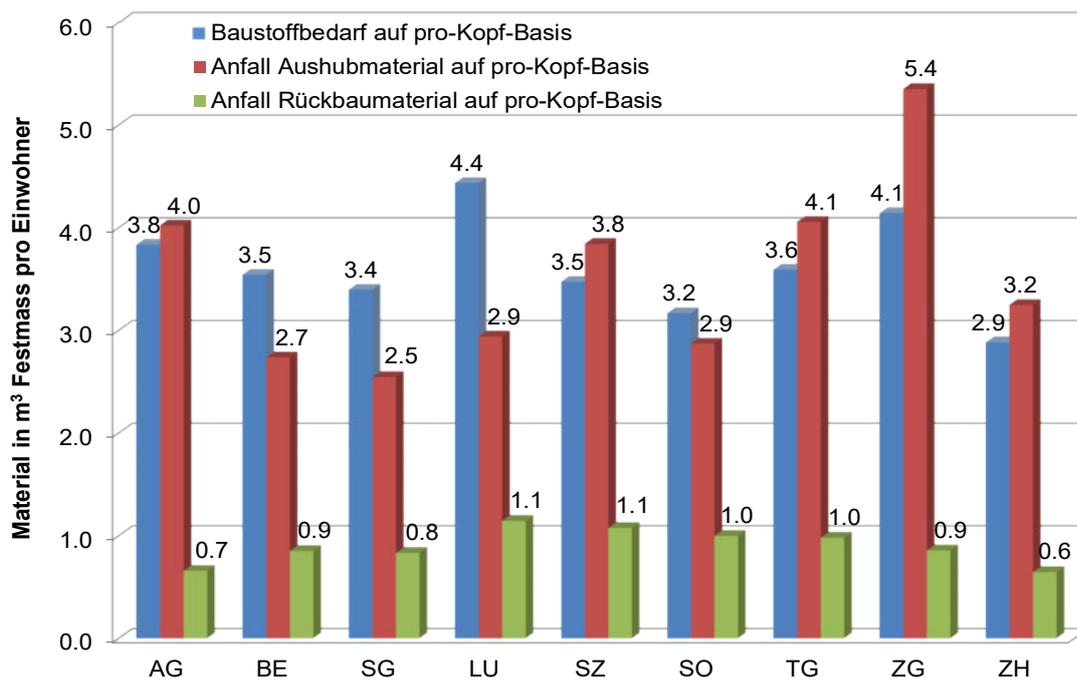


Abbildung 7: Vergleich des Baustoffbedarfs (blaue Säulen), des Rückbaumaterialanfalls (grün) und des Aushubanfalls aus dem Bauwerk (braun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2016 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

Beim Aushubanfall aus dem Bauwerk liegt die Bandbreite zwischen 2.5 – 5.4 m³/Einwohner. Im Kanton Zug wird mit 5.4 m³/Einwohner der höchste pro-Kopf-Aushubanfall erreicht. Die Veränderungen bei den pro-Kopf-Werten gegenüber dem Vorjahr sind mit Ausnahme der



Kantone LU und SO bei allen Kantonen relativ gering ($\pm 0.2 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$). Im Kanton Luzern nahm der Wert um $-0.7 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ und im Kanton Solothurn um $-0.4 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ ab.

Die pro-Kopf-Werte für die Rückbaustoffe haben sich kaum verändert und liegen zwischen $0.6 - 1.1 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$.

Während die pro-Kopf-Werte des Baustoffbedarfs jene des Aushubmaterialanfalls in vielen Kantonen übertreffen (Abbildung 7), ist dies beim Vergleich des Kies-/Sandabbaus und des Aushubmaterialanfalls nicht der Fall (Abbildung 8). Hier liegen die pro-Kopf-Wert des Kies-/Sandabbaus meist deutlich niedriger als jene des Aushubmaterialanfalls. Die teilweise grossen Unterschiede sind einerseits auf die Rückführung der RC-Granulate in die Baustoffproduktion zurückzuführen, andererseits auf die Kiesimporte, welche zu einem geringeren Kiesabbau führen. In den Kantonen SG und TG sind die grossen Unterschiede der pro-Kopf-Werte des Kies-/Sandabbaus und des Aushubmaterialanfalls zu einem grossen Teil auf die massiven Kiesimporte vor allem aus den Nachbarländern zurückzuführen. Bei den anderen Kantonen liegen die Differenzen jeweils im Bereich von 1.0 bis $1.3 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$. Ein grosser Teil dieser Differenz wird durch die Rückführung der RC-Granulate in den Prozess «Baustoffe produzieren» abgedeckt (grüne Säulen in der Abbildung 8). Diese pro-Kopf-Wert liegen zwischen $0.6 - 1.0 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$. Damit kann die Substitution von Kies durch die Rückbaustoffe auf nachvollziehbare Weise dargestellt werden. Ebenfalls erkennbar wird die damit verbundene Problematik des fehlenden Ablagerungsvolumens für Aushubmaterial.

Die pro-Kopf-Werte des Aushubanfalls und der Aushubablagerung liegen in den meisten Kantonen relativ nahe beieinander, was sich auch in den entsprechenden Autarkiegraden der Kantone in Abbildung 6 widerspiegelt. Grösser Unterschiede sind insbesondere in den Kantonen ZG und ZH festzustellen. Während im Kanton Zug der Werte für das abgelagerte Aushubmaterial mit $6.3 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ deutlich höher liegt als jener des Aushubanfalls ($5.4 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$), ist es im Kanton Zürich genau umgekehrt. Hier liegt der Aushubanfall mit $3.2 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ deutlich höher als das abgelagerte Aushubvolumen mit $2.1 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$, was mit den hohen Aushubexportvolumen zu erklären ist.

In der Abbildung 9 sind die abgelagerten Aushubmengen aus den Kantonen (grüne Säulen), sowie die Importe (dunkelbraun) und Exporte (hellbraun) dargestellt³. Gut zu erkennen ist, dass insbesondere die Kantone AG, SO und ZG auf pro-Kopf-Basis deutlich mehr Aushubmaterial importieren als exportieren. Umgekehrt ist die Situation im Kanton Zürich, wo kaum Aushubmaterial importiert aber grosse Volumen exportiert werden. In den anderen Kantonen halten sich die Importe und Exporte von Aushubmaterial in etwa die Waage. Zudem bewegen sich diese im Verhältnis zum pro-Kopf-Wert des abgelagerten Aushubmaterials auf einem relativ tiefen Niveau.

³ In der Abbildung 9 ist der Materialfluss von kiesigem Aushubmaterial, welcher zu Kies/Sand aufbereitet wird, nicht enthalten. Dieser Materialfluss ist jedoch in der Abbildung 8 bei der Aushubablagerung (hellbraue Säulen) berücksichtigt.

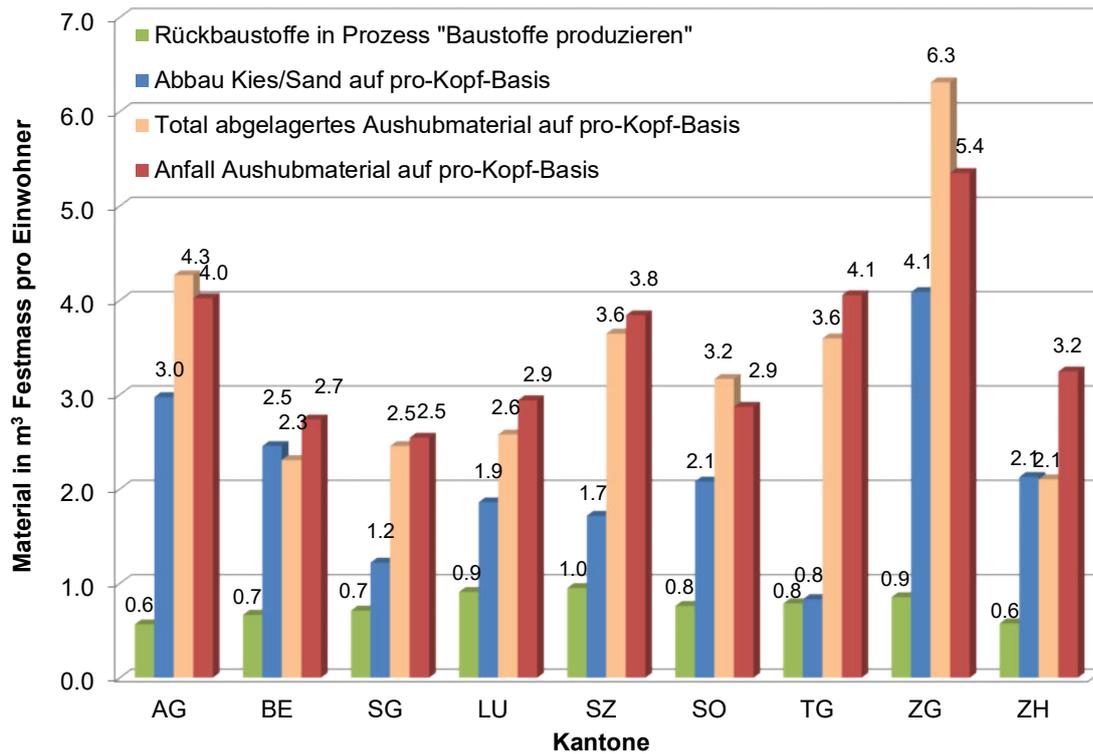


Abbildung 8: Vergleich des Rückbaustoffflusses (grüne Säulen), des Kies-/Sandabbaus (blaue Säulen), der Aushubablagerung (inkl. Ablagerung in weiteren Entnahmestellen, ohne Terrainanpassungen) (hellbraun) und des Aushubanfalls aus dem Bauwerk (rot-braun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2016 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

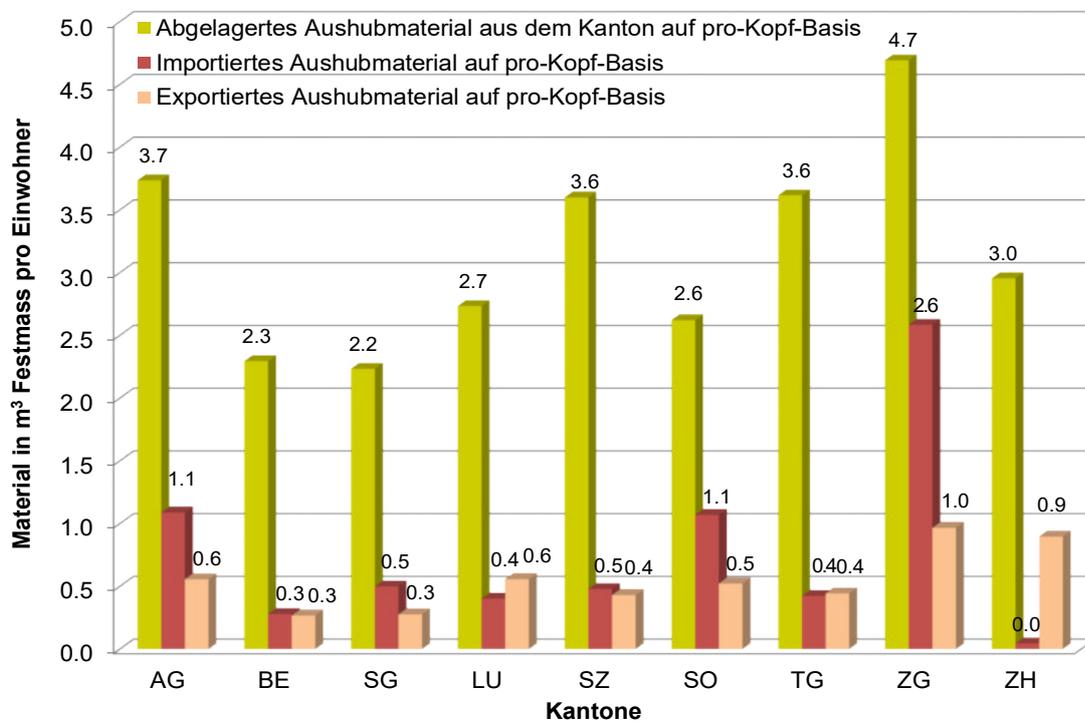


Abbildung 9: Aus den Kantonen stammende Aushubvolumina, die in den Kantonen abgelagert wurden sowie die Aushubimporte- und Exporte auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2016.



3.5 Entwicklung der Materialflüsse bis 2035

In den nachfolgenden Kapiteln sind die zeitlichen Entwicklungen der Materialflüsse bis zum Jahr 2035 (Linien) sowie die erhobenen und modellierten Materialflüsse der einzelnen Jahre (als Säulen) der neun Kantone abgebildet und beschrieben. Die Resultate der Szenarien «Mittel» (ausgezogene Linien in Abbildungen 10 - 12) entsprechen bei allen Kantonen in etwa den ehemaligen Szenarien «Hoch», welche auf den BFS-Szenarien aus dem Jahr 2010 basieren.

3.5.1 Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls

In der Abbildung 10 sind die mit dem dynamischen Modell gerechneten, szenarioabhängigen Entwicklungen des Baustoffbedarfs und des Aushubanfalls zwischen 2010 und 2035 sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010 – 2016 für die Kantone ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO, SZ und ZG dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass der modellierte Baustoffbedarf und Aushubanfall, welche auf den jährlichen Erhebungen der Kantone basieren, weiterhin in allen Kantonen gut mit den modellierten Entwicklungen dieser Materialflüsse übereinstimmen. Auch beim Kanton Schwyz, welcher nach einigen Jahren erstmals wieder eine Modellierung durchführen liess, sind die Übereinstimmungen der Modellresultate gut. Beim Kanton Thurgau liegt der Aushubanfall wie im Vorjahr 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. Im nächsten Modellierungszyklus wird deshalb der Startpunkt vermutlich entsprechend erhöht werden. Ähnliches gilt beim Kanton Solothurn für den Baustoffbedarf. Sollte der Baustoffbedarf bei der nächsten Modellierung wiederum deutlich tiefer liegen als die modellierte Entwicklung werden die Parameter der Dämpfungsfunktion so angepasst, dass die Entwicklung des Baustoffbedarfs sinkende Tendenz aufweisen wird.

Bei den anderen Kantonen sind keine Änderungen im dynamischen Modell notwendig. Die Resultate zeigen, dass die Modellierung des Bauwerks in den meisten Kantonen in Bezug auf die zeitlichen Entwicklungen der Materialflüsse in das und aus dem Bauwerk nun bereits über einen längeren Zeitraum relativ robuste Resultate liefert.

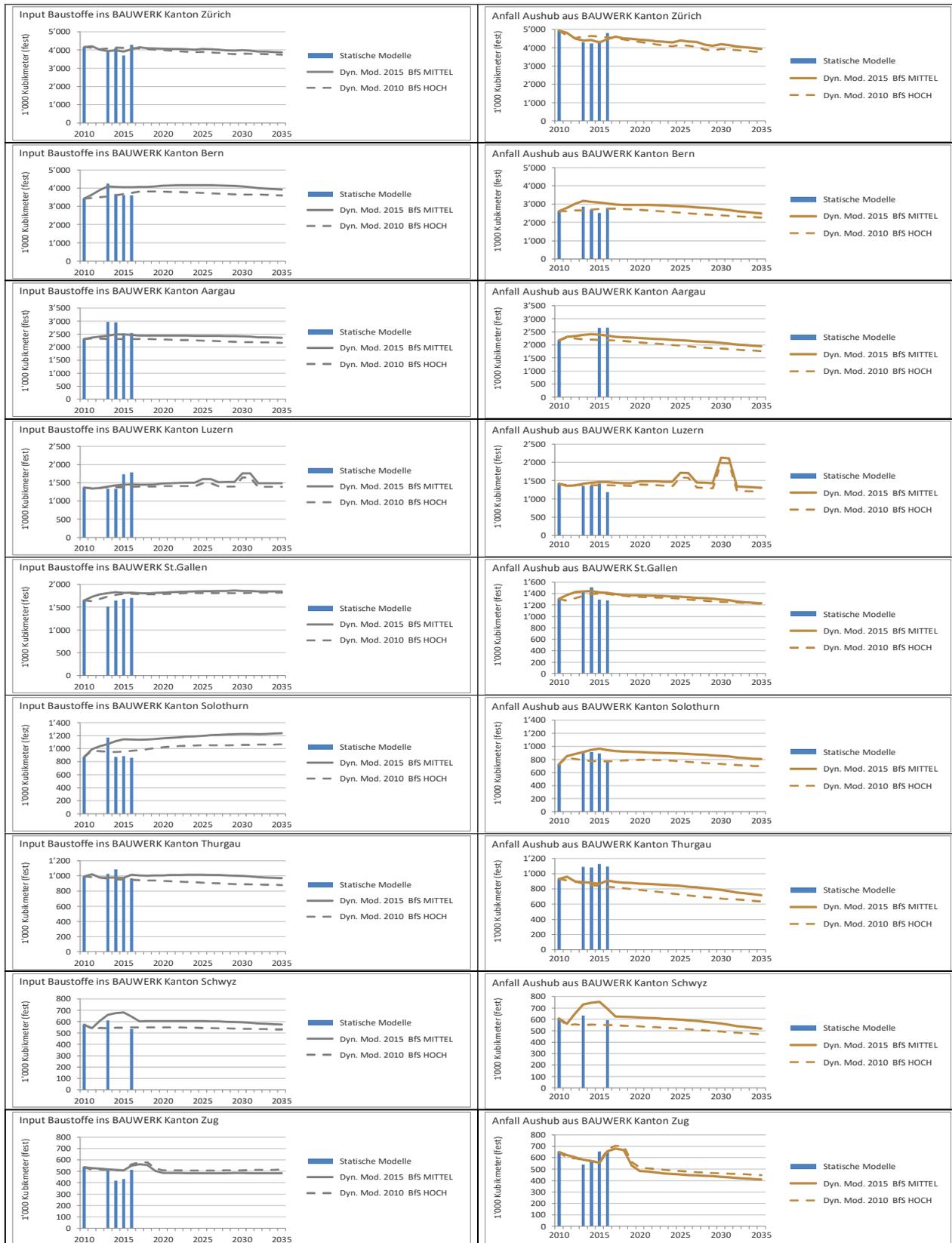


Abbildung 10: Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubanfalls in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO, SZ und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2016. Angaben in 1000 m³ fest.



3.5.2 Entwicklung des Primärmaterialabbaus und der Aushubablagerung

Kenntnisse zur künftigen Entwicklung des Abbaus von Primärmaterialien und zur Aushubablagerung sind insbesondere für die Planung von Kiesabbaugebieten und immer mehr auch für die Planung von Aushubdeponien von grosser Bedeutung für die einzelnen Kantone. In der Abbildung 11 sind die zeitlichen Entwicklungen dieser Materialflüsse analog der Abbildung 10 für alle Kantone dargestellt. Auch hier stimmen die in den statischen Modellen gerechneten Werte (dunkelblaue Säulen) sowie die von den Kantonen angegebenen Werte (hellblaue Säulen) zum Primärmaterialabbau und zur Aushubablagerung⁴ in allen Kantonen recht gut mit den modellierten Entwicklungen dieser Materialflüsse überein. Gut zu erkennen ist zudem die meistens gute Übereinstimmung der hell- und dunkelblauen Säulen. Dies zeigt, dass die mit dem statischen Modell gerechneten Materialflüsse möglichst nahe an die Werte der von den Kantonen erhobenen Materialflüsse «modelliert» wurden.

Die Achsenskalierungen in den Grafiken zum Primärmaterialabbau und Aushubablagerungen sind jeweils auf die gleiche maximale Höhe eingestellt. Damit können die zeitlichen Entwicklungen dieser Materialflüsse besser miteinander verglichen werden. Die Niveaus von Primärmaterialabbau und Aushubablagerung unterscheiden sich bei den einzelnen Kantonen teilweise deutlich: Im Kanton Bern liegt das Aushubablagerungsvolumen deutlich tiefer als das Abbauvolumen der Primärmaterialien, was teilweise auf den zusätzlichen Abbau von Kalk und Mergel zurückzuführen ist. Dies ist auch beim Kanton Aargau der Fall. Allerdings ist der Unterschied nicht so stark ausgeprägt wie beim Kanton Bern. In den Kantonen Solothurn und Zürich liegt die Aushubablagerung in etwa auf gleicher Höhe wie der Primärmaterialabbau. Während im Kanton Solothurn ebenfalls der Abbau von Kalkgestein und Tonmineralien einen Beitrag zu einer ausgeglichenen Bilanz leistet, sind es im Kanton Zürich die massiven Aushubexporte, welche zu einer ausgeglichenen Bilanz von Primärmaterialabbau und Aushubablagerung führen. Müsste der im Kanton Zürich anfallende Aushub vollständig innerhalb des Kantons abgelagert werden, würde das Aushubablagerungsvolumen deutlich über dem Kiesabbauvolumen liegen.

In den Kantonen Luzern, Thurgau, St.Gallen und Schwyz liegt die Aushubablagerung relativ deutlich über dem Niveau des Primärmaterialabbaus. Diese Kantone importieren im Verhältnis zum Kiesabbau netto relativ viel Kies aus den Nachbarkantonen bzw. aus den Nachbarländern. 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 aufgrund von Nettoexporten von Kies und Nettoimporten von Aushubmaterial über dem Niveau des Primärmaterialabbaus.

⁴ Summe aus Aushubmaterialflüssen in die Teil- und Wiederauffüllung von Entnahmestellen «Kiesgruben» und «weitere Primärmaterialien», Deponien Typ A+B.

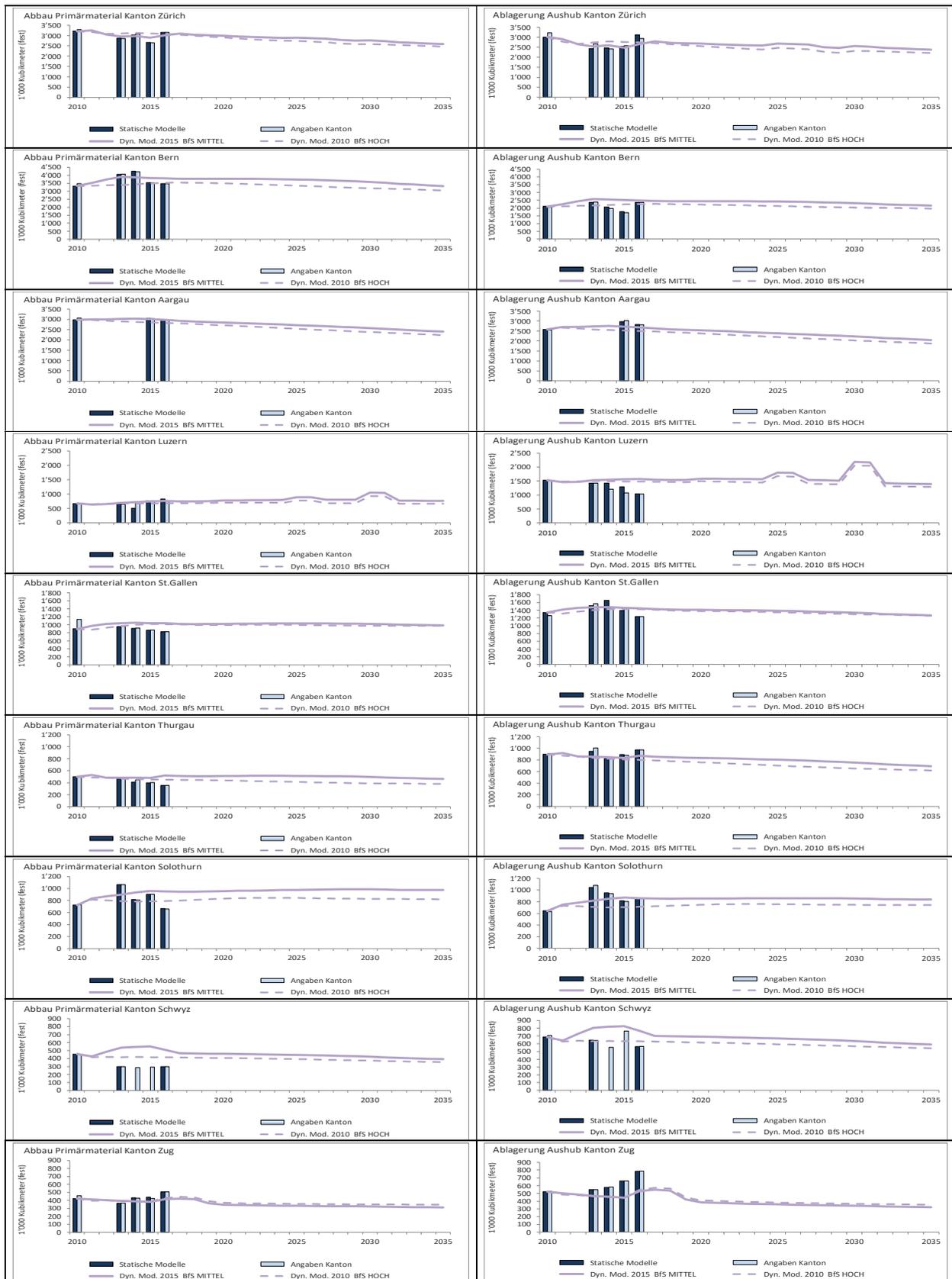


Abbildung 11: Entwicklung des Primärmaterialabbaus und der Aushubablagerung in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO, SZ und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2016. 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, SZ und ZG zwischen 2010 und 2035 sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 bis 2016 dargestellt. In der jährlichen und kumulierten Differenz nicht, beziehungsweise nur indirekt berücksichtigt, sind die Aushub- sowie Kiesimporte und –exporte. Würden beispielsweise die Aushubimporte im Kanton Zürich 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, SG, und SZ relativ gut mit den Werten der Bezugsjahre 2013 bis 2016 überein.

Der Kanton Solothurn weist sowohl positive als auch negative Werte auf, welche mehr oder weniger stark vom Nullwert abweichen. Die Entwicklung der kumulierten Differenz (Grafik rechts) verläuft deshalb relativ nahe beim Nullwert. Sofern in den kommenden Jahren keine starken Veränderungen stattfinden, ist somit davon auszugehen, dass keine zusätzlichen oder allenfalls nur kleine Aushubdeponien notwendig sind.

In den Kantonen LU, SG, TG, SZ und ZG verlaufen die kumulierten Differenzen 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 entsprechend exportiert werden. Die Kantone ZG und Kanton SZ weisen vor allem Nettoimporte von Aushubmaterial auf. Hier könnten als Massnahme zur Reduktion der kumulierten Differenz die Aushubimporte reduziert werden. In den Kantonen LU, SG und TG sind hauptsächlich die Kiesimporte für die ansteigende kumulierte Differenz verantwortlich. Diese müssten deshalb stark reduziert werden, um eine ausgeglichene Bilanz zu erreichen.

In den Kantonen ZH, BE und AG verläuft die kumulierte Differenz in den negativen Bereich. Je nach Kanton sind unterschiedliche Aspekte dafür verantwortlich: Im Kanton Zürich sind es vor allem die massiven Aushubmaterialexporte, welche zu dieser Entwicklung führen. Im Kanton Bern wird, im Vergleich zu anderen Kantonen, mehr Aushubmaterial wieder aufbereitet und es werden relativ grosse Mengen an weiteren Primärmaterialien abgebaut. Dies führt zu einer im Vergleich zu den anderen Kantonen sehr grossen kumulierten Differenz, welche bis zum Jahr 2025 auf -30 Mio. m³ anwächst. Beim Kanton Aargau ist es ähnlich, allerdings auf deutlich tieferem Niveau. Die kumulierte Differenz erreicht bis 2035 einen Wert von knapp -8 Mio. m³.

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 (z.B. im Kanton Zürich in Diskussion), Aushubimporte aus anderen Kantonen reduziert 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.

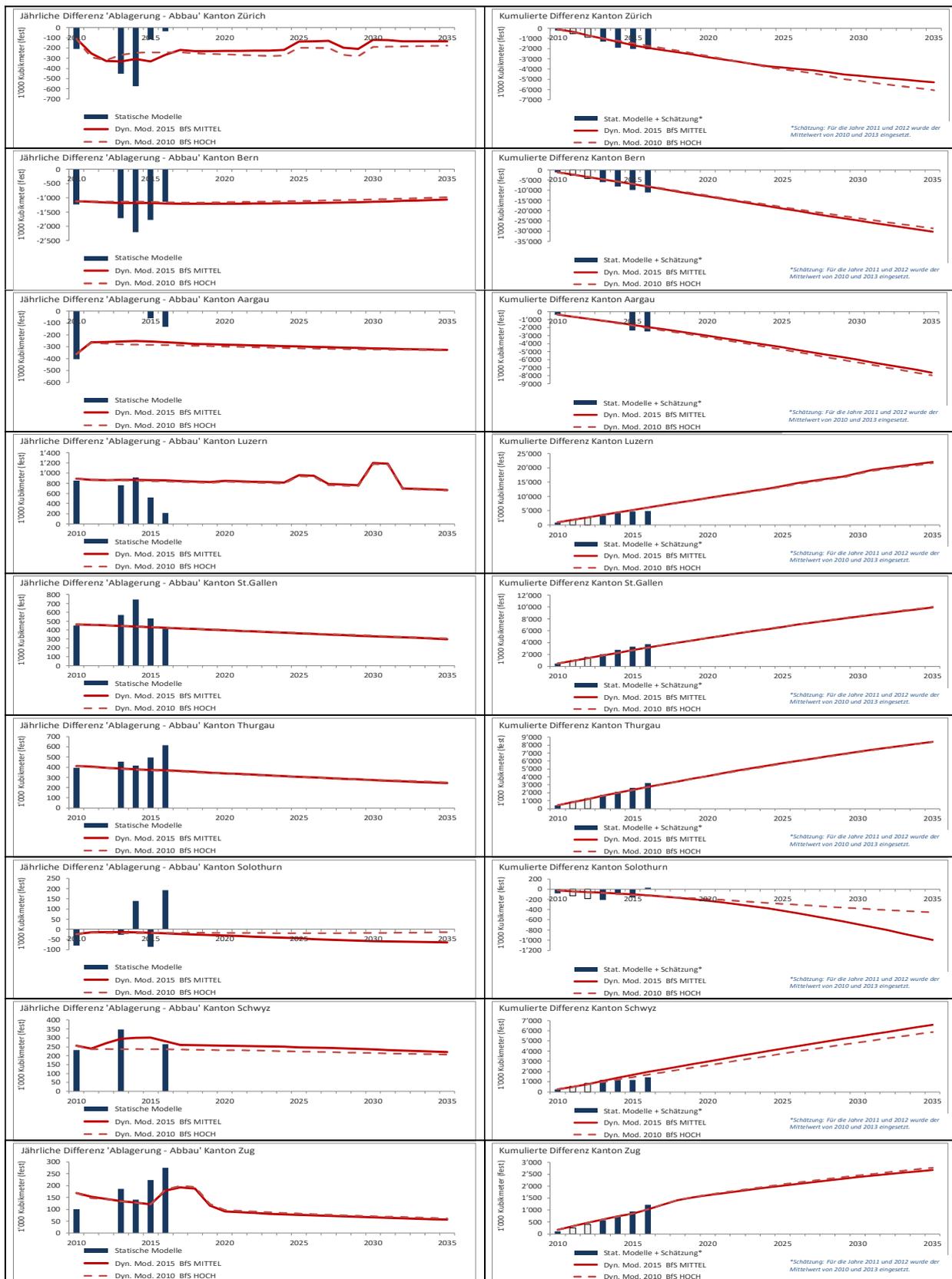


Abbildung 12: Entwicklung der jährlichen Differenz „Ablagerung –Abbau“ und die kumulierte Differenz in den Kantonen ZH, BE, AG, LU, SG, TG, SO, SZ und ZG zwischen 2010 und 2035 (ausgezogene Linien: Szen. «Mittel, BFS 2015», gestrichelte Linien Szen. «Hoch, BFS 2010»), sowie die Daten aus den Modellierungen der Bezugsjahre 2010, 2013 - 2016. Angaben in 1000 m³ fest.



4 Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Gesteinskörnungsbedarf und Verwertung der Rückbaustoffe (RBS)

Mit dem überarbeiteten statischen Modell kann neben dem Baustoffbedarf (siehe Tabelle 6) erstmals auch der Gesteinskörnungsbedarf (GK-Bedarf) des Bauwerks ausgewiesen werden. In der Tabelle 7 sind der Gesteinskörnungsbedarf, welcher durch Kies/Sand sowie den Rückbaustoffen gedeckt wird, der Rückbaumaterialanfall inklusive Nettoimporte, die verwerteten Rückbaustoffvolumen sowie die Verhältnisse RBS/RBM (Definition unterhalb Tabelle 7) und die RBS-Anteile am GK-Bedarf für die Kantone AG, BE, LU, SG, SO, SZ, TG, ZG und ZH und in der gesamten Region für die Jahre 2015 und 2016 aufgeführt. Die Veränderungen der Materialflüsse und der Verhältnisse im Vergleich zu jenen des Vorjahres bewegen sich in einer relativ engen Bandbreite. Der Gesteinskörnungsbedarf hat in einer Mehrzahl der Kantone gegenüber dem Vorjahr zugenommen, wobei insbesondere in den Kantonen ZG und ZH aufgrund der regen Bautätigkeit relativ starke Zunahmen festzustellen sind. Der GK-Bedarf in der gesamten Region (inkl. Kanton SZ) lag im Jahr 2016 bei rund 16.8 Mio. Kubikmetern (Vorjahr 13.9 Mio. Kubikmeter ohne Kt.SZ).

Tabelle 7: Gesteinskörnungsbedarf (GK-Bedarf), Anfall von Rückbaumaterial (RBM) inklusive Nettoimporte, total verwertete Rückbaustoffe (RBS) sowie das Verhältnis RBS/RBM und der RBS-Anteil am GK-Bedarf in den Kantonen AG, BE, LU, SG, SO, SZ, TG, ZG und ZH sowie in der gesamten Region im Jahr 2015 und 2016.

| Kanton | GK-Bedarf 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 GK-Bedarf in % | |
|--------------|--|---------------|---|--------------|--|--------------|---|-------------|---------------------------------|-------------|
| | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 |
| AG | 2'247 | 2'258 | 449 | 413 | 419 | 386 | 93.2 | 93.5 | 18.6 | 17.1 |
| BE | 3'219 | 3'193 | 928 | 886 | 783 | 685 | 84.3 | 77.3 | 24.3 | 21.5 |
| LU | 1'554 | 1'606 | 443 | 463 | 371 | 398 | 83.7 | 85.9 | 25.6 | 24.8 |
| SG | 1'495 | 1'518 | 405 | 417 | 386 | 376 | 91.6 | 90.2 | 25.1 | 24.8 |
| SO | 794 | 770 | 215 | 255 | 183 | 217 | 84.8 | 85.0 | 27.3 | 28.1 |
| SZ | - | 484 | - | 162 | - | 150 | - | 92.7 | - | 31.1 |
| TG | 878 | 863 | 223 | 257 | 215 | 223 | 96.4 | 86.9 | 25.4 | 25.9 |
| ZG | 381 | 451 | 127 | 118 | 112 | 111 | 87.1 | 94.0 | 29.1 | 24.7 |
| ZH | 3'336 | 3'851 | 1'088 | 956 | 1'010 | 882 | 92.9 | 92.3 | 26.4 | 22.9 |
| Total | 13'904 | 16'798 | 3'878 | 3'927 | 3'479 | 3'428 | 89.6 | 87.3 | 24.5 | 22.9 |

⁽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 / RBMin 1000m³ x 100%

Der Rückbaumaterialanfall und die Rückbaustoffmengen nahmen gegenüber dem Vorjahr in den meisten Kantonen und in der gesamten Region leicht ab, was darauf hindeutet, dass sich die Rückbau- und Sanierungstätigkeit leicht zurückgebildet hat. Die Verhältnisse RBS/RBM unterliegen aus verschiedenen Gründen grösseren Schwankungen. Dies kann verschiedene Gründe haben: Einerseits können sich die Materialqualitäten der Rückbaumaterialien verändern. Rückbaumaterial aus Gebäuderückbauten weisen beispielsweise höhere Qualitäten auf als Rückbaumaterial aus Sanierungen. Hier muss mehr Material in Deponien entsorgt werden.



Zudem spielt auch der Deponierungspreis für Mischabbruch eine wesentliche Rolle bezüglich des Entscheides, ob Mischabbruch aufbereitet oder deponiert wird. Das RBS/RBM-Verhältnis hat in der gesamten Region von 89.2% auf 87.3% abgenommen, bewegt sich aber noch immer auf einem relativ hohen Niveau.

Der Anteil der Rückbaustoffe am gesamten Gesteinskörnungsbedarf ist aussagekräftiger als das Verhältnis zum Baustoffbedarf. In den beiden letzten Spalten der Tabelle 7 sind deshalb neu die RBS-Anteile am GK-Bedarf aufgeführt. Die Verhältnisse haben in den meisten Kantonen und in der gesamten Region gegenüber dem Vorjahr leicht abgenommen und liegen für die Region bei einem Anteil von 22.9% (Vorjahr 24.5%). Der Grund hierfür ist die tendenziell leichte Abnahme des Rückbaumaterialanfalls bei leicht steigendem GK-Bedarf. Sollte die Neubautätigkeit in den kommenden Jahren wieder etwas zurückgehen, dann dürften die RBS-Anteile eher wieder etwas ansteigen.

4.2 Mineralische Gesteinskörnungen und Aushubentsorgung: Autarkiegrade und Entwicklung

Neu können die Autarkiegrade in Bezug auf die mineralischen Gesteinskörnungen bestimmt werden. Damit lassen sich diese auf Kantonsbasis besser miteinander vergleichen. Die Autarkiegrade der mineralischen Gesteinskörnungen haben sich in den Kantonen, in denen weitere mineralischen Primärmaterialien wie Kalk/Mergel, Tonminerale und Gipsstein abgebaut werden, gegenüber dem Vorjahr entsprechend reduziert (Abbildung 5). In den Kantonen AG, BE und SO liegen die Autarkiegrade nun im Bereich von 100%, was bedeutet, dass sich diese Kantone im Jahr 2016 selber mit mineralischen Gesteinskörnungen versorgen konnten. Dies war auch in den Kantonen ZG und ZH der Fall. Die Kantone Luzern, Thurgau, St. Gallen und im geringeren Ausmass auch der Kanton Schwyz weisen deutlich tiefere Autarkiegrade auf. Sie liegen bei 67% (LU und SG), 54% (TG) bzw. 87% (SZ). Der Grund hierfür sind vor allem die Kies- und Betonimporte der Kantone LU und SZ aus ihren Nachbarkantonen oder aus Deutschland und Österreich (in die Kantone TG und SG).

In den meisten Kantonen liegen die Autarkiegrade bei der Aushubentsorgung im Bereich von 100% (Abbildung 6). Die Ausnahme bildet, wie in den Vorjahren, der Kanton Zürich, welcher einen Autarkiegrad von 74% im Jahr 2016 erreichte. Immerhin ist hier eine zunehmende Tendenz feststellbar. Die jährlichen Autarkiegrade bilden nur die IST-Situation in den Kantonen ab. Längerfristig haben insbesondere Kantone mit hohen Kiesimportanteilen ein Problem bei der Aushubentsorgung, weil zu wenig Volumen zur Wiederauffüllung der Kiesgruben zur Verfügung steht. Dies ist insbesondere in den Kantonen LU, SG und TG der Fall. Dies zeigt auch die Entwicklung der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau in Abbildung 12, welche in diesen Kantonen bis zum Jahr 2035 relativ grosse Werte erreicht. In diesen Kantonen müssen künftig Aushubdeponien geplant werden oder mehr Aushubmaterial in die umliegenden Kantone bzw. angrenzenden Länder exportiert werden.

4.3 Schlussfolgerungen

Mittlerweile beteiligen sich die in diesem Bericht erwähnten neun Kantone an der Modellierung der KAR-Materialflüsse in ihren Kantonen. Zudem haben die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft gemeinsam ein KAR-Modell für das Bezugsjahr entwickelt lassen. Dieses Modell



wird voraussichtlich in der Nachführung 2018 ebenfalls in die überregionale Betrachtung mit einbezogen werden.

Die KAR-Modelle erlauben eine gesamtheitliche Betrachtung aller relevanten mineralischen Materialflüsse, welche zur Bewirtschaftung des Bauwerks notwendig sind. Die grafische Darstellung der Materialflüsse sowie der zeitlichen Entwicklungen der verschiedenen Materialflüsse spielen eine wichtige Rolle für das Verständnis dieser Zusammenhänge und der langfristigen Entwicklung. Inzwischen decken die Rückbaustoffe je nach Kanton bereits knapp 20% bis über 30% des Gesteinskörnungsbedarfs der Kantone ab. Dies hat unmittelbare Auswirkungen auf die Bewirtschaftung der anderen Materialflüsse. Durch die Substitution von Kies und Sand findet weniger Kiesabbau statt, was wiederum zu einer Reduktion der verfügbaren Auffüllvolumina führt. Die Kiesgrubenbetreiber begegnen dieser Herausforderung mit höheren Annahmegebühren für Aushubmaterial. Gleichzeitig verbilligen sie den Preis für den an sich höherwertigen Kies/Sand, um konkurrenzfähig zu den Rückbaustoffen zu bleiben. Dies führt in einigen Kantonen zur eher bizarren Situation, dass der Entsorgungspreis für unverschmutztes Aushubmaterial höher liegt als der Einkaufspreis von Kies/Sand. Gerade in Kantonen, welche viel Kies importieren oder über keine oder zu wenige Aushubdeponien verfügen, akzentuiert sich diese Marktverzerrung (z.B. Kanton Zürich). Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, müssen entweder mehr Kiesvorkommen in den Kantonen mit hohen Kiesimporten erschlossen oder mehr Aushubdeponien geplant werden. Nur so werden sich die Preise entsprechend verändern. Dazu ist jedoch ein langer Planungshorizont notwendig. Die Resultate aus der dynamischen Modellierung sollen die Kantone bei einer solchen Planung unterstützen. Insbesondere die kumulierte Differenz zwischen Ablagerung und Abbau zeigt recht gut auf, welche Entwicklungen sich in Bezug auf die Aushubablagerungssituation unter den gegebenen Rahmenbedingungen künftig abzeichnen.



Ausblick

4.4 Nachführung der statischen Modelle

Da nun bereits für neun Kantone Daten aus den Erhebungen und Modellierungen für bis zu vier aufeinanderfolgende Jahre zur Verfügung stehen, wird künftig auf einen Zweijahresrhythmus zur Erhebung und Modellierung der KAR-Materialflüsse übergegangen. Die nächste Nachführung der Modelle ist demnach für das Bezugsjahr 2018 geplant. Neben den bereits teilnehmenden Kantonen werden künftig auch die Kantone Baselland und Basel-Stadt ein gemeinsames Modell erstellen lassen. Die Zentralisierung des Modells erlaubt es, bei Bedarf weitere interessierte Kantone im Rahmen der Modellnachführungen mit einzubeziehen.

4.5 Mitwirkung der Verbände

Die beiden Verbände arv Baustoffrecycling Schweiz und FSKB (Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie) werden sich weiterhin bei der Entwicklung des KAR-Modells beteiligen und in der Begleitgruppe mitwirken. Neben der finanziellen Unterstützung haben sich die beiden Verbände grundsätzlich dafür ausgesprochen, bei Bedarf zusätzliche Datengrundlagen für die Modelle zur Verfügung zu stellen. Damit können die statischen Modelle noch besser validiert werden. Zudem liefern die Verbände wichtige Informationen zu Entwicklungen in ihren Branchen.

4.6 Weiterentwicklung des Modells

Zurzeit sind keine weiteren Entwicklungsschritte geplant.



5 Literatur

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

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.

Rubli Stefan, 2017: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2015*. Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, 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 Neubau, Sanierung und Rückbau. Das ist der einzige Prozess im KAR-Modell mit einem modellierten Lager. |
| 2 | Rückbaumaterial triagieren | 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 | Rückbau- und Aushubmaterial deponieren | Die Deponien stehen im Modell für alle Deponietypen (ISO, Reaktor, 'Aushub', bzw. Typ A-E). |
| 4 | Rückbaumaterial aufbereiten | Rückbaumaterial wird aufbereitet. Dabei fällt die Feinfraktion an, welche deponiert wird. |
| 5 | Aushub triagieren | 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 | Wiederauffüllung Entnahmestellen | Wiederauffüllung von Kiesabbaustellen mit unverschmutztem Aushubmaterial (Rekultivierung). |
| 7 | Kies/Sand abbauen | Der Abbau von Primärmaterial umfasst Kies-, Sand-, Gips-, Ton- Abbau in Gruben und anderen Abbaustellen. |
| 8 | Kies/Sand aufbereiten | Das abgebaute Primärmaterial wird aufbereitet. Dabei fällt eine Feinfraktion an, die wieder in der Abbaustelle abgelagert wird. |
| 9 | Baustoffe produzieren | Mineralische Baustoffe werden aus primären und sekundären Rohstoffen produziert und stehen als Total für das BAUWERK zur Verfügung. In der Realität geschieht dies teilweise auf der Baustelle oder in einer Produktionsanlage. |
| 10 | Weitere Baustoffe produzieren | Weitere Baustoffe wie Kalk/Mergel, Gipsstein, Tonminerale usw. werden zu Baustoffen wie Zement, Gipswerkstoffen, Back- und Ziegelsteinen usw. aufbereitet. |
| 11 | Weitere Primärmaterialien abbauen | Weitere mineralische Baustoffe (exkl. Kies/Sand) wie Kalk/Mergel, Gipsstein, Tonminerale usw. werden abgebaut. |
| 12 | Teil- und Wiederauffüllung | Die „Weiteren Entnahmestellen“ werden mit Aushubmaterial aufgefüllt. Oftmals werden diese Entnahmestellen nicht mehr vollständig mit Aushubmaterial aufgefüllt → Teilauffüllung. |



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.A | Aushub, der auf Deponien des Typs A abgelagert wird |
| A53.B | Aushub, der auf Deponien des Typs B abgelagert wird |
| A56 | Unverschmutzter Aushub, der für die Wiederauffüllung von Entnahmestellen (von Kies/Sand) verwendet wird (Rekultivierung) |
| A58 | Kiesiger Aushub, der zu Primärmaterial aufbereitet werden kann |
| A78 | Abgebauter Kies/Sand; dieser Fluss wird in der SFA als 'Zielfluss' modelliert |
| A86 | Feinfraktion aus der Aufbereitung von Kies/Sand, wird direkt in der Abbau- stelle abgelagert |
| A89 | Aufbereiteter Kies/Sand für die Baustoffproduktion |
| A91 | Baustoffinput in das BAUWERK, bzw. der Bedarf an Baustoffen im BAUWERK |
| A512 | Aushub, der in die „Weiteren Entnahmestellen“ zur Teil- und Wieder- auffüllung gelangt |
| A109 | Weitere aufbereitete mineralische Baustoffe für die Baustoffproduktion (z.B. Zement für Betonproduktion) |
| A1110 | Weitere mineralischen Primärmaterialien, die in die Aufbereitung gelangen (z.B. Kalk/Mergel für die Zementproduktion) |

Materialimporte

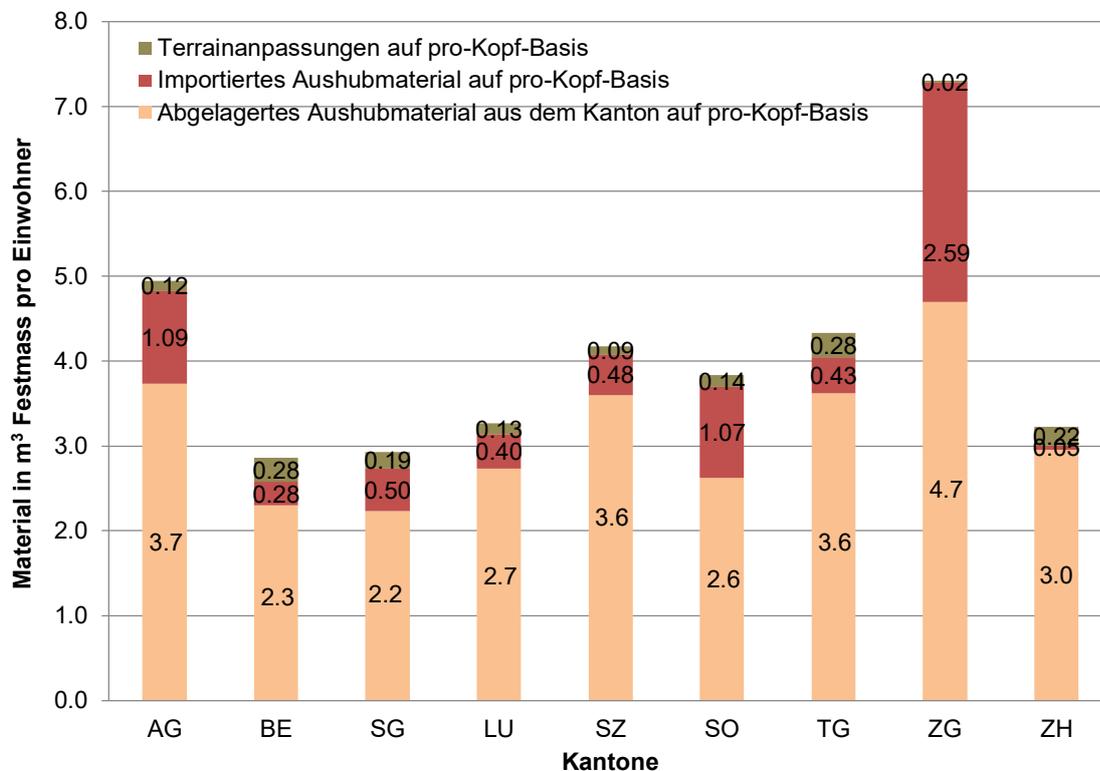
| | |
|------|---|
| A02 | Rückbaumaterial in die Triage Rückbaumaterial |
| A06 | Aushubmaterial zur Triage Aushub |
| A08 | Kies/Sand in die Kies-/Sandaufbereitung |
| A010 | Weitere mineralische Baustoffe zur Aufbereitung |

Materialexporte

| | |
|------|--|
| A20 | Rückbaumaterial aus der Triage Rückbaumaterial |
| A40 | RC-Granulate aus der Aufbereitung RC-Material |
| A50 | Aushubmaterial aus der Triage Aushub |
| A80 | Kies/Sand aus der Aufbereitung Primärmaterial |
| A100 | Weitere Baustoffe aus der Aufbereitung „Weitere Baustoffe“ |



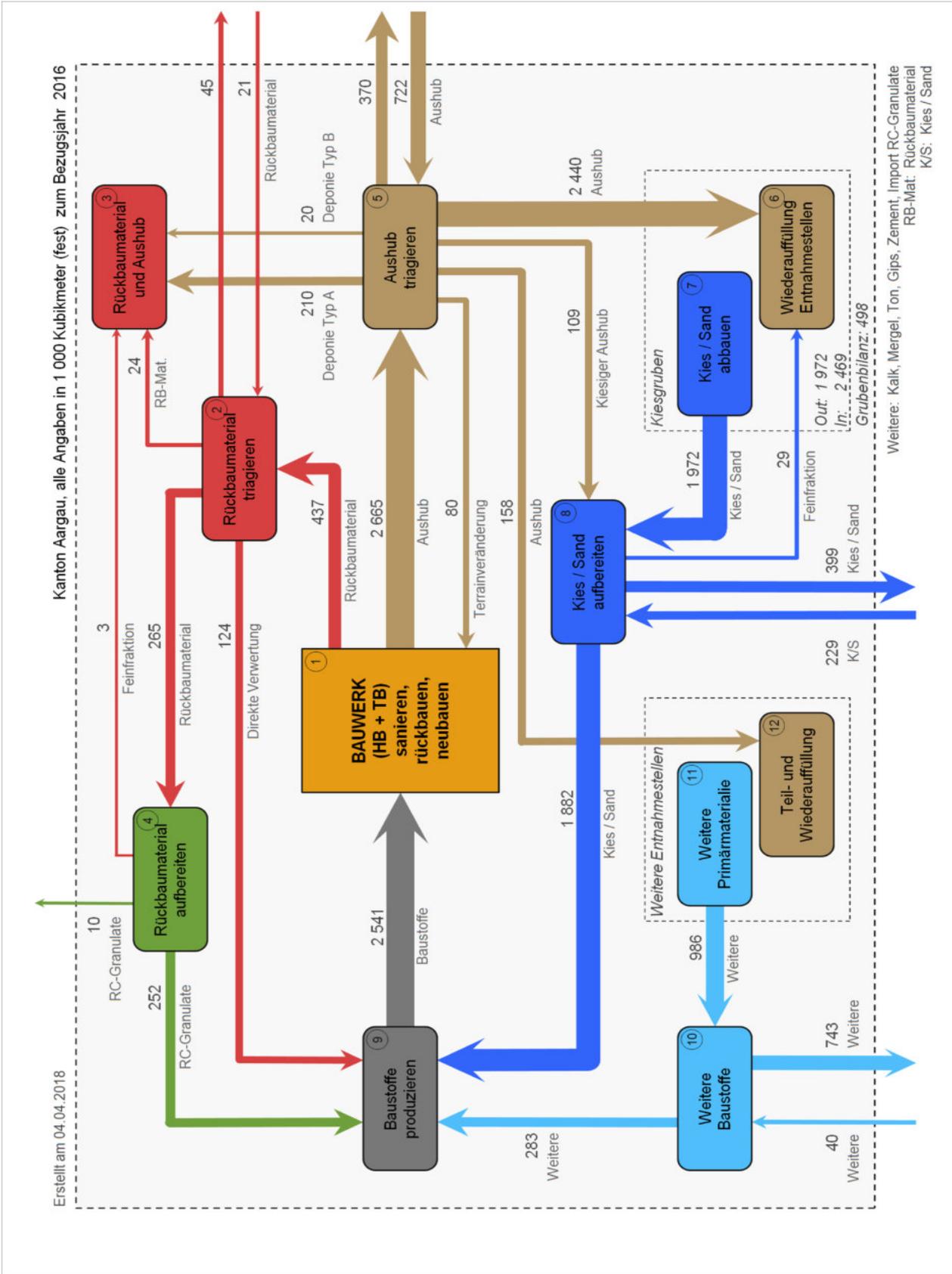
A.3. Abgelagertes Aushubmaterial aus dem Kanton, importiertes Aushubmaterial und Material in Terrainanpassungen



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.

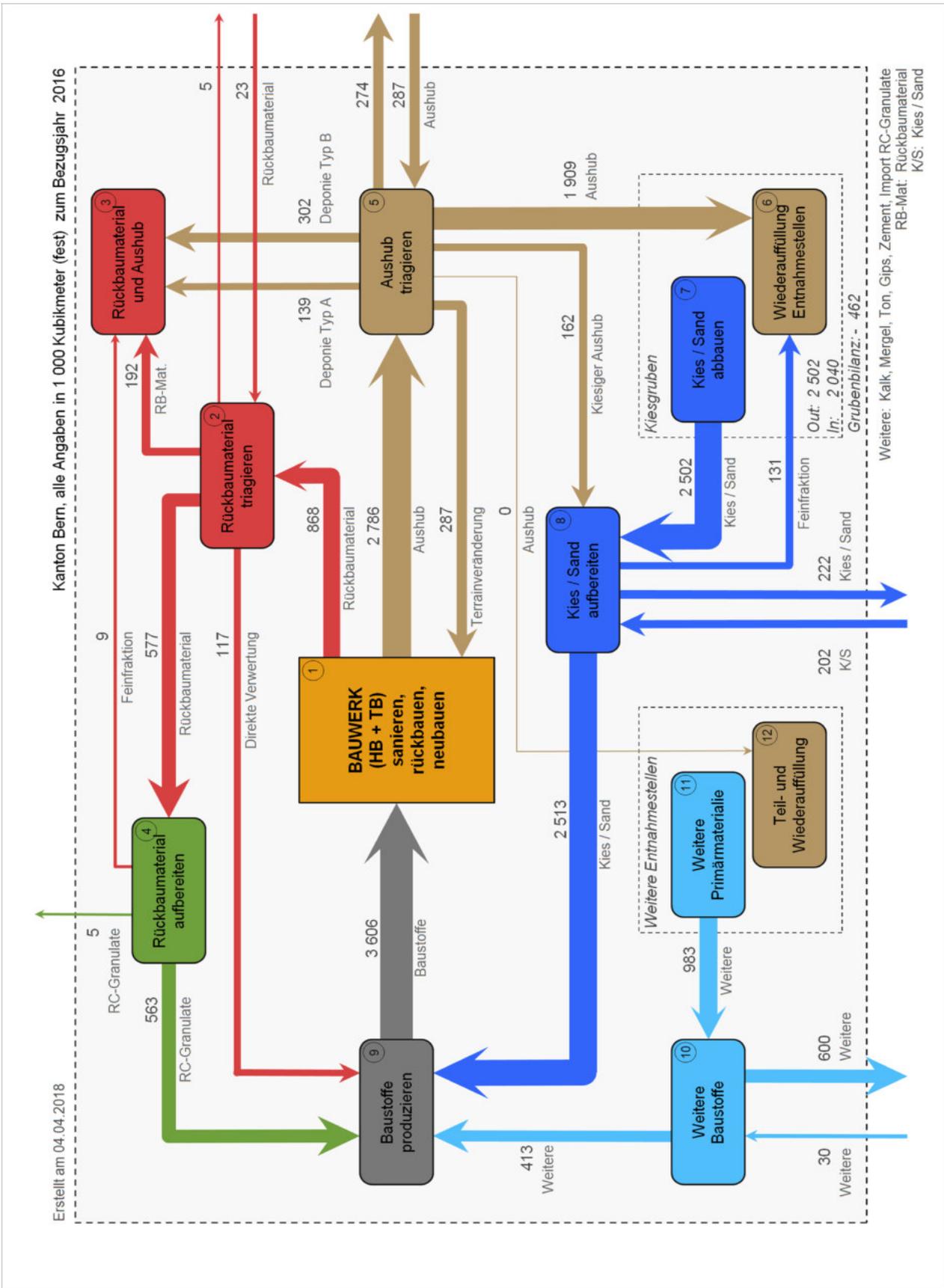
A.4. Materialflussschemen der einzelnen Kantone

Materialflussschema Kanton Aargau (Bezugsjahr 2016)



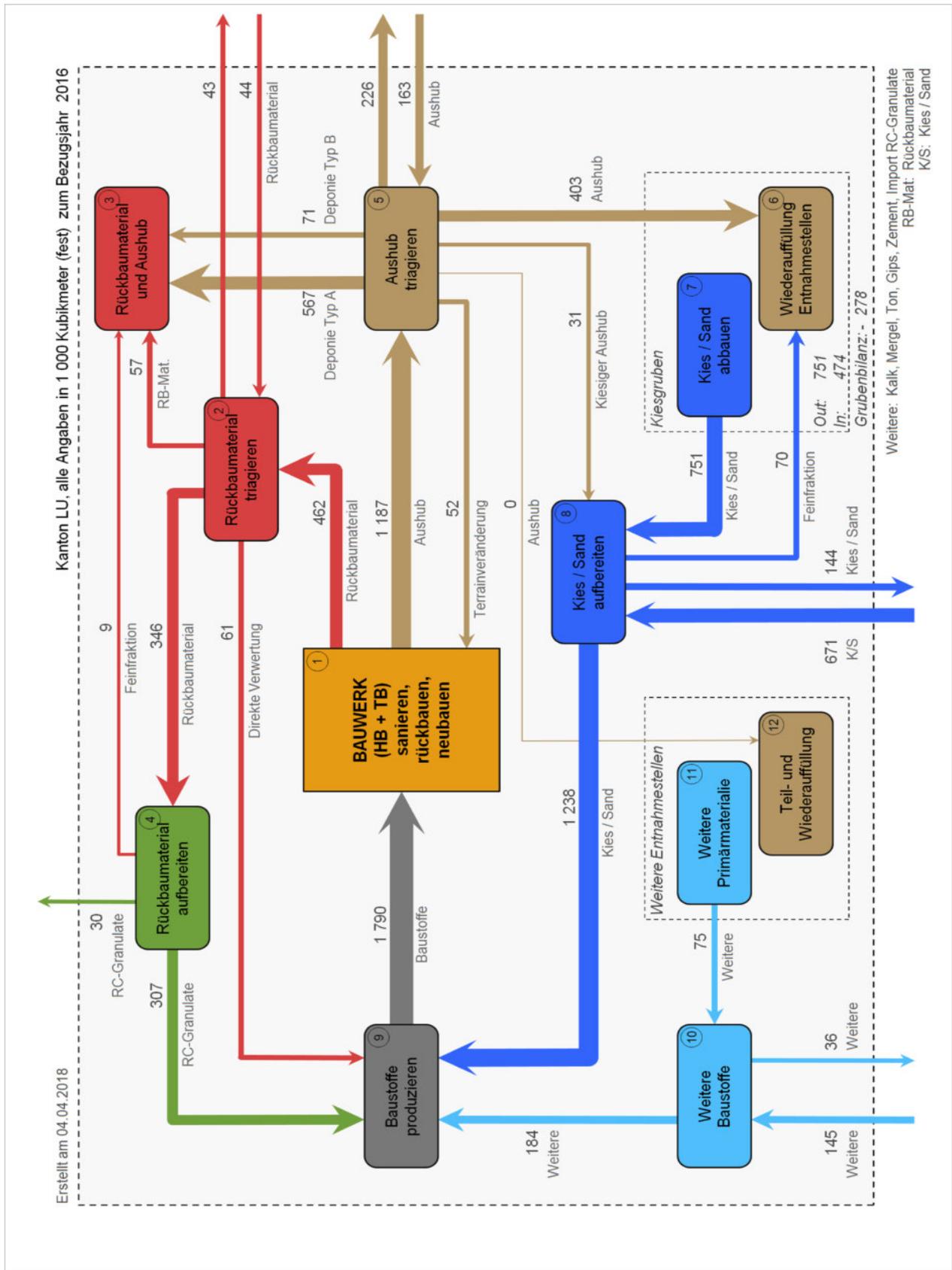


Materialflussschema Kanton Bern (Bezugsjahr 2016)



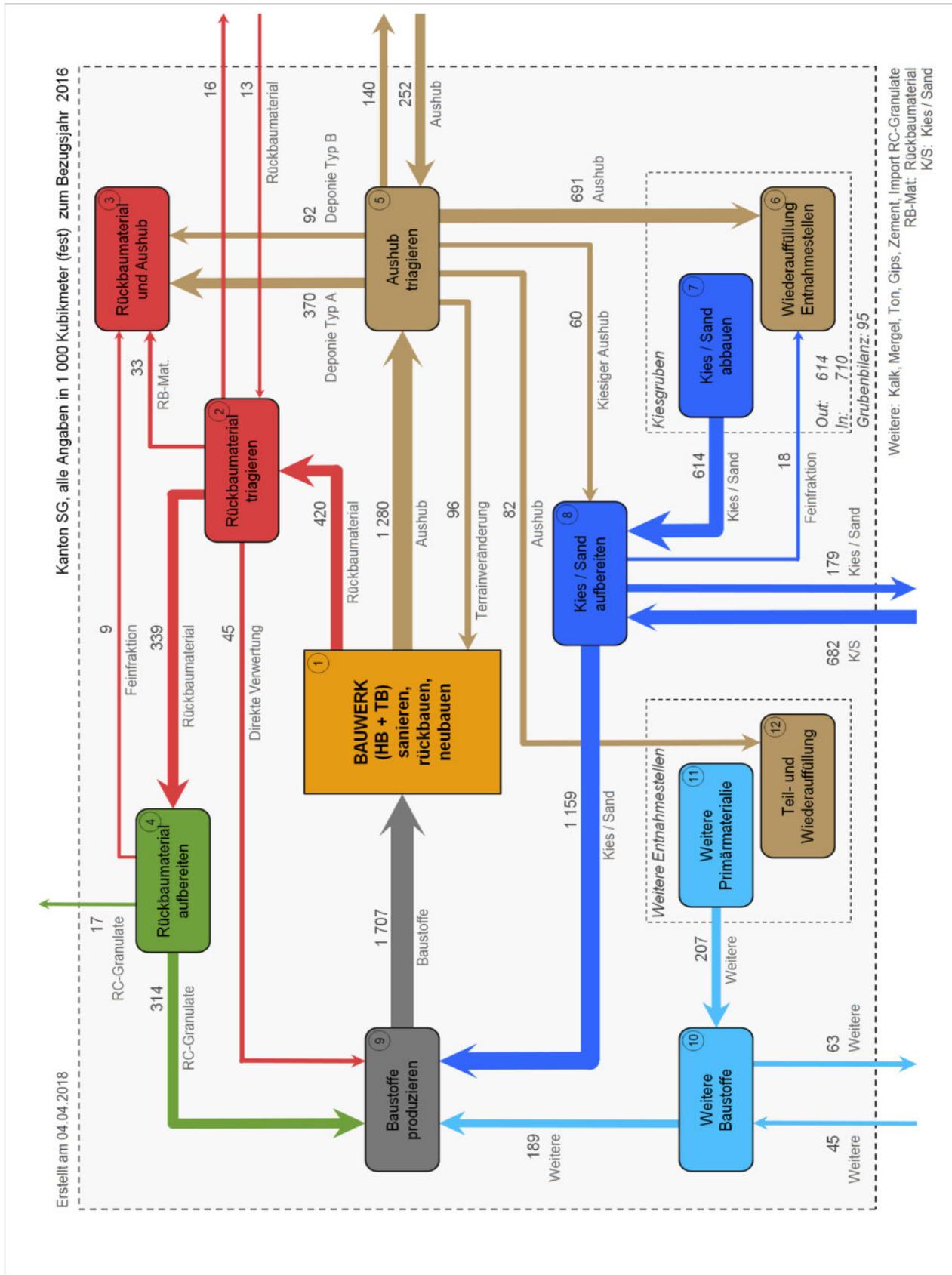


Materialflussschema Kanton Luzern (Bezugsjahr 2016)



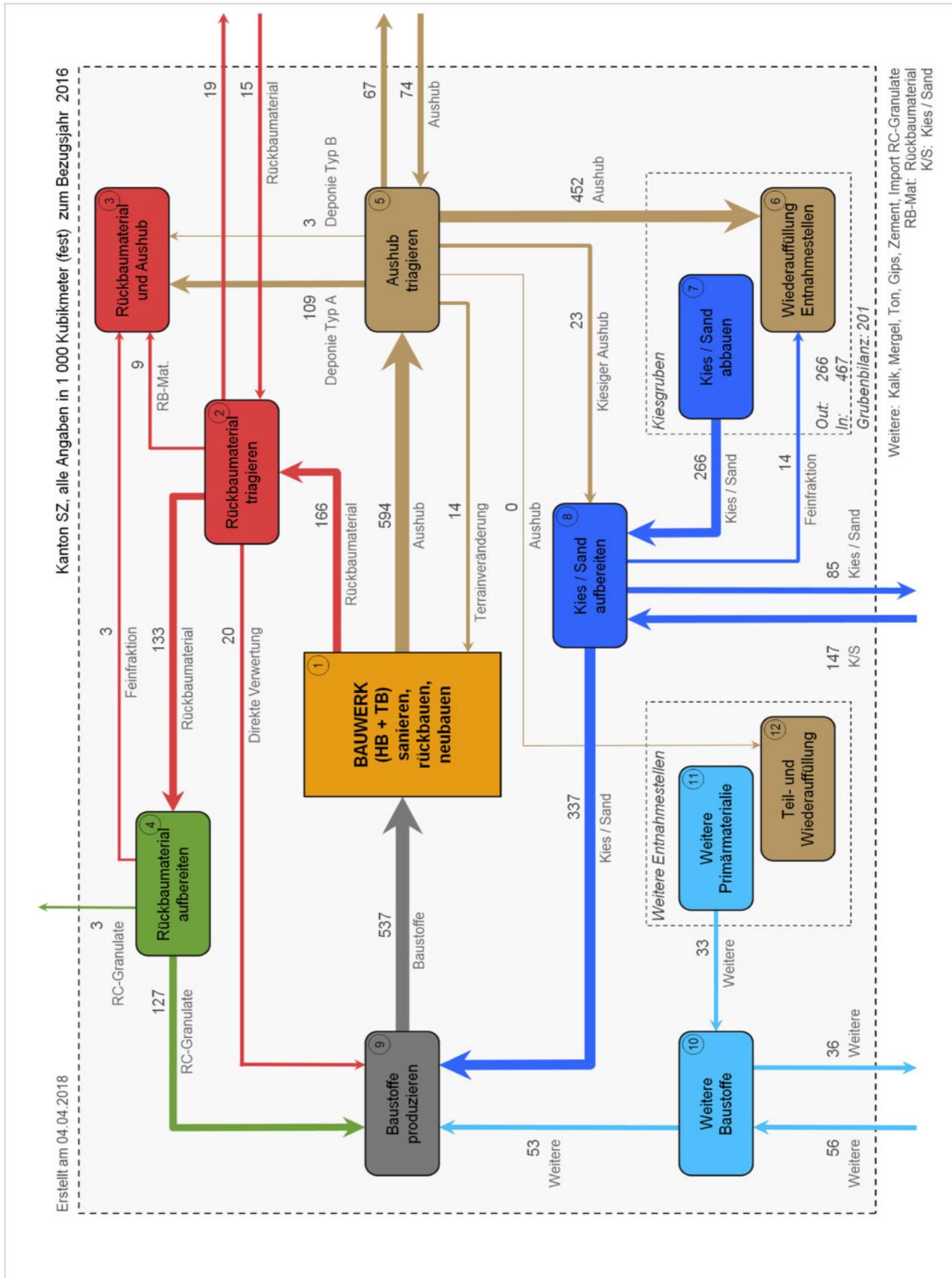


Materialflussschema Kanton St.Gallen (Bezugsjahr 2016)



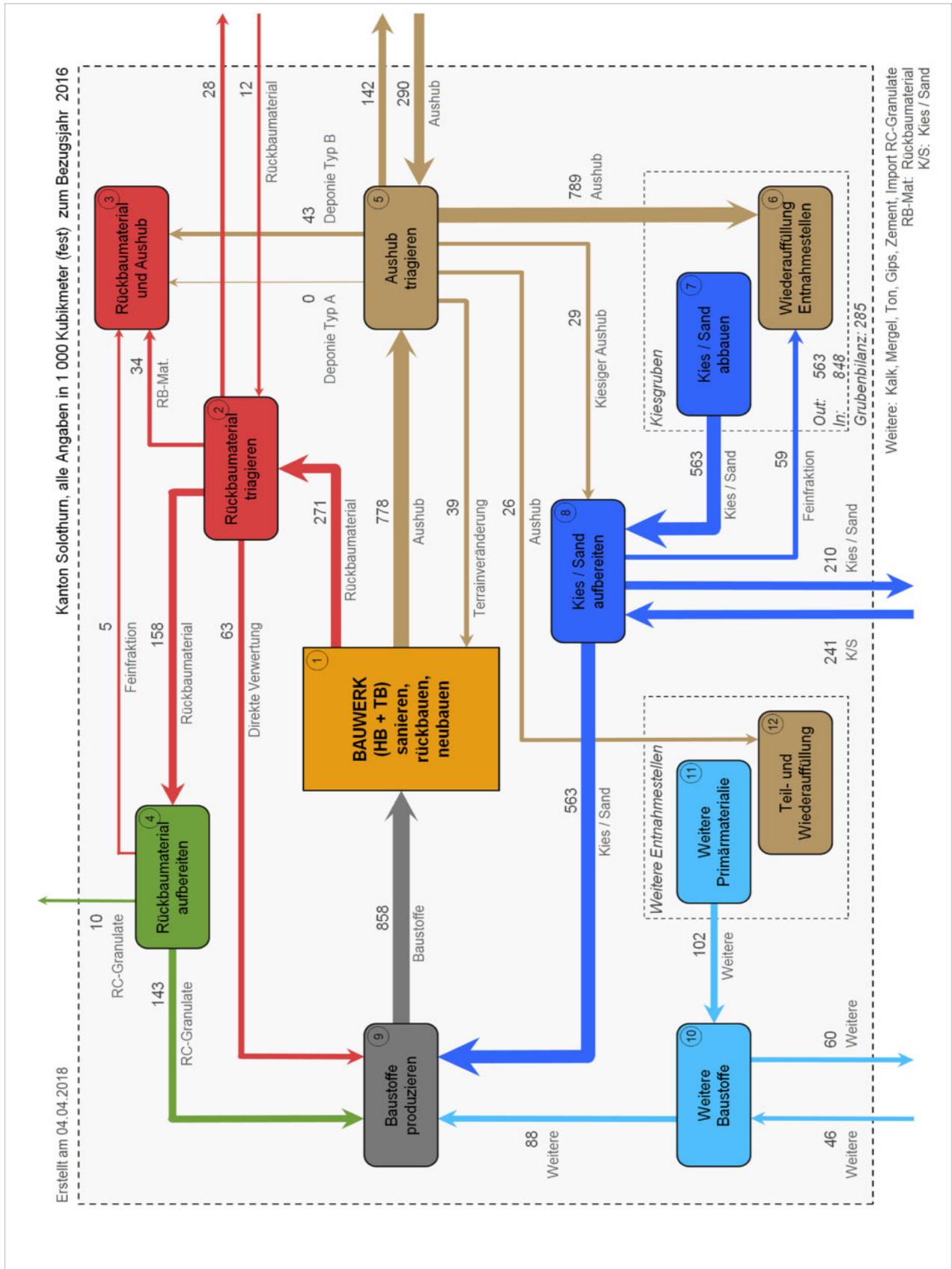


Materialflussschema Kanton Schwyz (Bezugsjahr 2016)



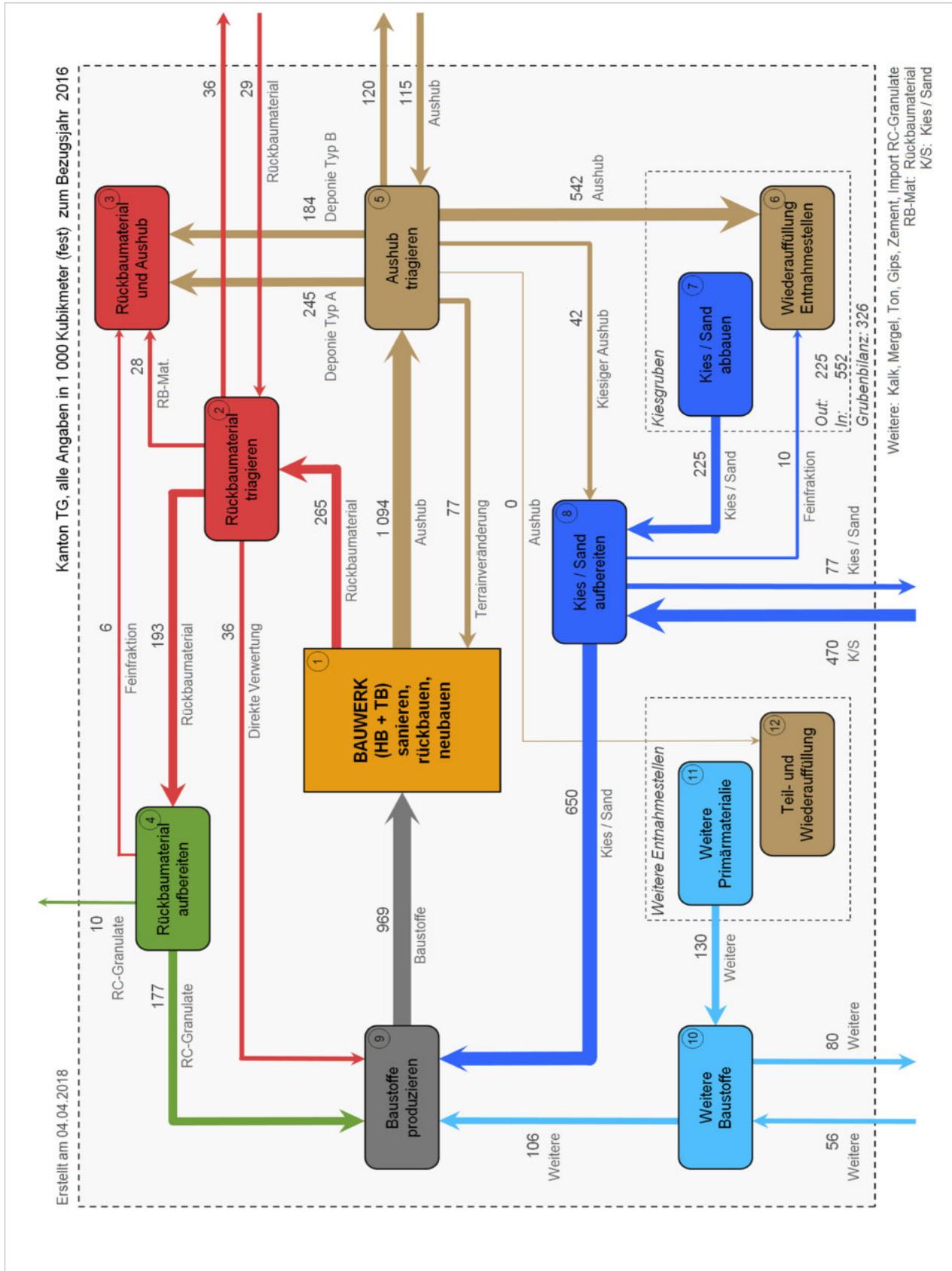


Materialflussschema Kanton Solothurn (Bezugsjahr 2016)



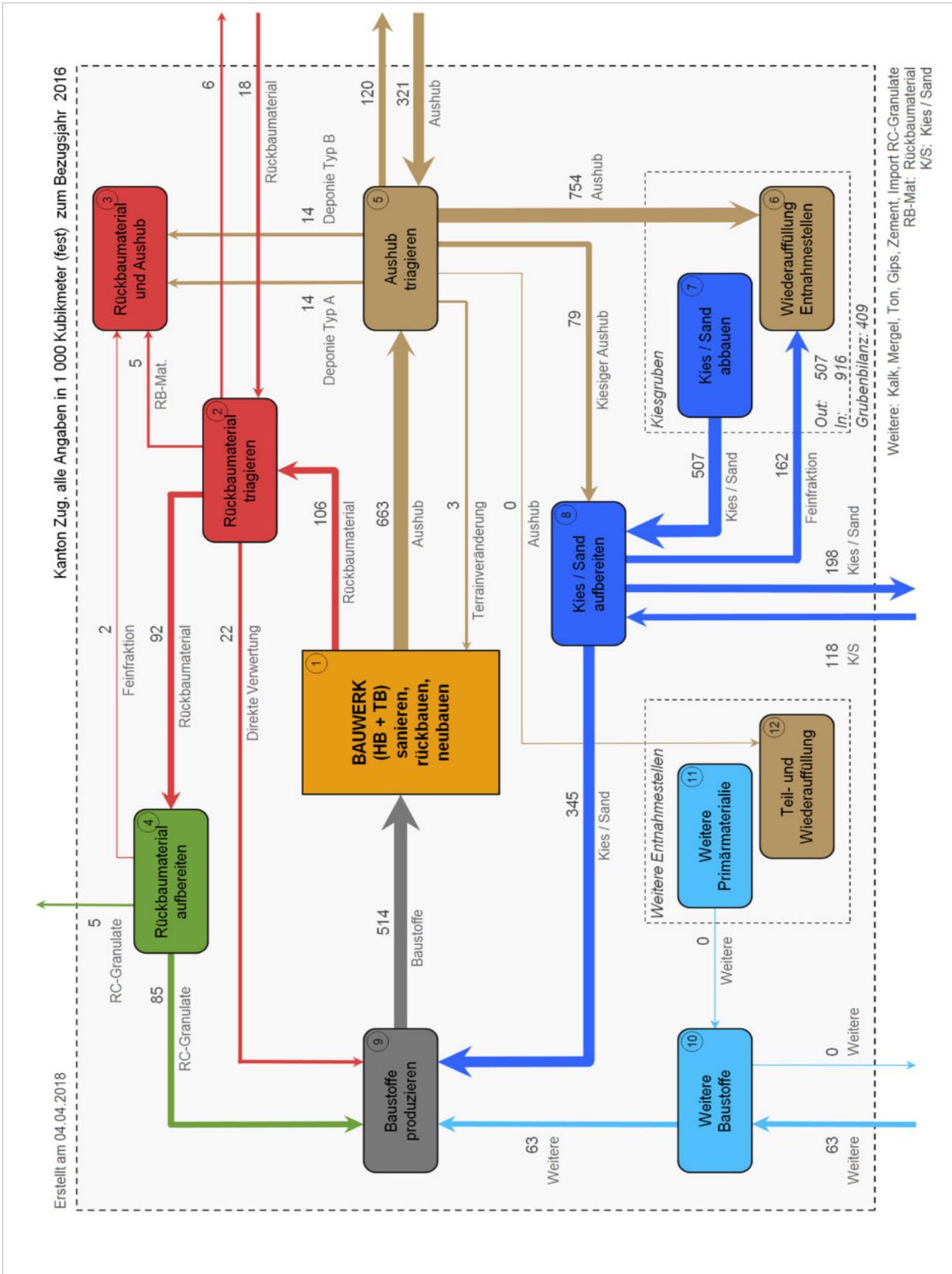


Materialflussschema Kanton Thurgau (Bezugsjahr 2016)



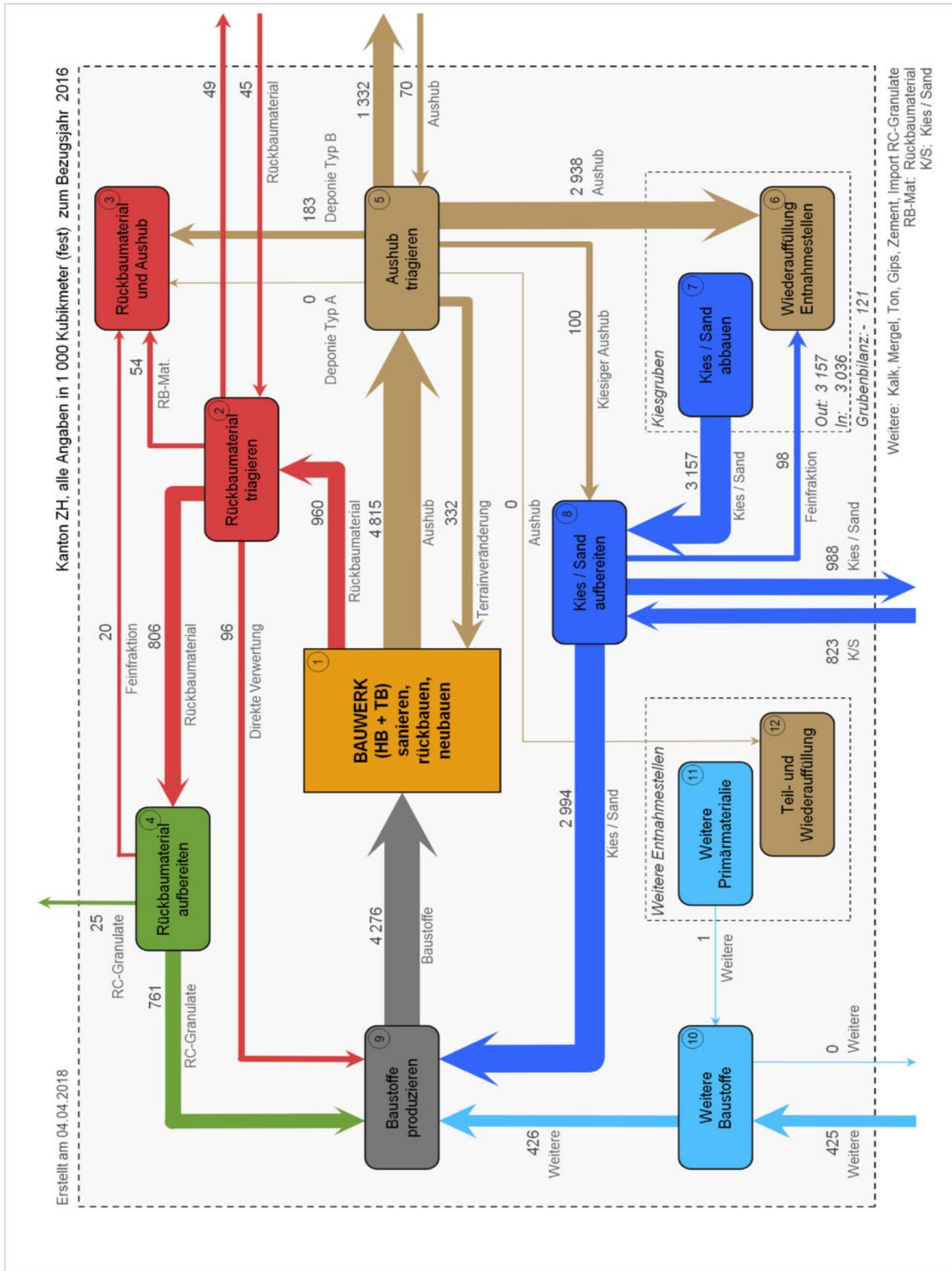


Materialflussschema Kanton Zug (Bezugsjahr 2016)





Materialflussschema Kanton Zürich (Bezugsjahr 2016)





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. | Abweichung SOLVER zu Modell |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|------------------|--------------------|---|-----------------------|------------------|--|-----------------------------|
| SOLVER | AG | BE | LU | SG | SZ | SO | TG | ZG | ZH | BB | Total Exporte 1 | Output nach EXTERN | Total Exporte 2, SOLVER | Angaben Exporte Total | Differenz | | |
| AG | 0 | 5'200 | 127'170 | 0 | 0 | 9'750 | 0 | 750 | 121'138 | 97'468 | 361'476 | 37'148 | 398'624 | 343'009 | 55'615 | 16.2% | |
| BE | 1'201 | 0 | 23'752 | 0 | 0 | 165'283 | 0 | 0 | 18'286 | 0 | 208'522 | 13'016 | 221'538 | 250'000 | 28'462 | -11.4% | |
| LU | 3'902 | 25'213 | 0 | 0 | 6'750 | 10'495 | 0 | 57'382 | 27'428 | 0 | 131'169 | 13'016 | 144'186 | 145'000 | 814 | -0.6% | |
| SG | 0 | 0 | 0 | 0 | 37'314 | 0 | 42'726 | 0 | 47'091 | 0 | 127'131 | 52'132 | 179'263 | 178'493 | 770 | 0.4% | |
| SZ | 0 | 0 | 6'597 | 9'013 | 0 | 0 | 0 | 41'074 | 19'151 | 0 | 75'836 | 8'843 | 84'679 | 85'000 | 321 | -0.4% | |
| SO | 45'000 | 80'246 | 21'450 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3'734 | 60'000 | 210'430 | 3 | 210'433 | 320'000 | 109'567 | -34.2% | |
| TG | 0 | 0 | 0 | 45'611 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31'475 | 0 | 77'086 | 3 | 77'089 | 80'000 | 2'911 | -3.6% | |
| ZG | 5'579 | 0 | 59'242 | 0 | 83'738 | 0 | 0 | 0 | 48'900 | 0 | 197'458 | 438 | 197'896 | 212'500 | 14'604 | -6.9% | |
| ZH | 25'520 | 0 | 245'880 | 235'147 | 13'200 | 1'043 | 148'205 | 14'739 | 0 | 0 | 683'735 | 304'380 | 988'115 | 988'091 | 24 | 0.0% | |
| Total Importe 1 | 85'104 | 110'659 | 484'092 | 289'771 | 141'001 | 190'211 | 190'931 | 113'945 | 317'202 | 157'468 | 2'080'384 | | 428'978 | 2'509'362 | 2'602'093 | 220'630 | |
| Importe aus EXTERN | 143'451 | 90'792 | 186'636 | 392'121 | 6'001 | 50'351 | 279'069 | 4'500 | 505'827 | 1'057'387 | 2'716'135 | | | | | | |
| Total Importe 2, SOLVER | 228'555 | 201'451 | 670'728 | 681'893 | 147'003 | 240'562 | 470'000 | 118'445 | 823'029 | 1'214'855 | 4'796'519 | | | | | | |
| Angaben Importe Total | 175'000 | 200'000 | 670'100 | 680'000 | 155'000 | 240'000 | 470'000 | 118'333 | 821'877 | 1'215'000 | 4'745'310 | | | | | | |
| Differenz Zeilen | 53'555 | 1'451 | 628 | 1'893 | 7'997 | 562 | 0 | 112 | 1'152 | 145 | 67'494 | | | | | | |
| Differenz Spalten | 55'615 | 28'462 | 814 | 770 | 321 | 109'567 | 2'911 | 14'604 | 24 | 7'542 | 220'630 | 288'124 | Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER | | | | |
| Abweichung SOLVER zu Modell | 30.6% | 0.7% | 0.1% | 0.3% | -5.2% | 0.2% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 1.1% | | | | | | |

I-O-Tabelle Aushubmaterial

| RESULTAT SOLVER | | | | | | | | | | | | | | | | Hier nichts eintragen, wird alles berechnet. | Abweichung SOLVER zu Modell |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|------------------|--------------------|---|-----------------------|-----------|--|-----------------------------|
| SOLVER | AG | BE | LU | SG | SZ | SO | TG | ZG | ZH | BB | Total Exporte 1 | Output nach EXTERN | Total Exporte 2, SOLVER | Angaben Exporte Total | Differenz | | |
| AG | 0 | 4'080 | 51'885 | 0 | 0 | 112'822 | 3'639 | 4'881 | 15'149 | 73'020 | 265'477 | 104'523 | 370'000 | 370'000 | 0 | 0.0% | |
| BE | 1'642 | 0 | 22'990 | 0 | 0 | 105'597 | 180 | 0 | 0 | 0 | 130'409 | 143'993 | 274'402 | 260'000 | 14'402 | 5.5% | |
| LU | 31'057 | 59'999 | 0 | 0 | 214 | 20'695 | 0 | 102'609 | 3'030 | 0 | 217'605 | 8'001 | 225'605 | 190'000 | 35'605 | 18.7% | |
| SG | 0 | 0 | 0 | 0 | 5'316 | 0 | 67'390 | 0 | 3'520 | 0 | 76'225 | 63'774 | 140'000 | 140'000 | 0 | 0.0% | |
| SZ | 8'000 | 0 | 13'905 | 9'587 | 0 | 0 | 8'820 | 18'678 | 3'250 | 0 | 62'240 | 4'501 | 66'741 | 65'000 | 1'741 | 2.7% | |
| SO | 10'881 | 42'102 | 898 | 0 | 0 | 220 | 0 | 5'214 | 75'006 | 134'301 | 7'702 | 142'003 | 150'000 | 7'997 | -5.3% | | |
| TG | 0 | 0 | 0 | 102'594 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17'606 | 0 | 120'200 | 3 | 120'203 | 130'000 | 9'997 | -7.5% | |
| ZG | 19'615 | 0 | 66'592 | 0 | 24'000 | 0 | 0 | 0 | 3'030 | 0 | 113'237 | 6'763 | 120'000 | 120'000 | 0 | 0.0% | |
| ZH | 594'349 | 23'727 | 45 | 86'262 | 38'652 | 661 | 33'883 | 193'417 | 0 | 0 | 970'997 | 360'788 | 1'331'784 | 1'331'783 | 1 | 0.0% | |
| Total Importe 1 | 721'812 | 129'909 | 156'315 | 198'444 | 68'182 | 288'630 | 114'132 | 319'585 | 50'798 | 148'026 | 2'195'831 | 1'875'593 | 4'071'425 | 4'041'783 | 73'858 | | |
| Importe aus EXTERN | 0 | 156'582 | 6'885 | 53'236 | 6'001 | 1'370 | 868 | 997 | 19'202 | 0 | 244'940 | | | | | | |
| Total Importe 2, SOLVER | 721'812 | 286'490 | 163'000 | 251'680 | 74'183 | 289'999 | 115'000 | 320'581 | 70'000 | 148'026 | 2'440'771 | | | | | | |
| Angaben Importe Total | 721'812 | 356'422 | 163'000 | 251'680 | 75'000 | 290'000 | 115'000 | 320'582 | 70'000 | 25'000 | 2'388'496 | | | | | | |
| Differenz Zeilen | 0 | 69'932 | 0 | 0 | 817 | 1 | 0 | 1 | 0 | 123'026 | 193'777 | | | | | | |
| Differenz Spalten | 0 | 14'402 | 35'605 | 0 | 1'781 | 7'997 | 9'797 | 0 | 1 | 4'315 | 73'855 | 267'636 | Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER | | | | |
| Abweichung SOLVER zu Modell | 0.0% | -19.6% | 0.0% | 0.0% | -1.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 492.1% | 2.2% | | | | | | |



I-O-Tabelle Rückbaustoffe

| RESULTAT SOLVER | | | | | | | | | | | | | | | Hier nichts eintragen, wird alles berechnet. | | Abweichung SOLVER zu Modell |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|--------------------|---|-----------------------|--|--------|-----------------------------|
| SOLVER | AG | BE | LU | SG | SZ | SO | TG | ZG | ZH | BB | Total Exporte 1 | Output nach EXTERN | Total Exporte 2, SOLVER | Angaben Exporte Total | Differenz | | |
| AG | 0 | 4'725 | 23'672 | 0 | 945 | 2'481 | 0 | 95 | 4'607 | 8'358 | 44'882 | 3 | 44'885 | 50'000 | 5'116 | -10.2% | |
| BE | 236 | 0 | 330 | 0 | 0 | 4'134 | 0 | 0 | 307 | 0 | 5'008 | 3 | 5'010 | 35'000 | 29'990 | -85.7% | |
| LU | 3'000 | 700 | 0 | 0 | 700 | 3'000 | 0 | 1'650 | 3'413 | 0 | 12'462 | 30'875 | 43'337 | 40'000 | 3'337 | 8.3% | |
| SG | 0 | 0 | 0 | 0 | 2'835 | 0 | 11'520 | 0 | 1'536 | 0 | 15'891 | 3 | 15'893 | 35'000 | 19'107 | -54.6% | |
| SZ | 0 | 0 | 2'475 | 2'481 | 0 | 0 | 0 | 9'600 | 4'607 | 0 | 19'163 | 3 | 19'165 | 35'000 | 15'835 | -45.2% | |
| SO | 10'686 | 12'686 | 284 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 307 | 4'266 | 28'228 | 2 | 28'230 | 28'000 | 230 | 0.8% | |
| TG | 0 | 0 | 0 | 9'272 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19'322 | 0 | 28'594 | 7'800 | 36'394 | 35'000 | 1'394 | 4.0% | |
| ZG | 236 | 0 | 1'001 | 0 | 2'835 | 0 | 0 | 0 | 1'536 | 0 | 5'608 | 565 | 6'173 | 16'000 | 9'827 | -61.4% | |
| ZH | 5'906 | 0 | 16'313 | 827 | 2'835 | 165 | 16'005 | 6'600 | 0 | 0 | 48'652 | 565 | 49'216 | 65'000 | 15'784 | -24.3% | |
| Total Importe 1 | 20'301 | 18'111 | 44'075 | 12'579 | 10'150 | 9'946 | 27'525 | 17'944 | 35'634 | 12'623 | 208'888 | 114'416 | 323'304 | 414'000 | 100'619 | -21.9% | |
| Importe aus EXTERN | 236 | 4'725 | 143 | 827 | 4'725 | 2'481 | 945 | 95 | 9'000 | 2'559 | 25'736 | | | | | | |
| Total Importe 2, SOLVER | 20'537 | 22'836 | 44'218 | 13'406 | 14'875 | 12'426 | 28'470 | 18'039 | 44'634 | 15'183 | 234'624 | | | | | | |
| Angaben Importe Total | 30'000 | 40'000 | 60'000 | 20'000 | 40'000 | 35'000 | 40'000 | 20'000 | 60'000 | 15'000 | 360'000 | | | | | | |
| Differenz Zeilen | 9'483 | 17'164 | 15'783 | 6'594 | 25'125 | 22'574 | 11'530 | 1'961 | 15'366 | 183 | 125'742 | | | | | | |
| Differenz Spalten | 5'116 | 29'990 | 3'337 | 19'107 | 15'835 | 230 | 1'394 | 9'827 | 15'784 | 0 | 100'619 | 226'361 | Zu minimieren, die Zielzelle für den SOLVER | | | | |
| Abweichung SOLVER zu Modell | -31.5% | -42.9% | -26.3% | -33.0% | -62.8% | -64.5% | -28.8% | -9.8% | -25.6% | 1.2% | -34.8% | | | | | | |

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 |