

Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Überregionale Betrachtung

Juni 2012

Energie- und Ressourcen-Management GmbH
Alter Zürichweg 21
CH-8952 Schlieren
Tel. 044 371 40 90
rubli@energie-ressourcen.ch
www.energie-ressourcen.ch



Impressum

Herausgeber

Kanton Zürich
Amt für Abfall, Wasser, Energie
und Luft (AWEL)

Bericht

Dr. Stefan Rubli, Energie- und
Ressourcen-Management GmbH,
8952 Schlieren

Grafiken S. 21-23

Martin Schneider
Tinu Schneider Datenanalyse
3600 Thun

Projektgruppe

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

Begleitgruppe

Franz, Adam, Christian Sieber, Elmar Kuhn,
(AWEL), Mathias Achermann (Umwelt und
Energie Kanton Luzern), Bernhard Brunner,
Christoph Troxler (Amt für Umweltschutz
Kanton Zug), Urs Dietschi, Martin Moser
(Amt für Umwelt Kanton Solothurn Martin
Eugster (Amt für Umwelt Kanton Thurgau),
Niccolò Gaido (Interkantonales Labor),
Peter Kuhn, David Schönbächler (Departement
Bau, Verkehr und Umwelt Kanton
Aargau), Stefan Rüegg (Amt für Umweltschutz
Kanton Schwyz), Daniela Marugg,
Guido Schmid (Amt für Umwelt und
Energie Kanton St. Gallen), Robin Quartier
(Bundesamt für Umwelt), Josef Wanner (ILU)

Bezug

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

Download als pdf über:

Google: Modellierung der Bau-, Rückbau-
und Aushubmaterialflüsse Juni 2012

Zürich, Juni 2012



Vorwort

Gouverner c'est prévoir

Seien wir ehrlich: oft ist eine Terminagenda unser Planungshorizont. Zu selten versuchen wir vorauszusehen, was sich innerhalb der kommenden Generation entwickeln könnte. Dabei wären Zukunftsszenarien eine notwendige Grundlage zur politischen Vorsorge.

Im Bereich der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialien haben wir nun ein Werkzeug erarbeitet, das eine Diskussion von Langfristszenarien vereinfacht. Es stellt Abhängigkeiten zwischen den drei Materialflüssen dar und erlaubt eine fast beliebige Variation von Einflussparametern nach dem Muster, „was wäre, wenn....?“

Das Werkzeug ist überregional angelegt. Acht Kantone sind daran beteiligt. Weitere Regionen können jederzeit mitmachen. Denn zukünftig müssen Materialflüsse im überregionalen Rahmen angegangen werden. Das ist ein wesentliches Resultat (nicht nur) aus der vorliegenden Arbeit.

Ein Teil der Resultate unterläuft eingeschliffene Denkmuster. Genau deshalb ist das Werkzeug notwendig. Es liefert neue Zusammenhänge und lässt alternative Sichtweisen zu. Und es hinterfragt vielleicht liebgewonnene Ideen, sobald Sensitivitäten betrachtet werden.

Der vorliegende Bericht kommt aus einer Werkstatt, die weiter bestehen wird. Die einzelnen Kantonsmodelle können kantonsspezifisch verfeinert werden. Wir werden Szenarien an Optionen testen müssen. Denn nicht alles Denkbare funktioniert auch. Politische Entscheide folgen später.

Christian Sieber

*Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich
Sektion Abfallwirtschaft*



Zusammenfassung

Ausgangslage

In der Schweiz können über 80% der anfallenden Rückbaumaterialien als aufbereitete Rückbaustoffe in den Baustoffkreislauf zurückgeführt werden. Durch die verstärkte Bauerneuerung dürfte künftig mit steigenden Rückbaumaterialflüssen zu rechnen sein. Die Rückbaustoffe ersetzen den Primärkies, was dazu führt, dass weniger Kies abgebaut wird. Ein verminderter Kiesabbau verringert das Auffüllvolumen in Kiesabbaugebieten für anfallendes Aushubmaterial. Um das Zusammenspiel von steigenden Rückbaumaterialflüssen, Kiesabbau und Aushubablagerung, besser zu verstehen, haben die Kantone Aargau, Schaffhausen, Solothurn, St. Gallen, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich ein Modell entwickeln lassen, welches neben sämtlichen relevanten Baumaterialflüssen (Kies, Kalk/Mergel, Ton, Aushub- und Rückbaumaterial) auch die Bewirtschaftung des Bauwerks erfasst. Jeder Kanton kann mit dem Modell den Istzustand modellieren und mittels Zukunftsszenarien mögliche Entwicklungen der Materialflüsse abschätzen. Damit wird ein proaktives Vorgehen zur Steuerung der Materialflüsse und zur Planung entsprechender Deponierungs- und Verwertungskapazitäten möglich.

Resultate

In den acht Kantonen belief sich der Baustoffbedarf im Jahr 2010 auf 11.5 Millionen Kubikmeter (Mio. m³). Es entsprach damit dem anfallenden Aushubmaterialvolumen. Der Rückbaumaterialanfall liegt bei knapp 3 Mio. m³. In den Kantonen Schwyz, Zug und Zürich übertrifft das Aushubmaterialvolumen den Baustoffbedarf. Der Grund dafür könnte sein, dass in diesen Kantonen aufgrund hoher Bodenpreise und einem grossen Anteil an Dienstleistungsgebäuden am gesamten Gebäudepark mehr in die Tiefe gebaut wird als in den anderen Kantonen.

Interessante Resultate ergeben sich aus dem Vergleich der pro-Kopf-Werte. Der Baustoffbedarf und der Aushubmaterialanfall liegen in den meisten Kantonen im Bereich von 3 bis 4 m³/Einwohner. Die Ausnahme bildet der Kanton Zug. Hier liegen die Werte beim Baustoffbedarf bei 5.2 m³/Einwohner und beim Aushubmaterialanfall bei 7.3 m³/Einwohner. Offensichtlich wurde im Kanton Zug im Jahr 2010 deutlich höher und dichter aber auch tiefer gebaut.

Durch die Beteiligung der acht Kantone konnten erstmals die grenzüberschreitenden Materialflüsse abgeschätzt werden. Die Resultate zeigen, dass diese teilweise sehr gross sind und in der Vergangenheit wohl eher unterschätzt wurden. So exportiert der Kanton Zürich rund ein Drittel oder 1.5 Mio. m³ des anfallenden Aushubmaterials in die umliegenden Kantone. Auch der Kanton Zug ist ein Nettoexporteur von Aushubmaterial.

Drei Szenarien REFERENZ 1, REFERENZ 2 und AUTARK wurden gerechnet. In den Szenarien REFERENZ 1 + 2 ist die Entwicklung der Neubauraten an die Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung gekoppelt. Die Sanierungs- und Rückbauraten werden bis zum Endpunkt (Jahr 2035) auf dem Stand von 2010 belassen. Im Szenario AUTARK werden sämtliche Import- und Exportflüsse auf null gesetzt. Entgegen den Erwartungen nehmen der Baustoffbedarf und der Aushubmaterialanfall in allen drei Szenarien bis ins Jahr 2035 relativ stark ab. Begründen lässt sich dieser Rückgang mit der Abnahme des Bevölkerungszuwachses in allen Kantonen. Der



Bevölkerungszuwachs dirigiert weitgehend den Bedarf an Bauten für Wohnen, Arbeiten und Infrastruktur. Sinkt der Zuwachs, fällt der Baumaterialbedarf entsprechend geringer aus.

Die Rückbaumaterialflüsse nehmen trotz gleichbleibenden Sanierungs- und Rückbauraten zu. Da der Gebäudebestand bis 2035 weiter wächst und sich die Rückbauraten auf den Bestand beziehen, ergibt sich eine Zunahme des Rückbaumaterialflusses in allen Kantonen. Diese Zunahme wird grösser ausfallen, wenn die Sanierungs- und Rückbauraten in Zukunft aufgrund der energetischen Sanierungen des Gebäudeparks ansteigen.

Durch den sinkenden Baustoffbedarf bei gleichzeitig ansteigenden Rückbaumaterialanfall nimmt der Anteil der Rückbaustoffe am Baustoffbedarf von heute rund 20% bis 2035 auf über 55% zu. Dies bedeutet, dass die Rückbaustoffe in Zukunft vermehrt im Hochbau und dort vor allem in gebundener Form im Beton eingesetzt werden müssen, um eine möglichst vollständige Verwertung zu gewährleisten.

Die Entwicklung der kumulierten Differenz zwischen Aushubmaterialanfall und Primärmaterialabbau kann als wichtiger Indikator für die künftige Kiesabbau- und Aushubdeponieplanung eingesetzt werden. So zeigt sich, dass die kumulierte Differenz im Szenario REFERENZ 1 in den meisten Kantonen bis 2035 auf maximal 5.6 Mio. m³ (Kanton Thurgau) ansteigt. Dies gilt auch für den Kanton Aargau, wenn angenommen wird, dass in den Kalksteinbrüchen der Zementwerke künftig kein Aushubmaterial zur Rekultivierung abgelagert wird (Szenario REFERENZ 2). Ganz anders sieht es aus, wenn Aushubmaterial in den Kalksteinbrüchen abgelagert werden könnte. Dann ergäbe sich bis 2035 ein zusätzliches Aushub-Ablagerungspotential von rund 14 Mio. m³.

Wie weiter

Die Modellierung verbessert das Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem Primärmaterialabbau, der Verwertung der Rückbaustoffe und der Aushubentsorgung auf nachvollziehbare Weise. Mit den individuellen Kantonsmodellen können nun die einzelnen Kantone jene Szenarien rechnen, die für ihre Planung nützlich sind. Der jetzige Bericht ist damit ein Einstieg für verfeinerte Analysen zur kantonalen Planung. Da die acht Kantone gleiche Grundlagen und gleiches Verständnis aufgebaut haben, ist ein zukünftiger überregionaler Abgleich von neuen Szenarien sicher sinnvoll. Solche regelmässigen Nachführungen sind vorgesehen.



INHALTSVERZEICHNIS

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	9
1.1	Ausgangslage	9
1.2	Zielsetzung	10
2	GRUNDLAGEN DER MODELLIERUNGEN	11
2.1	Modellgrundlagen statischer Teil des Modells	11
2.1.1	Vergleich der Modellparameter	12
2.1.2	Input-Output-Tabellen und Ausgleichsrechnungen	13
2.2	Modellgrundlagen des dynamischen Teils des Modells	14
2.2.1	Verwendete Parameter zur Modellierung des Prozesses BAUWERK	14
2.2.2	Beschäftigtenentwicklung	19
2.2.3	Definition der Szenarien	19
3	RESULTATE	20
3.1	Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall	20
3.2	Materialflüsse über die Kantonsgrenzen	21
3.2.1	Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen	21
3.2.2	Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	21
3.2.3	Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen	25
3.3	Autarkiegrad bezüglich der Baustoffversorgung und Aushubentsorgung	25
3.3.1	Autarkiegrad Baustoffversorgung	25
3.3.2	Autarkiegrad Aushubmaterialentsorgung	26
3.4	Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis	27
3.5	Entwicklung der Materialflüsse bis 2035	30
3.5.1	Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls	31
3.5.2	Entwicklung des Rückbaumaterialanfalls	32
3.5.3	Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau	32
3.5.4	Überregionale Betrachtung der Entwicklung der Materialflüsse	34
4	DISKUSSION	36
4.1	Das Zusammenspiel von Rohstoffabbau, Baustoffrecycling und Aushubentsorgung	36
4.2	Steuerung der Aushubentsorgung ist vermehrt eine überregionale Aufgabe	37
4.3	Überregionales Ressourcenmanagement am Beispiel der Aushubentsorgung	38
4.4	Der Anteil der Rückbaustoffe am totalen Baustoffinput wird stark zunehmen	38
4.5	Die wichtigsten Erkenntnisse	40
5	AUSBLICK	42
5.1	Die vier Phasen bis zur überregionalen Zusammenarbeit	42
5.2	Möglichkeiten für Modellupdates	43
5.3	Schlussbemerkungen	43
6	LITERATUR	44
	ANHANG	45



Glossar/Definitionen

BFS	Bundesamt für Statistik
BGF	Bruttogeschossfläche
MFA	Materialflussanalyse
Mio.	Millionen
m ³	Kubikmeter: Alle Angaben in m ³ beziehen sich auf das Festmass!
RC	Recycling
SFA	Stoffflussanalyse
Primärmaterialabbau	Umfasst den Abbau der mineralischen Rohstoffe Kies/Sand, Kalk, Mergel, Gestein und Tonmineralien.



1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Die an dieser Studie beteiligten Kantone führen bereits heute Statistiken zum Kies-, Kalk/Mergel- und Tonmineralienabbau, zur Aushubmaterialablagerung sowie oft auch zu den Aushubmaterialimporten aus anderen Kantonen. Oft liegen zudem Daten zu den Rückbaumaterialflüssen in die Bauschuttzubereitungsanlagen und zu den Ablagerungen in Inertstoffdeponien vor. Diese Baustoffströme hängen auf unterschiedliche Weise miteinander zusammen. Allerdings lassen sich diese Abhängigkeiten zwischen den Materialflüssen mit den heute zur Verfügung stehenden statistischen Grundlagen nur ungenügend aufzeigen.

Mit der Zunahme des Recyclings von mineralischen Baustoffen wird es künftig immer wichtiger werden, das Zusammenspiel von steigenden Rückbaumaterialflüssen, Kiesabbau und Aushubablagerung, insbesondere in Bezug auf die Deponieplanung, besser zu verstehen. Die Rückführung der mineralischen Rückbaustoffe in den Baustoffkreislauf führt durch die Substitution von Kies zu einem reduzierten Kiesabbau. Ein verminderter Kiesabbau führt jedoch dazu, dass weniger Ablagerungsvolumen für das anfallende Aushubmaterial zur Verfügung steht. Anhand eines Materialflussmodells, welches neben sämtlichen relevanten Baumaterialflüssen (Kies, Kalk/Mergel, Ton, Aushub- und Rückbaumaterial) auch die Bewirtschaftung des Bauwerks erfasst, kann eine umfassende Betrachtung durchgeführt werden. Zudem lassen sich mittels Zukunftsszenarien mögliche Entwicklungen der Materialflüsse abschätzen. Damit wird ein proaktives Vorgehen zur Steuerung der Materialflüsse und zur Planung entsprechender Deponierungs- und Verwertungskapazitäten möglich.

Schon heute werden relativ grosse Volumen der erwähnten Materialien über die Kantonsgrenzen hinweg verschoben. Künftig könnten diese Materialflüsse weiter zunehmen. Aus diesem Grund erscheint eine überregionale Betrachtung im Bereich des Rohstoffabbaus und der Aushubablagerung ein sinnvoller Ansatz zu sein. Die Kantone Aargau, Schaffhausen, Solothurn, St. Gallen, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich haben sich deshalb entschlossen, die Entwicklung eines Materialflussmodells in Auftrag zu geben, welches in der Lage sein soll, die heutigen Materialflüsse und die oben erwähnten Zusammenhänge zwischen den Materialflüssen auf Basis des jeweiligen Kantons zu modellieren (Istzustand). Das Modell soll zudem in der Lage sein, ausgehend vom Istzustand die künftige Entwicklung der Materialflüsse in Abhängigkeit von definierten Modellparametern abzubilden.

Im Rahmen des Projekts wurde in einer ersten Etappe für jeden Kanton ein statisches Materialflussmodell für das Bezugsjahr 2010 entwickelt. In der zweiten Etappe erfolgte die dynamische Modellierung von zwei ausgewählten Szenarien. Die Ziele der Projektetappen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Ziele der ersten Etappe:

- Entwicklung eines statischen Modells und Darstellung der Materialflüsse für das Bezugsjahr 2010.
- Abschätzung der Import- und Exportflüsse mit Hilfe von Import- und Exportdaten der am Projekt beteiligten Kantone.



- Darstellung und Interpretation der Zusammenhänge der Teilsysteme Rohstoffabbau (Kies, Kalk und Tonminerale), Rückbau- und Aushubmaterialentsorgung.

Ziele der zweiten Etappe:

- Entwicklung des dynamischen Modells mit der Darstellung der zeitlichen Entwicklung ausgewählter Materialflüsse für die zwei Szenarien REFERENZ und AUTARK.

Das dynamische Modell soll den Nutzern erlauben, die künftige Deponieplanung auf einer fundierten Basis zu entwickeln und diese bei Bedarf mit den Nachbarkantonen zu koordinieren.

Wichtiger Hinweis: Bei den in diesem Projekt definierten Szenarien REFERENZ und AUTARK handelt es sich um zwei ausgewählte Beispiele, um die Möglichkeiten der dynamischen Modellierung aufzuzeigen. Die Benutzer des Modells können aber später eine Vielzahl an eigenen Szenarien definieren und rechnen lassen. Das dynamische Modell basiert zudem auf dem mittleren Bevölkerungsentwicklungsszenario des Bundesamtes für Statistik. Auch hier können andere Basisdaten verwendet werden. Hierzu wird im Kapitel 2 näher eingegangen.

1.2 Zielsetzung

Mittlerweile verfügt jeder der am Projekt beteiligten Kantone über ein excelbasiertes Modell mit dem sich der Istzustand und kantonsspezifische Zukunftsszenarien rechnen lassen. Zusätzlich zu den Modellen erhielt jeder Kanton einen Bericht, in dem die methodischen Grundlagen und die Resultate aus den Modellierungen erläutert sind. Im vorliegenden Bericht werden die allgemeinen methodischen Grundlagen nur kurz thematisiert, da diese in den oben erwähnten Berichten ausführlich beschrieben sind. Allerdings sind für die überregionale Betrachtung methodische Grundlagen wie der Vergleich der Modellparameter, die Methode zur Abschätzung der kantonsübergreifenden Materialflüsse sowie der Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auf die dynamische Modellierung der Materialflüsse von Bedeutung. Die Modelle basieren somit grundsätzlich auf einem naturwissenschaftlich-technischen Ansatz. Politische Haltungen und Entscheidungsprozesse bleiben im vorliegenden Bericht weitgehend unberücksichtigt.

Im Resultatteil steht der Vergleich der Ergebnisse der Modellierungen im Vordergrund. Dabei werden die folgenden Aspekte thematisiert:

- Vergleich der Materialflüsse des Prozesses BAUWERK.
- Kantonsübergreifende Materialflüsse.
- Autarkiegrad in Bezug auf den Baustoffbedarf und die Aushubentsorgung.
- Darstellung der Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis.
- Vergleich der künftigen Entwicklung der Materialflüsse auf Basis des Szenarios REFERENZ.
- Entwicklung der kumulierten Differenz zwischen Kiesabbau und Aushubdeponierung auf kantonaler als auch auf der überregionalen Ebene.

Im Diskussionsteil wird auf die Möglichkeiten, welche das Modell bietet, eingegangen. Aufgrund der erarbeiteten Resultate werden regionale und überregionale Potenziale im Bereich des Ressourcenmanagements eruiert und diskutiert. Basierend auf diesen Analysen werden Empfehlungen und möglichen Massnahmen formuliert.



2 Grundlagen der Modellierungen

2.1 Modellgrundlagen statischer Teil des Modells

In der Abbildung 1 ist das System mit den betrachteten Prozessen (Boxen) und Materialflüssen (Pfeile) für den Kanton Zürich aufgeführt. Es handelt sich dabei um den modellierten Istzustand für das Bezugsjahr 2010. Anhand der Abbildung lässt sich der Aufbau des Modells erklären. Die Materialflussschemen aller am Projekt beteiligten Kantone befinden sich im Anhang A.1.

Zunächst wird im Modul BAUWERK der zentrale Prozess Bauwerk (Prozess Nr. 1 in der Abbildung 1) modelliert, um den Bedarf von mineralischen Baustoffen (Input ins Bauwerk), Anfall von Rückbaumaterial und Aushubmaterialfluss (jeweils Output) zu bestimmen. Die Modellierung des Bauwerks basiert auf den statistischen Daten zu den Gebäudevolumen. Mittels Dichtefaktoren (Tonnen Material pro Kubikmeter Gebäude) können aus den Gebäudevolumen die Materiallager im Gebäudepark in den Kantonen abgeschätzt werden. Für die Veränderung im Hochbau werden jeweils die Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten für das Wohnen und Nicht-Wohnen (Dienstleistungs-, Industriegebäude und weitere Gebäude) als Modellparameter eingesetzt. Die Materiallager in den Infrastruktursystemen werden über die Längen und Profile von Strassen, Schiene, Trinkwasser-, Abwasser-, Gas- und Stromleitungen abgeschätzt. Die Berechnung der Materialflüsse im Tiefbaubereich erfolgt über die Erneuerungsraten der einzelnen Baustoffe. Weitere Modellparameter im Tiefbaubereich, wie die Neubaurate sowie Gesteinskörnungsbedarf für Grossprojekte, werden ebenfalls berücksichtigt.

Materialflüsse Kanton Zürich

Stand vom 20.03.2012

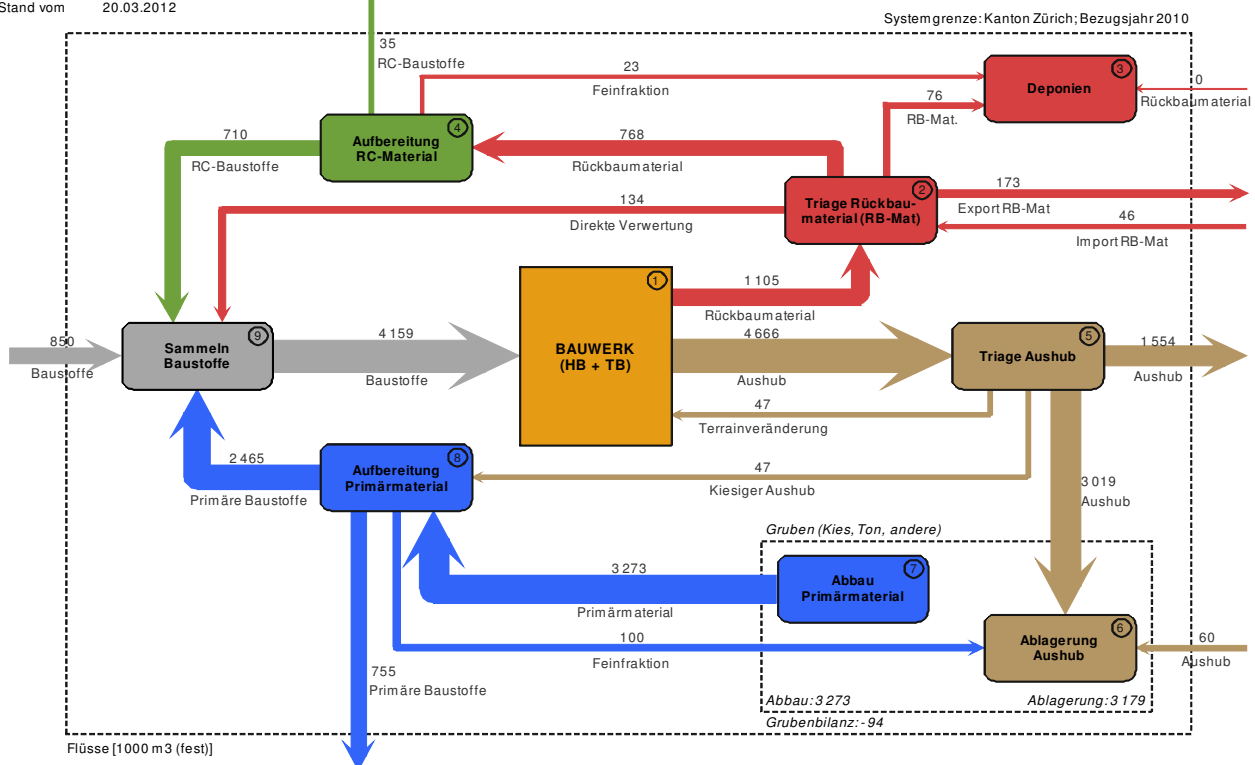


Abbildung 1: Modellierter Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse im Kanton Zürich in 1'000 m³ pro Jahr (Bezugsjahr 2010).



Der Anfall von Aushub wird aus der Neubau- und Ersatzneubautätigkeit mittels spezifischer Faktoren berechnet (Anfall Aushub pro Kubikmeter gebautes Gebäudevolumen). Der zu erwartende Aushubanfall aus Grossprojekten wird ebenfalls berücksichtigt.

2.1.1 Vergleich der Modellparameter

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Modellparameter des Moduls BAUWERK für die verschiedenen Kantone zusammengefasst. Die unterschiedlichen Raten im Hochbau widerspiegeln die regionalen Intensitäten der Bautätigkeit. Mit Neubauraten von 2.47% (ZG) und 2.02% (SZ) war die Bautätigkeit in den Kantonen Zug und Schwyz im Jahr 2010 sehr ausgeprägt. In den Kantonen Solothurn, Thurgau, St. Gallen und Schaffhausen sind deutlich geringere Neubau- und Rückbauraten zu verzeichnen.

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

	AG	SH	SG	SO	SZ	TG	ZG	ZH	
Veränderung Hochbau (Gebäude)									
Wohnen (EFH und MFH)									
Neubaurate in % des Bestandes	1,68	1,58	1,55	1,38	2,02	1,60	2,47	1,87	
Sanierungsrate in % des Bestandes	3,89	3,67	3,60	4,74	4,68	3,60	4,40	4,33	
Rückbaurate in % des Bestandes	0,11	0,07	0,12	0,05	0,35	0,10	0,48	0,25	
Nicht-Wohnen (restliche)									
Neubaurate in % des Bestandes	1,54	1,47	1,28	0,98	1,85	1,31	2,26	1,71	
Sanierungsrate in % des Bestandes	7,95	7,59	7,35	8,49	9,56	6,70	8,99	8,04	
Rückbaurate in % des Bestandes	0,34	0,15	0,37	0,15	1,07	0,29	1,45	0,62	
Veränderung Tiefbau (Infrastruktur)									
Erneuerungsraten									
Kies/Sand in % des Bestandes	0,56	0,44	0,58	0,53	0,62	0,52	0,65	0,59	
Belag in % des Bestandes	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
Beton in % des Bestandes	0,49	0,45	0,49	0,53	0,40	0,45	0,46	0,55	
Mauerwerk in % des Bestandes	1,35	0,93	0,96	1,20	0,80	1,24	1,01	1,30	
Mineral. Fraktion in % des Bestandes	1,53	1,45	1,56	1,55	1,53	1,65	1,69	1,53	
Neubaurate	1,20	1,80	1,25	1,40	1,00	1,23	1,70	0,90	
Grossprojekte	Anfall Aushub in m ³ fest						-	61'000	400'000

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 (siehe Abbildung 1). Analog zum Modul BAUWERK werden im Modul STOFFFLUSSANALYSE die Materialflüsse mittels weiteren Modellparametern berechnet und beeinflusst. Die Parameter sind entweder in Prozenten zu einer Bezugsgrösse oder als absolute Werte definiert. Da die meisten Kantone den Kiesabbau und die Aushubablagerung sowie teilweise auch die Aushubmaterialimporte aus Umfragen kennen, können diese Daten zur Quantifizierung und Kalibrierung des Modells verwendet werden. Da die Materialflüsse weitgehend voneinander abhängig sind, erfordert die Modellierung des Systems ein iteratives Vorgehen, im Rahmen dessen versucht wird, eine möglichst optimale Übereinstimmung von bekannten und modellierten Materialflüssen zu erreichen.

In der Tabelle 2 ist eine Auswahl von verwendeten Modellparametern, welche im Modul STOFFFLUSSANALYSE verwendet wurden, aufgeführt. Auch hier ist festzustellen, dass sich die einzelnen Modellparameter beim Vergleich der Kantone erheblich unterscheiden können. So variieren beispielsweise die Baustoffimportanteile zwischen knapp 11% (AG) und 38% (SG).



Ähnliches gilt für die Aushubmaterialexporte. Auffallend ist zudem der hohe Baustoffexport des Kantons Aargau. Mit über 1.35 Mio. m³ überwiegt dieser die Exporte der anderen Kantone teilweise um Grössenordnungen. Der Grund für den hohen Exportfluss ist vor allem die Zementproduktion bzw. der damit verbundene Rohstoffabbau im Kanton Aargau. Da ein grosser Teil des Zements in die umliegenden Kantone exportiert wird, hat dies eine entsprechende Auswirkung auf den Baustoffexport.

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

		AG	SH	SG	SO	SZ	TG	ZG	ZH
Importe									
A09	Import Baustoffe in % des Baustoffbedarfs	10,8	18,5	38,2	29,0	36,6	35,3	27,3	20,4
A06	Import Aushub (in Ablagerung) in m ³ fest	886'000	257'000	261'000	233'000	180'000	130'000	151'000	60'000
Exporte									
A50	Export Aushub in % des Aushubanfalls	14,8	16,3	13,0	29,0	11,8	7,7	27,0	33,3
A80	Export primäre Baustoffe in m ³ fest	1'353'000	40'000	397'000	290'000	222'000	50'000	193'000	755'000
Innere Flüsse									
A24	Rückbaumaterial in Aufbereitung. Es setzt sich zusammen aus:								
	Betonabbruch: Verwertungsanteil in %	95	95	80	75	98	95	87	95
	Mischabbruch: Verwertungsanteil in %	80	80	60	50	87	80	75	86
	Strassenaufbruch: Verwertungsanteil in %	90	95	80	85	95	91	85	95
	Ausbauasphalt: Verwertungsanteil in %	80	90	90	70	95	80	85	90
A29	Direkte Verwertung im TB in % des Anfalls	47	30	50	20	30	30	41	30
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>							

Einige Materialflüsse werden direkt im Modell berechnet. Es handelt sich dabei um die Materialflüsse, welche in den letzten vier Zeilen der Tabelle 2 aufgeführt sind. In den meisten Kantonen werden genau diese Materialflüsse mittels Umfragen bei den Unternehmen erhoben. Somit können diese Daten mit den im Modell berechneten Materialflüssen verglichen werden. Sind die Abweichungen zu gross, werden die Parameter so lange verändert, bis eine möglichst gute Übereinstimmung erreicht wird.

2.1.2 Input-Output-Tabellen und Ausgleichsrechnungen

Die in der Tabelle 2 aufgeführten Import- und Exportflüsse basieren auf relativ umfangreichen Datenerhebungen zu den Aushubimporten, auf Daten aus der Zollstatistik, auf Abschätzungen und auf sogenannten Ausgleichsrechnungen. Nachfolgend wird kurz erläutert, was Input-Output-Tabellen und Ausgleichsrechnungen sind und wie diese durchgeführt werden.

Die Modellierung erfolgte zunächst für jeden einzelnen der acht beteiligten Kantone. Der Vorteil ist nun, dass durch die Beteiligung von mehreren Kantonen am Projekt die kantonsübergreifenden Materialflüsse miteinander verglichen werden können. Mit anderen Worten: Der Exportfluss eines Kantons sollte dem Importfluss des Nachbarkantons entsprechen. Da es sich um sehr viele Materialflüsse handelt, werden diese Materialflüsse in sogenannten Input-Output-Tabellen eingetragen. Diese ermöglichen einerseits eine übersichtliche Darstellung der Daten, andererseits sind damit mathematische Berechnungen möglich. Insgesamt wurden drei Input-Output-Tabellen für die Materialflüsse von Kies/Sand, von Aushub- und Rückbaumaterial erstellt. Oft weichen die erfassten Materialflüsse mehr oder weniger stark voneinander



ab. Zudem sind nicht für alle grenzüberschreitenden Materialflüsse statistische Daten verfügbar. Somit müssen einige Materialflüsse abgeschätzt werden. Um dennoch möglichst realitätsnahe Materialflussvolumen zu erhalten, wird zunächst jedem Import- und Exportfluss ein Unsicherheitsbereich zugeordnet. Anschliessend lassen sich mittels Ausgleichsrechnungen (Programm Solver im Excel) jeweils die besten Schätzwerte für die einzelnen Import- und Exportflüsse bestimmen. Die Ergebnissen aus den Ausgleichsrechnungen fliessen wiederum in die Modelle ein. Im Anhang sind die Resultate der Ausgleichsrechnungen in Form der oben genannten Input-Output-Tabellen aufgeführt.

2.2 Modellgrundlagen des dynamischen Teils des Modells

Um die künftige Entwicklung der Materialflüsse modellieren zu können, muss einerseits bekannt sein, von welchen Parametern diese Entwicklung grundsätzlich abhängig ist. Im vorliegenden Fall haben verschiedene Parameter einen kurz- oder mittelfristigen Einfluss auf die Entwicklung der verschiedenen Materialflüsse. Andererseits ist es nicht möglich, die zeitliche Veränderung der möglichen Modellparameter exakt vorherzusagen. Dieses „Dilemma“ lässt sich nur lösen, indem mittels Szenarien Rahmenbedingungen definiert werden, auf denen ein solches Modell basieren soll. Damit wird es möglich, die zeitliche Entwicklung der Materialflüsse oder anderer Variablen unter den definierten Bedingungen abzubilden. Die Wahrscheinlichkeit, dass die definierten Szenarien künftig eintreten werden, muss dabei nicht unbedingt hoch sein. Vielmehr geht es darum, durch eine geschickte Wahl der Szenarien (zum Beispiel Extremszenarien) aufzuzeigen, wie gross der Streubereich der künftigen Entwicklungen in Abhängigkeit der verschiedenen Szenarien sein kann. In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst der Einfluss von verschiedenen Parametern auf die Entwicklung der Materialflüsse des Prozesses BAUWERK eingegangen. Anschliessend werden die gewählten Szenarien thematisiert.

2.2.1 Verwendete Parameter zur Modellierung des Prozesses BAUWERK

Wie bereits erwähnt, ist die künftige Entwicklung des Bauwerks von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Einige davon haben relativ grossen Einfluss auf die langfristige Entwicklung des Gebäudeparks, andere wiederum wirken relativ kurzfristig oder haben einen geringeren Effekt, so dass diese im Modell nicht berücksichtigt werden. In der Tabelle 3 sind die wichtigsten Faktoren, welche die Entwicklung des Bauwerks und die Neubauraten in der Schweiz beeinflussen, aufgeführt. Diese können qualitativ in Bezug auf ihren Einfluss beurteilt werden. Die Kommentare und Begründungen, warum ein Parameter als Modellparameter geeignet ist, sind ebenfalls aufgeführt. Der Vergleich des Einflusses von möglichen Modellparametern auf das Wachstum des Gebäudeparks zeigt, dass eine Veränderung des Bevölkerungs- und Beschäftigtenwachstums sowie eine Veränderung der Hypothekarzinsen einen starken Einfluss auf die Entwicklung des Gebäudeparks haben. Während sich zu- oder abnehmende Zinsen eher kurz- bis mittelfristig auf die Bautätigkeit auswirken, reagiert die Bautätigkeit auf die Veränderung der anderen Parameter eher auf der mittel- bis langfristigen Ebene. Da Zinsveränderungen nicht



vorhersehbar sind, diese aber bei einer langfristigen Betrachtung nicht wesentlich auswirken¹, wird dieser Parameter im Modell nicht berücksichtigt.

Tabelle 3: Mögliche Modellparameter mit Einfluss auf das Wachstum des Gebäudeparks und auf die Neubauraten. Die Parameter in den grau eingefärbten Feldern werden im Modell verwendet, um die Entwicklung der Materialflüsse des Prozesses „BAUWERK“ abzubilden.

Modellparameter mit Wirkung auf Neubauraten bzw. auf das Wachstum des Gebäudeparks	Einfluss auf Entwicklung Gebäudepark	Zeitliche Auswirkung	Begründung/ Kommentare	Eignung als Modellparameter
Bevölkerungswachstum	stark	mittel- bis langfristig	Für die zusätzlichen Einwohner müssen mittel- bis langfristig Wohnungen gebaut werden.	Gut, da die langfristigen Modellaussagen wesentlich sind.
Beschäftigtenwachstum	stark	mittel- bis langfristig	Für die zusätzlichen Beschäftigten müssen mittel- bis langfristig Büros, Werkstätten usw. gebaut werden.	Gut, da die langfristigen Modellaussagen wesentlich sind.
Bruttogeschossfläche in m ² pro Einwohner	schwach	langfristig	Starke Zunahme zwischen 1980 - 2000 , seit 2000 geringeres Wachstum. ⇒ Deutlich geringerer Einfluss auf die Neubauraten bzw. auf die Entwicklung des Bauwerks.	Gut, da Zuwachs relativ gering ist (max. 5 - 7% bis 2035), wird dieser Parameter nicht im Modell berücksichtigt.
Hypothekarzinsen, Baukonjunktur	stark	kurz- bis mittelfristig	Tiefe Zinsen erhöhen kurz- bis mittelfristig die Bautätigkeit. Ohne Bevölkerungswachstum würde sich diese aber wieder reduzieren. ⇒ Keine langfristige Auswirkung.	Schlecht, weil Entwicklung der Zinsen nicht vorhersehbar ist. Dieser Parameter wird im Modell nicht berücksichtigt.

Der Bedarf an Bruttogeschossfläche (BGF) pro Einwohner nahm in der vergangenen Jahrzehnten relativ stark zu. Neuere Publikationen zu diesem Thema zeigen hingegen, dass im

¹ Hier wird davon ausgegangen, dass eine rege Bautätigkeit bei tiefen Zinsen durch ein schwaches Wachstum in einer Hochzinsphase abgelöst wird. Bei einer Langzeitbetrachtung resultieren zwar kurz- bis mittelfristig Schwankungen, in der Summe ist die langfristige Entwicklung des Gebäudeparks aber vom Bevölkerungs- und Beschäftigtenwachstum abhängig.

Zeitraum von 2010 bis 2035 nur noch mit einem geringen Wachstum der BGF pro Einwohner zu rechnen ist (Hornung 2004, Schmied 2009). Zudem ist zu erwähnen, dass die spezifische BGF bei den Büro- und Gewerbeflächen aufgrund der zunehmenden Mobilität der Arbeitsplätze tendenziell abnehmen wird. Aus diesem Grund wird auch dieser Parameter im Modell nicht berücksichtigt. Somit verbleiben das Bevölkerungs- und Beschäftigtenwachstum als Modellparameter zur Modellierung der Entwicklung der Materialflüsse des Prozesses BAUWERK. Der Zusammenhang zwischen Bevölkerungsentwicklung und Baustoffbedarf ist in der Abbildung 2 dargestellt.

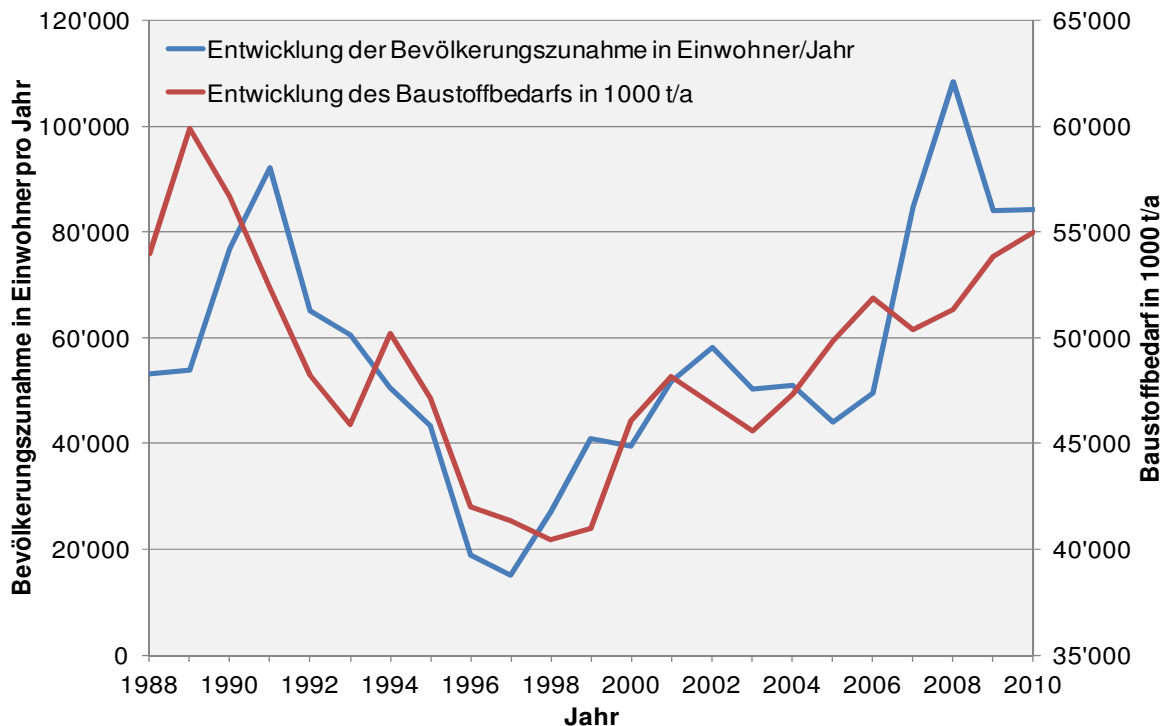


Abbildung 2: Entwicklung der jährlichen Bevölkerungszunahme und des Baustoffbedarfes zwischen 1988-2010 in der Schweiz. Quellen: BFS 2011 (ständige Wohnbevölkerung), BFS 2012 (Baustoffbedarf).

Die Entwicklung des Baustoffbedarfes verläuft weitgehend parallel zur Entwicklung des Bevölkerungswachstums. Sie zeichnet ihn genügend genau nach und eignet sich daher gut als Parameter zur Modellierung des Baustoffbedarfes.

Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auf die Entwicklung der Materialflüsse

Das Bundesamt für Statistik (BFS) hat Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone entwickelt, die sich auf die aktuellsten Szenarien für die gesamten Schweiz abstützen² (BFS

² Das BFS schreibt zu den Grundlagen der Szenarien: Die Bedeutung dieser Szenarien besteht darin, dass es sich dabei um eine Regionalisierung der nationalen Szenarien (bzw. deren Methoden und Hypothesen) handelt und nicht einfach um eine Verknüpfung verschiedener kantonaler Szenarien oder eine Verteilung der Bestände der nationalen Szenarien auf die verschiedenen Kantone. So wurden die kantonalen Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung gleichzeitig für jeden einzelnen Kanton berechnet und dann Schritt für Schritt auf die Ergebnisse der Vorausschätzungen zur Bevölkerungsentwicklung der gesamten Schweiz abgestimmt. Damit ist gewährleistet, dass die Summe der kantonalen Ergebnisse für jedes Jahr des Beobachtungszeitraums exakt mit der gesamtschweizerischen Bevölkerungsbilanz übereinstimmt.

2011). Insgesamt wurden drei Szenarien entwickelt. Das mittlere Szenario (AR-00-2101) ist das Referenzszenario des BFS und führt die im Laufe der letzten Jahrzehnte beobachteten Entwicklungen fort. Das dynamische Szenario (BR-00-2010) kombiniert die Hypothesen, welche das Bevölkerungswachstum begünstigen. Das tiefe Szenario (CR-00-2010) geht von Hypothesen aus, die hemmend auf das Bevölkerungswachstum wirken. In der Abbildung 3 ist das Bevölkerungswachstum im Kanton Zürich für die drei Szenarien abgebildet.

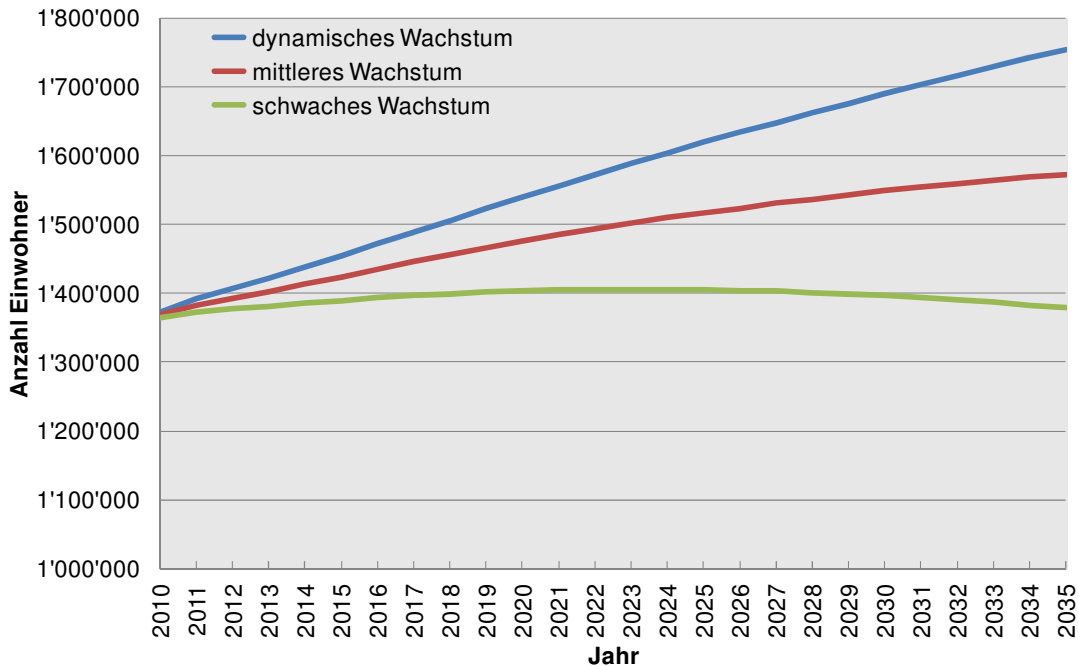


Abbildung 3: Entwicklung der Wohnbevölkerung im Kanton Zürich in Abhängigkeit der Szenarien des BFS.

Gut zu erkennen ist die Bandbreite der möglichen Entwicklungen. Die Wohnbevölkerung im Kanton Zürich könnte sich bis 2035 im Bereich zwischen knapp 1.4 Mio. bis rund 1.75 Mio. Einwohner bewegen. Dies ist ein massiver Unterschied und hat entsprechende Auswirkungen auf die Modellierung des Bauwerks. Die Differenz von rund 350'000 Einwohnern bedeutet, dass der entsprechende Wohnraum im Zeitraum von 25 Jahren in Abhängigkeit der Bevölkerungsszenarien im Modell erstellt oder nicht erstellt wird. Etwas bildhafter dargestellt, entspricht der erwähnte Unterschied von 350'000 Einwohnern in etwa der Wohnbevölkerung der Stadt Zürich!

Die Abbildung 4 zeigt die gleiche Entwicklung wie in Abbildung 3 allerdings als Nettozuwachs. Hier ist gut zu erkennen, dass die Wachstumsdynamik bei allen Szenarien im Verlauf mehr oder weniger stark abnimmt. Im Szenario „schwaches Wachstum“ resultiert ab 2024 gar eine Nettoabnahme der Wohnbevölkerung im Kanton Zürich.

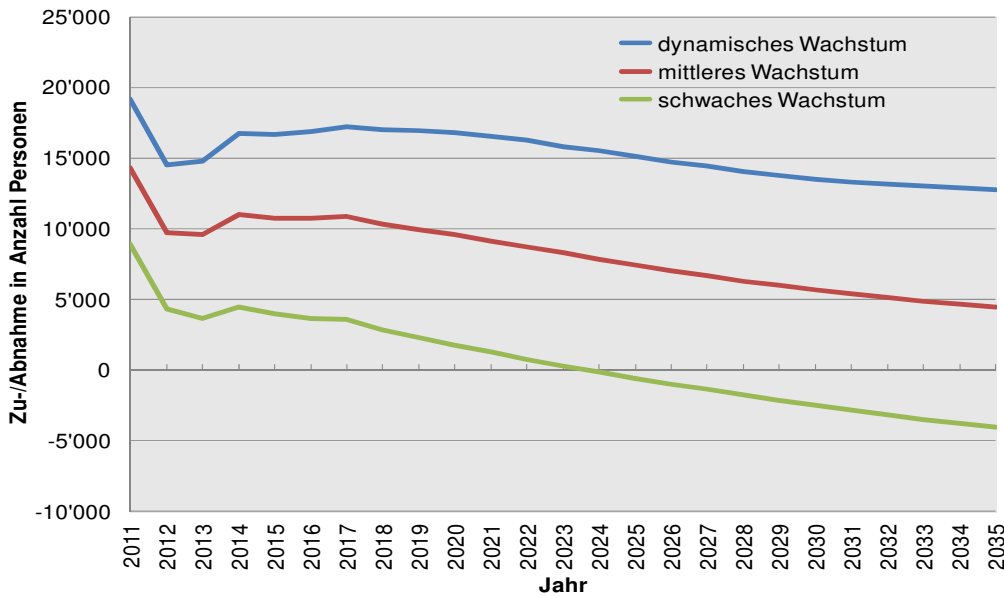


Abbildung 4: Jährliche Nettozunahme bzw. Abnahme der Wohnbevölkerung zwischen 2011-2035 im Kanton Zürich für die drei Szenarien des BFS.

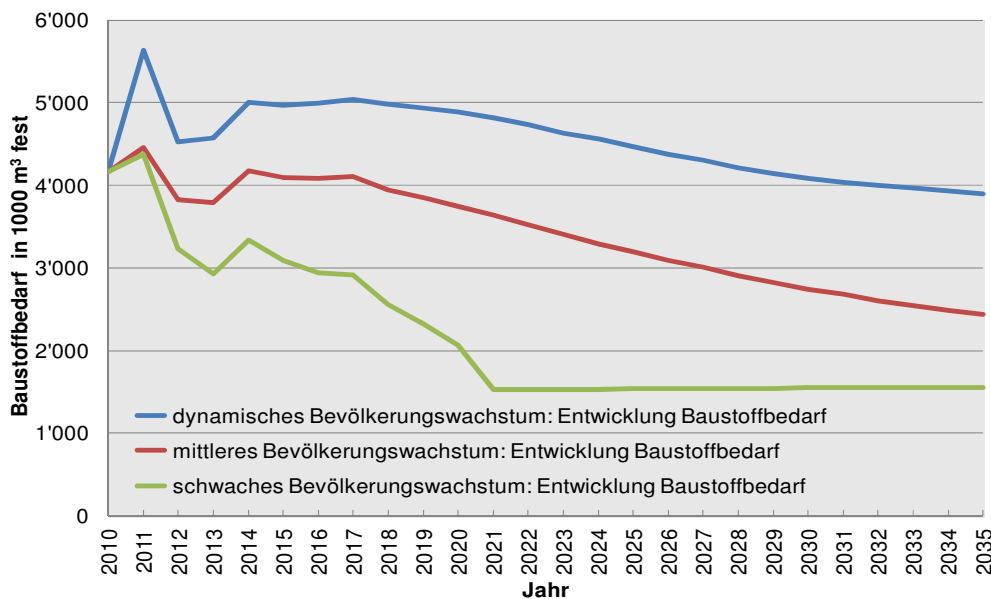


Abbildung 5: Modellierter Baustoffbedarf in Abhängigkeit der drei Szenarien des BFS zwischen 2010-2035.

In der Abbildung 5 ist die im Modell berechnete Entwicklung des Baustoffbedarfes in das Bauwerk in Abhängigkeit von den drei Bevölkerungsszenarien dargestellt. Der Vergleich der Kurven in den Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigt, dass diese ziemlich ähnlich verlaufen. Eine Ausnahme bildet die grüne Kurve für den Baustoffbedarf im Szenario „schwaches Bevölkerungswachstum“ in der Abbildung 5. Hier verläuft der Baustoffbedarf ab dem Jahr 2021 beinahe auf konstantem Niveau. Begründen lässt sich dies mit der Modellannahme, dass auch bei einem leicht negativen Wachstum eine gewisse Bautätigkeit stattfindet, welche einen entsprechenden Baustoffbedarf auslöst. Ein ähnliches Verhalten ist bei der Entwicklung des Aushubarfalls zu verzeichnen (Anhang A.2).



Die hier vorgestellten Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung im Kanton Zürich und deren Auswirkungen auf den Baustoffbedarf lassen sich auf relativer Basis grundsätzlich auch auf die anderen Kantone übertragen. Dies bedeutet, dass vor allem der Baustoffbedarf und der Aushubanfall stark von der Bevölkerungsentwicklung abhängig ist und damit sehr sensitiv auf diese reagieren. Aus diesem Grund kann im Modell die Bevölkerungsentwicklung vorgegeben werden, was den Vorteil hat, dass einerseits die Materialflüsse in Abhängigkeit der Bevölkerungsszenarien modelliert werden können. Andererseits lassen sich neue oder eigene Bevölkerungsszenarien über ein Datenblatt in das Modell einlesen und deren Auswirkungen auf die Materialflüsse modellieren. Um nicht zu viele Szenarien zu erhalten, basieren die nachfolgenden Resultate aus der dynamischen Modellierung auf dem mittleren Bevölkerungsszenario des BFS, dessen Eintretenswahrscheinlichkeit vermutlich am grössten ist.

2.2.2 Beschäftigtenentwicklung

Die Beschäftigtenentwicklung wird mittels einer Indexierung der Bevölkerungsentwicklung hergeleitet. Der Startwert zur Berechnung der Beschäftigtenentwicklung wird jeweils aus dem „Wirtschaftsatlas der Kantone“ entnommen (BAK BASEL, 2010). Sollten auf kantonaler Basis künftig detailliertere Daten vorliegen, können diese ebenfalls über das erwähnte Datenblatt in das Modell eingelesen werden. Somit sind auch hier Anpassungen an neue Entwicklungen möglich.

2.2.3 Definition der Szenarien

Für alle Kantone wurden die gleichen zwei Szenarien REFERENZ und AUTARK definiert. In beiden Szenarien wird zunächst die Entwicklung des Bauwerks (Modul BAUWERK) identisch modelliert (siehe Kap. 0 und 2.2.2). Wie erwähnt wird vorausgesetzt, dass sich die Neubauraten bis ins Jahr 2035 in Abhängigkeit von der Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung und der Beschäftigten verändern. Die Sanierungs- und Rückbauraten bleiben hingegen weitgehend konstant. Damit sind die drei Materialflüsse Input von Baustoffen in das Bauwerk sowie der Rückbaumaterial- und Aushubanfall aus dem Bauwerk in beiden Szenarien identisch.

Die Szenarien unterscheiden sich hingegen bezüglich dem Modul STOFFFLUSSANALYSE:

- **Szenario REFERENZ:** In diesem Szenario verbleiben die Transferkoeffizienten, bis auf die nachfolgend erwähnten Ausnahmen, auf dem Niveau von 2010. Aufgrund der abnehmenden Neubauraten werden die Endwerte bzw. die Transferkoeffizienten für den Aushubimport und -export (A_{06} und A_{50}) sowie den Baustoffimport (A_{80}) im Vergleich zu 2010 in den meisten Kantonen um bis zu 50% reduziert. Dies bedeutet, dass sich diese Materialflüsse bis 2035 jährlich linear bis zu den Endwerten absenken.
- **Szenario AUTARK:** In diesem Szenario soll das System ab 2011 autark sein. Dies bedeutet, dass sowohl die Importe als auch Exporte ab 2011 auf null gesetzt werden und dieser Zustand bis 2035 beibehalten wird.



3 Resultate

Die Resultate aus der Modellierung des Istzustandes in den einzelnen Kantonen liegen für jeden Kanton in Form einer grafischen Darstellung (wie in Abbildung 1) und als Tabellen vor und wurden im Rahmen der Berichte für die einzelnen Kantone bereits vorgestellt. Nachfolgend werden die Resultate aus den Modellierungen als Quervergleich zwischen den Kantonen präsentiert. Im Zentrum stehen dabei jeweils eher die über- bzw. interregionalen Aspekte.

3.1 Baustoffbedarf, Aushub- und Rückbaumaterialanfall

Erstmals können, mit den nun zur Verfügung stehenden Modellen, die durch der Bewirtschaftung des Bauwerks ausgelösten Materialflüsse wie der Baustoffbedarf, der Aushub- und der Rückbaumaterialanfall auf kantonaler Ebene systematisch quantifiziert werden (Tabelle 4). In der betrachteten Region betrug der Baustoffbedarf im Jahr 2010 rund 11.5 Mio. m³. Beinahe gleich gross ist der Aushubanfall mit ebenfalls knapp 11.5 Mio. m³. Somit kann auf grober Basis abgeleitet werden, dass über die gesamte Region gesehen, das mit dem Baustoffbedarf verbundene Rohstoffvolumen in einem ähnlichen Bereich liegt, wie das anfallende Aushubvolumen. Anders formuliert bedeutet dies, dass das benötigte Rohstoffvolumen (inklusive ca. 20% Recyclingbaustoffe) für den Bau und Betrieb des Bauwerkes in etwa gleich hoch ist wie der entsprechende Aushubanfall.

Tabelle 4: 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 1'000 m ³ fest	Aushubanfall in 1'000 m ³ fest	Rückbaumaterialanfall in 1'000 m ³ fest
AG	2'320	2'175	548
SG	1'650	1'303	409
SH	326	245	60
SO	874	728	208
SZ	573	607	180
TG	993	931	250
ZG	588	820	155
ZH	4'159	4'666	1'105
Total	11'483	11'475	2'915

Bemerkung: Grüne markierten Felder → Baustoffbedarf > Aushubanfall
 Blau markierte Felder → Baustoffbedarf < Aushubanfall

Interessant ist der Vergleich dieser Materialflüsse auf der kantonalen Ebene. So übertrifft in den Kantonen AG, SG, SH, SO, TG der Baustoffbedarf den Aushubanfall (grün markiert). In den anderen Kantonen verhält es sich genau umgekehrt (blau markiert). Dies hat unterschiedliche Gründe: So wird beispielsweise im Kanton Aargau neben dem Kiesabbau auch Kalk und Mergel für die Zementproduktion sowie Ton für die Ziegelproduktion abgebaut. Im Kanton Solothurn werden neben dem Kies zusätzlich im grösseren Umfang Tonminerale und Kalkgestein abgebaut, welche ebenfalls zu grossen Teilen in die umliegenden Kantone exportiert werden. Interessant ist nun, dass in den eher finanzkräftigen Kantonen mit einem relativ ausgeprägten Dienstleistungssektor die Materialflussbilanz umgekehrt ist. Offensichtlich wird in diesen



Kantone nicht nur in die Höhe, sondern auch vermehrt in die Tiefe gebaut. Um diese Hypothese zu stützen, müssten aber weitere Untersuchungen durchgeführt werden. In der betrachteten Region fallen knapp 3 Mio. m³ Rückbaumaterial an. Der grösste Teil davon, das heisst knapp 90%, wird in den Baustoffkreislauf zurückgeführt. Könnten 100% der Rückbaumaterialien rezykliert werden, betrüge der Recyclinganteil am Baustoffinput rund 25%.

3.2 Materialflüsse über die Kantonsgrenzen

Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, ergibt sich auf der überregionalen Ebene eine ausgeglichene Bilanz zwischen Baustoffbedarf und Aushubmaterialanfall. Auf der Ebene der Kantone zeigen sich hingegen grössere Unterschiede in den Bilanzen. Dies bedeutet, dass es zu Materialverschiebungen zwischen den Kantonen kommen muss, was grundsätzlich auch nachvollziehbar ist. Auf Basis der Resultate aus den Modellierungen 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 6). Alleine im Kanton Zürich werden 850'000 m³ Kies importiert und 755'000 m³ exportiert, was rund 20% des Kiesbedarfs im Kanton Zürich entspricht (Tabelle 4). Es findet somit ein intensiver Austausch mit den umliegenden Kantonen statt. Während der Kanton Zürich ein Nettoimporteure von Kies im Umfang von knapp 100'000 m³ ist, exportiert der Kanton Aargau netto rund 200'000 m³. Auch die Kantone Zug und Schwyz sind Nettoexporteure. Allerdings liegen hier die Importe und Exporte relativ nahe beieinander. Die Kantone Thurgau und St. Gallen weisen hohe Importüberschüsse von 300'000 m³ (TG) und 235'000 m³ (SG) aus und im Kanton Solothurn ist ein Importüberschuss von rund 70'000 m³ zu verzeichnen. Die überregionale Betrachtung zeigt, dass die gesamte Region mit rund 1.1 Mio. m³ sehr viel mehr Kies importieren muss als sie exportiert (Abbildung 6).

3.2.2 Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Im Vergleich zu den Kiesflüssen liegen die Aushubmaterialflüsse tendenziell eher etwas tiefer (Abbildung 7). Die grosse Ausnahme ist hier der Kanton Zürich. Dieser verschiebt über 1.5 Mio. m³ Aushubmaterial in die anderen Kantone. Die Aushubimporte aus dem Kanton Zürich sind hingegen mit rund 60'000 m³ marginal. Dementsprechend gross sind die Auswirkungen auf die anderen Kantone. So gelangt rund ein Drittel des exportierten Aushubmaterials aus dem Kanton Zürich in den Kanton Aargau. Dieser hätte eine ausgeglichene Import-Exportbilanz, wenn der Materialexport aus dem Kanton Zürich eingestellt würde. Ähnliches gilt für die Nachbarkantone Thurgau und St. Gallen sowie im geringeren Ausmass für die Kantone Schwyz und Zug. Erwähnenswert ist hier der grosse Materialfluss vom Kanton Zürich in den Kanton Schaffhausen. Hier handelt es sich um eine vorübergehende Besonderheit: Der grösste Teil dieser Aushubmaterialflüsse stammt aus dem Tunnelausbruch von der Baustelle „Durchmesserlinie“.

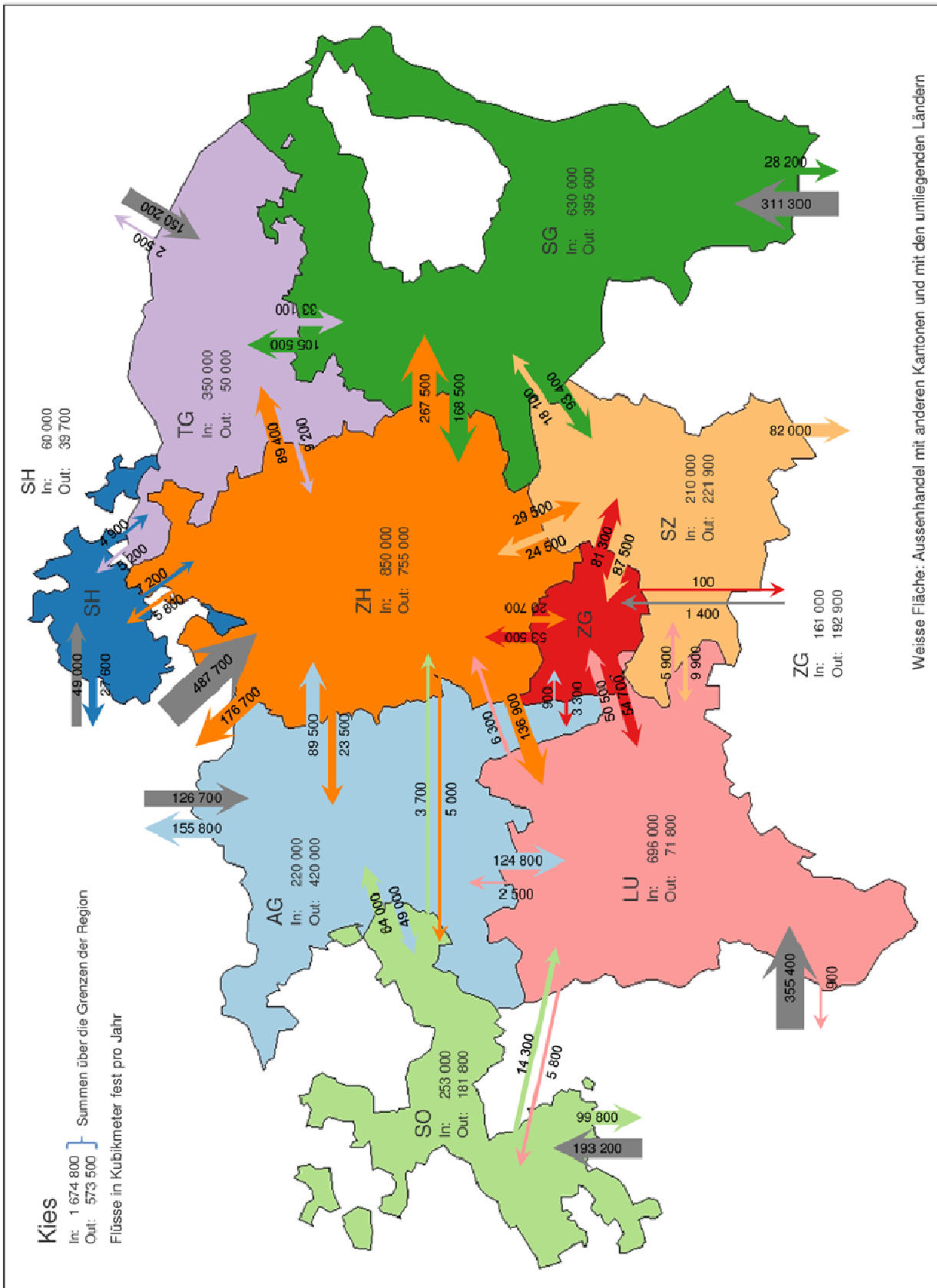


Abbildung 6: Kiesflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2010. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Kies» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

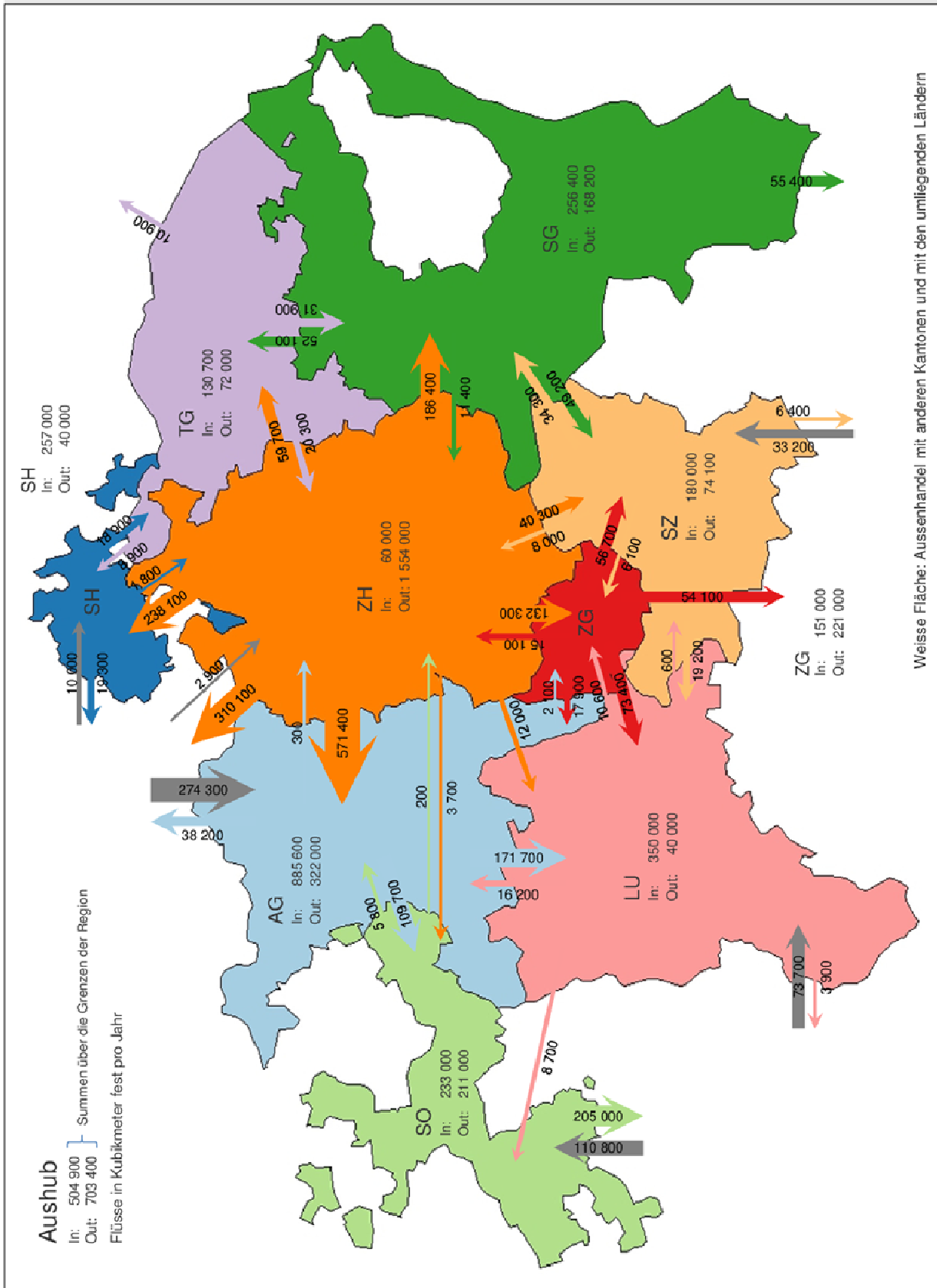


Abbildung 7: Aushubmaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2010. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Aushub» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.

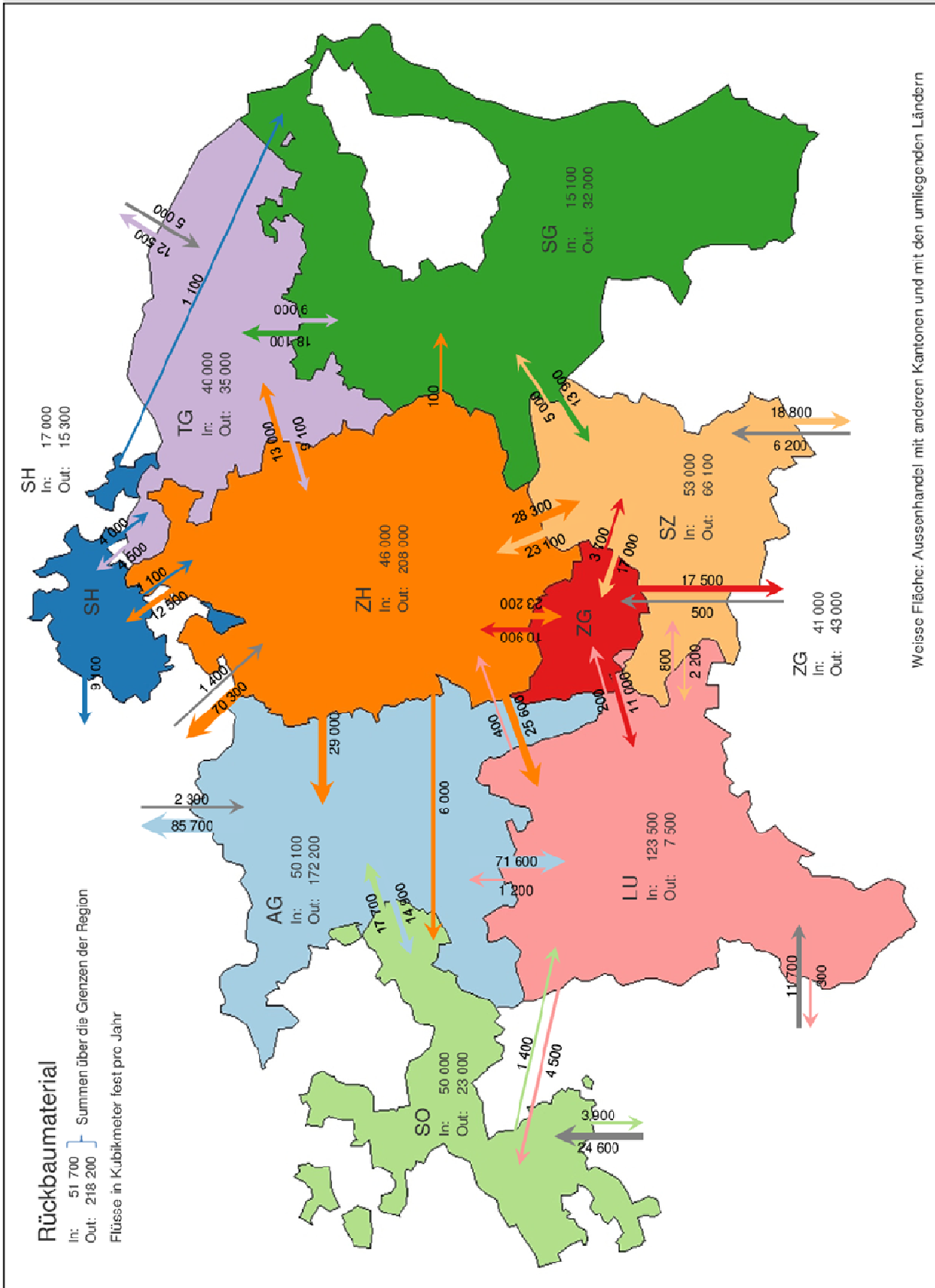


Abbildung 8: Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen im Jahr 2010. Die Werte unterhalb den Kantonsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Rückbaumaterial» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte.



3.2.3 Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen

Die Rückbaumaterialflüsse über die Kantonsgrenzen sind im Vergleich zum Kies und Aushub geringer. In den Kantonen Schaffhausen, Thurgau und Schwyz liegen die Importe und Exporte relativ nahe beieinander (Abbildung 8). Im Kanton St. Gallen sind die Exporte mit 30'000 m³ zwar rund doppelt so hoch wie die Importe, das Niveau ist aber im Vergleich mit dem Rückbaumaterialanfall von etwas mehr als 400'000 m³ (Tabelle 4) bescheiden. Die Kantone Aargau und Zürich sind mit 120'000 m³ bzw. 160'000 m³ relativ grosse Nettoexporteure von Rückbaumaterial. Interessant ist hier, dass ein erheblicher Teil der Exporte aus diesen Kantonen nach Deutschland exportiert wird (Rubli 2011 und 2012). So gelangt im Kanton Aargau rund die Hälfte der exportierten Rückbaumaterialien nach Deutschland. Im Kanton Zürich sind es rund ein Drittel. Im Kanton Solothurn sind die Importe mit 50'000 m³ rund doppelt so gross wie die Exporte (23'000 m³). Im Vergleich zum Rückbaumaterialanfall von etwas mehr als 200'000 m³ (Tabelle 4) bewegt sich der Nettoimport aber auf einem relativ tiefen Niveau.

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 Formeln³ ableiten. Allerdings sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich die nachfolgenden Angaben auf jeweils ein Jahr (Bezugsjahr 2010) beziehen. Die Autarkiegrade können sich somit schon in den nachfolgenden Jahren deutlich vom Bezugsjahr unterscheiden. Dennoch lassen sich mit dem Vergleich gewisse Tendenzen aufzeigen.

3.3.1 Autarkiegrad Baustoffversorgung

In der Abbildung 9 sind die regionalen Autarkiegrade der Baustoff- bzw. Kiesversorgung für die acht am Projekt beteiligten Kantone dargestellt. In den Kantonen Schaffhausen, Solothurn⁴, Schwyz, Zug und Zürich liegt der Autarkiegrad nahe bei 100%. Dies widerspiegelt relativ gut die in der Abbildung 6 dargestellte Situation in Bezug auf die Import- und Exportflüsse. In diesen Kantonen liegen die Importe und Exporte von Kies relativ nahe beieinander. Im Kanton St. Gallen und vor allem im Kanton Thurgau bewegt sich der Autarkiegrad mit 86% bzw. 70% deutlich unter 100%. Diese Kantone sind somit „unterversorgt“ und müssen Kies importieren. Auch dies kommt in der Abbildung 6 in Form von Importüberschüssen deutlich zum Ausdruck. Der Kanton Aargau weist einen sehr hohen Autarkiegrad von knapp 150% aus. Im diesem Kanton werden relativ grosse Baustoffvolumen exportiert, was wiederum in der Abbildung 6 in Form eines Importüberschusses von Kies im Umfang von rund 200'000m³ zu erkennen ist. Hier addieren sich

³ 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%

⁴ Beim Kanton Solothurn sind auch die Baustoffe Kalksteine und Tonminerale enthalten. Würde der Autarkiegrad nur auf Kies bezogen, läge dieser noch etwas tiefer.

zudem die Baustoffexporte in Form von Zement (bzw. der Rohstoffe für die Zementproduktion) und Ziegelsteinen im Umfang von über 900'000 m³ hinzu.

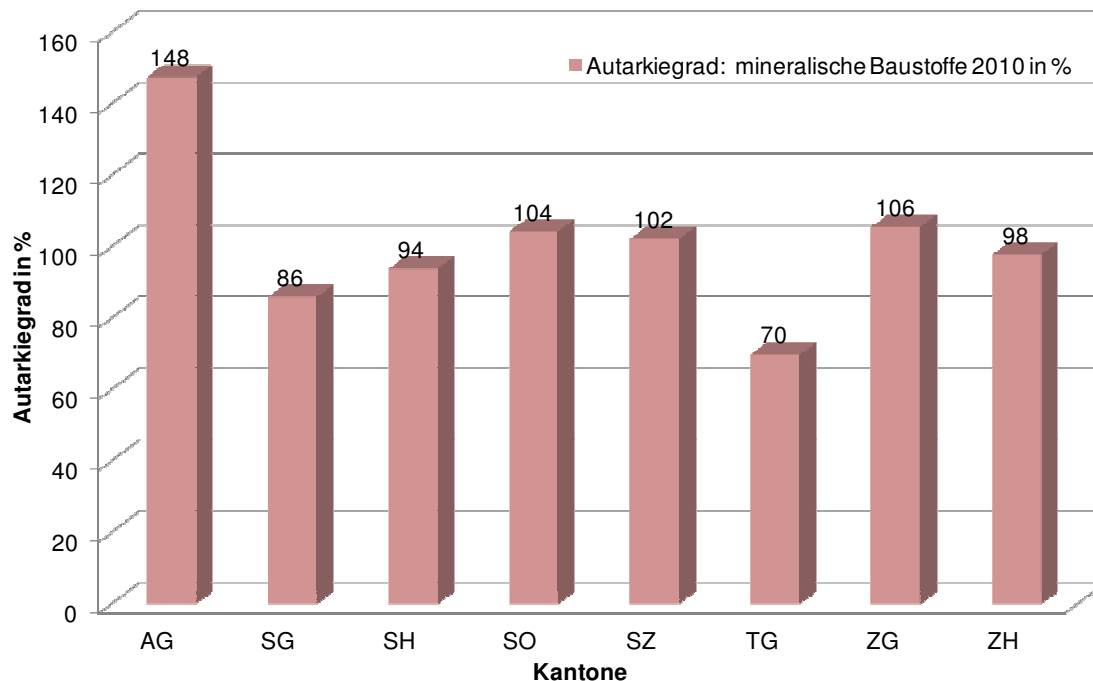


Abbildung 9: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Versorgung mit mineralischen Baustoffen bzw. Kies im Jahr 2010. Angaben in Prozenten.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass der Autarkiegrad bei genügend grossen Kiesvorkommen in den einzelnen Regionen bei ungefähr 100% liegen sollte. Aufgrund des tiefen Preises von Kies und den im Vergleich dazu hohen Transportkosten kann Kies nicht über grosse Distanzen transportiert werden. Deshalb wird nur so viel Kies abgebaut, wie die regionale Bauindustrie jeweils benötigt. Ganz anders ist die Situation beim Baustoff Zement. Der Preis für diesen Baustoff ist im Vergleich zu den Transportkosten sehr hoch. Aus diesem Grund kann dieser Baustoff über deutlich grössere Distanzen geführt werden. Anders formuliert: Das Einzugsgebiet für den Zementabsatz ist deutlich grösser als für den Kiesabsatz. Somit kann Zement im grossen Umfang vom Kanton Aargau in die umliegenden Kantone exportiert werden.

3.3.2 Autarkiegrad Aushubmaterialentsorgung

Wie sieht nun die Situation bei der Aushubentsorgung aus? Das Säulendiagramm in der Abbildung 10 zeigt auch hier deutliche Unterschiede zwischen den Kantonen. Während die Kantone St. Gallen, Solothurn, Thurgau und Zug im Bereich von 100% liegen, wird dieser in den anderen Kantonen teilweise massiv unter- oder überschritten. Ins Auge sticht der hohe Autarkiegrad von knapp 190% im Kanton Schaffhausen. Dieser hohe Wert ist auf den hohen Importfluss von Aushubmaterial zurückzuführen. Die Grafik ist in der Art zu interpretieren, dass im Jahr 2010 offensichtlich genügend Auffüllvolumen zur Verfügung stand, um ein grosses Volumen an Aushubmaterial aus dem Nachbarkanton anzunehmen. Wie bereits erwähnt, wurde sehr viel Tunnelausbruchmaterial von der Baustelle „Durchmesserlinie“ (Bahntunnel in der Stadt Zürich) in den Kanton Schaffhausen geführt. Es handelt sich somit um ein zeitlich beschränktes Vorhaben, was bedeutet, dass der Autarkiegrad in den kommenden Jahren wieder stark

zurückgehen wird. Neben dem Kanton Schaffhausen weist der Kanton Aargau als zweiter Kanton einen hohen Autarkiegrad von 126% aus. Da im Kanton Aargau netto rund 200'000m³ mehr Kies exportiert wird (Abbildung 6), kann grundsätzlich auch mehr Aushubmaterial angenommen werden. Allerdings übersteigt der Nettoimport von rund 560'000m³ Aushubmaterial den Nettoexport von Kies deutlich (Abbildung 7).

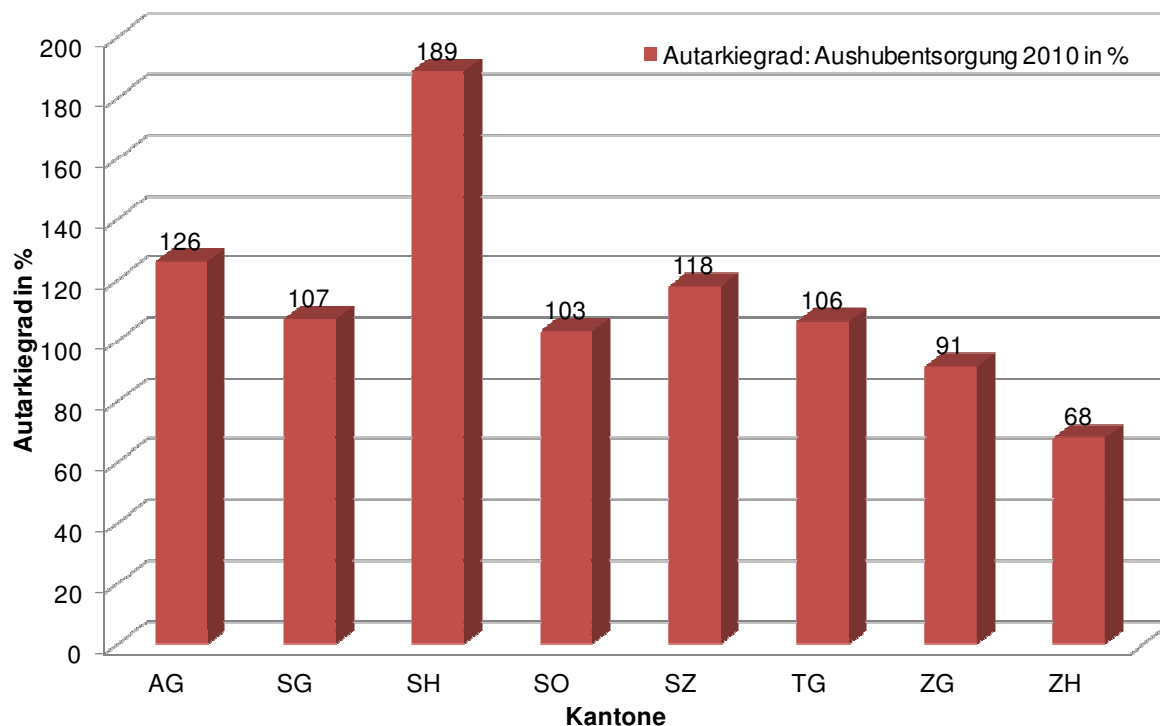


Abbildung 10: Regionale Autarkiegrade in Bezug auf die Aushubentsorgung im Jahr 2010. Angaben in Prozenten.

Auch beim Kanton Schwyz liegt der Autarkiegrad aufgrund der Nettoaushubimporte im Umfang von rund 100'000 m³ bei knapp 120%. Einen sehr tiefen Wert erreicht der Kanton Zürich. Mit unter 70% wird klar, dass sehr grosse Aushubvolumina nicht innerhalb des Kantons abgelagert, sondern in die umliegenden Kantone verschoben werden. Der in der Abbildung 7 angegebene Nettoexport von rund 1.5 Mio. m³ verdeutlicht diesen Aspekt noch einmal.

3.4 Ausgewählte Materialflüsse auf pro-Kopf-Basis

Heute verwenden die meisten Kantone zur Planung des Kiesabbaus und der Rekultivierung Daten, die auf pro-Kopf-Werten basieren. Dies bedeutet, dass die Kantone die gleiche Annahme treffen, wie im vorliegenden dynamischen Modell: Sie nehmen an, dass die Entwicklung der Materialflüsse von der Bevölkerungsentwicklung abhängig ist. Im Gegensatz zu den Modellen berechnen die Kantone aber die Materialflüsse, indem sie die pro-Kopf-Materialflüsse mit der erwarteten Bevölkerungsentwicklung multiplizieren. Allerdings ist eine solche Berechnung nur auf kurzfristiger Basis, das heisst über wenige Jahre sinnvoll. Bei einer langfristigen Betrachtung werden die pro-Kopf-Werte kontinuierlich sinken, weil der Bestand als Bezugsgrösse im Vergleich zur Zunahme immer grösser wird.

Da die Modelle der Kantone auf dem gleichen Systemaufbau basieren und zudem erstmals die kantonsübergreifenden Materialflüsse erhoben und abgeschätzt werden konnten, ist ein

umfassender Vergleich von pro-Kopf-Daten möglich. Grundsätzlich können sämtliche in der Abbildung 1 aufgeführten Materialflüsse auf eine pro-Kopf-Basis bezogen werden. Bei den nachfolgend vorgestellten Daten handelt es sich somit um eine beschränkte Auswahl von für die Planung wichtigen Materialflüssen.

In der Abbildung 11 ist der Baustoffbedarf, der Aushub- und Rückbaumaterialbedarf auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2010 angegeben. Ins Auge fallen sofort die hohen Werte des Kantons Zug. Sowohl beim Kiesbedarf ($5.2 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$) als auch im verstärkten Mass beim Aushubanfall ($7.3 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$) liegen die Werte deutlich über dem Durchschnitt der anderen Kantone. Die hohen Werte sind sicherlich auf die intensive Bautätigkeit im Bezugsjahr 2010 zurückzuführen (siehe auch Tabelle 1). Allerdings erscheint der im Vergleich mit den anderen Kantonen rund doppelt so hohe Wert beim Aushubanfall sehr hoch. Möglicherweise kam es im Jahr 2010 zu grossen Projekten mit hohen Aushubkubaturen. In diesem Fall würde es sich um einen „Ausreisser“ handeln. Es ist aber bekannt, dass die spezifischen pro-Kopf-Werte für den Aushubanfall im Kanton Zug schon in der Vergangenheit überdurchschnittlich hoch waren.

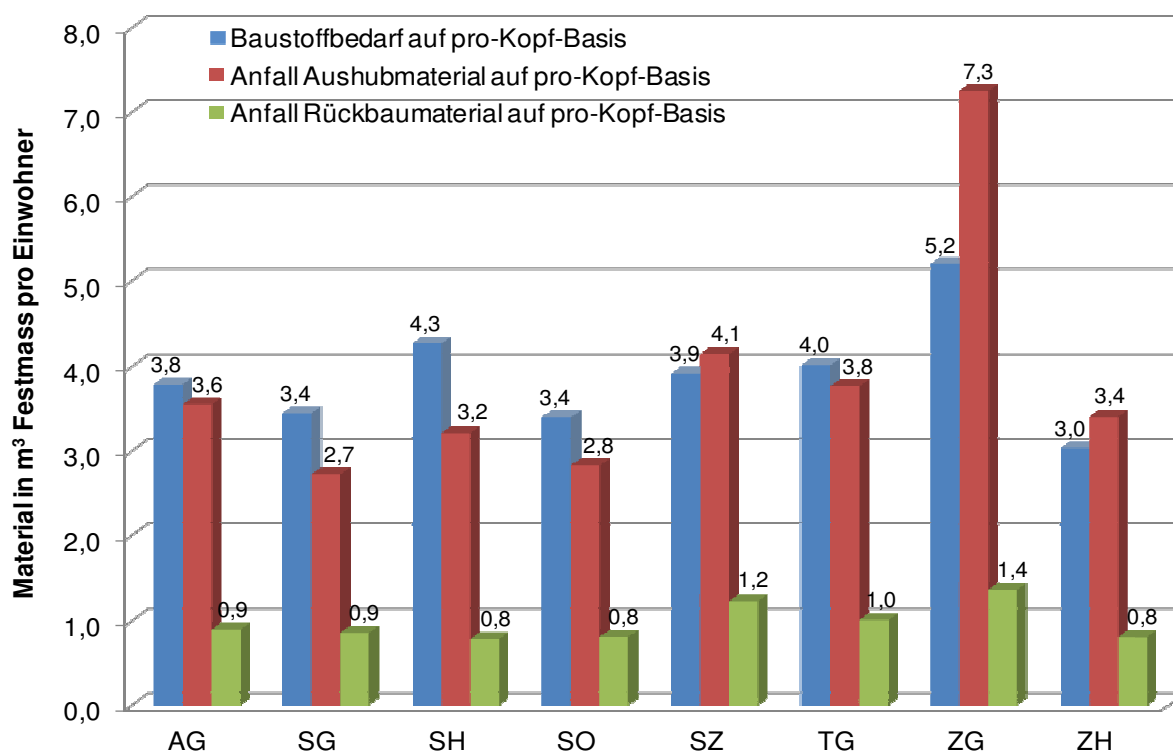


Abbildung 11: Vergleich des Baustoffbedarfs (blaue Säulen), des Aushubanfalls (braun) und des Rückbaumaterialanfalls (grün) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2010 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

Die pro-Kopf-Werte der anderen Kantone bewegen sich beim Baustoffbedarf im Bereich von $3.0 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ (ZH) und $4.3 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ (SH) sowie beim Aushubmaterialanfall zwischen $2.7 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ (SG) und $4.1 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$ (SZ). Beinahe gleiche pro-Kopf-Werte weisen die Kantone St. Gallen und Solothurn auf, wobei der Unterschied zwischen dem Baustoffbedarf ($3.4 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$) und dem Aushubmaterialanfall ($2.7 \text{ m}^3/\text{Einwohner}$) mit rund 20% relativ ausgeprägt ist. Noch ausgeprägter ist dieser Unterschied im Kanton Schaffhausen, in dem im Jahr 2010 offensichtlich ein grosser Baustoffbedarf herrschte. Da es sich hier um einen kleinen

Kanton handelt, können sich grössere Projekte relativ stark auswirken. In den anderen Kantonen (AG, SZ, TG und ZH) liegen der Baustoffbedarf und der Aushubanfall relativ nahe beieinander.

Beim Rückbaumaterialanfall ist festzustellen, dass der pro-Kopf-Wert in den meisten Kantonen im Bereich von 0.8 – 1.0 m³/Einwohner liegt. Nur in den Kantonen Schwyz und Zug sind diese Werte mit 1.2 bzw. 1.4 m³/Einwohner aufgrund der relativ starken Rückbautätigkeit etwas höher (siehe Tabelle 1).

In der Abbildung 12 ist Primärmaterialabbau, die Aushubablagerung (inkl. Importe) und der Aushubanfall auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2010 dargestellt. Offensichtlich ist die Situation von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich.

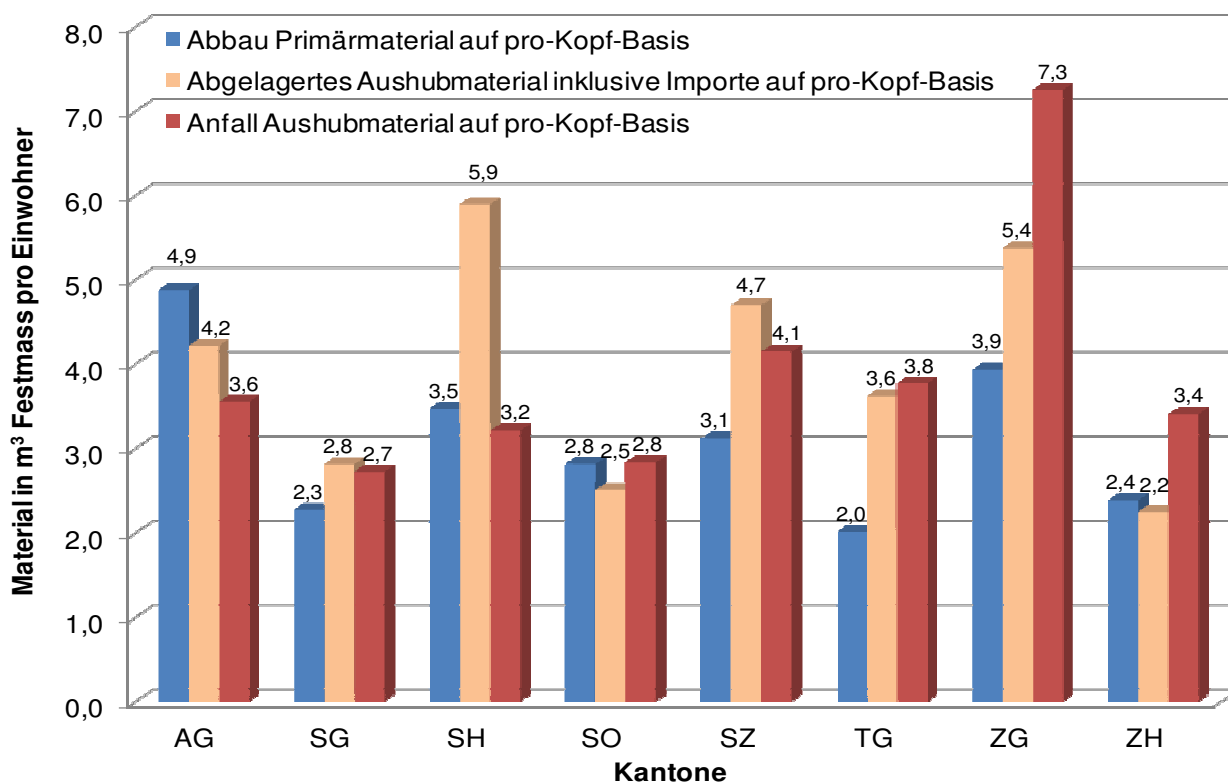


Abbildung 12: Vergleich des Primärmaterialabbaus (blaue Säulen), der Aushubablagerung inklusive Aushubimporte (hellbraun) und des Aushubanfalls (rot-braun) auf pro-Kopf-Basis für das Bezugsjahr 2010 nach Kantonen. Die Werte sind in Kubikmetern fest pro Einwohner angegeben.

In beinahe allen Kantonen übertrifft die Aushubablagerung den Kiesabbau. Nur in den Kantonen Aargau und Solothurn sowie im Kanton Zürich übertrifft der Kiesabbau die Aushubablagerung mehr oder weniger stark. Der hohe Primärmaterialabbau im Kanton Aargau ist zu einem erheblichen Teil auf den Abbau von Kalk/Mergel und Ton zurückzuführen. Dieser Anteil beträgt knapp 1.7 m³/Einwohner und ist zum heutigen Zeitpunkt nicht für die Rekultivierung nutzbar! Ähnliches gilt für den Kanton Solothurn bei dem dieser Anteil bei knapp 0,4 m³/Einwohner liegt.

In den Kantonen Aargau, Schaffhausen und Schwyz liegt die pro-Kopf-Aushubablagerung teilweise massiv über dem pro-Kopf-Aushubanfall. In diesen Kantonen muss ein relativ grosser Importüberschuss vorliegen. Diese Vermutung wird durch den hohen Autarkiegrad in Bezug auf die Aushubentsorgung bestätigt (Abbildung 1).



Um detaillierte Informationen zum pro-Kopf-Aushubvolumen, welches in den Kantonen anfällt und dort deponiert wird, sowie zu den Aushubimporten und –exporten zu erhalten, sind diese Daten in der Abbildung 13 zusammengefasst. Auch hier zeigt sich ein relativ heterogenes Bild: Während die Aushubexporte in viele Kantonen (AG, SG, SH, SO, SZ, TG) mehr oder weniger deutlich unter 1.0 m³/Einwohner liegen, übertreffen die Aushubimporte diesen Wert teilweise um Faktoren (Schaffhausen).

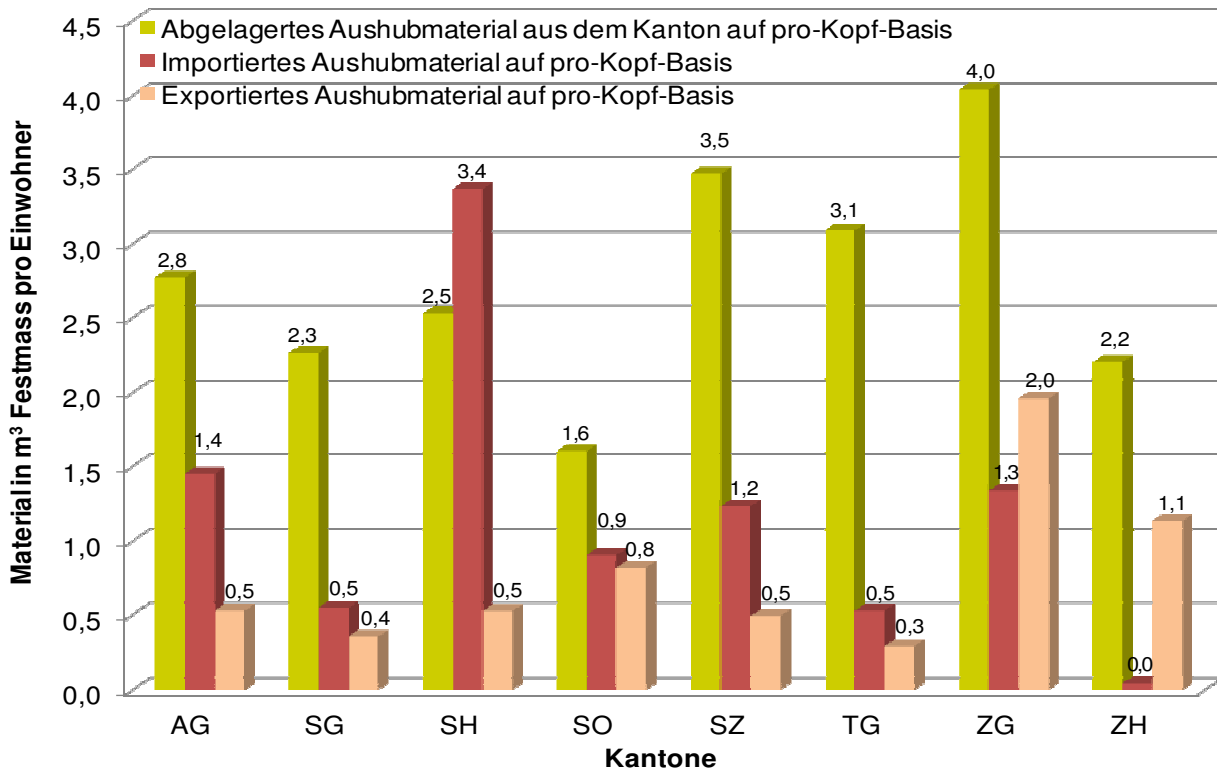


Abbildung 13: Aus den Kantonen stammende Aushubvolumina, die in den Kantonen abgelagert wurden sowie die Aushubimporte- und Exporte auf pro-Kopf-Basis für das Jahr 2010.

Die Importe und Exporte bewegen sich in den Kantonen St. Gallen und Thurgau auf einem relativ tiefen Niveau und sind beinahe ausgeglichen. Auch im Kanton Solothurn ist die Bilanz beinahe ausgeglichen. Die Importe und Exporte bewegen sich aber auf einem höheren Niveau, was auf die geografischen Rahmenbedingungen in diesem Kanton zurückzuführen ist. Wie bereits oben erwähnt, sind die Nettoimporte in den Kantonen Aargau, Schaffhausen und Schwyz relativ gross. Speziell zu erwähnen ist der sehr hohe Exportüberschuss des Kantons Zürich auf pro-Kopf-Basis. Der Aushubanfall liegt dort bei 3.4 m³/Einwohner (Abbildung 12). Während die Aushubimporte marginal sind (0.04 m³/Einwohner), wird mit 1.1 m³/Einwohner rund ein Drittel des anfallenden Aushubmaterials exportiert.

3.5 Entwicklung der Materialflüsse bis 2035

Die Modellierung des Istzustandes für das Bezugsjahr 2010 in den Kantonen bildet die Basis für das dynamische Modell. Für jeden Kanton wurde die Entwicklung der Materialflüsse in Abhängigkeit der Szenarien REFERENZ und AUTARK modelliert.



3.5.1 Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Aushubmaterialanfalls

In der Abbildung 14 ist die Entwicklung des Baustoffbedarfs zwischen 2010 und 2035 dargestellt. Die Entwicklung ist für die beiden Szenarien REFERENZ und AUTARK gleich. Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Baustoffbedarf in allen Kantonen relativ stark zurückgeht. Im Kanton Zürich zeichnet sich gemäss dem Modell ein Rückgang von etwas über 4 Mio. m³ im Jahr 2010 auf knapp 2.5 Mio. m³ im Jahr 2035 ab. Wie im Kapitel 0 beschrieben, basiert dieser Rückgang auf der angenommenen Bevölkerungsentwicklung des BFS⁵. Sollte die Bevölkerungsentwicklung dynamischer verlaufen, reduziert sich der Baustoffbedarf im zeitlichen Verlauf weniger stark.

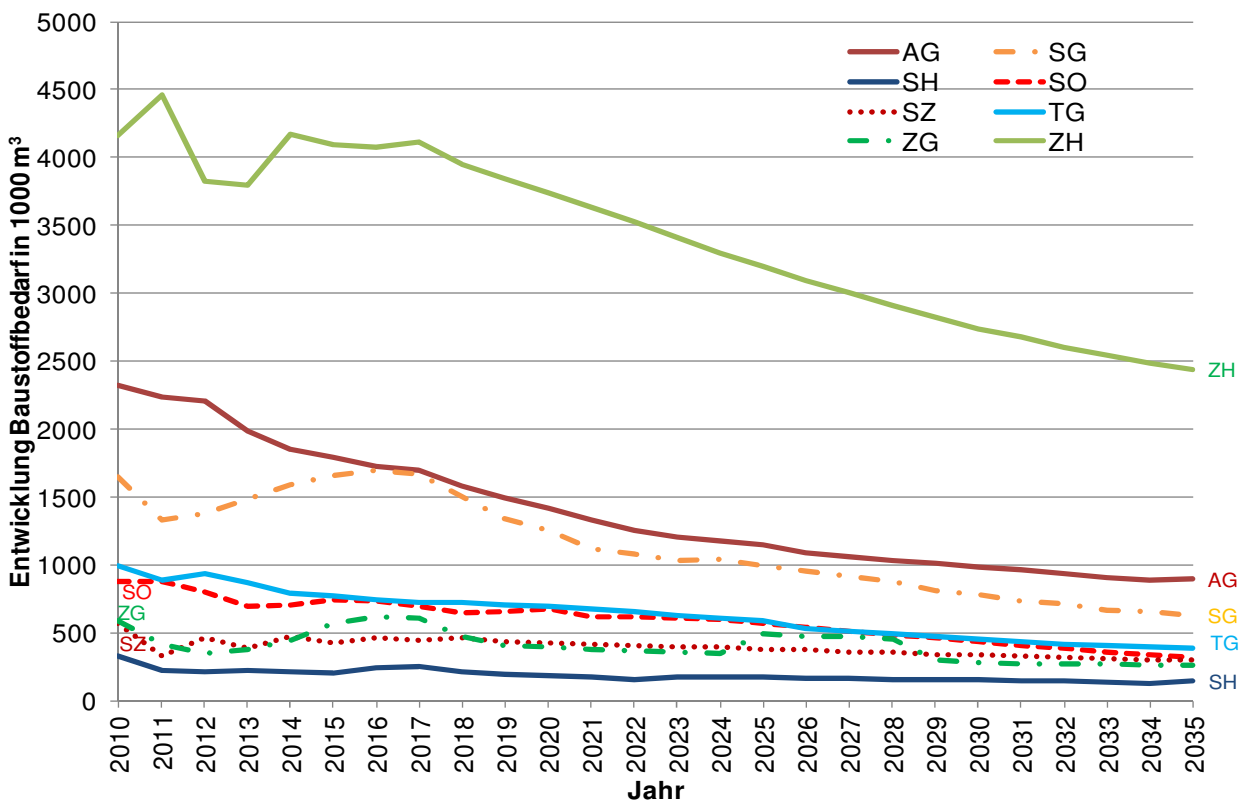


Abbildung 14: Entwicklung des Baustoffbedarfs in den Kantonen zwischen 2010 und 2035 auf Basis des dynamischen Modells. Die Entwicklung des Baustoffbedarfs ist bei beiden Szenarien (REFERENZ und AUTARK) gleich. Angaben in 1000 m³ fest.

Die Entwicklung des Aushubmaterialanfalls verläuft grundsätzlich ähnlich wie diejenige des Baustoffbedarfs (Abbildung im Anhang). Allerdings sind die Abnahmen noch etwas stärker als beim Baustoffbedarf. So reduziert sich beispielsweise im Kanton Zürich der Aushubanfall von rund. 4.5 Mio. m³ im Jahr 2010 auf knapp 1.8 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 Neubau- und Ersatzneu-

⁵ Für sämtliche Kantone wurde in den Modellen das mittlere Szenario zur Bevölkerungsentwicklung des Bundesamtes für Statistik verwendet.



bauraten abhängig, die aber in Abhängigkeit von der Bevölkerungsentwicklung in den Kantonen relativ stark zurückgehen.

3.5.2 Entwicklung des Rückbaumaterialanfalls

Im Gegensatz zum Baumaterialbedarf und Aushubmaterialanfall nehmen die Rückbaumaterialflüsse in allen Kantonen bis 2035 zu. Da sowohl die Sanierungs- und Rückbauraten im Zeitraum 2010 – 2035 in beiden Szenarien konstant auf den Startwerten des Bezugsjahres 2010 belassen werden, basiert die Zunahme der Rückbaumaterialflüsse ausschliesslich auf der Zunahme des Gebäude- und Infrastrukturbestandes, auf die sich Sanierungs- und Rückbauraten beziehen.

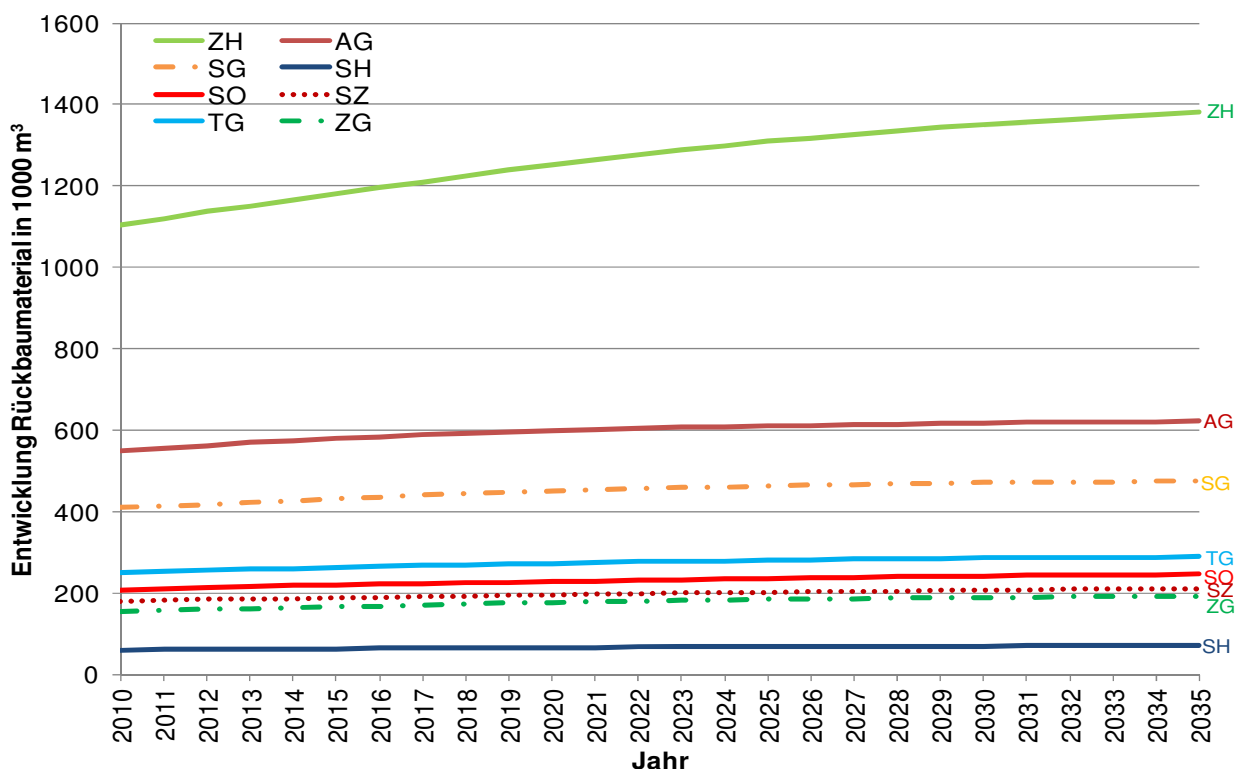


Abbildung 15: Entwicklung der Rückbaumaterialflüsse in den Kantonen zwischen 2010 und 2035 auf Basis des dynamischen Modells. Angaben in 1000 m³ fest.

3.5.3 Kumulierte Differenz zwischen Aushubablagerung und Primärmaterialabbau

In der Abbildung 16 sind die Entwicklungen der kumulierten Differenzen⁶ zwischen der Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau in den acht Kantonen für das Szenario REFERENZ dargestellt. Zusätzlich wurde ein weiteres Szenario REFERENZ 2 gerechnet, in dem angenommen wird, dass auch in Zukunft kein Aushubmaterial in den Steinbrüchen der Zementwerke abgelagert wird.

⁶ 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.



Die Entwicklung der kumulierten Differenz bildet gewissermassen die Entwicklung der Ablagerungssituation auf der kantonalen Ebene ab dem Jahr 2010 ab. Sie eignet sich deshalb als ein Grundlagenparameter für eine längerfristige Deponieplanung. Steigt die Kurve an, ist insgesamt ein Aushubüberschuss zu verzeichnen. Das Aushubmaterial muss somit entweder exportiert, in bestehenden Kiesgruben oder in Form von Hügeldeponien abgelagert werden. Ein abnehmender Verlauf bedeutet, dass der Primärmaterialabbau grösser ist als die Aushubablagerung, es entstehen Grubenvolumen. In dieser Betrachtung sind die bereits bestehenden Grubenvolumen nicht mit einbezogen. Diese müssten deshalb bei einer längerfristigen Deponieplanung zusätzlich berücksichtigt werden. Insgesamt scheint die Situation in den meisten Kantonen (SG, SO, SZ, ZG, ZH) relativ ausgeglichen zu verlaufen. Im Kanton Thurgau ist unter dem vorausgesetzten Szenario bis 2035 mit einem Aushubüberschuss von über 5.5 Mio. m³ zu rechnen. Hier müssten somit weiter Aushubdeponien geplant werden. Ganz anders sieht die Situation im Kanton Aargau aus. Hier geht die Kurve für das Szenario REFERENZ 1 stark in den negativen Bereich (ca. -14 Mio. m³). Es entsteht somit zusätzliches offenes Grubenvolumen. Die Entwicklung ist aus der Vergangenheit bekannt. Das offene Volumen befindet sich weniger in Kiesabbaugebieten als vielmehr in Steinbrüchen der Zementproduktion. Diese Abbaustellen werden zurzeit noch nicht rekultiviert, bieten aber für die Zukunft ein mögliches Potenzial für eine Aushubentsorgung.

Für den Kanton Aargau wurde ein zweites Szenario REFERENZ 2 gerechnet, in dem vorausgesetzt wird, dass das seit 2010 neu generierte Leervolumen in den Steinbrüchen zukünftig nicht aufgefüllt wird. Der Verlauf der kumulierten Differenz (braun gestrichelte Linie in der Abbildung 16 mit AG 2 bezeichnet) unterscheidet sich in diesem Szenario REFERENZ 2 stark vom Verlauf der gleichen Kurve im Szenario REFERENZ 1 (braun ausgezogene Linie in der Abbildung 16 mit AG 1 bezeichnet). Die kumulierte Differenz steigt bis ins Jahr 2021 auf 3.5 Mio. m³ an und geht bis 2035 auf rund 1.5 Mio. m³ zurück. Trifft dieses Szenario ein, so muss auch der Kanton Aargau weitere Auffüllkapazitäten schaffen, um das anfallende Aushubmaterial entsorgen zu können. Dieses Szenario entspricht der heutigen Situation im Kanton Aargau, denn in den verschiedenen Regionen besteht durchaus ein Bedarf nach weiteren Ablagerungskapazitäten für Aushub.

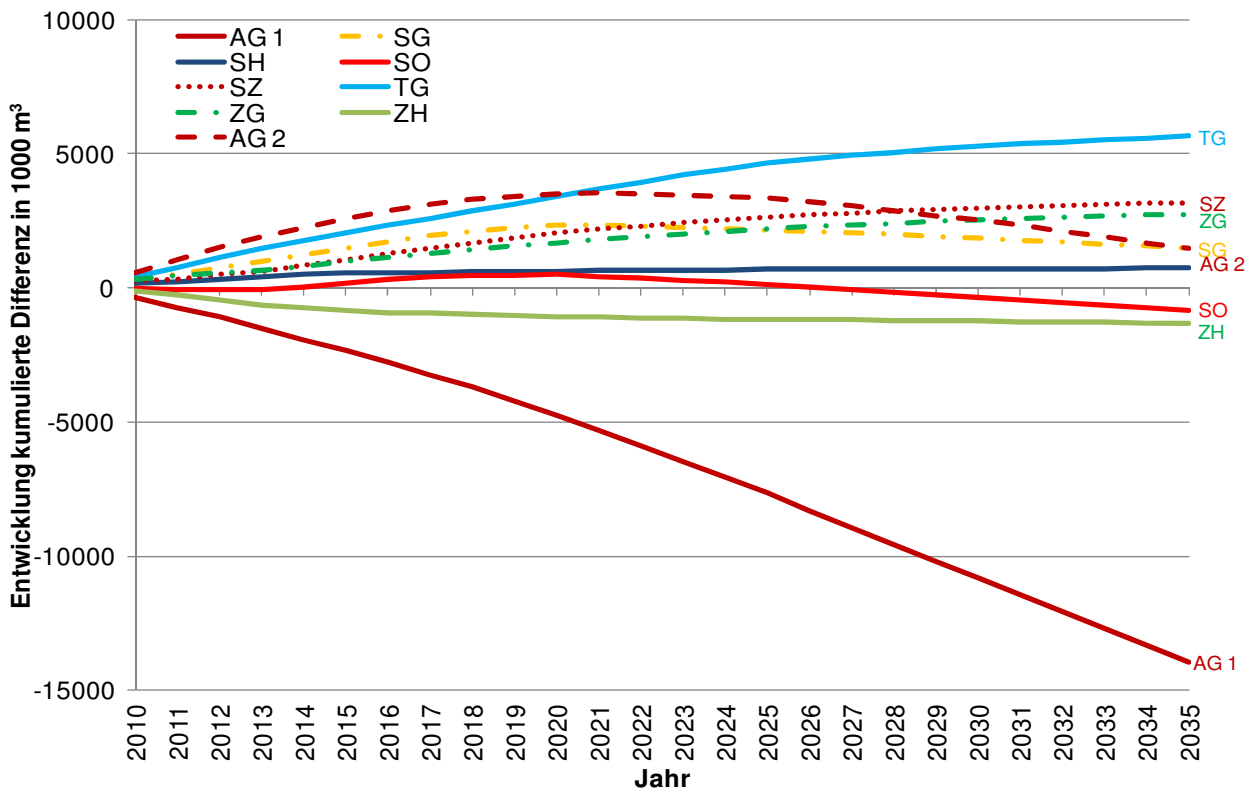


Abbildung 16: Entwicklung der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagung und dem Primärmaterialabbau zwischen 2010 und 2035 für das Szenario REFERENZ. Angaben in 1000 m³ fest.

3.5.4 Überregionale Betrachtung der Entwicklung der Materialflüsse

Da die Resultate aus den Modellierungen für die acht Kantone vorliegen, ist eine überregionale Betrachtung der in den vorangegangenen Kapiteln thematisierten Materialflüsse möglich. In der Abbildung 17 ist die überregionale Entwicklung des Baustoffbedarfs, des Aushub- und Rückbaumaterialanfalls sowie der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagung und dem Primärmaterialabbau zwischen 2010 und 2035 dargestellt. Wie bereits beim Vergleich der Materialflüsse auf der Kantonsebene, ist festzustellen, dass sowohl der Baustoffbedarf als auch der Aushubmaterialanfall künftig zurückgehen wird. Der Baustoffbedarf reduziert sich von rund 11.5 Mio. m³ auf knapp 5.5 Mio. m³ im Jahr 2035. Somit ergibt sich eine Abnahme von etwas mehr als 50%. Die Abnahme beim Aushubanfall ist aus erwähnten Gründen noch massiver. Dieser bewegt sich im Bereich von 75%. Der Rückbaumaterialfluss nimmt in der überregionalen Betrachtung von knapp 3.0 Mio. m³ auf rund 3.5 Mio. m³ zu. Sollten die Sanierungs- und/oder Rückbauraten künftig zunehmen, wird dieser Materialfluss noch stärker ansteigen. Grundsätzlich wird der Anteil an Rückbaustoffen an den gesamthaft eingesetzten Baustoffen weiter stark zunehmen. Sollte das Szenario eintreffen, dann läge dieser Anteil auf die gesamte Region bezogen im Jahr 2035 bei rund 65%!

In der Abbildung 17 ist zusätzlich die kumulierte Differenz zwischen der Aushubablagung und dem Primärmaterialabbau auf der überregionalen Basis für das Szenario REFERENZ in Form von zwei Kurven dargestellt. Es handelt sich somit um die Aufsummierung sämtlicher in der Abbildung 16 dargestellten Kurven, wobei in der einen Kurve das Szenario REFERENZ 1 (braun

ausgezogenen Linie) enthalten ist und in der anderen Kurve das Szenario REFERENZ 2 (braun gestrichelte Linie) berücksichtigt ist.

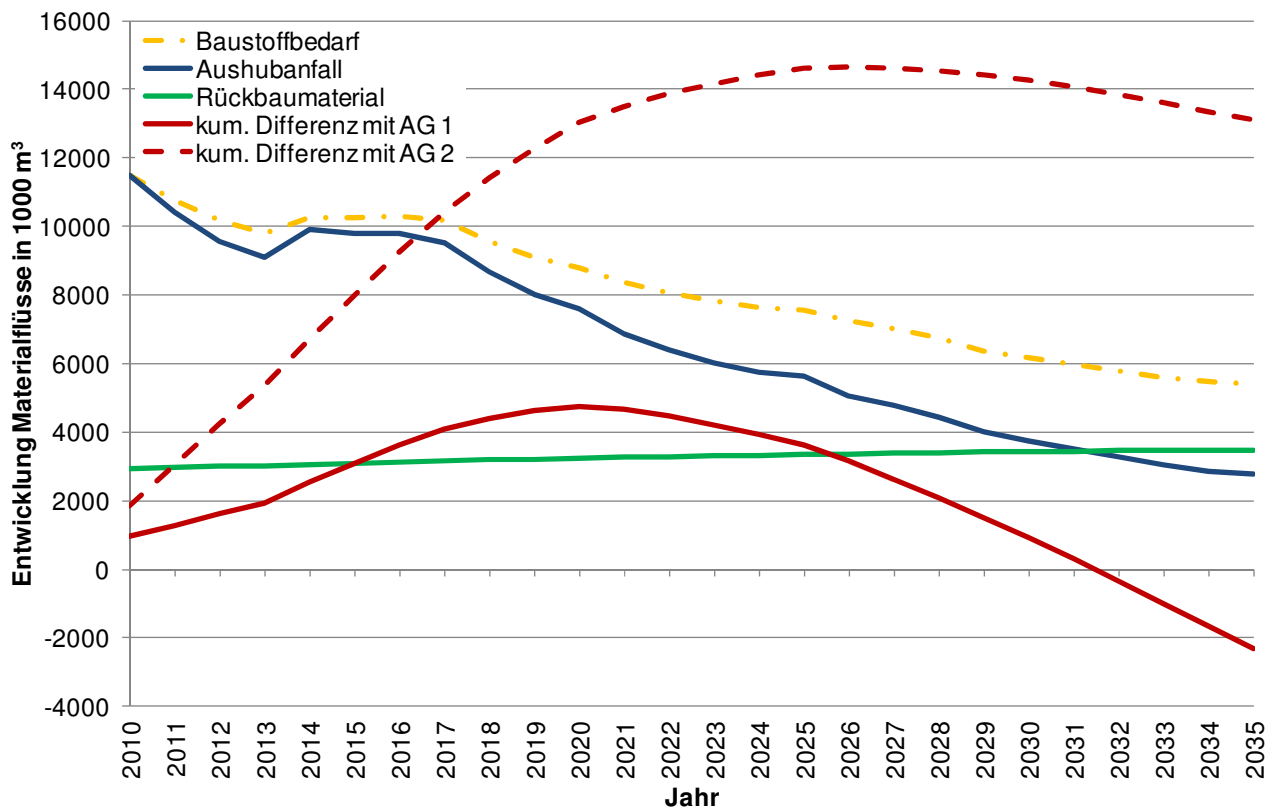


Abbildung 17: Entwicklung des Baustoffbedarfs, des Aushub- und Rückbaumaterialanfalls sowie der kumulierten Differenz zwischen Aushubablagerung und dem Primärmaterialabbau für die gesamten Region (alle acht Kantone zusammen) zwischen 2010 und 2035. Angaben in 1000 m³ fest.

Der Verlauf der Kurven ist interessant. Beim Szenario REFERENZ 1 (braun ausgezogene Linie) steigt die kumulierte Differenz bis zum Jahr 2020 auf knapp 5 Mio. m³ an, reduziert sich danach wieder und verläuft ab 2032 gar im negativen Bereich. Offensichtlich könnte in diesem Szenario auf der überregionalen Basis eine ausgeglichene Bilanz erreicht werden. Allerdings bedeutet der Verlauf der Kurve, dass zunächst zu viel Aushubmaterial anfällt. Möglicherweise könnte mittels einer überregionalen Koordination der Aushubentsorgung ein Anstieg bis 2020 vermieden oder zumindest reduziert werden.

Ganz anders sieht der Verlauf der Kurve beim Szenario REFERENZ 2 (braun, gestrichelte Linie) aus. Die kumulierte Differenz steigt bis ca. 2018 stark an und erreicht im Jahr 2026 ein Maximum von über 14.5 Mio. m³. In den nachfolgenden Jahre reduziert sich die kumulierte Differenz auf rund 13 Mio. m³. Sollten die Kalksteinbrüche nicht mehr aufgefüllt werden, dann müssen schon relativ bald weitere Ablagerungskapazitäten geschaffen werden, um den anfallenden Aushub entsorgen zu können.



4 Diskussion

Mit den nun vorliegenden Materialflussmodellen kann das komplexe Zusammenspiel zwischen dem Abbau von mineralischen Primärbaustoffen, der Aushubentsorgung und der Verwertung und Entsorgung der mineralischen Rückbaustoffe in den einzelnen Kantonen aufgezeigt werden. Auch die künftige Entwicklung der verschiedenen Materialflüsse in Abhängigkeit von frei wählbaren Rahmenbedingungen lässt sich modellieren. Da die Modelle für acht Kantone gleichzeitig entwickelt werden konnten, bietet sich erstmals die Möglichkeit, die kantonsübergreifenden Materialflüsse zu quantifizieren. Zudem können die Materialflüsse auf absoluter als auch auf Basis von pro-Kopf-Werten miteinander verglichen werden. Damit sind sowohl umfassende regionale bzw. kantonale als auch überregionale Betrachtungen möglich. Diese sollen grundsätzlich zu einem besseren Systemverständnis beitragen und die Grundlagen für eine überregionale Zusammenarbeit im Ressourcenmanagement im Bereich der mineralischen Baustoffe und der Aushubentsorgung schaffen.

4.1 Das Zusammenspiel von Rohstoffabbau, Baustoffrecycling und Aushubentsorgung

Die Resultate aus der Modellierung des Istzustandes zeigen, welche grosse Materialumsätze mit der Bautätigkeit verbunden sind. So wurden im Jahr 2010 für den Neubau und Betrieb des Bauwerks in der betrachteten Region der acht Kantone 11,5 Mio. m³ Baustoffe benötigt (Tabelle 5) und beinahe gleich viel Aushubmaterial entsorgt (Tabelle 4). Die Produktion von aufbereiteten mineralischen Rückbaustoffen ist mit 2.4 Mio. m³ schon heute sehr hoch. Insgesamt liegt der RC-Anteil am gesamten Baustoffbedarf bei rund 19%. Die Recyclingrate bewegt sich in den Kantonen zwischen 74 – 91% und liegt für die gesamte Region bei 87%. Somit ist das künftige Optimierungspotential in diesem Bereich nur noch gering.

Tabelle 5: Baustoffbedarf, Anfall von Rückbaumaterial, verwertete Rückbaustoffe sowie die RC-Quote und der RC-Anteil am Baustoffbedarf in den acht Kantonen in der gesamten Region im Jahr 2010.

Kanton	Baustoffbedarf in 1000 m ³ fest	Rückbaumaterial in 1000 m ³ fest	Rückbaustoffe in 1000 m ³ fest	RC-Quote in %	RC-Anteil am Baustoffbedarf in %
AG	2'320	446	408	91,4	16,7
SG	1'650	399	326	81,7	19,3
SH	326	58	53	91,0	14,3
SO	874	231	171	74,2	18,3
SZ	573	212	188	89,0	24,3
TG	993	255	228	89,3	20,2
ZG	588	183	150	81,8	19,9
ZH	4'159	979	879	89,9	20,3
Total	11'483	2'762	2'402	87,0	19,3

Anhand von Input-Output-Tabellen und Ausgleichsrechnungen können die kantonsübergreifenden Materialflüsse abgeschätzt werden. Das Ausmass dieser Materialflüsse zeigt, dass diese nicht an den Kantonsgrenzen halt machen. Kies wie auch Aushub sind Materialien, die grundsätzlich nicht über grosse Distanzen verschoben werden können, weil die Material- bzw. die Entsorgungskosten im Verhältnis zu den Transportkosten relativ tief sind. Trotzdem werden diese Materialien teilweise über grosse Distanzen verschoben. Insbesondere der Kanton Zürich



exportiert über 1.5 Mio. m³ Aushubmaterial (1.1 m³/Einwohner) in die umliegenden Kantone. Grundsätzlich besteht im Kanton Zürich in Kiesabbaugebieten ein offenes Volumen von 19 Mio. m³. Davon sind rund 4.5 Mio. m³ sofort nutzbar. Der Rest lässt sich nicht sofort nutzen, weil in den Gebieten noch Kies abgebaut wird. Entlastung kann die Erhöhung von Auffüllkoten bringen. Im «Windlacherfeld» liessen sich so mittelfristig 4.5 Mio. m³ Rekultivierungsvolumen erschliessen. Längerfristig könnte durch die Erhöhung von Auffüllkoten ein zusätzliches Ablagerungsvolumen von 20 Mio. m³ geschaffen werden. Allerdings befinden sich die Kiesgruben und die damit verbundenen Ablagerungsmöglichkeiten für Aushubmaterial volumenmässig zu 80% im Zürcher Unterland und damit weit von den Regionen mit grosser Bautätigkeit weg.

Das zunehmende Rückbaumaterial und der Überschuss an Aushubvolumen setzen die Preise für Primärkies unter Druck. Im Gegenzug haben die Kiesgrubenbetreiber die Annahmepreise für unverschmutztes Aushubmaterialien den letzten Jahren vervielfacht. Um Preisgefälle in der Aushubablagerung auszunützen, wird in den letzten Jahren vermehrt über grössere Distanzen überregional entsorgt.

Die oben geschilderte Situation trifft teilweise auch auf andere Kantone zu. So exportiert beispielsweise der Kanton Zug netto ebenfalls Aushubmaterial im Umfang von rund 70'000 m³ (0.7 m³/Einwohner). Andererseits gibt es aber auch Kantone die Nettoimporteure sind (AG, SG, SH, SO, SZ, TG). Der Kanton Aargau ist mit einem Nettoimport von über 560'000 m³ der grösste Importeur von Aushub in der Region (Abbildung 7). Dies ist nur möglich, wenn genügend Ablagerungskapazitäten vorhanden sind. Ein Teil dieser Kapazitäten wird durch den Nettoexport von Kies im Umfang von 200'000m³ geschaffen (Abbildung 6). Der Rest muss über offene Grubenvolumen gedeckt werden.

4.2 Steuerung der Aushubentsorgung ist vermehrt eine überregionale Aufgabe

Die doch erstaunlich grossen Materialflüsse über die Kantonsgrenzen hinweg basieren weitgehend auf ökonomischen Überlegungen der Unternehmen. Eine Steuerung dieser Materialflüsse ist somit vor allem durch ökonomische Anreize möglich. Der Entsorgungspreis von Aushubmaterial ab einer Baustelle setzt sich aus den Transport- und Deponierungskosten zusammen. Wenn möglich, wird die Logistik optimiert, indem beim Rücktransport Kies aufgeladen wird. Unter der Annahme, dass die spezifischen Transportkosten pro Kilometer in allen Kantonen in etwa gleich hoch sind, ist die Distanz zur Aushubdeponie und der Ablagerungspreis ausschlaggebend für die Wahl des Entsorgungsweges. Damit sind die Distanz und der Ablagerungspreis die Einflussparameter zur Steuerung der Aushubmaterialflüsse. Der Ablagerungspreis für Aushubmaterial ist selbstverständlich marktabhängig. Der Markt kann von der Behörde beeinflusst werden. Sie kann in unterversorgten Gebieten neue Ablagerungsstandorte genehmigen. Sie kann aber auch durch Kontingentierung oder durch Zuordnung eines Einzugsgebietes den Druck auf Ablagerungsstandorte wegnehmen. Andere Strategien, wie beispielsweise die Einführung einer Lenkungsabgabe, sind denkbar aber wohl schwierig durchzusetzen. Sicher ist hingegen, dass Massnahmen zur Optimierung der Materialflüsse ein überregionales Verständnis voraussetzen, um erfolgreich zu sein.

Mit den nun vorhandenen Modellen steht den Kantonen ein Ressourcenmanagementtool zur Verfügung, mit dem es möglich ist, den Einfluss von allfälligen Massnahmen proaktiv zu modellieren und falls diese später umgesetzt werden, deren Umsetzung auch zu überwachen.



4.3 Überregionales Ressourcenmanagement am Beispiel der Aushubentsorgung

In diesem Kapitel wird anhand eines Beispiels dargelegt, welche Möglichkeiten sich im Bereich der regionalen Aushubentsorgung bei einer langfristigen Planung bieten und wie sich diese auf der überregionalen Ebene auswirken.

Im Kanton Zürich werden heute rund 1.5 Mio. m³ Aushubmaterial in die umliegenden Kantone verschoben. Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, könnten im Kanton Zürich bei einer längerfristigen Betrachtung 40 Mio. m³ Ablagerungs- bzw. Rekultivierungsvolumen zur Verfügung stehen, wenn Auffüllkoten erhöht werden. Kurz – bis mittelfristig können rund 9 Mio. m³ aufgefüllt werden. Es gilt nun diese zusätzlichen Kapazitäten zu nutzen und damit die Aushubexporte in die umliegenden Kantone zu reduzieren. Leider liegen die Kiesgruben und damit die Standorte für die Wiederauffüllung relativ weit von Gebieten mit intensiver Bautätigkeit entfernt. Allerdings verfügen einige Gruben über Bahnanschlüsse. Da Transporte über die Strasse nur bedingt sinnvoll und tragbar sind, müsste künftig ein deutlich grösserer Anteil des Aushubmaterials per Bahn in diese Gruben geführt werden. Grundsätzlich sind Aushubtransporte per Bahn nur bei der Verschiebung von grossen Aushubvolumen wirtschaftlich tragbar. Deshalb müssen entweder grosse Projekte (z.B. Tunnelbau) vorhanden sein oder das Aushubmaterial muss aus vielen kleineren Baustellen zusammengeführt werden. Dies ist in dicht besiedelten Gebieten mit intensiver Bautätigkeit realisierbar. Ein möglicher Ansatz wäre, dass in grösseren Städten wie Zürich oder Winterthur aber auch für ganze Regionen, in denen Ablagerungskapazitäten fehlen, wie beispielsweise für die Bezirke Zimmerberg und Affoltern sogenannte Bahnverladeterminals für Aushubmaterial realisiert werden würden. Auch ausserhalb des Kantons Zürich gibt es Regionen mit ausgeprägter Bautätigkeit in denen solche Verladeterminals eine sinnvolle Ergänzung zur bestehenden regionalen Aushubentsorgung sein könnten. Die Realisierung von solchen Vorhaben kann nur erfolgreich sein, wenn die Aushubentsorgung über diesen Weg konkurrenzfähig ist und die logistischen und rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Während der erste Teil eine Aufgabe der Unternehmen ist, sind die Behörden für die entsprechenden Rahmenbedingungen (z.B. Ausscheidung der entsprechenden Zonen für Verladeterminals, Bewilligungen usw.) verantwortlich. Da vermutlich mehrere Kantone bei der Umsetzung eines solchen Projekts involviert sein dürften, drängt sich eine überregionale Zusammenarbeit auf. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass nicht in allen Kantonen ein solcher Lösungsansatz gleich gut umsetzbar ist, weil die gesetzlichen und strukturellen Bedingungen unterschiedlich sind

Das Beispiel zeigt, dass ergänzend zu den regionalen und kantonalen Kiesabbau- und Aushubablagerungsplanungen künftig durchaus auch überregionale Ansätze in die Planung mit einbezogen werden sollten. Die zur Verfügung stehenden Modelle können dabei als eigentliche Ressourcenmanagementtools verwendet werden, mit denen sich verschiedene Szenarien proaktiv rechnen lassen.

4.4 Der Anteil der Rückbaustoffe am totalen Baustoffinput wird stark zunehmen

Anhand der modellierten Szenarien REFERENZ und AUTARK wurde auf Stufe der Kantone aufgezeigt, wie sich verschiedenen Materialflüsse entwickeln könnten. Wie bereits mehrfach erwähnt, sind die Resultate aus der dynamischen Modellierung der beiden Szenarien von der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung und von der Wahl der Szenarien abhängig. Ändern

sich diese Parameter, führt dies zu anderen Ergebnissen. Dies ist nicht als Nachteil zu werten, vielmehr handelt es sich hier um eines der zentralen Ziele der dynamischen Modellierung. Die/der AnwenderIn des Modells kann über die Veränderung der Parameter deren Auswirkung auf die Entwicklung der Materialflüsse überprüfen. Dies erlaubt es ihr/ihm, ein besseres Systemverständnis zu entwickeln. So kann beispielsweise die Entwicklung des Anteils an Rückbaustoffen am totalen Baustoffinput (Baustoffbedarf) in den Prozess BAUWERK auf der regionalen oder überregionalen Basis untersucht werden. In der Abbildung 17 ist unter anderem die Entwicklung des Baustoffbedarfs und des Anfalls an Rückbaumaterial in der ganzen Region aufgeführt. Da der Baustoffbedarf bis zum Jahr 2035 relativ stark abnimmt, der Rückbaumaterialfluss hingegen leicht zunimmt, erhöht sich der Anteil der aufbereiteten Rückbaustoffe am gesamten Baustoffbedarf im zeitlichen Verlauf. Um nun diesen Anteil abzuschätzen, kann der Rückbaumaterialfluss mit der heutigen RC-Quote multipliziert und mit dem Baustoffbedarf in Bezug gesetzt werden. Das Resultat ist in der Abbildung 18 zu sehen. Unter den vorgegebenen Rahmenbedingung des Szenarios REFERENZ steigt der Anteil der Rückbaustoffe bis 2035 relativ kontinuierlich von rund 21% auf über 56% an. Dies hätte zur Konsequenz, dass nicht mehr alle Rückbaustoffe in loser Form im Tiefbau eingesetzt werden können. In Zukunft müsste das Material zusätzlich in gebundener Form, das heisst als Zuschlagstoff im Beton zum Einsatz kommen, um sämtliche anfallende Rückbaustoffe zu verwerten.

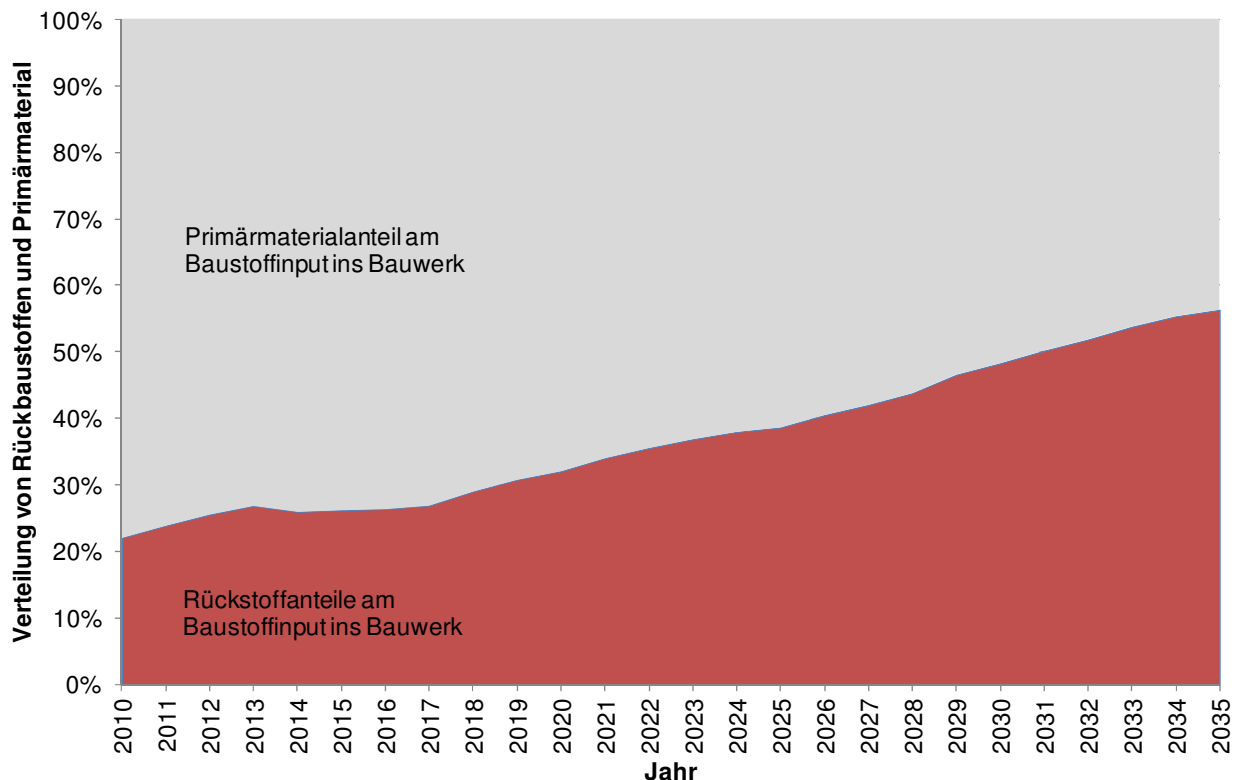


Abbildung 18: Entwicklung des Rückbaustoffanteils am totalen Baustoffinput (Baustoffbedarf) in den Prozess BAUWERK auf Grundlage des Szenario REFERENZ für die gesamten Region.



4.5 Die wichtigsten Erkenntnisse

Im Rahmen des Projektes konnten viele Erkenntnisse auf der Ebene der Kantone und auf der überregionalen Ebene gewonnen werden. Nachfolgend sind die wichtigsten Aspekte und Erkenntnisse sowie die daraus abgeleiteten Potenziale in Form von kurzen Sätzen zusammengefasst.

Modellspezifische Aspekte

- Jeder der acht Kantone verfügt über ein eigenes Materialflussmodell in dem der Istzustand des Bezugsjahres 2010 und die Entwicklung der Materialflüsse in Abhängigkeit der zwei Szenarien REFERENZ und AUTARK modelliert ist.
- Mit den Modellen lassen sich eine Vielzahl von kantonsspezifischen Szenarien rechnen. Die Szenarien REFERENZ und AUTARK dienen als Beispiele für die Entwicklung eigener Szenarien.
- Die dynamischen Modelle basieren jeweils auf dem mittleren Szenario zur Bevölkerungsentwicklung des BFS. Die Daten zur Bevölkerungsentwicklung können über ein separates Datenblatt eingelesen werden. Somit kann der Einfluss von unterschiedlichen Bevölkerungsentwicklungsszenarien im Modell berücksichtigt werden.
- Der Systemaufbau und die methodischen Grundlagen sind bei allen Modellen gleich. Damit lassen sich die Ergebnisse aus den Modellierungen vergleichen.
- Dank der Visualisierung der Materialflüsse lassen sich die Zusammenhänge auch nicht fachkundigen Personen sehr schnell aufzeigen.

Erkenntnisse aus den Modellierungen

- Mit den Modellen lassen sich die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Primärmaterialabbau, der Verwertung der Rückbaustoffe und der Aushubentsorgung aufzeigen.
- Die zunehmenden Rückbaumaterialflüsse führen zu einer Substitution von Kies. Der damit verbundene reduzierte Kiesabbau hat in der jüngeren Vergangenheit dazu geführt, dass das Ablagerungsvolumen für Aushubmaterial entsprechend zurück ging. Deshalb besteht in den meisten Kantonen ein systematischer Aushubüberschuss.
- In den Kantonen Schwyz, Zug und Zürich übersteigt der Aushubanfall gar den Baustoffbedarf. Es scheint, dass gerade in diesen finanzkräftigen Kantonen mit einem ausgeprägten Dienstleistungssektor nicht nur in die Höhe sondern auch vermehrt in die Tiefe gebaut wird.
- Erstmals liegen die kantonsgrenzen übergreifenden Materialflüsse (Kies, Aushubmaterial, Rückbaumaterial) vor. Diese sind teilweise sehr gross und wurden vermutlich in der Vergangenheit unterschätzt.
- Die Modellierungen zeigen, dass die Kantone Zürich, Aargau und im geringeren Umfang der Kanton Solothurn über erhebliche Rekultivierungspotenziale verfügen könnten.



Mögliche Potenziale

- Durch die Nutzung der Modelle kann das Systemverständnis deutlich verbessert werden.
- Die Modelle können von den Kantonen als Grundlage für die künftigen Kiesabbau- und Aushubablagerungsplanung dienen.
- Da die acht Kantone über die gleichen Modellgrundlagen verfügen, sind die Grundlagen für eine überregionale Koordination von Massnahmen zur Steuerung der Materialflüsse grundsätzlich vorhanden.
- Sofern regelmässige Daten-Updates erfolgen, lässt sich das Modell als ein umfassendes Ressourcenmanagementtool nutzen.



5 Ausblick

Mit dem vorliegenden Projekt ist zwar die Entwicklung der Materialflussmodelle fürs Erste abgeschlossen. Es ist aber nicht die Meinung, dass nun die Modelle einfach abgespeichert und die Berichte zu den Akten gelegt werden. Vielmehr geht es nun darum, mit den Modellen zu arbeiten und diese zu kantonalen Ressourcenmanagement-Tools zu entwickeln. Dabei darf der Austausch mit den anderen Kantonen nicht fehlen. Es steht somit noch einige Arbeit bevor, bis der Umgang mit den Modellen zur Routine wird. Zudem ist davon auszugehen, dass dieser Prozess eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen wird. Um den Kantonen Anhaltspunkte zum Ablauf und zum Zeitbedarf der weiteren Entwicklungsschritte zu geben, sind diese nachfolgend gegliedert nach verschiedenen Phasen aufgeführt. Es handelt sich dabei um einen Vorschlag. Den Kantonen steht es selbstverständlich frei, ein anderes Vorgehen und einen anderen Zeitplan zu definieren.

5.1 Die vier Phasen bis zur überregionalen Zusammenarbeit

Phase 1: Einarbeitung in die Modellierung (Zeitraum: nächste 3 – 6 Monate)

Den am Projekt beteiligten Kantone stehen die vollständigen Modelle erst seit Kurzem zur Verfügung. Die künftigen Nutzer der Modelle müssen in den kommenden Monaten das Modell bzw. die Möglichkeiten, welche das Modell bietet, kennenlernen. Durch die regelmässige Arbeit mit dem Modell werden die Nutzer ein deutlich besseres Systemverständnis entwickeln. Dies führt wiederum dazu, dass sich eigene, kantonsspezifische Szenarien leichter entwickeln lassen. Die Ergebnisse aus diesen Szenarienrechnungen können sowohl kantonsintern präsentiert, als auch mit den anderen Kantonen ausgetauscht werden.

Phase 2: Austausch mit den anderen Kantonen (Zeitpunkte: alle 6 – 12 Monate)

Um den Austausch zwischen den Kantonen zu fördern, sollten regelmässige Treffen oder Workshops durchgeführt werden. Hier können die Erkenntnisse aus den Modellierungen vorgestellt und mit den anderen Kantonen diskutiert werden. Eventuell ergeben sich dadurch erste kantonsübergreifende Projekte im Bereich der Modellierung (z.B. Regionalisierung der Modelle) oder es werden beispielsweise gemeinsam erste Konzepte für eine Zusammenarbeit im Bereich der Abbau- oder Deponieplanung von an den Kantonsgrenzen liegenden Regionen definiert.

Phase 3: Überregionale Koordination (Zeitraum: ab ca. 2014)

Durch den regelmässigen Austausch verstehen die Kantone die Probleme und Strategien der anderen Kantone besser. Da nun alle Kantone eigene Szenarien gerechnet und diese im Rahmen gemeinsamer Sitzungen vorgestellt haben, sind die beteiligten Kantone über die möglichen Entwicklungen der Materialflüsse in anderen Kantonen orientiert. Wie anhand einiger Beispiele gezeigt wurde, könnte eine überregionale Koordination bei grösseren Projekten durchaus sinnvoll sein. Da solche Vorhaben langwierige Planungs- und Bewilligungsverfahren bis zur Realisierung durchlaufen müssen, sollten erste Grundlagen schon frühzeitig geschaffen werden, damit diese in den Planungsprozess eingebunden werden können. Insgesamt sollten Massnahmen, die auf die Steuerung der Materialflüsse abzielen, vorzugsweise überregional koordiniert werden.



Phase 4: Umsetzung und Überprüfung der Wirkung der Massnahmen (Zeitraum: Ab erstem Jahr nach der Einführung der Massnahmen)

Sollten allfällige Massnahmen umgesetzt werden, ist deren Wirksamkeit zu überprüfen. Die Modelle eignen sich durchaus als Werkzeug, um zu überprüfen, ob sich die Massnahmen auf Verteilung der überregionalen Materialflüsse wie gewünscht auswirken. Insbesondere die grafische Darstellungen der kantonsübergreifenden Materialflüsse eignen sich in dieser Hinsicht hervorragend als Monitoringinstrument. Allerdings bedingt dies eine regelmässiges Daten- und Modellupdate.

5.2 Möglichkeiten für Modellupdates

Nun steht zunächst die Umsetzung der ersten Phase an. Die künftigen Nutzer werden vermutlich erst einmal Schwierigkeiten bei der Modellierung haben, weil sich eine Vielzahl von Modellparametern verändern lassen. Durch einen begleitenden Workshop und telefonischen Support, sowie durch die Modellierung eigener Szenarien, wird sich bei den Nutzern relativ schnell ein Gefühl für das System entwickeln. Ab diesem Zeitpunkt sollte die Nutzer in der Lage sein, sinnvolle und kantonspezifische Szenarien zu definieren, diese rechnen zu lassen und zu interpretieren. Es ist durchaus möglich, dass bei dieser Arbeit Fehler im Modell entdeckt werden oder gewisse Optimierungswünsche auftauchen. Diese sollten im Rahmen der regelmässigen Sitzungen diskutiert und bei Bedarf mittels Modellupdates umgesetzt werden. Den Kantonen können die entsprechenden Modellupdates in Form Exceldateien, welche die bestehenden Modelldateien ersetzen, verschickt werden. Die vorliegenden Modelle basieren auf dem statischen Modellteil (Istzustand 2010). Es ist zu empfehlen, dass die statischen Modelle in periodischen Abständen aktualisiert werden. Vorzugsweise sollte diese Aktualisierung jeweils für alle Kantone gleichzeitig erfolgen, um gleichzeitig die kantonsübergreifenden Materialflüsse zu bestimmen. Da die Datenerhebungsstruktur bereits vorhanden ist, sollten diese Aktualisierung deutlich weniger zeitaufwändig sein, als im vorliegenden Projekt. Ergänzend dazu ist zu prüfen, ob im Rahmen einer solchen Aktualisierung die bereits bestehenden Grubenvolumen bzw. Rekultivierungspotenziale erhoben, in die Betrachtung mit einbezogen und allenfalls in das Modell integriert werden können.

5.3 Schlussbemerkungen

Es wird spannend sein zu verfolgen, wie sich dieses Projekt in den kommenden Jahren weiter entwickeln wird. Die Anwender werden vermutlich relativ rasch erkennen, dass beispielsweise das dynamische Modell anderen Prognosemodellen, welche oft auf Umfragen und empirischen Befunden beruhen, überlegen sein wird, weil vom Bauwerk ausgehend modelliert wird und sehr viele Einflussfaktoren berücksichtigt werden können. Da die Modellparameter sehr rasch geändert und die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die verschiedenen Materialflüsse sofort berechnet werden können, lässt sich eine Vielzahl von Szenarien rechnen. Das entwickelte Modell eignet sich deshalb hervorragend als Werkzeug für ein umfassendes Ressourcenmanagement im Baubereich. Dank der Visualisierung der Materialflüsse lassen sich die Resultate und Zusammenhänge auch nicht fachkundigen Personen sehr schnell aufzeigen.



6 Literatur

BAK BASEL, 2010: *Wirtschaftsatlas der Kantone*. Online-Abfragetool, <http://www.wirtschaftsatlas.bakbasel.com/wirtschaftsatlas.html>; Basel.

Bundesamt für Statistik, 2010: Ständige Wohnbevölkerung nach Staatsangehörigkeit und Geschlecht, am Ende des Jahres. www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/.../01.Document.67175.xls; Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik, 2012: *Materialflussanalyse für die Schweiz*. Datengrundlagen für für jährliches Update zur MFA Schweiz, interner Bericht. Erstellt von der Energie- und Ressourcen-Management GmbH. Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik, 2011: *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone der Schweiz 2010-2035 - Ständige Wohnbevölkerung nach Kantonen gemäss 3 Szenarien*. http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key_kant/01.html; Neuchâtel.

Hornung Wirtschafts- und Sozialstudien, 2004: *Wohnungsmarkt-Szenarien bis 2040*. Im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Wohnungswesen, Bern.

Rubli St., Schneider M. 2011: *Entwicklung eines Baustoff-, Rückbau- und Aushub-materialflussmodells für den Kanton Aargau*. Im Auftrag des Departements Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Aarau.

Rubli St., Schneider M. 2012: *Entwicklung eines Kies-, Rückbau- und Aushub-materialflussmodells für den Kanton Zürich*. Amt AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.

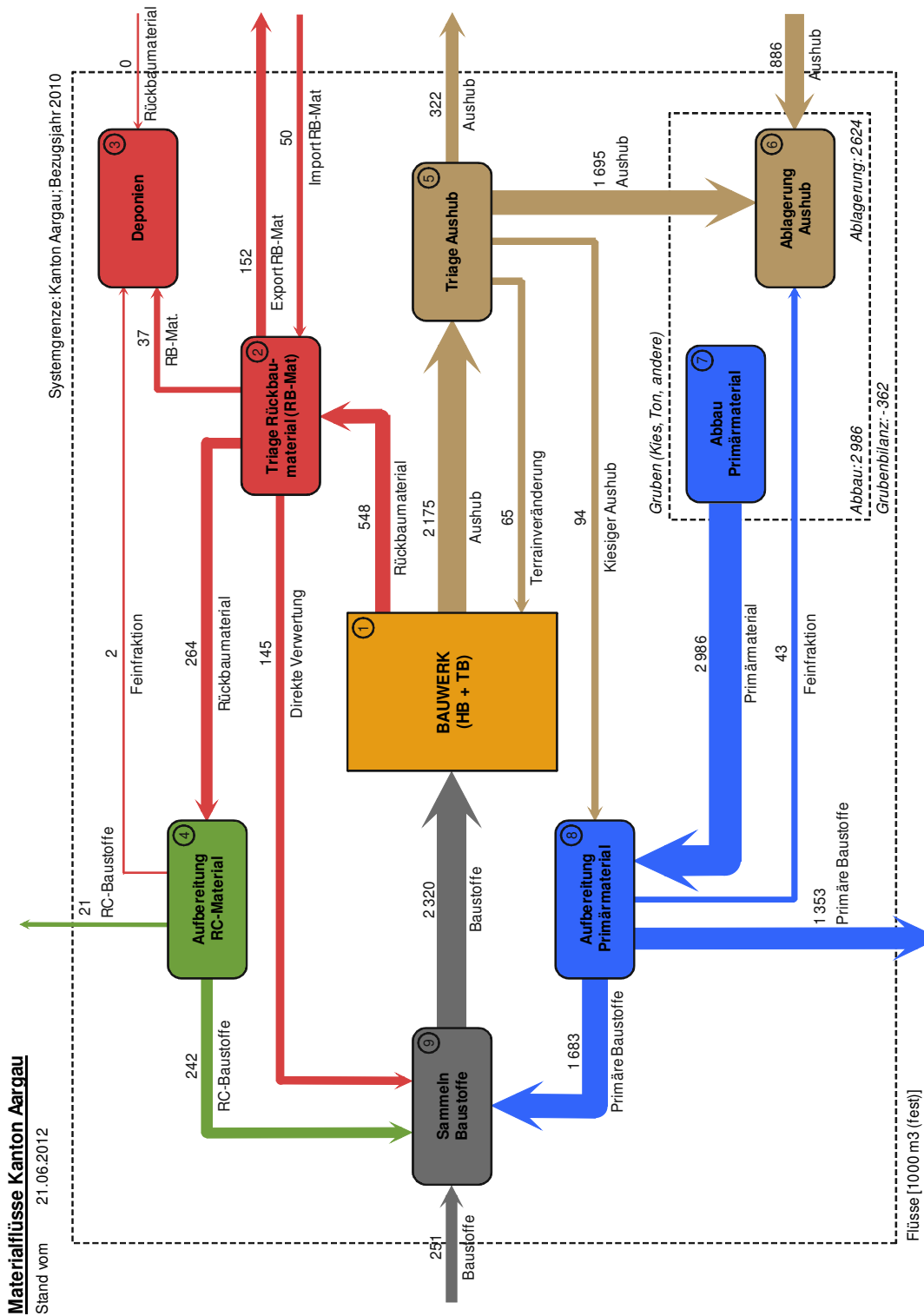
Schmied Patrik, 2009: *Rolle und Entwicklung des Gebäudebereichs ...im nächsten Jahrzehnt.....* Referat im Rahmen der EnergieSchweiz - Bilanz- und Strategiekonferenz in Unterägeri, Wüest & Partner, Zürich.



Anhang

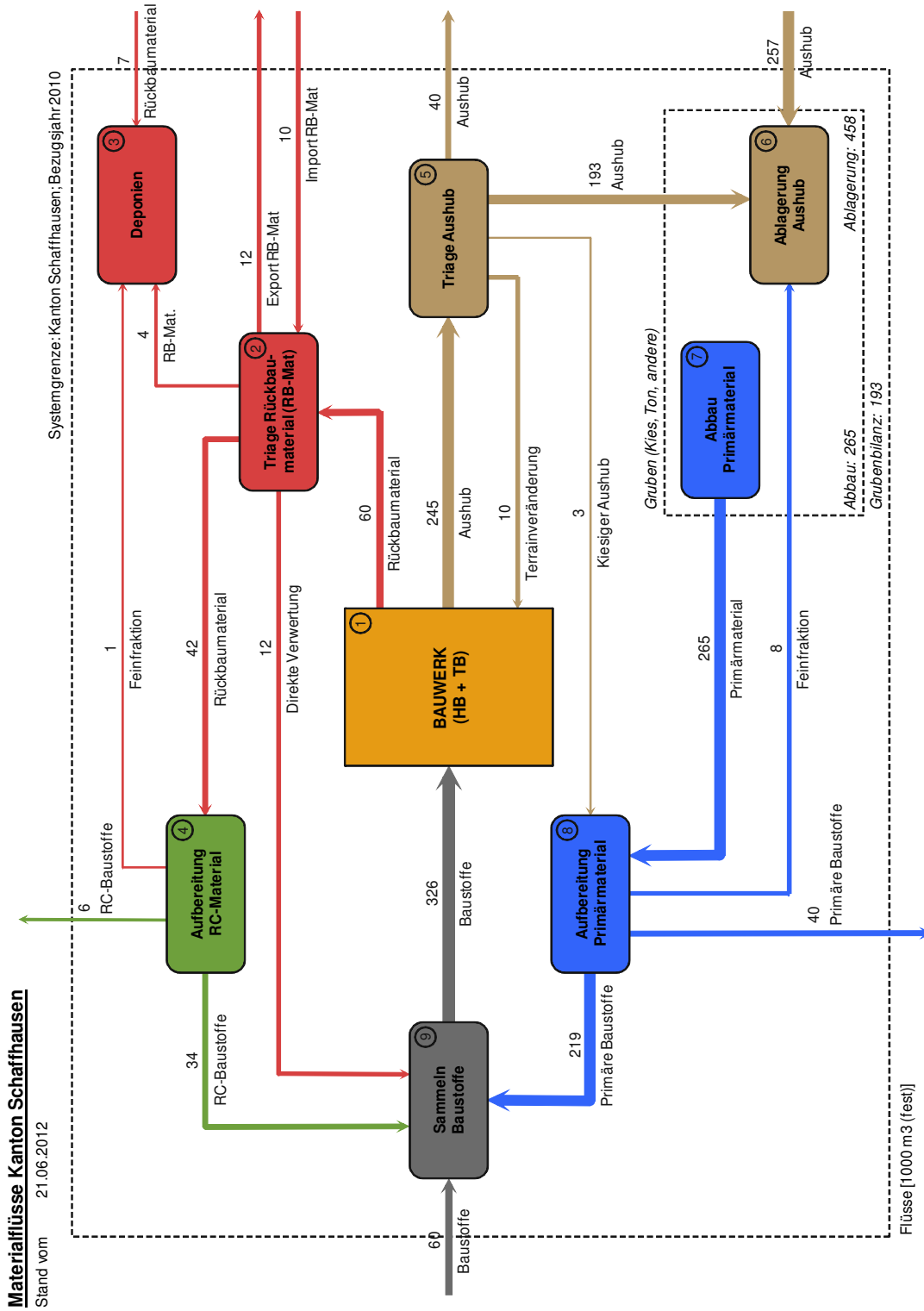
A.1. Materialflussschemen der einzelnen Kantone

Materialflussschema Kanton Aargau (Bezugsjahr 2010)



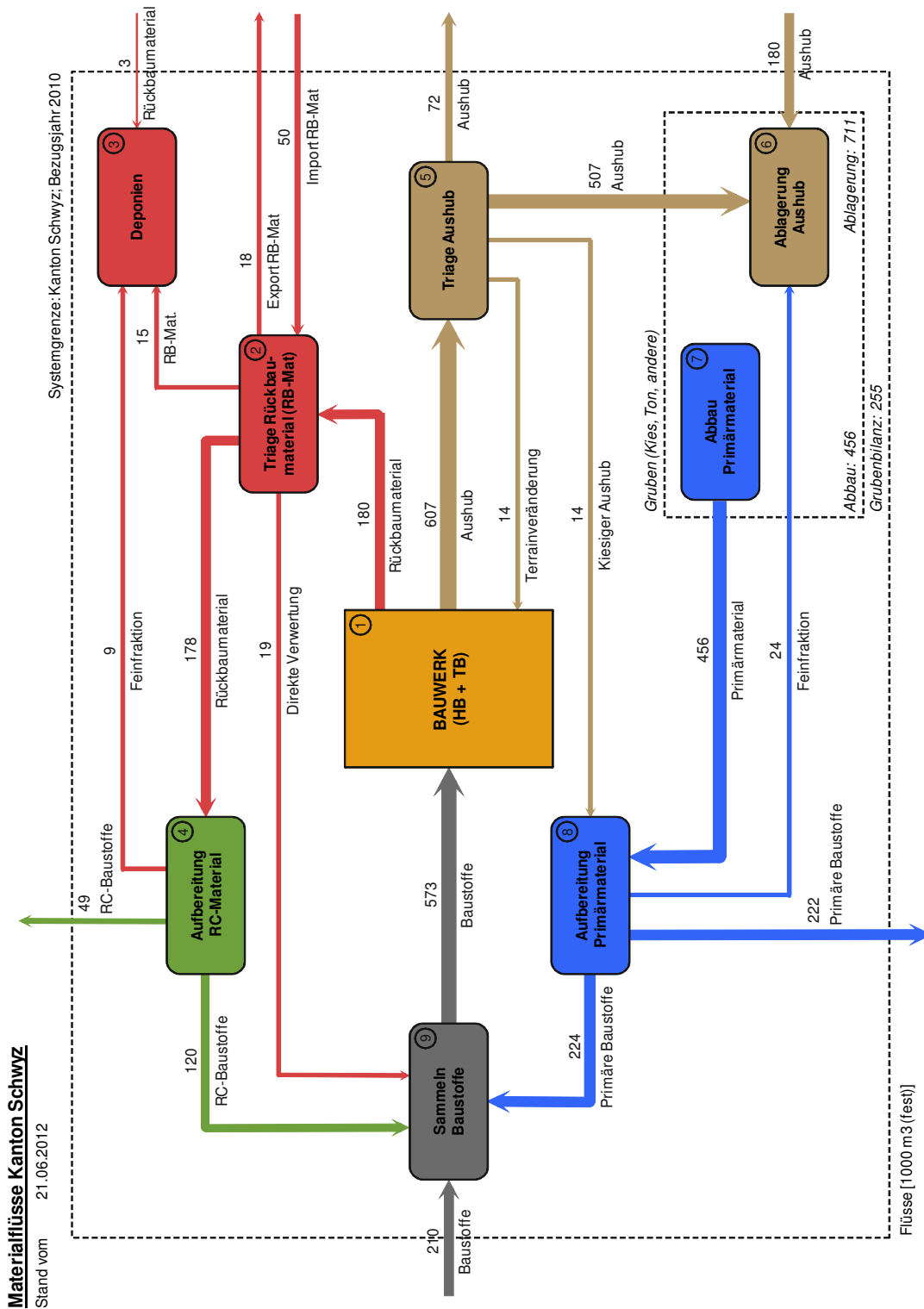


Materialflussschema Kanton Schaffhausen (Bezugsjahr 2010)



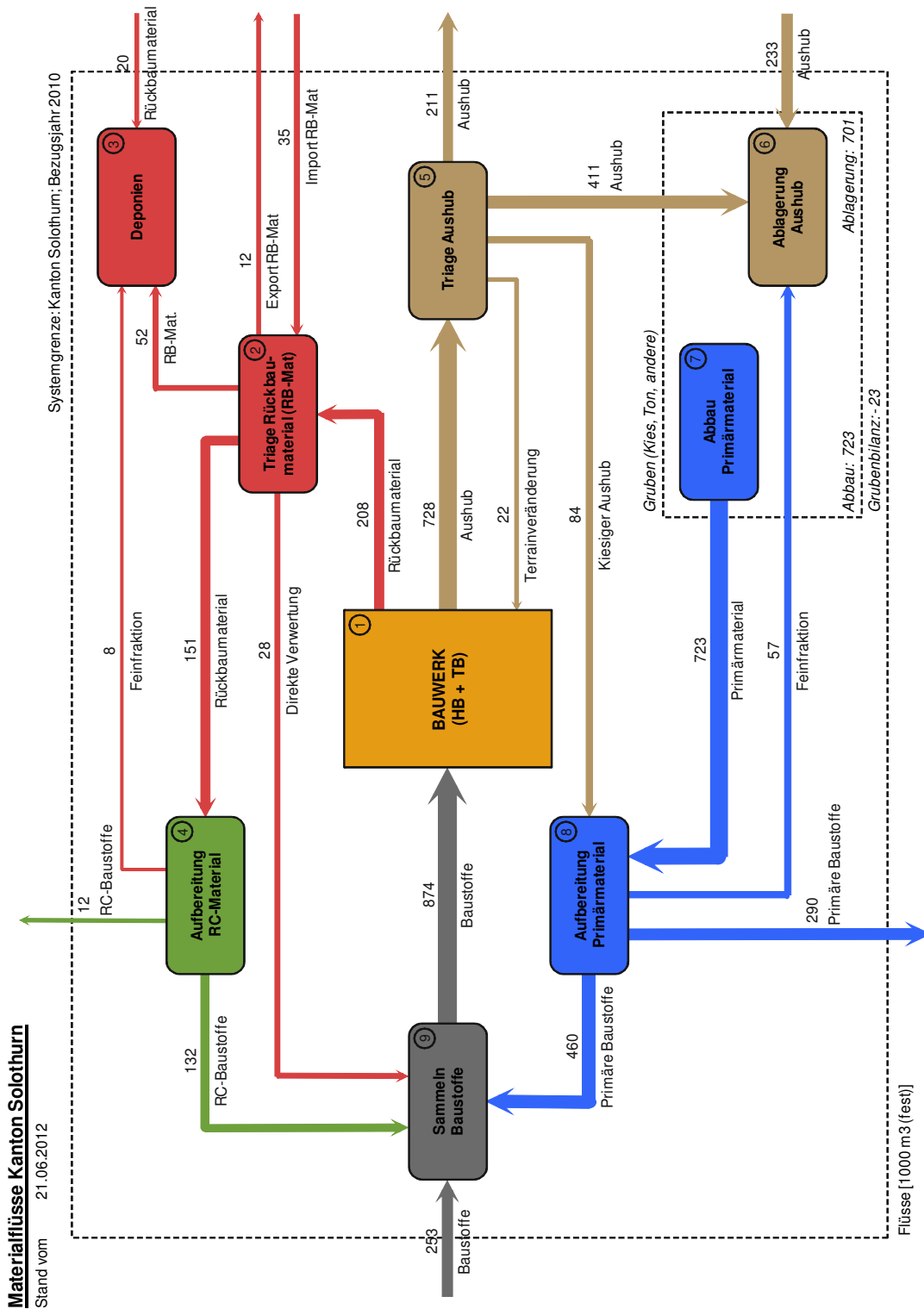


Materialflussschema Kanton Schwyz (Bezugsjahr 2010)



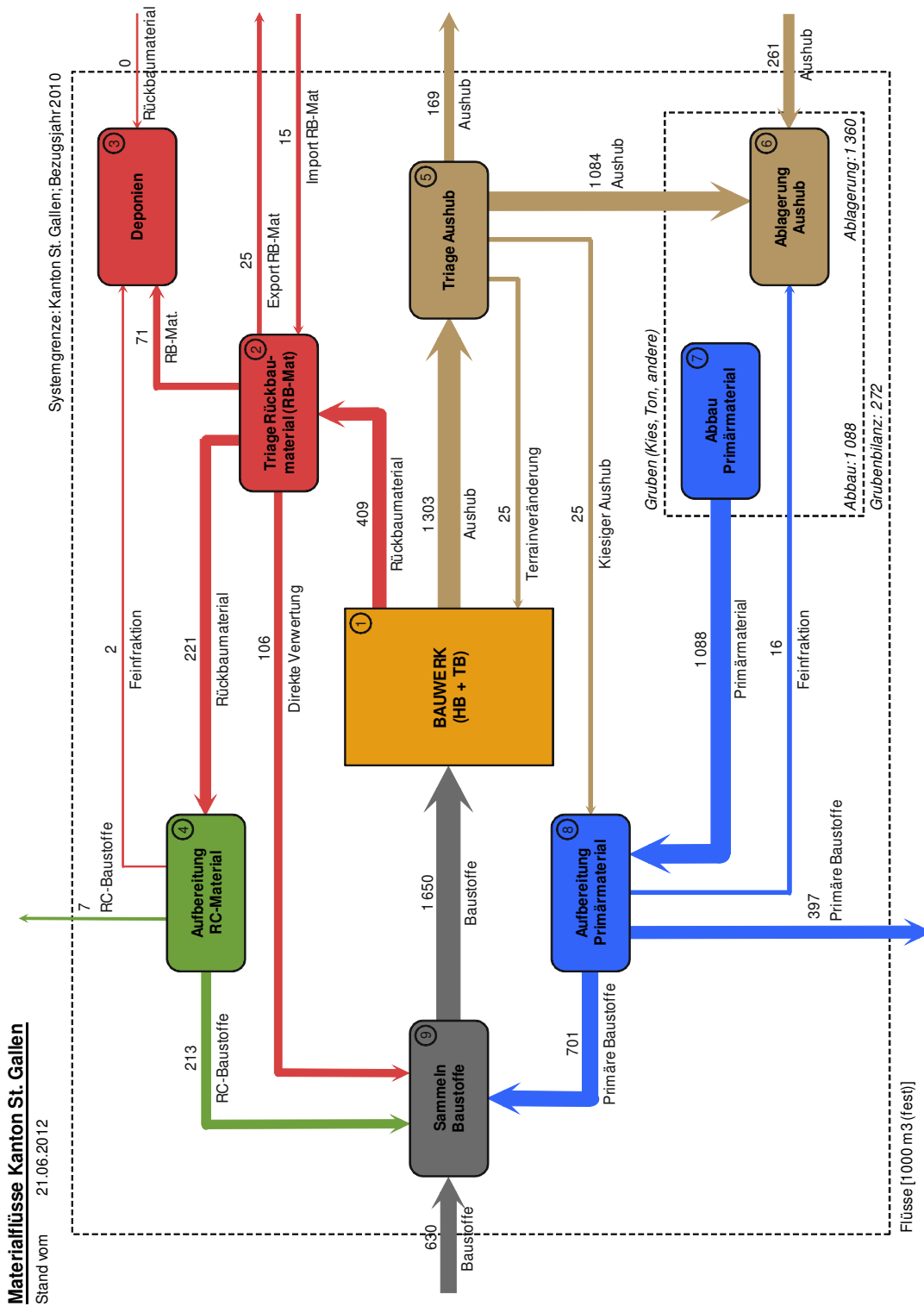


Materialflussschema Kanton Solothurn (Bezugsjahr 2010)



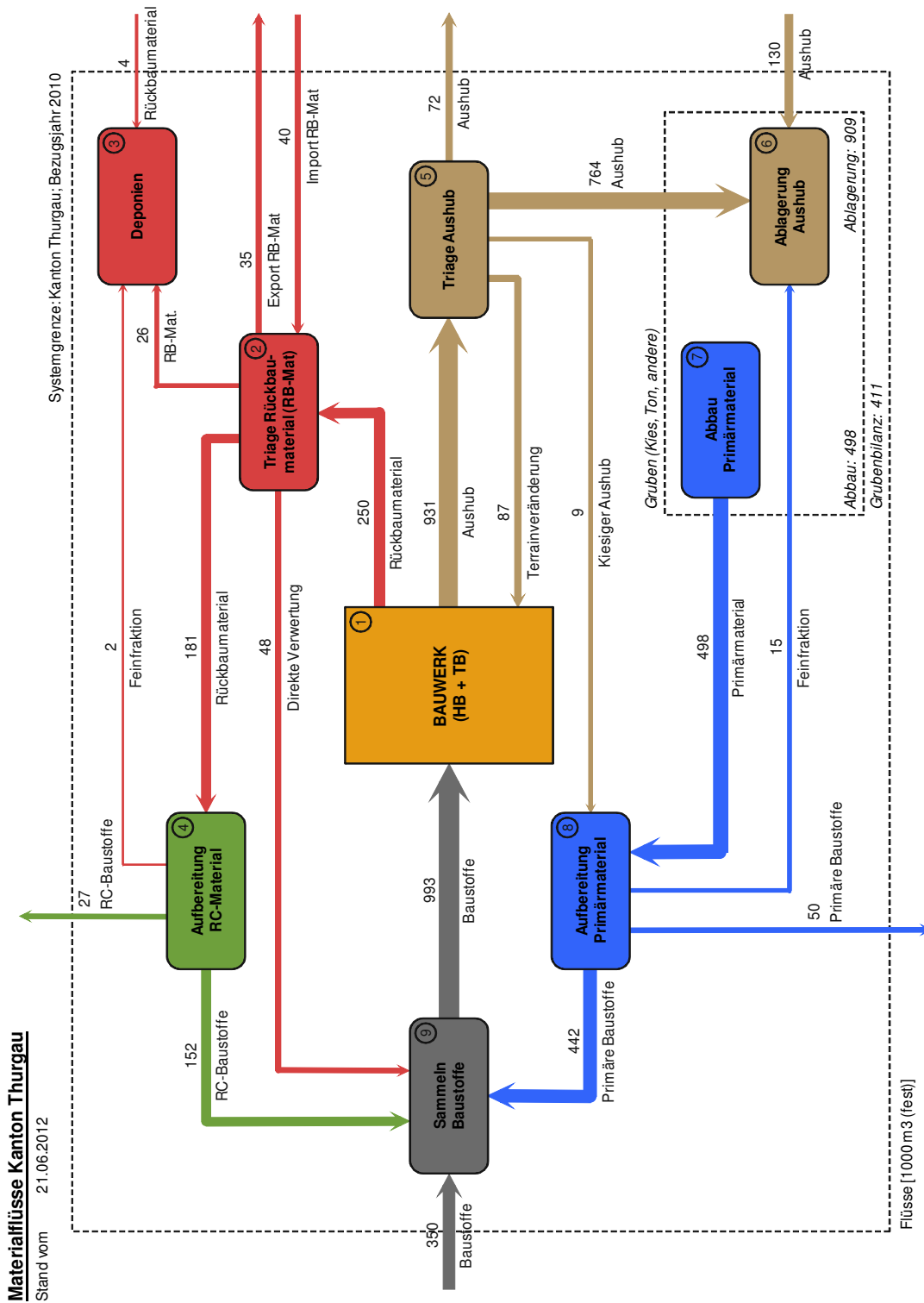


Materialflussschema Kanton St. Gallen (Bezugsjahr 2010)



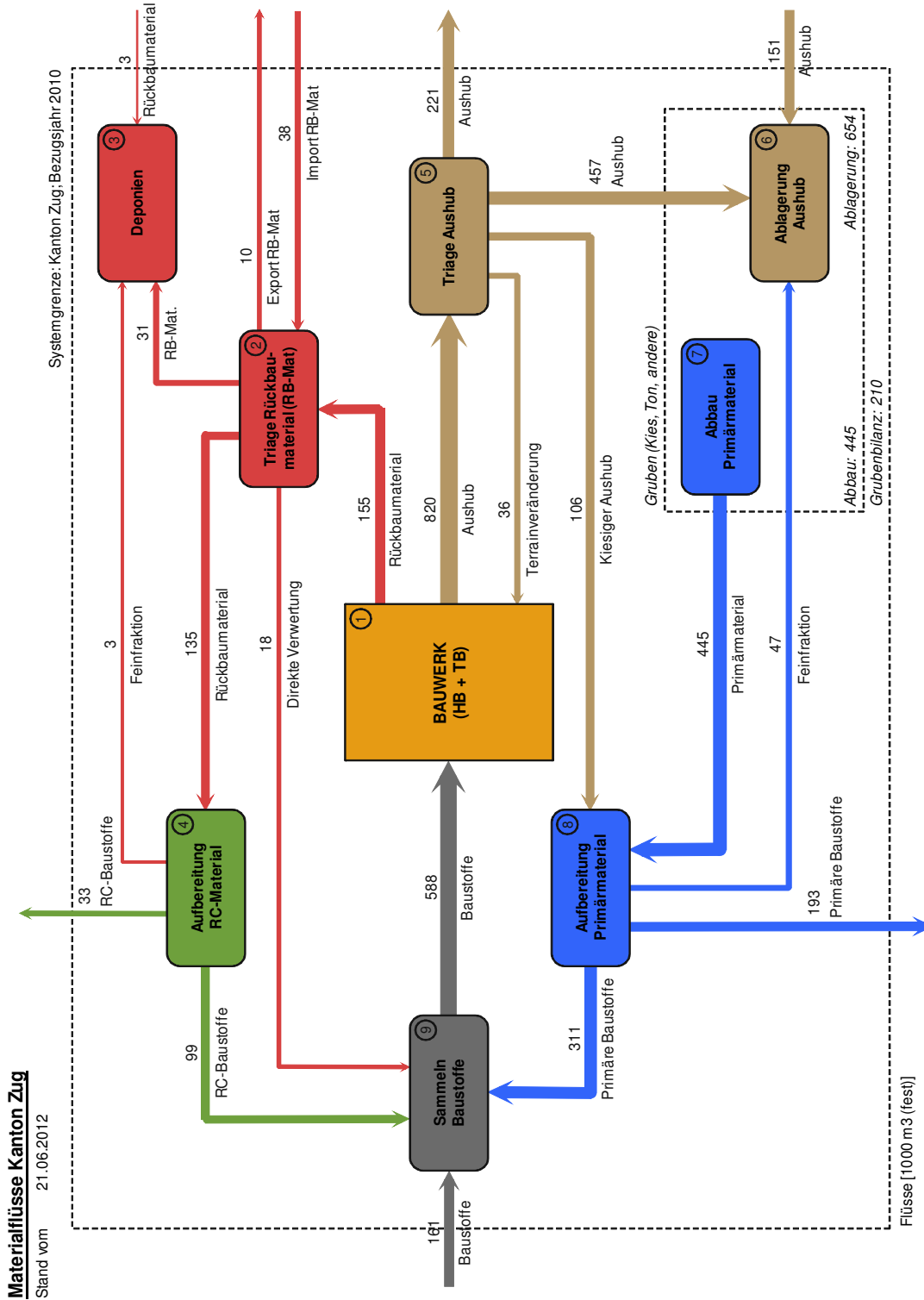


Materialflussschema Kanton Thurgau (Bezugsjahr 2010)



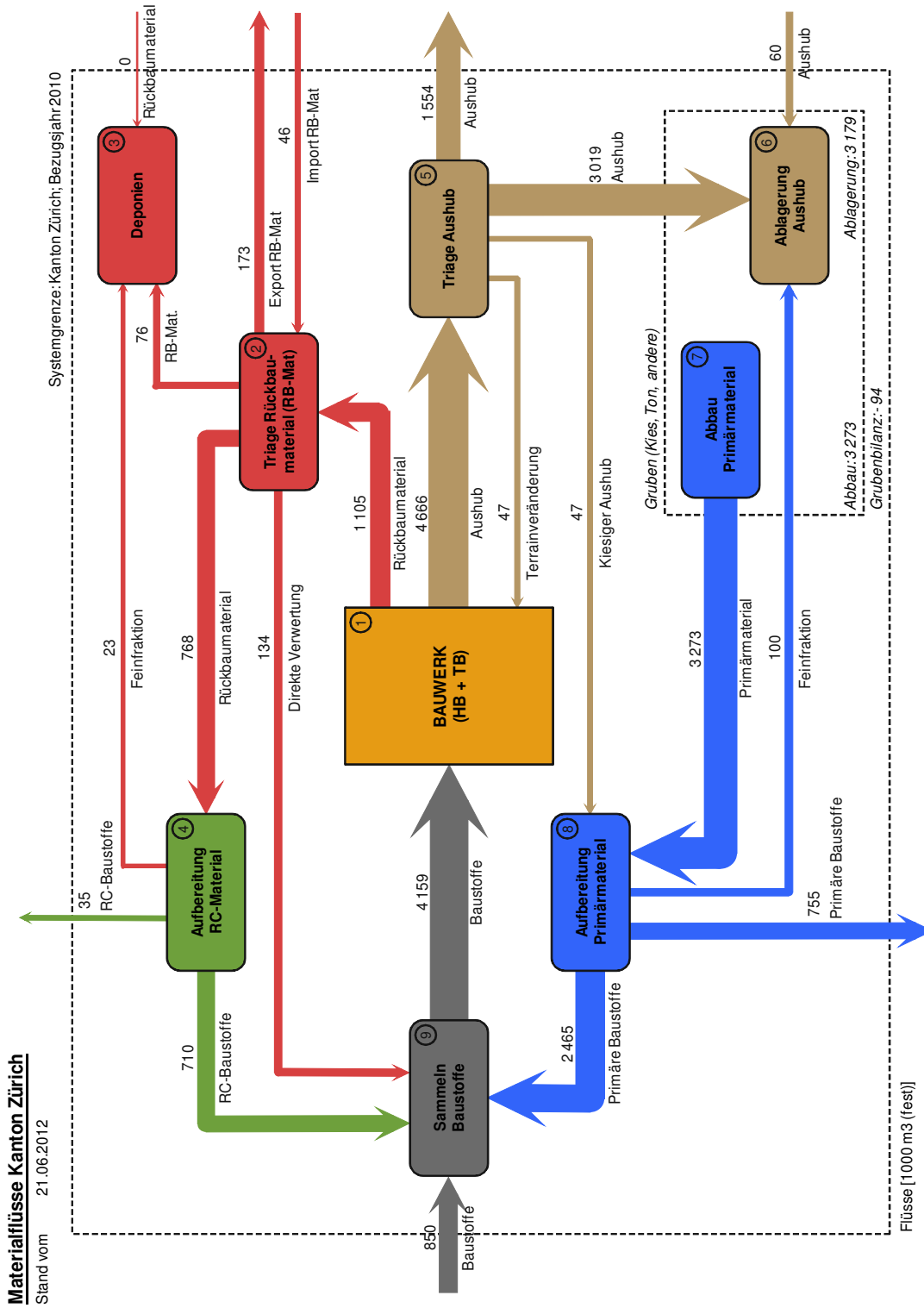


Materialflussschema Kanton Zug (Bezugsjahr 2010)





Materialflussschema Kanton Zürich (Bezugsjahr 2010)





A.2 Input-Output-Tabellen für Kies, Aushub- und Rückbaumaterial (Werte nach den Ausgleichsrechnungen)

I-O-Tabelle Kies

I-O-Tabelle Aushubmaterial

RESULTAT SOLVER KIES Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.

	AG	SH	SO	SG	TG	SZ	ZG	ZH	LU	Total Exporte 1	Output in andere Kantone	Total Exporte 2, SOLVER	Resultat Modell	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell
AG		0	48971	1	0	0	911	89462	124849	264196	155804	420000	420000	0	0.0%
SH	1		1	1	4905	1	1	7195	1	12106	27615	39721	40000	279	-0.7%
SO	64041	1		1	1	1	3654	14300	82000	99750	181750	187000	187000	5250	-2.8%
SG	1	49	1		105514	93363	1	168505	1	367436	28183	395619	397000	1381	-0.3%
TG	1	5158	0	33110		0	1	9230	0	47500	2500	50000	50000	0	0.0%
SZ	1	1	1	18069	1		87499	24486	9887	139946	81991	221937	222000	63	0.0%
ZG	3338	1	1	1	1	81306		54655	192800	84	192864	193000	193000	116	-0.1%
ZH	23450	5829	5035	267529	89410	29459	20660	136888	578260	176739	754998	755000	755000	1	0.0%
LU	2460	1	5921	1	0	5969	50500	6311	70963	867	71829	71830	71830	1	0.0%
Total Importe 1	93293	11040	59832	318713	199933	210000	159573	362342	340561	1755207	573533	2328740	2335830	709	-0.3%
Importe aus anderen Kantonen	126708	48961	193168	311287	150167	0	1426	487658	355449						
Total Importe 2, SOLVER	220001	60001	252999	630000	350000	210000	161000	850000	686031	3430032					
Resultat Modell	220000	60000	253000	630000	350000	210000	161000	850000	686031	3430031					
Differenz Zeilen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Differenz Spalten	0	279	5250	1381	0	83	116	1	7091		7093				
Abweichung SOLVER zu Modell	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%					

Wert vom Modell geschätzt

Zu minimieren

RESULTAT SOLVER AUSHUB Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.

	AG	SH	SO	SG	TG	SZ	ZG	ZH	LU	Total Exporte 1	Output in andere Kantone	Total Exporte 2, SOLVER	Resultat Modell	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell
AG		1	109747	0	0	0	2070	250	171739	283808	38192	322000	322000	0	0.0%
SH	1		0	18953	1	1	1840	1	20698	19302	19302	40000	40000	0	0.0%
SO	5788	1		0	0	0	203	3	5996	205004	211000	211000	211000	0	0.0%
SG	1	1	1		52120	49234	1	11419	1	112777	55374	168151	176000	7849	-4.5%
TG	1	8925	1	31872		1	20286	0	61067	10933	72000	72000	72000	0	0.0%
SZ	0	0	0	34345	0		6058	7989	19228	67621	6443	74064	72000	2064	2.9%
ZG	17850	1	1	3775	1	56734	1	15106	73383	166851	54133	220983	275000	54017	-19.6%
ZH	571445	238097	3708	166568	59888	40302	132310	11951	1243868	310132	1554000	1554000	1554000	0	0.0%
LU	16217	1	8729	0	0	572	10552	1	36072	3928	40000	40000	40000	0	0.0%
Total Importe 1	611303	247026	122188	256361	130664	146844	150994	57073	276305	1988758	703441	2702198	2762000	63931	-2.2%
Importe aus anderen Kantonen	274301	9974	110812	1	1	33156	1	2927	73895						
Total Importe 2, SOLVER	885604	257000	233000	256361	130664	180000	150995	60000	350000	2503824					
Resultat Modell	885000	257000	233000	254000	130000	180000	151000	60000	350000	2501000					
Differenz Zeilen	395	0	0	2361	664	0	5	0	3427						
Differenz Spalten	0	0	0	7845	0	2054	54017	0	63931		67359				
Abweichung SOLVER zu Modell	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%					

Wert vom Modell geschätzt

Zu minimieren



I-O-Tabelle Rückbaustoffe

RESULTAT SOLVER RÜCKBAUMATERIAL														Hier nichts eintragen, wird alles berechnet.	
	AG	SH	SO	SG	TG	SZ	ZG	ZH	LU	Total Exporte 1	Output in andere Kantone	Total Exporte 2, SOLVER	Resultat Modell	Differenz	Abweichung SOLVER zu Modell
AG	0	14392	0	0	0	0	0	0	71617	86510	85731	172241	171000	1241	0.7%
SH	1	1062	3983	1	1	1	1	1	1147	6197	9143	15341	18000	2659	-14.8%
SO	17660	0	0	0	1	1	0	0	1429	19091	3909	23000	23000	0	0.0%
SG	0	6	18051	13921	0	0	0	0	31981	31981	19	32000	32000	0	0.0%
TG	0	4463	8979	1	1	1	1	1	9063	22499	12500	34999	35000	1	0.0%
SZ	1	1	5000	1	1	1	1	1	23084	47349	18750	66099	67000	901	-1.3%
ZG	0	0	0	0	0	1	3675	10888	10950	25497	17503	43000	43000	0	0.0%
ZH	28981	12536	5999	56	12970	28346	23206	25633	137727	137727	70274	208001	208000	1	0.0%
LU	1179	1	4499	0	1	850	248	398	7177	7177	323	7500	7500	0	0.0%
Total Importe 1	47822	16988	25395	15098	35008	46795	40503	44562	111848	384029	218151	602180	604500	4800	-0.4%
Importe aus anderen Kantonen	2265	3	24605	0	4992	6205	496	1440	11662	0					
Total Importe 2, SOLVER	50088	17000	50000	15098	40000	53000	40999	46002	123510	435697					
Resultat Modell	50000	17000	50000	15000	40000	53000	41000	46000	123510	435510					
Differenz Zeilen	88	0	0	98	0	0	0	2	0	198					
Differenz Spalten	1241	2659	0	0	1	901	0	1	0	4804					
Abweichung SOLVER zu Modell	0.2%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4993	Zu minimieren			

Wert vom Modell geschätzt

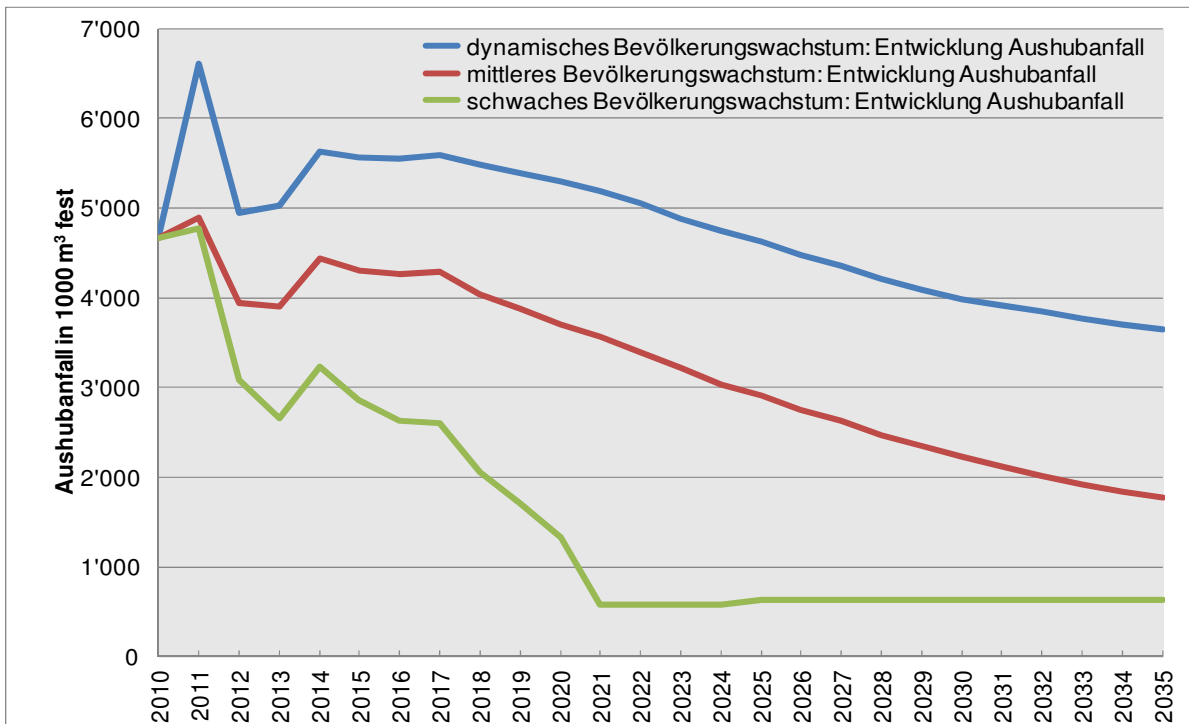


A.3 Verwendete Dichten und Umrechnungsfaktoren

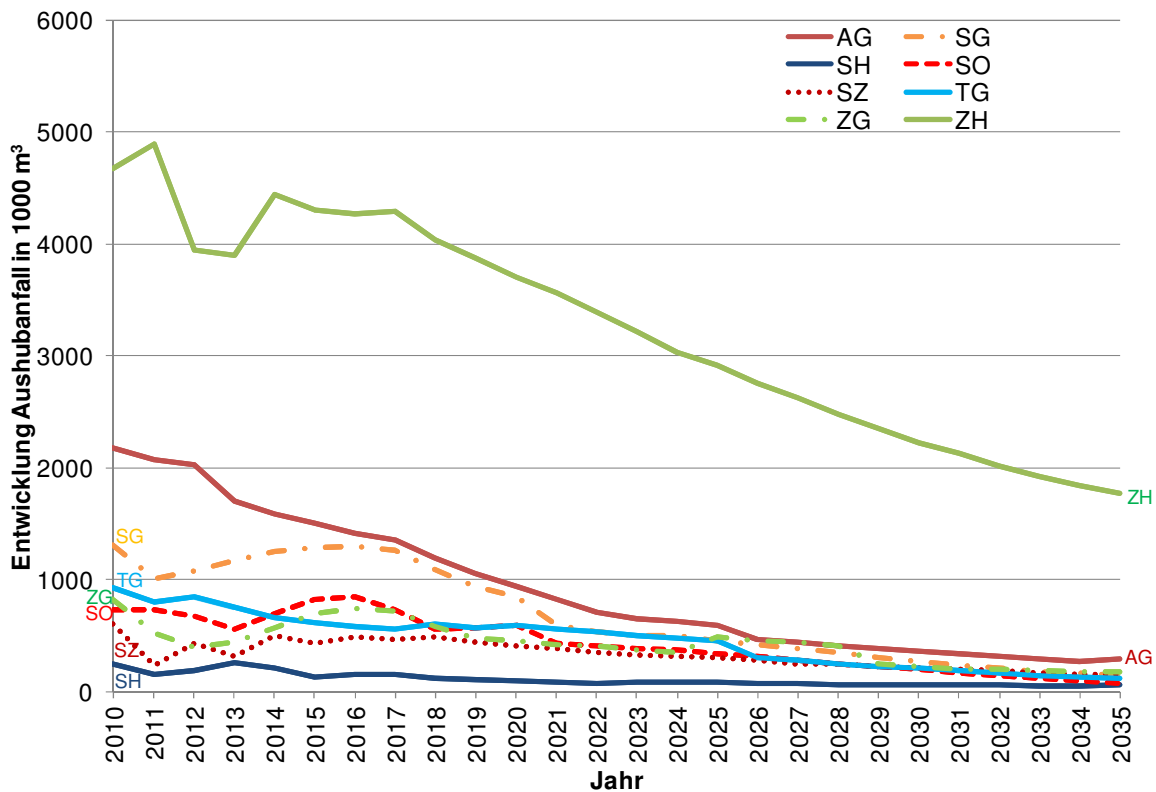
Material	Dichte (fest)	Umrechnung	Dichte (lose)
	t/m ³	fest -> lose	t/m ³
Kies/Sand	2,00	1,20	1,67
Belag	2,00	1,20	1,67
Beton	2,40	1,20	2,00
Mauerwerk	1,60	1,20	1,33
Brennbares KVA	0,16	1,20	0,13
Holz	0,70	1,20	0,58
Metalle	5,90	1,20	4,92
Mineral. Fraktion	1,50	1,20	1,25
Aushub	2,00	1,20	1,67
Betonabbruch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



A.4 Entwicklung des Aushubmaterialanfalls in Abhängigkeit der Bevölkerungsentwicklungsszenarien



A.5 Entwicklung des Aushubanfalls im Zeitraum 2010 – 2035



A.6 Sensitivitätsanalyse zum Modul Stoffflussanalyse

In der nachfolgenden Abbildung wird aufgezeigt, welche Auswirkung die Veränderung eines Modellparameters oder Materialflusses um 50% auf die Materialflüsse „Ablagerung Aushub“ und „Kiesabbau“ hat. Es ist zu erkennen, dass sich Materialflüsse „Ablagerung Aushub“ und „Kiesabbau“ maximal um 15% verändernd und damit wenig sensitiv reagieren.

