

Impressum

Auftraggeber David Hiltbrunner
Sektion Bauabfälle und Deponien
Bundesamt für Umwelt BAFU

Autor Martin Schneider
TINU SCHNEIDER Datenanalyse
Gartenstrasse 11
3600 Thun

Modell www.kar-modell.ch

Disclaimer

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

Abstracts	iv
1 Das KAR-Modell: Aufbau und Inputdaten	1
1.1 Was ist ein Modell?	1
1.2 Grundsätzlicher Aufbau des Modells	1
1.3 Das BAUWERK	2
1.4 Die Stoffflussanalyse (SFA)	4
1.5 Das dynamische Modell	9
2 Resultate KAR-Modell	11
2.1 Statische Modelle 2010 und 2014	11
2.2 Diskussion der Resultate 2014	14
2.3 Dynamisches Modell 2010–2035	16
3 Fazit und Ausblick	18
Anhang	19

Zusammenfassung

Hintergrund

Die jährlichen Materialflüsse der Schweizer Bauwirtschaft liegen im Bereich von vielen Millionen Tonnen und haben dementsprechend grosse ökonomische und ökologische Auswirkungen. Mineralische Bauabfälle stellen neben dem Aushub- und Ausbruchmaterial die mit Abstand grösste Abfallkategorie in der Schweiz dar. Der Kiesabbau hat wiederum einen grossen Einfluss auf die Ablagerungskapazitäten von Aushubmaterial und beeinflusst das Landschaftsbild nachhaltig.

Im Gegensatz zur Relevanz für viele Umweltbereiche ist die Datengrundlage dieser Materialflüsse bis anhin eher bescheiden. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass diese Materialströme aufgrund ihrer Grösse, ihres dezentralen Anfalls und einer fehlenden Deklarationspflicht nicht direkt gemessen, sondern aus verschiedenen Quellen abgeschätzt werden müssen.

Um die Erhebungssituation zu verbessern wurde 2010 das Kies, Aushub und Rückbaumodell (KAR-Modell) im Auftrag verschiedener Kantone und des BAFU entwickelt. Ein solches integrales Stoffflussmodell hat den Vorteil, dass Daten aus unterschiedlichen Quellen zur Modellierung benutzt werden können.

Das Modell

Im Zentrum des KAR-Modells steht das Bauwerk Schweiz (BAUWERK, Hochbau und Infrastrukturbauten). Aufgrund dessen Grösse, Zusammensetzung und verschiedenen Kennzahlen zur Bautätigkeit lassen sich die jährlichen Materialströme von «Aushub- und Ausbruchmaterial» und «Rückbaumaterialien» durch eine Stoffflussanalyse (SFA) berechnen.

In einem zweiten Schritt werden das Aushub- und Ausbruchmaterial und die Rückbaumaterialien innerhalb des Modells zwischen verschiedenen Prozessen (Triage, Aufbereitung, Deponierung) verteilt, wobei das Prinzip der Massenerhaltung gilt.

Die Zielgrösse der Stoffflussanalyse ist der Materialfluss «Abbau von Primärmaterial», welcher aus jährlichen Erhebungen bekannt ist. Während der Modellierung werden die verschiedenen Prozesse innerhalb des Modells in einem iterativen Prozess so angepasst, dass der modellierte und der erhobene Abbau von Primärmaterial möglichst genau übereinstimmen.

Das KAR-Modell besteht aus einem statischen und einem dynamischen Teil. Das statische Modell modelliert die Materialflüsse für ein Bezugsjahr in der Vergangenheit. Als Grundlagendaten dienen dabei die Daten des Bauwerks und weitere Parameter, welche von Kantonen, Verbänden und den Modellierern erhoben/abgeschätzt und zur Validierung benutzt werden. Das statische Modell kann beispielsweise für die jährliche Bauabfallstatistik verwendet werden.

Mit dem dynamischen Modell lassen sich Zukunftsszenarien (keine Prognosen!) modellieren. Dafür werden aufgrund der heutigen Situation der Bauwirtschaft verschiedene Kenngrössen abgeleitet und in die Zukunft fortgeschrieben. Da die Entwicklung der Bauwirtschaft längerfristig stark an die Einwohnerzahl gekoppelt ist, liegen den verschiedenen Zukunftsszenarien die Bevölkerungsprognosen des Bundesamtes für Statistik (BFS) zu Grunde.

Resultate

In der folgenden Tabelle 1 sind die Materialflüsse der statischen Modelle der Jahre 2010 und 2014 in Mio. Tonnen dargestellt.

Zusätzlich sind die Resultate in den Figuren 5 und 6 auf der Seite 12 als Diagramm zu sehen; die Nummern A_{xy} der untenstehenden Tabelle beziehen sich auf diese Diagramme.

Tabelle 1 Die Werte der Materialflüsse der statischen Modelle 2010 und 2014 in Mio. Tonnen; RB-Material: Rückbaumaterial; TB: Tiefbau

Mio. Tonnen	2010	2014	
Materialflüsse innerhalb der Schweiz (Innere Flüsse)			
A12	Anfall Rückbaumaterial aus dem BAUWERK	13.8	14.9
A15	Anfall Aushub aus dem BAUWERK	60.3	70.7
A23	Rückbaumaterial, das deponiert wird	3.6	4.0
A24	Rückbaumaterial, das aufbereitet wird	8.4	9.2
A29	Direkte Verwertung auf der Baustelle (TB)	1.7	1.5
A43	Feinfraktion aus der "Aufbereitung RB-Material"	0.4	0.5
A49	RC-Granulate (aufbereitete RB-Materialien)	8.0	8.6
A51	Terrainanpassung mit Aushub	3.0	3.5
A53.1	Ablagerung unverschmutzter Aushub auf "Deponie Typ B"	3.0	3.0
A53.2	Ablagerung unverschmutzter Aushub auf "Deponie Typ A"	5.5	6.6
A56	Verwertung unverschmutzter Aushub in Abbaustellen	43.6	53.1
A58	Verwertung kiesiger Aushub zur Aufbereitung	2.1	2.5
A78	Rohmaterial, abgebautes Primärmaterial	52.2	64.6
A86	Feinfraktion aus der Aufbereitung Primärmaterial	4.1	3.4
A89	Primärmaterial in das BAUWERK	49.8	66.0
A91	Bedarf mineralischer Baustoffe im BAUWERK	74.1	86.3
Importe			
A02	Rückbaumaterial in "Triage RB-Material"	0.0	0.3
A03	Rückbaumaterial in "Deponien"	0.1	0.0
A06	Aushub in Abbaustellen	0.0	0.0
A09	Baustoffe in "Sammeln Baustoffe"	12.6	10.0
Exporte			
A20	Rückbaumaterial aus "Triage RB-Material"	0.1	0.0
A40	RC-Granulate aus "Aufbereitung RC-Material"	0.0	0.0
A50	Aushub aus "Triage Aushub"	3.0	2.0
A80	Primäre Baustoffe aus "Aufbereitung Primärmaterial"	0.5	0.6

Résumé

Introduction

En Suisse, les flux de matières annuels dans le secteur de construction atteignent plusieurs millions de tonnes et ont donc un grand impact économique et écologique. Avec les matériaux d'excavation et de percement, les déchets de chantier minéraux constituent de loin la plus importante catégorie de déchets en Suisse. Les gravières ont également une influence notable sur les capacités de stockage des matériaux d'excavation et, à long terme, sur l'aspect caractéristique du paysage.

Bien que déterminante pour de nombreux domaines environnementaux, les données relatives à ces flux de matières étaient jusqu'ici plutôt rares. Cela est notamment dû au fait que les flux de matières ne sont pas mesurés directement étant donné leur importance, leur caractère décentralisé et l'absence d'obligation de les notifier; l'estimation de ces flux se base plutôt sur des données provenant de différentes sources.

Pour améliorer la situation en matière de collecte de données, le modèle KAR a été développé sur mandat de plusieurs cantons. Un tel modèle intégré des flux de matières permet d'agréger des données issues de différentes sources pour la modélisation

Le modèle

Les domaines du bâtiment et des infrastructures en Suisse servent de base au modèle KAR. L'évolution du parc de bâtiment et des infrastructures produit différents flux de matériaux. Au moyen d'une analyse des flux de matières, il est possible de calculer les flux annuels des matériaux d'excavation et de percement ainsi que des déchets de chantier.

Ensuite, les matériaux d'excavation et de percement ainsi que les déchets de chantier sont répartis selon différentes procédures (triage, préparation, mise en décharge), suivant le principe du bilan de masse.

La valeur cible du modèle est l'extraction des matériaux primaires dont on connaît les quantités suites aux relevés annuels. Lors de la modélisation, les différents processus du module sont adaptés (processus itératif) de manière à ce que les données de l'extraction des matériaux primaires modélisées et celles tirées des relevés correspondent le mieux possible.

Le modèle KAR comprend une partie statique et une partie dynamique. Le **modèle statique** modélise les flux de matières pour une année donnée dans le passé. Les données de base sont celles relatives à la construction et celles correspondant à d'autres paramètres relevés et évalués par les cantons, les associations et les personnes chargées de la modélisation; ces paramètres sont utilisés pour la validation. Le modèle statique peut par exemple être employé pour la statistique annuelle des déchets de chantier.

Le **modèle dynamique** permet de modéliser des scénarios (mais il ne permet pas de pronostics!). Pour cela, sur la base de la situation actuelle du secteur de la construction, différents chiffres clés sont déduits et extrapolés. Comme le développement du secteur en question est lié au nombre d'habitants, les pronostics démographiques de l'Office fédéral de la statistique (OFS) sont à la base des différents scénarios.

Résultats

Le tableau 2 suivant présente les flux de matériaux (millions de tonnes) des modèles statiques pour les années 2010 et 2014. En outre les figures 5 et 6 sur la page 12 présentent les résultats sous forme graphique. Les abréviations A_{xy} dans le tableau suivante se réfèrent aux figures 5 et 6.

Table 2 Les flux de matériaux (millions de tonnes) des modèles statiques pour les années 2010 et 2014;

BAUWERK: bâtiments et infrastructure; RC: recyclage

millions de tonnes		2010	2014
Flux de matières en Suisse (flux internes)			
A12	Matériaux de démolition du BAUWERK	13.8	14.9
A15	Matériaux d'excavation du BAUWERK	60.3	70.7
A23	Matériaux de démolition mis en décharge	3.6	4.0
A24	Matériaux de démolition traités	8.4	9.2
A29	Valorisation directe sur le chantier (travaux publics)	1.7	1.5
A43	Fraction fine de "traitement de matériaux"	0.4	0.5
A49	Granulés de RC produits (matériaux de démolition traités)	8.0	8.6
A51	Adaptation du terrain avec matériaux d'excavation	3.0	3.5
A53.1	Matériaux d'excavation non pollués mise en "décharge de type B"	3.0	3.0
A53.2	Matériaux d'excavation non pollués mise en "décharge de type A"	5.5	6.6
A56	Matériaux d'excavation non pollués dans des sites d'extraction	43.6	53.1
A58	Matériaux d'excavation pour traitement	2.1	2.5
A78	Matériaux primaires excavés	52.2	64.6
A86	Fraction fine issue du traitement des matériaux primaires	4.1	3.4
A89	Matériaux primaires traités	49.8	66.0
A91	Besoin en matériaux de construction minéraux dans BAUWERK	74.1	86.3
Importations			
A02	Matériaux de démolition dans le "Triage matériaux"	0.0	0.3
A03	Matériaux de démolition mis en décharge	0.1	0.0
A06	Matériaux d'excavation dans des sites d'extraction	0.0	0.0
A09	Matériaux de construction "Collecte matériaux de construction"	12.6	10.0
Exportations			
A20	Matériaux de démolition issus de la "Triage matériaux"	0.1	0.0
A40	Granulés de RC produits (matériaux de démolition traités)	0.0	0.0
A50	Matériaux d'excavation issus de "Triage excavation"	3.0	2.0
A80	Matériaux de construction primaires	0.5	0.6

Summary

Introduction

Annual material flows in the Swiss construction industry amount to many millions of tonnes, and the economic and ecological effects are therefore also significant. Mineral construction waste, including excavation material, is easily the largest waste category in Switzerland. Gravel mining is important in regard to storage capacities for excavation material and it has a lasting influence on the landscape.

Up to now the information base for these material flows has been rather meagre by comparison with its influence on many environmental domains. This can be attributed to the fact that these material flows, on account of their size, their occurrence in sporadic locations and the lack of a declaration requirement, cannot be measured directly, but have to be estimated from various sources.

In 2010, in order to improve data collection, the gravel, excavation and demolition model (Kies, Aushub und Rückbau (KAR) Model) was developed on behalf of various cantons and the FOEN. An integrated material flow model like this has the advantage that data from different sources can be used for modelling.

The Model

At the centre of the KAR Model is the Swiss building stock (building construction and infrastructure construction). Because of its size, composition and various performance indicators on building activity, the annual material flows of “excavation material” and “demolition material” can be calculated using a material flow analysis (MFA).

In a second step, the excavation material and the demolition material are distributed within the model between different procedures (triage, processing, landfilling), with the principle of conservation of mass being respected.

The dependent variable of the material flow analysis is the mining of primary material that is known from annual surveys. During modelling, the different processes within the model are adjusted in an iteration cycle so that the modelled and the surveyed mining of primary material are matched as exactly as possible.

The KAR Model consists of a statistical and a dynamic part. The **static model** models the material flows for a particular year in the past. The basic data for this are the data of the building stock and further parameters that are measured or estimated by cantons, associations and the modellers and are used for validation. The statistical model, for example, may be used for the annual survey of construction waste.

The **dynamic model** makes it possible to model future scenarios (not forecasts!). For this purpose, various indicators based on the current situation of the construction industry are inferred and then projected into the future. Since the development of the construction industry is closely linked to the population figures, the population forecasts of the Federal Statistical Office (FSO) form the basis of the different future scenarios.

Results

The following table 3 depicts the material flows (millions of tonnes) given in the static models for the years 2010 and 2014. Additionally the results are plotted as a chart in the figures 5 and 6 on page 12. The numbers A_{xy} in the following table relate to these charts.

Tabelle 3 The material flows (millions of tonnes) given in the statical models for the years 2010 and 2014;

BAUWERK: buildings and infrastructure (civil engineering), RC: recycling

millions of tons		2010	2014
Material flows within Switzerland (internal flows)			
A12	Production of demolition materials in the BAUWERK	13.8	14.9
A15	Production of excavation material in the BAUWERK	60.3	70.7
A23	Demolition material that is landfilled	3.6	4.0
A24	Demolition material that is processed for recycling	8.4	9.2
A29	Direct recycling on the building-site (infrastructure construction)	1.7	1.5
A43	Fine fraction from the processing of demolition material	0.4	0.5
A49	RC granulates (processed demolition materials)	8.0	8.6
A51	Terrain levelling with excavation material	3.0	3.5
A53.1	Unpolluted excavation material in "Type B landfill"	3.0	3.0
A53.2	Unpolluted excavation material in "Type A landfill"	5.5	6.6
A56	Unpolluted excavation material in pit (gravel, sand, clay, ...)	43.6	53.1
A58	Processed unpolluted excavation material	2.1	2.5
A78	Raw material, mined primary material	52.2	64.6
A86	Fine fraction from the processing of primary material	4.1	3.4
A89	Primary building materials for the BAUWERK	49.8	66.0
A91	Requirement for mineral building materials in the BAUWERK	74.1	86.3
Imports			
A02	Demolition material in "Triage of demolition material"	0.0	0.3
A03	Demolition material in "Landfills"	0.1	0.0
A06	Excavation material in pits	0.0	0.0
A09	Building materials in "Collection of building materials"	12.6	10.0
Exports			
A20	Demolition material from "Triage of demolition material"	0.1	0.0
A40	RC granulates from "Processing of demolition material"	0.0	0.0
A50	Excavation material from "Triage of excavation material"	3.0	2.0
A80	Primary building materials from "Processing of primary material"	0.5	0.6

1 Das KAR-Modell: Aufbau und Inputdaten

1.1 Was ist ein Modell?

Das Kies, Aushub- und Rückbaumaterial (KAR)-Modell ist – wie jedes Modell – eine Vereinfachung der Realität. Es wurde so konzipiert, dass die wesentlichen Materialflüsse und Zusammenhänge abgebildet werden; es erhebt aber nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Die folgenden zwei Zitate sollen das grundsätzliche Dilemma der ‘Modellierung’ illustrieren.

Essentially, all models are wrong, but some are useful

— George Box (1919–2013)

und

The best material model of a cat is another, or preferably the same, cat

— Norbert Wiener (1894–1964)

Kies, Aushub und Rückbaumaterial sind unter verschiedenen Aspekten voneinander abhängig. Diese Materialflüsse sind enorm gross, sie liegen in der Schweiz im Bereich von vielen Millionen Tonnen pro Jahr. Sie fallen dezentral an und unterliegen zudem keiner Deklarationspflicht. Daher können die jährlich umgesetzten Mengen nicht einfach gemessen, sondern müssen modelliert werden. Ein integrales Stoffflussmodell hat dabei den Vorteil, dass Daten aus unterschiedlichen Quellen zur Modellierung benutzt werden können.

Das KAR-Modell kann kein exaktes Abbild der Realität sein, sondern soll die gegenseitige Abhängigkeiten aufzeigen und die Materialflüsse in einem konsistenten Modell sinnvoll und plausibel abschätzen. Das Werkzeug ‘Stoffflussanalyse’ arbeitet mit dem Prinzip der Massenerhaltung; das garantiert, dass innerhalb des Systems diesbezüglich keine widersprüchliche Werte generiert werden.

Mit einer systematischen Sensitivitätsanalyse des Modells und einer anschliessenden Monte-Carlo-Simulation konnte gezeigt werden, dass die Resultate des Modells nicht stärker schwanken als die Eingangsparameter. Wenn wir beispielsweise bei den Modellparametern eine Unsicherheit von $\pm 10\%$ annehmen, dann liegen die Resultate des KAR-Modells ebenfalls im Bereich von $\pm 10\%$.

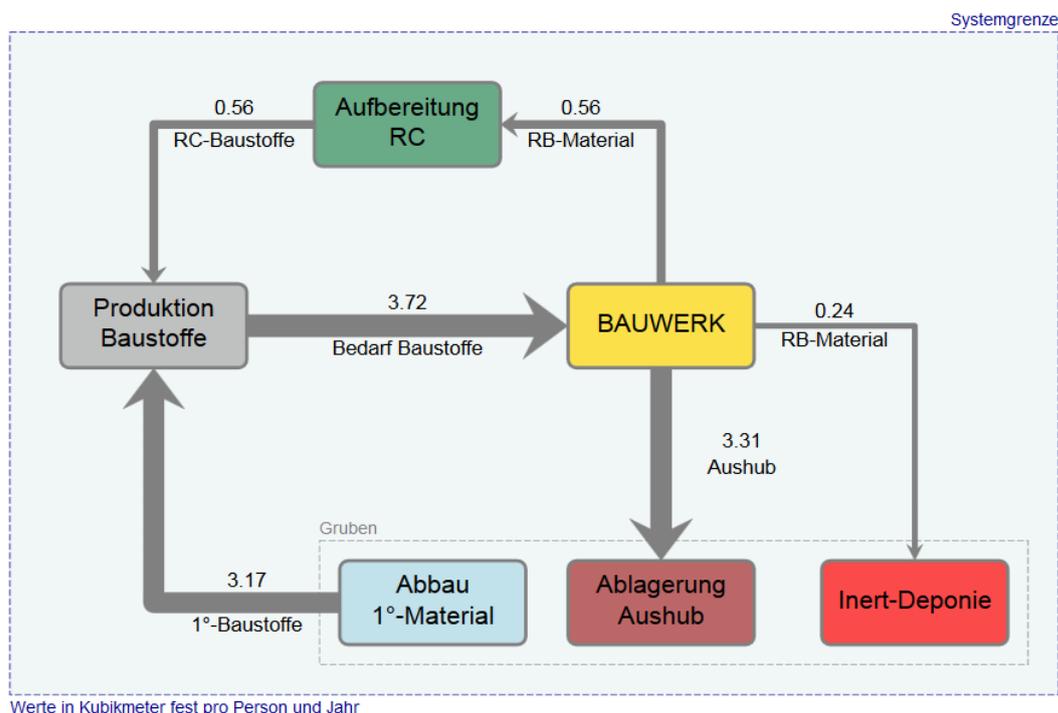
Auf der Homepage des Modells kar-modell.ch sind detailliertere Informationen verfügbar.

1.2 Grundsätzlicher Aufbau des Modells

Statisches Modell

Das statische KAR-Modell ist in zwei Stufen aufgebaut (Figur 1). Im Zentrum des Modells steht das BAUWERK. Es umfasst den gebauten Hoch- und Tiefbau, d. h. das aktuelle Materiallager in den Gebäuden und der Infrastruktur. In einem ersten Schritt werden Input und Output des BAUWERK – das sind ‘Bedarf von Baustoffen’, ‘Anfall von Aushub’ und ‘Anfall von Rückbaumaterial’ – über Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten modelliert. Anschliessend werden diese Mengen in einem zweiten Schritt im System mittels einer Stoffflussanalyse (SFA) ‘verteilt’.

Das KAR-Modell berücksichtigt somit den Treiber des Systems, nämlich die effektive Bautätigkeit im BAUWERK, bevor die dazu benötigten und anfallenden Materialien weiter modelliert werden.



Figur 1 Ein einfaches Modell der mineralischen Materialien. Im Zentrum steht das BAUWERK (Hoch- und Tiefbau), darum die weiteren Prozesse des Systems.

Dynamisches Modell

Um Aussagen zu möglichen Entwicklungen in der Zukunft zu machen, simuliert das dynamische KAR-Modell Szenarien bis ins Jahr 2035. Ausgangspunkt ist dabei jeweils das statische Modell zum Bezugsjahr 2010.

1.3 Das BAUWERK

Das KAR-Modell simuliert in einem ersten Schritt die Bautätigkeit in Hoch- und Tiefbau während des jeweiligen Bezugsjahres. Damit kann der Baustoffbedarf (Input) so wie der Anfall von Rückbaumaterial und von Ausbruch- und Aushubmaterial (im Folgenden als 'Aushub' bezeichnet) (Output) mittels Neubau-, Rückbau- und Sanierungsraten abgeschätzt werden. Basis dieser Berechnung ist das Materiallager in den Gebäuden und Infrastrukturwerken (BAUWERK). Dieses Lager wird vorgängig detailliert aus den Grundlagedaten abgeschätzt.

1.3.1 Grundlagedaten BAUWERK: Das Materiallager

Das KAR-Modell stützt sich zur Abschätzung der Materiallager in Hoch- und Tiefbau auf die Resultate der Baubfallstudien des BAFU für den Hochbau [bafu-hb] und Tiefbau [bafu-tb] aus den Jahren 2008 und 2014. Diese Studien enthalten ausführliche Angaben zu den Volumina von Gebäuden (mit Baujahr und typischer Nutzung) sowie zu den Infrastrukturwerken. Gleichzeitig liefern sie detaillierte Werte zur Materialisierung des Bauwerks. Diese Angaben fließen direkt in das KAR-Modell.

1.3.2 Kennwerte

In der Folge werden gerundete Kennwerte aus diesen Grundlagedaten abgeleitet. Diese sind für einfache Überschlagsrechnungen, z. B. bei der Interpretation der Modellresultate, hilfreich.

Die Summe des mineralischen Materiallagers in der Schweiz beträgt rund 1'300 Mio. m³. Dieses Volumen verteilt sich wie folgt (Tabelle 4, Werte in Mio. m³, *stark gerundet*)

Tabelle 4 Die Materialisierung des Bauwerks (Volumen, Mio. m³, stark gerundet). Die Fraktion 'Rest' besteht aus Gips, Glas, Ton, Porzellan etc.

Material (Volumen)	Hochbau	Tiefbau	Total	Anteil
Beton	315	110	425	33 %
Mauwerk	210	10	220	17 %
Kies / Sand	50	450	500	38 %
Belag	5	70	75	6 %
Rest	80	0	80	6 %
Total	680	640	1'300	
Anteil	~50 %	~50 %		100 %

1.3.3 Kennwerte Hochbau

Alle Angaben sind gerundet

- Totales Gebäudevolumen in der Schweiz ca. 3.8 Mia. m³
- Wohngebäude: 50 %, Nicht-Wohngebäude: 50 %
- Pro Person 250 m³ Gebäudevolumen
- Pro Person 100 m² Gebäudefläche mit 2.5 m Höhe
- Materialanteil Wohnen 60 %, Nicht-Wohnen 40 %
- Materialvolumen Beton 50 %, Mauwerk 30 %, Rest 20 %

1.3.4 Kennwerte Tiefbau

Alle Angaben sind gerundet

- Netzlänge Verkehr 76'500 km
- Davon Strasse 93 %, Bahn 7 %
- Netzlängen Ver- und Entsorgen ~ 200'000 km
- Davon Trinkwasser 30 %, Abwasser 24 %, Energie 46 %
- Pro Person 10 Meter Strasse
- Pro Person 30 Meter Ver- und Entsorgung
- Materialvolumen Kies/Sand 75 %, Beton 16 %, Belag 10 %

1.3.5 Materiallager in Hoch- und Tiefbau 2010 und 2014

Aus den Bauabfallstudien 2008 und 2014 können die Materiallager der mineralischen Baustoffe im BAUWERK für das entsprechende Bezugsjahr abgeleitet und für den Hochbau auf den Stand des aktuellen Bezugsjahres ergänzt werden. Diese angepassten Materiallager bilden die Grundlage für die weitere Modellierung (Neubau-, Sanierungs- und Rückbautätigkeit).

Tabelle 5 Materiallager in Hoch- und Tiefbau im KAR-Modell 2010 und 2014 in Mio. Tonnen

Mio. Tonnen	Hochbau 2010	Tiefbau 2010	Hochbau 2014	Tiefbau 2014
Kies/Sand	102	991	103	1'063
Belag	8	155	8	165
Beton	794	269	825	306
Mauerwerk	358	17	338	18
Rest	121	5	120	6
Total	1'383	1'437	1'394	1'558

Rückblickend wurden die Materiallager für die Modellierung zum Bezugsjahr 2010 für den Hochbau allenfalls etwas zu stark erhöht. Im Vergleich zu den Daten aus der Bauabfallstudie 2014 resultiert eine Differenz, welche wohl grösser sein könnte. Was sich aber abzeichnet, ist die Verschiebung der Materialisierung: Mauerwerk hat von 2010 bis 2014 im Hochbau um knapp 6 % abgenommen, während die Fraktion Beton in diesem Zeitraum um 4 % zunahm. Für den Tiefbau nahmen die Daten der Materiallager um über 8 % zu; diese Daten zum Tiefbau fliessen ohne weitere Anpassung aus den Bauabfallstudien in das Modell.

1.4 Die Stoffflussanalyse (SFA)

Durch die Bautätigkeit (Neubau, Sanierung, Rückbau) verändert sich das Bauwerk in Laufe der Zeit. Es fliesst Material ins Bauwerk hinein (Baustoffe), aus dem Bauwerk hinaus (Rückbaustoffe) und es fällt Aushubmaterial an. Wenn diese Input- und Outputflüsse des BAUWERKS bekannt sind, können sie mittels einer Stoffflussanalyse (SFA) innerhalb des Systems 'verteilt' werden. Die entsprechenden Transferkoeffizienten (z.B. 'Wie viel des anfallenden Rückbaumaterials gelangt in die Aufbereitung? Wie viel davon wird deponiert?') müssen so abgeschätzt werden, dass sie einerseits plausibel und erklärbar sind. Andererseits sollen die Modellresultate die bekannten Daten möglichst gut abbilden.

Die Systemgrenzen liegen beim KAR-Modell für die Schweiz bei einem Jahr (zeitlich) und der Landesgrenze (räumlich). Materialflüsse über die Systemgrenze werden als Import bzw. Export bezeichnet, vergleiche dazu die Figur 2.

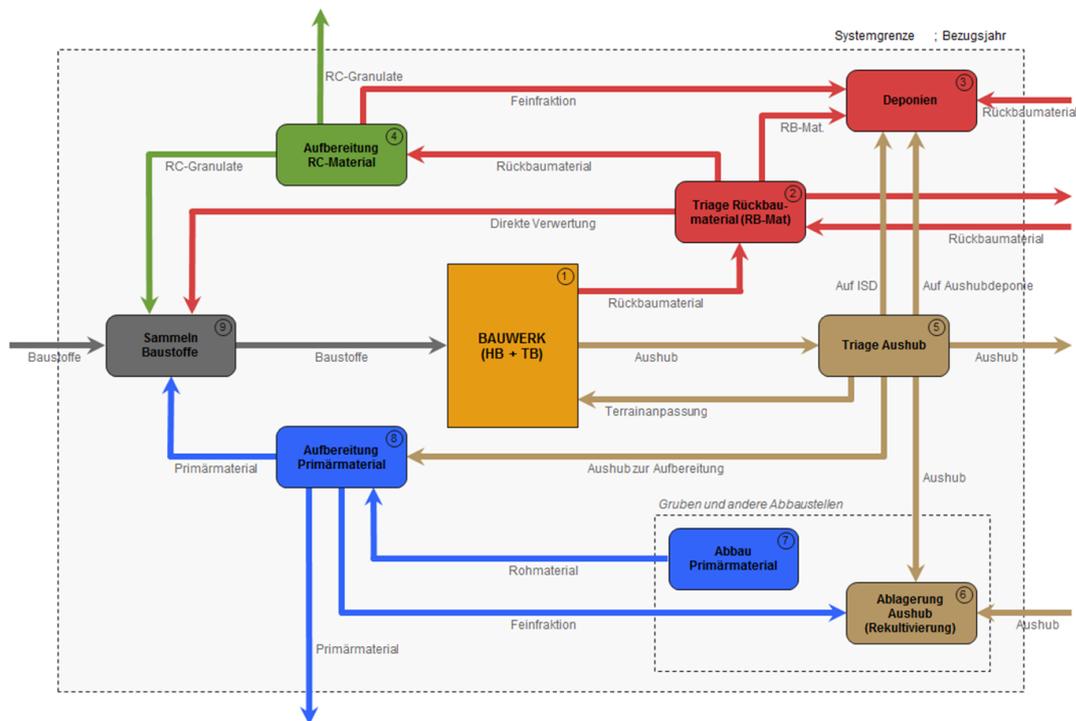
Für die meisten Prozesse im KAR-Modell muss die Massenbilanz 0 (Null) ergeben. Das geschieht so, dass der totale Input in einen Prozess als Bezugsgrösse für den Output dient. Jeder Outputfluss wird als Anteil des Inputs (=Transferkoeffizient) berechnet. Die Summe der Outputflüsse müssen also gleich gross sein, wie die Summe der Inputflüsse. So setzt sich der Output aus der Aufbereitung von Rückbaumaterial zu RC-Granulaten aus drei Materialflüssen zusammen, nämlich einer Feinfraktion, die deponiert wird, einem Export von RC-Granulaten und den RC-Granulaten, welche zu Baustoffen für das BAUWERK verwendet werden. Die Summe dieser drei Flüsse ist gleich gross wie der Input von Rückbaumaterial in diesen Prozess, es wird kein Material gelagert und es geht kein Material verloren.

Ausnahmen der Berechnung über die Massenbilanz sind das BAUWERK – dieses wird wie oben beschrieben differenziert berechnet – sowie der Abbau von Primärmaterial und die De-

ponien bzw. Ablagerung von Aushub, d. h. alle Quellen und Senken. Die 'Lager' dieser Prozesse werden nicht explizit modelliert.

Die SFA sucht mathematisch die Lösung zur Frage: 'Gegeben alle anderen Inputgrößen und Parameter, wie gross muss dann der Abbau von Primärmaterial sein?'. Dieses Resultat wird mit der aus den Datenquellen gemachten Angabe zum Abbau von Primärmaterial verglichen. Wenn das modellierte Resultat zu stark von diesem bekannten Wert abweicht, müssen die nötigen Parameter so geändert werden, dass die Differenz innerhalb einer festgelegten Toleranzgrenze ist; diese liegt üblicherweise bei 5%. Die Berechnung der Menge 'Abbau von Primärmaterial' ist somit die Zielgrösse der SFA.

Bei diesem Vorgehen werden gleichzeitig auch alle anderen Materialflüsse vom Modell berechnet. Auch diese werden mit bekannten Daten verglichen und das Modell an diese Werte kalibriert. Das heisst, das Modell soll die Daten aus unterschiedlichen Quellen so genau wie möglich berechnen.



Figur 2 Das Stofffluss-Diagramm für das KAR-Modell, Erläuterungen befinden sich im Text.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Prozesse und Materialflüsse des KAR-Modells gemäss dem Schema in der Figur 2.

1.4.1 Die Prozesse im KAR-Modell

Als *Prozess* wird in der SFA eine 'Umwandlung des Inputs' verstanden. In einem Prozess wird beispielsweise Rohmaterial zu einem Baustoff aufbereitet. Der Detaillierungsgrad eines Prozesses wird je nach Zweck des Modells unterschiedlich gewählt.

Die folgende Liste erklärt die Prozesse im KAR-Modell, die Nummern der Prozesse entsprechen der Nummerierung im SFA-Diagramm.

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

1.4.2 Die Materialflüsse im KAR-Modell

Innere Flüsse

Ein *Fluss* wird in der SFA als 'Verschieben einer gewissen Menge eines bestimmten Materials von A nach B' definiert. Ein Fluss ist somit immer eindeutig definiert: Er hat genau 1 Herkunftsprozess, 1 Zielprozess, 1 Menge und 1 bestimmtes Material.

Die SFA untersucht 24 Materialflüsse¹. Davon sind 16 innere Flüsse, d.h. keine Importe oder Exporte. In den folgenden Tabellen werden die Materialflüsse des KAR-Modells kurz erläutert. Dabei bezeichnen die Nummer *AXY* jeweils die Nummer von Herkunfts- (*x*) und Ziel- (*y*)-Prozess. So bezeichnet A12 den Fluss aus dem Prozess 1 in den Prozess 2, also *Rückbaumaterial* aus dem Prozess *BAUWERK* in den Prozess *Triage Rückbaumaterial*.

In der Tabelle 6 sind die inneren Flüsse mit einer Erläuterung aufgeführt.

Importe und Exporte

Das KAR-Modell berücksichtigt einige Materialflüsse über die Systemgrenze hinweg, diese werden als Importe und Exporte bezeichnet. Sie werden nicht weiter auf einzelne umliegende Länder differenziert, sondern zu totalen Importen und Exporten aggregiert (siehe Tabelle 7).

¹ Im dynamischen Modell werden die drei Flüsse der Ablagerung von Aushub aggregiert, es bleiben 22 Materialflüsse.

Tabelle 6 Beschreibung der Materialflüsse im KAR-Modell

Nr.	Bezeichnung, Erläuterung
A12	Anfall Rückbaumaterial aus dem BAUWERK
A15	Anfall Aushub aus dem BAUWERK
A23	Rückbaumaterial, das deponiert wird
A24	Rückbaumaterial, das aufbereitet wird
A29	Rückbaumaterial, das direkt auf der Baustelle verwertet wird (nur im Tiefbau)
A43	Feinfraktion aus der Aufbereitung von Rückbaumaterial, die deponiert wird
A49	RC-Granulate, die als Baustoffe eingesetzt werden können; im Modell explizit ohne Primärmaterial
A51	Aushub, der für Terrainanpassungen auf der Parzelle verwendet wird
A53.1	Aushub, der auf Inerstoffdeponien (ISD) abgelagert wird
A53.2	Unverschmutzter Aushub, der auf 'Aushubdeponien' (Typ A) abgelagert wird
A56	Unverschmutzter Aushub, der für die Wiederauffüllung von Abbaustellen verwendet wird (Rekultivierung)
A58	Kiesiger Aushub, der zu Primärmaterial aufbereitet werden kann
A78	Abbau von Primärmaterial; dieser Fluss wird in der SFA als 'Zielfluss' modelliert
A86	Feinfraktion aus der Aufbereitung von Primärmaterial, wird direkt in der Abbaustelle abgelagert
A89	Primäre Baustoffe für das BAUWERK
A91	Input in das BAUWERK, bzw. der Bedarf an Baustoffen im BAUWERK

Tabelle 7 Beschreibung der Materialflüsse von Import und Export

Nr.	Bezeichnung, Erläuterung
Importe	
A02	Rückbaumaterial in die 'Triage Rückbaumaterial'
A03	Rückbaumaterial, das direkt in die Deponien gelangt
A06	Aushub für die Rekultivierung von Abbaustellen
A09	Baustoffe für den Input in das BAUWERK
Exporte	
A20	Rückbaumaterial aus der 'Triage Rückbaumaterial'
A40	RC-Granulate aus der Aufbereitung RC-Material
A50	Aushubmaterial aus der Triage Aushub
A80	Primäre Baustoffe aus der Aufbereitung Primärmaterial

1.4.3 Daten zu den Materialflüssen 2010 und 2014

Die Daten zu den Materialflüssen werden aus unterschiedlichen Quellen zusammengetragen oder abgeschätzt. Sie sind in der folgenden Tabelle 8 dargestellt. Zu einigen Flüssen finden sich keine Daten, diese sind mit 'na' angegeben. Für die Modellierung bedeutet das, dass diese Flüsse ausschliesslich modelliert werden und nicht kalibriert werden können. Sie werden über weitere Abschätzungen plausibilisiert.

Von den Daten der inneren Flüsse wird ein Teil nur für die Kalibration des KAR-Modells verwendet (KAL = 'ja'). Das bedeutet, dass diese Daten *nicht* in das Modell einfließen, sondern dass das Modell diese Daten auf Grund aller weiteren Angaben berechnet. Die Differenz zwischen Modellresultat und bekannten Daten soll dabei so klein wie möglich sein.

Daten zu den Importen und den Exporten sowie einige Werte zum Aushub werden direkt in das Modell übernommen, das heisst, sie werden nicht weiter modelliert, sondern fliessen mit diesem Wert in das Modell ein. Daten können somit nicht zur Kalibrierung verwendet werden (KAL = 'nein').

Tabelle 8 Daten zu den Materialflüssen 2010 und 2014 in Kubikmeter (fest) bzw. Anzahl Einwohner (letzte Zeile); "na": *not available*, d.h. keine Angabe; "KAL": "ja" = Dieser Fluss wird ausschliesslich für die Kalibration des Modells verwendet. "KAL": "nein" = Dieser Wert wird direkt in das Modell übernommen. Die Nummer der Quelle wird in der Tabelle 9 erklärt.

Kubikmeter (fest)	Fluss-Nr.	2010	2014	KAL	Quelle
Innere Flüsse					
Rückbaumaterial in Deponien	A23	1'956'623	2'471'384	ja	1
Rückbaumaterial in die Aufbereitung	A24	na	4'232'000	ja	2
RC-Granulate in das BAUWERK	A49	3'755'000	na	ja	2
Terrainveränderung mit Aushub	A51	na	na	ja	–
Aushub auf ISD	A53.1	1'487'043	na	nein	3
Aushub auf Aushubdeponie	A53.2	2'750'000	na	nein	3
Ablagerung von Aushub (Rekultivierung)	A56	15'900'000	na	ja	3
Aufbereitung von Aushub	A58	78'735	11'366	ja	4
Abbau Primärmaterial	A78	26'138'489	32'995'000	ja	5
Importe					
Import Rückbaumaterial	A03	288	98	nein	5
Import Aushub (in Deponie)	A06	na	na	nein	–
RB-Material in Deponie	A03	na	na	nein	–
Import von Gesteinskörnung Baustoffen	A09	5'890'117	4'680'000	nein	5
Exporte					
Export von RB-Mat	A20	29'672	129'768	nein	5
Export von RC-Baustoffen	A40	na	na	nein	–
Export von Aushub	A50	1'530'000	1'003'000	nein	5
Export Kies (bzw. primäre Baustoffe)	A80	257'083	300'000	nein	5
Bevölkerung					
Anzahl Einwohner		7'873'000	8'237'700		6

Tabelle 9 Quellen der Daten aus der Tabelle 8

Nummer	Quelle der Daten
1	Persönliche Mitteilung BAFU
2	Abgeleitet aus Angaben des FSKB und ARV
3	Erhebung des freien Ablagerungsvolumens für sauberen Aushub in der Schweiz, BAFU 2011
4	Sonderabfallstatistik 2010 und 2014, BAFU
5	Angabe S. Rubli, basierend auf Zahlen von Impex, BfS, ARV, FSKB, Cemsuisse
6	Bundesamt für Statistik BfS

1.4.4 Parameter der statischen Modelle 2010 und 2014

Das KAR-Modell wird über Parameter gesteuert. Ein Teil dieser Parameter ist in der folgenden Abbildung (Screenshot aus dem Modell) abgebildet. Gewisse Werte können von Angaben, wie sie in anderen Quellen zu finden sind, abweichen, da sie modell-spezifisch definiert sind. Die Grössenordnung der Parameter liegt durchwegs in einem üblichen und plausiblen Bereich.

		2010	2014
Modul BAUWERK			
Veränderung Hochbau (Gebäude)			
Wohnen (EFH und MFH)			
Neubaurate	Prozent bzgl. Bestand	2.10	2.55
Sanierungsrate	Prozent bzgl. Bestand	4.32	4.65
Rückbaurate	Prozent bzgl. Bestand	0.15	0.17
Nicht-Wohnen (restliche)			
Neubaurate	Prozent bzgl. Bestand	1.95	2.30
Sanierungsrate	Prozent bzgl. Bestand	8.25	8.60
Rückbaurate	Prozent bzgl. Bestand	0.25	0.28
Veränderung Tiefbau (Infrastruktur)			
Erneuerungsraten			
Kies/Sand	Prozent bzgl. Bestand	0.45	0.45
Belag	Prozent bzgl. Bestand	1.50	1.50
Beton	Prozent bzgl. Bestand	0.40	0.40
Mauerwerk	Prozent bzgl. Bestand	1.00	1.00
Mineral. Fraktion	Prozent bzgl. Bestand	1.20	1.20
Neubaurate (alle Fraktionen)	Prozent bzgl. Bestand	1.90	2.10
Modul Stoffflussanalyse (SFA)			
Innere Flüsse			
A24	Rückbaumaterial in Aufbereitung (RC-Quoten der Materialfraktionen); setzt sich zusammen aus:		
	Betonabbruch	75.0	78.0
	Mischabbruch	50.0	45.0
	Strassenaufbruch	75.0	71.0
	Ausbauasphalt	75.0	77.0
A29	Direkte Verwertung (nur Tiefbau)	25.0	20.0
A43	Feinfraktion Aufbereitung (RC-Mat.)	5.0	6.0
A51	Aushub für Terrainanpassung	5.0	5.0
A58	Aufbereitung kiesiger Aushub	3.5	3.5
A86	Feinfraktion Aufbereitung (Primärmat.)	7.5	5.0

Figur 3 Die Parameter des statischen Modells 2010 und 2014 (Screenshot aus Excel)

1.5 Das dynamische Modell

Das statische KAR-Modell berechnet jeweils für ein bestimmtes Bezugsjahr einen Zustand der Vergangenheit. Um Aussagen über mögliche Entwicklungen der Zukunft zu machen, rechnet das dynamische KAR-Modell Szenarien. Es geht bei diesen Simulationen *nicht* darum, Vorhersage zu erstellen – das ist für einen so grossen Zeitraum nicht möglich. Vielmehr sollen Tendenzen unter zuvor festgelegten Rahmenbedingungen berechnet werden, also typische Szenarien im Sinne von ‘Was passiert (im Modell), wenn ...’

Die Resultate dieser Modellierungen können als Input für weiterführende Überlegungen dienen, dürfen aber auf keinen Fall als exakte Prognosen interpretiert werden.

1.5.1 Annahmen

Um zukünftige Entwicklungen zu simulieren, müssen Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen bilden dann die Rahmenbedingung für ein bestimmtes Szenario. Das dynamische

KAR-Modell geht grundsätzlich davon aus, dass sich die Neubautätigkeit proportional der Entwicklung der Bevölkerung verhält. Wenn das Bevölkerungswachstum gross ist, müssen viele neue Wohnungen und Arbeitsplätze gebaut werden, wenn hingegen das Bevölkerungswachstum negativ ist, wird der Neubau stark zurückgehen.

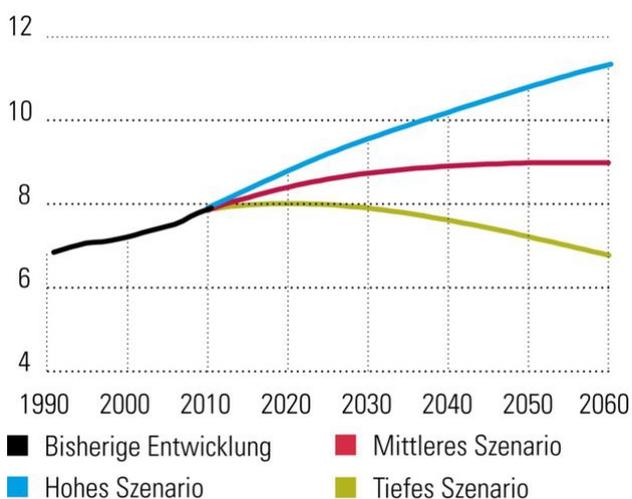
Die Raten für Sanierung (Hochbau), Erneuerung (Tiefbau) und Rückbau hingegen orientieren sich am jeweiligen Bestand des BAUWERK; diese Raten werden von der Entwicklung der Bevölkerung nur marginal und indirekt beeinflusst.

Bevölkerungsszenarien BfS

Das Bundesamt für Statistik [bfs] erstellt regelmässig Szenarien zu möglichen Entwicklungen der Bevölkerung. Für das KAR-Modell werden diese als Grundlage zur Entwicklung des BAUWERK eingesetzt. Der Einfluss der Bevölkerungsentwicklung wird allerdings gedämpft übernommen, d.h. eine Änderung der Wachstumsrate der Bevölkerung wird nicht im gleichen Ausmass für die Änderung der Neubauraten im Modell übernommen.

Für das KAR-Modell werden die zwei Szenarien 'Mittel' und 'Hoch' eingesetzt.

Entwicklungsszenarien der Gesamtbevölkerung, in Millionen



QUELLE: BFS

NZZ-INFOGRAFIK / eff.

Figur 4 Die Szenarien des BfS zur Entwicklung der Bevölkerung 2010–2060

Parameter

Das dynamische Modell rechnet für jedes Jahr von 2010 bis 2035 je ein statisches Modell. Die Materiallager im BAUWERK werden dabei von Jahr zu Jahr auf Grund der Bautätigkeit fortgeschrieben. Dadurch ändert sich die Zusammensetzung der Materiallager, da sich die typische heutige Bauweise (Beton) von typischer früherer Bauweise (Mauerwerk, Holz) unterscheidet.

Für jedes simulierte Jahr muss ein Satz Parameter für das entsprechende statische Modell zusammengestellt werden. Startwert ist jeweils das statische Modell zum Bezugsjahr 2010, diese Werte werden automatisch in das dynamische Modell übernommen. Die Endwerte für das Jahr 2035 werden in einer Tabelle angegeben. Das dynamische Modell linearisiert jeden Parameter für die simulierten Jahre zwischen Start- und Endwert, d.h. zwischen 2010 und 2035 ändert sich der entsprechende Parameter linear vom Start- zum Endwert.

2 Resultate KAR-Modell

Damit die Resultate der KAR-Modelle zu den Bezugsjahren 2010 und 2014 verglichen werden können, sind sie jeweils zusammen oder nebeneinander aufgeführt. Alle Grafiken (SFA-Diagramm, Zeitreihen) sind in Mio. Kubikmeter (fest) angegeben, die Tabelle 7 mit den Resultaten der statischen Modelle 2010 und 2014 zeigt die Werte in Mio. Tonnen.

2.1 Statische Modelle 2010 und 2014

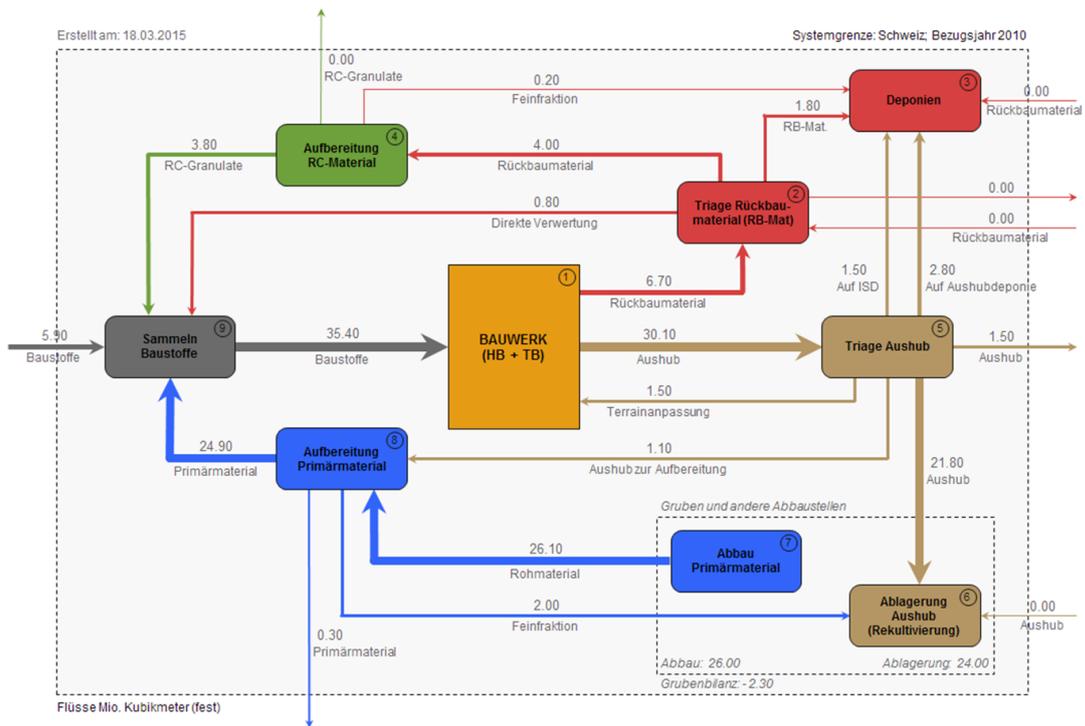
Die statischen Modelle werden jeweils für ein Bezugsjahr an erhobene und abgeschätzte Daten kalibriert. Das heisst, sie bilden die Vergangenheit ab und sind relativ genau ($\pm 10\%$).

2.1.1 SFA Diagramme 2010 und 2014

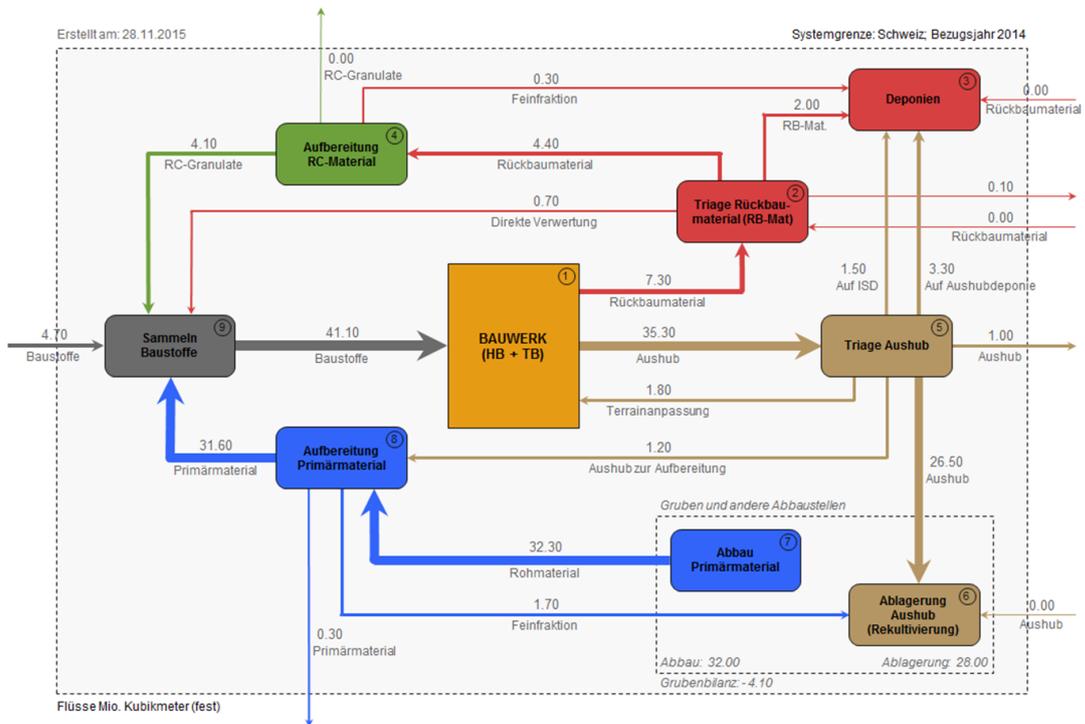
Das SFA-Diagramm zeigt die Materialflüsse des KAR-Modells zum entsprechenden Bezugsjahr 2010 bzw. 2014 in Mio. Kubikmeter (fest) (Figuren 5 und 6)

Die Resultate liegen in erwarteten Grössenordnungen. Einzig die Importe- und Exporte liegen proportional tiefer als bei den Modellen, welche für verschiedene Kantone erstellt wurden. Das ist aber einleuchtend, die relativ schweren mineralischen Baustoffe werden nur in Ausnahmefällen über weite Strecken transportiert; der grösste Teil des Umsatzes wird somit im Inland erbracht.

Die beiden Figuren 5 und 6 sind auf der nächsten Seite zusammen angeordnet, damit die Ergebnisse der beiden Bezugsjahre direkt verglichen werden können.



Figur 5 SFA-Diagramm zum Bezugsjahr 2010, Angaben in Mio. Kubikmeter (fest)



Figur 6 SFA-Diagramm zum Bezugsjahr 2014, Angaben in Mio. Kubikmeter (fest)

2.1.2 Tabelle Materialflüsse 2010 und 2014

Die Materialflüsse der statischen Modelle 2010 und 2014 sind in Tabelle 10 zusammengestellt und in Mio. Tonnen umgerechnet. Die Dichten der einzelnen Materialfraktionen sind im Anhang angegeben. Das KAR-Modell rechnet die SFA in Kubikmeter (fest). Die resultierenden Materialflüsse werden im Modell grösstenteils aus unterschiedlichen Fraktionen aggregiert. Jede Fraktion hat ihre spezifische Dichte; es kann darum nicht direkt aus dem SFA-Diagramm auf die Werte in der untenstehenden Tabelle umgerechnet werden.

Tabelle 10 Die Werte der Materialflüsse der statischen Modelle 2010 und 2014 in Mio. Tonnen; RB-Material: Rückbaumaterial; TB: Tiefbau

Mio. Tonnen	2010	2014
Materialflüsse innerhalb der Schweiz (Innere Flüsse)		
A12 Anfall Rückbaumaterial aus dem BAUWERK	13.8	14.9
A15 Anfall Aushub aus dem BAUWERK	60.3	70.7
A23 Rückbaumaterial, das deponiert wird	3.6	4.0
A24 Rückbaumaterial, das aufbereitet wird	8.4	9.2
A29 Direkte Verwertung auf der Baustelle (TB)	1.7	1.5
A43 Feinfraktion aus der "Aufbereitung RB-Material"	0.4	0.5
A49 RC-Granulate (aufbereitete RB-Materialien)	8.0	8.6
A51 Terrainanpassung mit Aushub	3.0	3.5
A53.1 Ablagerung unverschmutzter Aushub auf "Deponie Typ B"	3.0	3.0
A53.2 Ablagerung unverschmutzter Aushub auf "Deponie Typ A"	5.5	6.6
A56 Verwertung unverschmutzter Aushub in Abbaustellen	43.6	53.1
A58 Verwertung kiesiger Aushub zur Aufbereitung	2.1	2.5
A78 Rohmaterial, abgebautes Primärmaterial	52.2	64.6
A86 Feinfraktion aus der Aufbereitung Primärmaterial	4.1	3.4
A89 Primärmaterial in das BAUWERK	49.8	66.0
A91 Bedarf mineralischer Baustoffe im BAUWERK	74.1	86.3
Importe		
A02 Rückbaumaterial in "Triage RB-Material"	0.0	0.3
A03 Rückbaumaterial in "Deponien"	0.1	0.0
A06 Aushub in Abbaustellen	0.0	0.0
A09 Baustoffe in "Sammeln Baustoffe"	12.6	10.0
Exporte		
A20 Rückbaumaterial aus "Triage RB-Material"	0.1	0.0
A40 RC-Granulate aus "Aufbereitung RC-Material"	0.0	0.0
A50 Aushub aus "Triage Aushub"	3.0	2.0
A80 Primäre Baustoffe aus "Aufbereitung Primärmaterial"	0.5	0.6

2.2 Diskussion der Resultate 2014

2.2.1 Rückbaumaterial 2014

Aus Angaben des FSKB und ARV können die Fraktionen der Rückbaumaterialien abgeleitet werden. Die regulären Fraktionen von Rückbaumaterial (Beton- und Mischabbruch, Strassenaufbruch und Ausbauasphalt) werden im KAR-Modell differenziert modelliert, bevor sie aggregiert als 'Rückbaumaterial' im Resultat ausgegeben werden.

Für das Modell zum Bezugsjahr 2014 können wir die modellierten den erhobenen Werten gegenüberstellen; das Modell berechnet die erhobenen Daten recht genau.

Tabelle 11 Rückbaumaterial in die Aufbereitung 2014 in Mio. m³ (fest); Daten und Modellresultat

Mio. m ³ (fest)	Total	Betonabbruch	Mischabbruch	Strassenaufbruch	Ausbauasphalt
Modell	4.36	1.46	0.64	1.50	0.76
Daten	4.25	1.50	0.60	1.40	0.75

2.2.2 Indexierte Entwicklung 2005–2014

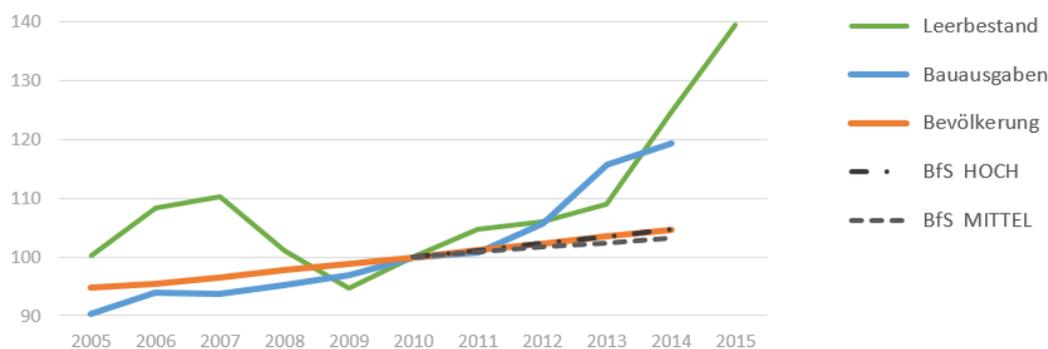
Die starke Zunahme der Materialflüsse im Zusammenhang mit 'Neubau' im Jahr 2014 können teilweise durch folgende Punkte erklärt werden:

- Zweitwohnungsinitiative: Es wurde ausserordentlich viel neu gebaut
- Zinsen tief: Anlagen in Immobilien sind interessant
- Hypotheken tief: Wohneigentum ist für viele erschwinglich

Wir können zur Illustration dieser drei Punkte verschiedene Zeitreihen auf das Jahr 2010 indexieren (2010 = 100) und damit ihre Entwicklung direkt vergleichen (Figur 7).

So wachsen die Bauausgaben (zu Preisen aus dem Jahr 2000) im Vergleich zur Bevölkerung viel stärker. In diesem Vergleich ist auch zu sehen, dass sich die effektive Anzahl Einwohner eher wie das BfS-Bevölkerungsszenario 'HOCH' entwickelt.

Die Zunahme der Leerbestände übertrifft die Entwicklung der Bevölkerung überaus stark, d.h. es wurde in den letzten Jahren zunehmend 'auf Vorrat' gebaut.



Figur 7 Indexierte Entwicklung von Leerbestand (Wohnungen), Bauausgaben, Bevölkerung und BfS-Bevölkerungsszenarien. Jahr 2010 = 100

2.2.3 Externe Einschätzung

BAK Basel

BAK Basel Economics erstellt regelmässig auf empirischer Basis Analysen und Prognosen für verschiedene Wirtschaftsbranchen der Schweiz, so auch zur Bautätigkeit.

Der Bauboom der letzten Jahre findet 2015 und 2016 ein Ende.

— BAK Basel, 2015

In dieser Medienmitteilung vom 15. September 2015 steht weiter: "Vor allem im Wohnbau ist mit einem deutlichen Rückgang der Bautätigkeit zu rechnen, nicht zuletzt da der Zweitwohnungsstopp den Wohnungsneubau im Alpenraum stark bremst. Aber auch in den anderen Schweizer Regionen ist nach dem Wohnbau-Boom der letzten Jahre kurzfristig von einer Abkühlung auszugehen. Der starke Franken und die Unsicherheit über die weitere Konjunkturentwicklung belasten zudem den Ausblick für den Betriebsbau."

Bauindex Schweiz

Der Bauindex Schweiz wird von der Credit Suisse (CS) zusammen mit dem Schweizerischen Baumeisterverband (SBV) vierteljährlich publiziert und orientiert sich an den Umsätzen des Bauhauptgewerbes.

Baukonjunktur 2014: Ende des Rekordjahres

— Bauindex Schweiz, 4. Quartal 2014, CS / SBV

Der Bauindex für die Schweiz erreichte im zweiten (Q2) und dritten Quartal (Q3) 2014 die höchsten Werte seit über 15 Jahren, indexiert auf das Jahr 1996 betrug der Index Q1: 140, Q2: 143, Q3: 142 und Q4: 136 (Q1 1996 = 100).

Es ist also nicht überraschend, wenn das KAR-Modell für das Jahr 2014 deutlich höhere Materialflüsse als 2010 modelliert; die Bautätigkeit war ausserordentlich hoch und das Modell bildet das plausibel ab.

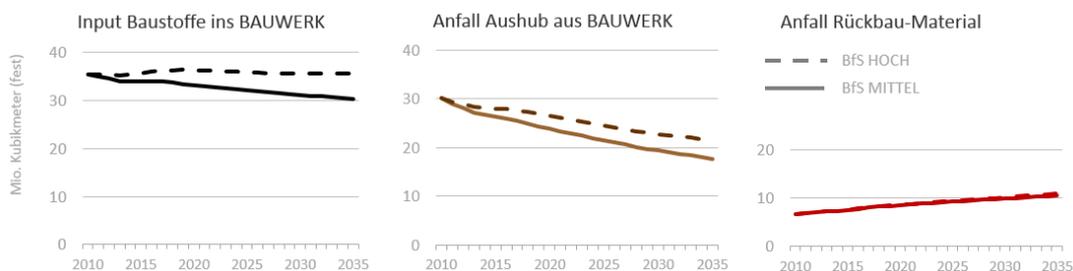
2.3 Dynamisches Modell 2010–2035

Das dynamische KAR-Modell zeigt die Resultate von Szenarien, wie sich die Materialflüsse in der Zukunft – ausgehend vom statischen KAR-Modell zum Bezugsjahr 2010 – bis ins Jahr 2035 entwickeln könnten. Diese Resultate dürfen *nicht* als Prognose interpretiert werden, für einen so grossen Zeitraum ist es unmöglich, eine seriöse Prognose zu machen.

Das dynamische Modell beruht grundsätzlich auf der Annahme, dass sich das BAUWERK proportional zum Bevölkerungswachstum entwickelt und nimmt darum die Bevölkerungsszenarien des BfS [bfs] als Input.

2.3.1 Entwicklung BAUWERK

Die Resultate des dynamischen Modells zeigen, dass der Baustoffbedarf im BAUWERK relativ konstant bleiben wird, hingegen nimmt der Anfall von Aushub tendenziell ab, wie in der Figur 8 zu sehen ist. Der Anfall der Rückbaumaterialien aus dem BAUWERK steigt regelmässig an.

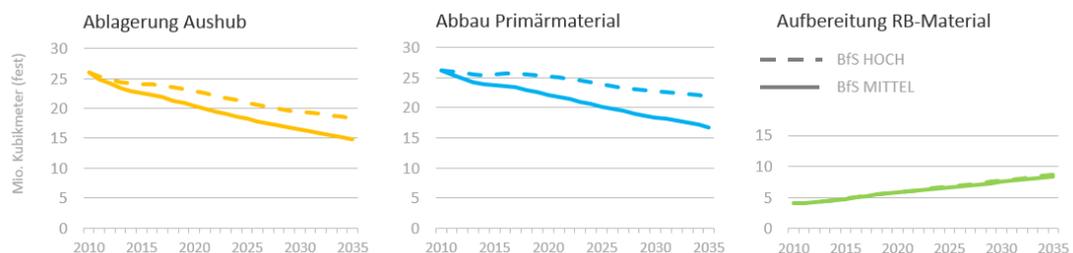


Figur 8 Input- und Outputflüsse des BAUWERK im dynamischen KAR-Modell in Mio. Kubikmeter (fest)

Diese Dynamik kann erklärt werden. Die Zunahme der Bevölkerung gemäss den BfS-Szenarien 'mittel' und 'hoch' flacht sich ab. Damit wird im Modell die Neubaurate sinken und das hat sinkenden Baustoffbedarf und Anfall von Aushub zur Folge. Die Raten der Bewirtschaftung des Bestandes hingegen (Sanierung, Erneuerung und Rückbau) bleiben konstant, so dass der absolute Anfall von Rückbaumaterial auf Grund des immer noch wachsenden BAUWERK weiter zunimmt; damit nimmt auch der Baustoffbedarf für diese Tätigkeiten zu.

2.3.2 Entwicklung SFA

Drei ausgewählte Flüsse der SFA für die Jahre 2010–2035 zeigen, dass die Ablagerung von Aushub und der Abbau von Primärmaterial tendenziell abnehmen werden (Figur 9).



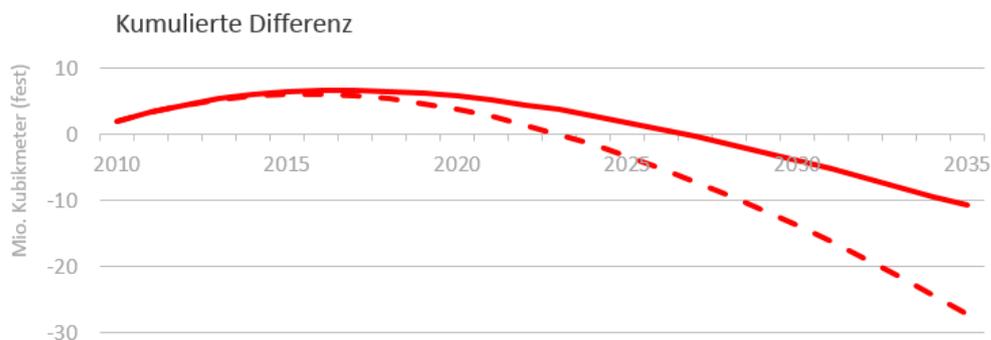
Figur 9 Resultate einiger Materialflüsse der SFA im dynamischen KAR-Modell in Mio. Kubikmeter (fest)

Diese Entwicklung ist die Folge der oben beschriebenen Prozesse. Der Input in das BAU-WERK, der Bedarf nach Baustoffen bleibt ungefähr konstant. Da aber immer mehr Rückbaumaterialien anfallen und diese zum grossen Teil in RC-Baustoffe aufbereitet werden, sinkt der Bedarf nach Primärmaterial.

2.3.3 Kumulierte Differenz: Ablagerung – Abbau

Eine interessante Grösse, die sich aus den Resultaten des KAR-Modells ableiten lässt, ist die Differenz zwischen der Ablagerung von Aushub (+) und dem Abbau von Primärmaterial (-). Wenn diese Differenz positiv ist, entspricht das einem Aushub-Berg, wenn die Differenz negativ ist entspricht das einem 'Loch', einer vergrösserten Grube.

Die jährlichen Differenzen können ab 2010 kumuliert werden und zeigen so, ob mittelfristig ein 'Aushub-Berg' entstehen könnte, oder ob das durch den Abbau von Primärmaterial geschaffene Grubenvolumen für die Ablagerung des anfallenden Aushubs ausreicht. Die Figur 10 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung für die zwei Szenarien.



Figur 10 Die jährlichen Differenzen zwischen Ablagerung (+) und Abbau (-) werden ab 2010 kumuliert

Da diese Differenz aus der Subtraktion zweier grosser Zahlen entsteht, ist sie mit einer grossen Unsicherheit behaftet. In erster Näherung ist die obenstehende Figur so zu interpretieren, dass die Ablagerung von Aushub und der Abbau von Primärmaterial ungefähr im Gleichgewicht bleiben.

3 Fazit und Ausblick

Fazit

KAR-Modell für die Schweiz 2010 ist erstellt

Es ist möglich, für die Schweiz genügend Daten zusammenzutragen, um ein KAR-Modell mit Systemgrenze Schweiz zu berechnen. Dieses bildet die bekannten Materialflüsse sinnvoll ab und modelliert bisher nicht genau bekannte Mengen in plausibler Grössenordnung.

Erstes Update für 2014 erstellt

Das Update zum Bezugsjahr 2014 konnte mit den neuen Grundlagedaten abgestützt und berechnet werden. Die Resultate weichen überraschend stark vom Modell für das Jahr 2010 ab. Das kann aber mit aussergewöhnlichen Umständen erklärt werden (Zweitwohnungsinitiative, Zins- und Hypothekenniveau)

Entwicklung verläuft aktuell dynamischer als im dynamischen Modell 2010–2035

Verschiedene Gründe beeinflussen die Bautätigkeit kurzfristig stark. Das dynamische Modell hat keine kurzfristigen Schwankungen integriert, Sprünge auf Grund von politischen oder wirtschaftlichen Änderungen werden nicht modelliert. Die reale Entwicklung verläuft aktuell dynamischer vom KAR-Modell in den Szenarien modelliert.

Ausblick

Regelmässige Updates KAR-Modell

Es zeigt sich, dass es sich lohnt, über mehrere Jahre hinweg das KAR-Modell regelmässig zu aktualisieren. Mit der Zeit stehen damit Zeitreihen der Daten und Modellresultate bereit, welche robustere Analysen möglich machen. Mehrere Kantone lassen das KAR-Modell regelmässig aktualisieren. Es wäre daher sinnvoll, das auch auf der Ebene 'Schweiz' zu machen.

Monte-Carlo Simulationen

Um aussagekräftigere Resultate zu generieren, können für das KAR-Modell Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt werden. Dabei kann die Unsicherheit der Modellparameter individuell angegeben werden.

Die Verteilung der so modellierten Ergebnisse gibt Anhaltspunkte, wie breit die Resultate streuen.

Quellen

[bafu-hb] BAFU, 2008 und 2014. *Bauabfallstudie Hochbau*.

Wüest & Partner im Auftrag des BAFU

[bafu-tb] BAFU, 2008 und 2014. *Bauabfallstudie Tiefbau*.

Energie- und Ressourcen-Management GmbH im Auftrag des BAFU

[bfs] BfS Bevölkerungsszenarien

http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/03/blank/key_kant/01.html

Anhang

Tabelle 12 Die verwendeten Dichten im KAR-Modell für die Umrechnung von Masse auf Volumen.

Material	Dichte (fest), t/m ³	Dichte (lose), t/m ³
Kies/Sand	2.00	1.67
Belag	2.00	1.67
Beton	2.40	2.00
Mauerwerk	1.60	1.33
Rest (Gips, Glas, Ton, ...)	1.50	1.25
Aushub	2.00	1.67
Betonabbruch	2.40	2.00
Mischabbruch	1.76	1.47
Strassenaufbruch	2.00	1.67
Ausbauasphalt	2.00	1.67
Betongranulat	2.40	2.00
Mischgranulat	1.76	1.47