

Energie- und Ressourcen-Management GmbH

Wolleraustrasse 15g
CH-8807 Freienbach
Tel.: 044 371 40 90
Fax: 044 371 40 04
Natel: 079 541 38 89
rubli@energie-ressourcen.ch
www.energie-ressourcen.ch



Entwicklung von Modellen zur Beschreibung der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse in den drei Regionen Imboden, Landquart und Plessur

Bezugsjahr 2020 und dynamische Modellierung

Erstellt durch:

Energie- und Ressourcen-Management GmbH
Dr. Stefan Rubli

Freienbach, Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	4
2. Methodische Grundlagen	4
3. Resultate.....	5
3.1 Materialflüsse zwischen den Regionen.....	5
3.2 KAR-Modellierung Bezugsjahr 2020 (statischer Modellteil).....	7
3.2.1 Materialflüsse in der Region Imboden	8
3.2.2 Materialflüsse in der Region Landquart	9
3.2.3 Materialflüsse in der Region Plessur	10
3.3 Resultate KAR-Modellierung (dynamisches Modell)	11
4. Fazit und Ausblick	16
4.1 Fazit	16
4.2 Ausblick.....	16
5. Literatur	17

Glossar

BFS	Bundesamt für Statistik
KAR-Modell	Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflussmodell
m ³	Kubikmeter: Alle Angaben in m ³ beziehen sich auf das Festmass!
Primärmaterialabbau	Umfasst den Abbau der mineralischen Rohstoffe Kies/Sand, Kalk, Mergel, Gestein und Tonmineralien.
RC	Recycling
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

Definitionen

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

1. Ausgangslage

Der Kanton Graubünden hat ein Modell zur Beschreibung der relevanten Baumaterialflüsse (Kies, Aushub- und Rückbaumaterial → Abkürzung KAR) im Kanton für vorgegebene Bezugsjahre entwickeln lassen (Rubli, 2022). Mit dem Modell können mittels vorgegebener Szenarien, welche auf der Bevölkerungsentwicklung basieren, die künftigen Entwicklungen ausgewählter Materialflüsse bis zum Jahr 2035 abgeschätzt werden (dynamischer Modellteil). Damit wird ein proaktives Vorgehen zur Steuerung der Materialflüsse sowie die Planung entsprechender Deponie- und Verwertungskapazitäten möglich. Zudem unterstützen die mit dem Modell generierten Grafiken und Tabellen die Behörden bei der Kommunikation mit den betroffenen Akteuren.

In einem weiteren Schritt sollen solche Modelle differenziert nach den Planungsregionen entwickelt werden, um die regionalen Aspekte der Baumaterialbewirtschaftung besser abbilden zu können. Grundsätzlich ist dies möglich, sofern die dafür notwendigen Datengrundlagen (Daten zu den Gebäudevolumen im Bestand und zur Infrastruktur in den Regionen) zur Verfügung stehen. In einem ersten Schritt wurden regionalen KAR-Modelle für die drei ausgewählten Regionen **Imboden**, **Landquart** und **Plessur** entwickelt, um zu überprüfen, ob die Modelle auf Basis der bestehenden Datengrundlagen die heutige Situation mit ausreichender «Genauigkeit» widerspiegeln können. Falls dies möglich ist, sollen in den nachfolgenden Etappen weitere Regionen modelliert werden.

2. Methodische Grundlagen

Die methodischen Grundlagen zur Entwicklung der statischen und dynamischen Modelle sind in den Berichten zur KAR-Modellierung für die Kantone zu finden (Rubli, 2021 – 2022). Die statischen und dynamischen Modelle wurden so umgebaut, dass diese für die Modellierung der Materialflüsse auf regionaler Basis verwendet werden können. Im Folgenden wird kurz der Ablauf des Modellierungsprozesses grob beschrieben:

- 1. Datenerhebung:** Erfassung der Gebäudevolumen und der Daten zur Infrastruktur (Strassen- und Leitungslängen/-breiten usw.) mittels GIS-Auswertungen. Abschätzung der Materialflüsse mittels Erneuerungsraten. Erhebungen zum jährlichen Kiesabbau, zur Aushubablagerung, zur Deponierung und Aufbereitung der Rückbaumaterialien, sowie zu den Importen und Exporten von Kies,- Aushub- und Rückbaumaterial in bzw. aus den Regionen, sofern diese verfügbar sind.
- 2. Input-Output-Analyse:** Auf Basis der Import-/Exportdaten und weiteren Abschätzungen werden über Input-Output-Analysen und Ausgleichsrechnungen die besten Schätzungen zu den Importen und Exporten für die einzelnen Regionen erstellt. Diese Daten werden in das statische Modell eingelesen.
- 3. Erstellung der statischen Modelle:** Die Modellierung der Materialflüsse für ein Bezugsjahr (hier 2020) erfolgt mittels verschiedener Parametereinstellungen wie beispielsweise Neubau-, Sanierungs- und Rückbauraten sowie erhobenen Daten. In einem iterativen Prozess und mittels weiterer Validierungsmassnahmen werden die Materialflüsse bestimmt.

- 4. Erstellung der dynamischen Modelle:** Die dynamischen Modelle basieren auf der Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2050 in den verschiedenen Regionen (ARE GR, 2020). Auch hier können über die Veränderung von Modellparametern unterschiedliche Szenarien gerechnet werden. Im vorliegenden Fall wurden die meisten Parameter konstant gehalten, um aufzuzeigen, wie sich die Materialflüsse entwickeln, falls der heutige Zustand fortgesetzt wird. Eine Ausnahme bildet die Verwertung bzw. Deponierung von Rückbaumaterial. Hier wird angenommen, dass sich die Verwertungsquoten bis zum Jahr 2050 stark erhöhen und nur noch sehr geringe Anteile des anfallenden Rückbaumaterials deponiert werden müssen.

3. Resultate

3.1 Materialflüsse zwischen den Regionen

In den Abbildungen 1 bis 3 sind die regionsübergreifenden Materialflüsse getrennt nach den Materialien Kies, Aushub- und Rückbaumaterial, dargestellt (Angaben jeweils in Kubikmeter Festmass). Die Exportflüsse sind jeweils gleich eingefärbt wie die Farbe der Regionsflächen. Die Summen der Importe und Exporte sind für jede Region und für alle drei Regionen zusammen (links oben) angegeben. Die Datengrundlagen zu den regionsübergreifenden Materialflüssen sind nicht vollständig. Teilweise müssen die Materialflüsse abgeschätzt werden, indem die Materialflüsse aus den statischen Modellen analysiert und weiter ausgewertet werden. Teilweise sind nur grobe Abschätzungen möglich. Bei den Rückbaumaterialflüssen sind die Unsicherheiten deutlich grösser als beim Kies und Aushub. Dennoch geben die Daten eine recht gute Übersicht zu den regionsübergreifenden Materialflüssen.

Kiesflüsse

Es findet ein intensiver Austausch von Kies sowohl zwischen den drei Regionen als auch über die Grenzen der betrachteten Regionen hinweg statt (Abbildung 1). Insbesondere die Region Landquart ist durch starke Import- und Exportflüsse geprägt, wobei rund doppelt so viel Kies exportiert wie importiert wird. Hier ist anzumerken, dass der Exportüberschuss zu einem grossen Teil in den Kanton St. Gallen gelangt. Auch die Region Imboden exportiert deutlich mehr Kies als sie importiert. Umgekehrt ist die Situation in der Region Plessur, in der die Importe mehr als doppelt so hoch liegen wie die Exporte.

Aushubflüsse

Auch bei der Aushubbilanz zeigt sich ein intensiver Austausch über die regionalen Grenzen. Während die Regionen Landquart und Imboden netto grosse Mengen an Aushubmaterial importieren, exportiert die Region Plessur netto knapp 100'000 m³ (Festmass) Aushub in diese Regionen. Rund 60'000 m³ Aushub werden netto in die Region Landquart und 40'000 m³ in die Region Imboden exportiert. In der Region Landquart werden zudem netto rund 35'000 m³ Aushubmaterial aus dem Kanton St. Gallen bzw. dem Fürstentum Liechtenstein importiert. Vergleicht man diese Menge mit den Kiesexporten wird ersichtlich, dass Gegentransporte stattfinden, d.h. es wird Kies in den Kanton SG geliefert und auf der Rückfahrt Aushub transportiert.

Kies/Sand

In: 5 000 } Total Region (Austausch mit weiteren Regionen in GR, mit anderen Kantonen und mit umliegenden Ländern)
 Out: 62 000

Angaben in Kubikmeter fest pro Jahr

Es sind nur Materialflüsse ab 100m³ abgebildet, das kann zu Rundungsfehlern in den Summen führen.

Bezugsjahr der Daten: 2020
 Stand vom 28.04.2023

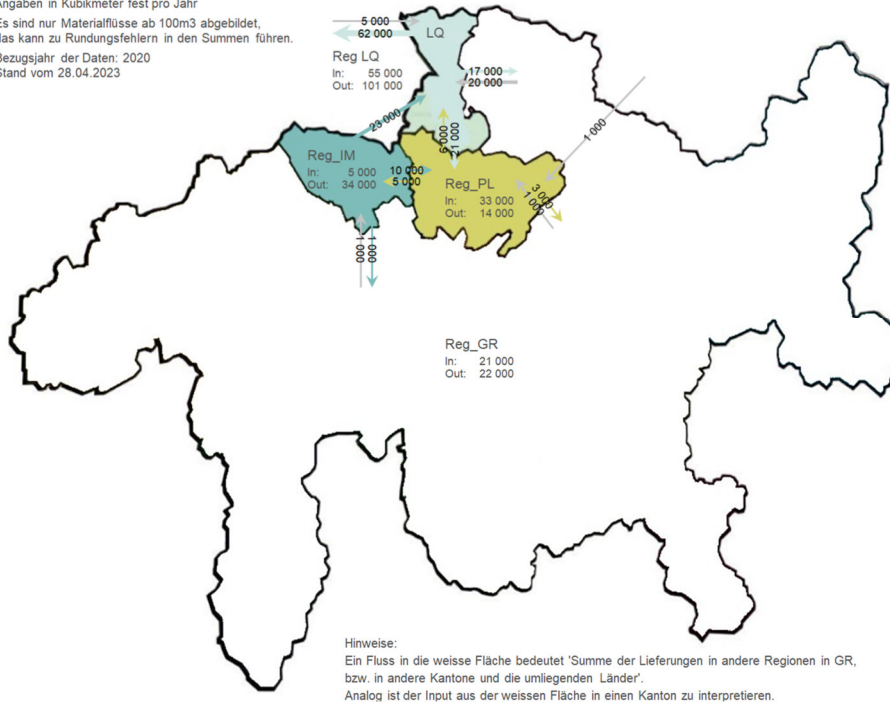


Abbildung 1: Kiesflüsse über die Regionsgrenzen im Jahr 2020. Die Werte unterhalb der Regionsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Kies/Sand» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

Aushub

In: 48 000 } Total Region (Austausch mit weiteren Regionen in GR, mit anderen Kantonen und mit umliegenden Ländern)
 Out: 13 000

Angaben in Kubikmeter fest pro Jahr

Es sind nur Materialflüsse ab 100m³ abgebildet, das kann zu Rundungsfehlern in den Summen führen.

Bezugsjahr der Daten: 2020
 Stand vom 28.04.2023

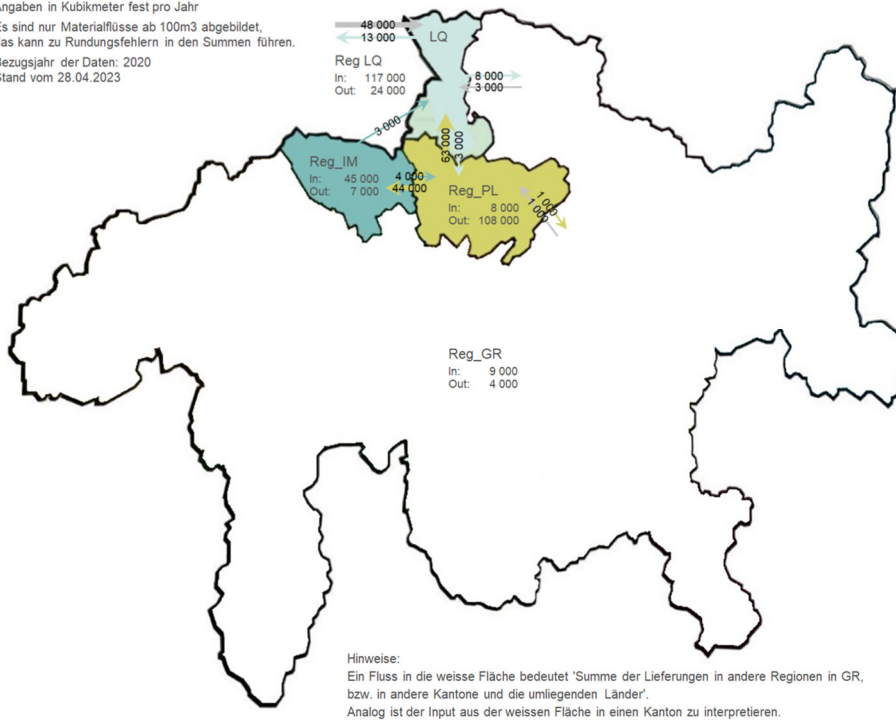


Abbildung 2: Aushubflüsse über die Regionsgrenzen im Jahr 2020. Die Werte unterhalb der Regionsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Aushub» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

Rückbaumaterialflüsse

Die Rückbaumaterialflüsse über die Regionsgrenzen hinweg (Abbildung 3) bewegen sich im Vergleich mit dem Kies und Aushubmaterial auf etwas tieferem Niveau. Wie beim Aushubmaterial sind die Regionen Imboden und Landquart Nettoimporteure von Rückbaumaterial. Die Region Plessur exportiert hingegen netto rund 12'000 m³ in die Nachbarregionen Landquart und Plessur. Die Regionen Imboden und Landquart importieren hingegen einen grossen Teil der Rückbaumaterialien aus anderen Regionen des Kantons und bereiten diese auf. Von dort aus werden die Rückbaustoffe (RC-Granulate, RC-Beton, RC-Asphalte usw.) teilweise in die Regionen Plessur und Landquart exportiert, wo diese beispielsweise in der RC-Betonproduktion und im Mischgutwerk eingesetzt werden. Die Rückbaustoffflüsse sind in der Abbildung 3 nicht dargestellt, da diese in verschiedenen Baustoffen eingesetzt werden, die sowohl natürliche Gesteinskörnungen als auch RC-Granulate enthalten.

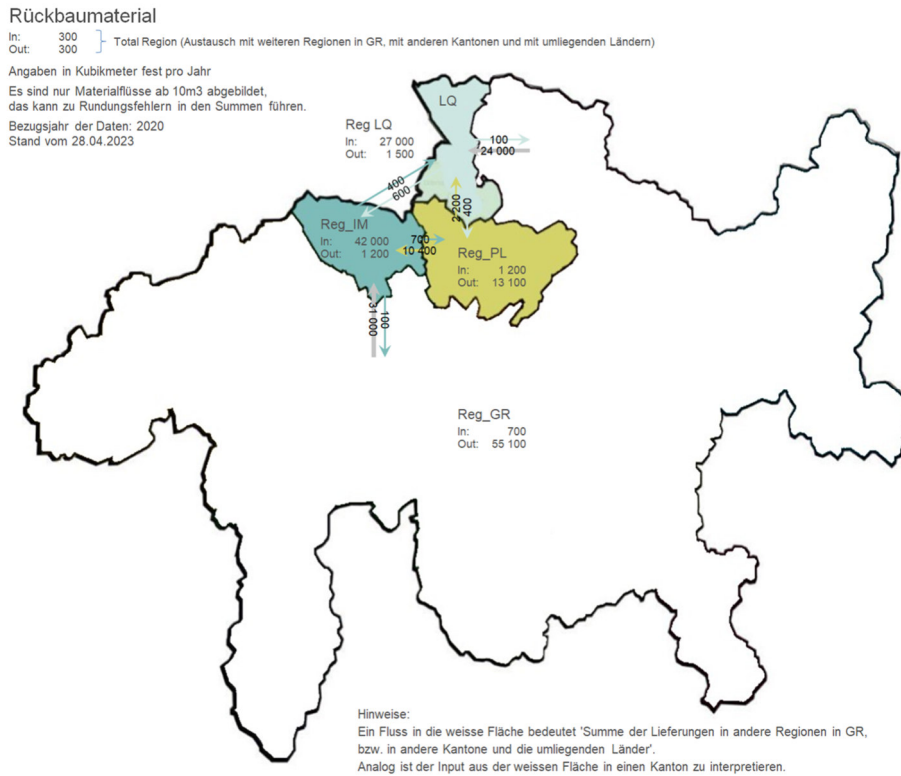


Abbildung 3: Rückbaumaterialflüsse über die Regionsgrenzen im Jahr 2020. Die Werte unterhalb der Regionsbezeichnungen bzw. unter dem Grafiktitel «Rückbaumaterial» entsprechen jeweils der Summe der Importe und Exporte. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

3.2 KAR-Modellierung Bezugsjahr 2020 (statischer Modellteil)

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird kurz auf die Materialflüsse in den einzelnen Regionen eingegangen. Diese wurden, wie im Kapitel 2 beschrieben, mittels erhobenen und abgeschätzten Materialflüssen und weiteren Parametereinstellung abgeschätzt, wobei die modellierten Materialflüsse möglichst nahe bei den erhobenen Materialflüssen liegen sollen. Um dies zu sehen, sind in den Tabellen A1 – A3 im Anhang jeweils die modellierten Werte den erhobenen Daten

gegenübergestellt. Bei der Modellierung der Materialflüsse wird darauf geachtet, dass diese Differenzen so klein wie möglich sind.

3.2.1 Materialflüsse in der Region Imboden

Die Region Imboden hatte im Bezugsjahr 2020 gemäss Modell einen Baustoffbedarf 82'000 m³ Festmass (Abbildung 4: Grauer Pfeil vom Prozess «Baustoffe produzieren» in den Prozess «BAUWERK»). Aus dem BAUWERK fielen 69'000 m³ Aushubmaterial und 20'000 m³ Rückbaumaterial an. Die Region importierte erhebliche Mengen an Aushub- und Rückbaumaterial. Im Gegenzug wurden jeweils rund 35'000 Tonnen RC-Granulate und Kies/Sand aus der Region exportiert. Somit ist die Region ein Rohstofflieferant und ein Anbieter von Verwertungsoptionen für mineralische Materialien. Im Jahr 2020 übertraf die Aushubablagerung in den Kiesgruben den Kiesabbau. Insgesamt resultiert deshalb eine positive Grubenbilanz im Umfang von 19'000 m³. Der Anteil der Rückbaustoffe (RC-Granulate + direkte Verwertung) lag bei knapp 20% des Baustoffbedarfs. Wie zu sehen ist, könnte dieser Anteil grundsätzlich erhöht werden, wenn künftig weniger RC-Granulate exportiert und dafür mehr innerhalb der Region eingesetzt würden.

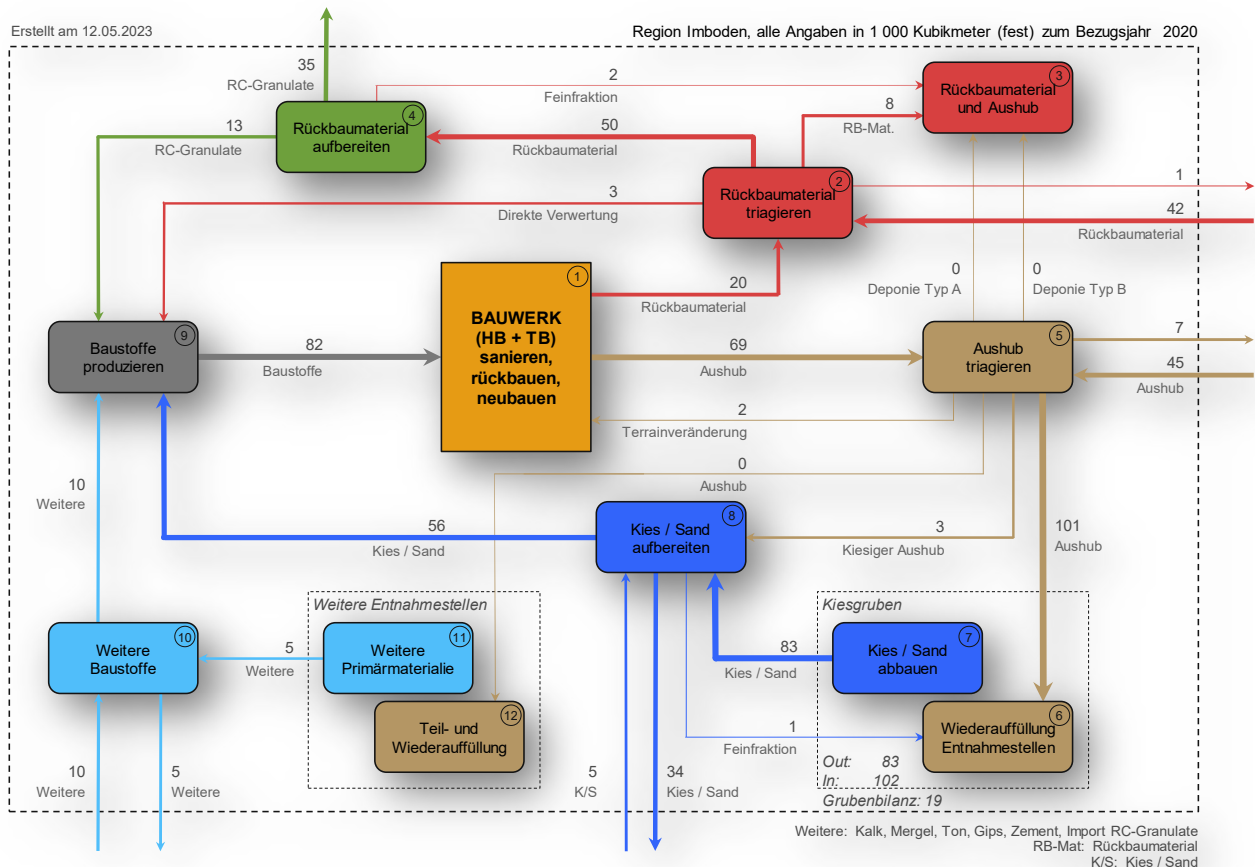


Abbildung 4: Mit dem statischen Modell modellierte Materialflüsse in der Region Imboden für das Bezugsjahr 2020. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

3.2.2 Materialflüsse in der Region Landquart

Die Materialflüsse in das bzw. aus dem Bauwerk bewegen sich in der Region Landquart beinahe auf demselben Niveau wie in der Region Imboden. Die Kies- und Aushubimporte/-exporte sind jedoch deutlich höher. Der Nettoexport von Kies liegt bei 46'000 m³ und der Nettoimport von Aushub bei knapp 100'000 m³. Die hohen Import- und Exportmengen sind zu einem wesentlichen Teil auf den intensiven Austausch mit den Nachbarregionen im Kanton St. Gallen zurückzuführen. Wie bei der Region Imboden ist auch in der Region Landquart die Grubenbilanz mit 45'000 m³ positiv, was bedeutet, dass im Bezugsjahr 2020 deutlich mehr Aushub abgelagert als Kies abgebaut wurde.

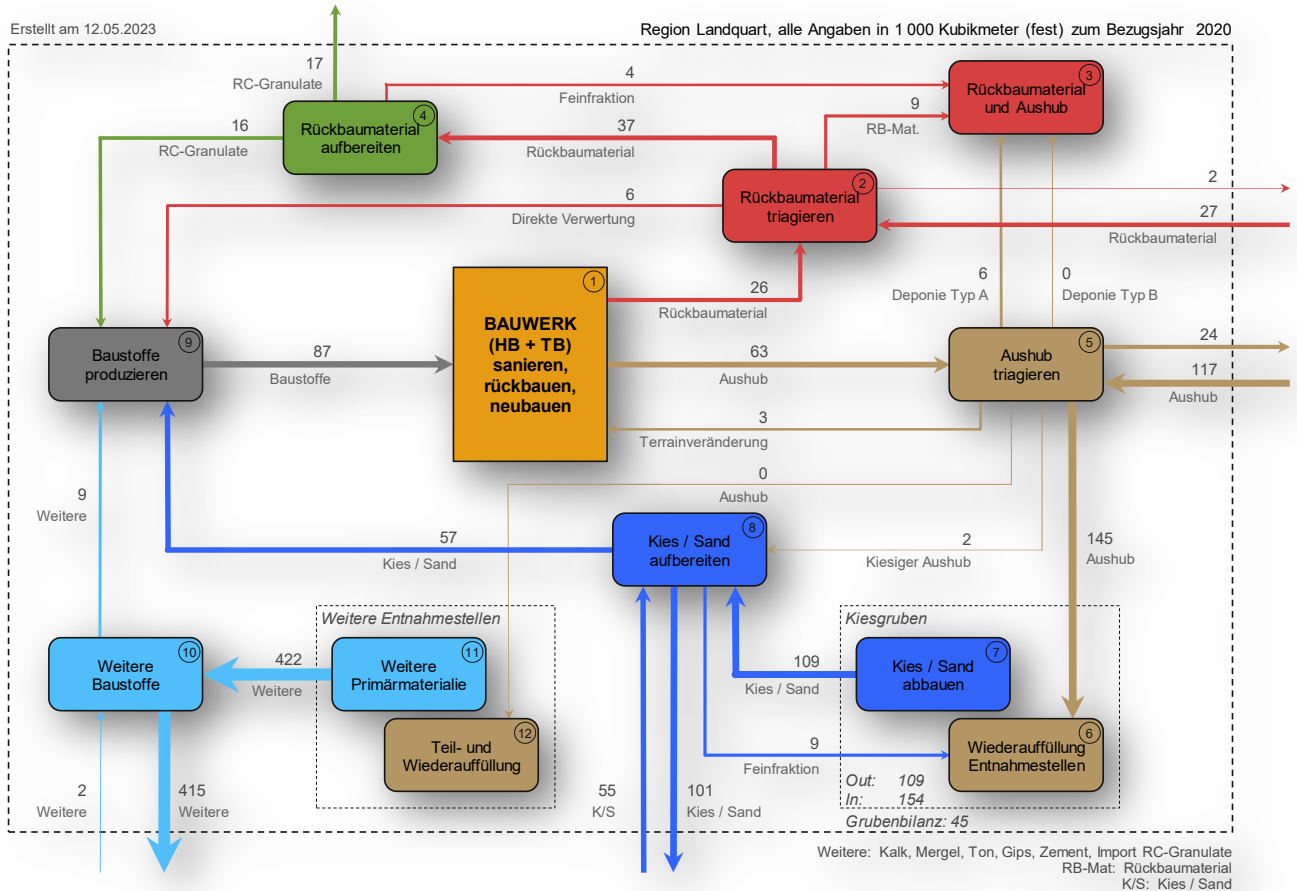


Abbildung 5: Mit dem statischen Modell modellierte Materialflüsse in der Region Landquart für das Bezugsjahr 2020. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

Rund die Hälfte des aufbereiteten Rückbaumaterials wird exportiert. Trotzdem beträgt der RC-Anteil am gesamten Baustoffinput rund 25%. Auffällig ist der grosse Materialstrom aus der Entnahme «Weitere Primärmaterialien». Es wurden 422'000 m³ Primärmaterialien abgebaut. Dabei handelt es sich um den Kalk- und Mergelabbau für die Zementproduktion. Beim Export handelt es sich um Zement, wobei in diesem Materialfluss der geogene CO₂-Ausstoss, welcher bei der Produktion entsteht, enthalten ist.

3.2.3 Materialflüsse in der Region Plessur

Die Materialflüsse in das bzw. aus dem BAUWERK sind in der Region Plessur knapp doppelt so hoch wie in den beiden anderen Regionen. Es gelangen insgesamt 149'000 m³ Baustoffe in das BAUWERK. Der Output liegt bei 127'000 m³ für den Aushub und 36'000 m³ für das Rückbaumaterial. Der grösste Teil des anfallenden Aushubes wurde im Jahr 2020 vor allem in die oben erwähnten Regionen exportiert. Nur sehr wenig Aushubmaterial wurde innerhalb der Region abgelagert. Da 91'000 m³ Kies abgebaut wurden, fällt die Grubenbilanz mit -82'000 m³ deutlich negativ aus.

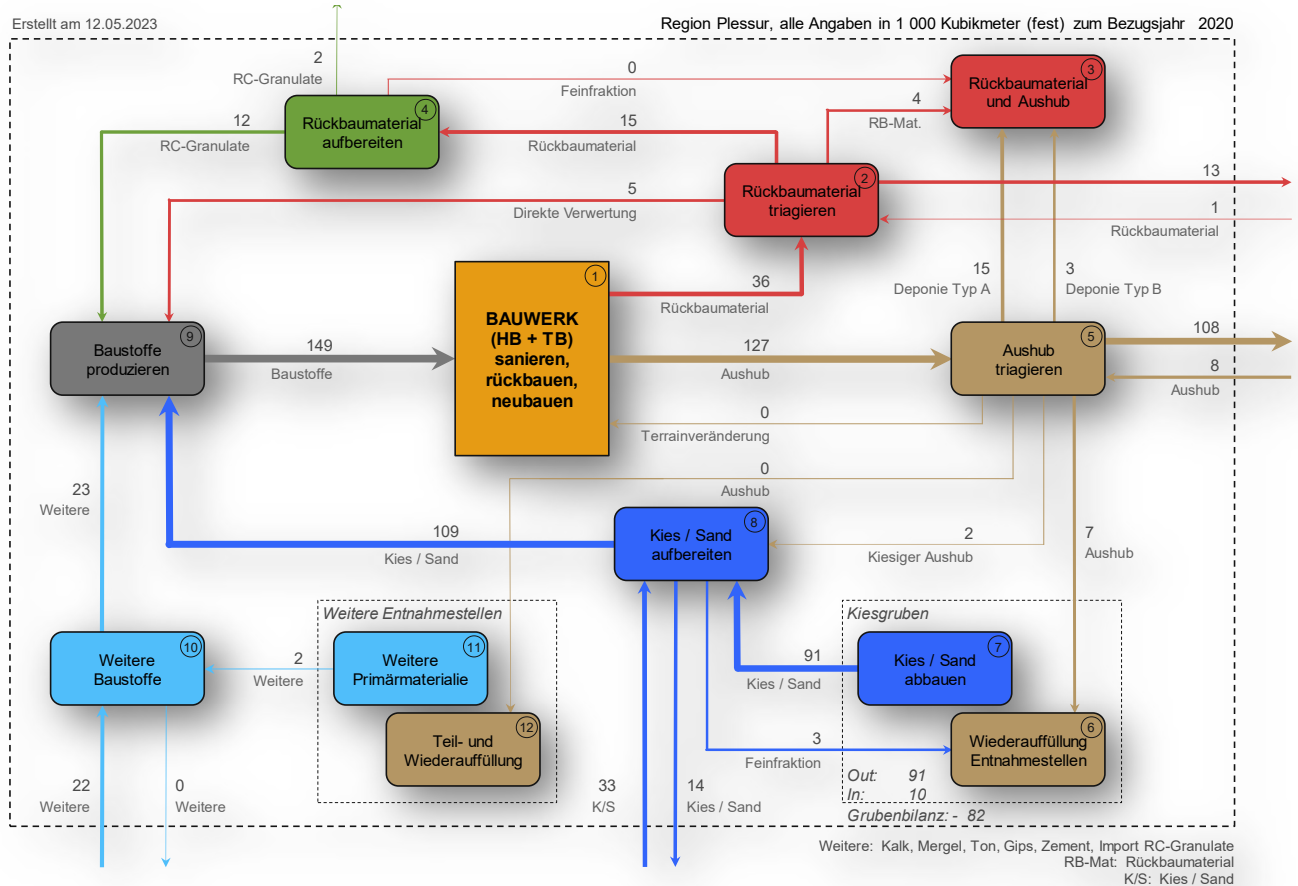


Abbildung 6: Mit dem statischen Modell modellierte Materialflüsse in der Region Plessur für das Bezugsjahr 2020. Angaben in 1'000 m³ (Festmass).

Rund ein Drittel des anfallenden Rückbaumaterials wird exportiert. Der Rest gelangt vor allem in die Aufbereitung. Insgesamt liegt der RC-Anteil in der Region Plessur bei etwas mehr als 11%. Dieser könnte deutlich erhöht werden, wenn weniger Rückbaumaterial exportiert und dafür in regionale Aufbereitungsanlagen geführt würde. Der tiefe Anteil könnte jedoch auch darauf zurückzuführen sein, dass die Rückbaumaterialimporte als zu gering eingeschätzt werden. Wie bereits oben erwähnt, sind die Datengrundlagen bei den Importen und Exporten von Rückbaumaterial nicht optimal, womit entsprechende Unsicherheiten bei diesen Materialflüssen resultieren. Sollten die Importe deutlich höher liegen, läge der RC-Anteil bei den Baustoffen entsprechend höher. Zudem könnten RC-Granulate auch in den importierten Baustoffen (z.B. im Beton oder Asphalt) enthalten sein. Diese sind im aufgeführten RC-Anteil nicht enthalten.

3.3 Resultate KAR-Modellierung (dynamisches Modell)

Neben der oben beschriebenen Abbildung der IST-Situation für ein bestimmtes Bezugsjahr, ist das Modell zudem in der Lage, die künftigen Entwicklungen der verschiedenen Materialflüsse zu prognostizieren. Im dynamischen Modellteil werden deshalb zwei von der Bevölkerungsentwicklung abhängige Szenarien gerechnet. Als Grundlage dafür dienen die zwei Bevölkerungsentwicklungsszenarien «Mittel» und «Hoch» des Amtes für Raumentwicklung des Kantons Graubünden (ARE, November 2020). Die weiteren Grundlagen zur dynamischen Modellierung können den bestehenden Berichten entnommen werden (siehe www.kar-modell.ch).

In der Abbildung 7 ist die indexierte Bevölkerungsentwicklung zum Bezugsjahr 2019 für die drei Regionen und den Kanton Graubünden für die beiden Szenarien «Mittel» und «Hoch» dargestellt. Die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien sind deutlich erkennbar. Im Szenario «Mittel» ist die Bevölkerungsentwicklung deutlich abgeschwächt: So liegt das Wachstum bis zum Jahr 2050 in den Regionen Imboden und Plessur im Szenario «Mittel» bei 15% bzw. 13%. Im Szenario «Hoch» liegen diese Werte bei 29% und 21%. In der Region Plessur und auf der kantonalen Ebene resultiert im Szenario «Mittel» nur ein geringes Wachstum bzw. eine Schrumpfung der Bevölkerung bis zum Jahr 2050. Im Szenario «Hoch» findet in der Region Plessur ebenfalls nur ein leichtes Wachstum statt, welches deutlich geringer ist als in den beiden Nachbarregionen.

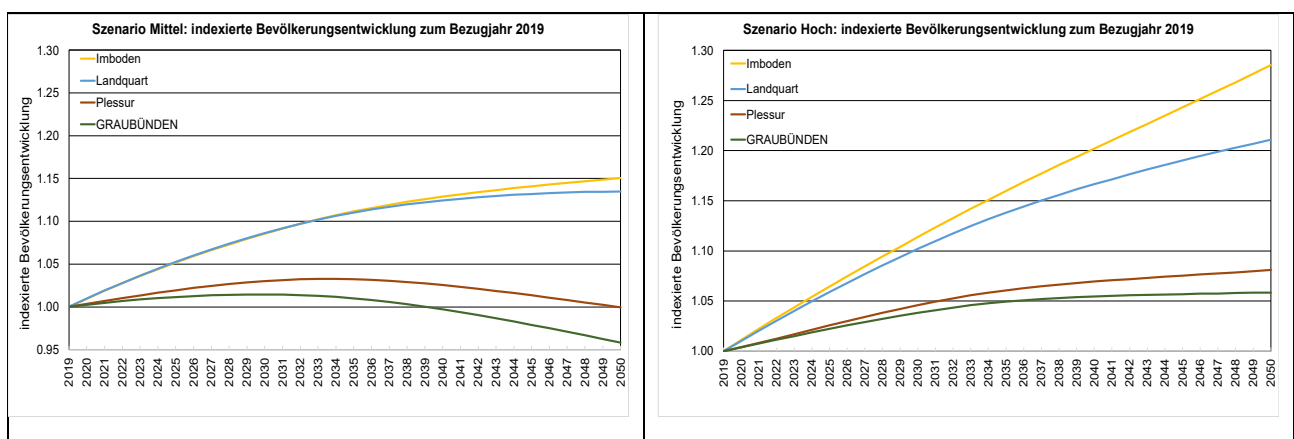


Abbildung 7: Bevölkerungsperspektiven Kanton Graubünden 2019 – 2050 für die Szenarien Mittel (links) und Hoch (rechts) für die Regionen Imboden, Landquart und Plessur sowie für den Kanton Graubünden. ARE GR, 2020.

Die Auswirkungen dieser Szenarien auf die Entwicklung des Bauwerkes sind entsprechend unterschiedlich. Sollte sich das Szenario «Hoch» bewahrheiten, wird der Gebäudebestand und die Infrastruktur in den Regionen Imboden und Landquart bis zum Jahr 2050 deutlich zunehmen, was entsprechende Materialflüsse auslösen würde. In der Region Plessur ist dieses Wachstum hingegen deutlich weniger ausgeprägt. Sollte das Szenario «Mittel» eintreten, dann wird der Gebäudebestand und die Infrastruktur in den Regionen Imboden und Landquart weniger stark zunehmen. In der Region Plessur und auf der kantonalen Basis würde sich der Gebäudebestand und die Infrastruktur im Vergleich zu heute nur wenig verändern. Es fänden eher Sanierungen und Erneuerungen statt, welche weniger materialintensiv sind als die Erstellung von Neubauten auf der grünen Wiese.

Die dynamischen Modelle beginnen mit dem Startjahr 2010. Dafür mussten zusätzlich Daten für das Jahr 2010 abgeschätzt und in das dynamische Modell integriert werden. Für die Berechnung der Entwicklung der Materialflüsse bis ins Jahr 2050 werden die Neubauraten aus den Bevölkerungsentwicklungsdaten generiert, wobei hier zusätzliche Dämpfungsfunktionen implementiert wurden, welche die Entwicklungen etwas abschwächen. Dies ist notwendig, um die Bautätigkeit, welche unabhängig vom Bevölkerungswachstum stattfindet, zu berücksichtigen. Ansonsten wurden weitgehend dieselben Modellparameter verwendet wie jene aus dem Bezugsjahr 2020. Eine Ausnahme bildet die Verteilung der Rückbaumaterialflüsse. In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass bis zum Jahr 2050 deutlich weniger Rückbaumaterial als heute deponiert wird. Die modellierten und erhobenen Materialflüsse aus dem Bezugsjahr 2020 werden ebenfalls ins Modell eingelesen und in die Grafik mit den Entwicklungen der Materialflüsse integriert. Damit ist es möglich, die dynamischen Modelle zu kalibrieren und zu validieren.

In der Abbildung 8 sind die modellierten Entwicklungen der Materialflüsse in den Regionen Imboden (links) und Landquart (rechts) ins bzw. aus dem Prozess «Bauwerk» für den Zeitraum 2010 – 2050 für die zwei Szenarien «Mittel» und «Hoch» dargestellt. Der Baustoffinput (oberste Grafiken) in den beiden Regionen wird sich gemäss der prognostizierten Entwicklung in beiden Regionen in etwa auf dem Niveau von 2020 entwickeln, wobei beim Szenario «Hoch» jeweils ein leichter Anstieg zu verzeichnen ist.

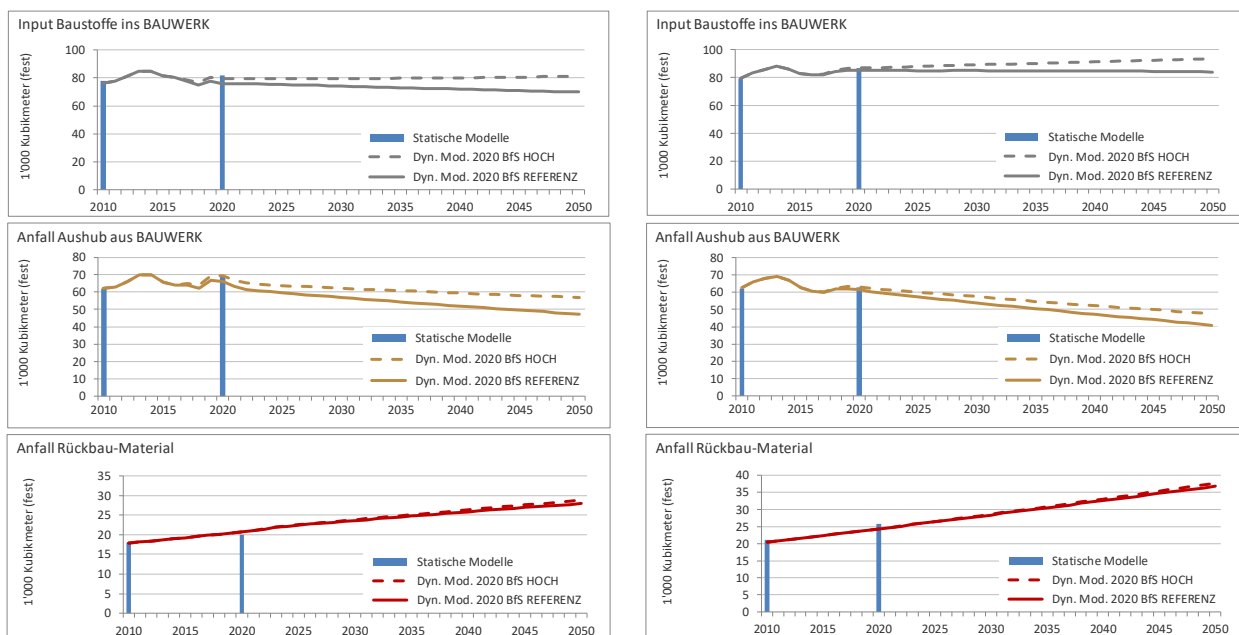


Abbildung 8: Modellerte Entwicklung Materialflüsse ins bzw. aus dem Bauwerk für die Regionen Imboden (links) und Landquart (rechts). Bei den hellblauen Säulen handelt es sich um die modellierten Materialflüsse aus den statischen Modellen für die Bezugsjahre 2010 und 2020.

Der Aushubanfall in den beiden Regionen wird hingegen bei beiden Szenarien tendenziell abnehmen, wobei die Abnahme im Szenario «Hoch» geringer ausfällt. Beim Rückbaumaterialanfall ist bei beiden Regionen ein kontinuierlicher Anstieg zu verzeichnen. Der Grund hierfür ist, dass das Bauwerk stetig wächst und der Materialanfall auch bei konstanten Sanierungs- und

Rückbauraten zunehmen wird. Deshalb sind auch die Unterschiede zwischen den zwei Szenarien beim Rückbaumaterial gering.

In der Abbildung 9 sind die Entwicklungen der gleichen Materialflüsse für die Region Plessur dargestellt. In der Tendenz verlaufen diese ähnlich wie in den anderen Regionen. Da in der Region Plessur die Bevölkerungsentwicklung im Vergleich zu den anderen Regionen jedoch weniger stark ausgeprägt ist, sind die Zunahmen bzw. Abnahmen im Verhältnis zu den Regionen Imboden und Landquart etwas weniger stark ausgeprägt. Insbesondere der Aushub anfall nimmt stärker ab, weil in dieser Region weniger Gebäude erstellt werden und damit weniger Baugruben ausgehoben werden müssen.

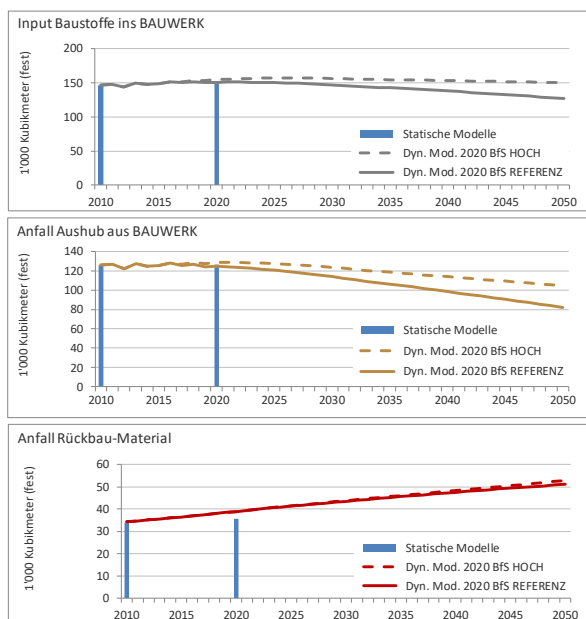


Abbildung 9: Modellerte Entwicklung Materialflüsse ins bzw. aus dem Bauwerk für die Region Plessur. Bei den hellblauen Säulen handelt es sich um die modellierten Materialflüsse aus den statischen Modellen für die Bezugsjahre 2010 und 2020.

Die Entwicklung der Materialflüsse bis ins Jahr 2050 stimmen relativ gut mit den modellierten Materialflüssen des Bezugsjahres 2020 überein (blaue Säulen). Die weiteren Modellierungen in den nächsten Jahren werden zeigen, ob diese Übereinstimmung in der Zukunft fortschreitet. Sollte dies nicht der Fall sein, kann das dynamische Modell entsprechend angepasst, d.h. neu kalibriert werden.

In der Abbildung 10 sind die Entwicklungen von weiteren modellierten Materialflüssen für die Regionen Imboden (links) und Landquart (rechts) dargestellt. Die Übereinstimmungen zwischen den modellierten Entwicklungen und den Materialflüssen aus dem statischen Modell (dunkelblaue Säulen) bzw. mit den erhobenen Materialflüssen (hellblaue Säulen) für das Bezugsjahr 2020 sind auch hier als gut einzustufen. Da es sich um eine Kalibration der dynamischen Modelle mit den Daten aus den statischen Modellen handelt, muss dies auch der Fall sein.

Wie oben erwähnt, wird in den dynamischen Modellen angenommen, dass das Rückbaumaterial künftig vermehrt verwertet wird. Deshalb reduzieren sich die modellierten Entwicklungen der

Rückbaumaterialflüsse in die Deponien stark (Abbildung 10: Grafiken ganz unten). Allerdings ist hier zu erwähnen, dass sich dieser Materialfluss bereits heute auf tiefem Niveau bewegt.

Grundsätzlich nehmen die Kies- und Aushubflüsse in den beiden Regionen in beiden Szenarien bis zum Jahr 2050 ab. In der Region Landquart nimmt der Primärmaterialabbau jedoch nur geringfügig ab (zweitoberste Grafik rechts). Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Materialfluss «Abbau Primärmaterial» auch der Abbau von Kalk und Mergel für die Zementproduktion enthalten ist. Dieser Modellparameter wurde im dynamischen Modell der Region bis zum Jahr 2050 als Konstante eingesetzt. Sollte der Zementbedarf in den vom Zementwerk belieferten Regionen und in den verschiedenen Kantonen künftig abnehmen, dann reduziert sich auch der Primärmaterialabbau in der Region Landquart entsprechend.

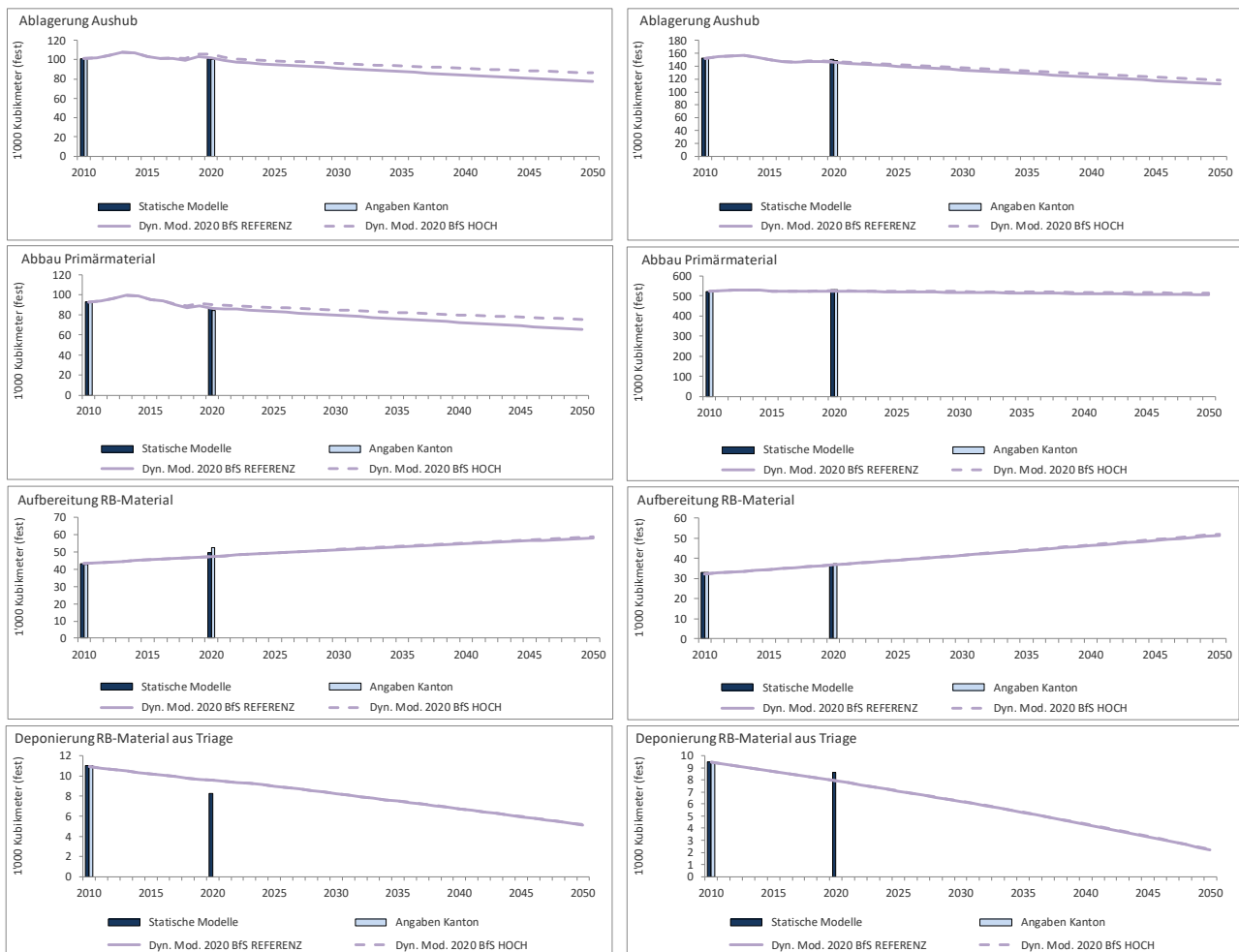


Abbildung 10: Modellierte Entwicklung weiterer Materialflüsse in den Regionen Imboden (links) und Landquart (rechts) und Vergleich mit den Materialflüssen aus dem statischen Modell (dunkelblaue Säulen) bzw. mit den erhobenen Materialflüssen (hellblaue Säulen) für die Bezugsjahre 2010 und 2020.

In der Abbildung 11 sind die Entwicklungen von weiteren modellierten Materialflüssen für die Region Plessur dargestellt. Grundsätzlich entspricht die Interpretation der Resultate jener für die beiden anderen Regionen. Mit einer Ausnahme: Bei der Entwicklung des Materialflusses «Ablagerung Aushub» (Grafik oben) reduziert sich beim Szenario «Mittel» der Materialfluss stark. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die demografische Entwicklung in der Region Plessur auf

tiefem, d.h. beinahe auf dem heutigen Niveau verläuft (siehe Abbildung 7, links), was bedeutet, dass grundsätzlich kaum neue Gebäude erstellt werden müssen. Damit werden auch weniger Baugruben erstellt und es fällt weniger Aushubmaterial an. Falls Aushubmaterial in ähnlichem Umfang wie heute in die umliegenden Regionen exportiert wird, nimmt die Aushubablagerung in der Region Plessur markant ab. Sollten die Exporte jedoch im gleichen Verhältnis abnehmen wie bei der Entwicklung des Aushubanfalls, dann ist die Reduktion der Aushubablagerung weniger ausgeprägt und liegt näher an der Entwicklung des Szenarios «Hoch» (gestrichelte Linie in der obersten Grafik der Abbildung 11).

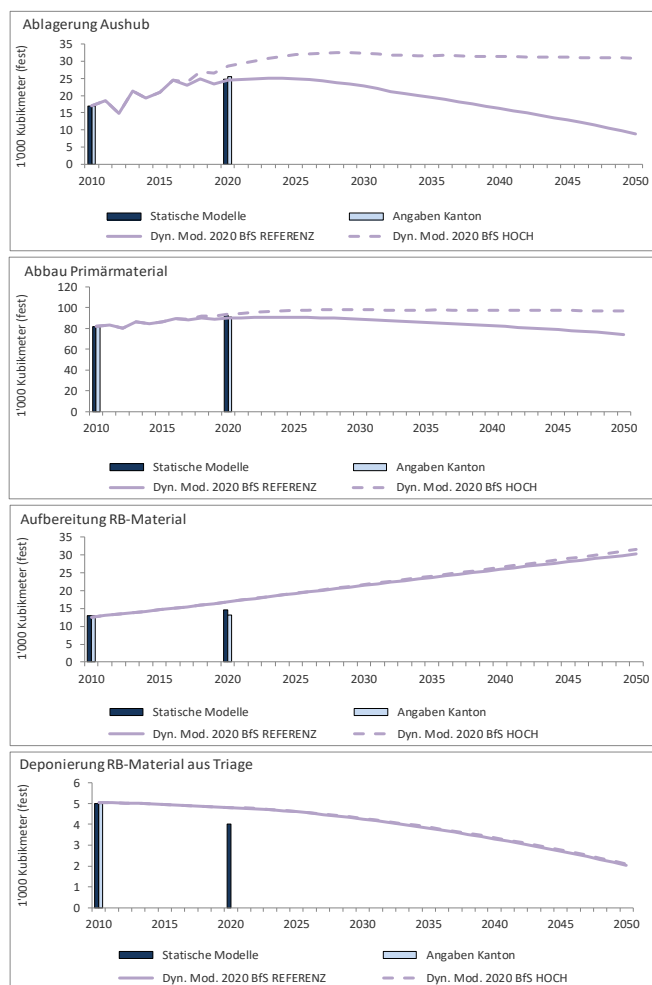


Abbildung 11: Modellierter Entwicklung weiterer Materialflüsse in der Region Plessur und Vergleich mit den Materialflüssen aus dem statischen Modell (dunkelblaue Säulen) bzw. mit den erhobenen Materialflüssen (hellblaue Säulen) für die Bezugsjahre 2010 und 2020.

Insgesamt lässt sich zusammenfassend sagen, dass die dynamischen Modelle anhand der vorliegenden Daten erstmals kalibriert und validiert werden konnten. Um bessere Aussagen zur künftigen Entwicklung der Materialflüsse in den verschiedenen Regionen zu machen, bedarf es weiterer Daten bzw. Modellierungen mit den statischen Modellen. Sobald mehr solche Daten vorliegen, können die dynamischen Modelle nachkalibriert werden. Die Aussagekraft zur künftigen Entwicklung dürfte deshalb verbessert werden. Das hat sich jedenfalls bei den kantonalen KAR-Modellen gezeigt.

4. Fazit und Ausblick

4.1 Fazit

Die Modellierung der Materialflüsse in den drei betrachteten Regionen Imboden, Landquart und Plessur liefert für das Bezugsjahr 2020 nachvollziehbare Ergebnisse. Die grössten Unsicherheiten liegen bei den Materialflüssen über die Grenzen. Diese werden im Modell tendenziell eher unterschätzt, weil teilweise keine Angaben zu den regionsübergreifenden Materialflüssen zur Verfügung standen. Da jedoch verschiedene Daten aus der Modellierung der Regionen zur Verfügung standen, konnten diese Materialflüsse dennoch grob abgeschätzt werden. Sie stellen deshalb eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung der Datenerhebungen und der statischen Modelle dar. Anhand der vorliegenden Resultate der statischen Modelle für die drei Regionen stehen nun erstmals Daten zu den mineralischen Materialflüssen in diesen Regionen zur Verfügung. Mittels der dynamischen Modellierung dieser Materialflüsse bis zum Jahr 2050 sind zudem auch Aussagen zur künftigen Entwicklung von relevanten Materialflüssen möglich. Dies ist insbesondere für die Kiesabbau- und die Deponieplanung in den verschiedenen Regionen ein entscheidender Vorteil. Zudem können anhand der Ergebnisse auch Aussagen zu den künftig benötigten Verwertungskapazitäten für mineralische RC-Baustoffe in den verschiedenen Regionen gemacht werden.

4.2 Ausblick

Das vorliegende Projekt hat gezeigt, dass mit Hilfe der GIS-Auswertungen die Gebäudebestandsvolumen und die Tiefbauinfrastruktur auch auf regionaler Ebene mit ausreichender Datenqualität ermittelt werden können. Damit ist die Basis gelegt, um den Prozess «BAUWERK» zu modellieren. Mit den zusätzlichen vom ANU erhobenen Daten lassen sich die statischen Modelle auf regionaler Basis entwickeln. Eine Herausforderung stellen dabei die Ermittlung der Materialflüsse über die Regionsgrenzen hinweg dar. Da jedoch verschiedene Daten aus den statischen Modellen ausgewertet werden können, ist es möglich, diese Materialflüsse auf grober Basis abzuschätzen. Somit ist die Grundlagen geschaffen, um die KAR-Modelle auch für weitere Regionen im Kanton Graubünden zu entwickeln. Die Resultate aus der dynamischen Modellierung ausgewählter Materialflüsse zeigen, dass auch der dynamische Modellteil für weitere Regionen entwickelt werden kann.

Es ist zu empfehlen, dass die nun vorliegenden statischen Modelle für die drei Regionen in den kommenden zwei Jahren jeweils aktualisiert werden, damit die dynamischen Modelle besser kalibriert werden können. Danach kann analog zu den kantonalen KAR-Modellierungen auf einen Zwei-Jahres-Rhythmus umgestellt werden.

5. Literatur

- Amt für Raumentwicklung des Kantons Graubünden, 2020: Bevölkerungsperspektiven Kanton Graubünden 2019 – 2050. Graubünden.
- Rubli Stefan, 2012: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Überregionale Betrachtung*. Umweltämter der Kantone Aargau, Schaffhausen, St.Gallen, Solothurn, Schwyz, Thurgau, Zug und Zürich
- Rubli Stefan, 2015: *Modellierung der Bau-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2013*. Umweltämter der Kantone Bern, Luzern, Thurgau, Schwyz, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2016: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2014*. Umweltämter der Kantone Bern, Thurgau, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2017: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2015*. Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Thurgau, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2018: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2016*. Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Thurgau, Schwyz, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2020: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2018*. Umweltämter der Kantone Aargau, Bern, Luzern, Thurgau, Schwyz, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2022: *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2012*. Umweltämter der Kantone Aargau, Basel Landschaft und Basel Stadt, Bern, Luzern, Thurgau, Schwyz, Solothurn, St.Gallen, Zug und Zürich.
- Rubli Stefan, 2022: *KAR-Modell des Kantons Graubünden - Modellierung der Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflüsse: Bezugsjahr 2020 und dynamische Modellierung*, Amt für Natur und Umwelt Graubünden.

Anhang

Tabelle A.1: Vergleich Modell vs. Daten Region Imboden

Abweichung von den modellierten Materialflüssen (linke Spalte) und den erhobenen Daten (rechte Spalte) in Prozenten (letzte Spalte) für die Region Imboden (siehe dazu Grafik in Abbildung 4). Die grosse Abweichung beim RC-Granulat (Fluss A49) ist darauf zurückzuführen, dass die Region Imboden einen grossen Teil der RC-Baustoffe exportiert und im modellierten Materialfluss nicht enthalten ist. Die Abweichung beim Materialfluss A53.A ist zwar sehr gross. Es handelt sich hier aber um einen Materialfluss im Umfang von <1000m³. Dieser geringe Materialfluss ist deshalb nicht relevant für das Gesamtsystem.

Vergleich Modell-Daten		Modell	Daten	Abweichung	
		1000m3 (fest)	1000m3 (fest)	= (Modell / Daten) - 1	
A23 + A43	RB-Material und Feinfraktion	10	0	na	
A24	Rückbaumaterial	50	52	-5%	Modell kleiner als Daten
A29	Direkte Verwertung	3	0	na	
A43	Feinfraktion	1	0	na	
A49	RC-Granulate	13	55	-76%	Modell kleiner als Daten
A51	Terrainveränderung	2	0	na	
A53.A	Deponie Typ A	0	0	-100%	Modell kleiner als Daten
A53.B	Deponie Typ B	0	0	na	
A56	Aushub	101	100	1%	Modell grösser als Daten
A58	Kiesiger Aushub	3	0	na	
A512	Aushub	0	0	na	
A78	Kies / Sand	83	84	-2%	Modell kleiner als Daten
A86	Feinfraktion	1	0	na	
A89	Kies / Sand	56	0	na	
A91	Baustoffe	82	0	na	
A1110	Weitere	5	0	na	
A100	Weitere	5	0	na	
A010	Weitere	10	0	na	

na: not available

Tabelle A.2: Vergleich Modell vs. Daten Region Landquart

Es ist zu erkennen, dass die Abweichung zwischen modellierten und den erhobenen Materialflüssen bis auf die RC-Granulate in tiefen Prozentbereichen liegen. Wie bereits bei der Region Imboden beschrieben, wird auch in der Region Landquart ein Teil der aufbereiteten RC-Granulate exportiert, weshalb auch hier die Abweichung von -56% resultiert.

Vergleich Modell-Daten		Modell	Daten	Abweichung	
		1000m3 (fest)	1000m3 (fest)	= (Modell / Daten) - 1	
A23 + A43	RB-Material und Feinfraktion	12	0	na	
A24	Rückbaumaterial	37	37	-2%	Modell kleiner als Daten
A29	Direkte Verwertung	6	0	na	
A43	Feinfraktion	4	0	na	
A49	RC-Granulate	16	36	-56%	Modell kleiner als Daten
A51	Terrainveränderung	3	0	na	
A53.A	Deponie Typ A	6	6	0%	Modell grösser als Daten
A53.B	Deponie Typ B	0	0	na	
A56	Aushub	145	143	1%	Modell grösser als Daten
A58	Kiesiger Aushub	2	0	na	
A512	Aushub	0	0	na	
A78	Kies / Sand	109	110	-1%	Modell kleiner als Daten
A86	Feinfraktion	9	0	na	
A89	Kies / Sand	56	0	na	
A91	Baustoffe	87	0	na	
A1110	Weitere	422	422	0%	Modell kleiner als Daten
A100	Weitere	415	415	0%	Modell grösser als Daten
A010	Weitere	2	0	na	

na: not available

Tabelle A.3: Vergleich Modell vs. Daten Region Plessur

Auch hier sind die Abweichungen zwischen modellierten und erhobenen Materialflüssen moderat. Dort wo grössere prozentuale Abweichungen resultieren, handelt es sich um kleine Materialflüsse, deren Änderung keinen wesentlichen Einfluss auf das Gesamtsystem haben. Zudem dürften die jährlichen Veränderungen dieser Materialflüsse deutlich grösser sein als die in der Tabelle A.3 aufgeführten Abweichungen.

Vergleich Modell-Daten		Modell	Daten	Abweichung	
		1000m3 (fest)	1000m3 (fest)	= (Modell / Daten) - 1	
A23 + A43	RB-Material und Feinfraktion	4	0	na	
A24	Rückbaumaterial	15	13	11%	Modell grösser als Daten
A29	Direkte Verwertung	5	0	na	
A43	Feinfraktion	0	0	na	
A49	RC-Granulate	12	16	-22%	Modell kleiner als Daten
A51	Terrainveränderung	0	0	na	
A53.A	Deponie Typ A	15	15	0%	Modell grösser als Daten
A53.B	Deponie Typ B	3	3	0%	Modell grösser als Daten
A56	Aushub	7	8	-11%	Modell kleiner als Daten
A58	Kiesiger Aushub	2	0	na	
A512	Aushub	0	0	na	
A78	Kies / Sand	91	91	0%	Modell kleiner als Daten
A86	Feinfraktion	3	0	na	
A89	Kies / Sand	109	0	na	
A91	Baustoffe	149	0	na	
A1110	Weitere	1	0	na	
A100	Weitere	0	0	na	
A010	Weitere	22	0	na	

na: not available