

Im Auftrag des Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartements des Kantons Luzern

Entwicklung einer Recyclingbaustoffstrategie für den Kanton Luzern

Grundlagenbericht



Mai 2021

Energie- und Ressourcen-Management GmbH



Auftraggeber	BUWD, Kanton Luzern, v.d. Dienststelle Umwelt und Energie
Kontaktperson	Michael Lutz, Dienststelle Umwelt und Energie (uwe)
Projektgruppe	
Bearbeitung	Energie- und Ressourcen-Management GmbH Wolleraustrasse 15g 8807 Freienbach Tel. +41 44 371 40 90 Fax +41 44 371 40 04 info@energie-ressourcen.ch www.energie-ressourcen.ch
Bearbeitung	Dr. Stefan Rubli
Zeitraum	März 2020 – Mai 2021

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bauwesen verursacht die grössten Abfallflüsse im Kanton Luzern. Ein Grossteil der anfallenden Bauabfälle wird bereits heute rezykliert. Metalle, brennbare Bauabfälle und Altholz werden der stofflichen und thermischen Verwertung zugeführt. Aus quantitativer Sicht ist hier das Verwertungspotenzial beinahe zu 100% ausgeschöpft. Qualitative Verbesserungen im Bereich der stofflichen Nutzung sind hier jedoch noch immer möglich und werden im Rahmen der kantonalen Abfallplanung thematisiert. Auch die mineralischen Rückbaumaterialien werden grösstenteils wieder in den Baustoffkreislauf zurückgeführt. Es gelangen jedoch noch immer erhebliche Mengen in die Deponien des Kantons Luzern und der umliegenden Kantone. Modellierungen zeigen, dass die Rückbaumaterialflüsse in den kommenden Jahren weiter zunehmen werden. Auf der anderen Seite geht das Absatzpotenzial zur Verwertung der anfallenden Rückbaumaterialien vor allem für die losen Rückbaustoffe zur Neige. Um eine nachhaltige Bewirtschaftung der Rückbaumaterialien auf langfristige Sicht zu gewährleisten, braucht es eine für alle Akteure nachvollziehbare Recyclingbaustoffstrategie. In der vorliegenden Studie wird aufgezeigt, wie eine solche Strategie aussehen kann.

In einem ersten Schritt wird mittels einer umfassenden Situations- und Szenarienanalyse der heutige Zustand und die künftige Entwicklung der Rückbaumaterialien untersucht. Es werden Hemmnisse im Umgang mit Rückbaustoffen identifiziert und strategischen Ansätze zu einer Verbesserung der Situation entwickelt. Auf Basis dieser Informationen wird ein Verwertungssystem für den Kanton Luzern aufgebaut, welches es ermöglichen soll, sämtliche verwertbaren Rückbau- sowie schwach und wenig verschmutzte Aushubmaterialien über die kommenden Generationen auf nachhaltige Weise in den Baustoffkreislauf zurückzuführen. Das optimale Zielsystem zeichnet sich durch die folgenden Merkmale aus:

- Im Grundsatz werden künftig nur noch die drei verwertbaren Rückbaufraktionen Ausbau-/Fräsasphalt, Beton- und Mischabbruch den Aufbereitungsanlagen zugeführt.
- Dies bedingt eine deutlich effizientere Materialtrennung beim Rückbau als heute, vereinfacht jedoch den Umgang mit den Rückbaumaterialien erheblich.
- Die Qualität der produzierten RC-Baustoffe wird deutlich verbessert.
- Das Materialmanagement ist auf langfristige Sicht für alle anfallenden Rückbaufraktionen nachhaltig.
- Die gebundenen Anwendungen werden favorisiert, weil im Gegensatz zu den losen Anwendungen auch langfristig ein hohes Absatzpotenzial vorhanden ist.
- Um den Absatz der anfallenden Rückbaustoffe, insbesondere der Mischabbruchgranulate, in die gebundenen Anwendungen zu gewährleisten, müssen bestehende Aufbereitungsanlagen teilweise modernisiert werden.
- PAK-belasteter Ausbausphal und ein Teil des wenig belasteten Ausbausphal (PAK-Gehalt <250 ppm) muss künftig in noch zu realisierende Behandlungsanlagen geführt werden.
- Unverschmutzter sowie schwach und wenig verschmutzter Aushub wird in speziellen Aushubwaschanlagen aufbereitet.
- Im anzustrebendem System werden im Vergleich zu heute deutlich weniger Rückbaumaterialien deponiert und dafür mehr Kies und Sand substituiert.

- Mit der Stärkung des gebundenen Einsatzes wird das Umweltgefährdungspotenzial (Schadstoffauswaschung) der Recyclingbaustoffe weiter minimiert.

Das vorgestellte Verwertungssystem soll eine Orientierungshilfe für die in diesem Bereich tätigen Akteure darstellen und aufzeigen, wohin die Entwicklung gehen soll. Ziehen alle Beteiligten am gleichen Strick, kann das Verwertungspotenzial künftig in optimaler Weise genutzt werden. Auch für die anderen Zentralschweizer Kantone kann das hier vorgestellte Zielsystem bei der Entwicklung ihrer eigenen Recyclingbaustoffstrategien eine gute Basis darstellen. Denn im Grundsatz gelten die hier aufgeführten Rahmenbedingungen und Voraussetzungen auch für diese Kantone.

Die Annäherung an das hier vorgestellte System gelingt nur, wenn entsprechende Massnahmen definiert und ein Massnahmenplan erstellt wird. Diese müssen in der nächsten Projektetappe und nach der Vernehmlassung des vorliegenden Berichts in Zusammenarbeit mit der noch zu definierenden Arbeitsgruppe erarbeitet und in Zusammenarbeit mit den Umweltfachstellen der Zentralschweizer Kantone regional abgestimmt werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Ausgangslage und Zielsetzung	7
1.1	Ausgangslage	7
1.2	Zielsetzung	8
2	Grundlagen	10
2.1	Rechtliche Grundlagen und Verwendungsmöglichkeiten der RC-Baustoffe	10
2.2	Recyclingbaustoff-Strategien in anderen Kantonen	14
3	Materialflüsse und künftige Entwicklung der Mengen	15
3.1	Systembeschreibung	15
3.2	Mengengerüst (Bezugsjahr 2018)	16
3.3	Materialeingänge und -ausgänge in Bauschuttzubereitungsanlagen (BSA)	16
3.4	Materialoutput und Verwertungswege der RC-Gesteinskörnungen im Jahr 2018	17
3.5	Deponierte mineralischen Bauabfälle	18
3.6	Entwicklung Materialmengen im Zeitraum 2007 - 2018	20
3.7	Modellierung der Entwicklung der Materialströme bis zum Jahr 2030	21
3.8	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Analyse der Materialströme	23
4	Interviews und Situationsanalyse	25
4.1	Befragung von Unternehmen aus der RC-Baustoffproduktion	25
4.2	Befragung von Vertretern der kantonalen Hoch- und Tiefbauämter	27
5	Hemmnisse beim heutigen Baustoffrecycling und Lösungsansätze	29
6	Szenarienanalysen zur künftigen Entwicklung der Rückbaustoffe	32
6.1	Beschreibung der Modellgrundlagen und der Szenarien	32
6.2	Indikatoren zur Abbildung und Nachweis der Entwicklung	33
6.3	Szenarienanalyse	33
6.4	Interpretation der Erkenntnisse und Entwicklungspotenziale	35
7	Ziele und Handlungsfelder	39
7.1	Das künftige Verwertungssystem für die mineralischen Recyclingbaustoffe	39
7.2	Handlungsfelder und Rahmenbedingungen	40
8	Fazit und Ausblick	43
9	Literatur	45

Abkürzungsverzeichnis

AAR-P2	AAR-Beständigkeit Präventionsklasse P2 gem. SIA-Merkblatt 2042
ARV	arv Baustoffrecycling Schweiz
ARVIS	Informationssystem (Datenbank) des arv Baustoffrecycling Schweiz
uwe	Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BSA	Bauschuttzubereitungsanlage
EOS	Elektroofenschlacke (Schmelzgestein, Nebenprodukt aus der Stahlherstellung)
FSKB	Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie
KAR-Modell	Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialfluss-Modell
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
RC	Recycling
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen
ZENTRUM	Zusammenschluss der Zentralschweizer Umweltfachstellen

Definitionen

Rückbaumaterial	<p>Der Begriff «Rückbaumaterial» umfasst sämtliches während einer Sanierung bzw. eines Rückbaus anfallendes mineralisches Material (z.B. Misch- und Betonabbruch, Ausbauasphalt usw.), welches <u>noch nicht</u> aufbereitet wurde.</p> <p>Hinweis: Im Unterschied zur Definition in der Vollzugshilfe, welche den Begriff «Rückbaumaterial» etwas weiter fasst und sämtliche Abfälle aus Umbau- oder Rückbauarbeiten mit einschliesst, beschränken wir uns im vorliegenden Bericht bei der Verwendung des Begriffs «Rückbaumaterial» auf das mineralische Material.</p>
Rückbaustoffe	<p>Der Begriff «Rückbaustoffe» umfasst sämtliche mineralischen Rückbaumaterialien, welche <u>aus Aufbereitungsanlagen</u> stammen und als rezyklierte Gesteinskörnung dem Baustoffkreislauf zugeführt werden.</p>

1 Ausgangslage und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Im Kanton Luzern fallen jährlich knapp 820'000 Tonnen mineralisches Rückbaumaterial an (Abbildung 4). Rund 80% davon werden zu Rückbaustoffen aufbereitet und in den Baustoffkreislauf zurückgeführt. Damit kann bereits heute rund 20% des Gesteinskörnungsbedarfs des Kantons mit RC-Baustoffen abgedeckt werden, was zur Schonung der geogenen Ressourcen beiträgt. Allerdings werden noch immer rund 135'000 Tonnen Mischabbruch und Bauschutt in Deponien im Kanton abgelagert. Weitere nicht unerhebliche Mengen an Mischabbruch sowie schwach und wenig verschmutzte Aushub- und Ausbruchmaterialien werden in Deponien der Nachbarkantone, insbesondere im Kanton Nidwalden deponiert (Rubli 2020). Das Ressourcenpotenzial ist deshalb bei Weitem nicht ausgeschöpft. Es müssen deshalb weitere Anstrengungen in diesem Bereich unternommen werden. Ausgehend vom 2019 überwiesenen politischen Vorstoss P 584 (Postulat Markus Hess) über die Förderung von Recyclingmaterial im Bauwesen hat die Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern deshalb den Auftrag erhalten, eine Recyclingbaustoff-Strategie zu entwickeln. Dies soll in enger Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren der Bauwirtschaft erfolgen. Um die Kenntnisse aus dem Projekt auch für die anderen Zentralschweizer Kantone nutzbar zu machen, werden diese im Rahmen der Arbeit des Cercle déchets (Zusammenschluss der Fachstellen im Abfallbereich) mit einbezogen. Insbesondere wird der vorliegende Grundlagenbericht allen Zentralschweizer Akteuren zur weiteren Verwendung respektive zur regionalen Vertiefung zur Verfügung gestellt. Die Organisation und der Ablauf des Projekts sind in den Abbildungen 1 und 2 schematisch dargestellt.

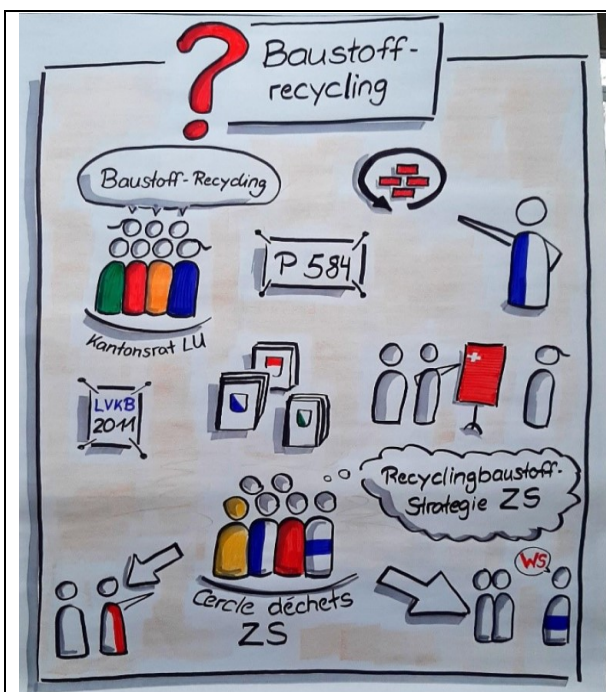


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Initiierung des Projekts «Entwicklung einer Recyclingbaustoff-Strategie für den Kanton Luzern».

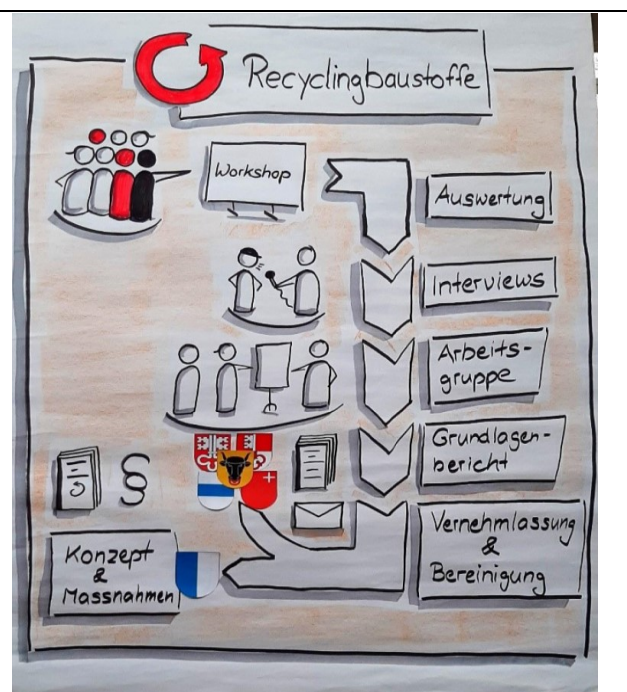


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Projektablaufs ausgehend vom Workshop im Januar 2020 bis zur Massnahmenplanung und -umsetzung.

In einem ersten Schritt wurde am 30. Januar 2020 ein halbtägiger Workshop mit Vertretern der Zentralschweizer Bauwirtschaft durchgeführt (Teilnehmerliste im Anhang), in dem der Stand des heutigen Baustoffrecyclings in der Zentralschweiz sowie die künftigen Herausforderungen thematisiert wurden. Die Analyse der Gruppenarbeiten zeigte, dass die folgenden Aspekte bei der Entwicklung der Recyclingbaustoffstrategie zu berücksichtigen sind:

- ⇒ Das Image der Recyclingbaustoffe ist zu verbessern.
- ⇒ Die Normen müssen schneller dem Stand der Technik angepasst werden.
- ⇒ Das Know-how bzw. der Know-how-Transfer zwischen den Akteuren muss optimiert werden.
- ⇒ Die RC-Baustoffe müssen hochwertig und konkurrenzfähig sein.
- ⇒ Die Rahmenbedingungen müssen für alle Akteure bekannt und vor allem gleich sein. Die Umsetzung soll durch zuständige Instanzen kontrolliert werden.
- ⇒ Die Hoch- und Tiefbauämter müssen eine Vorbildfunktion wahrnehmen.

1.2 Zielsetzung

Das Gesamtprojekt ist in zwei Etappen gegliedert. In einem ersten Schritt werden im vorliegenden Bericht die Grundlagen zur Entwicklung einer Recyclingbaustoffstrategie im Kanton Luzern geschaffen. Darauf aufbauend soll in einem zweiten Schritt konkrete Massnahmen und ein Massnahmenplan zum nachhaltigen Einsatz von Recyclingbaustoffen im Hoch- und Tiefbau entwickelt werden. Die Kombination dieser beiden Etappen mündet in einer Recyclingbaustoffstrategie, welche einen langfristig nachhaltigen Umgang mit sämtlichen mineralischen Rückbaumaterialien und den daraus aufbereiteten Rückbaustoffen erlauben wird.

Mit diesem gestaffelten Vorgehen sollen die folgenden übergeordneten Ziele erreicht werden:



- Die Verwertung von mineralischen Bauabfällen, insbesondere von Mischabbruch, Ausbauasphalt sowie schwach und wenig verschmutztem Aushub- und Ausbruchmaterial, soll in quantitativer und qualitativer Hinsicht verbessert werden. Die Recyclingquote für verwertbare mineralische Bauabfälle soll gemäss Kantonalem Umweltbericht 2018 von heute 80% auf 90% erhöht werden.
- Damit verbunden sollen sowohl Deponieraum als auch die geeigneten Ressourcen geschont werden.

In der ersten Projektetappe werden die folgenden Themenfelder vertieft bearbeitet und mit der strategischen Leitung diskutiert:

- Überprüfung und Ergänzung des Mengengerüsts der mineralischen Bauabfälle.
- Beschreibung der heutigen Verwertungswege (insb. Ausbauasphalt und Mischabbruch).
- Ermitteln der heutigen und künftigen Nachfrage nach Recyclingbaustoffen im Kanton Luzern.
- Eruiieren und Beschreiben der heutigen Hemmnisse beim Einsatz von Recyclingbaustoffen.

- Vergleich des IST- und SOLL-Zustandes und Darlegen von möglichen Handlungsfeldern zur Förderung des Einsatzes von RC-Baustoffen.

Im Rahmen einer vertieften Situationsanalyse wird die heutige IST-Situation dargestellt und die künftige Entwicklung der Rückbaumaterialströme (Soll-Situation) aufgezeigt, welche unter vorgegebenen Szenarienbedingungen eine nachhaltige Bewirtschaftung der Stoffströme erlauben soll. Hemmnisse beim Baustoffrecycling und mögliche Handlungsoptionen, um diese zu überwinden, sind beschrieben. Die im Klimabericht aufgeführten Klimaschutzmassnahmen (KS-ER4) zur Erhöhung der Recyclingquoten von Bauabfällen werden ebenfalls mit in die Betrachtung einbezogen (Kanton Luzern, 2020). Zusätzliches Potenzial besteht bereits bei der Planung. Hier muss künftig der ganze Lebenszyklus eines Bauwerks berücksichtigt werden. Dies bedeutet insbesondere, dass nur solche Materialien verwendet werden, welche bei einem Rückbau wiederverwertet werden können. Der Einsatz von Verbundstoffen, Porenbetonen usw. sollte auf das tatsächlich Notwendige reduziert werden.

Die strategische Leitung dieses Projektteils ist wie folgt zusammensetzt: Daniel Christen (Dienststellenleiter und Vorsitz ZENTRUM), Hans Musch (Abteilungsleiter Entsorgung und Risiko), Robert Schnyder (Teamleiter Abfallbewirtschaftung) und Michael Lutz (Projektleiter Abfallbewirtschaftung).

Nach der Vernehmlassung und Bereinigung des vorliegenden Berichts werden in Zusammenarbeit mit einer noch zu bestimmenden Arbeitsgruppe, welche aus Akteuren aus Verwaltung, Verbänden, Industrie und Gewerbe besteht, konkrete Massnahmen und ein Massnahmenplan entwickelt.

2 Grundlagen

2.1 Rechtliche Grundlagen und Verwendungsmöglichkeiten der RC-Baustoffe

Die mineralischen Bauabfälle fallen vor allem aus dem Rückbau und der Sanierung von Gebäuden und Strassen an, während der Materialanfall aus dem Neubau einen relativ kleinen Beitrag leistet. Der Umgang mit den mineralischen Bauabfällen ist in der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA, 2015) und in der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (nachfolgend Bauabfallrichtlinie) geregelt (BAFU, 2006). Während in der VVEA in den Artikeln 16 und 17 der Umgang mit Bauabfällen vor allem auf der Baustelle geregelt ist, liegt der Fokus in der Bauabfallrichtlinie bei der Aufbereitung und den Verwendungsmöglichkeiten der Recyclingbaustoffe.

Merkblätter und Formulare der Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen

Die Umweltschutzdirektionen der Zentralschweiz haben zudem das Merkblatt «Entsorgung von Bauabfällen» sowie das Formular «Entsorgungstabelle Bauabfälle» erstellt. Das Merkblatt «Entsorgung von Bauabfällen» basiert vor allem auf der SIA Empfehlung 430 und regelt unter anderem die Bauabfalltrennung auf der Baustelle und die anschliessende Entsorgung mittels Mehrmuldenkonzept. Ergänzend dazu müssen im Formular «Entsorgungstabelle Bauabfälle», welches vor Baubeginn erstellt und der Baubewilligungsbehörde eingereicht werden muss, konkrete Angaben zur Entsorgung gemacht werden. Das gleiche Formular dient zudem als Entsorgungsnachweis. Dabei soll jeweils nach Abschluss der Bauarbeiten die effektiv durchgeführte Entsorgung mit Angabe der Mengen differenziert nach Bauabfallkategorien belegt werden.

Das Merkblatt «Umschlag- und Aufbereitungsplätze für Bauabfälle» beschreibt die umweltrelevanten Anforderungen an bewilligungspflichtige Anlagen für den Umschlag, die Sortierung und die Aufbereitung von mineralischen Bauabfällen, Bausperrgut und Altholz.

Das Merkblatt «Verwertung von mineralischen Bauabfällen» basiert auf der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle und gibt Auskunft über die umweltgerechte Aufbereitung von Bauschuttfraktionen wie Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch und Mischabbruch sowie über die Qualitätsanforderungen und Anwendungsbereiche der Sekundärbaustoffe. Grundsätzlich werden gemäss diesen Grundlagen aus den vier Bauabfallkategorien die sechs Recyclingbaustoffe: Asphaltgranulat, die Recycling-Kiessande P, A und B, Betongranulat und Mischabbruchgranulat hergestellt. Die Qualitätsanforderungen zur Produktion dieser Recyclingbaustoffe ergeben sich durch vorgegebene Materialzusammensetzung (in Massenprozenten) gemäss der Tabelle 1. Dabei ist zu berücksichtigen, dass folgende Einschränkungen beim Einsatz dieser Produkte gelten:

«Es ist ein möglichst hochwertiger Einsatz der Sekundärbaustoffe anzustreben. Das Material soll primär zu gleichen Zwecken wie die erstmalige Verwendung eingesetzt werden. Aus diesen Gründen darf bitumenhaltiges Material nicht hydraulisch (zementgebunden) und betonhaltiges Material nicht bituminös gebunden werden.»

Tabelle 1: Qualitätsanforderungen an Recyclingbaustoffe gemäss der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BAFU) und dem Merkblatt «Verwertung von mineralischen Bauabfällen» der Umweltdirektionen der Zentralschweiz.

Material	Ausbauasphalt	Kiessand	Betonabbruch	Mischabbruch	Fremdstoffe
Asphaltgranulat	min. 90%	max. 10%	max. 2%		max. 0.3%
Recycling-Kiessand P	max. 4%	min. 95%	max. 4%	max. 1%	max. 0.3%
Recycling-Kiessand A	max. 20%	min. 80%	max. 4%	max. 1%	max. 0.3%
Recycling-Kiessand B	max. 4%	min. 80%	max. 20%	max. 1%	max. 0.3%
Betongranulat	max. 3%	min. 95%		max. 2%	max. 0.3%
Mischabbruchgranulat	max. 3%	min. 97%			*max. 0.3%

*Fremdstoffe max. 0.3%, zusätzlich max. 1% Gipsanteil

Der Einsatz der Recyclingbaustoffe ist ebenfalls in der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle geregelt und im Merkblatt «Verwertung von mineralischen Bauabfällen» in Form einer Einsatzmatrix dargestellt:

Tabelle 2: Matrix zu den Verwendungsmöglichkeiten der Recyclingbaustoffe gemäss der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BAFU) und dem Merkblatt «Verwertung von mineralischen Bauabfällen» der Umweltdirektionen der Zentralschweiz.

Material	Einsatz in loser Form		Einsatz in gebundener Form	
	ohne Deckschicht	mit Deckschicht	hydraulisch gebunden	bituminös gebunden
Asphaltgranulat	*	**	nein	✓
Recycling-Kiessand P	✓	✓	✓	✓
Recycling-Kiessand A	nein	✓	nein	✓
Recycling-Kiessand B	✓	✓	✓	nein
Betongranulat	***	✓	✓	nein
Mischabbruchgranulat	nein	✓	✓	nein

* die Schichtstärke darf max. 7 cm betragen und das Asphaltgranulat muss gewalzt werden

** als Planiematerial unter bituminöser Deckschicht

*** Bewilligung durch Amt für Umweltschutz möglich, falls eine ton-wassergebundene Deckschicht aufgebracht wird

Als Deckschicht gelten bindemittelgebundene Schichten (Asphalt-, Betonbelag), welche die Durchsickerung des gesamten Recyclingmaterials mit Niederschlag verhindert. Ist eine Deckschicht im Sinne des Merkblatts notwendig, so muss diese innerhalb von 3 Monaten eingebracht werden.

Als Spezialfall ist an dieser Stelle die aus dem Stahlwerk stammende Elektro-Ofenschlacke (EOS) (früher auch «von Moos-Schlacke» genannt) zu erwähnen. Diese ist gemäss Merkblatt dem Betongranulat gleichgestellt. Das Merkblatt wurde inzwischen durch ein eigenes Modul der Vollzugshilfe zur VVEA abgelöst.

Neben den Qualitätsanforderungen der Bauabfallrichtlinie sind zudem die entsprechenden Schweizer Normen (SN) zur Qualitätssicherung der RC-Gesteinskörnungen einzuhalten. Die Recycling-Grundnorm SN 670 071 regelt beispielsweise den Umgang mit rezyklierten Gesteinskörnungen. Für Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau gelten die Qualitätsanforderungen der Norm SN 670 119a-NA.

Wie Abbildung 3 zeigt, liegen nicht alle Einflussmöglichkeiten beim Gesetzgeber respektive der öffentlichen Hand. Während der Input in die Aufbereitung klar dem Abfallrecht unterliegt, ist der Output primär durch Normen geregelt, deren Umsetzung in der Verantwortung der Branche liegt.

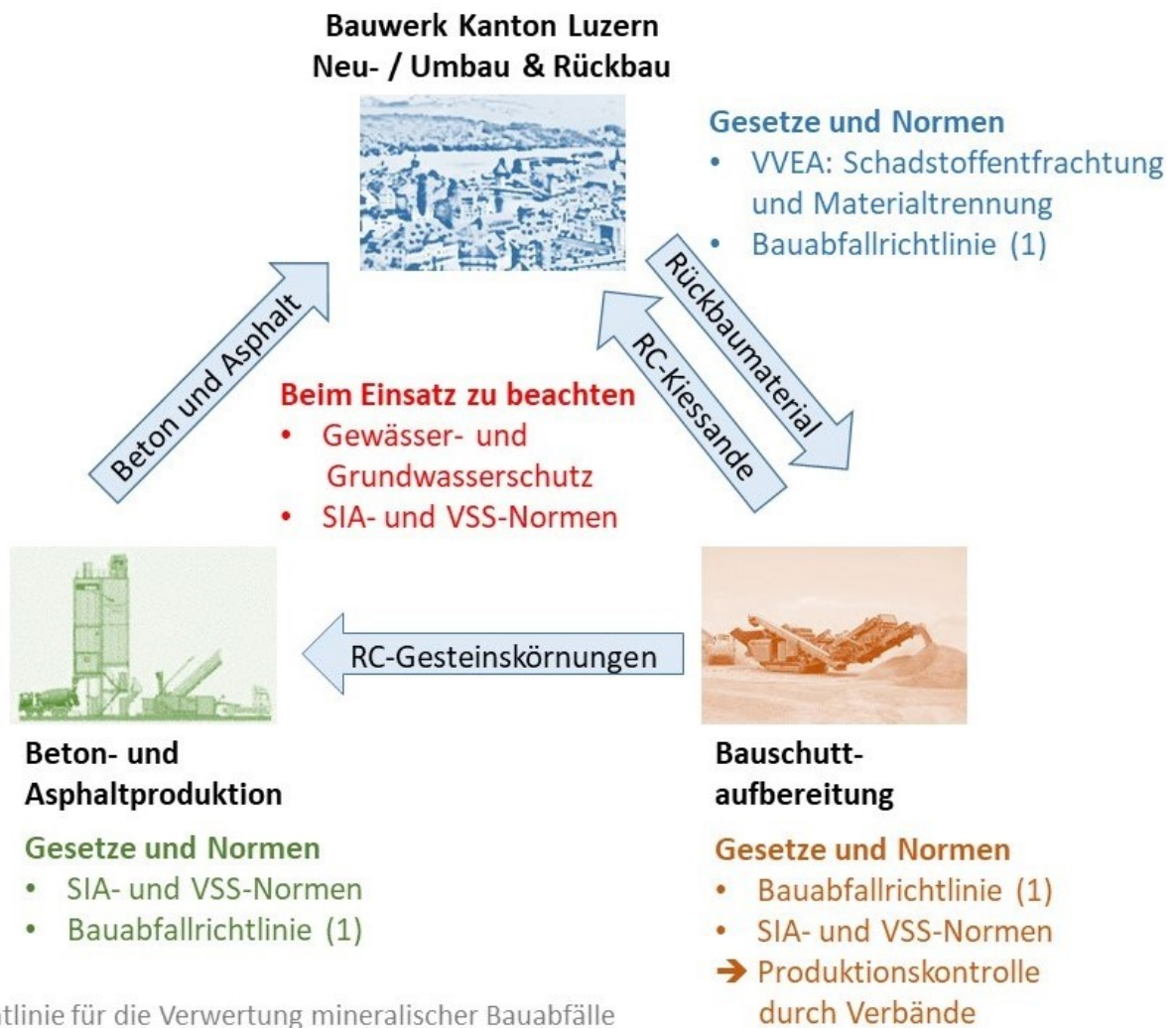


Abbildung 3: Baustoffkreislauf: Verantwortlichkeiten und gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Rechtsgrundlagen

- Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983 (Stand 1. Juli 2020).
- Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015 (Stand 1. April 2020).
- Kanton Luzern: Nr. 700 Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Umweltschutz (EGUSG) vom 30. März 1998 (Stand 1. Februar 2018)
- Kanton Luzern: Nr. 701- Umweltschutzverordnung (USV, USGVV) vom 15. Dezember 1998 (Stand 1. Januar 2018).

Richtlinien / Normen / Merkblätter / Formulare

- Bundesamt für Umwelt (BAFU): Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle – Ausbauasphalt, Strassenaufbruch, Betonabbruch, Mischabbruch. 2. Aktualisierte Auflage 2006.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU): Verwertung von Elektroofenschlacke (EOS). Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. Umwelt-Vollzug Nr. 1826 (2018)
- SN 670 071: Recycling-Grundnorm
- SN 670 119-NA: Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau, inkl. Nationaler Anhang
- ARV/FSKB: Merkblatt «Mineralische Recycling-Baustoffe Verwendungsempfehlungen für Bauherren, Planer, Architekten und Ingenieure» (2020).
- Merkblatt «Entsorgung von Bauabfällen» → http://www.umwelt-zentralschweiz.ch/wp-content/uploads/2018/02/entsorgung_bauabf.pdf
- Merkblatt «Umschlag- und Aufbereitungsplätze für Bauabfälle» → <http://www.umwelt-zentralschweiz.ch/wp-content/uploads/2018/02/umschlag.pdf>
- Merkblatt «Verwertung von mineralischen Bauabfällen» → <http://www.umwelt-zentralschweiz.ch/wp-content/uploads/2018/02/mineralabfall.pdf>
- Merkblatt «Sicherer Einsatz von ElektroOfenSchlacke (EOS)» → https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/publikationen/Publikationen_01_A_bis_F/Einsatz_ElektroOfenSchlacke_Merkblatt.pdf
- Formular «Entsorgungstabelle»: https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/publikationen/Publikationen_01_A_bis_F/Entsorgung_Bauabfaelle_Entsorgungserklaerung.pdf?la=de-CH
- Tiefbauämter der Kantone GL, LU, NW, OW, SG, SZ, TG, UR, ZG, ZH: Walzasphalt-Zulassung; <http://walzasphalt-zulassung.ch/uploads/Walzasphalt-Zulassung.pdf>

Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (vif):

- Projektierungs- und Ausführungsbestimmungen 731.206: Recyclingmaterial in der nicht gebundenen Fundationsschicht.
- Projektierungs- und Ausführungsbestimmungen 731.003: Beton Verkehrswegebau.

Dienststelle Immobilien:

- Planerhandbuch kantonale Hochbauten vom August 2019: Kapitel 1, Absatz 1.2.3 → Seite 5: Weitere Grundsätze → Bei Neubauten und Sanierungen ist der Minergie Zusatz Eco anzuwenden.

2.2 Recyclingbaustoff-Strategien in anderen Kantonen

Verschiedene Kantone haben bereits eigene RC-Baustoffstrategien entwickelt. Um eine Übersicht zu den Inhalten dieser Strategien zu erhalten, sind in der Tabelle 3 die wichtigsten Massnahmen der Kantone Basel-Landschaft (BL) Solothurn (SO) und Thurgau (TG) zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der definierten Massnahmen der Kantone BL, SO und TG.

Kanton	Realisierung Strategie	Anzahl Massnahmen	zentrale Massnahmen
BL 	2020	4 - 5	<ul style="list-style-type: none"> - Stärkung der Information und Kommunikation mittels Informationsplattform: www.bskrb.ch - Einführung einer generellen Rückbaubewilligung. - Einführung einer Lenkungsabgabe auf zu deponierende Bauabfälle - Selbstverpflichtung des Kantons zum Einsatz von RC-Baustoffen inklusive Monitorings zur Wahrnehmung der Eigenverantwortung des Kantons → z.B.: Richtlinie «Materialtechnologie im Tiefbau» - Aufbau einer Fachstelle «Baustoffkreislauf» als Vollzugsorganisation.
SO 	2016	10	<ul style="list-style-type: none"> - Stärkung der Information und Kommunikation mittels Broschüren, Webseiten und Orientierungshilfen zum Einsatz von RC-Baustoffen. - Entwickeln von Schulungs- und Weiterbildungskonzepten: Durchführen von Tagungen, behördeninternen Schulungen und von Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen zur Produktion und zum Einsatz von RC-Baustoffen. - Bestellung und Submission: Vorgaben in den Ausschreibungsunterlagen bei öffentlichen Bauten zum Einsatz von RC-Baustoffen → Vorbildfunktion. - Qualitätsverbesserung bei der RC-Baustoffproduktion. - Erschwernisse bei der Deponierung: Einführen einer Verwertungspflicht, Erhöhung der Deponiegebühr.
TG 	2019	8	<ul style="list-style-type: none"> - Definition, Umsetzung und Begleitung von Vorzeigeprojekten. - Schulung, Weiterbildung, Erfahrungsaustausch mittels Workshops, öffentlichen Informationsveranstaltungen usw. - Information und Kommunikation: Informationsplattform mit den wichtigsten Infos zum Einsatz von RC-Baustoffen. - Ausschreibungsempfehlungen: Das Hoch- und Tiefbauamt erstellt oder ergänzt ihre Ausschreibungsempfehlungen betreffend Einsatz von RC-Baustoffen. - Qualitätsverbesserung: Konzept mit Massnahmen zur Qualitätssicherung bei Produktion und Einsatz von RC-Baustoffen - Monitoring: Die RC-Materialflüsse werden erhoben und ausgewertet. Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Vorzeigeprojekten werden im Geschäftsbericht des Kantons dokumentiert. - Der Kanton kann die rechtlichen Rahmenbedingungen ändern, um die Verwertung von RC-Baustoffen zu fördern.

3 Materialflüsse und künftige Entwicklung der Mengen

3.1 Systembeschreibung

Der Rückbaumaterialfluss aus dem Bauwerk (Tief- und Hochbau) wird künftig weiter zunehmen. Diese Entwicklung hat Auswirkungen auf das System des Kiesabbaus und die Aushubablagerung, welche auf den ersten Blick nicht erkennbar sind. So führt der Einsatz von Rückbaustoffen zu einer Substitution von Kies. Der damit verbundene geringere Kiesabbau führt jedoch dazu, dass weniger Volumen zur Ablagerung von Aushub- und Ausbruchmaterial in den Kiesgruben zur Verfügung steht. Das fehlende Rekultivierungsvolumen muss deshalb durch Deponien des Typ A ersetzt werden. Um diese Zusammenhänge besser zu verstehen, haben insgesamt zehn Kantone sogenannte Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialflussmodelle (KAR-Modelle) entwickeln lassen. Auch der Kanton Luzern lässt diese Materialflüsse seit einigen Jahren modellieren. In der Abbildung 4 sind die mit dem KAR-Modell berechneten Baustoffflüsse für das Bezugsjahr 2018 dargestellt (Rubli, 2020). Der Baustoffbedarf des Kantons Luzern liegt gemäss Modell bei 3.25 Mio. Tonnen pro Jahr. Der Rückbaumaterialfluss aus dem Bauwerk beträgt 818'000 Tonnen pro Jahr. Rund 80% davon gelangen nach einem Aufbereitungsprozess wieder in die Baustoffproduktion zurück. Der Rest geht in die Deponien oder wird in die Nachbarkantone exportiert. Die Rückbaustoffe beanspruchen heute knapp 18% des totalen Baustoffbedarfs (Kies/Sand + Rückbaustoffe). Gelingt es, den Verwertungsanteil der Rückbaumaterialien zu erhöhen, dürfte dieser Anteil künftig weiter zunehmen, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Kies- und Aushubflüsse.

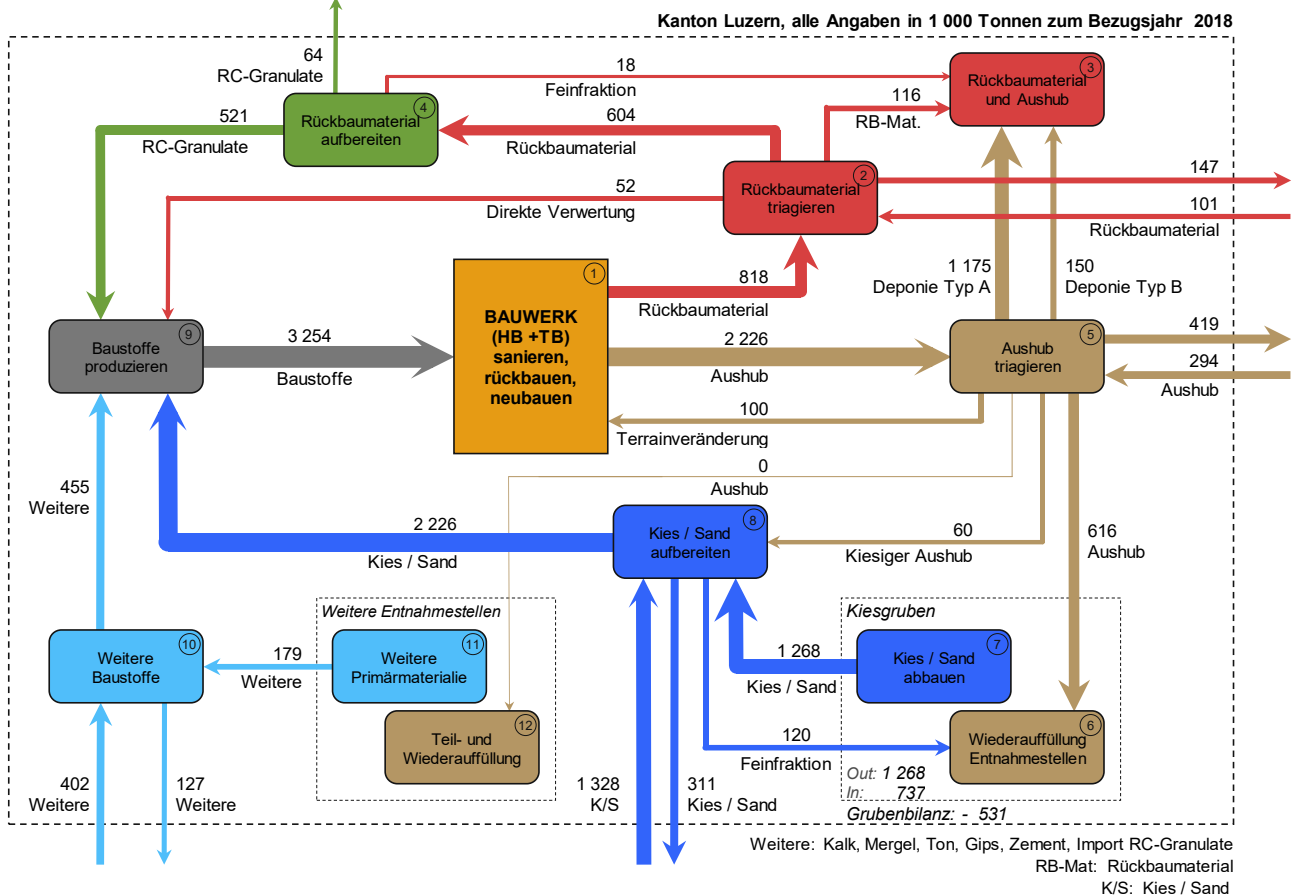


Abbildung 4: Mit dem KAR-Modell berechnete Materialflüsse des Bezugsjahres 2018 im Kanton Luzern. Alle Angaben in 1'000 Tonnen.

3.2 Mengengerüst (Bezugsjahr 2018)

Die Bestimmung der Rückbaumaterialmengen bzw. der Rückbaustoffe für das Bezugsjahr 2018 basiert hauptsächlich auf den ARVIS-Einträgen¹ der Betreiber der Bauschutt-aufbereitungsanlagen (BSA) und den vom FSKB²-Inspektorat erfassten Daten im RESSIS³. Im Rahmen der Datenerhebung der Verbände lassen sich seit einigen Jahren die Anwendungsbereiche, in denen die Recyclingbaustoffe aus den verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungsprozessen hergestellt werden, ermitteln. Damit können die Verwertungswege nachvollzogen und analysiert werden. Aufgrund fehlender Daten sind Rückbaumaterialien, welche auf den Baustellen aufbereitet und wieder eingesetzt werden, nicht berücksichtigt. Die entsprechenden Materialflüsse werden deshalb etwas unterschätzt. Zusätzlich zu diesen Auswertungen wurde mit ausgewählten Unternehmen und Depo-niebetreibern die von ihnen angegebenen Daten verifiziert und plausibilisiert.

3.3 Materialeingänge und -ausgänge in Bauschutt-aufbereitungsanlagen (BSA)

Die Bauschutt-aufbereitungsanlagen im Kanton Luzern haben im Jahr 2018 rund 636'000 Tonnen mineralische Rückbaumaterialien angenommen (Abbildung 5). Davon waren 58% Betonabbruch und knapp 14% Mischabbruch. Diese beiden Fraktionen beanspruchten somit rund 72% der angelieferten Mengen. Weiter wurden knapp 159'000 Tonnen Ausbauasphalt mit PAK-Gehalten <250 ppm von den BSA angenommen, was einem Anteil von 25% entspricht. Der Strassenaufbruch ist mit 21'600 Tonnen die mengenmässig kleinste Fraktion.

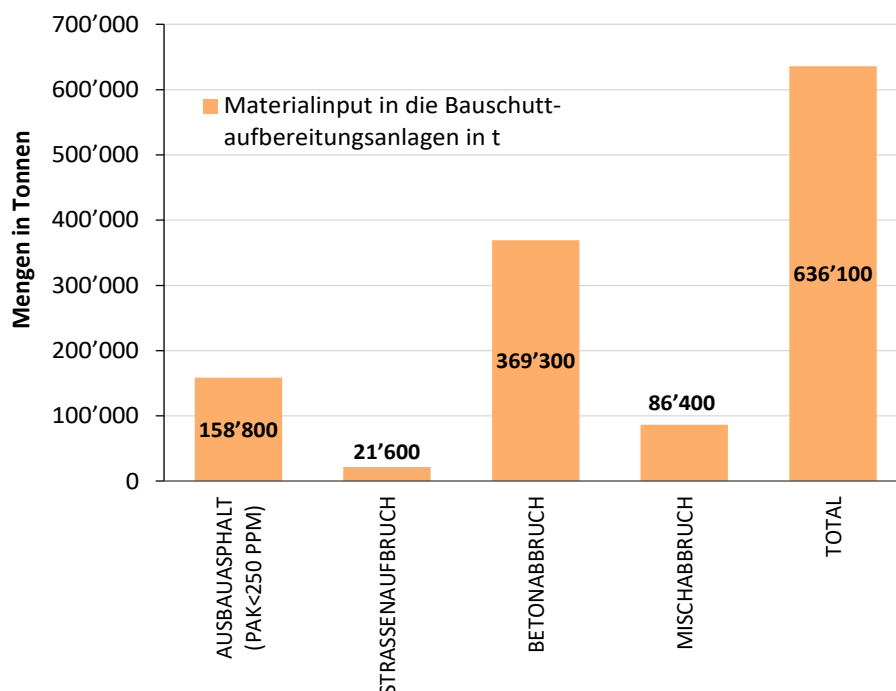


Abbildung 5: Materialinput in die Bauschutt-aufbereitungsanlagen im Jahr 2018. Angaben in Tonnen.

¹ Datenerfassungstool des arv Baustoffrecycling Schweiz

² Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie

³ Datenerfassungstool des FSKB

3.4 Materialoutput und Verwertungswege der RC-Gesteinskörnungen im Jahr 2018

Der Materialoutput aus den Bauschutt-aufbereitungsanlagen im Kanton Luzern liegt mit 684'000 Tonnen um knapp 50'000 Tonnen höher als der Materialinput (Abbildung 6). Ein Grund hierfür könnte der Abbau von Lagerbeständen aus dem Vorjahr sein. Viel wahrscheinlicher ist jedoch, dass auch im Kanton Luzern für die Produktion von RC-Kiessanden A, B und P Primärkies verwendet wird. Die Anteile an Asphalt- und Betongranulaten im RC-Kiessand A und B dürfen maximal 20% erreichen (siehe Tabelle 1). Der Rest muss aus Kiessand bestehen. Bei einer Produktionsmenge von 80'600 Tonnen RC-Kiessanden A, B und P müssen somit mindestens 64'500 Tonnen primärer Kiessand beigemischt werden. Ein Teil davon wird durch die Aufbereitung von Strassen-aufbruch abgedeckt. Allerdings kann dieser Beitrag maximal 21'600 Tonnen erreichen (siehe Abbildung 5). Somit verbleibt noch immer ein Kiesbedarf von knapp 43'000 Tonnen. Diese Menge entspricht beinahe der Differenz von Output und Input in die BSA. Somit ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass auch im Kanton Luzern Kiessand für die Produktion von RC-Kiessand A, B und P verwendet wird, obwohl dies gemäss der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle nicht erlaubt ist. Die BSA-Betreiber wissen dies auch, deshalb wird die zugegebene Kiesmenge in den meisten Fällen bei der Materialerfassung nicht deklariert.

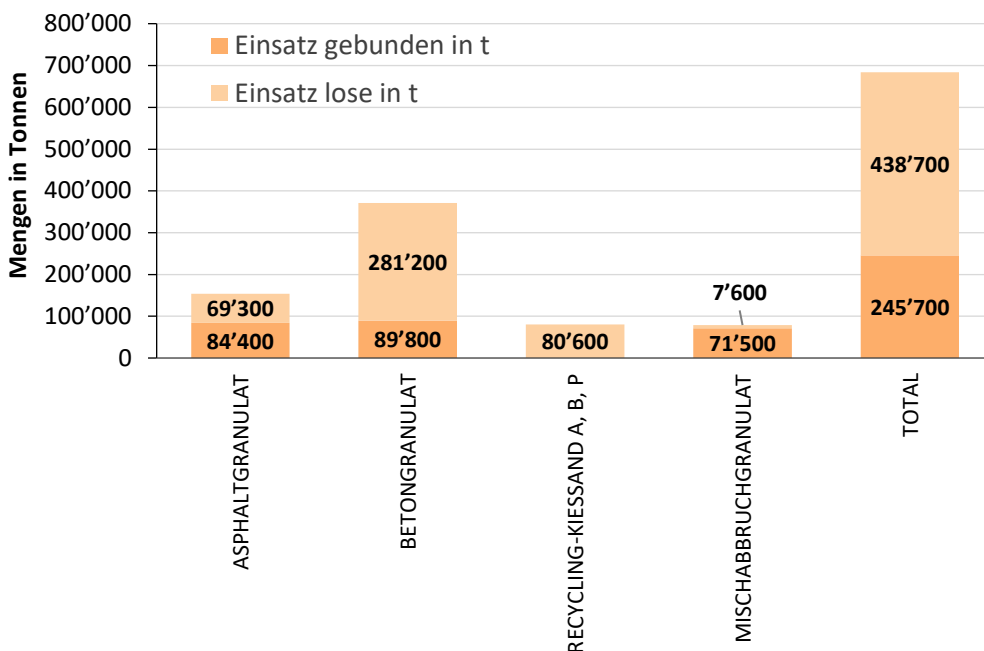


Abbildung 6: Einsatz von RC-Granulaten in die losen und gebundenen Anwendungen. Bezugsjahr 2018, Angaben in Tonnen.

Die Analyse der Verwertungswege der produzierten RC-Gesteinskörnungen liefern wichtige Informationen hinsichtlich des losen und gebundenen Einsatzes (Abbildung 6).

Beton- und Mischabbruchgranulate

Im Kanton Luzern wurden im Jahr 2018 371'000 Tonnen Betongranulate und rund 79'000 Tonnen Mischabbruchgranulate produziert. Rund 90% der Mischabbruchgranulate gelangten vor allem in den Magerbeton und somit in eine gebundene Anwendung. Die restlichen 7'600 Tonnen wurden

lose unter einer Deckschicht eingebaut. Der Absatzmarkt wird für die lose Anwendung aus verschiedenen Gründen, welche im Kapitel 6 erläutert werden, künftig begrenzt sein. Bei den Betongranulaten sieht dies anders aus. Hier werden 75% oder etwas mehr als 281'000 Tonnen in loser Form eingesetzt. Die restlichen 25% werden gebunden im Mager- und Konstruktionsbeton als Zuschlagstoffe verwendet. Wie sich noch zeigen wird, besteht insbesondere bei der Anwendung «Konstruktionsbeton» noch ein erhebliches Absatzpotenzial.

Asphaltgranulatgemische

Rund 55% bzw. 84'400 Tonnen der produzierten Asphaltgranulatgemische wurden im Jahr 2018 der Mischgutproduktion zugeführt. Weitere 69'300 Tonnen gelangten in den losen Einsatz. Es ist fraglich, ob das Absatzpotenzial für den losen Einsatz auch künftig noch gegeben ist. Diese Aussage wird auch durch die vom BAFU in Auftrag gegebene Studie zur Modellierung der Asphaltflüsse in der Schweiz (BAFU, 2020) gestützt. Entgegen der im ZUDK-Merkblatt beschriebenen Angaben wird zudem mit Blick auf die in Erarbeitung stehenden Vollzugshilfe kein loser Einsatz von Asphaltgranulat ohne Deckschicht mehr propagiert (vgl. auch Verwendungsempfehlungen des ARV/FSKB).

Recycling-Kiessand A, B, P

Wie bereits oben beschrieben, gelangen die Recycling-Kiessande A, B und P zu 100% in den losen Einsatz. Der grösste Teil davon dürfte dem Strassen- und Wegebau zugeführt worden sein.

Im Jahr 2018 wurden knapp 36% der RC-Gesteinskörnungen gebunden und 64% lose eingesetzt. Der gebundene Einsatz sollte künftig weiter zunehmen, weil in diesen Anwendungen genügend Absatzpotenzial vorhanden ist. Es ist davon auszugehen, dass die neue Vollzugshilfe ein Verbot von Recycling-Kiessand A mit sich bringen wird.

3.5 Deponierte mineralischen Bauabfälle

Im Kanton Luzern und in dessen Nachbarkantonen werden erhebliche Mengen an mineralischen Rückbaumaterialien in Deponien des Typs B abgelagert. Bisher war nicht bekannt, welche Mengen davon grundsätzlich verwertbar wären. Aus diesem Grund haben die Umweltfachstellen der Zentralschweizer Kantone Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz, Uri und Zug in einem Projekt die Verwertbarkeit von in Deponien abgelagerten mineralischen Rückbau- und Aushubmaterialien untersuchen lassen (Rubli, 2020). Im Kanton Luzern wurden im Zeitraum 2017 - 2019 beispielsweise 31'000 bis 58'000 Tonnen Mischabbruch in Deponien des Typs B abgelagert (Abbildung 7). Zudem wurden im Mittel jährlich rund 77'000 Tonnen «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle» abgelagert. Die abgelagerten Mengen nahmen bei beiden Fraktionen im Betrachtungszeitraum tendenziell zu. Das Verwertungspotenzial ist beträchtlich: Falls die Materialtrennung auf der Baustelle verbessert wird, könnten geschätzte 30'000 bis 50'000 Tonnen Mischabbruch aufbereitet und in den Baustoffkreislauf zurückgeführt werden.

Weitere wichtige Fraktionen mit erheblichem Verwertungspotenzial sind die «schwach und wenig verschmutzten Aushub- und Ausbruchmaterialien». Würden diese Aushubfraktionen künftig aufbereitet, liessen sich bis zu 60'000 Tonnen Kies und Sand pro Jahr zurückgewinnen.

Da erhebliche Mengen an Mischabbruch vor allem in die Deponie Rotzloch im Kanton Nidwalden exportiert werden (Abbildung 8), liegt das Verwertungspotenzial bei dieser Fraktion noch etwas höher. Insgesamt liegt der Anteil des Kantons Luzern am gesamten abgelagerten Mischabbruch in der Zentralschweiz bei etwas mehr als 50%. Gleiches gilt im Grundsatz für die schwach und wenig verschmutzten Aushub- und Ausbruchmaterialien. Auch hier liegen die Anteile des Kantons Luzern im Bereich von 50 – 60 %. Sollten im Kanton Luzern Massnahmen im Bereich der Verwertung dieser Materialien umgesetzt werden, hat dies entsprechende Auswirkungen auf die Nachbarkantone, insbesondere auf die Deponie im Kanton Nidwalden.

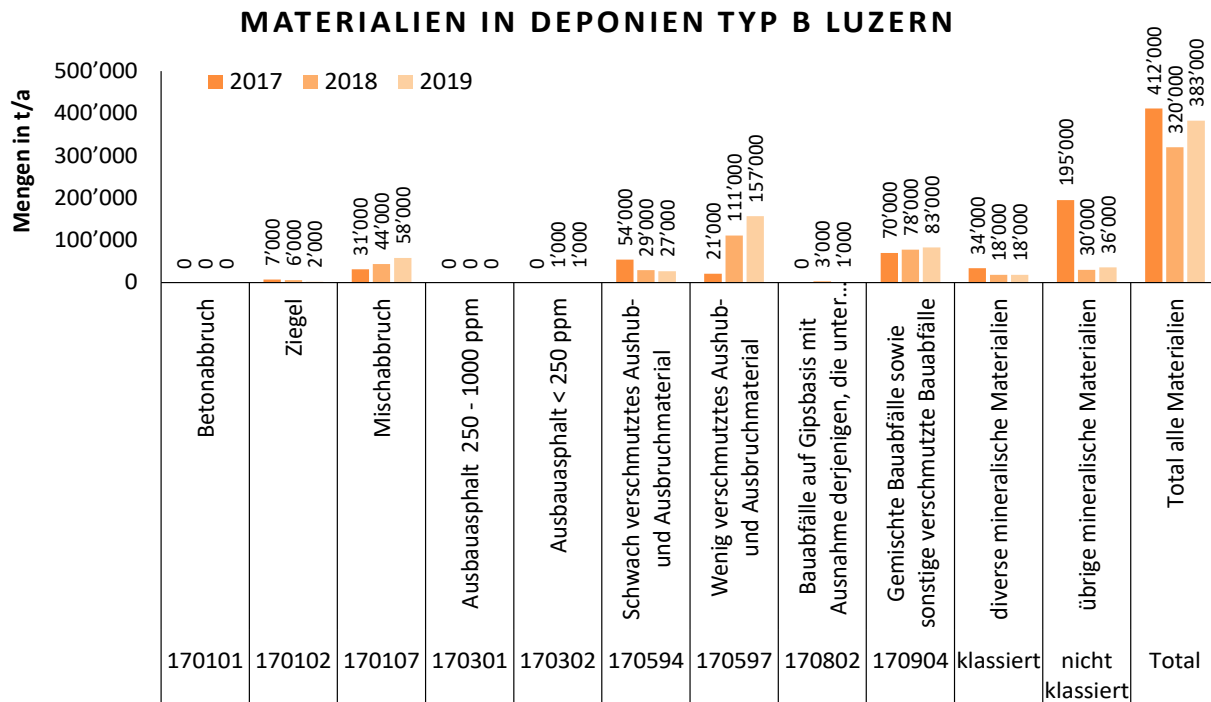
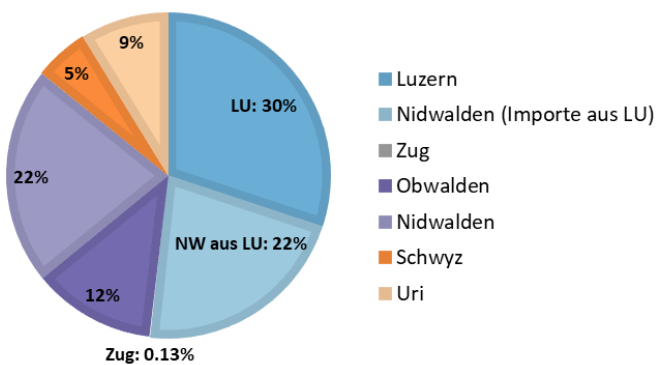


Abbildung 7: In Deponien des Typs B abgelagerte mineralische Fraktionen im Zeitraum 2017 bis 2019 im Kanton Luzern. Werte gerundet auf 1'000 Tonnen.

Mischabbruchmengen und Anteile in Deponien Typ B (Mittelwert 2017-2019: 147'000 t/a)



Mengen und Anteile schwach und wenigverschm. Aushub in Deponien Typ B (Mittelwert 2017-2019: 240'000 t/a)

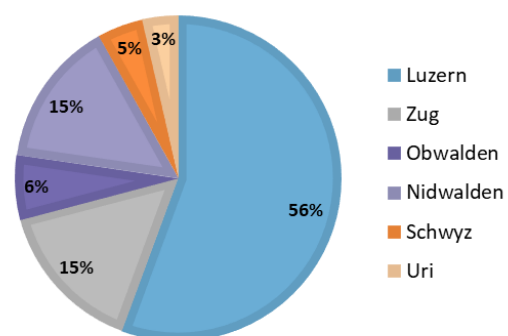


Abbildung 8: Verteilung der in den Deponien des Typs B abgelagerten Mischabbruchmengen sowie der Mengen an schwach und wenig verschmutztem Aushub (Mittelwerte der Jahre 2017 – 2019) in den Zentralschweizer Kantonen.

3.6 Entwicklung Materialmengen im Zeitraum 2007 - 2018

Um die Entwicklung der Materialmengen für den Zeitraum 2007 – 2018 aufzeigen zu können, wurden die Daten des uwe, des ARV und FSKB ausgewertet. In der Abbildung 9 ist die abgeschätzte Entwicklung des Materialinputs zwischen 2007 und 2018 für die vier relevantesten mineralischen Bauabfallfraktionen dargestellt. Die Abschätzungen basieren auf den zur Verfügung stehenden Materialoutputdaten der oben erwähnten Datenquellen.

Das Total der in eine Aufbereitungsanlage gelangten mineralischen Rückbaumaterialien hat sich von 379'000 Tonnen im Jahr 2007 auf etwas mehr als 636'000 Tonnen im Jahr 2018 erhöht. Der Anstieg dürfe einerseits auf die Zunahme der erfassten Bauschutttaufbereitungsanlagen in diesem Zeitraum zurückzuführen sein. Andererseits dürfte die verstärkte Rückbautätigkeit im Hochbau für einen Teil der Zunahme verantwortlich sein. Dies wird ersichtlich bei der Betrachtung der Entwicklung der einzelnen Fraktionen. Während sich die Beton- und Mischabbruchmengen im betrachteten Zeitraum in etwa verdoppelt haben, nahm die Ausbauasphaltmenge nur leicht zu. Der Strassenaufbruch bewegt sich hingegen auf relativ konstantem Niveau oder nimmt bei einer relativen Betrachtung tendenziell ab. Der Betonabbruch beansprucht in etwa die Hälfte der anfallenden mineralischen Rückbaumaterialien, gefolgt von Ausbauasphalt und Mischabbruch.

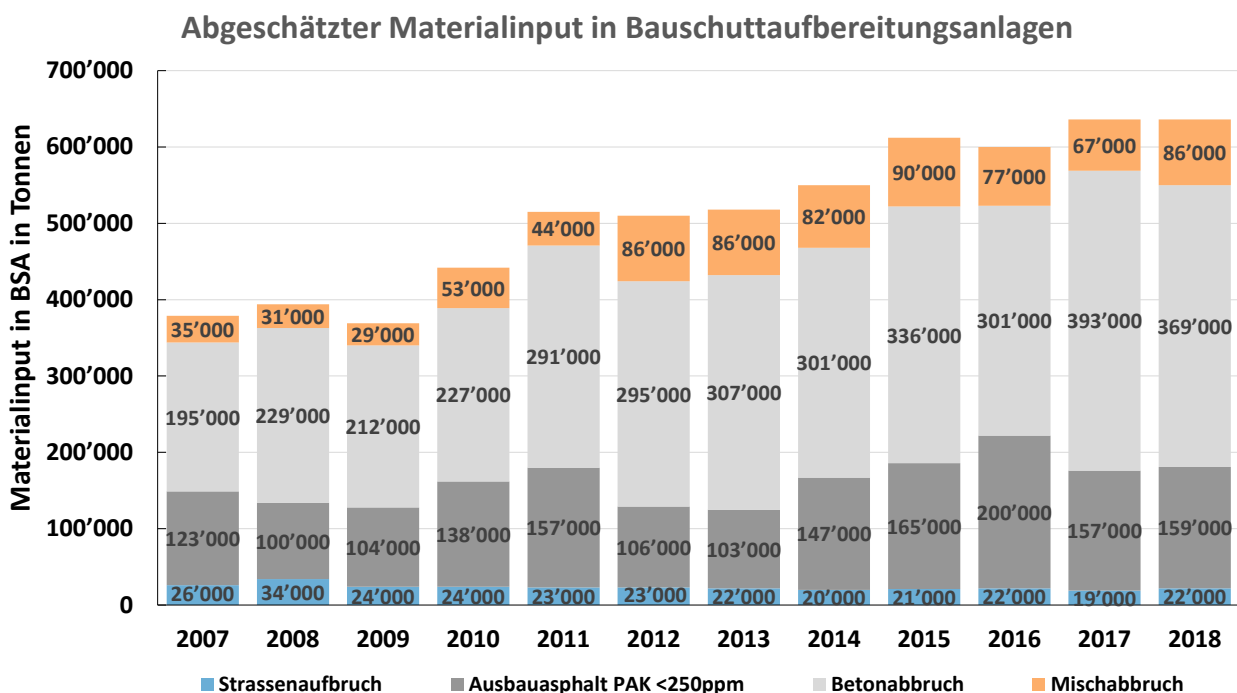


Abbildung 9: Abgeschätzter Materialinput in die Bauschutttaufbereitungsanlagen des Kantons Luzern im Zeitraum 2007 – 2018. Angaben in Tonnen, auf tausend Tonnen gerundet.

Die Entwicklung des Materialinputs hat entsprechende Auswirkungen auf den Materialoutput aus den Bauschutttaufbereitungsanlagen (Abbildung 10). Im Grundsatz verläuft die Entwicklung der Materialmengen analog dem Materialinput, da die mineralischen Fraktionen bis auf die RC-Kies-sande nicht vermischt werden. Die Mengen der Outputfraktion «Kiessand A, B und P» sind im Vergleich zum Materialinput (Strassenaufbruch und teilweise Betonabbruch und Ausbauasphalt)

deutlich höher. Dies ist nicht nur auf die obengenannte Vermischung der Fraktionen zurückzuführen, sondern vor allem auf die Beimengung von primärer Gesteinskörnung. Aus diesem Grund liegt der totale Output jeweils höher als der Materialinput. So nahm der Materialoutput aus den Bauschuttzubereitungsanlagen in Zeitraum von 2007 bis 2018 von 449'000 Tonnen im Jahr 2007 auf etwas mehr als 685'000 Tonnen zu.

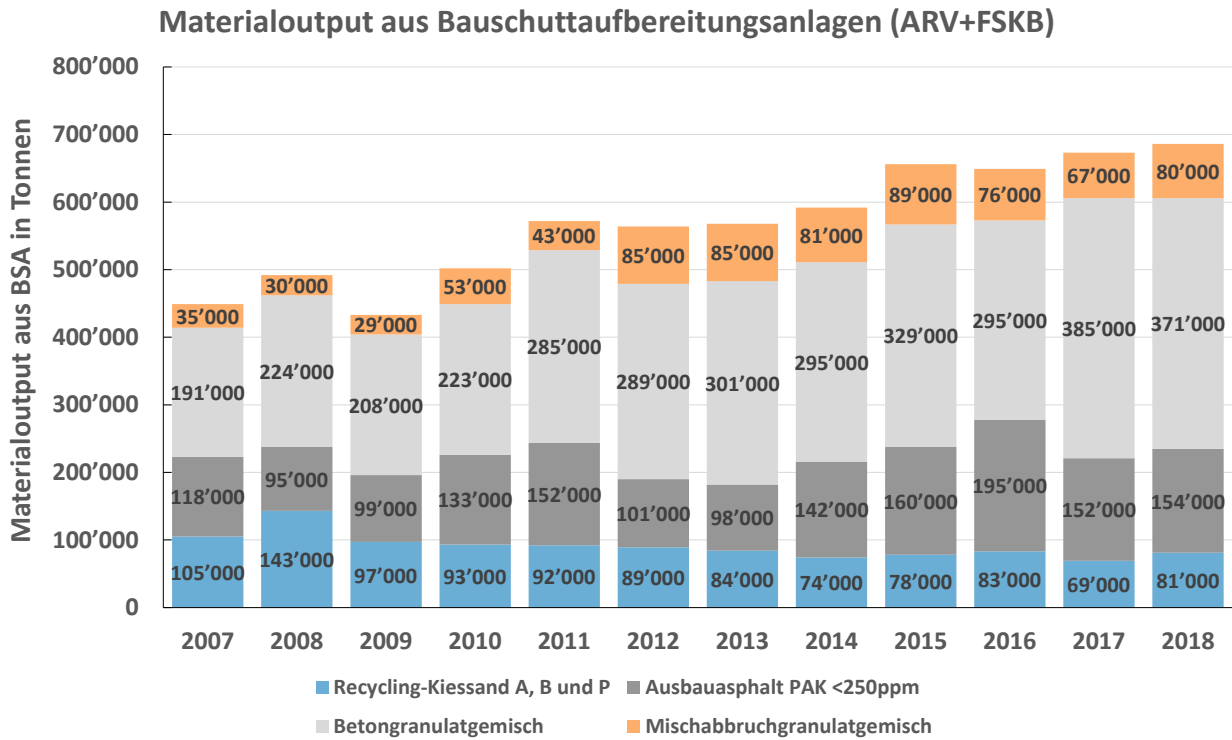


Abbildung 10: Materialoutput aus den Bauschuttzubereitungsanlagen des Kantons Luzern im Zeitraum 2007 – 2018. Angaben in Tonnen, auf tausend Tonnen gerundet.

3.7 Modellierung der Entwicklung der Materialströme bis zum Jahr 2030

Informationen zur künftigen Entwicklung der Materialströme in einer definierten Region bilden eine wesentliche Voraussetzung für die Erstellung einer nachhaltigen Recyclingstrategie. Nur so können strategische Ansätze zur Beeinflussung der Materialströme und Einsatzmöglichkeiten identifiziert und etabliert werden. Das KAR-Modell stellt ein wichtiges Instrument zur Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der RC-Baustoffe dar. Mit diesem lassen sich ausgehend von der Modellierung des Bauwerks die Materialflüsse eines definierten Bezugsjahres abschätzen (Rubli, 2016 und 2018). Die Modellierung der künftigen Baustoffflüsse basieren vor allem auf den Bevölkerungsentwicklungsszenarien des Bundesamtes für Statistik (BFS, 2015) und weiteren Modell-Parametern. Das Modell liefert unter anderem Daten zur Entwicklung der totalen Rückbaumaterialmengen, welche den BSA zugeführt werden. Für die Differenzierung nach den einzelnen Materialkategorien wurde eine separate Abschätzung vorgenommen, die sich jedoch auf die Resultate der Modellierungen des KAR-Modells abstützen.

Für die Abschätzung der künftigen Entwicklung der verschiedenen Rückbaumaterialien müssen verschiedene Annahmen getroffen werden. In der Tabelle 4 sind diese zusammengefasst. In der

letzten Spalte der Tabelle ist eine kurze Begründung zu den einzelnen Annahmen bezüglich der gewählten Wachstumsraten aufgeführt. Die Entwicklung der einzelnen Rückbaumaterialfraktionen wurde so modelliert, dass deren Summen möglichst nahe an der Entwicklung des totalen Materialflusses aus dem KAR-Modell liegt (blaue Linie in der Abbildung 11).

Tabelle 4: Annahmen zu den jährlichen Wachstumsraten zur Abschätzung der künftigen Entwicklung der einzelnen Rückbaumaterialmengen, welche in die Bauschutttaufbereitungsanlage gelangen. Werte für das Startjahr 2018 sind auf tausend Tonnen gerundet.

RC-Fraktion	Menge im Jahr 2018 in Tonnen	Jährliche Wachstumsrate in %	Begründung der Annahmen
Betonabbruch	369'000	2.0%	Da Gebäudebestand laufend zunimmt, fällt bei konstanten Rückbau- und Sanierungs-raten laufend mehr Betongranulat an.
Mischabbruch	86'000	0.5%	Die Zusammensetzung der Gebäude veränderte sich im Verlauf der Zeit. Aus diesem Grund fällt das Wachstum beim Mischabbruch im Vergleich zum Betonabbruch geringer aus.
Ausbauasphalt	159'000	-0.5%	Es wird angenommen, dass aufgrund der baulichen Verdichtung etwas weniger Gemeindestrassen gebaut werden müssen, Daraus resultiert eine Abnahme der Neubauraten von jährlich -0.5%.
Strassenaufbruch	22'000	-0.5%	Hier wird die gleiche Annahme wie beim Ausbauasphalt getroffen.

Die mit diesen Annahmen modellierte Entwicklung des Materialinputs in die Bauschuttufbereitungsanlagen im Kanton Luzern für den Zeitraum 2010 – 2030 ist in der Abbildung 11 für die einzelnen Rückbaumaterialien (Säulen) und gemäss KAR-Modell (Linie) dargestellt.

Bei den Säulen für die Jahre 2010 – 2018 handelt es sich um die abgeschätzten Mengen, welche in der Abbildung 9 aufgeführt sind. Die Säulen ab dem Jahr 2019 stellen die modellierte Entwicklung dar. Gut zu erkennen ist, dass im KAR-Modell die totale Menge an Rückbaumaterialien bis 2014 höher liegen. Der Grund hierfür könnte sein, dass bis zum Jahr 2014 nicht alle BSA-Betreiber im Kanton Luzern bei den Inspektionen des ARV und FSKB erfasst wurden.

Die Modellresultate zeigen eine leicht zunehmende Tendenz beim totalen Materialinput bis zum Jahr 2030. Das Wachstum ist vor allem auf die Zunahme der Betonabbruchmengen zurückzuführen. Hier wird, wie in der Tabelle 4 aufgeführt, von einer jährlichen Wachstumsrate von 2% ausgegangen. Sollte sich diese Entwicklung bestätigen, würde dies bedeuten, dass insbesondere bei dieser gut verwertbaren Fraktion künftig genügend Einsatzmöglichkeiten zur Verfügung stehen müssen.

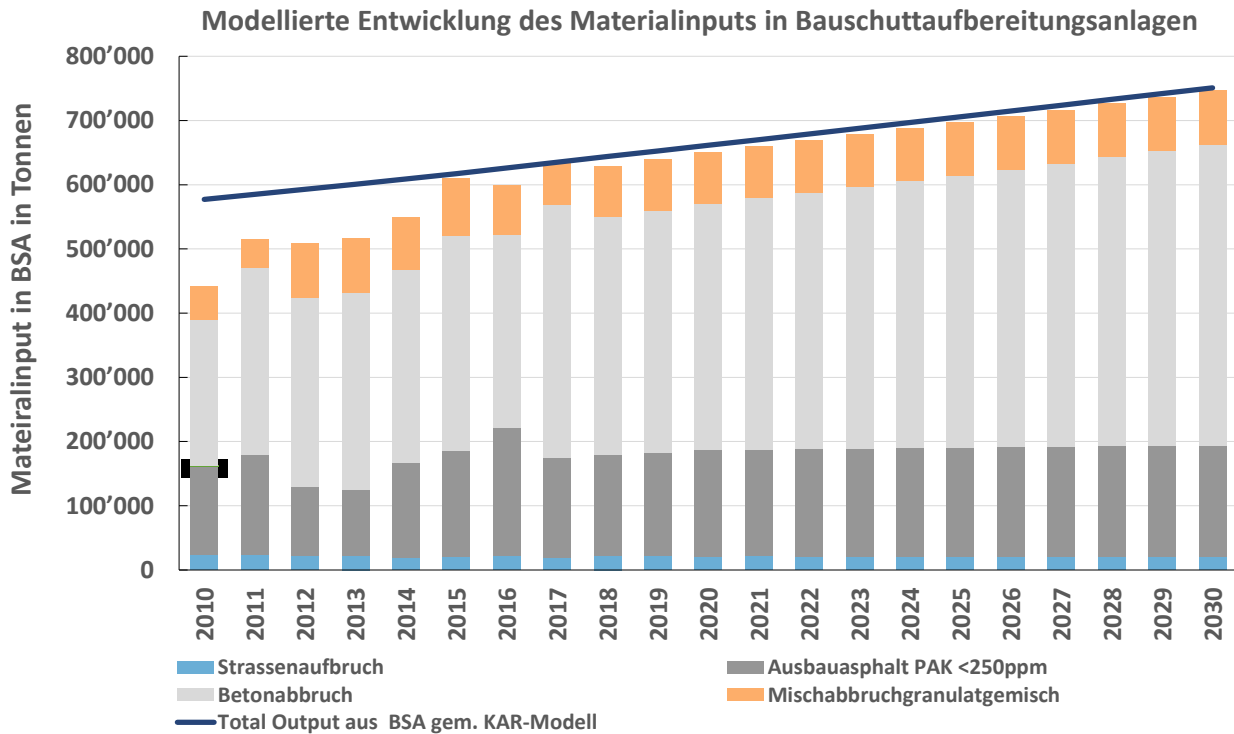


Abbildung 11: Modellierte Entwicklung des Materialinputs in die Bauschutttaufbereitungsanlagen im Kanton Luzern für den Zeitraum 2010 - 2030. Die Daten 2010 – 2018 sind die tatsächlich erfassten Daten. Zeitraum 2019 – 2030 → modellierte Entwicklung. Angaben in Tonnen.

3.8 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Analyse der Materialströme

Die Auswertungen und Analysen der Daten liefern wichtige Erkenntnisse zum Mengengerüst und zur Entwicklung der Materialströme im Kanton Luzern:

Mengengerüst

- Im Kanton Luzern wurden im Jahr 2018 rund 685'000 Tonnen mineralische RC-Baustoffe produziert.
- Rund 90% der Mischabbruchgranulate (71'500 Tonnen) und 25% der Betongranulate (89'800 Tonnen) werden gebunden eingesetzt. Findet eine verbesserte Materialtrennung beim Rückbau statt, können zusätzlich bis zu 50'000 Tonnen Mischabbruchgranulate pro Jahr hergestellt werden.
- Bei den Asphaltgranulaten liegt der Anteil, welcher gebunden eingesetzt wird, bei rund 55% bzw. 84'400 Tonnen. Der Rest, das heisst 69'300 Tonnen, wird lose eingesetzt.
- Zur Herstellung von 80'600 Tonnen Kiessand A, B und P werden geschätzte 43'000 Tonnen primärer Kies und Sand beigemischt.
- Insgesamt wurden im Jahr 2018 somit knapp 36% der RC-Gesteinskörnungen gebunden und 64% lose eingesetzt.

Entwicklung der Materialströme zwischen 2007 und 2018

- Der gesamte Materialinput in die Bauschutttaufbereitungsanlagen ist zwischen 2007 und 2018 von 379'000 auf 636'000 Tonnen angestiegen. Diese Zunahme wirkt sich entsprechend auf den Materialoutput aus.

- Vor allem beim Beton- und Mischabbruch ist eine deutliche Zunahme zu verzeichnen, was vor allem auf eine Intensivierung der Rückbautätigkeit in diesem Zeitraum hindeutet.
- Deshalb verdoppelte sich der Ausstoss an Beton- und Mischabbruchgranulat aus den BSA in diesem Zeitraum nahezu.
- Auch der Output an Asphaltgranulaten nahm leicht zu.
- Die Mengen an Kiessanden A, B und P nimmt hingegen leicht ab. Diese Tendenz dürfte sich künftig eher verschärfen, weil die Beimengung von primärem Kies zur Produktion von RC-Kiessanden bereits heute nicht erlaubt ist und das BAFU in der noch zu erarbeitenden Vollzughilfe voraussichtlich entsprechende Massnahmen entwickeln wird.

Modellierte Entwicklung der Materialströme bis 2030

- Die Rückbaumaterialströme in die BSA werden gemäss der Modellierung auch künftig weiter von 636'000 Tonnen (2018) bis auf knapp 750'000 Tonnen (2030) ansteigen.
- Für die Zunahme ist hauptsächlich das Wachstum der Betonabbruchmenge verantwortlich, welche wiederum mit der Rückbaurate in direktem Zusammenhang stehen.
- Sollte sich diese Entwicklung bestätigen, müssten vor allem genügend Einsatzmöglichkeiten zur Verwertung der qualitativ hochwertigen Betongranulate geschaffen werden.

Zusätzliche Materialströme bis 2030

- In der Entwicklung noch nicht enthalten ist die **zusätzliche Mischabbruchmenge**, welche durch eine bessere Materialtrennung beim Rückbau in die Verwertung gelangen kann. Diese könnte jährlich **bis zu 50'000 Tonnen** erreichen.
- Falls Aushubwaschanlagen zur Behandlung von **schwach und wenig belastetem Aushubmaterial** erstellt werden, können jährlich bis zu weiteren **50'000 Tonnen Gesteinskörnungen** zurückgewonnen werden. Diese eignen sich vor allem als Zuschlagstoffe im Konstruktionsbeton.

4 Interviews und Situationsanalyse

Um einen Eindruck zu erhalten, vor welchen Problemen und Herausforderungen die verschiedenen Akteure im täglichen Umgang mit den Recyclingbaustoffen stehen, wird nachfolgend eine Situationsanalyse durchgeführt. Dazu wurden Unternehmen aus der RC-Baustoffindustrie sowie Vertreter der Tief- und Hochbauämter des Kantons Luzern zur Thematik des Baustoffrecyclings im Kanton befragt. Im Zentrum der Analyse steht dabei die Frage, in welchen Bereichen des heutigen Systems «Baustoffrecycling» Hemmnisse bestehen. Sind diese identifiziert, lassen sich unter Einbezug der Informationen zu den Materialströmen mögliche Handlungsoptionen aufzeigen und Massnahmen ableiten.

4.1 Befragung von Unternehmen aus der RC-Baustoffproduktion

Insgesamt wurden fünf grössere Unternehmen bzw. Unternehmensgruppen interviewt, welche Dienstleistungen und Produkte sowohl im Hoch- als auch im Tiefbaubereich im Kanton Luzern anbieten und einsetzen. Der Grossteil der befragten Unternehmen verfügt sowohl über Rückbauabteilungen und Bauschuttzubereitungsanlagen als auch über Deponien des Typs B. Um die RC-Produkte absetzen zu können, betreiben sämtliche der befragten Unternehmen Beton- und/oder Mischgutanlagen. Sowohl die Grösse der Unternehmen als auch deren breite Palette der angebotenen Dienstleistungen ermöglichen es, eine gute Übersicht zur Situation im Bereich des Recyclings von mineralischen Rückbaumaterialien im Kanton Luzern zu erhalten.

Rückbau

- Grosse Rückbauobjekte: Vor dem Rückbau findet jeweils die Schadstoffsanierung und anschliessend die Entkernung statt. Danach erfolgt der Rückbau der mineralischen Bausubstanz. Misch- und Betonabbruch werden teilweise vor Ort gebrochen und wenn möglich der Verwertung zugeführt.
- Mittलगrosse und kleine Rückbauobjekte: Einige Rückbauunternehmen nehmen in letzter Zeit vermehrt keine Entkernung mehr vor. Es wird alles miteinander abgebrochen, was bedeutet, dass auf der Baustelle keine Materialtrennung mehr stattfindet. Dies ist nicht VVEA-konform und führt dazu, dass mehr Abbruchmaterial deponiert werden muss. Es stellt sich hier die Frage, ob dieses Material überhaupt in einer Deponie des Typs B abgelagert werden darf.

Bauschuttzubereitung

- Die meisten Unternehmen verfügen über trockene Zubereitungsverfahren (Brecher, Magnetabscheider, Siebanlagen und teilweise Windsichter). Die Feinfraktion im Mischabbruch wird nur teilweise abgetrennt. Oftmals gelangt diese mit den Mischabbruchgranulaten in den Magerbeton.
- Ein Teil der Unternehmen plant Nasszubereitungsanlagen für die Mischabbruchzubereitung, womit die Qualität der Mischabbruchgranulate verbessert und die Verwertungsquote erhöht werden dürfte.
- Die Definition von Mischabbruch ist innerhalb der Branche teilweise nicht klar: Was ist Mischabbruch und was ist «Inertstoff»? Der Grund hierfür ist vor allem die oben erwähnte, fehlende Entkernung bei kleineren und mittelgrossen Rückbauobjekten. Da ein solches

Vorgehen nicht VVEA-konform ist, resultiert eine mineralische Fraktion, die es gemäss VVEA gar nicht mehr geben sollte!

RC-Baustoffproduktion und -absatz

- Der Absatz von Mischabbruch- und Betonabbruchgranulaten ist gemäss den Aussagen der befragten Unternehmen kaum ein Problem. *Bemerkung: Ein Grund hierfür ist, dass eine erhebliche Menge an verwertbarem Mischabbruch heute noch deponiert wird.*
- Mischabbruchgranulate gehen vor allem in den Magerbeton. In die losen Anwendungen gelangt nur ein kleiner Anteil.
- Betongranulate werden heute grösstenteils lose eingesetzt. Die Unternehmen beginnen jedoch, die Betongranulate vermehrt im Konstruktionsbeton einzusetzen.
- Einige Werke wurden erst seit Kurzem für die RC-Betonproduktion umgerüstet, deshalb ist in den kommenden Jahren mit steigenden Absatzmengen bei den RC-Konstruktionsbetonen zu rechnen.
- Der vollständige Absatz der Asphaltgranulate wird immer schwieriger. Schon heute beträgt der durchschnittliche RC-Anteil im produzierten Asphalt rund 40%.
- Höhere RC-Anteile in der Asphaltproduktion sind derzeit kaum mehr möglich, weil es die Normen nicht zulassen. Aus technischer Sicht wären jedoch heute deutlich höhere Anteile möglich.
- Das Deponieverbot für PAK-belasteten Ausbausphalt ab dem Jahr 2026 wird die Situation weiter verschärfen.

Feststellungen und Vorschläge der Unternehmen

Hemmnisse

- Seitens der Unternehmen wird festgestellt, dass die Planer/Bauingenieure, welche die Ausschreibungsunterlagen erstellen, sich bezüglich der Ausschreibung von RC-Konstruktionsbetonen sehr zurückhaltend verhalten. *So wird der Einsatz von RC-Beton teilweise vom Bauherrn gefordert, die Bauingenieure führen ihn dann aber später bei der Ausschreibung nicht auf.*
- Alkali-Aggregat-Reaktion-Test (AAR-P2-Test) wird immer öfter gefordert. Damit kann kein RC-Beton eingesetzt werden, weil der Herkunftsnachweis beim Beton- oder Mischabbruchgranulat nicht möglich ist → Der AAR-P2-Test ist ein Killerkriterium gegen den Einsatz von RC-Konstruktionsbeton.

Vorschläge und Wünsche der Unternehmen

- Die Branche muss dafür sorgen, dass die Qualität der Rückbaustoffe hoch ist.
- Es sollten Auflagen bei Ersatzneubauten gemacht werden, dass RC-Baustoffe im Ersatzneubau eingesetzt werden müssen.
- Bei Grossprojekten, im Rahmen derer Objekte zurückgebaut werden, sollte schon sehr früh in der Planungsphase die Thematik des Recyclings bzw. des Materialmanagements einfließen und entsprechende Auflagen oder Vorgaben definiert werden.
- Bauherren bzw. Planer sollten Auflagen bezüglich Verwertungsquoten machen.
- Normen und Regeln sollten schneller angepasst werden.
- Die Verbände (ARV und FSKB) sollten Textblöcke zur Ausschreibung von RC-Betonen zur Verfügung stellen bzw. veröffentlichen. Diese unterstützen die Planer bei der Ausschreibung.
- Im NPK (Normpositionen Katalog) müssten klassifizierte RC-Betone priorisiert werden.

4.2 Befragung von Vertretern der kantonalen Hoch- und Tiefbauämter

Zusätzlich zu den Befragungen der Bauunternehmungen wurden zwei Vertreter der Dienststelle «Verkehr und Infrastruktur» (vif) und ein Vertreter der Dienststelle «Immobilien» (Hochbau) interviewt, um die Nachfrageseite nach RC-Baustoffen in der Analyse abdecken zu können.

Dienststellen Verkehr und Infrastruktur – vif (Tiefbau)

- RC-Baustoffe wie RC-Kiessand A und B, Asphalt-, Beton- und Mischabbruchgranulate sowie EOS-Granulate können in der Fundation in loser Form eingesetzt werden, falls die Vorgaben in den **Projektierungs- und Ausführungsbestimmungen 731.206** eingehalten werden.
- Mit RC-Kiessand B oder Betongranulaten können die technischen Vorgaben am ehesten eingehalten werden.
- Asphaltgranulate werden in Asphaltbelägen zu Anteilen gemäss **Walzasphalt-Zulassung** (www.walzasphalt-zulassung.ch) eingesetzt.
- Beton- und Mischabbruchgranulate können in gebundene Anwendungen gehen. Allerdings ausschliesslich in Magerbetonanwendungen wie beispielsweise Beton für Sickerleitungen, Schachtsohlen, usw. Für Beton nach Eigenschaften ist ein **AAR-P2-Test** notwendig, was den Einsatz von RC-Beton verunmöglicht.
- Grundsätzlich werden primäre Baustoffe ausgeschrieben. Beim Einsatz von RC-Baustoffen sind die entsprechenden Nachweise zu erbringen (siehe fett markierte Anforderungen oben).
- Das vif lässt sich auf keine Versuche zum Einsatz von RC-Baustoffen ein, welche über den in den Normen definierten Anteilen liegen.
- Das vif könnte prüfen, ob beim Neuasphalt bzw. Walzasphalt Mindest-RC-Asphaltgranulatanteile gefordert werden könnten.
- Das vif weist darauf hin, dass teilweise die Zertifikate, Konformitätserklärungen, Prüfnachweise usw. nicht, zu spät oder fehlerhaft (Gültigkeitsdatum abgelaufen, falsches Produkt usw.) von den Unternehmen geliefert werden. Dies trifft jedoch insbesondere auch auf die Lieferanten von primären Baustoffen zu.

Dienststelle Immobilien

- In §26 des Kantonalen Energiegesetz (KEng) sowie §21 der Kantonalen Energieverordnung (KEngV) sind die Grundsätze, Ziele und Standards zur Umsetzung der Vorbildfunktion bei den kantonalen Bauten gesetzlich festgelegt.
- Für Bauten des Kantons gelten folgende Vorgaben: Für Neubauten gilt der Minergie-Standard mit dem Zusatz P oder A, der Standard nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) oder der Zielwert der Schweizer Norm SN 520 380/1 (Ausgabe 2016) zum Heizwärmebedarf.
- Für Sanierungen gilt der Minergie-Standard oder der Neubaugrenzwert der Schweizer Norm SN 520 380/1 (Ausgabe 2016) zum Heizwärmebedarf.
- Des Weiteren sind folgende Grundsätze zu beachten: **Bei Neubauten und Sanierungen ist der Minergie Zusatz Eco anzuwenden.** Dies bedeutet, dass bei Bauprojekten des Kantons zwingend RC-Konstruktionsbeton eingesetzt werden muss.

- Die beauftragten Fachplaner müssen entsprechendes Know-how mitbringen oder aufbauen.
- Die Überprüfung, ob während den Projektausführungen tatsächlich RC-Beton eingesetzt wird, erfolgt projektspezifisch im Rahmen der Projektdefinition / Zielsetzung innerhalb der Projektierungs- und Realisierungsphase.
- Mittlerweile gibt es im Kanton Luzern genügend Betonwerke, welche RC-Beton anbieten. Damit können Neubauten und Sanierungen in beinahe jedem Fall mit RC-Beton realisiert werden.
- Die nächsten grösseren Bauvorhaben, welche auf die mögliche Umsetzung gemäss den oben aufgeführten Nachhaltigkeitsstandards überprüft werden, sind:
- Zentralverwaltung Zentrale Verwaltung am Seetalplatz Emmen
 - Zentrale Verwaltung am Seetalplatz Emmen
 - Erweiterung Kantonsschule Sursee
 - Campus Horw

5 Hemmnisse beim heutigen Baustoffrecycling und Lösungsansätze

Die Befragung der Unternehmen zeigt, dass sich im Kanton Luzern in der jüngsten Vergangenheit, insbesondere in Bezug auf den Ausbau von Produktionskapazitäten für die Herstellung von RC-Konstruktionsbeton, einiges getan hat. Diese Entwicklung müsste nun durch die Nachfrage nach diesen RC-Produkten gestützt werden.

Welches sind nun die grössten Hemmnisse nicht nur beim Einsatz von RC-Beton, sondern auch ganz allgemein beim Einsatz der mineralischen Rückbaustoffe? Auf Basis der geführten Interviews lassen sich die nachfolgenden Hemmnisse identifizieren, welche hier als Thesen zur Diskussion gestellt werden sollen:

THESE 1: Mangelhafte Produktqualitäten führen zu einem negativen Image der mineralischen Rückbaustoffe, insbesondere von Mischabbruchgranulaten

Den mineralischen Rückbaustoffen, insbesondere dem Mischabbruchgranulat, haftet noch immer das Image eines Abfalls an und nicht jenes eines wertvollen Baustoffes. Die Qualität der angebotenen Mischabbruchgranulate bzw. der Anwendungen mit Mischabbruchgranulaten (z.B. Magerbeton) ist sehr unterschiedlich. Die folgenden Gründe sind dafür verantwortlich:

- Wie erwähnt, wird vor dem Rückbau teilweise auf die Entkernung verzichtet. Es findet somit eine **ungenügende Materialtrennung auf der Baustelle** statt. Dies führt einerseits dazu, dass mehr Rückbaumaterial deponiert werden muss. Andererseits verschlechtert sich die Qualität des Mischabbruchs bzw. der Mischabbruchgranulate.
- Die ungenügende Materialtrennung auf der Baustelle führt zudem dazu, dass sogar innerhalb der Branche nicht mehr klar ist, **welche Eigenschaften der aufzubereitende Mischabbruch aufweist und welche Qualitätsanforderung dieser erfüllen soll**. Unter diesen Umständen ist eine Vermarktung der Produkte entsprechend schwierig.
- Die **Feinfraktion bei der Mischabbruchaufbereitung wird oftmals nicht abgetrennt**, was sich ebenfalls negativ auf das Image der Mischabbruchgranulate auswirkt. Zudem geht damit eine potenzielle Umweltgefährdung einher.
- Das Bekenntnis der im Kanton Luzern tätigen Rückbau- und Aufbereitungsunternehmen, hochwertige Rückbaustoffe herzustellen, ist heute noch zu wenig erkennbar. Höhere Qualitätsstandards beim Rückbau und bei der Produktion von Rückbaustoffen sollten verbandsintern definiert, kontrolliert und kommuniziert werden.

THESE 2: Mangelhaftes Wissen der Akteure und beschränkter Wissenstransfer behindert den fachgerechten Einsatz von Recyclingbaustoffen

- **Mangelndes Wissen** zur Produktion und zu den Qualitätsanforderungen von mineralischen Rückbaustoffen bei den Bestellern aber auch bei den Produzenten **können zu Vorurteilen bei den Bestellern führen**.
- Der **fachliche Austausch zwischen der Baustoffindustrie und den Hoch- und Tiefbauämtern bzw. den privaten Bauherren und Planern** fand im Kanton Luzern bisher nur in beschränktem Mass statt. Das wird durch einen verstärkten Informations- und Wissensaustausch mit den Mischgutproduzenten nach.

- Auch im Bereich der **RC-Betonproduktion** könnte über einen verstärkten Wissenstransfer und Informationsaustausch zwischen den Hoch- und Tiefbauämtern, den privaten Bauherren und den Produzenten, das Vertrauen gestärkt werden und somit die Nachfrage nach RC-Beton angekurbelt werden.
- Die Ausschreibung von RC-Baustoffen erfolgt durch die Planer. Es ist deshalb von grosser Bedeutung, dass sich diese das fachliche Wissen aneignen können. Die Produzenten sollten deshalb den Planern beispielsweise **spezifische Textblöcke zur Ausschreibung von RC-Betonen** nach Eigenschaften zur Verfügung stellen.
- Die Planer wie auch die ausführenden Unternehmungen müssen die **Einschränkungen** für den Einsatz von RC-Baustoffen (insbesondere zur Vermeidung von Grundwasserbelastungen) kennen und berücksichtigen, damit ein mit den Umweltrichtlinien konformer Einsatz gewährleistet werden kann.

THESE 3: Fehlende Qualitätsnachweise und unspezifische Ausschreibung von RC-Baustoffen schaffen Unsicherheit im Umgang mit Recyclingbaustoffen

- Die Qualitätsnachweise werden den öffentlichen Bauherren teilweise nicht, zu spät oder fehlerhaft (Gültigkeitsdatum abgelaufen, falsches Produkt, usw.) eingereicht. Dies gilt nicht nur für die RC-Baustoffe, sondern auch für den Einbau von primären Baustoffen.
- Nachweise wie Konformitätserklärungen, Zertifikate und Prüfnachweise wie Siebkurven, stoffliche Zusammensetzung, Frostsicherheit sind die Voraussetzung, um Vertrauen bei den Kunden zu schaffen.
- Künftig muss bei öffentlichen Bauprojekten RC-Beton verwendet werden. Die RC-Betonwerke müssen deshalb dafür sorgen, dass entsprechende Konformitätserklärungen für Recyclingbeton vorliegen. In diesen wird bestätigt, dass die RC-Betone den Bestimmungen der SN EN 206 und den Anforderungen des SIA Merkblatts 2030 entsprechen.
- Liegen die Betongranulat- bzw. Backsteingranulatanteile jedoch unterhalb der definierten Mindestanteile, müssen die oben erwähnten Nachweise nicht erbracht werden.
- Für den RC-Asphalt gilt im Grundsatz das gleiche wie beim RC-Beton. Auch hier sind die entsprechenden Normen und Rahmenbedingungen einzuhalten.
- Die Ausschreibung von RC-Produkten sollte möglichst standardisiert sein, damit alle Projektbeteiligten wissen, welche Produkte einzusetzen sind. Beim RC-Konstruktionsbeton sollten neben den gängigen Anforderungen die Mindestanteile an RC-C oder RC-M sowie der Mindestwert beim E-Modul E_{rcm} in den Ausschreibungsunterlagen aufgeführt werden.

THESE 4: Die Vermarktungsaktivität richtet sich zu wenig auf die Qualität aus und fokussiert auf die möglichst kostengünstige Herstellung/Entsorgung bzw. den möglichst kostengünstigen Einsatz von RC-Baustoffen

- Die Unternehmen sollten die potenziellen Kunden möglichst ausführlich **über die Qualität ihrer Produkte informieren**. Zudem können vorhandene Nachweise und Dokumente später vor allfälligen Garantieforderungen der Besteller schützen. Die Unternehmen verringern damit das Haftungsrisiko. Die Konformitätserklärungen und Zertifikate dienen zudem als Qualitätsnachweise.
- Die Unternehmen sollten mittels **guter Referenzen** aufzeigen können, dass sie hochwertige Recyclingbaustoffe produzieren und diese gemäss Anforderungen einbauen können. Fehlen ausreichend gute Referenzprojekte, sind die Auftraggeber entsprechend skeptisch.

- Die oben **aufgeführten Qualitätsnachweise sind vor allem zu Beginn der Produktvermarktung mit Zusatzkosten** verbunden, worunter die Konkurrenzfähigkeit gegenüber den Primärmaterialien leidet. Diese Kosten sind den Einsparungen bei der Substitution von Kies und Sand und den Deponiekosten gegenüberzustellen.

6 Szenarienanalysen zur künftigen Entwicklung der Rückbaustoffe

Die Beschreibung der Hemmnisse im Baustoffrecycling liefert wichtige Grundlagen, um erste Ansatzpunkte für mögliche Massnahmen zu erkennen. Sind zudem Informationen zur künftigen Entwicklung der verschiedenen Rückbaustoffe in Abhängigkeit von zuvor definierten Recyclingstrategien vorhanden, können deren Potenziale aufgezeigt werden. Dazu wurde das bestehende Materialflussmodell zur Beschreibung der Entwicklung des Materialinputs in die BSA erweitert, so dass es möglich ist, die szenarienabhängigen Entwicklungen der Rückbaustoffflüsse zu berechnen und darzustellen. Nachfolgend werden die Modellgrundlagen und die Szenarien kurz beschrieben.

6.1 Beschreibung der Modellgrundlagen und der Szenarien

Das erweiterte Modell basiert auf den modellierten Materialflüssen für den Zeitraum 2018 – 2030, welche in der Abbildung 11 dargestellt sind. Die Entwicklung der Betonabbruch-, Mischabbruch-, Ausbausphalt- und Strassenaufbruchmengen bleibt in allen Szenarien gleich. Was im erweiterten Modell verändert wird, sind die Anteile der aufbereiteten Granulate, welche in die losen oder gebundenen Anwendungen gehen. Für die Szenarienrechnungen können diese Anteile für den Startzeitpunkt (Jahr 2018) und Endzeitpunkt (Jahr 2030) definiert und für diesen Zeitraum linear extrapoliert werden. In der Tabelle 5 sind die Anteile für die Start- und Endzeitpunkte für die beiden Szenarien REFERENZ und GEBUNDEN aufgeführt. Es wird somit davon ausgegangen, dass im Referenzszenario keine Veränderung in Bezug auf die losen und gebundenen Anwendungen stattfindet. Die Anteile basieren auf den im Jahr 2018 erhobenen Daten und weiteren Annahmen.

Tabelle 5: Start- und Endwerte der Anteile der Beton-, Mischabbruch- und Asphaltgranulate in die verschiedenen Anwendungen für die Szenarien REFERENZ und GEBUNDEN.

	Startwerte Anteil in %	Szenario REFERENZ Anteil in %	Szenario GEBUNDEN Anteil in %
Zielformulierung der Anteile in Anwendungen	2018	2030	2030
Anteil Betongranulate lose	70	70	45
Anteil Betongranulate lose in Kiessand B	5	5	0
Anteil Betongranulate gebunden in Konstruktionsbeton	10	10	50
Anteil Betongranulate gebunden in Magerbeton	15	15	5
Total Anteile Betongranulate	100	100	100
Anteil Mischabbruchgranulate lose	10	10	0
Anteil Mischabbruchgranulate gebunden in Konstruktionsbeton	0	0	20
Anteil Mischabbruchgranulate gebunden in Magerbeton	90	90	80
Total Anteile Mischabbruchgranulate	100	100	100
Anteil Asphaltgranulate lose und in Kiessand A	45	45	20
Anteil Asphaltgranulate gebunden in Mischgut oder wenn chemisch-physikalisch behandelt in anderen Anwendungen	55	55	80
Total Anteile Asphaltgranulate	100	100	100

Im zweiten Szenario «GEBUNDEN» wird davon ausgegangen, dass die RC-Granulate bis zum Jahr 2030 vermehrt in die gebundenen Anwendungen gelangen. Die Startwerte in diesem Szenario entsprechen jenen des Szenario REFERENZ. Die Endwerte unterscheiden sich jedoch deutlich.

Insbesondere beim Betonabbruch steigt der Anteil in die gebundene Anwendung «Konstruktionsbeton» von 10% auf 50% an. Das heisst: Im Jahr 2030 gelangen 50% der anfallenden Betongranulate in den Konstruktionsbeton. Wie erwähnt, können mit dem Modell weitere Szenarien gerechnet werden, indem die Endwerte neu definiert werden.

6.2 Indikatoren zur Abbildung und Nachweis der Entwicklung

Das Szenario GEBUNDEN hat zum Ziel, aufzuzeigen, welche Auswirkung eine Recyclingstrategie haben könnte, in der der gebundene Einsatz stärker gefördert wird. Es ist zu empfehlen, dass im Rahmen der Festlegung von Massnahmen analysiert wird, mit welchen Indikatoren die Umsetzung dieser Strategie überprüft werden kann. Grundsätzlich gilt dabei, dass bei den Erhebungen der Materialflüsse (ARVIS und RESSIS) die gebundenen Anwendungen detaillierter erfasst werden (z.B. gebundener Einsatz im Konstruktionsbeton, im Magerbeton, in der Asphaltproduktion usw.).

6.3 Szenarienanalyse

In der Abbildung 12 sind die Resultate der Szenarienrechnungen der Szenarien REFERENZ und GEBUNDEN dargestellt. Beim Vergleich der Entwicklungen der totalen Mengen der einzelnen Granulate ist gut zu erkennen, dass insbesondere beim Betongranulat ein recht starkes Wachstum im Zeitraum 2018 – 2030 zu verzeichnen ist. Wenn nun gerade bei dieser Fraktion deutlich höhere Anteile in die hochwertige Anwendung «Konstruktionsbeton» gelangen, hat diese entsprechende Auswirkungen auf die Entwicklung der Gesamtverteilung lose/gebunden, welche in den untersten Grafiken der Abbildung 12 dargestellt ist. Würde das Szenario GEBUNDEN in der zu erarbeitenden Recyclingstrategie des Kantons Luzern umgesetzt, gingen nur noch etwas mehr als 1/3 der produzierten RC-Granulate in die losen Anwendungen. Der Vorteil der gebundenen Anwendung ist, dass hier einerseits noch viel Potenzial zum Einsatz im RC-Konstruktionsbeton brachliegt, auch wenn der Anfall von Betongranulat weiter zunehmen sollte. Andererseits werden allfällig vorhandene Schadstoffe in die Zementmatrix eingebunden und immobilisiert. Das Grundwassergefährdungspotenzial ist beim gebundenen Einsatz somit deutlich geringer als beim losen Einsatz.

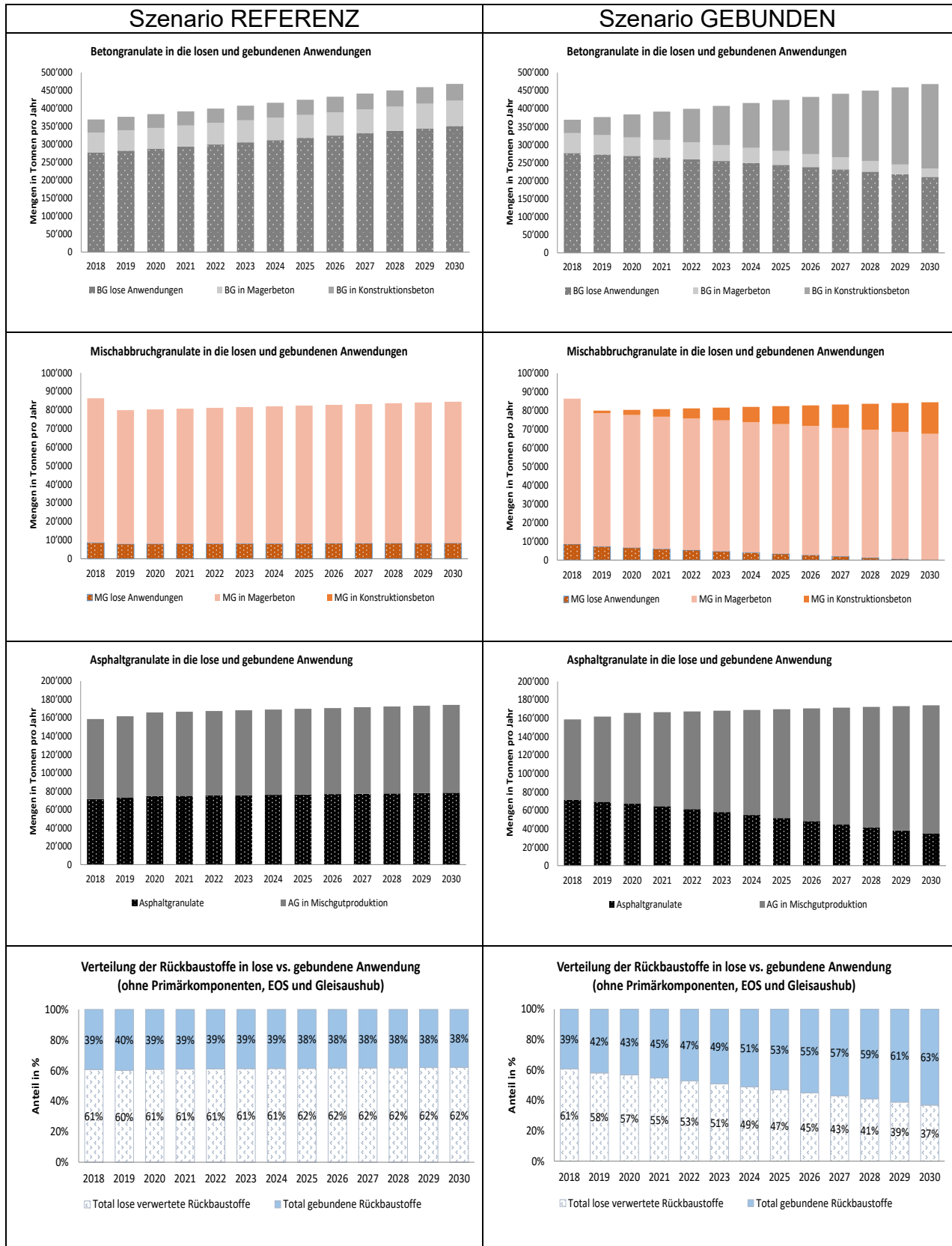


Abbildung 12: Vergleich der Entwicklung der RC-Granulatmengen und -anteile in die verschiedenen Anwendungen, sowie der Verteilung lose vs. gebundene Anwendungen im Szenario REFERENZ (links) und Szenario GEBUNDEN (rechts) für den Zeitraum 2018 – 2030.

In der Abbildung 13 sind die zeitlichen Entwicklungen des Bedarfs an Gesteinskörnungen aus dem KAR-Modell 2018, welche in gebundene (links) oder lose Anwendungen (rechts) gehen, sowie die Mengenentwicklung der RC-Gesteinskörnungen in diese Anwendungen für die beiden Szenarien REFERENZ (SZ 1) und GEBUNDEN (SZ 2) dargestellt. In der rechten Grafik mit den losen Anwendungen sind jeweils die Entwicklungen der RC-Gesteinskörnungen inklusive EOS-Schlacke und Gleisaushub, jedoch ohne die Primärkomponenten («ohne PK»; gepunktete Linien), beziehungsweise mit den primären Gesteinskörnungsanteilen gemäss Bauabfallrichtlinie («mit PK», gestrichelte Linien) dargestellt. Beim Vergleich der Grafiken fällt auf, dass der Abstand zwischen der blauen Linie und der roten bzw. grünen Linie in der linken Grafik der Abbildung 13 deutlich grösser ist als bei der rechten Grafik (gleiche Skalen). In der Grafik rechts bewegen sich vor allem die roten, gestrichelten Linien des Szenarios REFERENZ im zeitlichen Verlauf immer näher zur blauen Linie. Wenn die primären Gesteinskörnungen in den RC-Kiessanden A und B (mit PK) mitberücksichtigt werden, wird das Absatzpotenzial gemäss diesem Szenario bis zum Jahr 2030 beinahe vollständig ausgeschöpft sein.

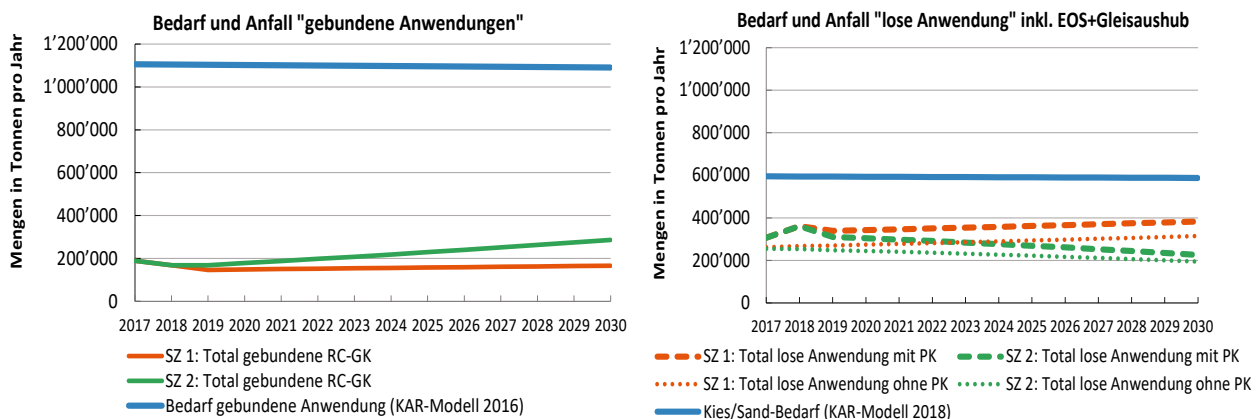


Abbildung 13: Vergleich des Bedarfs an gebundenen (linke Grafik) bzw. losen Anwendungen (rechte Grafik) im Vergleich zum künftigen Anfall RC-Gesteinskörnungen, welche in gebundene oder lose Anwendungen gehen für die zwei Szenarien REFERENZ (SZ1) und GEBUNDEN (SZ2).

Da aber davon auszugehen ist, dass ein nicht unerheblicher Teil des Bedarfs für lose Anwendung ausschliesslich mittels primärem Kies/Sand gedeckt werden muss, z.B. für die Erstellung von Sickerkammern, Hinterfüllungen, Wander- und Waldwegen oder als Leitungskies usw., dürften beim Szenario REFERENZ bereits in naher Zukunft zu wenig Kapazitäten zur Verfügung stehen, um die anfallenden RC-Gesteinskörnungen in die genannten losen Anwendungen zu führen. Beim Szenario GEBUNDEN hingegen werden die zur Verfügung stehenden Kapazitäten auf lange Sicht ausreichend vorhanden sein. Bei beiden Szenarien wird trotz der Erhöhung der Verwertungsquote beim Mischabbruch genügend Absatzpotenzial vorhanden sein, sofern dieser in die gebundenen Anwendungen (v.a. Magerbeton usw.) gelangt.

6.4 Interpretation der Erkenntnisse und Entwicklungspotenziale

Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass künftig deutlich mehr RC-Granulate in die gebundenen Anwendungen geführt werden müssen, um den Materialkreislauf auf längere Sicht aufrecht erhalten zu können. Bei der Entwicklung der Recyclingbaustoffstrategie müssen neben den qualitativen

Anforderungen insbesondere die künftigen Absatzpotenziale der verschiedenen Anwendungen berücksichtigt werden. In der Tabelle 6 sind diese in der letzten Spalte aufgeführt.

Tabelle 6: Vergleich der heutigen und künftigen Anwendungsmöglichkeiten und Absatzpotenziale der verschiedenen RC-Granulate.

RC-Granulat	Anwendung heute: IST-Zustand	Potenzial künftige Anwendungen: Soll-Zustand
Asphaltgranulat (AG)	Im Kiessand A: wenig In loser Anwendung: mittel In Mischgutproduktion: mittel	<p>Das BAFU könnte die Produktion von Kiessand A künftig verbieten, damit ist der Einsatz von AG in diese Anwendung gefährdet.</p> <p>Eine Erhöhung des Einsatzes von AG in loser Form ist aus erwähnten Gründen kaum möglich. Zudem sind die qualitativen Anforderungen (v.a. beim Einbau) recht hoch.</p> <p>Der Anteil des AG, welches in die Mischgutproduktion geht, ist noch ausbaubar. Höhere RC-Anteile liessen sich erreichen, wenn die Normen bezüglich der maximal zugelassenen RC-Anteile im Mischgut angepasst würden. Aus technischer Sicht wäre dies durchaus möglich.</p> <p>Die Herstellung von hochwertigen Tragschichten mit Kaltmischgut ist eine weitere Möglichkeit, um den Anteil des gebundenen Einsatzes der AG zu erhöhen.</p> <p>Chemisch-physikalische Behandlungsanlagen wären in der Lage, das Bindemittel (Bitumen) von der Gesteinskörnung zu trennen. Mit solchen Anlagen könnten künftig beinahe 100% des anfallenden Ausbausphalts in gebundene Anwendungen (Belag und Beton) geführt werden.</p>
Betongranulat (BG)	In loser Anwendung: hoher Anteil Kiessand B: geringer Anteil RC-Beton: geringer Anteil	<p>Betongranulate sind hochwertige Zuschlagstoffe in der Betonproduktion. Aus diesem Grund sollte das BG künftig verstärkt in diese Anwendung geführt werden.</p> <p>Die Betreiber von Betonwerken sollten die Betongranulate standardmässig bis zu einem maximalen Anteil von ca. 20% dem Konstruktionsbeton begeben. Auf diese Weise können die Anforderungen an die Festigkeit und E-Modul ohne Zusatzaufwand eingehalten werden. Dieser Beton muss nicht als RC-Beton deklariert werden! Somit ergibt sich ein enormes Absatzpotenzial.</p>
Mischabbruchgranulat (MG)	In loser Anwendung: wenig Konstruktionsbeton: wenig Magerbeton: hoher Anteil	<p>Da es kaum möglich ist, MG in loser Form einzusetzen, muss es als Zuschlagstoff im Mager- oder Konstruktionsbeton eingesetzt werden.</p> <p>Der Einsatz von MG im Magerbeton ist die einfachste und kostengünstigste Anwendung.</p> <p>Wird MG im Konstruktionsbeton eingesetzt, sollte dieses folgendermassen aufbereitet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nur MG verwenden, das keine Feinfraktion enthält. - MG aus der nassen Aufbereitung verwenden. - MG zu Brechsand zerkleinern und im Konstruktionsbeton einsetzen → dies führt dazu, dass die Störstoffe (Holzteile, Plastik usw.) beim Vibrieren nicht aufschwimmen. <p>Die Feinfraktion aus der Mischabbruchaufbereitung kann heute teilweise in den Zementwerken verwertet werden.</p>

Kiessande A, B und P	Anteil an gesamten Rückbaustoffen nur noch knapp 12%. Zur Produktion wird oftmals Primärkies verwendet.	Auf die Produktion von Kiessanden A, B und P ist künftig zu verzichten, weil diese zu grossen Teilen aus primären Gesteinskörnungen hergestellt werden.
EOS und Gleisaushub	EOS: Geringe Mengen. Einsatz i.d.R. lose Gleisaushub: lose als Bahnschotter	Der Einsatz von EOS und Gleisaushub wird im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten weiterhin erlaubt. Der korrekte Einsatz des lokal verfügbaren und bis anhin relativ unbekanntes Recyclingbaustoffes EOS ist fachlich zu begleiten.
Gesteinskörnungen aus Aushubwaschanlagen	Kiesige Gesteinskörnung: erst geringe Mengen	Schwach und wenig belastetes Aushub- und Ausbruchmaterial kann gewaschen werden. Die kiesige Gesteinskörnung kann vor allem in die gebundenen Anwendungen gehen.

Die künftige Entwicklung der Materialströme und die Analyse der potenziellen Anwendungsmöglichkeiten zeigt, dass der Einsatz von **Betongranulaten** als Zuschlagstoff **im Konstruktionsbeton** das grösste Absatzpotenzial aufweist. Betongranulate eignen sich jedoch auch für die **lose Anwendung im Strassenbau**.

Ganz anders stellt sich die Situation bei den **Mischabbruchgranulaten** dar: Beim losen Einsatz dürfte weiterhin nur geringes Absatzpotenzial bestehen. Aus diesem Grund müssen die Mischabbruchgranulate beinahe zwingend in die gebundenen Anwendungen geführt werden. Aufgrund der materialtechnischen Eigenschaften der Mischabbruchgranulate ist der **Magerbeton** die geeignetste Anwendung. Allerdings dürfte hier das maximale Absatzpotenzial schon bald ausgeschöpft sein. Deshalb müssen die Mischabbruchgranulate künftig vermehrt als Zuschlagstoff im Konstruktionsbeton eingesetzt werden. Dies bedingt jedoch eine saubere Materialtrennung auf der Baustelle und anschliessend eine hochwertige Aufbereitung. Entweder muss der Mischabbruch nass aufbereitet oder die Feinfraktion bei den Trockenverfahren abgetrennt werden. Teilweise werden bereits heute mittels zusätzlichen Verfahrensstufen die Backstein- bzw. Ziegelgranulate aus dem Mischabbruchgranulat aussortiert. Die verbleibende Betongranulatfraktion kann wiederum als Zuschlagstoff im Konstruktionsbeton eingesetzt werden (Abbildung 14). Alternativ können die gewaschenen oder vorabgesiebten Mischabbruchgranulate zu RC-Brechsanden verarbeitet und in dieser Form in den Beton geführt werden (siehe dazu BAFU 2020).

Die vollständige Verwertung von **Ausbau-/Fräsasphalt** bzw. der Asphaltgranulate dürfte in Zukunft die grösste Herausforderung darstellen. Schon heute ist die Entsorgungssituation prekär. Die Mischgutwerke können die anfallenden Mengen kaum mehr bewältigen, obwohl bereits heute relativ hohe Anteile an Asphaltgranulaten in der **Produktion von Neuasphalt** gefahren werden. Die Normen und andere Rahmenbedingungen verhindern jedoch derzeit, dass dieser Verwertungsweg noch effizienter genutzt wird. Eine Linderung der Situation dürfte wohl erst eintreten, wenn chemisch-physikalische Behandlungsanlagen in der Schweiz realisiert werden, welche das Bitumen von den Gesteinskörnungen abtrennen und so deutliche höhere RC-Anteile ermöglichen. Die **bitumenfreie Gesteinskörnung könnte beispielsweise auch im Beton** eingesetzt werden (Abbildung 14).

Aushubwaschanlagen zur Behandlung von **schwach und wenig belastetem Aushub- und Ausbruchmaterial** sind derzeit in Planung und könnten schon in naher Zukunft erstellt werden. Alleine im Kanton Luzern könnten schätzungsweise 50'000 Tonnen kiesige Gesteinskörnung pro Jahr zurückgewonnen werden. Diese Gesteinskörnung ist hochwertig, kann aber zu einem geringen Anteil Beton- und Mischabbruchgranulate enthalten. In der VVEA gibt es zurzeit keine Materialkategorie in dem dieses Material einzuordnen ist. Deshalb sollte dieses hochwertige Material vor allem als Zuschlagstoff im **Konstruktionsbeton** eingesetzt werden. Da die Beton- und Mischabbruchanteile deutlich unter den Anforderungen des SIA-Merkblattes 2030 für RC-Beton liegen, wird der Beton mit dieser Gesteinskörnung nicht als RC-Beton deklariert.

7 Ziele und Handlungsfelder

Auf Basis der Situationsanalyse, im Rahmen derer die verschiedenen Hemmnisse beim heutigen Baustoffrecycling identifiziert wurden, und den Resultaten aus der Szenarienanalyse lassen sich verschiedene Handlungsoptionen ableiten und Massnahmen entwickeln. Ein zentrales Element hierbei ist der Einbezug aller relevanten Akteure. Denn nur durch deren Zusammenarbeit können bestehende Systemmängel behoben und künftige Anwendungsbereiche für RC-Baustoffe erschlossen werden. Wie sehen diese künftigen Anwendungsbereiche nun aus bzw. wie kann der künftige RC-Baustoffkreislauf nachhaltig gestaltet werden, so dass möglichst wenig Material deponiert werden muss?

7.1 Verwertungssystem für die nachhaltige Bewirtschaftung von mineralischen Recyclingbaustoffen

Um diese Fragen zu beantworten, wird ein anzustrebendes Verwertungssystem entwickelt, welches auf dem Szenario «GEBUNDEN» basiert und mit den Materialflüssen in und aus den Aushubwaschanlagen ergänzt ist. In diesem System werden die Materialflüsse auf drei Rückbaumaterialfraktionen (plus Aushub) reduziert, was eine Vereinfachung für alle beteiligten Akteure bringen soll. Die Qualität der RC-Baustoffe wird verbessert, so dass diese künftig in hochwertige Anwendungen mit grossen Absatzpotenzialen gelangen können. Zudem wird damit das Umweltgefährdungspotenzial minimiert. In der Abbildung 14 ist das System für die nachhaltige Bewirtschaftung der mineralischen Rückbaustoffe dargestellt. Es enthält Behandlungsanlagen und zusätzliche Trennverfahren in der Mischabbruchaufbereitung sowie Aushubwaschanlagen, welche künftig erst noch erstellt werden müssen.

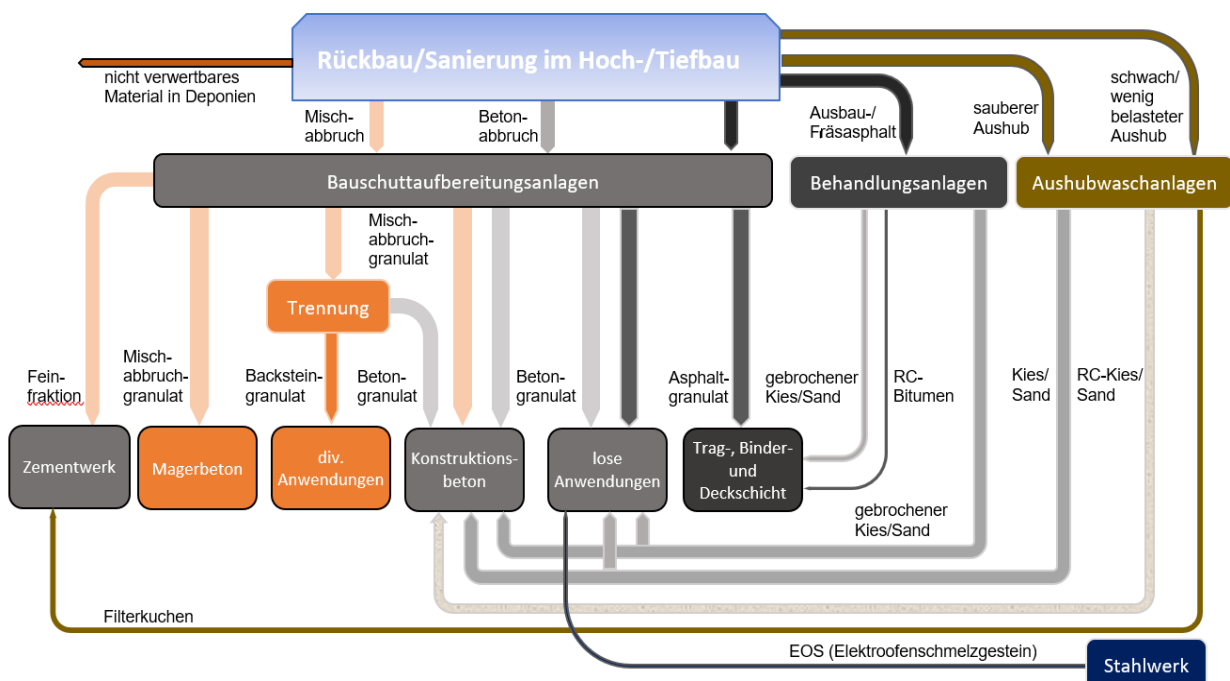


Abbildung 14: Verwertungssystem zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Recyclingbaustoffflüsse im Kanton Luzern: Es werden keine RC-Kiessande A, B und P mehr produziert und es stehen zusätzliche Behandlungsanlagen für Ausbau-/Fräsasphalt und Trennverfahren in der Bauschutttaufbereitung sowie Aushubwaschanlagen zur Verfügung.

Grundsätzlich sollten künftig nur noch die drei Hauptfraktionen Mischabbruch, Betonabbruch und Ausbau- bzw. Fräsasphalt anfallen. EOS und Gleisaushub (in Aushubflüssen enthalten) können weiterhin verwertet werden, sie sind aber mengenmässig von untergeordneter Bedeutung. Strassenaufbruch kann bereits heute soweit getrennt ausgebaut werden, dass dieser als kiesige Fraktion vor Ort wieder eingebaut oder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Aus den drei Hauptfraktionen werden hochwertige Rückbaustoffe hergestellt, die vor allem in die gebundenen Anwendungen «Magerbeton», «Konstruktionsbeton» und «Asphalt in Trag-, Binder-, und Deckschicht (und evtl. Foundation)» gehen. In die losen Anwendungen, bei denen es sich hauptsächlich um die Foundationsschicht im Strassenbau handelt, gelangen nur noch die Asphalt- und Betongranulate sowie im geringen Umfang die EOS. Behandlungsanlagen für Ausbauasphalt ermöglichen es, dass die Kies-/Sandfraktion nicht nur in der Asphaltproduktion, sondern auch im Konstruktionsbeton oder in den Foundationen eingesetzt werden können. Nur so wird es möglich sein, den anfallenden Ausbauasphalt auch langfristig vollständig in den Baustoffkreislauf zurückführen zu können. Die Behandlungsanlagen können ausserhalb des Kantons Luzern liegen und die zusätzlichen Trennstufen bei der Mischabbruchaufbereitung müssen nicht von jedem Anlagebetreiber installiert werden. Die Kiessande A, B und P gibt es nicht mehr, weil auf deren Produktion aus erwähnten Gründen verzichtet wird. Die in Aushubwaschanlagen gewaschenen Gesteinskörnungen, in denen auch die Gesteinskörnungen aus dem Gleisaushub enthalten sind, gelangen entweder in die gebundenen und losen Anwendungen (Herkunft: sauberer Aushub) oder ausschliesslich in den Konstruktionsbeton (Herkunft: schwach und wenig belasteter Aushub).

Das vorgeschlagene, nachhaltige Verwertungssystem bietet zusammenfassend die folgenden Vorteile:

- Die Reduktion auf die drei Rückbaufractionen vereinfacht den Umgang mit den Rückbaumaterialien.
- Das System ist für alle Akteure verständlich und nachvollziehbar.
- Die Qualität der produzierten RC-Baustoffe wird deutlich verbessert.
- Mit der Stärkung des gebundenen Einsatzes wird das Umweltgefährdungspotenzial (Schadstoffauswaschung) der Recyclingbaustoffe weiter minimiert.
- Das Materialmanagement ist auf langfristige Sicht für alle anfallenden Rückbaufractionen nachhaltig.
- Weitere mineralische RC-Materialien wie beispielsweise gewaschene Kiesfraktionen aus den Aushubwaschanlagen gefährden das System nicht, weil das Absatzpotenzial beim gebundenen Einsatz sehr gross ist.

Nachfolgend wird auf die Handlungsfelder und die zu schaffenden Rahmenbedingungen eingegangen, welche notwendig sind, um die Vorgaben des Zielsystems zu erfüllen.

7.2 Handlungsfelder und Rahmenbedingungen

Die schematische Darstellung des Verwertungssystems in der Abbildung 14 zeigt, dass der Rückbau an erster Stelle steht. Anschliessend erfolgt die Aufbereitung bzw. Behandlung der Rückbaumaterialien und schliesslich der Einsatz der Rückbaustoffe in den verschiedenen Anwendungen. Diesem Ablauf folgen die nachfolgend aufgeführten Handlungsfelder und Rahmenbedingungen.

1. Qualitätsstandards im Bereich des Rückbaus entwickeln

Wie erwähnt, findet heute teilweise keine Entkernung bei kleineren und mittelgrossen Rückbauprojekten statt. Die Entkernung und saubere Materialtrennung auf der Baustelle sind jedoch die Voraussetzung für die Herstellung von hochwertigen RC-Baustoffen. Aus diesem Grund müssen entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden, welche anschliessend für alle im Rückbau und Sanierung tätigen Unternehmen im Kanton Luzern gelten sollen. Gelingt dies, sind die Voraussetzungen für die nachgelagerten Prozesse geschaffen.

2. Absatzpotenziale erkennen und erschliessen

Ein Unternehmen, welches Produkte vermarktet, muss deren Absatzpotenziale kennen. Die Resultate aus der Szenarienanalyse und Abbildung 14 zeigen, in welchen Anwendungsbereichen künftig die grössten Absatzpotenziale vorliegen. Es sind vor allem die gebundenen Anwendungen, die noch über eine sehr lange Zeit ausreichende Mengen an RC-Baustoffen aufnehmen können. Dies gilt auch im Fall eines steigenden Angebots von Kiessanden aus Aushubwaschanlagen. Einzig die primären Gesteinskörnungen werden unter diesen Bedingungen substituiert. Die Branche sollte sich diesen Entwicklungen bewusst sein und sich entsprechend positionieren.

3. Qualitätsstandards bei der Produktion von Rückbaustoffen festlegen

Neben der bestehenden Überprüfung der Qualitätsanforderungen der Recyclinggranulate durch die Verbände sollten die Betreiber der Bauschuttzubereitungsanlagen insbesondere die Qualität der Mischabbruchgranulate verbessern. Mischabbruchgranulate aus der nassen Aufbereitung lassen sich im Konstruktionsbeton einsetzen. In diesen Anlagen können weitere Stufen zur Aussortierung der Backstein- bzw. Ziegelgranulate eingebaut werden, womit hochwertige Betongranulate gewonnen werden können. Solche Verfahren sind heute in Planung oder bereits in Betrieb. Wird bei der Trockenaufbereitung die Feinfraktion ausgeschieden, kann ebenfalls eine gute Qualität der Mischabbruchgranulate erreicht werden. Hier empfiehlt sich jedoch, einen Teil dieser Granulate in einem weiteren Schritt zu Brechsand zu verarbeiten, der sich anschliessend im Konstruktionsbeton einsetzen lässt. Mit diesem Vorgehen können die schwimmenden Anteile wie Holz, Plastik, Papier usw. weiter reduziert werden. Beim Einbringen des Betons sind die schwimmenden Anteile beim Vibrieren des Betons kaum zu erkennen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten z.B. in der Zementindustrie sind in der Studie des BAFU zur Mischabbruchverwertung in der Schweiz nachzulesen (BAFU, 2020).

Bei der Aufbereitung von Ausbauasphalt gibt es bereits heute mechanischen Verfahren, mit denen sich das Bindemittel mit einigem Erfolg von der Gesteinskörnung entfernen lässt. Auf diese Weise sind deutlich höhere RC-Anteile in der Asphaltproduktion möglich. In den kommenden Jahren wird die Wahrscheinlichkeit, dass chemisch-physikalische Behandlungsanlagen in der Schweiz realisiert werden, zunehmen. Die Anlagen werden hohe Behandlungskapazitäten aufweisen, was bedeutet, dass PAK-belasteter und wenig belasteter Ausbau- und Fräsasphalt diesen Anlagen zugeführt werden kann.

Den Betreibern der Bauschuttzubereitungsanlagen ist zu empfehlen, sich mit den neusten technischen Möglichkeiten auseinanderzusetzen. Basierend darauf sollte die Branche eigene hohe Qualitätsstands für ihre RC-Produkte definieren und diese entsprechend kommunizieren. Damit kann Vertrauen in die RC-Baustoffe geschaffen werden.

Gleiches gilt grundsätzlich für die künftigen Betreiber von Aushubwaschanlagen. Auch hier sollte das Verwertungsoption, schwach und wenig belastetes Aushubmaterial mit zu behandeln, bereits bei der Planung in Betracht bezogen werden.

4. Wissen vermitteln und austauschen

Die Situationsanalyse zeigt, dass der Wissenstransfer zwischen den Akteuren derzeit nur in einem geringen Ausmass stattfindet. Die Bauherren, Planer und Besteller verfügen oftmals nur über beschränkte Informationen zu den materialtechnischen Eigenschaften der RC-Baustoffe. Zudem fehlen Hilfsmittel, wie beispielsweise Textbausteine, welche die Planer bei der Ausschreibung von RC-Baustoffen unterstützen würden. Auf der anderen Seite kennen die RC-Baustoffproduzenten die Anforderungen der Besteller oft zu wenig, was zu Missverständnissen und fehlendem Vertrauen führt. Damit kann das Marktpotenzial zu wenig ausgeschöpft werden. Künftig ist der Wissenstransfer sowohl vertikal als auch horizontal, das heisst zwischen den Stakeholdergruppen und innerhalb der verschiedenen Stakeholdergruppen zu verbessern. Es sind geeignete «Gefässe» zu entwickeln, im Rahmen derer ein regelmässiger Austausch stattfinden kann. Auf diese Weise lassen sich Vorurteile abbauen und Vertrauen aufbauen.

8 Fazit und Ausblick

Der Anfall an mineralischen Rückbaumaterialien aus der Bauwirtschaft im Kanton Luzern bewegt sich bereits heute im Bereich von etwas mehr als 800'0000 Tonnen pro Jahr. Die Modellierungen zeigen, dass dieser Materialfluss in den kommenden 10 Jahren weiter ansteigen wird. Ein grosser Teil davon wird bereits heute verwertet. Es gelangen aber noch immer erhebliche Mengen an verwertbaren Rückbaumaterialien in die Deponien (Rubli, 2020). Der Hauptgrund hierfür ist die ungenügende Materialtrennung beim Rückbau von Gebäuden. Hier braucht es entsprechende Massnahmen, um mehr mineralisches Rückbaumaterial in den Baustoffkreislauf zurückführen zu können. Auch beim Materialabsatz nehmen die Probleme zu: So verschärft sich beispielsweise die Verwertungssituation von Ausbau- und Fräsasphalt laufend. Werden in diesem Bereich keine nachhaltigen Lösungen gefunden, stehen die Tiefbauämter künftig vor der Situation, den Ausbauasphalt nicht mehr entsorgen zu können. Die Ausgangslage dürfte sich noch weiter verschärfen, falls das BAFU in den kommenden Jahren ein Ablagerungsverbot für Ausbauasphalt mit PAK-Gehalten <250 ppm verhängt.

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Situations- und Szenarienanalyse wurde ein Verwertungssystem für den Kanton Luzern entwickelt, welches es ermöglichen soll, sämtliche verwertbaren Rückbau- sowie schwach und wenig verschmutzte Aushubmaterialien über die kommenden Generationen auf nachhaltige Weise in den Baustoffkreislauf zurückzuführen (Abbildung 14). Das optimale Zielsystem zeichnet sich durch die folgenden Merkmale aus:

- Es werden im Grundsatz nur noch die drei verwertbaren Rückbaufractionen Ausbau-/Fräsasphalt, Beton- und Mischabbruch den Aufbereitungsanlagen zugeführt.
- Dies bedingt eine saubere Materialtrennung beim Rückbau und Ausbau der Materialien.
- Auf die Produktion von Kiessanden A, B und P wird weitgehend verzichtet.
- EOS und Gleisaushub/-schotter können weiterhin verwertet werden.
- Die gebundenen Anwendungen werden favorisiert, weil in Gegensatz zu den losen Anwendungen ein hohes Absatzpotenzial vorhanden ist und von einem geringeren Umweltgefährdungspotenzial (Schadstoffauswaschung) auszugehen ist.
- Um den Absatz der anfallenden Rückbaustoffe, insbesondere der Mischabbruchgranulate, in die gebundenen Anwendungen zu gewährleisten, müssen bestehende Aufbereitungsanlagen teilweise modernisiert werden.
- PAK-belasteter Ausbauasphalt und ein Teil des wenig belasteten Ausbauasphalts (PAK-Gehalt <250 ppm) muss künftig in noch zu realisierende Behandlungsanlagen geführt werden.
- Schwach und wenig verschmutzter Aushub wird in speziellen Aushubwaschanlagen aufbereitet.
- Im nachhaltigen Verwertungssystem werden im Vergleich zu heute **deutlich weniger Rückbaumaterialien deponiert und damit Kies und Sand substituiert**. Es werden **qualitativ hochwertige Recyclingbaustoffe** produziert, die in umweltschonende, d.h. vermehrt in die **gebundenen Anwendungen** gelangen.

Es ist nicht die Meinung, dass das optimale Zielsystem innerhalb weniger Jahre etabliert werden soll. Vielmehr soll es eine Orientierungshilfe für die betroffenen Akteure darstellen, wohin die Entwicklung gehen sollte. Ziehen alle Beteiligten am gleichen Strick, kann das Verwertungspotenzial in optimaler Weise genutzt werden.

Eingeleitet und gesteuert wird diese Entwicklung durch noch zu definierende Massnahmen und einen Massnahmenplan. Diese müssen in der nächsten Projektetappe und nach der Vernehmlassung des vorliegenden Berichts in Zusammenarbeit mit der noch zu definierenden Arbeitsgruppe entwickelt und in Zusammenarbeit mit den Umweltfachstellen der Zentralschweizer Kantone regional abgestimmt werden.

9 Literatur

Bundesamt für Statistik, BFS (2015): *Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2015 – 2045*. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel 2015

Bundesamt für Umwelt, BAFU (2010). *Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle*. 2. aktualisierte Auflage. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bundesamt für Umwelt, BAFU (2015). *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA)*. Bern.

Bundesamt für Umwelt, BAFU. (2020). *Mischabbruchverwertung in der Schweiz*. Bern.

Bundesamt für Umwelt, BAFU. (2020): *Modellierung der Asphaltflüsse in der Schweiz*. Bern.

Kanton Luzern (2018): *Umweltbericht 2018*. Bericht zum aktuellen Zustand der Umwelt im Kanton Luzern

Kanton Luzern (2020): *Klima- und Energiepolitik 2021 des Kantons Luzern, Berichtsentwurf für die Vernehmlassung vom Dezember 2020*.

Rubli, Stefan (2013): *Dynamische Modellierung der Asphalt- sowie PAK-Lager und Flüsse in den Strassen der Region St.Gallen, Thurgau, Zürich und Fürstentum Liechtenstein - Überregionale Betrachtung*. Im Auftrag der Umweltämtern der Kantone St.Gallen, Thurgau, Zürich und des Fürstentums Liechtenstein. Energie- und Ressourcen-Management GmbH, Freienbach.

Rubli, Stefan (2016): *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse: Modellerweiterung und Nachführung 2015*. Energie- und Ressourcen-Management GmbH, Freienbach.

Rubli, Stefan (2017): *Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialfluss-Modell - KAR-Modell, Nachführung Bezugsjahr 2016*. Nicht publiziert. Energie- und Ressourcen-Management GmbH, Freienbach.

Rubli, Stefan (2020): *Verwertbarkeit von in Deponien abgelagerten mineralischen Rückbau- und Aushubmaterialien - Auswertungen und Erkenntnisse*. PPT-Präsentation, welche im Rahmen der Sitzung des Cercle déchets am 27. August 2020 vorgestellt wurden. Zug.

Schweizer Norm SN 670 050 (2010). *Gesteinskörnungen für ungebundene Gemische: SN 670 119-NA (EN 13242:2002/A1:2007, EN 13285:2010)*.

Schweizer Norm SN 670 119a – NA (EN 13242 / EN 13285): *Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau. Ungebundene Gemische, Anforderungen*.