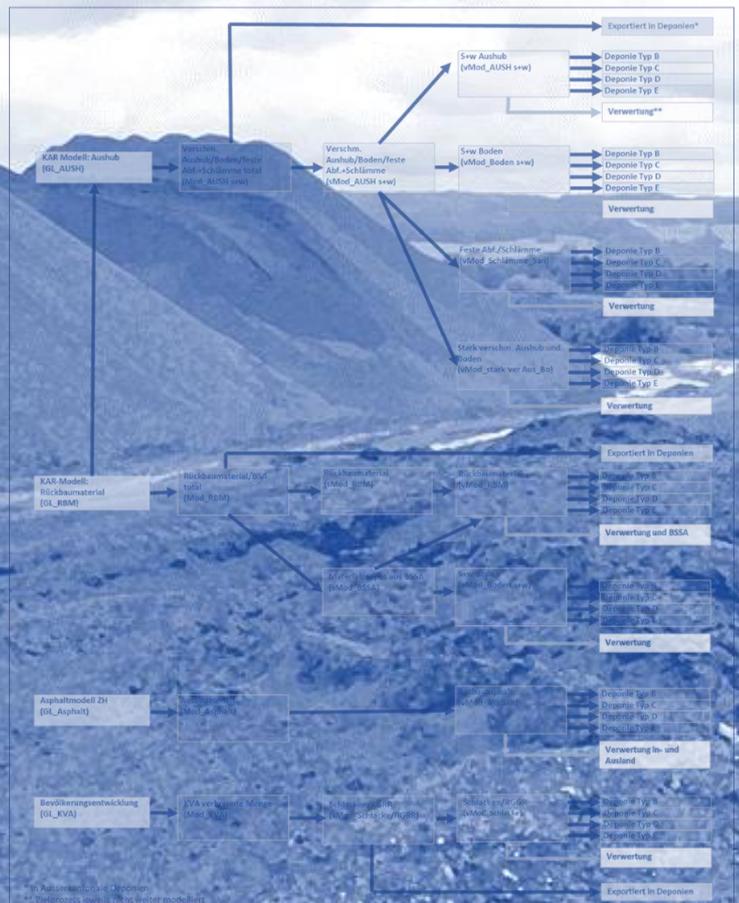




Im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich

# Entwicklung eines Prognosemodells für Deponieabfälle

## Schlussbericht



Freienbach und Zürich  
Februar 2022

Energie- und Ressourcen-Management GmbH  
Sieber Cassina + Partner AG

---

Auftraggeber	AWEL
Kontaktpersonen	Daniel Locher, André Leumann (AWEL)
Bearbeitung	<b>Energie- und Ressourcen-Management GmbH (ERM)</b> Wolleraustrasse 15g 8807 Freienbach Tel. +41 44 371 40 90 Fax +41 44 371 40 04 rubli@energie-ressourcen.ch www.energie-ressourcen.ch  <b>Sieber Cassina + Partner AG (SC+P)</b> Langstrasse 149 8004 Zürich Tel. 044 297 70 90 Fax. 044 297 70 91 rafael.schuler@scpag.ch
Bearbeitung	Stefan Rubli, Dr. sc. techn. (ERM), Sandrine Werner, BSc Umwelting. ETH (ERM), Rafael Schuler, Dipl. Bauing. ETH (SC+P) Cecilia Ulmke, MSc Bauing. ETH (SC+P)
Zeitraum	Juni 2021 – Februar 2022

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen einer Gesamtschau wird die Deponieplanung des Kantons Zürich überarbeitet, wodurch neue Deponiestandorte in den kantonalen Richtplan aufgenommen werden sollen. So soll sichergestellt werden, dass künftig genügend Ablagerungskapazitäten vorhanden sind und bei der Nutzungsplanung mehr Flexibilität entsteht. Eine langfristig ausgelegte und tragfähige Deponieplanung ist nur möglich, wenn aussagekräftige Prognosen zum künftigen Materialanfall und insbesondere zu den Inputflüssen in die Deponien vorliegen. Im Zuge der Gesamtschau wurde deshalb ein Prognosemodell für Deponieabfälle entwickelt, um die zukünftige Entwicklung der Materialinputströme in die Deponien des Typs B – E für den Kanton Zürich abzuschätzen. Mit diesem Prognosemodell wurden verschiedene Entwicklungsszenarien gerechnet. In einem zweiten Projekt wurde das Verwertungspotenzial der heute noch deponierten Materialien in Deponien des Typs B und E untersucht. Die Resultate der vertieften Analyse dieses zweiten Projektes wurden für die Entwicklung der Szenarien des Deponieprognosemodells verwendet.

In einem ersten Schritt wurden die im DEMIS enthaltenen Daten einer vertieften Analyse unterzogen. Dabei wurden, soweit möglich, die Daten von anderen Kantonen mit einbezogen, um die Import-/Exportflüsse im Modell zu berücksichtigen. Mit diesen Grundlagen kann die IST-Situation zu den im Kanton Zürich abgelagerten Materialien, differenziert nach Materialkategorien und Deponietypen B – E, für den Zeitraum 2010 – 2020 abgebildet werden. Parallel dazu wurde ein mehrstufiges Prognosemodell entwickelt, in dem zunächst der IST-Zustand in Form des Szenarios REFERENZ für den Zeitraum 2021 - 2050 modelliert wurde. Der Modelllaufbau erfolgte in vier Stufen und weist eine recht hohe Komplexität auf, da jeweils eine Differenzierung der Materialflüsse nach verschiedenen Materialkategorien sowie nach Deponietypen und nach Verwertungspfaden vorgenommen werden muss. Die relevanten Materialkategorien, welche in der Modellierung berücksichtigt wurden, sind:

- Schwach und wenig verschmutztes (s+w) Aushubmaterial
- s+w Bodenaushub
- Feste Abfälle/Schlämme aus der Sanierung von Aushub/Böden
- Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. Bausperrgutsortieranlage (BSSA))
- Ausbauasphalt
- Gemischte Bauabfälle aus BSSA
- Restliche Rückbaumaterialien
- Material aus Aufbereitung von KVA-Schlacken
- Material aus Aufbereitung von Rauchgasreinigungsrückständen (RGRR)
- Stark verschmutzter Aushub + Böden
- Restliche Abfälle

Es wurden insgesamt vier Szenarien definiert und bis zum Jahr 2050 modelliert. Die verschiedenen Szenarien basieren auf den Resultaten, Erkenntnissen und Verwertungsquoten der parallel durchgeführten Studie zum Verwertungspotenzial von deponierten Materialien. Die Szenarien bauen aufeinander auf und unterscheiden sich jeweils bezüglich der gewählten Verwertungsquoten (VQ), der Anpassungen bei der Behandlungsregel (BR) und bezüglich der Schlackenverwertung (SV). Die vier Szenarien sind nachfolgend kurz beschrieben:

- |  |   |
|--|---|
| • <b>Szenario «REFERENZ»:</b>            | Fortschreibung des IST-Zustandes bis 2050.                      |
| • <b>Szenario «VQ mittel»:</b>           | Erhöhung der Verwertungsquoten (VQ) durch Deponieverbote.       |
| • <b>Szenario «VQ mittel + BR»:</b>      | Anpassung Behandlungsregel (BR) von 50% auf 70%; inkl. Boden.   |
| • <b>Szenario «VQ mittel + BR + SV»:</b> | Erhöhung der Verwertungsquote bei der Schlackenverwertung (SV). |

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Modellierung der vier Szenarien können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Fortschreibung des IST-Zustandes im Szenario «REFERENZ» bis 2050:  
Falls keine Massnahmen ergriffen werden, entwickelt sich der Materialinput in die Deponien des Typs B – E für den Modellierungszeitraum von 2021 – 2050 weitgehend konstant (Szenario «REFERENZ»). Er bewegt sich in diesem Zeitraum im Bereich von **920'000 – 950'000 Tonnen pro Jahr**.
2. Totale Reduktionspotenziale im Vergleich zum Szenario «REFERENZ»:  
Verglichen mit dem Szenario «REFERENZ» können für die verschiedenen Szenarien folgende Reduktionen (bereits ab dem Jahr 2030) beim Gesamtinput in die Deponien Typ B – E erreicht werden:
  - Szenario «VQ mittel»: **minus 14%**
  - Szenario «VQ mittel + BR»: **minus 25%**
  - Szenario «VQ mittel + BR + SV»: **minus 27%**
3. Grösstes Reduktionspotenzial ergibt sich beim Materialinput in die Deponien des Typs B:  
Der Inputfluss in die Deponien des Typs B lässt sich am deutlichsten reduzieren. Insgesamt kann der Inputfluss in die Deponien um bis zu **220'000 Tonnen pro Jahr** minimiert werden, falls die Szenarien «VQ mittel + BR» bzw. «VQ mittel + BR + SV» umgesetzt werden. Dabei müssten Verwertungsquoten erhöht und die Behandlungsregeln bei den folgenden Materialkategorien angepasst werden:
  - **«s+w Aushubmaterial»**
  - **«s+w Bodenaushub»**
  - **«Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)»**
4. Beschränktes Reduktionspotenzial bei Materialflüssen in Deponietyp E:  
Im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» beläuft sich das Reduktionspotenzial bei allen Szenarien für den Deponietyp E auf **5'000 – 6'000 Tonnen pro Jahr**. Die Kategorie «Ausbauasphalt» weist das grösste Reduktionspotenzial auf. Da ein Ablagerungsverbot für sämtlichen Ausbauasphalt im Kanton Zürich vorausgesetzt wird, ist diese Annahme jedoch bereits im Szenario «REFERENZ» enthalten.
5. Weitere Untersuchungen/Abklärungen zum Verwertungspotenzial von KVA-Schlacken sind nötig:  
Erhebliches Reduktionspotenzial liegt bei der Materialkategorie **«aus Schlackenaufbereitung»** vor (Deponietyp D). Im Szenario «VQ mittel + BR + SV» wird mit einer Verwertungsquote von 30% gerechnet. Diese Verwertungsquote stellt dabei nur eine erste Abschätzung dar. In weiteren Studien ist zu untersuchen, welche Verwertungsquoten mit verfahrenstechnischen Ansätzen zu erreichen sind.
6. Materialkategorie «s+w Bodenaushub» birgt grosses Potenzial:  
Die Materialkategorie «s+w Bodenaushub» birgt ein erhebliches Verwertungspotenzial, welches durch eine Anpassung der Behandlungsregel besser ausgeschöpft werden könnte. Der Materialfluss dieser Kategorie könnte von 120'000 Tonnen pro Jahr auf 40'000 Tonnen jährlich reduziert werden (Szenario «VQ mittel + BR» bzw. Szenario «VQ mittel + BR + SV»). Hier müssten die gesetzlichen Grundlagen auf kantonaler Ebene und allenfalls auf Bundesebene angepasst werden.
7. Materialströme in zusätzliche Verwertung könnten erheblich gesteigert werden:  
Der Materialfluss in die Verwertung kann erheblich gesteigert werden. Bereits im Szenario «REFERENZ» können aufgrund der vorausgesetzten Asphaltverwertung/-behandlung bis 2050 insgesamt 220'000 Tonnen Material pro Jahr zusätzlich verwertet werden. Im weitestgehenden Szenario «VQ mittel + BR + SV» kann der Materialfluss in die Verwertung um bis zu 505'000 Tonnen pro Jahr gesteigert werden!

---

Mit dem Deponieprognosemodell und den Erkenntnissen aus der Szenarienanalyse stehen dem Kanton Zürich wichtige Grundlagen für eine langfristig ausgelegte Deponieplanung zur Verfügung. Das nun vorliegende Prognosemodell ermöglicht es, den Bedarf an künftigem Deponievolumen unter dem Miteinbezug verschiedener Massnahmen, wie die Erhöhung der Verwertungsquoten oder die Anpassungen der Behandlungsregeln, abzuschätzen. Mit der Umsetzung der hier vorgestellten Szenarien und den damit verbundenen Massnahmen, kann der Materialinput in die Deponien künftig deutlich reduziert werden. Für die konkrete Umsetzung der teilweise tiefgreifenden Massnahmen ist der frühzeitige Einbezug aller Stakeholder von entscheidender Bedeutung, da es einige wichtige Hürden und Herausforderungen zu überwinden gilt. Die hier vorgeschlagene Neuausrichtung der Bewirtschaftung von mineralischen Abfällen im Kanton Zürich eröffnet jedoch enorme Chancen für innovative Unternehmen aus der Abfallwirtschaft. Es ist deshalb abzusehen, dass diese mit grosser Wahrscheinlichkeit von den aktiven Akteuren genutzt werden.

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Fragestellung und Zielsetzung	8
1.3 Vorgehen	9
<b>2 DATENGRUNDLAGEN</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Auswertung DEMIS-Daten</b>	<b>10</b>
2.1.1 Datenaufbereitung	10
2.1.2 Generelle Trends	10
2.1.3 Ausgewählte Abfallgruppen	12
<b>2.2 Entwicklung der Importe und Exporte in Deponien</b>	<b>15</b>
2.2.1 Betrachtung der intrakantonalen Abfallflüsse	15
2.2.2 Datenaufbereitung	15
2.2.3 Allgemeine Angaben	16
2.2.4 Auswertung nach Kompartimenttyp	17
<b>MODELLAUFBAU UND BESCHREIBUNG DER SZENARIEN</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Modellaufbau</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Modellgrundlagen anhand des Szenario «REFERENZ» und wichtige Parameter</b>	<b>20</b>
<b>2.5 Beschreibung der vier Szenarien</b>	<b>24</b>
<b>3 RESULTATE</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Resultate Szenario «REFERENZ»</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Resultate Szenario «VQ mittel»</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Resultate Szenario «VQ mittel + BR»</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Resultate Szenario «VQ mittel + BR + SV»</b>	<b>34</b>
<b>3.5 Vergleich der Resultate aus den Szenarienrechnungen</b>	<b>36</b>
3.5.1 Materialflüsse in die Deponien des Typs B	36
3.5.2 Materialflüsse in die Deponien des Typs C	37
3.5.3 Materialflüsse in die Deponien des Typs D	38
3.5.4 Materialflüsse in die Deponien des Typs E	38
3.5.5 Materialflüsse in die Deponien des Typs B - E	39
3.5.6 Materialflüsse in die Verwertung	40
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Reduktionspotenziale der modellierten Szenarien</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Erkenntnisse aus den Modellierungen der Szenarien</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Schlussfolgerungen</b>	<b>45</b>
<b>5 LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>46</b>
<b>ANHANG</b>	<b>47</b>
<b>A.1 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel»</b>	<b>47</b>
<b>A.2 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel +BR»</b>	<b>48</b>
<b>A.3 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel + BR + SV»</b>	<b>48</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BR	Behandlungsregel
BSSA	Bausperrgutsortieranlage
DEMIS	Deponie-Monitoring- und Informationssystem
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
RBM	Rückbaumaterial
RGRR	Rauchgasreinigungsrückstände
SV	Schlackenverwertung
s+w Aushubmaterial	Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial
s+w Boden	Schwach und wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden
TK	Transferkoeffizienten
VBBo	Verordnung über Belastungen des Bodens
VQ	Verwertungsquote
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

## Glossar

Deponie Typ B	In Deponien dieses Typs dürfen einzeln bezeichnete Abfälle abgelagert werden (Bsp. Flachglas oder Elektroofenschlacke). Weitere mineralische Abfälle sind zugelassen, sofern die Anforderungen (Bsp. Grenz- und Eluatwerte) erfüllt werden (BAFU, 2019).
Deponie Typ C	In Deponien des Typs C sind restmetallhaltige, anorganische und schwer lösliche Abfälle zugelassen (BAFU, 2019).
Deponie Typ D	Auf Deponien des Typs D dürfen Abfälle wie beispielsweise Schlacken oder Filteraschen deponiert werden (BAFU, 2019).
Deponie Typ E	Für Deponien des Typs E gibt es eine grössere Spannweite an Abfällen, welche auf diesem Typ abgelagert werden dürfen. Hier ist einer der wichtigsten Anforderungen, dass die Abfälle einen maximalen Gesamtgehalt an Organika nicht überschreiten dürfen (BAFU, 2019).
Modul	Der Begriff «Modul» wird für diesen Bericht für die Erläuterung des Modellaufbaus benutzt. Die Module entsprechen dabei jeweils einer Modellentwicklungseinheit.
Materialhauptkategorien	In diesem Bericht wird der Begriff «Materialhauptkategorie» im Zusammenhang mit der Erläuterung des Modellaufbaus verwendet. Die relevanten Materialkategorien, welche in der Modellierung berücksichtigt werden, wurden in die vier folgenden Materialhauptkategorien aufgeteilt: «Aushubmaterial (inkl. Boden)», «Rückbaumaterial», «Ausbauasphalt» und «KVA verbrannte Mengen».
Transferkoeffizient	Dieser Koeffizient stellt den Anteil eines Outputflusses aus einem Prozess dar. In diesem Fall (stationär, d.h. keine Lageränderung) ist es jeweils ein Prozentsatz des Inputflusses.
Verwertungsquote	Die Verwertungsquote ist das Verhältnis zwischen dem Anteil von Material auf der Deponie, welcher einer Aufbereitungs- oder Behandlungsanlage zur zusätzlichen Verwertung zugeführt wird, zum Gesamtinput in die Deponie.

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Ausgangslage

Derzeit wird die Deponieplanung des Kantons Zürich im Rahmen einer Gesamtschau überarbeitet. Mit der Gesamtschau sollen neue Deponiestandorte in den kantonalen Richtplan aufgenommen werden, damit auch in Zukunft die erforderlichen Kapazitäten vorhanden sind und bei der Nutzungsplanung mehr Flexibilität entsteht. Eine Gesamtschau bietet zudem die Möglichkeit, die Planung von Deponien im Kanton neu auszurichten und bestehende Festlegungen (wie z.B. zeitliche Abhängigkeiten zwischen den Deponien) neu zu bewerten.

Im aktuellen Richtplan sind Deponievolumen von 22 Mio. m<sup>3</sup> ausgewiesen, wobei 12 Mio. m<sup>3</sup> an Standorten liegen, für die noch kein Gestaltungsplan vorliegt. Bei vielen Deponiestandorten ist die Nutzungsplanung aus verschiedenen Gründen verzögert oder steht still, womit die Entsorgung nicht gesichert ist. Nebst politisch länger andauernden Prozessen (Richtplanverfahren, Gestaltungsplanverfahren, Errichtungs- und Betriebsbewilligung) besteht bei vielen Deponien das Risiko von privatrechtlichem und juristischem Widerstand.

Das Projekt «Gesamtschau Deponien» wird durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) geleitet. Um die künftige Entwicklung der Deponieabfälle, welche in Deponien des Typs B, C, D und E gemäss VVEA abgelagert werden, für den Kanton Zürich abzuschätzen, wird ein Prognosemodell für Deponieabfälle entwickelt. Mit diesem Modell werden verschiedene Entwicklungsszenarien gerechnet.

## 1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Der Materialanfall von mineralischen Bau- und Industrieabfällen (Inertstoffe), wenig und schwach verschmutzten Aushubmaterialien, belastetem Bodenaushub, sowie KVA-Schlacken und weiteren Fraktionen ist geprägt von verschiedenen Einflussfaktoren:

- Schwankender Anfall aufgrund der sich zeitlich verändernden Bautätigkeit.
- Verstärkte Verdichtung der Siedlungen nach Innen führt zu vermehrter Rückbautätigkeit und damit zu einem grösseren Anfall von Rückbaumaterialien.
- Neue Strukturen und (rechtliche) Rahmenbedingungen im Bereich der Verwertung von mineralischen Bauabfällen, wie z.B. Stand der Technik bei Bausperrgutsortieranlagen usw. führen zu veränderten Materialströmen und Zielprozessen.
- Technische Verbesserungen bei der Aufbereitung von mineralischen Bauabfällen ermöglichen den Einsatz in neuen Anwendungen mit grossem Absatzpotenzial (wie z.B. Mischabbruchgranulate im Konstruktionsbeton) oder in der Zementproduktion.
- Verbesserte Aufbereitungsverfahren von KVA-Schlacken ermöglichen allenfalls eine stoffliche Verwertung in der Zementproduktion oder die Deponierung von Schlackenfraktionen in Deponien des Typs B gemäss VVEA.
- Über Anpassungen der im Kanton Zürich geltenden «Behandlungsregel für verschmutzte Bauabfälle und Aushub- und Ausbruchmaterial im Hinblick auf die Verwertung» könnte die Verwertungsquote bei schwach und wenig verschmutzten Aushubfraktionen erhöht und damit Deponievolumen geschont werden (AWEL, Juli 2020).

Für eine langfristig tragfähige, kantonale Deponieplanung sind möglichst aussagekräftige Prognosen (bis 2050) zum künftigen Materialanfall von zentraler Bedeutung. Dabei sind eventuelle oder zu erwartende Änderungen hinsichtlich der technischen oder gesetzlichen Rahmenbedingungen mit einzubeziehen. Materialflüsse über die Kantonsgrenzen werden ebenfalls berücksichtigt.

Um die künftige Entwicklung der Deponieabfälle, welche in Deponien des Typs B, C, D und E gemäss VVEA abgelagert werden sollen/müssen, für den Kanton Zürich abzuschätzen, wird ein Prognosemodell für Deponieabfälle entwickelt. Mit diesem Modell werden verschiedene Szenarien gerechnet. Das Modell soll später

den umliegenden Kantonen vorgestellt werden, mit dem Ziel, weitere Kantone dafür zu gewinnen, ein solches Modell für ihren Kanton erstellen zu lassen.

Eine korrekte Abschätzung des Bedarfs an Deponievolumen spielt in der Deponieplanung eine wichtige Rolle. Die Resultate und Erkenntnisse aus dem Prognosemodell sollen später in das Richtplandossier aufgenommen werden.

### 1.3 Vorgehen

In einem ersten Schritt werden die im DEMIS (Deponie-Monitoring- und Informationssystem) enthaltenen Daten zu Deponieabfällen nach Deponietyp und Materialkategorie zusammengetragen, aufbereitet, ausgewertet und plausibilisiert. Allfällige Datenlücken werden über Befragungen der Deponiebetreiber oder über eigene Abschätzungen geschlossen. Soweit möglich, werden die Daten von anderen Kantonen in die Erhebung mit einbezogen, um zumindest einen Überblick zu den importierten und exportierten Mengen, differenziert nach Materialkategorien zu erhalten. Es werden jeweils Datenreihen für den Zeitraum 2010 bis 2020 erstellt.

Parallel dazu wird ein Deponieprognosemodell (DPM) entwickelt, in dem das Szenario «REFERENZ» abgebildet werden kann. Mit Hilfe der aufbereiteten Datengrundlagen kann das DPM kalibriert und validiert werden.

In einem ergänzenden Projekt wird das Verwertungspotenzial der heute noch deponierten Materialien in Deponien des Typs B und E untersucht (ERM, 2022). Folgende Zielsetzungen stehen dabei im Vordergrund:

- Abschätzung der Mengen(-anteile) der heute auf die Deponietypen B und E gelangenden Abfälle, welche künftig einer Verwertung bzw. Behandlung zugeführt werden könnten.
- Quantifizierung der Transferkoeffizienten und der Materialmengen in die Aufbereitung, Behandlung und in die Deponien differenziert nach Materialkategorien.
- Quantifizierung der Mehrkosten durch die zusätzlich zu schaffenden Aufbereitungs- und Behandlungskapazitäten.
- Formulierung von Kriterien für diejenigen mineralischen Abfälle, die sich nicht für eine Verwertung eignen und somit direkt ab Baustelle der Deponie zugeführt werden können.

Auf Basis der erarbeiteten Grundlagen, welche einerseits eine Datenauswertung sowie die Begehungen von verschiedenen Deponien und Aufbereitungsanlagen im Kanton Zürich beinhalten, werden die folgenden strategischen Ansätze entwickelt.

Strategischer Ansatz 1: Verwertungs-/Behandlungspflicht für Typ B Materialien

Strategischer Ansatz 2: Maximale Reduktion des Materialflusses in die Deponien des Typs E

Strategischer Ansatz 3: Anpassung der Behandlungsregel für Aushub

Strategischer Ansatz 4: Einführung einer Lenkungsabgabe und weitere Massnahmen

Mit dem Vollzug dieser strategischen Ansätze bzw. der daraus abgeleiteten Massnahmen soll eine möglichst hohe Ausschöpfung des Verwertungspotenzials und eine Reduktion der Materialströme in die oben genannten Deponien gewährleistet werden. Die Erarbeitung der strategischen Ansätze erfolgte im Rahmen eines Workshops mit den relevanten Akteuren (Deponiebetreiber, Anlagebetreiber, Vertreter KVA und Zementindustrie, usw.). Auf Basis dieser Ansätze werden neben dem Szenario «REFERENZ» drei weitere Szenarien definiert und gerechnet, um die Bandbreite des Verwertungspotenzials abschätzen und aufzeigen zu können.

---

## 2 DATENGRUNDLAGEN

### 2.1 Auswertung DEMIS-Daten

#### 2.1.1 Datenaufbereitung

Die im Kanton Zürich abgelagerten Abfälle werden durch die jeweiligen Deponiebetreiberinnen auf der DEMIS-Plattform erfasst. Dies ermöglicht eine Zusammenstellung der Daten, welche anschliessend als Grundlage für den Aufbau und die Kalibrierung des Prognosemodells dienen. Der betrachtete Erfassungszeitraum erstreckt sich von 2010 bis 2020. Es wurden auch diejenigen Deponien berücksichtigt, die während diesem Zeitraum eröffnet oder geschlossen wurden. Die komplette Liste der betrachteten Deponien lautet:

- Binzwisen, Illnau-Effretikon
- Bruni, Pfungen
- Chalberhau, Rümlang
- Chrüzlen, Oetwil a.S.
- Hanegg, Horgen
- Hardrüteneu, Weiach
- Häuli, Lufingen
- Leigrueb, Lufingen
- Riet, Winterthur
- Schwanental, Eglisau
- Tambrig, Obfelden
- Wissenbüel, Gossau

Bei mehreren Deponien wurden die abgelagerten Mengen ohne VeVA-Code (Bundeskanzlei Bern, 2018) erfasst. In diesen Fällen musste «von Hand» ein passender Abfallcode aufgrund der Materialbeschreibung zugeordnet werden. Zum Teil waren in der DEMIS-Plattform auch die Materialien erfasst, die für den Deponiebau verwendet wurden, wie z.B. für die Abdichtung, die Entwässerungsschicht oder die Rekultivierung. Diese Materialien wurden dem gleichen Kompartiment zugeordnet, in dem sie eingebaut wurden. Die Nass- und Trockenschlacken waren zum Teil schon im DEMIS getrennt erfasst. Wo dies nicht der Fall war, wurden die Anteile an Nass- und Trockenschlacke rekonstruiert.

#### 2.1.2 Generelle Trends

Die Abbildung 1 zeigt die im Kanton Zürich abgelagerten Abfälle (Materialien Typ B, C, D und E) im Verlauf der letzten 10 Jahre. Über diesen Zeitraum ist durchschnittlich eine Zunahme von knapp 19'000 Tonnen pro Jahr bzw. 4 % erkennbar. Ab dem Jahr 2016 jedoch nehmen die jährlichen Mengen ab. Es ist noch unklar, ob es sich tatsächlich um eine Trendumkehrung handelt, oder ob dies durch jährliche Schwankungen bedingt ist. Eine entsprechend abschliessende Beurteilung wird erst nach Vorliegen von Daten aus weiteren Jahren möglich sein. Das AWEL verfolgt seit mehreren Jahren das Ziel, einer ausgeglichenen Export-Import Bilanz; dieses Ziel wurde ab 2016 erreicht (Datenauswertung vom AWEL). Es kann somit ausgeschlossen werden, dass die ab 2016 beobachtete Abnahme der deponierten Materialmengen lediglich auf eine Zunahme der Exporte zurückzuführen ist.

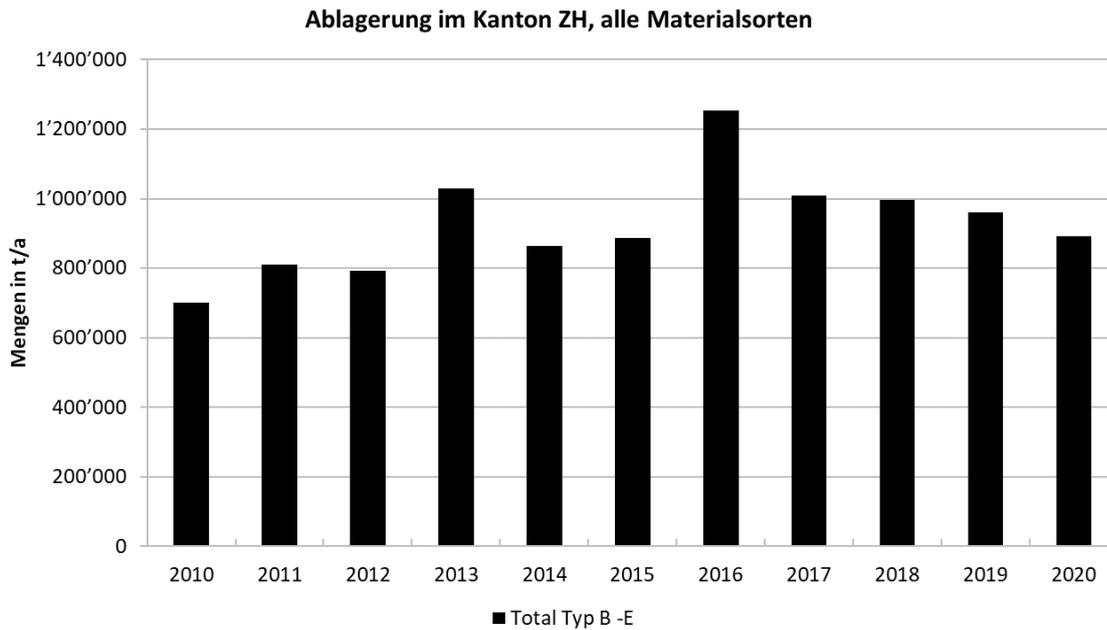


Abbildung 1: Die Gesamtmenge der im Kanton Zürich abgelagerten Abfälle (Materialien Typ B, C, D und E), in Tonnen.

Die in Zürcher Deponien abgelagerten Mengen sind je nach Deponie- bzw. Kompartimenttypen B bis E in der Abbildung 2 dargestellt. Beim Material Typ B stellt man im Zeitraum 2010 - 2020 eine Zunahme der Ablagerungsmenge von durchschnittlich ca. 32'000 Tonnen pro Jahr fest. Der Anfall an Materialien Typ C und D ist ungefähr konstant über diese Zeit. Das Material Typ E nimmt mit -8'000 Tonnen pro Jahr leicht ab.

Betrachtet man die Materialtypen B und E ab dem Jahr 2017, wird ersichtlich, dass das Material Typ E abgenommen hat, wo das Material Typ B hingegen zugenommen hat (mit roten Kreisen markiert). Früher wurden die Abfälle aufgrund der verfügbaren Deponievolumen vermehrt in Kompartimenten Typ E abgelagert.

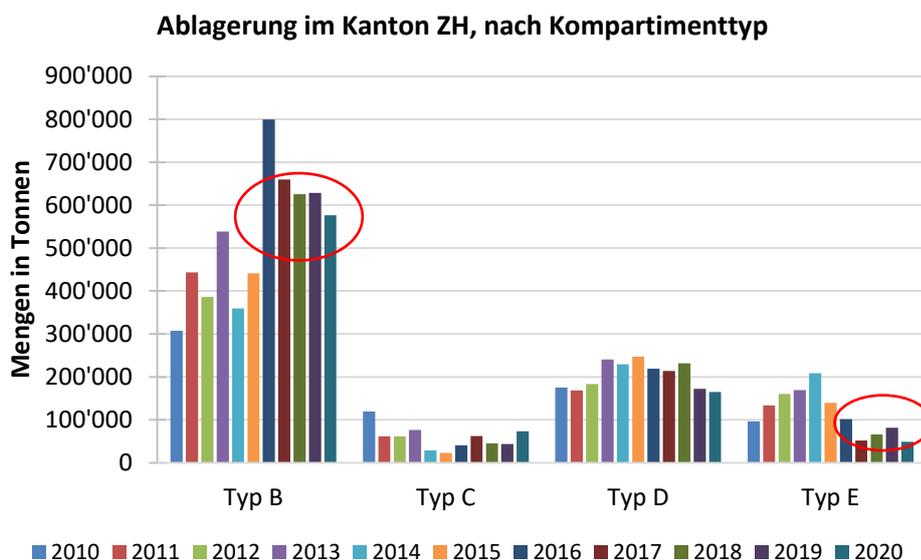


Abbildung 2: Die im Kanton Zürich abgelagerten Abfälle, nach Deponie- bzw. Kompartimenttyp aufgeteilt, in Tonnen.

### 2.1.3 Ausgewählte Abfallgruppen

Der totale Anfall an KVA-Schlacke war über den Betrachtungszeitraum ungefähr konstant, mit Gesamtmengen zwischen 150'000 Tonnen und 230'000 Tonnen pro Jahr (siehe Abbildung 3). Durchschnittlich fallen ca. 186'000 Tonnen KVA-Schlacke pro Jahr an. Im Jahr 2015 erfolgte der Umbau aller Ofenlinien der KEZO Hinwil für den Trockenschlackenaustrag. Dies ist in der Abbildung 3 klar erkennbar: Die Trockenschlacke nimmt sprunghaft zu, während die Nassschlacke dementsprechend abnimmt. Eine marginale Fraktion der Schlacke konnte keiner dieser beiden Kategorien zugeteilt werden («anderes und NA», in Grün dargestellt).

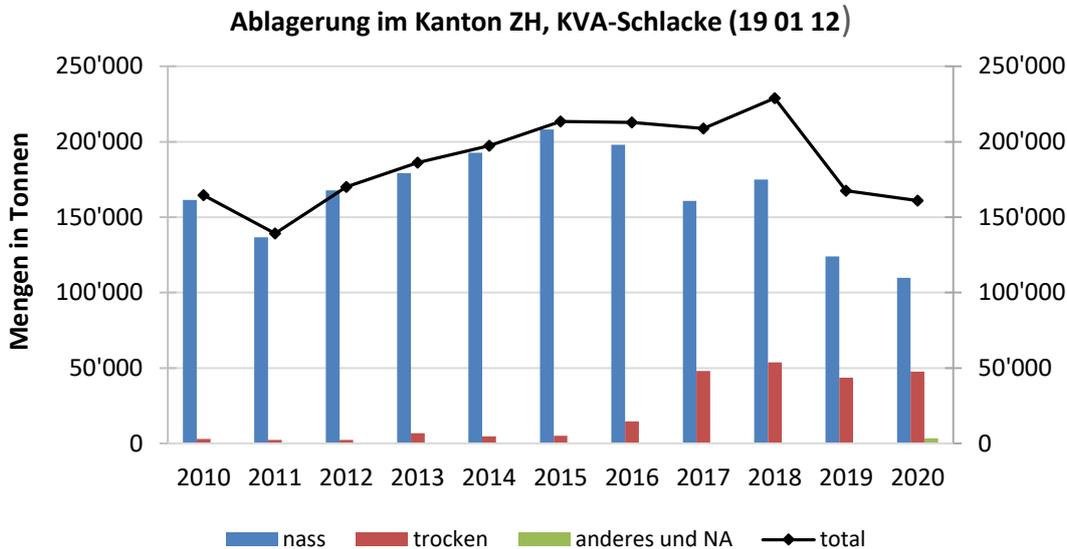


Abbildung 3: KVA-Schlacke (VeVA-Code: 19 01 12), die in Deponien des Kantons Zürich abgelagert wurde.

Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt die abgelagerten Mengen von Aushub- und Ausbruchmaterial (exkl. Bodenaushub). Ein Grossteil dieser Abfallfraktion wurde in Deponien bzw. Kompartimenten des Typs B abgelagert. Die Mengen belaufen sich zwischen 200'000 Tonnen pro Jahr und 400'000 Tonnen pro Jahr, mit einem Ausreisser im Jahr 2016. Trotz der ersichtlichen Schwankungen scheint es, dass ein zunehmender Trend besteht (+8'000 t/Jahr). In Kompartimenten Typ C darf nur behandeltes Aushub- und Ausbruchmaterial abgelagert werden. In Kompartimenten des Typs D und E wurden bis 2015 bzw. 2016 vergleichsweise kleine Mengen an Aushub- oder Ausbruchmaterial abgelagert. Dies ist naheliegend, da gemäss der Behandlungsregel des Kantons Zürich stark verschmutztes und durch gefährliche Stoffe verunreinigtes Material (Belastungsklassen gemäss Anhang 5, Ziffer 3, 4 und 5 der VVEA, vgl. (Bundeskanzlei Bern, 2022), beziehungsweise Buchstabe «S» gemäss (Bundeskanzlei Bern, 2018)) vollständig behandelt werden muss und eine (direkte) Ablagerung nur in Ausnahmefällen erfolgen darf (AWEL, Juli 2020). Nicht ersichtlich ist, im Vergleich zur Vorperiode, eine Abnahme des auf Deponien des Typ B abgelagerten Materials seit dem Übergang von der «alten Verwertungsregel» zur neuen «Behandlungsregel» im Jahr 2017, wonach neu 50% des schwach bis wenig belasteten Aushubmaterials behandelt werden mussten (anstelle der bisherigen 40% für «Inertstoffe» und 30% für «T-Material»).

Wie bereits im Abschnitt 2.1.2 erwähnt, ist es möglich, dass die Abnahme von Material des Typs E auf eine Ablagerung in Kompartimenten Typ B zurückzuführen ist. Die totalen, jährlichen Mengen sind zwischen 2010 und 2020 im Durchschnitt leicht gestiegen (+2'000 t/Jahr, das entspricht ca. 10% der totalen Materialzunahme im Kanton Zürich, vgl. Abbildung 1). Im Zeitraum 2016 bis 2020 ist jedoch eine stetige Abnahme zu beobachten; inwiefern dies ein längerfristiger Trend ist, wird sich bei der Auswertung zukünftiger Daten zeigen.

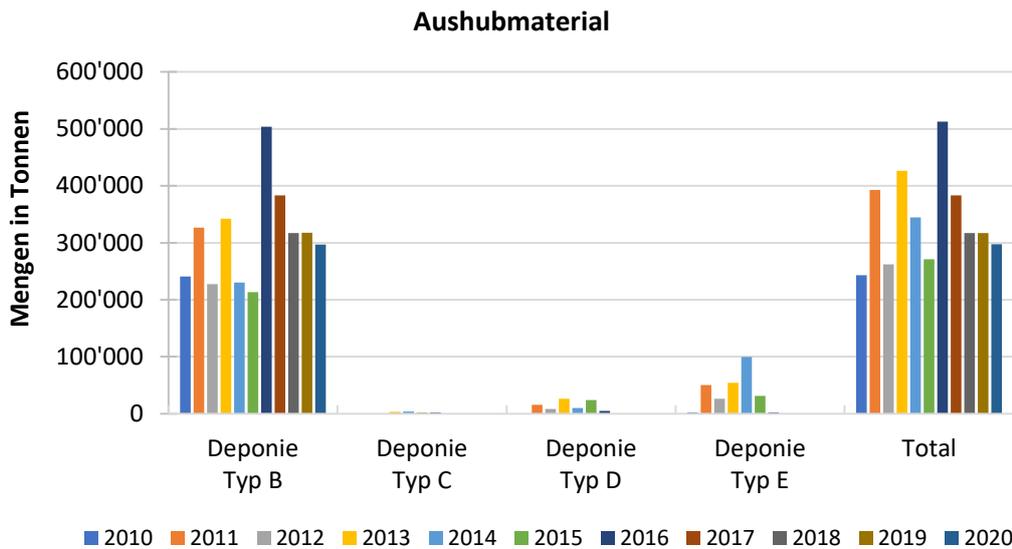


Abbildung 4: Aushub- und Ausbruchmaterial, nach Deponie- bzw. Kompartimenttyp und Jahr (Ablagerung im Kanton ZH).

Der abgetragene Ober- und Unterboden wurde fast ausschliesslich auf Deponien des Typs B abgelagert (siehe Abbildung 5). Dies ist naheliegend, da der Grossteil des belasteten Bodens aus Baugebieten mit einem Eintrag im Prüfperimeter für Bodenverschiebungen stammt. In der Regel handelt es sich in diesen Gebieten aufgrund langjähriger, anthropogener Aktivitäten um grossflächige Belastungen mit diffusivem Ursprung, welche in der Regel in der Belastungsklasse zwischen Richt- und Prüfwert gemäss VBBo fallen. Obschon solcher Boden am Entnahmeort oder an Standorten mit ähnlicher oder höherer Belastung wiederverwertet werden könnte, fehlen in der Praxis meist Abnehmer für derartiges Bodenmaterial, weshalb es einer Endlagerung zugeführt wird. Es ist eine markante Zunahme der Tonnagen zu beobachten (+9'000 t/Jahr). Ein Grund hierfür dürfte die anhaltend gute Baukonjunktur, viele innerstädtische Erneuerungs- oder Ersatzbauprojekte sowie die erhöhte Sensibilität von Bauherren und Behörden hinsichtlich allfälliger Schadstoffe im Boden und der damit verbundene, erhöhte Beprobungsaufwand sein (z.B. aufgrund von Meldepflicht gemäss «Meldeblatt zu Bodenverschiebungen» seit 2000er-Jahren).

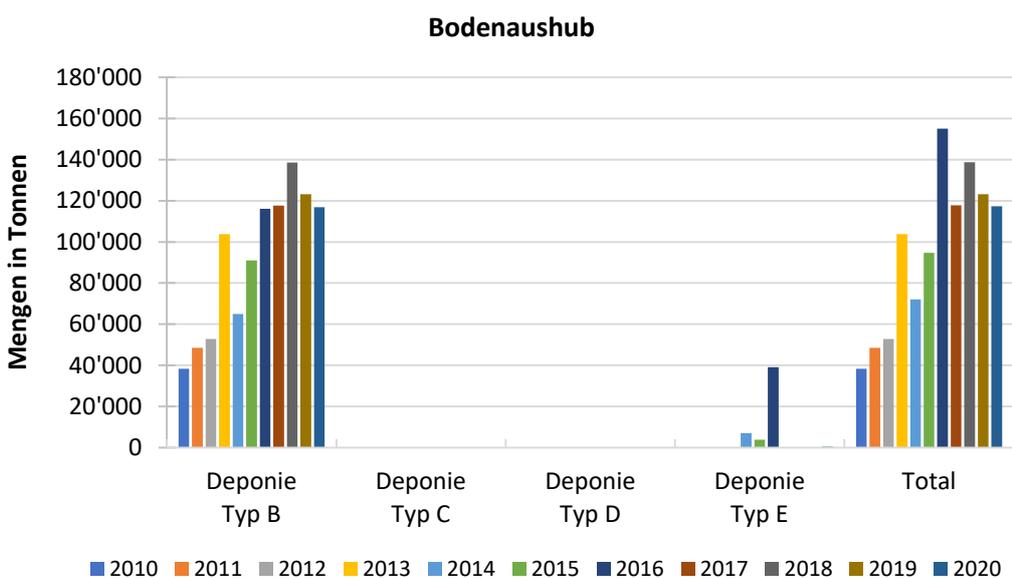


Abbildung 5: Abgetragener Ober- und Unterboden, nach Kompartimenttyp und Jahr (Ablagerung im Kanton ZH).

Die Behandlungsregel gilt mit Ausnahme von Kugelfangmaterial nicht für belastetes Bodenmaterial (AWEL, Juli 2020). Bei der Gesamtmenge Bodenaushub ist im ausgewerteten Zeitraum eine Zunahme von durchschnittlich ca. +9'500 Tonnen pro Jahr zu beobachten, was 50% der totalen Materialzunahme im Kanton Zürich gemäss Abbildung 1 entspricht. Dies legt nahe, dass in dieser Abfallkategorie möglicherweise ein weiterer Abklärungs- bzw. Analysebedarf und allfällige Handlungsmöglichkeiten bestehen, insbesondere sollte der steigende Trend weiterhin anhalten.

Es ist nicht auszuschliessen, dass der Bodenaushub früher teilweise als Aushub erfasst wurde. Eine Zunahme ist aufgrund der geänderten Vollzugspraxis und dem verdichteten Bauen durchaus nachvollziehbar.

Die Abbildung 6 fasst die abgelagerten Tonnagen an festen Abfällen und Schlämmen, die bei der Sanierung von Boden oder Aushub entstanden sind, zusammen. Die durchschnittliche Zunahme über alle Kompartimenttypen beträgt +8'000 Tonnen pro Jahr (ca. 42% der totalen Materialzunahme im Kanton Zürich gemäss Abbildung 1).<sup>1</sup> Diese Zunahme lässt sich praktisch gleich auf die Abfallkategorien des Typs B und C aufteilen. Die festen Abfälle und Schlämme werden aufgrund der Vorgaben der VVEA kaum bis praktisch nie in Deponien oder Kompartimenten des Typs D abgelagert. Der Anfall an Material Typ E ist ungefähr konstant.

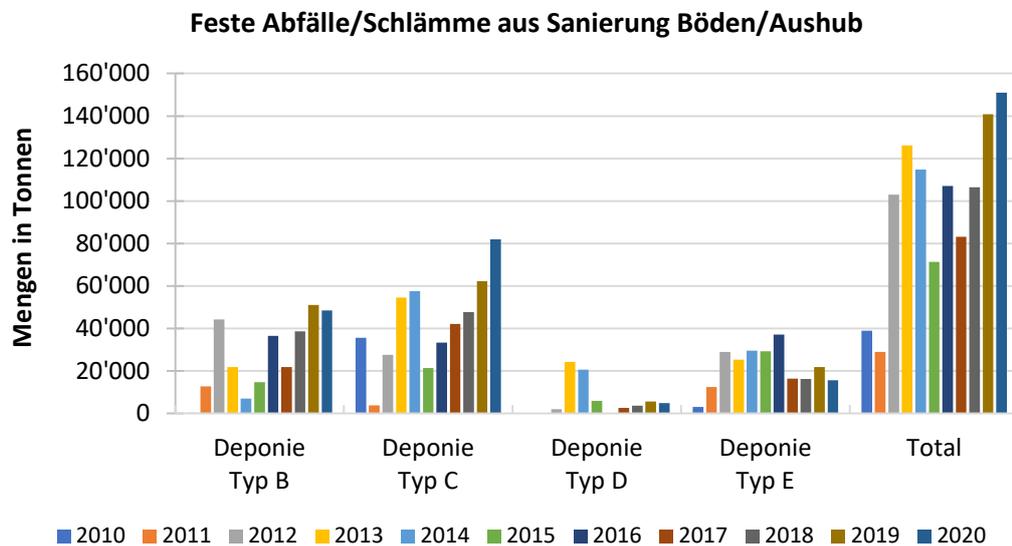


Abbildung 6: Feste Abfälle und Schlämme aus der Sanierung von Boden oder Aushub, nach Kompartimenttyp und Jahr (Ablagerung im Kanton ZH).

Nachfolgend wird der Anfall an stark verschmutztem Aushub- und Bodenmaterial dargestellt (Abbildung 7). Dieses darf nicht auf Deponien des Typs B abgelagert werden. Der Grossteil wird auf Deponien bzw. Kompartimenten des Typs E abgelagert. Es ist eine klare Abnahme zu erkennen; im Jahr 2020 bewegte sich der Materialinput unterhalb 20'000 Tonnen. Der Stand der Technik der Abfallbehandlung wird besser, so dass stark verschmutzte Materialien wirtschaftlich behandelt werden können. Wahrscheinlich hängt diese Entwicklung auch mit der Einführung der Verwertungsregel bzw. der Behandlungsregel zusammen.

<sup>1</sup> Es muss vermerkt werden, dass die Summe der erwähnten prozentualen Mengenänderungen nicht 100 % ergibt, weil hier nur ausgewählte Materialkategorien im Detail analysiert wurden. Nimmt eine bestimmte Materialkategorie mit der Zeit ab, ergibt sich daraus eine negative Mengenänderung.

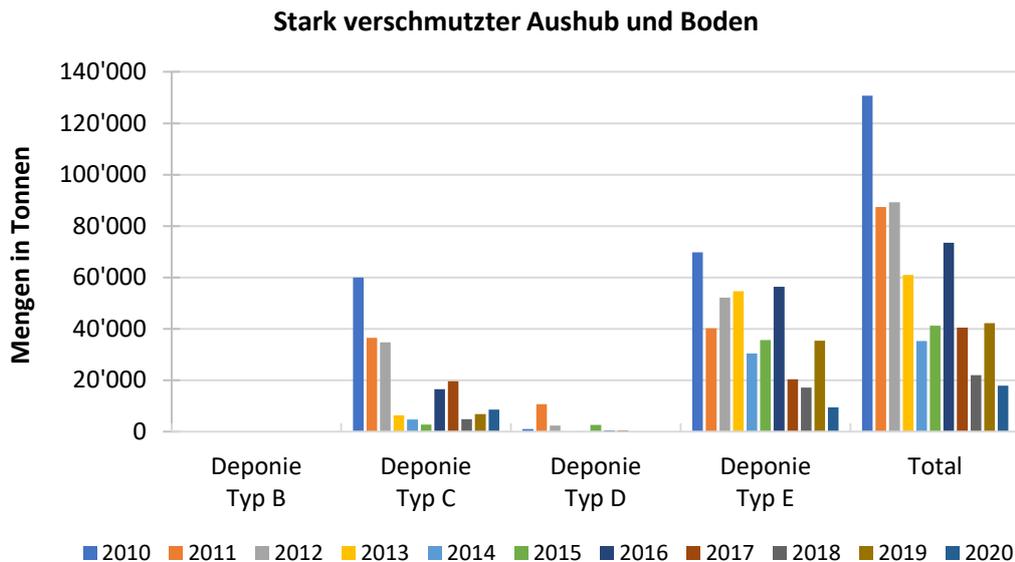


Abbildung 7: Stark verschmutzter Aushub und Boden, nach Kompartimenttyp und Jahr (Ablagerung im Kanton ZH).

## 2.2 Entwicklung der Importe und Exporte in Deponien

### 2.2.1 Betrachtung der intrakantonalen Abfallflüsse

Im vorangehenden Kapitel wurden die im Kanton Zürich abgelagerten Abfälle gemäss den vorliegenden Daten analysiert. Massgebend für die Betrachtung sind jedoch die totalen Abfallmengen, die im Kanton Zürich insgesamt anfallen. Eine Abnahme der im Kanton Zürich deponierten Mengen könnte dadurch bedingt sein, dass die im Kanton anfallenden Abfälle vermehrt in andere Kantone «exportiert» werden. Andererseits könnte eine Zunahme der abgelagerten Abfälle auf eine erhöhte Annahme von Abfällen aus Nachbarkantonen zurückzuführen sein. Bisher wurden die Abfallströme zwischen den Kantonen nicht systematisch erfasst. Die abgeschätzten Import- und Exportflüsse sind deshalb mit grossen Unsicherheiten behaftet. Ein überregionales Deponieprognosemodell würde es ermöglichen, diese Materialflüsse systematischer und genauer zu erheben. Es ist deshalb angedacht, ein solches Prognosemodell allenfalls in einem Folgeprojekt zu entwickeln.

### 2.2.2 Datenaufbereitung

Die Daten zu den ausserhalb des Kantons Zürich deponierten Abfällen wurden von den jeweiligen Umweltämtern bzw. den zuständigen Behörden für Abfälle und Deponien zur Verfügung gestellt. Die Kantone Bern, Glarus, Nidwalden, Obwalden, Solothurn und Zug haben für die Erhebung Daten beigesteuert. Die erhaltenen Daten beziehen sich ausschliesslich auf jene Abfälle, die in den jeweiligen Kanton vom Kanton Zürich eingeführt wurden (d.h. aus der Perspektive des Kantons Zürich Exporte) und dort abgelagert wurden. Die genannten Kantone führen jedoch keine Statistik betreffend der Abfallmengen, die ihren Kanton zur Entsorgung im Kanton Zürich verlassen (d.h. aus der Perspektive des Kantons Zürich Importe). Vermutlich handelt es sich bei den importierten Mengen um wenige Tausend Tonnen pro Jahr, weil die Deponiepreise im Kanton Zürich in der Regel höher sind als anderswo. Der Detaillierungsgrad der gelieferten Informationen ist von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich. Die Daten wurden, soweit möglich, auf ihre Vollständigkeit überprüft.

Die Kantone Bern und Solothurn haben für die Datenauswertung jeweils einen Auszug aus der EGI-Datenbank übermittelt. Diese Daten sind als Planungsmengen zu verstehen (d.h. es handelt sich um die gemäss Entsorgungsgesuch bewilligten Materialmengen); die tatsächlich aus dem Kanton Zürich exportierten und abgelagerten Mengen dürften daher in der Regel wohl tiefer ausfallen. Im Kanton Solothurn besteht eine Pflicht zur Erfassung erst ab 100 t, d.h. kleinere Abfalltransporte aus dem Kanton Zürich in den Kanton Solothurn werden in der Datenbank nicht erfasst. Die Daten betreffend 2010 fehlen für beide Kantone.

Die Deponie der Ardega AG ist die einzige Deponie im Kanton Glarus und nimmt ausschliesslich Materialien des Typs A und B an. Die Daten aus dem Kanton Glarus sind vollständig und beziehen sich auf die tatsächlich abgelagerten Mengen.

Die Deponien Rotzloch und Cholwald im Kanton Nidwalden haben Abfälle aus dem Kanton Zürich angenommen. Die Daten des Kantons Nidwalden sind vollständig, nach Kompartimenttyp differenziert, jedoch aggregiert (keine Differenzierung nach VeVA-Codes möglich).

Der Kanton Obwalden konnte Daten ab Mitte 2014 zur Verfügung stellen. Davor gab es ein Importverbot in diesem Kanton. Die Daten sind vollständig und nach Kompartimenttyp aufgeschlüsselt.

Aus dem Kanton Zug standen vollständige Daten für den Zeitraum 2014 bis 2020 zur Verfügung. Die im Kanton Zug abgelagerten Materialien sind ebenfalls nach Kompartimenttyp gegliedert.

Der Kanton Schwyz hat höchstwahrscheinlich keine Abfälle aus dem Kanton Zürich angenommen: Die einzige relevante Deponie wäre die Deponie Selgis im Muotathal. Der Transport von Abfällen in eine solch entlegene Deponie ist nicht wirtschaftlich.

### 2.2.3 Allgemeine Angaben

Die Kantone, welche die meisten abzulagernden Abfälle aus dem Kanton Zürich angenommen haben, sind gemäss Tabelle 1 der Kanton Glarus mit 50.5% der total exportierten Abfälle, der Kanton Zug (29.7%) und der Kanton Nidwalden (9.9%). Pro Jahr wurden aus dem Kanton Zürich im Durchschnitt 118'400 Tonnen exportiert. Die in der Tabelle 1 aufgeführten Mengen wurden für den Zeitraum von 2010 bis 2020 zusammengestellt. Berücksichtigt man nur die Daten ab 2014 (vollständige Daten), betragen die Anteile der Kantone Glarus 41.3%, und Zug 38.6%.

Die vorliegenden Datengrundlagen erlauben keine abschliessende Aussage, wieviel «Deponieabfälle» im Kanton Zürich im betrachteten Zeitraum effektiv angefallen sind. Angaben zu den Importen (Abfallflüsse mit dem Kanton Zürich als Zielort) sind im beschränkten Umfang verfügbar (Tabelle 2). Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Importe und Exporte seit 2016 in etwa auf gleichem Niveau bewegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die importierten Materialien oftmals zunächst in eine Aufbereitungsanlage (z.B. Bodenwaschanlage oder KVA) im Kanton Zürich gelangen und ein Teil des Outputs anschliessend in Deponien im Kanton Zürich geführt wird. Es handelt sich somit um einen indirekten Materialimport.

Tabelle 1: Übersicht über die exportierten Abfallmengen, welche in ausserkantonalen Deponien abgelagert wurden.

Zielkanton	durchschnittliche jährlich abgelagerte Mengen in Tonnen, gerundet	Anteil der total exportierten Abfälle	Kompartimenttyp
BE	2'100	1.8 %	B, C, D, E
GL	59'800	50.5 %	B
NW	11'700	9.9 %	B, D, E
OW	800	0.7 %	B
SO	8'800	7.4 %	B, E
ZG	35'100	29.7 %	B, C, D, E
<b>Total</b>	<b>118'400</b>	<b>100 %</b>	<b>B, C, D, E</b>

## 2.2.4 Auswertung nach Kompartimenttyp

In der Tabelle 2 sind die Mittelwerte der total abgelagerten, der abgeschätzten importierten und exportierten Mengen in Tonnen pro Jahr und die Verteilung nach Kompartimenttyp differenziert für den Zeitraum 2010 – 2020 aufgeführt<sup>2</sup>. Die Verteilung der exportierten Mengen zeigt, dass ein höherer Anteil in die Deponien des Typs B ging (70%), rund ein Viertel in die Deponien des Typs E gelangten und nur sehr wenig Material in die restlichen Deponiekompartimente geführt wurde. Insgesamt wurden somit rund 11.5% der zu deponierenden Materialien exportiert. (118'400 t/a). Bei den Importen ist die Verteilung etwas anders. Etwas mehr als 40 % der importierten Materialien gingen in Deponien des Typs B. Weitere 47% gelangten in die Deponien des Typs D. Es handelt sich hierbei vor allem um Schlacke, die grösstenteils vor der Deponierung einer Aufbereitung unterzogen wurden. Die Import-Export-Bilanz von Materialien, welche in die Deponien des Typs E gelangten, ist beinahe ausgeglichen.

Tabelle 2: Gemittelte Verteilung der deponierten Abfälle nach Kompartimenttyp, differenziert nach im Kanton abgelagerten Mengen, Importen und Exporten für den Zeitraum 2010 – 2020.

Abgelagerte, importierte und exportierte Mengen, gemittelt über den Zeitraum 2010 - 2020						
Material Typ	im Kanton Zürich		importiert in Kanton Zürich		exportiert in andere Kantone	
B	58 %	524'200 t/a	41 %	65'000 t/a	70 %	86'000 t/a
C	6 %	57'700 t/a	0 %	0 t/a	1 %	1'700 t/a
D	23 %	204'200 t/a	47 %	75'000 t/a	5 %	5'700 t/a
E	13 %	114'300 t/a	12 %	20'000 t/a	24 %	25'000 t/a
<b>Total</b>	<b>100 %</b>	<b>900'400 t/a</b>	<b>100 %</b>	<b>160'000 t/a</b>	<b>100 %</b>	<b>118'400 t/a</b>

Die Abbildung 8 zeigt die Exportmengen aus dem Kanton Zürich für den Zeitraum 2010 - 2020. Beim Material Typ E ist eine deutliche Zunahme von wenigen tausend Tonnen im Jahr 2010 bis auf knapp 60'000 Tonnen im Jahr 2020 zu erkennen. In der Realität dürfte der Anstieg deutlich geringer ausgefallen sein, da die Kantone Bern, Solothurn und Zug keine Daten für den Zeitraum 2010 bis 2014 zur Verfügung stellen konnten. Es wird nur wenig Material Typ C und D exportiert. Beim Material Typ B sind zudem grosse jährliche Schwankungen zu verzeichnen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Exporte von Material Typ B im Verlauf der Zeit tendenziell eher abgenommen haben.

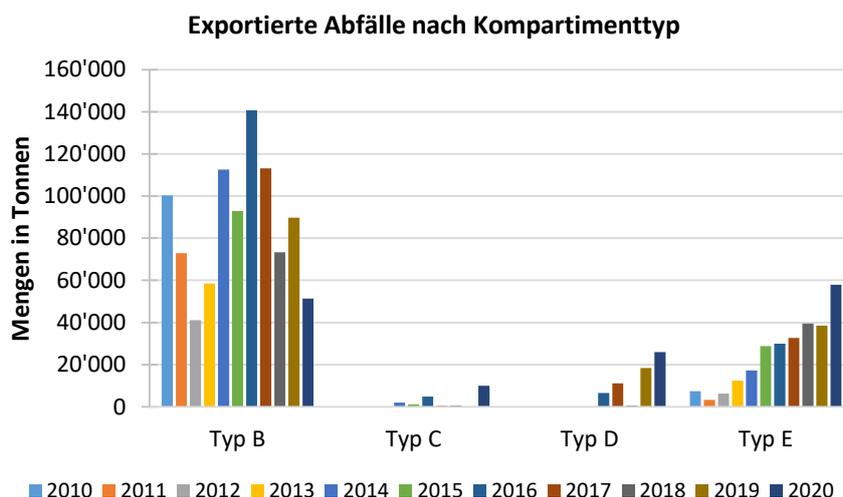


Abbildung 8: Die aus dem Kanton ZH exportierten Abfälle, nach Kompartimenttyp und Jahr.

<sup>2</sup> Die Import- und Exportdaten sind mit grossen Unsicherheiten behaftet und teilweise unvollständig, da nicht für alle Kantone Daten verfügbar waren.

## MODELLAUFBAU UND BESCHREIBUNG DER SZENARIEN

### 2.3 Modellaufbau

Um die Gesamtheit der Materialflüsse in die Deponien (und Verwertung) möglichst realitätsnah und detailliert zu modellieren, ist ein umfangreicher Modellaufbau erforderlich. So müssen alle möglichen Materialströme ab Baustelle, Bauschuttzubereitung, Bausperrgutsortierung und KVA in die Deponie berücksichtigt und nach den verschiedenen Deponietypen (B - E) differenziert werden. Die Grundidee des Modellaufbaus liegt darin, dass zuerst jede für die Zusammensetzung auf den Deponien Typ B - E relevante Materialkategorie ermittelt und die Materialströme erfasst werden. Daraus soll ein möglichst genaues Abbild der IST-Situation auf den Deponien des Typs B – E im Kanton Zürich und deren Zusammensetzung abgeleitet werden können. Die relevanten Materialkategorien, welche in der Modellierung berücksichtigt werden, sind folgende:

- s+w Aushubmaterial
- s+w Bodenaushub
- Feste Abf./Schlämme aus der Sanierung von Aushub/Böden
- Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)
- Ausbauasphalt
- Gemischte Bauabfälle aus BSSA
- Restliche Rückbaumaterialien
- Material aus Schlackenaufbereitung
- Material aus RGRR-Aufbereitung
- Restl. Abfälle
- Stark verschm. Aushub + Böden

Der Grundaufbau des Modells sowie die Schritte, welche zur Entwicklung des Modells notwendig waren, sind in Abbildung 9 ersichtlich. Die verschiedenen Boxen stellen dabei die unterschiedlichen Module des Modells dar. Sie entsprechen jeweils einer Modellentwicklungsstufe und sind nach Materialkategorien differenziert. In Klammern ist jeweils die Abkürzung der Modulbezeichnung angegeben, welche nachfolgend verwendet werden. Die Entwicklung des Modells kann in vier Stufen unterteilt werden. Dazu gehört die Modellierung der Entwicklung des gesamten Materialanfalls, differenziert nach den Materialhauptkategorien (blaue Boxen), die Modellierung der Entwicklung der Materialflüsse in die Verwertungsprozesse und Deponien (rote Boxen), die detaillierte Verteilung der Outputflüsse aus den Verwertungsprozessen (grüne Boxen) sowie die Verteilung der Materialflüsse auf die verschiedenen Deponietypen und die Verwertung (gelbe Boxen).

Da es sich um unterschiedliche Materialhauptkategorien handelt, bedarf es verschiedener Informationen und Datengrundlagen zu deren Entwicklung in den Quellprozessen. Die blauen Boxen stellen die Grundlagenmodule dar, in denen die zeitlichen Entwicklungen der Materialhauptkategorien modelliert werden. Die weiteren Stufen der Modellierung basieren auf diesen Modulen. Anhand dieser Grundlagen wird in der nächsten Modellstufe für jede Materialkategorie der erwartete Anfall und dessen Entwicklung bis ins Jahr 2050 modelliert (rot). Bereits in dieser Modellstufe findet mittels Transferkoeffizienten eine erste Verteilung der Materialflüsse statt: Materialflüsse in Deponien im Kanton Zürich bzw. in Deponien ausserhalb des Kantons Zürich. In den grünen Modulen findet eine weitere Differenzierung und Verteilung der Materialkategorien statt. Schliesslich werden in einem letzten Schritt (gelb) die modellierten Materialströme auf die verschiedenen Deponietypen (B - E) und die weiteren Verwertungsprozesse verteilt. Auf die Inhalte der einzelnen Module wird im nächsten Kapitel 2.4 noch genauer eingegangen.

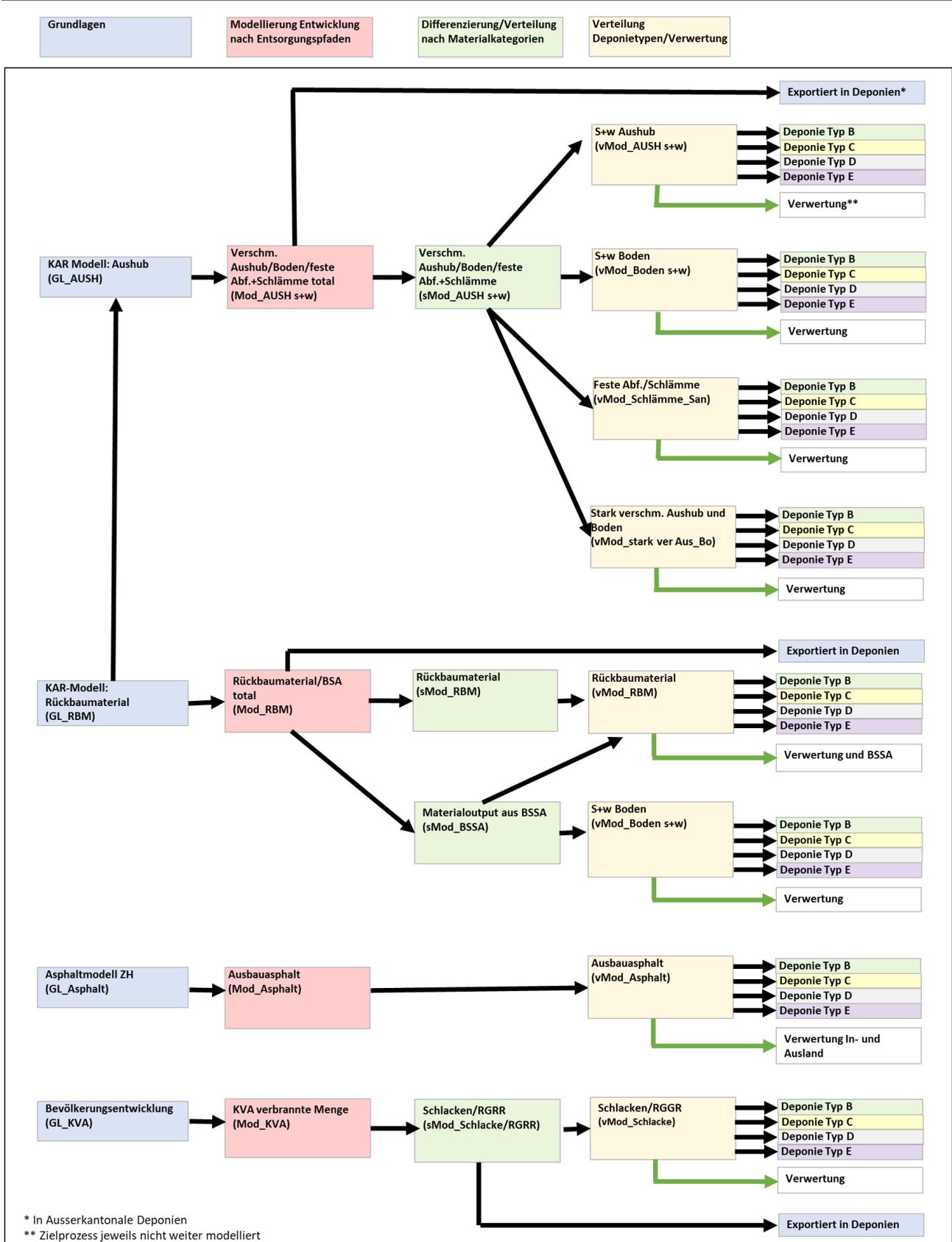


Abbildung 9: Visualisierung des Modellaufbaus mit den verschiedenen Modulen (Boxen) und den vier Modellstufen (farblich unterschieden).

## 2.4 Modellgrundlagen anhand des Szenario «REFERENZ» und wichtige Parameter

Basis für die Modellierung bildet das Szenario «REFERENZ». Dieses Szenario geht vom IST-Zustand im Bezugsjahr 2020 aus und setzt sich unter den gleichen Rahmenbedingungen bis ins Jahr 2050 fort. Dabei werden die Modellparameter und -variablen im Abstand von jeweils 5 Jahren bis zum Jahr 2050 bestimmt. Anschliessend werden diese Stützstellen mittels kubischer Splines<sup>3</sup> interpoliert, um die Entwicklung auf Grundlage des IST-Zustandes bis ins Jahr 2050 zu modellieren. Der IST-Zustand bzw. die Entwicklung der einzelnen Materialflüsse baut auf bestehenden Datengrundlagen auf. Nachfolgend werden zunächst die vier Modellstufen und anschliessend werden die Szenarien detailliert beschrieben. Die dabei verwendeten Abkürzungen beziehen sich jeweils auf die in den Boxen in der Abbildung 9 aufgeführten Bezeichnungen.

### Modellstufe: Grundlagen (blaue Boxen)

In den blauen Modulen werden die Entwicklungen der Materialflüsse für die vier Materialhauptkategorien «Aushubmaterial (inkl. Boden)», «Rückbaumaterial», «Ausbauasphalt» und «KVA verbrannte Mengen» bis ins Jahr 2050 modelliert. Diese basieren auf den folgenden Grundlagen:

- KAR-Modell Aushub «GL\_AUSH»: Die Entwicklung des Aushubanfalls wurde vom Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialfluss-Modells (KAR-Modell) des Kantons Zürich übernommen. Dieses basiert im Grundsatz auf der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung. Die Materialflüsse werden im KAR-Modell über mathematische (Dämpfungs-) Funktionen so berechnet, dass die verschiedenen Materialflüsse möglichst gut mit den realen Materialflüssen übereinstimmen. Das KAR-Modell des Kantons Zürich ist sowohl kalibriert als auch validiert. Es gibt verschiedene Berichte zum Aufbau und zur Entwicklung des KAR-Modells (Rubli S., 2012 - 2020).
- KAR-Modell Rückbaumaterial «GL\_RBM»: Die Entwicklung der verschiedenen Rückbaumaterialflüsse wurde ebenfalls direkt vom Kies-, Aushub- und Rückbaumaterialfluss-Modells (KAR-Modell) des Kantons Zürich übernommen.
- Ausbauasphaltmodell ZH «GL\_Aspphalt»: Der Kanton Zürich hat in Zusammenarbeit mit den Kantonen Thurgau, St. Gallen und dem Fürstentum Liechtenstein ein Modell zur Beschreibung der Asphalt- und PAK-Flüsse erstellen lassen (Rubli, 2013). Aus diesem Modell wurden die Werte des Szenarios REFERENZ entnommen und bis ins Jahr 2050 fortgeschrieben. Für die Abschätzung des Materialflusses in die Deponien im Kanton Zürich wurde angenommen, dass der Asphaltfluss in die in- und ausländischen Behandlungsanlagen bis 2050 stetig zunehmen wird, so dass künftig kein Ausbauasphalt mehr in Deponien gelangt.
- Bevölkerungsentwicklung «GL\_KVA»: Die Entwicklung des Anfalls von brennbaren Abfällen basiert auf der Bevölkerungsentwicklung. Im Modul «GL\_KVA» wurden deshalb die Daten des Szenarios Trend ZH 2021 der Bevölkerungsprognose von Statistik & Daten des Kantons Zürich übernommen und bis 2050 fortgeschrieben.

### Modellstufe: Modellierung Entwicklung nach Entsorgungspfaden (rote Boxen)

In den roten Modulen werden die Verteilung und Entwicklungen der Materialflüsse in die verschiedenen Entsorgungspfade bis ins Jahr 2050 modelliert.

- Im Modul «Mod\_AUSH\_s+w» wird die Entwicklung des aggregierten Anfalls von «s+w Aushubmaterial», «s+w Bodenaushub» und «Feste Abfälle und Schlämme aus der Sanierung von Böden und

<sup>3</sup> Bei den kubischen Splines handelt es sich um eine Splineinterpolation dritten Grades. Ein kubischer Spline (Strecken-zug) ist aus Polynomen 3. Grades zusammengesetzt, die an den Knoten zweimal stetig differenzierbar sind. Im vorliegenden Modell werden jeweils sieben Knoten (Modellparameter in den Jahren 2020, 2025, ..., 2050) definiert, durch die die Splinefunktion verlaufen soll. Damit wird gewährleistet, dass die Entwicklung der Materialflüsse stetig verläuft. Zudem kann die zeitliche Entwicklung der Materialflüsse über die Veränderung der Knoten (Modellparameter) schnell angepasst werden, was die Szenarienrechnungen/-analyse vereinfacht. Die Splines werden im Modell mittels VBA generiert.

Aushub» modelliert. Dabei werden die Anteile des aggregierten Materialanfalls (aus DEMIS) am gesamten Aushubanfall aus dem Modul «GL\_AUSH» berechnet. Für den Zeitraum 2017 – 2020 bewegt sich dieser Anteil im Bereich von 6.0% - 6.5%. Die Entwicklung des Materialflusses bis ins Jahr 2050 wurde auf Basis des Mittelwerts dieses Bereichs modelliert und mittels kubischer Splines bis 2050 extrapoliert. Die Entwicklung der Exportflüsse erfolgte auf die gleiche Weise. Die entsprechenden Exportanteile liegen im Bereich von 5.0% - 6.1%.

- Im Modul «Mod-RBM» wird die Entwicklung der Rückbaumaterialflüsse in die Deponien modelliert. Die Modellierung dieser Materialflüsse in die Deponien des Kantons Zürich sowie in ausserkantonalen Deponien erfolgt auf Basis der entsprechenden Transferkoeffizienten, welche mittels der Daten im Modul «GL-RBM» berechnet und mittels kubischer Splines bis 2050 fortgeschrieben werden. Da in den Rückbaumaterialflüssen auch die Asphaltflüsse enthalten sind und diese im Modul «Mod\_Aspphalt» separat modelliert werden, werden die Asphaltflüsse jeweils von den Rückbaumaterialflüssen subtrahiert. Die Daten zur Entwicklung des Rückbaumaterialanfalls werden zudem im Modul «sMod\_BSSA» für die Modellierung der Entwicklung des Materialinputs in die Bausperrgutsortieranlagen (BSSA) verwendet.
- Im «Mod\_Aspphalt» werden die verschiedenen Asphaltflüsse aus dem Modul «GL\_Aspphalt» in der Art bilanziert, dass die Entwicklung des Materialflusses in die Deponien modelliert werden kann. Da der Asphaltoutput aus den Strassen künftig weiterhin zunehmen wird, entsteht ein Ausbauasphaltüberschuss, was ohne weitere Massnahmen zu stark ansteigenden Materialflüssen in die Deponie führen würde. Da auf Bundesebene ein Ablagerungsverbot in Betracht gezogen wird, wurde in diesem Modul angenommen, dass der Überschuss an Ausbauasphalt ab dem Jahr 2030 vollständig in in- oder ausländische Behandlungsanlagen geführt wird und somit kein Asphalt mehr deponiert wird. Für die Übergangsphase zwischen 2020 und 2030 wurden die Asphaltflüsse in die Deponie mittels kubischer Splines und der Bilanzierung von Überschussmenge, Asphalt in Behandlung und Exporten modelliert.
- Die Modellierung der Entwicklung der brennbaren Abfälle, die in KVA gelangen, erfolgt im Modul «Mod\_KVA». Als Grundlage dient die Bevölkerungsprognose aus dem Modul «GL\_KVA» sowie die vom AWEL zu Verfügung gestellten Daten zu den in den KVA verbrannten Mengen (Quelldatei: 6005\_18\_Cockpit\_v11\_1\_KVA-Controlling im Jahr 2021). Damit lässt sich für den Zeitraum 2005 – 2020 die verbrannte Menge Abfall pro Einwohner berechnen. Im Modul wird davon ausgegangen, dass die spezifische Menge pro Einwohner bis ins Jahr 2050 leicht abnimmt. Die Entwicklung der Abfallmenge bis 2050 wird wiederum mittels kubischer Splines entsprechend modelliert.
- Die restlichen Abfälle werden in einem separaten Modul «Mod\_Rest» zusammengefasst (nicht in Abbildung 9 dargestellt). Hier werden der Anfall und die IST-Situation auf Grundlage der DEMIS-Daten geschätzt und die Entwicklung analog zu den anderen Modulen bis ins Jahr 2050 modelliert.

#### Modellstufe: Differenzierung/Verteilung nach Materialkategorien (grüne Boxen)

In den grünen Modulen werden die Materialflüsse weiter nach Materialkategorien differenziert und auf die Entsorgungspfade verteilt.

- Im Modul «sMod\_RBM» wird der modellierte Rückbaumaterialfluss in die Deponien («Mod\_RBM») nach den einzelnen RBM-Fraktionen differenziert. Dabei wird das Rückbaumaterial in folgende Fraktionen unterteilt:
  - Asbesthaltige Bauabfälle
  - Bauabfälle auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 08 01 fallen
  - Beton- und Mischabbruch
  - Gemischte Bauabfälle sowie sonstige Bauabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten
  - Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle
  - Restliche Bauabfälle

Diese Unterteilung erfolgt auf Grundlage der Analyse der DEMIS-Daten. Anhand dieser kann die Verteilung der oben aufgeführten Fraktionen für den Zeitraum 2017 - 2020 ermittelt und gemittelt werden. Daraus ergeben sich die Transferkoeffizienten für das Jahr 2020 und die nachfolgenden Jahre. Mittels kubischer Splines wird die Entwicklung dieser Transferkoeffizienten bis zum Jahr 2050 extrapoliert. Über den zuvor modellierten Rückbaumaterialanfall und die erwähnten Transferkoeffizienten werden die Materialflüsse der einzelnen Fraktionen in die Deponien berechnet.

- Da ein Teil der Rückbaumaterialien von der Baustelle direkt in Bausperrgutsortieranlagen (BSSA) geführt wird, müssen die Outputs aus dieser Aufbereitung ebenfalls modelliert und miteinbezogen werden («sMod\_BSSA»). Auch hier werden mittels Transferkoeffizienten aus der BSSA die verschiedenen Materialflüsse abgeschätzt. Als Datengrundlage für die Ableitung der Transferkoeffizienten diente der Jahresbericht des ARV (arv Baustoffrecycling Schweiz, 2021). Der Materialoutput nach der BSSA wird in die vier Kategorien Verwertung, Deponie Typ B (als gemischte Bauabfälle), Feinfraktion in Typ E und Feinfraktion in die Verwertung unterteilt.
- Analog zum Rückbaumaterial wird auch der Aushubmaterialfluss im Modul «sMod\_AUSH\_s+w» differenziert und mittels Transferkoeffizienten (abgeleitet aus DEMIS-Daten) in die folgenden Fraktionen aufgeteilt:
  - s+w Aushub
  - s+w Boden
  - Feste Abfälle und Schlämme aus Sanierungen von Böden und Aushub
  - Stark verschm. Aushub
  - Stark verschm. Boden
- In der Tabelle 3 ist die Differenzierung Materialflüsse in die verschiedenen Materialkategorien und die ermittelten Transferkoeffizienten (als Basis für Modellierung des Zeitraumes 2021 – 2050) für die einzelnen Module aufgeführt.

Tabelle 3: Verteilung der Outputflüsse in den grünen Modulen und deren Transferkoeffizienten (TK) für die Modellierung der Materialflüsse bis ins Jahr 2050.

Modul	Materialkategorie	TK in %
sMod_AUSH_s+w: Aushub in Deponien	s+w Aushub: s+w Boden: Stark verschm. Aushub: Stark verschm. Boden: Feste Abfälle und Schlämme aus Sanierungen von Böden und Aushub:	<b>52%</b> <b>21.2%</b> <b>4.2%</b> <b>0.4%</b> <b>22.2%</b>
sMod_RBM: Rückbaumaterialien	Asbesthaltige Abfälle: Beton- und Mischabbruch: Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle: Bauabfälle auf Gipsbasis mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 08 01 fallen: Gemischte Bauabfälle sowie sonstige Bauabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten: Restliche Bauabfälle:	<b>4.3%</b> <b>2.0%</b> <b>90.8%</b> <b>1.5%</b> <b>0.6%</b> <b>0.9%</b>
sMod_BSSA: Materialoutput aus BSSA	Verwertung: Deponie Typ B: Feinfraktion Typ E: Feinfraktion verwertet:	<b>80%</b> <b>13%</b> <b>0.9%</b> <b>6.1%</b>

- Im Modul «sMod-Schlacke» werden aus der modellierten Entwicklung der Abfallmenge («Mod\_KVA»), welche in einer KVA verbrannt wird, die Entwicklungen der Schlacken- und RGRR-Mengen berechnet und anschliessend bis ins Jahr 2050 modelliert. Bei den angegebenen Schlackenmengen handelt es sich um trockene Schlacke.

Modellstufe: Verteilung Deponietypen/Verwertung (gelbe Boxen)

In der letzten Modellstufe (gelbe Boxen) werden die modellierten Materialflüsse auf die verschiedenen Deponietypen (Typ B - E) oder die Verwertung verteilt. Die für die Modellierung verwendeten Transferkoeffizienten basieren auf detaillierten Auswertungen der DEMIS-Daten (Tabelle 4).

Tabelle 4: Verwendete Transferkoeffizienten für das Jahr 2020 als Startwerte zur Modellierung der Materialflüsse in die Deponien des Typs B – E und in die Verwertung für die verschiedenen Module (gelbe Boxen).

Modul	Materialkategorie	Transferkoeffizienten Jahr 2020
vMod_RBM	Rückbaumaterialien	Gemischte Bauabfälle (ak) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 87.9%</li> <li>• Typ C: 0.1 %</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 1.6%</li> </ul> Restl. RBM: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 6.3%</li> <li>• Typ C: 0.2%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 3.9%</li> </ul> Verwertung: <ul style="list-style-type: none"> <li>• In BSSA: 0.0%</li> <li>• In BSA: 0.0%</li> </ul>
vMod_FF_BSSA	Feinfraktion in Verwertung aus sMod_BSSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 25%</li> <li>• Typ E: 23%</li> <li>• Stoffliche Verwertung: 52%</li> </ul>
vMod_Asphalt	Asphalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 50.4%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 49.6%</li> </ul>
vMod_AUSH_s+w	s+w Aushub	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 99.8%</li> <li>• Typ C: 0.1%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.1%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>
vMod_Boden_s+w	s+w Bodenaushub	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 100%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>
vMod_Schlämme_San	Feste Abfälle und Schlämme aus Sanierung von Böden und Aushub	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 34.9%</li> <li>• Typ C: 47.8%</li> <li>• Typ D: 3.6%</li> <li>• Typ E: 13.7%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>
vMod_stark ver Aus_Bo	Stark verschm. Aushub und Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 0.0%</li> <li>• Typ C: 33.9%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 66.1%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>
vMod_Schlacke	Schlacke	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 0.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 99.0%</li> <li>• Typ E: 1.0%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>
vMod_Rest	Restliche Abfälle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 69.0%</li> <li>• Typ C: 21.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 10.0%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>

## 2.5 Beschreibung der vier Szenarien

Insgesamt werden vier Szenarien definiert und modelliert. Dabei sollen die Szenarien mögliche zukünftige Entwicklungen abbilden und die Auswirkungen auf die verschiedenen Materialströme und die deponierten Mengen im Kanton Zürich aufzeigen. Die vier Szenarien sind dabei so definiert, dass sie aufeinander aufbauen und nur wenige Parameter zwischen den einzelnen Szenarien verändert werden. Dies ist insofern vorteilhaft, als sich die Resultate bzw. die Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien gut interpretieren lassen und die Ergebnisse nachvollziehbar sind. Das erste Szenario bildet das Szenario «REFERENZ», welches die IST-Situation so gut wie möglich widerspiegeln soll. Die IST-Situation wird in diesem Szenario bis ins Jahr 2050 fortgeschrieben, um die Entwicklung ohne weitere Massnahmen darzustellen. Die Parameter bleiben daher bis ins Jahr 2050 grösstenteils unverändert. Eine Ausnahme bilden die Asphaltflüsse: Schon im Szenario «REFERENZ» wird davon ausgegangen, dass ein Teil des anfallenden Ausbaus asphalt ab dem Jahr 2022 in Behandlungsanlagen geführt wird (heute v.a. nach Holland) und dieser Anteil in den nachfolgenden Jahren stetig ansteigt. Es wird somit damit gerechnet, dass bereits relativ rasch ein Deponieverbot für sämtlichen anfallenden Ausbaus asphalt eingeführt wird.

In der untenstehenden Tabelle 5 sind die vier Szenarien kurz beschrieben. Die Tabelle enthält ebenfalls die Abkürzungen der Szenarien, welche jeweils für die nachfolgenden Grafiken verwendet werden.

Tabelle 5: Definition und Kurzbeschreibung der vier Szenarien.

Abkürzung	Szenario	Kurzbeschreibung
Szenario «REFERENZ»	Szenario «REFERENZ»	Das Szenario bildet den IST-Zustand ab und wird bis zum Jahr 2050 fortgeschrieben.
Szenario «VQ mittel»	Szenario «REFERENZ», es wird jedoch mehr Material, welches heute noch auf die Deponie geht, aufbereitet und verwertet (VQ mittel).	Dieses Szenario entspricht dem Szenario «REFERENZ», es werden aber Verwertungsquoten <sup>4</sup> für einzelne Materialkategorien des Typs B und E vorgegeben, welche das Deponievolumen reduzieren und die Verwertung steigern sollen. Die Verwertungsquoten beruhen dabei auf den Erkenntnissen des Projektes zum Verwertungspotenzial der heute noch abgelagerten Materialien in Deponien des Typs B und E und spiegeln das «Szenario «VQ mittel»» dieses Projektes wider (ERM, 2022).
Szenario «VQ mittel + BR»	Szenario «VQ mittel», zusätzlich wird jedoch eine Erhöhung der Behandlungsregel (BR) auf 70 % miteinbezogen.	Dieses Szenario entspricht dem Szenario «VQ mittel». Zusätzlich wird in der Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial der Verwertungsanteil von den heutigen 50% auf 70% erhöht. Ausserdem wird Bodenaushub auch in die Behandlungsregel miteinbezogen, was einer Erhöhung des Verwertungsanteils von 0% auf 70% entspricht.
Szenario «VQ mittel + BR + SV»	Szenario «VQ mittel + BR» inklusive der Verwertung von Schlacke (SV).	Dieses Szenario entspricht dem Szenario «VQ mittel + BR». Hinzu kommt, dass ein Teil (30%) der Schlacke einer Verwertung zugeführt wird.

<sup>4</sup> Hier gilt die Definition: Die Verwertungsquote ist das Verhältnis zwischen dem Anteil von Material auf der Deponie, welcher einer Aufbereitungs- oder Behandlungsanlage zur zusätzlichen Verwertung zugeführt werden kann, und dem Anteil, welcher nicht weiter aufbereitet oder behandelt werden kann.

Die vier Szenarien unterscheiden sich vor allem in Bezug auf die gewählten Verwertungsquoten für die verschiedenen Materialkategorien der Kompartimenttypen B, D und E. Eine Übersicht zu den eingesetzten Verwertungsquoten bzw. Modellparametern der vier Szenarien gibt die Tabelle 6.

Tabelle 6: Übersicht über die verwendeten Verwertungsquoten bzw. Modellparameter für die verschiedenen Szenarien.

		Verwertungsquoten			
		Szenario REFERENZ	Szenario VQ mittel	Szenario VQ mittel + BR	Szenario VQ mittel+BR+SV
Materialien Typ B	s+w Aushub mit einem Feinanteil >30%	0%	10%	Erhöhung BR von 50% auf 70%	Erhöhung BR von 50% auf 70%
	s+w Aushub mit einem Feinanteil <30%	0%	50%	Erhöhung BR von 50% auf 70%	Erhöhung BR von 50% auf 70%
	s+w Boden	0%	7.5%	Erhöhung BR von 0% auf 70%	Erhöhung BR von 0% auf 70%
	Gemischte Bauabfälle	0%	40%	40%	40%
	Ausbauasphalt	100%	100%	100%	100%
	Div. Materialien	0%	12.5%	12.5%	12.5%
Materialien Typ D	Schlacke	0%	0%	0%	30%
Materialien Typ E	Stark belasteter Aushub	0%	7.5%	7.5%	7.5%
	Ausbauasphalt	100%	100%	100%	100%
	Wenig + stark belastete Böden	0%	7.5%	7.5%	7.5%
	Feinmaterial aus BSSA	0%	100%	100%	100%
	Div. Materialien	0%	12.5%	12.5%	12.5%

Um eine möglichst plausible und stetige Entwicklung zu erhalten, werden die entsprechenden Parameter für die anzustrebenden Verwertungsquoten aus Tabelle 6 jeweils ab dem Jahr 2030 geändert (Ziel-Wert des Szenarios). Für das Jahr 2020 werden die IST-Werte so belassen und für das Jahr 2025 der Mittelwert aus dem IST- und dem Ziel-Wert verwendet. So wird eine realistische Umsetzung und Anpassungszeit der Massnahmen simuliert. Lediglich für die Verwertung der Schlacke (Szenario mittel + VQ + SV) wird ein späterer Umsetzungszeitpunkt gewählt (Ziel-Wert im Jahr 2035 und IST-Wert bis ins Jahr 2025). Die genauen Anpassungen der Parameter in den entsprechenden Modulen sind im Anhang A.1 - A.3 detailliert aufgelistet.

### 3 RESULTATE

Nachfolgend wird auf die Resultate der Modellierung jedes der vier Szenarien einzeln eingegangen. Anschliessend erfolgt ein Szenarienvergleich, in welchem die vier Szenarien einander gegenübergestellt werden. Es sollen dabei die grössten Unterschiede in Bezug auf die Materialflüsse in die Deponien Typ B – E zwischen den verschiedenen Szenarien aufgezeigt werden. Die Materialflüsse in die zusätzliche Verwertung werden ebenfalls miteinbezogen. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Entwicklungen der Materialflüsse in gestapelter Form für den Zeitraum 2010 bis 2050 dargestellt. Bei den Materialflüssen des Zeitraumes 2010 bis 2020 handelt es sich um im DEMIS erfasste, reale Materialflüsse. Die Materialflüsse ab dem Jahr 2021 sind modelliert.

#### 3.1 Resultate Szenario «REFERENZ»

Wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt, spiegelt das Szenario «REFERENZ» die IST-Situation im Kanton Zürich wider. Die Entwicklung bis ins Jahr 2050 basiert auf den heutigen Rahmenbedingungen und unter der Annahme, dass keine weiteren Massnahmen umgesetzt werden. In der Abbildung 10 sind die modellierten Materialflüsse in die Zürcher Deponien des Typs B, C, D und E in gestapelter Form dargestellt. Das Modell ergibt einen totalen Materialfluss in die Deponien (Typ B – E) von rund 940'000 Tonnen pro Jahr für das Jahr 2021. Für die folgenden Jahre bis zum Jahr 2050 verläuft der totale Materialfluss relativ konstant und bewegt sich in einem Bereich zwischen 920'000 - 950'000 Tonnen pro Jahr. Die starken Schwankungen des Totals zwischen 2010 und 2020 (DEMIS-Daten) sind zu einem Grossteil auf die Materialkategorie «s+w Aushubmaterial», welche grosse jährliche Schwankungen aufgewiesen hat, zurückzuführen<sup>5</sup>. Die Materialkategorie «Ausbauasphalt» nimmt gemäss der Modellvorgabe, dass ab 2026 aufgrund eines zu erwartenden Deponieverbots für Ausbauasphalt vermehrt Ausbauasphalt in die Behandlung geführt wird, deutlich ab.

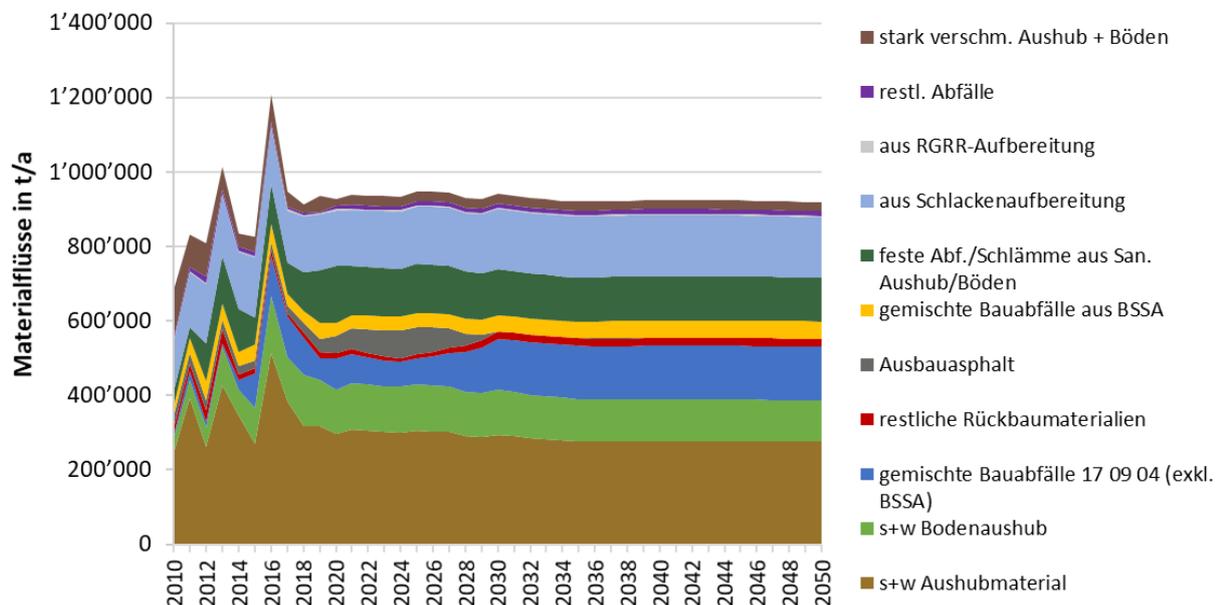


Abbildung 10: Modellierte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B – E; **Szenario «REFERENZ»**.

<sup>5</sup> Im Gegensatz zu den erhobenen Materialflüssen im Zeitraum 2010 – 2020, bewegen sich die modellierten Materialflüsse im Zeitraum 2021 – 2050 weniger stark. Die modellierten Materialflüsse geben den längerfristigen Trend unter den gegebenen Modellbedingungen wider. In der Realität können bei den einzelnen Materialflüssen deutlich stärkere jährliche Schwankungen auftreten. Im längerfristigen Verlauf sollten sie jedoch dem modellierten Trend folgen.

Ab dem Jahr 2030 verschwindet diese Materialkategorie dann beinahe komplett. Insgesamt beanspruchen die Materialkategorien «s+w Aushub», «s+w Boden», «stark verschm. Aushub+Böden» sowie «Feste Abf./Schlämme aus San. Aushub/Böden» rund 60% des Materialflusses in die Deponietypen B – E. Im zeitlichen Verlauf reduziert sich dieser Materialfluss bis 2050 um ca. 10%, weil der im KAR-Modell prognostizierte Aushubanfall rückläufig ist. Im Gegenteil dazu nehmen die Mengen der Materialkategorien «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» und «gemischte Bauabfälle aus BSSA» im Zeitraum 2021 – 2050 deutlich zu, weil im KAR-Modell der prognostizierte Rückbaumaterialanfall ansteigt. Der Materialfluss «aus Schlackenaufbereitung» leistet mit rund 160'000 Tonnen pro Jahr ebenfalls einen erheblichen Beitrag zum totalen Materialfluss in die Deponien.

Im Folgenden wird auf die Entwicklungen der Materialflüsse differenziert nach den einzelnen Deponietypen eingegangen. In Abbildung 11 sind die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs B dargestellt. Hier sind ebenfalls die starken Schwankungen der Materialkategorie «s+w Aushubmaterial» im Zeitraum 2010 - 2020 zu sehen. Der totale Materialfluss in diesen Deponietyp verläuft ab dem Bezugsjahr 2021 konstant und liegt zwischen 630'000 und 650'000 Tonnen pro Jahr. Die Zunahme der Materialkategorien «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» und «gemischte Bauabfälle aus BSSA» wird durch abnehmende Aushubflüsse kompensiert. Die Materialflüsse der restlichen Materialkategorien verlaufen ab dem Jahr 2021 relativ konstant. Bedingt durch das Ablagerungsverbot von Ausbausphaltnimmt die entsprechende Materialkategorie, wie zuvor bereits erwähnt, bis zum Jahr 2030 stark ab.

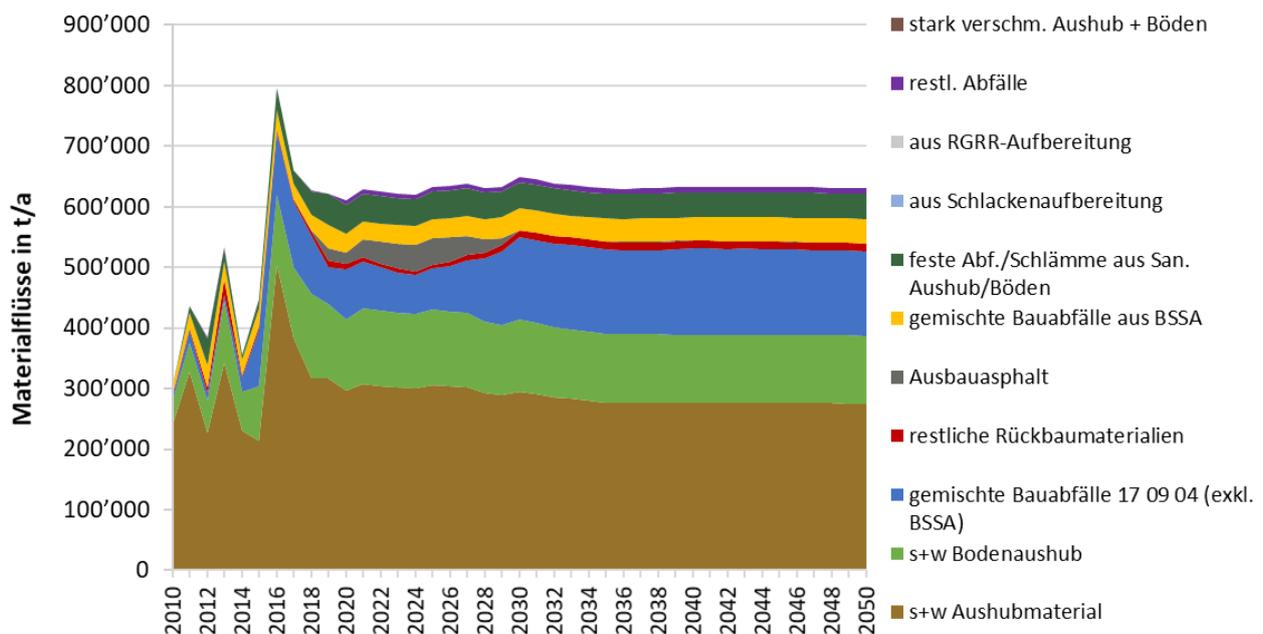


Abbildung 11: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B; **Szenario «REFERENZ»**.

Abbildung 12 zeigt die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs C. Die Materialkategorie, welche mengenmässig mit Abstand den grössten Teil ausmacht, ist die Kategorie «Feste Abf./Schlämme aus San. Aushub/Böden». Ab dem Jahr 2021 entwickelt sich der Materialfluss dieser Materialkategorie analog zum Aushubanfall leicht rückläufig, d.h. von 64'000 t/a auf 60'000 t/a. Gleiches gilt grundsätzlich für die Materialkategorien «Stark verschm. Aushub + Böden», hier reduziert sich der Materialfluss bis 2050 von 9'000 t/a auf rund 8'000 t/a. Die «Restl. Abfälle» bewegen sich im Bereich von 2'200 – 2'800 t/a mit leicht steigender Tendenz.

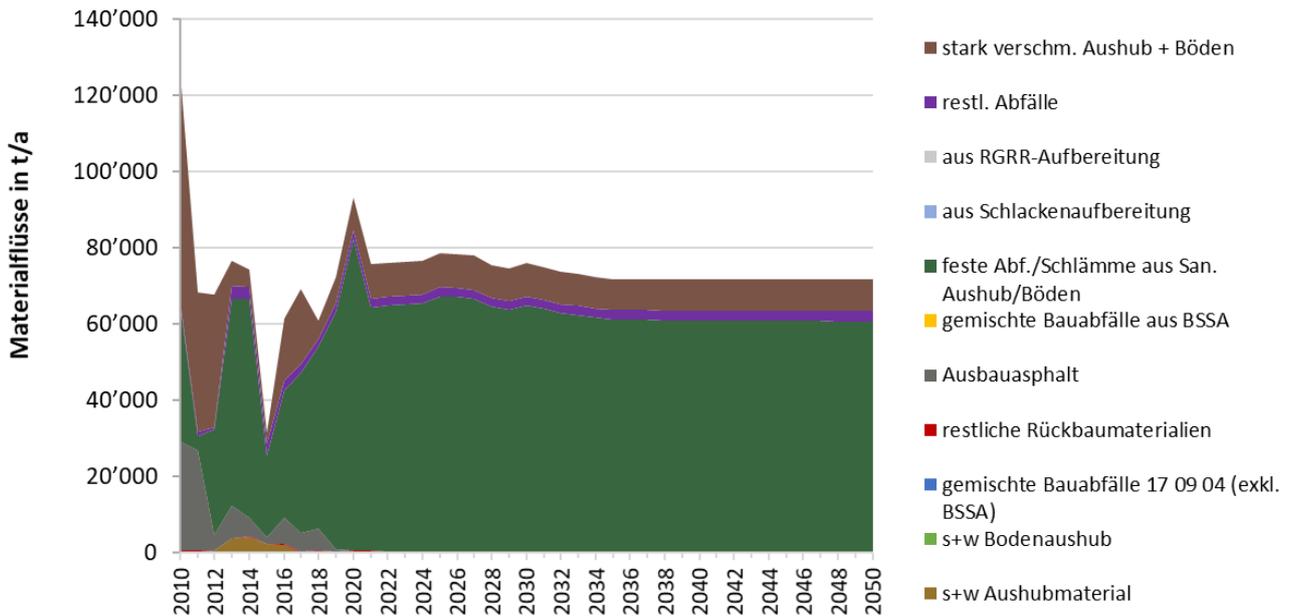


Abbildung 12: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ C; **Szenario «REFERENZ»**.

Die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs D sind in der Abbildung 13 ersichtlich. Das jährliche Total verläuft ab dem Bezugsjahr 2021 im Bereich von 160'000 – 170'000 Tonnen, mit zunächst zunehmender und dann abnehmender Tendenz. Den grössten Anteil am totalen Materialfluss hat die Kategorie «aus Schlackenaufbereitung» mit knapp 160'000 Tonnen pro Jahr. Der kleine Rest stellt die Kategorie «Aus RGRR-Aufbereitung» dar. Der gekrümmte Verlauf der Entwicklung ist auf die Abnahme des Wachstums der Bevölkerungsentwicklung und auf die leicht abnehmende «Abfallproduktion» pro Einwohner (Modellvorgabe) zurückzuführen. Damit reduziert sich der totale Abfallinput in die KVA und damit verbunden der Schlacken- und RGRR-Anfall.

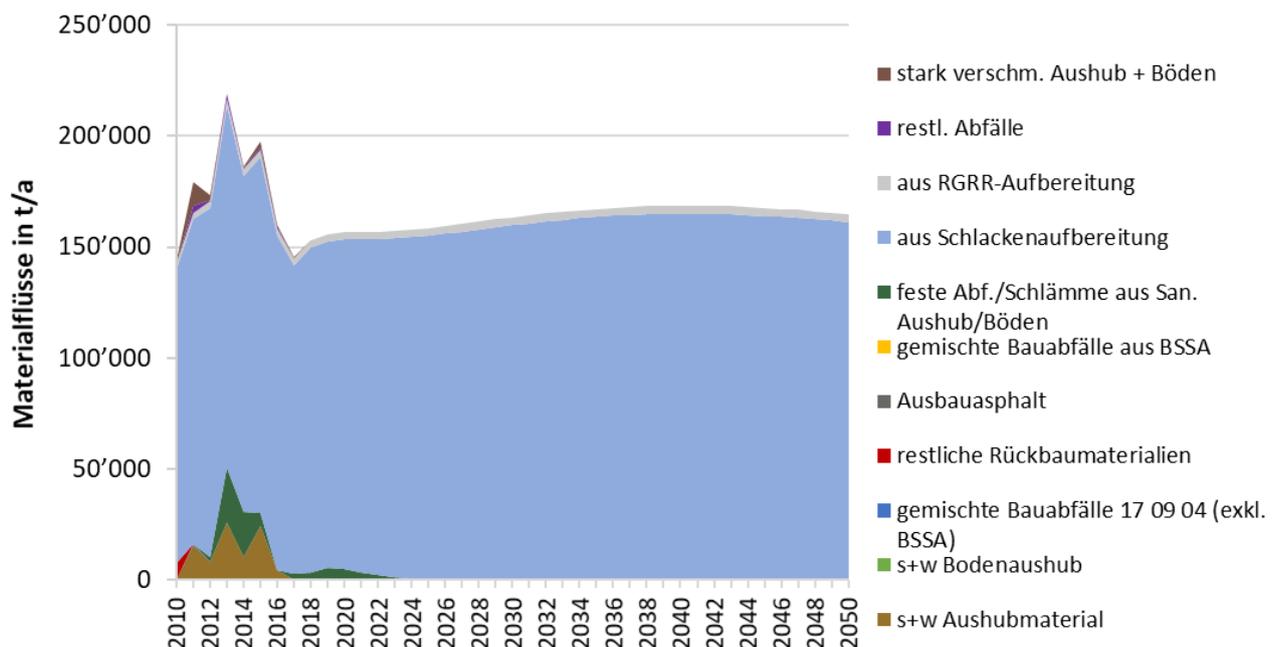


Abbildung 13: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ D; **Szenario «REFERENZ»**.

In Abbildung 14 sind die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs E dargestellt. Die stärkste Abnahme ist im Jahr 2017 zu verzeichnen. Im Vergleich zu 2016 reduzierte sich der Materialinput in die Deponien des Typs E von 191'000 Tonnen auf 73'000 Tonnen. Der Grund hierfür ist, dass ab 2017 vor allem die Materialien der Kategorien «s+w Aushub» und «s+w Boden» nicht mehr in diesem Deponietyp, sondern in Deponien des Typs B abgelagert wurden (siehe Abbildung 11), zudem fiel im Jahr 2016 aufgrund der intensiven Bautätigkeit bzw. von vermehrten Altlastensanierungen mehr Material an. Auch der Materialfluss der Kategorie «stark verschm. Aushub+Böden» nahm 2017 stark ab. Dies dürfte auf die starken Schwankungen bei der Anzahl und Grösse der Altlastenbaustellen zurückzuführen sein. Wie bereits oben erwähnt, entwickelt sich insbesondere Ausbauasphaltfluss gemäss den Modellvorgaben, d.h. ab dem Jahr 2030 wird gemäss Modellrechnung praktisch kein Material der Kategorie «Ausbauasphalt» mehr deponiert. Durch diese Reduktion beläuft sich das Total der abgelagerten Mengen in diesen Deponietyp ab dem Jahr 2030 auf etwa 50'000 Tonnen pro Jahr und verläuft bis 2050 konstant. Auch hier ist bei der Materialkategorie «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» eine leichte Zunahme ab dem Jahr 2030 festzustellen, welche aber durch leicht abnehmende Aushubflüsse kompensiert wird.

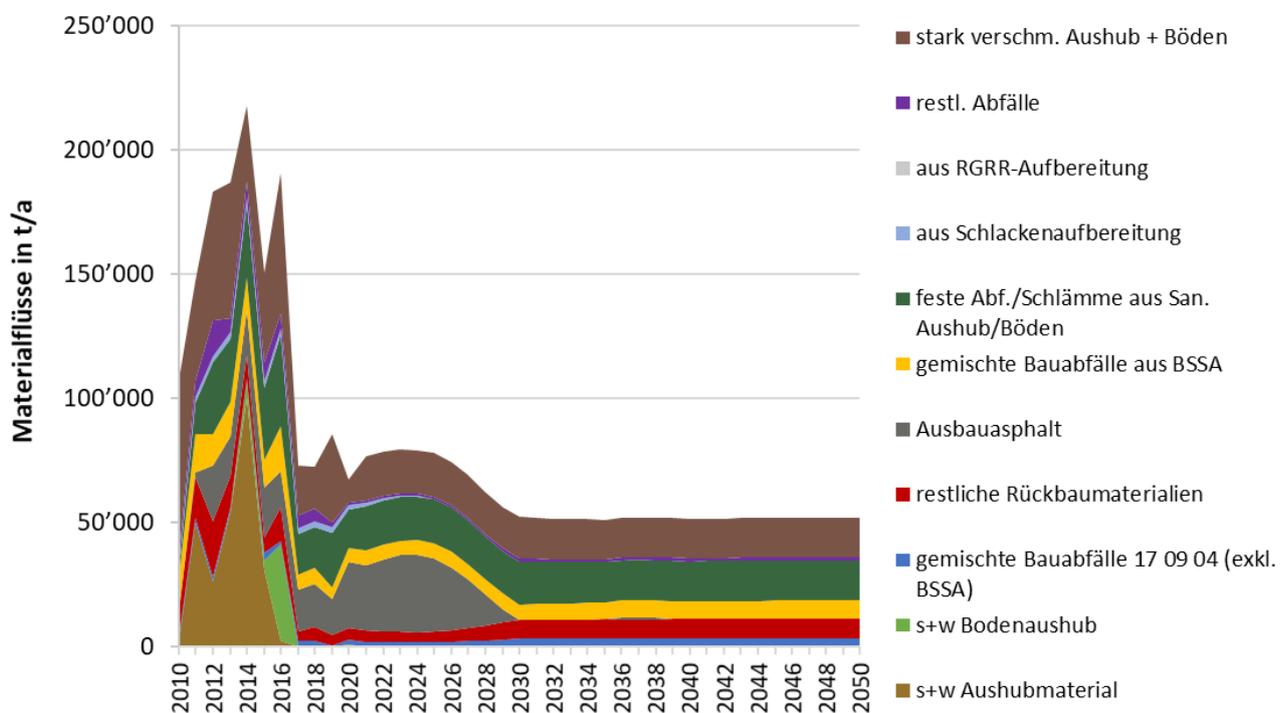


Abbildung 14: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ E; **Szenario «REFERENZ»**.

### 3.2 Resultate Szenario «VQ mittel»

Im Szenario «VQ mittel» werden hauptsächlich Modellparameter verändert, welche einen unmittelbaren Einfluss auf die Mengenströme in die Deponietypen B und E haben. Da es keine erheblichen Unterschiede bezüglich der modellierten Materialflüsse in die Kompartimenttypen C und D im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» gibt, liegt der Fokus auf den Materialflüssen in die Deponien des Typs B und E.

In Abbildung 15 sind die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs B dargestellt. Es ist eine deutliche Reduktion der total deponierten Menge ab dem Jahr 2016 bzw. ab dem Modellierungsbeginn im Jahr 2021 zu erkennen. Der Gesamtinput in den Deponietyp B nimmt im Zeitraum 2021 bis 2030 von etwa 620'000 Tonnen pro Jahr auf jährlich 500'000 Tonnen ab und vorläuft anschliessend relativ konstant. Somit ergibt sich eine Reduktion des Deponievolumens von 130'000 Tonnen pro Jahr bis zum Jahr 2050. Die grösste Abnahme ist bei der Materialkategorie «s+w Aushubmaterial» zu verzeichnen. Insgesamt nimmt dieser Input von 300'000 Tonnen pro Jahr im Jahr 2021 auf knapp 220'000 Tonnen pro Jahr im Jahr 2050 ab. Der Materialinput der Kategorie «s+w Bodenaushub» reduziert sich in diesem Zeitraum mit ca. 20'000 Tonnen pro Jahr ebenfalls leicht. Einzig der Materialinput der Kategorie «Gemischte Bauabfälle aus BSSA» nimmt im betrachteten Modellierungszeitraum deutlich zu. Er steigt von rund 33'000 Tonnen pro Jahr auf knapp 80'000 Tonnen pro Jahr an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die in diesem Szenario zugrunde gelegten Verwertungsquoten dazu führen, dass mehr Material einer Aufbereitung/Behandlung zugeführt wird. Dadurch gelangt zwar mehr Material in die Bausperrgutsortieranlagen, die Outputflüsse aus der BSSA und damit in die Deponien des Typs B erhöhen sich jedoch parallel dazu.

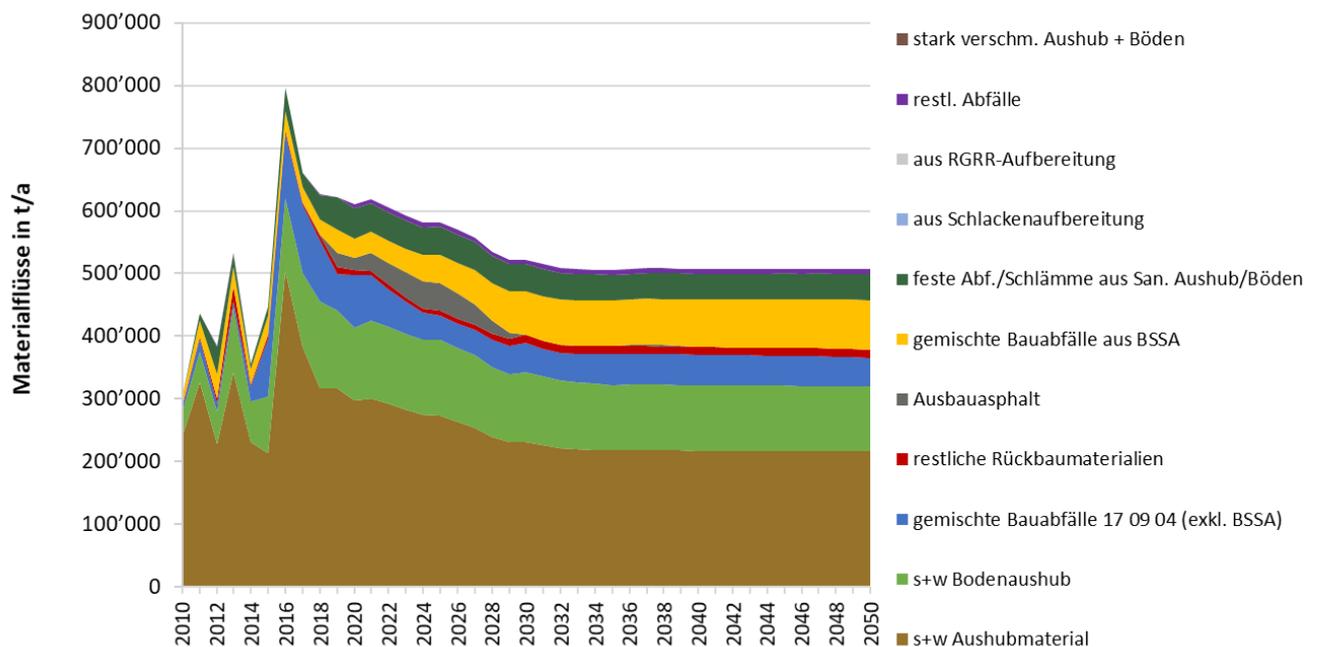


Abbildung 15: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B; **Szenario «VQ mittel»**.

Bei den modellierten Materialflüssen des Deponietyps E (Abbildung 16) ist die zusätzliche Reduktion im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» kleiner. Einerseits sind die Inputmengen in diesem Deponietyp tiefer als jene in Deponien des Typs B. Andererseits ist der Materialinput insbesondere im Zeitraum 2021 bis 2030 von der Materialkategorie «Ausbauasphalt» geprägt, welcher jedoch bereits im Szenario «REFERENZ» auf die gleiche Weise reduziert wird. Durch die gewählten Verwertungsquoten resultiert trotzdem eine leichte Reduktion im Vergleich zum Szenario «REFERENZ». Der totale Input liegt im Jahr 2050 bei 46'000 Tonnen pro Jahr, was einer Reduktion von rund 10'000 Tonnen pro Jahr gegenüber dem Szenario «REFERENZ» entspricht.

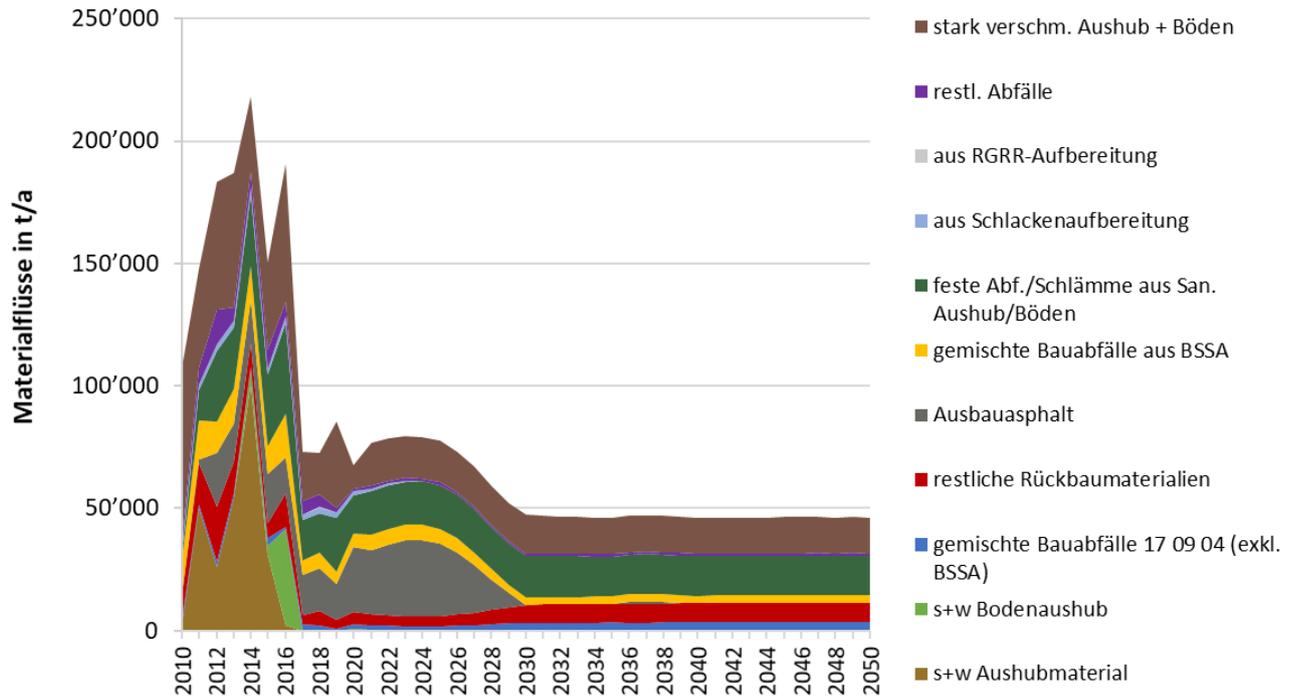


Abbildung 16: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ E; **Szenario «VQ mittel»**.

Die modellierten Materialflüsse dieses Szenarios in die Deponien Typ B – E (Abbildung 17) zeigen, dass sich das total deponierte Volumen zwischen 2021 und 2030 von knapp 930'000 auf 810'000 Tonnen pro Jahr reduziert und danach nur noch leicht bis auf 790'000 Tonnen pro Jahr abnimmt. Somit reduziert sich der gesamte Materialinput in die Deponien im Szenario «VQ mittel» im betrachteten Modellierungszeitraum um rund 140'000 Tonnen pro Jahr. Diese Reduktion resultiert aus den Verwertungsquoten dieses Szenarios, welche in den Materialkategorien des Typs B und E zu sehen sind. Mit jährlich etwa 220'000 Tonnen respektive 160'000 Tonnen (Bezugsjahr 2050) beanspruchen die beiden Materialkategorien «s+w Aushubmaterial» sowie «aus Schlackenaufbereitung» knapp die Hälfte des gesamten Deponievolumens.

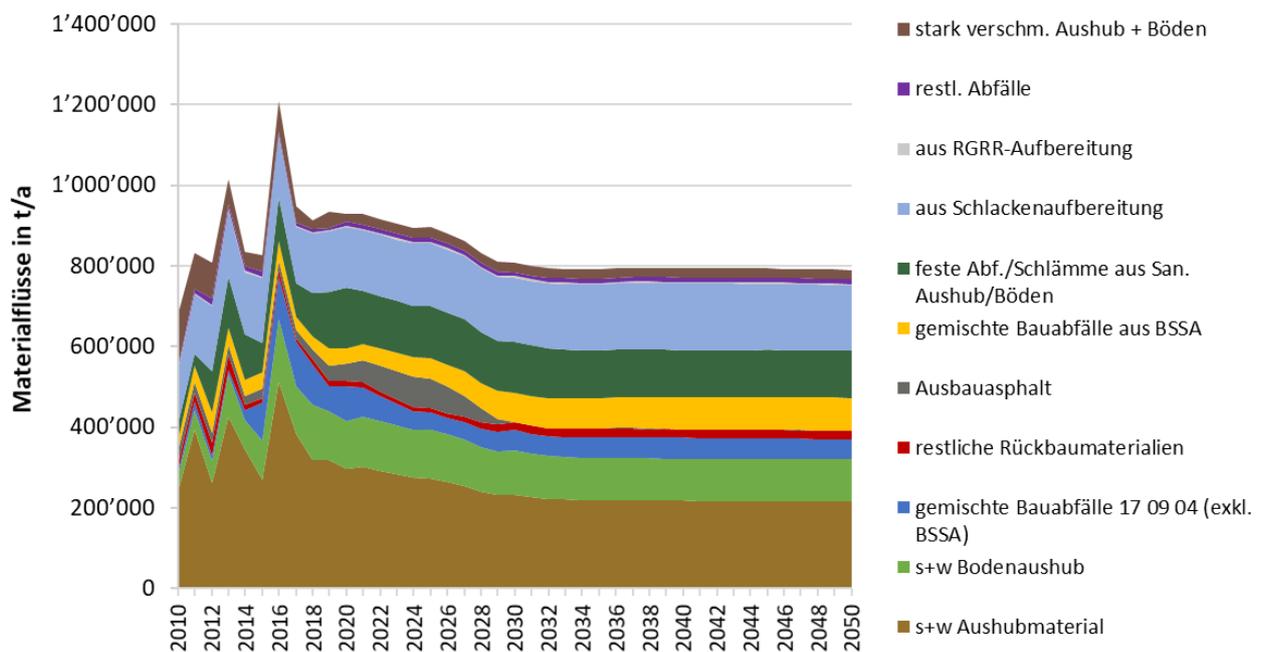


Abbildung 17: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien B – E; **Szenario «VQ mittel»**.

### 3.3 Resultate Szenario «VQ mittel + BR»

Das Szenario «VQ mittel + BR» unterscheidet sich lediglich in der Erhöhung der Behandlungsregel für Ausbruch- und Aushubmaterial von 50% auf 70% sowie dem Miteinbezug von Bodenaushub in diese Behandlungsregel von dem Szenario «VQ mittel». Somit zeigen sich die Änderungen durch die entsprechend angepassten Parameter nur in den Materialflüssen des Deponietyps B. Die restlichen modellierten Materialflüsse entsprechen denjenigen des vorherigen Szenarios (Szenario «VQ mittel»).

In Abbildung 18 sind die modellierten Materialflüsse in die Deponien des Typs B dargestellt. Das deponierte Volumen nimmt ab dem Jahr 2021 bis zum Jahr 2030 zunächst stark von 610'000 auf 420'000 Tonnen pro Jahr ab, danach reduziert sich der Materialinput nur noch leicht bis auf rund 410'000 Tonnen pro Jahr. Dies bedeutet eine Reduktion von knapp 200'000 Tonnen über den gesamten Modellierungszeitraum. Dabei fällt vor allem die starke Reduktion des Materialflusses der Kategorie «s+w Bodenaushub» ins Gewicht. Während dieser im Jahr 2021 noch bei knapp 120'000 Tonnen pro Jahr lag, beläuft er sich im Zeitraum 2030 bis 2050 noch im Bereich von rund 40'000 Tonnen pro Jahr. Dies entspricht nur noch einem Drittel der Ausgangsmenge. Bei der Materialkategorie «s+w Aushubmaterial» ist ebenfalls eine starke Abnahme zu verzeichnen. Der Materialfluss reduziert sich von rund 300'000 Tonnen im Bezugsjahr 2021 auf knapp 185'000 Tonnen pro Jahr (2050), was eine Reduktion von 115'000 Tonnen pro Jahr ergibt.

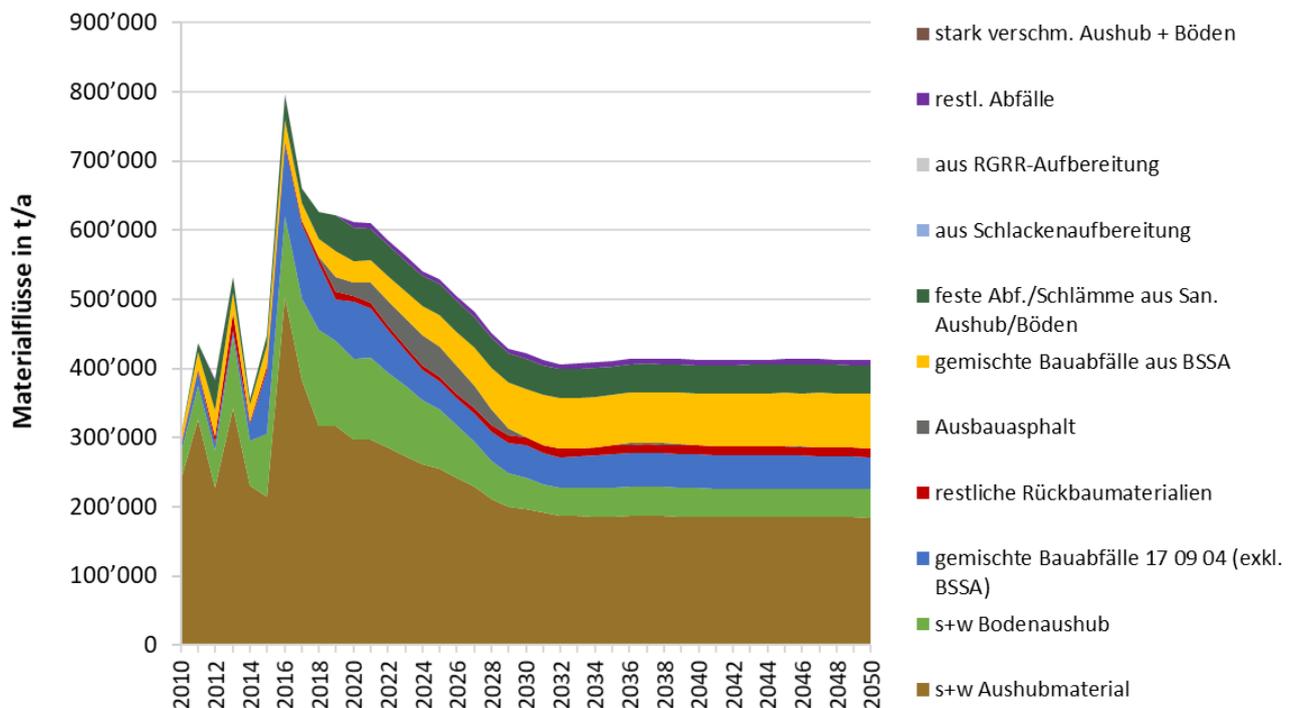


Abbildung 18: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B; **Szenario «VQ mittel + BR»**.

Aufgrund der in diesem Szenario «VQ mittel + BR» zugrunde gelegten Szenarienbedingungen fallen bei den modellierten Materialflüssen in die Deponietypen B – E (Abbildung 19) vor allem die beiden Materialkategorien «s+w Aushubmaterial» und «s+w Bodenaushub» stark ins Gewicht. So wird der totale Materialinput von 930'000 Tonnen pro Jahr (Jahr 2021) auf jährlich 695'000 Tonnen im Jahr 2050 gesenkt. Für das vorherige Szenario beläuft sich der totale Materialinput auf 790'000 Tonnen im Jahr 2050, wodurch sich im Szenario «VQ mittel + BR» eine zusätzliche Reduktion im Umfang von rund 95'000 Tonnen pro Jahr (Jahr 2050) gegenüber dem Szenario «VQ mittel» ergibt (Abbildung 17).

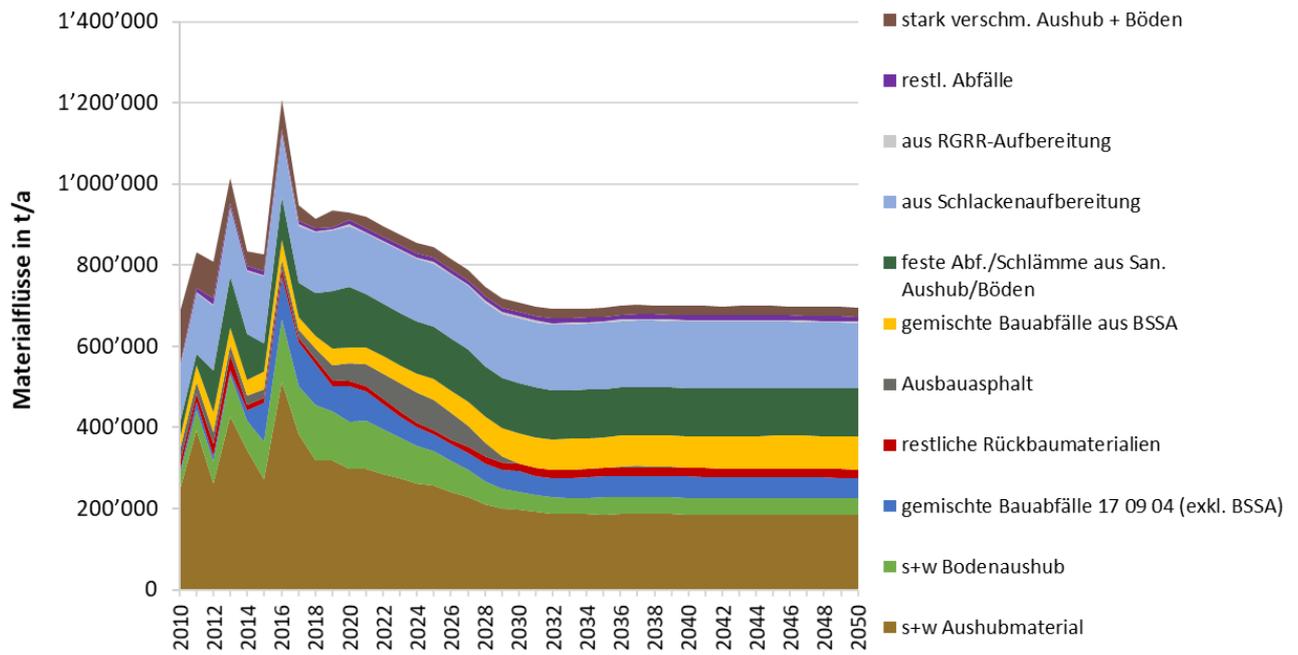


Abbildung 19: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B – E; **Szenario «VQ mittel + BR»**.

### 3.4 Resultate Szenario «VQ mittel + BR + SV»

Das Szenario «VQ mittel + BR + SV» unterscheidet im Vergleich zum vorangegangenen Szenario «VQ mittel + BR» bezüglich der eingesetzten Verwertungsquote bei der Aufbereitung der KVA-Schlacke. Ein Teil der Materialkategorie «aus Schlackenaufbereitung» wird in diesem Szenario einer Verwertung zugeführt anstelle einer direkten Deponierung. Dieser Anteil wurde in einer ersten groben Abschätzung auf 30% geschätzt. Demnach gelangen in diesem Szenario neu 30% des Materialflusses «aus Schlackenaufbereitung» in eine Verwertung. Somit werden die Auswirkungen dieser Parameteranpassung bei den modellierten Inputflüssen in die Deponien des Typs D sichtbar. Die restlichen modellierten Materialflüsse entsprechen denjenigen des vorherigen Szenarios (Szenario «VQ mittel + BR»).

Die modellierte Entwicklung der Materialflüsse in die Deponien des Typs D bis ins Jahr 2050 sind in der Abbildung 20 dargestellt. Hier sind die Auswirkungen der oben erwähnten Erhöhung der Verwertungsquote von 0% auf 30% deutlich zu erkennen. Die abgelagerte Menge der Materialkategorie «aus Schlackenaufbereitung» beträgt im Bezugsjahr 2021 rund 150'000 Tonnen pro Jahr. Ab dem Jahr 2025 ist ein starker Rückgang bei diesem Materialfluss bis zum Jahr 2035 zu sehen. Danach reduziert er sich nur noch leicht von 115'000 auf 113'000 Tonnen pro Jahr bis zum Jahr 2050. Insgesamt reduziert sich der Materialfluss in diesem Deponiekompartiment um knapp 40'000 Tonnen pro Jahr im Modellierungszeitraum 2021 – 2050.

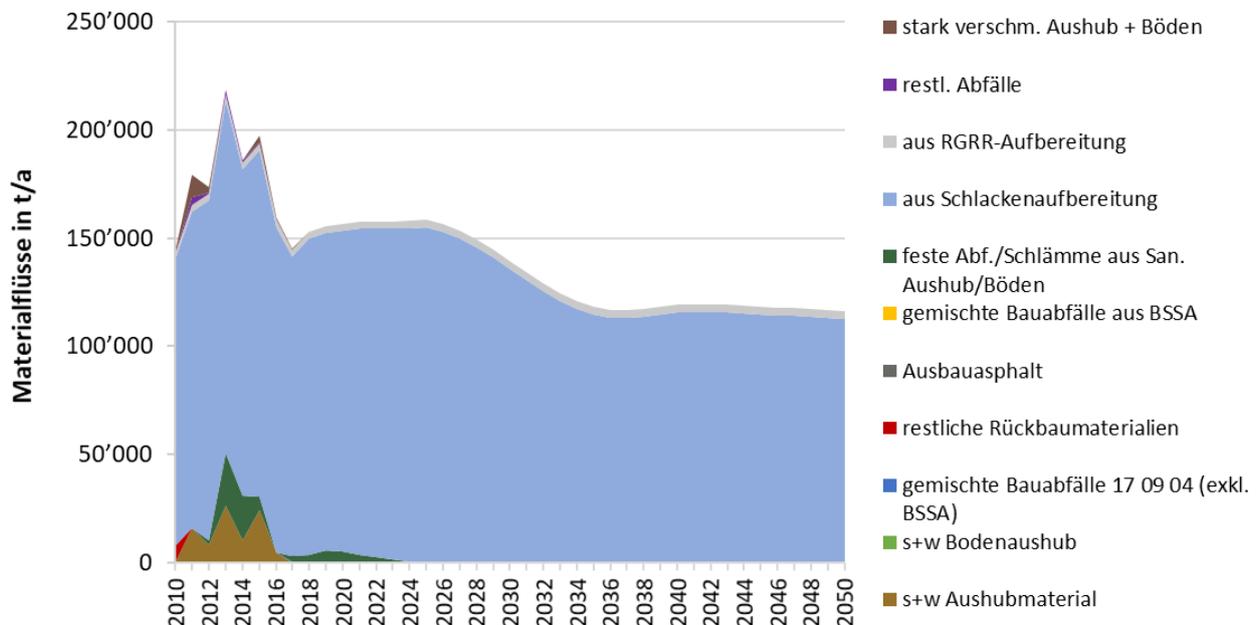


Abbildung 20: Modellierter (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ D; **Szenario «VQ mittel + BR + SV»**.

Der totale Inputfluss in den Kompartimenttypen B – E reduziert sich somit von 930'000 Tonnen pro Jahr (Jahr 2021) auf rund 650'000 Tonnen pro Jahr (Zeitraum 2035 - 2050), dies zeigt die Abbildung 21. Die Materialkategorie «s+w Aushubmaterial» ist mit jährlich knapp 185'000 Tonnen noch immer die Materialkategorie, welche am meisten Deponievolumen beansprucht. Die Kategorie «aus Schlackenaufbereitung» sowie die Kategorie «Feste Abf./Schlämme aus San. Aushub/Böden» machen mit jeweils rund 115'000 Tonnen pro Jahr eine etwa gleich grosse Fraktion aus und beanspruchen zusammen mit etwa 230'000 Tonnen pro Jahr etwa ein Drittel des Deponievolumens.

Im Vergleich zum vorherigen Szenario «VQ mittel + BR» wird die totale Materialinputmenge im Jahr 2050 zusätzlich von 695'000 Tonnen im Jahr auf 650'000 Tonnen pro Jahr reduziert. Dies bedeutet eine totale Reduktion von jährlich 45'000 Tonnen. Betrachtet man den totalen Materialinputfluss in die Deponien Typ B – E dieses Szenarios verglichen mit dem des Szenarios REFERENZ im Jahr 2050, kann eine Abnahme von

930'000 Tonnen im Jahr auf 650'000 Tonnen pro Jahr festgestellt werden, was einer Reduktion von 280'000 Tonnen pro Jahr entspricht.

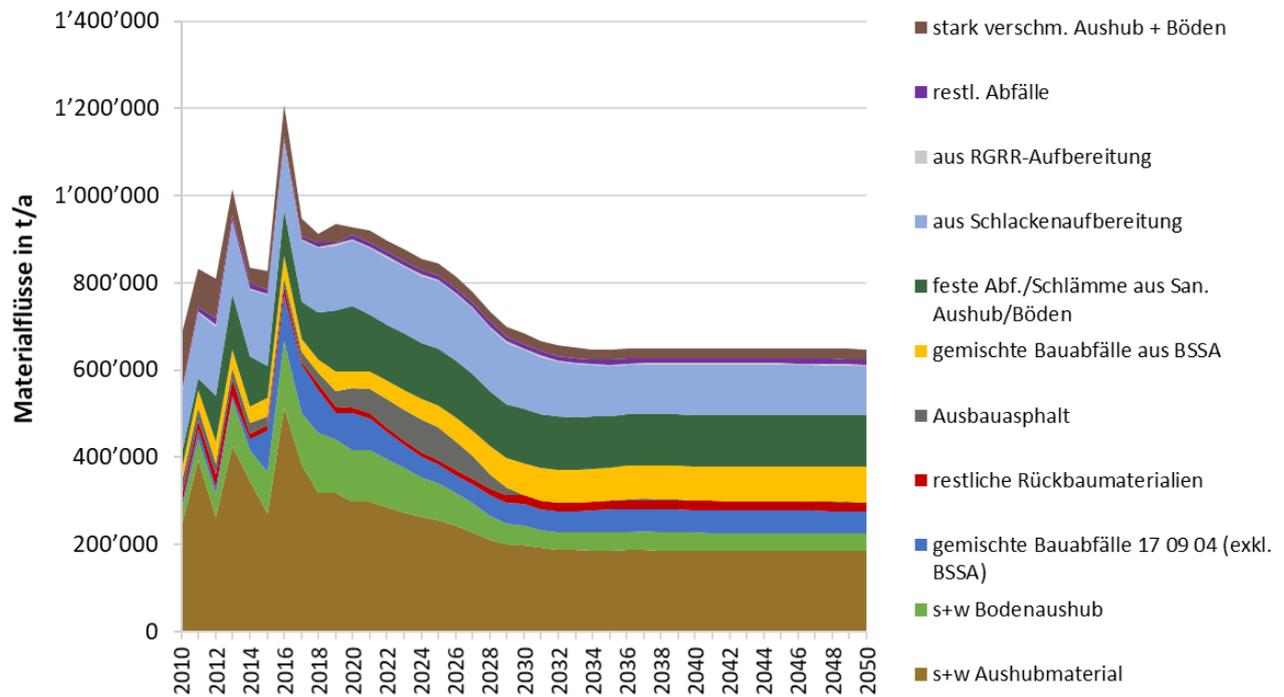


Abbildung 21: Modellerte (ab 2021) und gestapelte Materialflüsse in Deponien Typ B – E; **Szenario «VQ mittel + BR + SV»**.

### 3.5 Vergleich der Resultate aus den Szenarienrechnungen

Nach der Vorstellung der Resultate der vier verschiedenen Szenarien, interessiert insbesondere der Vergleich der Entwicklung der szenarioabhängigen Materialflüsse in die verschiedenen Deponietypen sowie die Verwertung.

#### 3.5.1 Materialflüsse in die Deponien des Typs B

In Abbildung 22 sind die zeitlichen Entwicklungen von ausgewählten Materialflüssen in die **Deponien des Typs B** für die vier Szenarien dargestellt. In der Grafik oben links ist die szenarioabhängige Entwicklung der Materialflüsse «s+w Aushubmaterial» in die Deponien Typ B aufgeführt. Es ist gut zu erkennen, dass in den beiden Szenarien «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR und SV» die grössten Reduktionen erzielt werden. Sie sind identisch, da sie sich lediglich in der Schlackenaufbereitung unterscheiden. Der Materialfluss nimmt in diesen Szenarien von rund 300'000 Tonnen im Jahr 2021 auf 185'000 Tonnen im Jahr 2050 ab. Das Szenario «VQ mittel» liegt zwischen dem Szenario «REFERENZ» und den beiden erwähnten Szenarien. Ähnlich sieht die zeitliche Entwicklung für die vier Szenarien für die modellierten Materialflüsse der Kategorie «s+w Bodenaushub» aus (oben rechts). Auch hier sind die Entwicklungen für die beiden Szenarien «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» jeweils identisch, wobei sich hier eine deutlich steilere Abnahme zwischen den Jahren 2021 und 2030 abzeichnet als bei dem Szenario «REFERENZ» und VQ mittel. Dies liegt daran, dass bei diesen beiden Szenarien die Erweiterung der Behandlungsregel auf den «s+w-Bodenaushub» berücksichtigt ist und die Behandlungsregel gemäss Szenario bis zum Jahr 2030 vollständig umgesetzt wird.

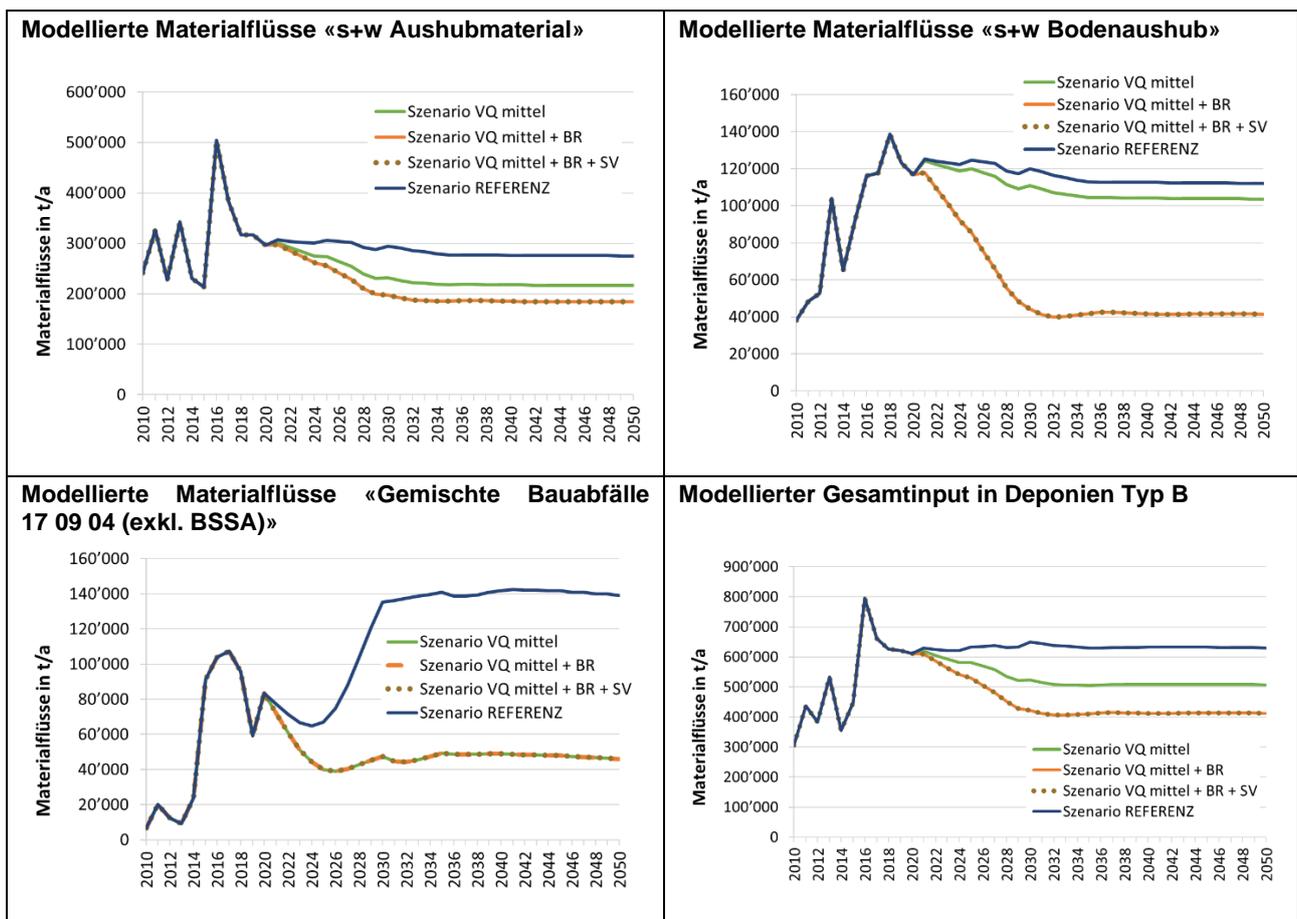


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung der Materialflüsse in den **Deponietyp B** für das Szenario «REFERENZ», Szenario «VQ mittel», Szenario «VQ mittel + BR» sowie das Szenario «VQ mittel + BR + SV»; Modellerte Materialflüsse «s+w Aushubmaterial» (oben links), modellerte Materialflüsse «s+w Bodenaushub» (oben rechts), modellerte Materialflüsse «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» (unten links) und modellierter «Gesamtinput in Deponien Typ B» (unten rechts).

Die szenarienabhängige Entwicklung der modellierten Materialflüsse der Kategorie «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» ist unten links zu sehen. Die Entwicklung der Materialflüsse verläuft für die drei Szenarien «VQ mittel», «VQ mittel + BR» sowie «VQ mittel + BR + SV» identisch, weil bei allen Szenarien dieselbe Entwicklung der Verwertungsquote «VQ mittel» für den Materialfluss «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» eingesetzt wurde. Die Materialflüsse dieser Materialkategorie variieren in allen Szenarien bis ins Jahr 2020 relativ stark. Danach nehmen die Materialflüsse in allen Szenarien aufgrund der Ausbausphalflüsse zunächst ab und steigen ab 2024 (Szenario «REFERENZ») bzw. 2026 (andere Szenarien) aufgrund des zunehmenden Rückbaumaterialanfalls mehr oder weniger stark an. Die Erhöhung der Verwertungsquoten bei dieser Materialkategorie wirkt sich stark auf die Entwicklung der Materialflüsse aus: Während beim Szenario «REFERENZ» im Jahr 2050 ein Wert von knapp 140'000 Tonnen pro Jahr erreicht wird, sind es bei den anderen drei Szenarien nur knapp 46'000 Tonnen pro Jahr. Der Gesamtinput in die Deponien des Typs (unten rechts) zeigt eine ähnliche Entwicklung wie die der Kategorien «s+w Aushubmaterial» und «s+w Bodenaushub». Die Entwicklungen der Materialflüsse für die Szenarien «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» sind deckungsgleich. Der modellierte Materialfluss des Szenarios «VQ mittel» liegt in der Mitte des Szenarios REFERENZ und den zwei anderen Szenarien. In den Szenarien «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» reduziert sich der Gesamtinput bis 2050 auf rund 410'000 Tonnen pro Jahr. Dies entspricht gegenüber dem Szenario «REFERENZ» einer Reduktion des Gesamtinputs von 220'000 Tonnen pro Jahr. Bei Szenario «VQ mittel» liegt die Reduktion im Bereich von knapp 100'000 Tonnen pro Jahr.

### 3.5.2 Materialflüsse in die Deponien des Typs C

In Abbildung 23 ist die zeitliche Entwicklung der Gesamtinputflüsse in die **Deponien des Typs C** für die vier Szenarien dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die vier Linien übereinander liegen und somit alle vier Szenarien deckungsgleich sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die verschiedenen Parameteränderungen keine Auswirkungen auf die Materialflüsse in die Deponien bzw. Kompartimente des Typs C haben. Somit entsprechen die Materialflüsse der drei Szenarien «VQ mittel», «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» denen des Szenarios REFERENZ. Für diesen Deponietyp ist somit kein Reduktionspotenzial vorhanden. Der Grund hierfür ist, dass der grösste Teil dieses Kompartiments durch die Materialflüsse der Materialkategorie «Feste Abf./Schlämme aus San. Aushub/Böden» belegt ist (Kapitel 3.1). Die Verwertungsquote dieser Materialkategorie wird im Modell auf 0% gesetzt, da diese zum heutigen Zeitpunkt nicht weiter aufbereitet werden kann. Die Gesamtinputflüsse für alle vier Szenarien entwickeln sich von jährlich 76'000 Tonnen ab dem Jahr 2021 nach einem leichten Anstieg bis ins Jahr 2027 leicht rückläufig und belaufen sich im Jahr 2050 auf 72'000 Tonnen pro Jahr.

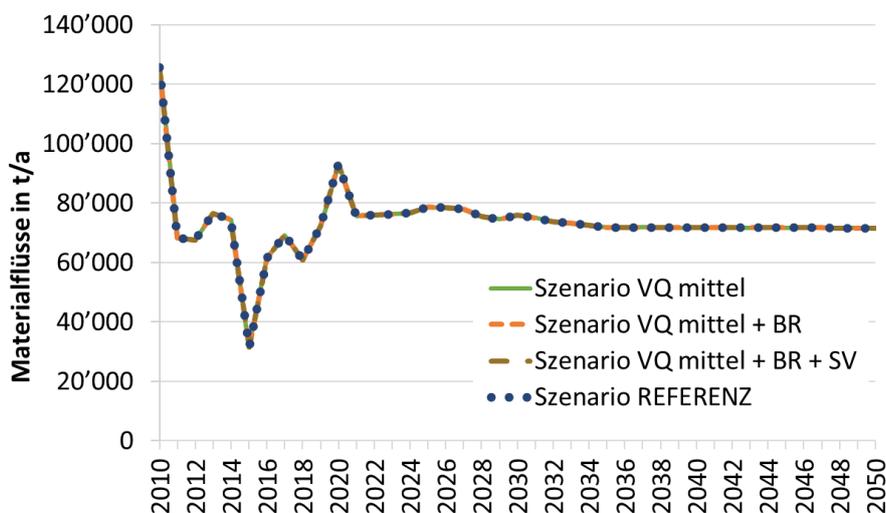


Abbildung 23: Zeitliche Entwicklung der **Gesamtinputflüsse in Deponien Typ C** für das Szenario «REFERENZ», Szenario «VQ mittel», Szenario «VQ mittel + BR» sowie das Szenario «VQ mittel + BR + SV».

### 3.5.3 Materialflüsse in die Deponien des Typs D

Abbildung 24 zeigt die zeitlichen Entwicklungen der Materialflüsse in die **Deponien des Typs D** für die vier Szenarien. Links ist die szenarienabhängige Entwicklung der Materialflüsse der relevantesten Kategorie «aus Schlackenaufbereitung» abgebildet. Da nur beim Szenario «VQ mittel + BR + SV» die Verwertungsquote bei der Schlackenaufbereitung im Zeitraum 2025 bis 2035 erhöht und dann konstant gehalten wird, sind die drei anderen Szenarien identisch und liegen somit auf einer Linie. Die Entwicklung des Szenarios «VQ mittel + BR + SV» zeigt eine Abnahme des Materialflusses von 150'000 Tonnen pro Jahr im Jahr 2025 auf jährlich rund 113'000 Tonnen im Jahr 2050. Dies entspricht einer Reduktion von rund 50'000 Tonnen pro Jahr (im 2050) gegenüber den anderen Szenarien. Da sich nur diese Materialkategorie im Deponietyp D ändert, verändert sich auch der modellierte Gesamtinput entsprechend (rechts).

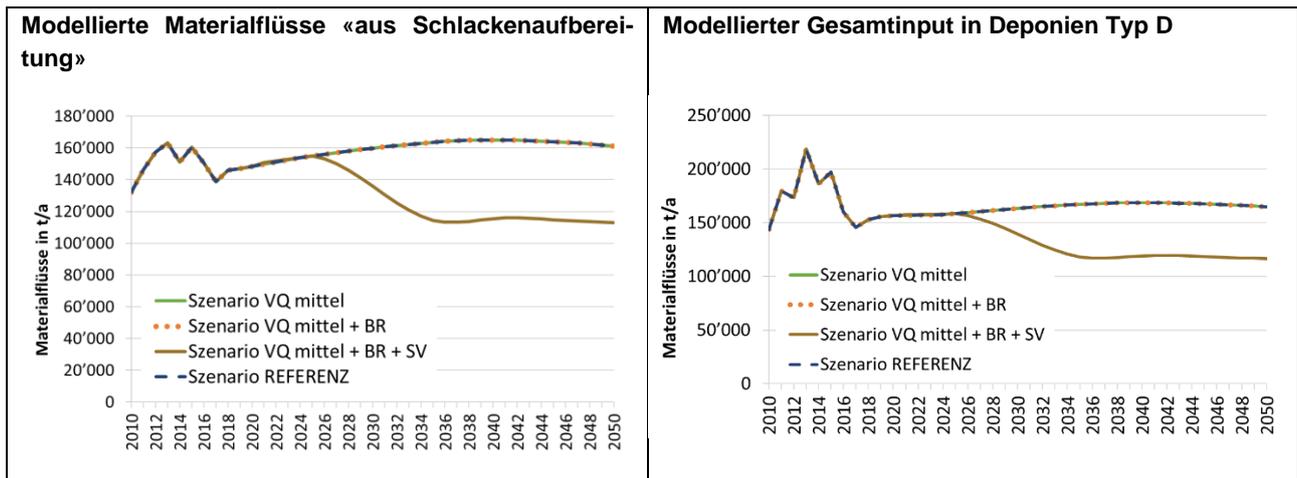


Abbildung 24: Zeitliche Entwicklung der Materialflüsse in den **Deponietyp D** für das Szenario «REFERENZ», Szenario «VQ mittel», Szenario «VQ mittel + BR» sowie das Szenario «VQ mittel + BR + SV»; Modellierte Materialflüsse «aus Schlackenaufbereitung» (links) und modellierter «Gesamtinput in Deponien Typ D» (rechts).

### 3.5.4 Materialflüsse in die Deponien des Typs E

In Abbildung 25 sind die zeitlichen Entwicklungen von ausgewählten Materialflüssen in **Deponien des Typs E** für die vier Szenarien dargestellt. Links ist die Entwicklung für die Materialkategorie «Stark verschm. Ausbuh+Böden» zu sehen. Es fällt auf, dass alle vier Szenarien nahe beieinander liegen. Dies liegt daran, dass bei dieser und auch anderen Materialkategorien nur ein kleines Reduktionspotenzial vorliegt. Ähnlich sieht es deshalb auch bei der Entwicklung des Gesamtinputs aus (rechts). Auch hier liegen alle vier Szenarien nahe beieinander. Der Grund für den zunächst leichten Anstieg ab 2020 und den relativ deutlichen Abfall zwischen 2025 bis 2030 ist der PAK-belastete Ausbauasphaltenfall. Im Modell wird bei allen Szenarien davon ausgegangen, dass durch das Ablagerungsverbot für PAK-belasteten Ausbauasphalt bis spätestens 2035 kein Ausbauasphalt in die Deponien des Typs E gelangt. Da bei dieser Fraktion das mengenmässig grösste Reduktionspotenzial vorliegt, wirkt sich dies am stärksten auf die Entwicklung des Gesamtinputs aus. Die anderen Materialkategorien weisen nur ein geringes Reduktionspotenzial auf. Somit sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien, verglichen mit den anderen Deponietypen, relativ klein.

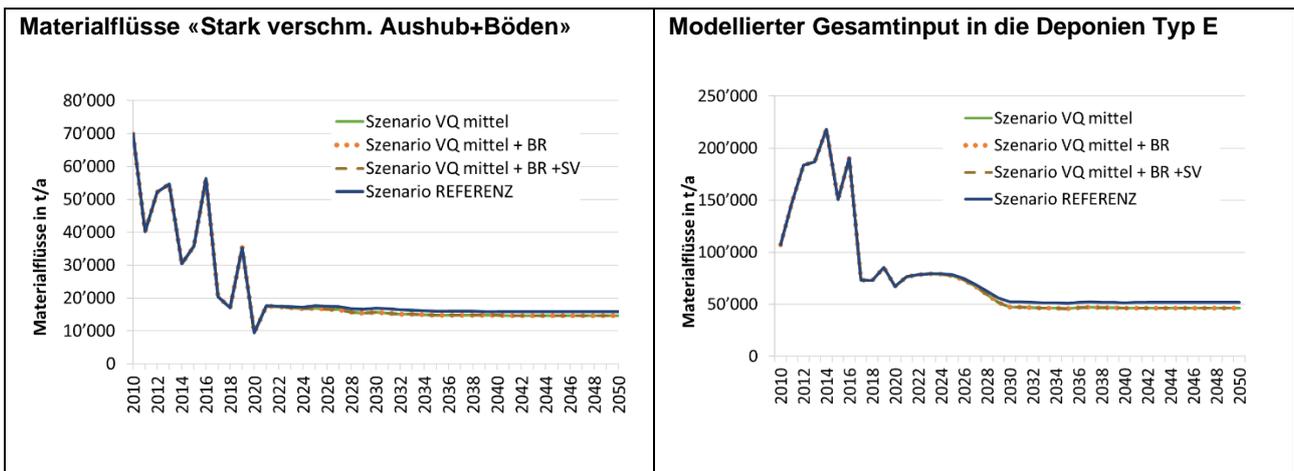


Abbildung 25: Zeitliche Entwicklung der Materialflüsse in den **Deponietyp E** für das Szenario «REFERENZ», Szenario «VQ mittel», Szenario «VQ mittel + BR» sowie das Szenario «VQ mittel + BR + SV»; Modellierte Materialflüsse «**Stark verschm. Aushub+Böden**» (links) und modellierter «**Gesamtinput in Deponien Typ E**» (rechts).

**3.5.5 Materialflüsse in die Deponien des Typs B - E**

Abbildung 26 zeigt abschliessend die zeitliche Entwicklung der Gesamtinputflüsse in die **Deponien des Typs B – E** für die vier Szenarien. Gut erkennbar sind die Auswirkungen der aufeinander aufbauenden Szenarien. Der Gesamtinput in die Deponien nimmt in Abhängigkeit der zunehmenden Szenariobedingungen ab. So wird im Szenario «VQ mittel + BR + SV» die grösste Reduktion im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» erreicht. Der Gesamtinput liegt in diesem Szenario bei noch knapp 650'000 Tonnen pro Jahr im Jahr 2050. Im Szenario «REFERENZ» beträgt der Gesamtinput knapp 920'000 Tonnen pro Jahr, was im Vergleich zum Szenario «VQ mittel + BR + SV» einem Mehrinput von 270'000 Tonnen pro Jahr entspricht. Sollte das Szenario «VQ mittel + BR + SV» umgesetzt werden, ist bereits ab dem Jahr 2035 eine Inputreduktion von knapp 30% zu erreichen. Das Szenario «VQ mittel + BR» schneidet etwas schlechter ab. Hier kann der Inputfluss um rund 220'000 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Ohne Anpassungen bei der Behandlungsregel (Szenario «VQ mittel») kann der Input um rund 15% bzw. 130'000 Tonnen pro Jahr im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» reduziert werden. Die Entwicklung des Inputflusses liegt damit ziemlich genau zwischen jenen des Szenarios REFERENZ und des «VQ mittel + BR + SV».

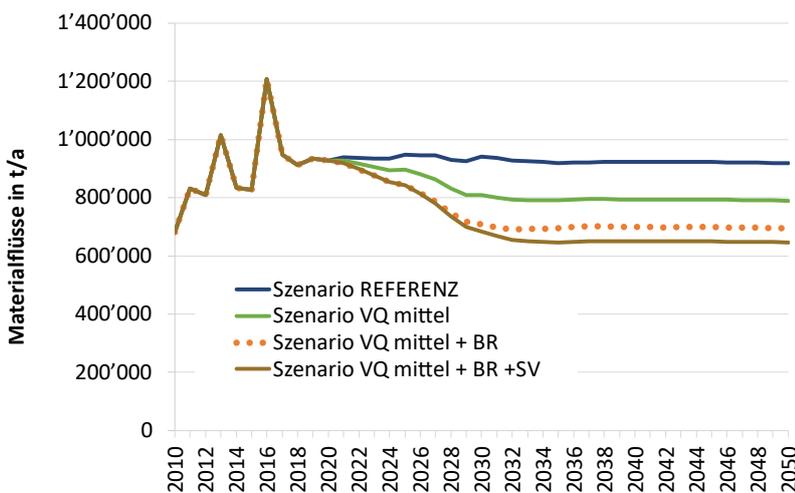


Abbildung 26: Zeitliche Entwicklung der Inputflüsse in die **Deponien des Typs B - E (Total)** für das Szenario «REFERENZ», Szenario «VQ mittel», Szenario «VQ mittel + BR» sowie das Szenario «VQ mittel + BR + SV».

### 3.5.6 Materialflüsse in die Verwertung

Neben der Entwicklung der Materialflüsse in die verschiedenen Deponietypen, ist auch die Entwicklung der Materialflüsse, welche aufgrund der verschiedenen Szenarien zusätzlich in eine Verwertung gelangen, von Bedeutung. Im Folgenden wird deshalb auf die Entwicklung dieser Materialflüsse sowie auf den Vergleich zwischen den vier Szenarien eingegangen.

In Abbildung 27 sind die modellierten Materialflüsse, welche im Vergleich zu heute zusätzlich in die Verwertung gelangen, für die vier Szenarien aufgeführt. Oben links ist die Entwicklung der Materialflüsse für das Szenario «REFERENZ» dargestellt. Bereits in diesem Szenario gelangt aufgrund der Modellannahmen ein zusätzlicher Teil in die Verwertung. Dies bedeutet, dass diese Entwicklung in allen Szenarien eine Grundvoraussetzung darstellt. Der grösste Teil beansprucht dabei die Materialkategorie «Ausbauasphalt» (dunkelgrau), weil angenommen wird, dass ein Verwertungsverbot für sämtlichen Ausbauasphalt ab dem Jahr 2025 eingeführt wird und dieses bis 2030 vollständig umgesetzt wird. Ein kleiner Teil macht die Kategorie «Gemischte Bauabfälle aus BSSA» aus. Insgesamt können im Szenario «REFERENZ» somit jährlich bis zu 220'000 Tonnen Material (im Jahr 2050) zusätzlich verwertet werden.

Im Szenario «VQ mittel» (oben rechts) kann deutlich mehr Material einer Verwertung zugeführt werden. Insgesamt kann der Inputfluss in die Verwertung auf bis zu 360'000 Tonnen pro Jahr erhöht werden (2050). Der grösste Materialfluss wird immer noch von der Kategorie «Ausbauasphalt» generiert. Hinzu kommen hier die Materialkategorien: «s+w Aushubmaterial», «s+w Bodenaushub», «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» und «Restl. Abfälle». Der Materialfluss der Kategorie «Gemischte Bauabfälle aus BSSA» nimmt im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» um etwa das Vierfache zu (ab dem Jahr 2030) und erreicht im Jahr 2050 rund 44'000 Tonnen pro Jahr. Die mengenmässig zweit wichtigste Materialkategorie stellt die Kategorie «s+w Aushubmaterial» mit einem Materialfluss von knapp 60'000 Tonnen pro Jahr dar. Auch die «gemischten Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)» gelangen vermehrt in die Verwertung. Ab dem Jahr 2033 bewegt sich dieser Materialfluss im Bereich von rund 35'000 Tonnen pro Jahr auf konstantem Niveau.

Unten links sind die modellierten Materialflüsse, welche zusätzlich einer Verwertung zugeführt werden können, für das Szenario «VQ mittel + BR» aufgeführt. In diesem Szenario können im Jahr 2050 knapp 455'000 Tonnen pro Jahr zusätzlich verwertet werden. Dies sind knapp 100'000 Tonnen pro Jahr mehr als im vorherigen Szenario «VQ mittel». Dies ist vor allem auf die starke Erhöhung der Verwertung der Kategorie «s+w Bodenaushub» (grün) und «s+w Aushubmaterial» (braun) zurückzuführen.

Die modellierten Materialflüsse des Szenarios «VQ mittel + BR + SV» entsprechen denjenigen des Szenarios «VQ mittel + BR», bis auf die Materialkategorie «aus Schlackenverwertung», bei der die Verwertungsquote auf 30% angesetzt wird. Bereits ab dem Jahr 2035 könnten in diesem Szenario somit jährlich knapp 50'000 Tonnen KVA-Schlacke zusätzlich verwertet werden (hellblau). Bis zum Jahr 2050 könnte somit ein totales Reduktionspotenzial von bis zu 505'000 Tonnen pro Jahr ausgeschöpft werden.

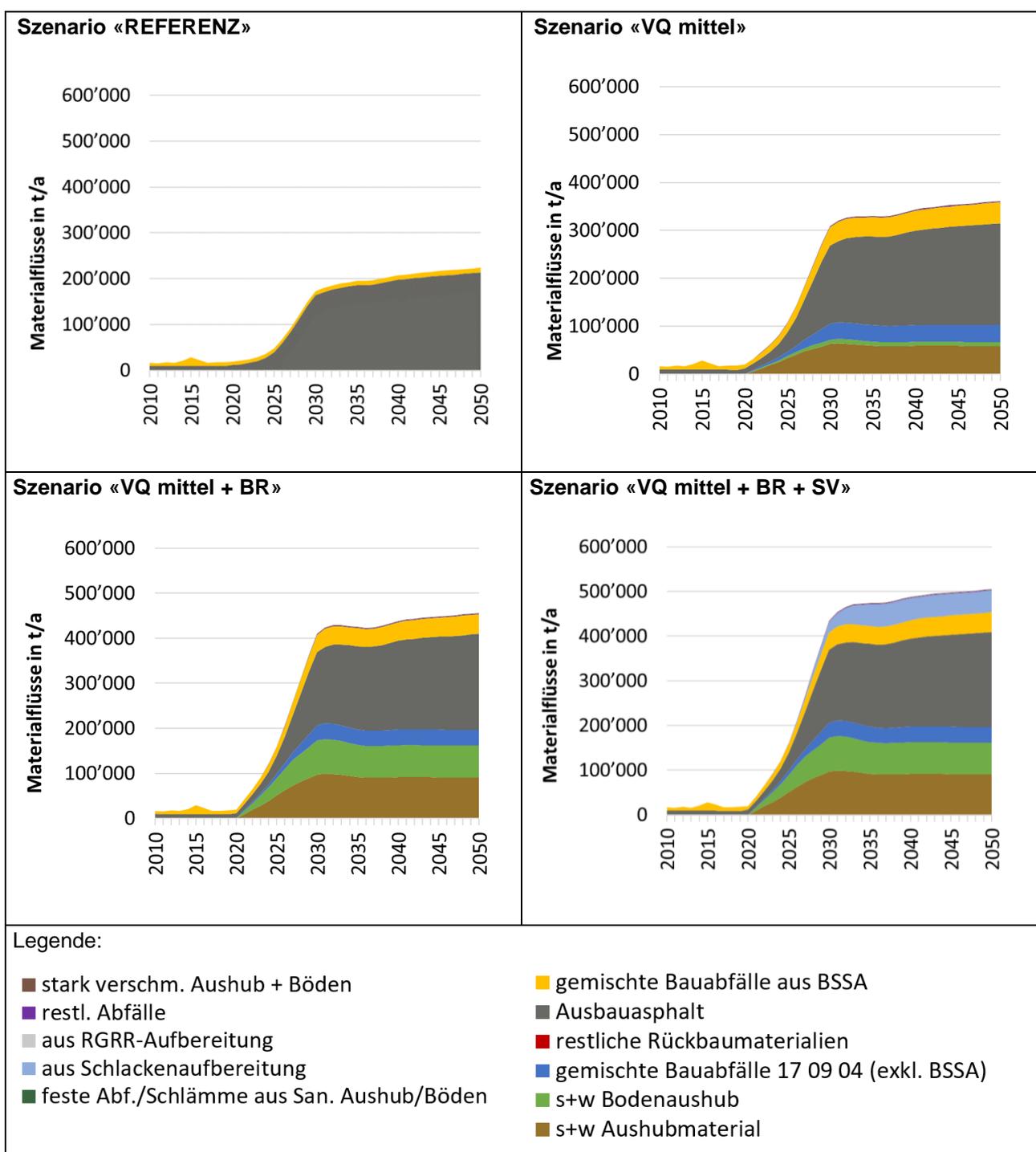


Abbildung 27: Modellierte Materialflüsse, welche zusätzlich in die Verwertung geführt werden könnten, für die vier verschiedenen Szenarien; Szenario «REFERENZ» (oben links), Szenario «VQ mittel» (oben rechts), Szenario «VQ mittel + BR» (unten links) und Szenario «VQ mittel + BR + SV» (unten rechts).

## 4 DISKUSSION

### 4.1 Reduktionspotenziale der modellierten Szenarien

Für die Abschätzung des künftigen Bedarfs an Deponievolumen ist das relative Reduktionspotenzial differenziert nach den einzelnen Deponietypen von Interesse. Deshalb wird im Folgenden auf die einzelnen Reduktionspotenziale der abgelagerten Mengen in den verschiedenen Deponietypen eingegangen. Die Reduktionspotenziale leiten sich aus der Differenz der Gesamtinputmengen der drei Szenarien «VQ mittel», «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» zum Szenario «REFERENZ» ab. Die Differenzbeträge werden anschließend dem Gesamtinputfluss des Szenarios REFERENZ gegenübergestellt und in Prozenten angegeben. Die daraus abgeleiteten Entwicklungen der relativen Reduktionspotenziale sind in der untenstehenden Abbildung 28 abgebildet. Wie im Kapitel 3.5.2 erwähnt, haben die Szenarien «VQ mittel», «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» keine Auswirkungen auf die Materialflüsse des Kompartimenttyps C. Die Materialflüsse sind für alle Szenarien mit dem Szenario «REFERENZ» identisch, weshalb kein Reduktionspotenzial für diesen Deponietyp vorliegt. Aus diesem Grund wird im Folgenden nicht weiter auf diesen Kompartimenttyp eingegangen.

Das Reduktionspotenzial für die **Deponien Typ B** beläuft sich für das Szenario «VQ mittel» bis zum Jahr 2050 auf rund 20%. Dieser Wert wird bereits ab dem Jahr 2030 erreicht und unterliegt ab dann nur noch geringfügigen Schwankungen. Die beiden anderen Szenarien «VQ mittel + BR» und «VQ mittel + BR + SV» haben identische Reduktionspotenziale, diese bewegen sich jedoch auf deutlich höherem Niveau als das Szenario «VQ mittel». Die Reduktionspotenziale liegen bei diesen beiden Szenarien bei ungefähr 35% ab dem Jahr 2030. Bei allen drei Szenarien steigen die Reduktionspotenziale ab dem Jahr 2021 von 0% bis ins Jahr 2035 szenarienbedingt steil an. Sollten die Massnahmen weniger schnell oder nicht vollständig umgesetzt werden, verändert sich die zeitliche Entwicklung der Reduktionspotenziale entsprechend.

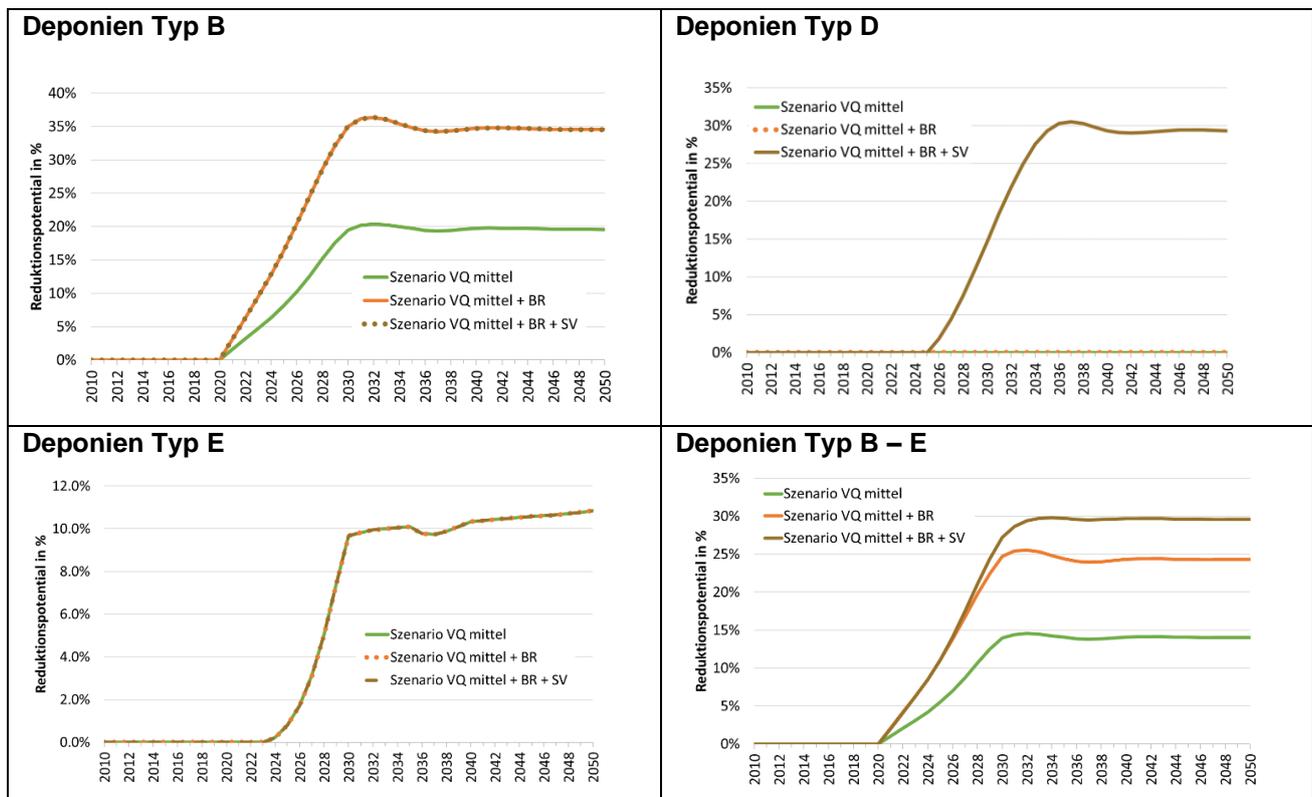


Abbildung 28: Relative **Reduktionspotenziale** (in %) in Bezug auf die Gesamtinputmengen in die verschiedenen Deponietypen für die drei Szenarien im Vergleich zum Szenario «REFERENZ»; Reduktionspotenziale **Deponien Typ B** (oben links), Reduktionspotenziale **Deponien Typ D** (oben rechts), Reduktionspotenziale **Deponien Typ E** (unten links) und Reduktionspotenziale **Deponien Typ B – E** (unten rechts) .

Oben rechts sind die relativen Reduktionspotenziale für die **Deponien des Typs D** dargestellt. Für die beiden Szenarien «VQ mittel» und «VQ mittel + BR» liegen die Reduktionspotenziale über den gesamten Modellierungszeitraum bei 0%, weil in diesen Szenarien die zusätzliche Verwertung von KVA-Schlacken nicht berücksichtigt ist. Das Reduktionspotenzial des Szenarios «VQ mittel + BR + SV» nimmt von 0% bis zum Jahr 2025 auf knapp 30% im Jahr 2035 zu. Ab dem Jahr 2035 bewegt sich das Reduktionspotenzial im Bereich von 29% und 30%.

Die relativen Reduktionspotenziale bei den **Deponien des Typs E** liegen in Vergleich zu den anderen Deponietypen deutlich tiefer (links unten). Sie sind für alle drei Szenarien beinahe identisch, weshalb keine Unterschiede bei der Entwicklung zu erkennen sind. Das Reduktionspotenzial für alle drei Szenarien steigt zwischen 2024 und 2030 stark an und bewegt sich ab dem Jahr 2030 im Bereich von 10% bis 11%. Wichtig ist hier nochmals zu erwähnen, dass die Reduktion der Materialkategorie «Ausbauasphalt» bereits im Szenario «REFERENZ» miteinbezogen ist und somit nicht in diesen Reduktionspotentialen für die drei Szenarien enthalten ist.

Unten rechts sind schliesslich noch die Reduktionspotenziale für die **Deponien Typ B – E** zusammengefasst. Hier ist eine deutliche Abstufung zwischen den einzelnen Szenarien zu erkennen. Das Szenario «VQ mittel» (grüne Linie) weist das tiefste Reduktionspotenzial auf. Im Zeitraum 2021 bis 2030 steigt das Reduktionspotenzial von 0% auf 14% an, danach verbleibt das Reduktionspotenzial bei einem Wert von 14%. Das Reduktionspotenzial des Szenarios «VQ mittel + BR» (orange Linie) steigt im gleichen Zeitraum stärker an. Der Wert erreicht bis 2032 ein Maximum von 26%, reduziert sich danach etwas und verbleibt bis 2050 bei rund 24%. Damit liegt das Reduktionspotenzial dieses Szenarios rund 10% höher als beim vorherigen Szenario. Das grösste Reduktionspotenzial weist schliesslich das Szenario «VQ mittel + BR + SV» auf. Im Zeitraum 2021 bis 2033 steigt das Reduktionspotenzial von 0% auf 30% an. Danach bewegt sich das Reduktionspotenzial bis zum Jahr 2050 konstant bei knapp 30%.

## 4.2 Erkenntnisse aus den Modellierungen der Szenarien

Anhand der Resultate aus den Modellierungen der vier Szenarien lassen sich die wichtigsten Erkenntnisse zur künftigen Entwicklung des Materialinputs in die Deponien ableiten. Diese sind von erheblicher Relevanz für die Abschätzung des künftigen Bedarfs an Deponievolumen. Die Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Fortschreibung des IST-Zustandes im Szenario «REFERENZ» bis 2050:

Werden wie in Szenario «REFERENZ» zugrunde gelegt, künftig keine zusätzlichen Massnahmen zur Schonung des Deponievolumens etabliert, entwickelt sich der Materialinput in die Deponien des Typs B – E relativ konstant (Abbildung 10). Die Modellierung der Materialflüsse im Szenario «REFERENZ» zeigen, dass sich der Materialinput in die besagten Deponien im Modellierungszeitraum 2021 - 2050 im Bereich von 920'000 - 950'000 Tonnen pro Jahr bewegt.

2. Totale Reduktionspotenziale im Vergleich zum Szenario «REFERENZ»:

Anhand der Szenarienrechnungen können die Reduktionspotenziale in Bezug auf die Inputflüsse in die Deponien bei der Umsetzung von verschiedenen Massnahmen aufgezeigt werden. Im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» können die folgenden Reduktionen beim Materialinput in die Deponie Typ B – E für die verschiedenen Szenarien erzielt werden:

- Szenario «VQ mittel»: **minus 14%**
- Szenario «VQ mittel + BR»: **minus 25%**
- Szenario «VQ mittel + BR + SV»: **minus 27%**

Werden die Massnahmen wie in den Szenarien vorgegeben umgesetzt, können die angegebenen Reduktionspotenziale bereits ab dem Jahr 2030 vollständig ausgeschöpft werden.

3. Grösstes Reduktionspotenzial liegt bei Deponien des Typs B vor:

Die Szenarioanalyse zeigt, dass sich der Inputfluss in die Deponien des Typs B am stärksten reduzieren lässt. Insgesamt kann der Inputfluss in die Deponien um bis zu 220'000 Tonnen pro Jahr minimiert werden, wenn die Szenarienbedingungen der Szenarien «VQ mittel + BR» bzw. «VQ mittel + BR + SV» umgesetzt würden (Abbildung 22). Dies bedeutet, dass die Verwertungsquoten VQ und gleichzeitig die Behandlungsregeln insbesondere bei den folgenden Materialkategorien gemäss den in der Tabelle 6 aufgeführten Modellparametern nach oben angepasst werden müssten:

- «s+w Aushubmaterial»
- «s+w Bodenaushub»
- «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)»

4. Beschränktes Reduktionspotenzial bei Materialflüssen in Deponietyp E:

Mengenmässig ist das Reduktionspotenzial bei den Inputflüssen in den Deponietyp E eher gering. Das Reduktionspotenzial beläuft sich im Vergleich zum Szenario «REFERENZ» bei allen drei Szenarien auf gerade mal 5'000 – 6'000 Tonnen pro Jahr. Die Materialkategorie mit dem grössten Reduktionspotenzial ist die Kategorie «Ausbauasphalt». Allerdings ist diese Reduktion bereits im Szenario «REFERENZ» enthalten, weil angenommen wird, dass in den kommenden Jahren grundsätzlich ein Ablagerungsverbot für sämtlichen Ausbauasphalt im Kanton Zürich eingeführt wird. Dies ist auch der Grund, dass in den anderen Szenarien nur noch geringfügige Einsparungen bei den Inputflüssen zu erzielen sind.

5. Bessere Untersuchung bezüglich des Potenzials zur Schlackenverwertung nötig:

Beim Deponietyp D besteht ein erhebliches Reduktionspotenzial bei der Materialkategorie «aus Schlackenaufbereitung». Im Szenario «VQ mittel + BR + SV» wurde eine Verwertungsquote von 30% eingesetzt. Es handelt sich hier um eine erste grobe Abschätzung der möglichen Verwertungsquote. Hier braucht es einerseits weitere Studien, im Rahmen derer das tatsächliche Verwertungspotenzial eruiert wird. Zudem dürften Anpassungen in der VVEA notwendig sein, um aufbereitete Schlackenfraktionen beispielsweise als Rohmaterialersatz in der Zementindustrie einzusetzen.

6. Materialkategorie «s+w Bodenaushub» birgt grosses Potenzial:

Bislang ist in der Behandlungsregel nur das Ausbruch- und Aushubmaterial miteinbezogen. Die Materialkategorie «s+w Bodenaushub» birgt jedoch ein erhebliches Verwertungspotenzial. Es könnte durchaus mehr Material einer Verwertung zugeführt werden, falls der Boden beispielsweise mit in diese Behandlungsregel aufgenommen würde. Damit liesse sich der Materialfluss der Kategorie «s+w Bodenaushub» von knapp 120'000 Tonnen pro Jahr auf 40'000 Tonnen pro Jahr reduzieren (Szenario «VQ mittel + BR» und Szenario «VQ mittel + BR + SV»), was einem Drittel des heutigen Materialflusses entspricht. Hierzu braucht es ebenfalls weitere Untersuchungen und Diskussionen auf Bundesebene und mit der Fachstelle Bodenschutz (FaBo).

7. Materialströme in zusätzliche Verwertung könnten erheblich gesteigert werden:

Die modellierten Materialströme, welche zusätzlich in die Verwertung gelangen, könnten erheblich gesteigert werden. Bereits im Szenario «REFERENZ» können aufgrund der vorausgesetzten Asphaltverwertung/-behandlung bis 2050 insgesamt 220'000 Tonnen Material pro Jahr zusätzlich rezykliert werden. Im Szenario «VQ mittel + BR + SV» kann der Materialfluss in der Verwertung auf bis zu 505'000 Tonnen pro Jahr gesteigert werden. Die mengenmässig relevanten Materialkategorien in die zusätzliche Verwertung sind folgende (Szenario «VQ mittel + BR + SV»):

- «s+w Aushubmaterial»
- «s+w Bodenaushub»
- «Gemischte Bauabfälle 17 09 04 (exkl. BSSA)»
- «Ausbauasphalt»
- «Gemischte Bauabfälle aus BSSA»
- «aus Schlackenaufbereitung»
- «Restl. Abfälle»

---

### 4.3 Schlussfolgerungen

Mit dem in diesem Projekt entwickelten Deponieprognosemodell (DPM) können verschiedene Szenarien definiert und gerechnet werden. Das Modell erlaubt es, Szenarienrechnungen für den Zeitraum 2021 bis 2050 durchzuführen. Dadurch kann die langfristige szenarioabhängige Entwicklung der Materialflüsse in die verschiedenen Deponietypen und in die Verwertung dargestellt werden. Der hohe Parametrisierungsgrad des Modells erlaubt es, eine Vielzahl an verschiedenen Szenarien zu definieren und zu rechnen. Die hier gewählten Szenarien dienen dazu, die verschiedenen Fragestellungen zur künftigen Deponieplanung in Zusammenarbeit mit dem AWEL zu bearbeiten. Sollten sich die hier zugrunde gelegten Rahmenbedingungen in Zukunft ändern, können diese dank der Parametrisierung im Modell berücksichtigt werden. Das vorliegende Modell wurde für den Kanton Zürich erstellt und bezieht sich somit auf dessen Daten. Das Modell kann jedoch auch für andere Kantone der Schweiz erstellt und die Materialflüsse berechnet werden. Dafür müssen die notwendigen Grundlagendaten vorliegen und entsprechend eingesetzt werden.

Die gewählten Szenarien dienen dazu, tragfähige Grundlagen für das AWEL und den Kanton Zürich zu schaffen, um eine langfristige Deponieplanung zu ermöglichen. Dabei können Auswirkungen von Massnahmen, wie die Erhöhung der Verwertungsquoten bei verschiedenen Materialkategorien sowie die Anpassung beziehungsweise die Erweiterung der Behandlungsregel, untersucht werden. So kann der Bedarf an künftigen Deponievolumen abgeschätzt und für die Deponieplanung verwendet werden. Für die Szenarienrechnungen wurden die Resultate und Erkenntnisse aus der parallellaufenden Studie zum Verwertungspotenzial von deponierten Materialien verwendet (ERM, 2022). Die in der genannten Studie formulierten Massnahmen und die daraus abgeleiteten Verwertungspotenziale wurden in die Szenarienrechnungen integriert. Resultate und Erkenntnisse aus diesen Rechnungen stehen somit auf einem soliden Fundament.

Für die konkrete Umsetzung der hier vorgestellten Szenarien sind einige wichtige Hürden und Herausforderungen zu überwinden. Neben der Einführung von Ablagerungsvorboten für gewisse Materialkategorien müssen zusätzliche Verwertungskapazitäten aufgebaut werden. Dies bedeutet beispielsweise, dass die Verwertungsbranche bei einer Umsetzung des Maximalszenarios «VQ mittel + BR + SV» zusätzliche Verwertungskapazitäten im Umfang von rund einer halben Million Tonnen pro Jahr zur Verfügung stellen müsste. Aus diesem Grund ist der frühzeitige Einbezug der Stakeholder bei der Planung und Umsetzung der Massnahmen von eminenter Bedeutung. Der bisherige Austausch mit den Branchenvertretern zeigt, dass diese durchaus gewillt sind, diesem Vorhaben zum Erfolg zu verhelfen und die sich eröffnenden Chancen zu nutzen.

---

## 5 Literaturverzeichnis

- arv Baustoffrecycling Schweiz. (2021). *Bauabfallaufbereitungssanlagen Jahresbericht 2020*. Schlieren: AWEL.
- AWEL. (Juli 2020). *Behandlungsregel für verschmutzte Bauabfälle und Aushub- und Ausbruchmaterial im Hinblick auf die Verwertung*. Zürich : Baudirektion Kanton Zürich.
- BAFU. (August 2019). *Deponien*. Abgerufen am 13. 01 2022 von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallentsorgung/deponien.html>
- BAFU. (März 2021). *Erläuternder Bericht zur Änderung der Abfallverordnung (VVEA)*.
- Bundeskanzlei Bern. (1. Januar 2018). *Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen, SR 814.610.1*. Abgerufen am 24. Januar 2022 von <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/714/de>
- Bundeskanzlei Bern. (1. Januar 2022). *Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen, SR 814.600*. Abgerufen am 24.1.2022 von <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/de>
- ERM. (2022). *Analyse zum Verwertungspotenzial von deponierten Materialien, welche in Deponien des Typs B und E gelangen*. Freienbach.
- Rubli S. (2012 - 2020). *KAR-Modell - Modellierung der Kies-, Rückbau- und Aushubmaterialflüsse*. Freienbach.
- Rubli, S. (2013). *Dynamische Modellierung der Asphalt- sowie PAK-Lager und Flüsse in den Strassen der Region St.Gallen, Thurgau, Zürich und Fürstentum Liechtenstein*. Schlieren.

## ANHANG

### A.1 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel»

In der Tabelle 7 sind diejenigen Modellparameter für das Szenario «VQ mittel» aufgeführt, welche sich vom Szenario «REFERENZ» unterscheiden. Dabei sind jeweils die Transferkoeffizienten für das Jahr 2020, 2025 und 2030 aufgelistet. Die Transferkoeffizienten für die späteren Jahre bis zum Jahr 2050 entsprechen den Werten des Jahres 2030.

Tabelle 7: Angepasste Szenarien «VQ mittel» im Vergleich zum Szenario «REFERENZ».

Modul	Verteilung (TK für das Jahr 2020)	Verteilung (TK für das Jahr 2025)	Verteilung (TK für das Jahr 2030)
vMod_AUSH_s+w	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 99.8%</li> <li>Typ C: 0.1%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.1%</li> <li>Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 89.3%</li> <li>Typ C: 0.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.0%</li> <li>Verwertung: 10.7%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 78.7%</li> <li>Typ C: 0.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.0%</li> <li>Verwertung: 21.3%</li> </ul>
vMod_Boden_s+w	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 100%</li> <li>Typ C: 0.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.0%</li> <li>Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 96.3%</li> <li>Typ C: 0.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.0%</li> <li>Verwertung: 3.8%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 92.5%</li> <li>Typ C: 0.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 0.0%</li> <li>Verwertung: 7.5%</li> </ul>
vMod_RBM	Gemischte Bauabfälle (ak) <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 87.9%</li> <li>Typ C: 0.1 %</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 1.6%</li> </ul> Restl. RBM: <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 6.3%</li> <li>Typ C: 0.2%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 3.9%</li> </ul> Verwertung: <ul style="list-style-type: none"> <li>In BSSA: 0.0%</li> <li>In BSA: 0.0%</li> </ul>	Gemischte Bauabfälle (ak) <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 70.4%</li> <li>Typ C: 0.0 %</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 1.7%</li> </ul> Restl. RBM: <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 6.3%</li> <li>Typ C: 0.2%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 3.9%</li> </ul> Verwertung: <ul style="list-style-type: none"> <li>In BSSA: 8.8%</li> <li>In BSA: 8.8%</li> </ul>	Gemischte Bauabfälle (ak) <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 52.9%</li> <li>Typ C: 0.0 %</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 1.7%</li> </ul> Restl. RBM: <ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 6.3%</li> <li>Typ C: 0.2%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 3.9%</li> </ul> Verwertung: <ul style="list-style-type: none"> <li>In BSSA: 17.5%</li> <li>In BSA: 17.5%</li> </ul>
sMod_BSSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwertung: 80%</li> <li>Deponie Typ B: 13%</li> <li>Feinfraktion Typ E: 0.9%</li> <li>Feinfraktion verwertet: 6.1%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwertung: 70%</li> <li>Deponie Typ B: 17.25%</li> <li>Feinfraktion Typ E: 0.9%</li> <li>Feinfraktion verwertet: 11.85%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verwertung: 60%</li> <li>Deponie Typ B: 21.5%</li> <li>Feinfraktion Typ E: 0.9%</li> <li>Feinfraktion verwertet: 17.60%</li> </ul>
vMod_stark ver Aus_Bo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 0.0%</li> <li>Typ C: 33.9%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 66.1%</li> <li>Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 0.0%</li> <li>Typ C: 34.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 63.5%</li> <li>Verwertung: 2.5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 0.0%</li> <li>Typ C: 34.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 61.0%</li> <li>Verwertung: 5.0%</li> </ul>
vMod_FF_BSSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 25%</li> <li>Typ E: 23%</li> <li>Stoffliche Verwertung: 52%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 27.9%</li> <li>Typ E: 11.5%</li> <li>Stoffliche Verwertung: 60.6%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 30.8%</li> <li>Typ E: 0%</li> <li>Stoffliche Verwertung: 69.3%</li> </ul>
vMod_Rest	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 69.0%</li> <li>Typ C: 21.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 10.0%</li> <li>Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 64.7%</li> <li>Typ C: 21.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 9.4%</li> <li>Verwertung: 4.9%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Typ B: 60.4%</li> <li>Typ C: 21.0%</li> <li>Typ D: 0.0%</li> <li>Typ E: 8.8%</li> <li>Verwertung: 9.9%</li> </ul>

## A.2 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel +BR»

In der Tabelle 8 sind alle diejenigen Modellparameter aufgeführt, welche sich von Szenario «VQ mittel» unterscheiden. Dabei sind jeweils die Transferkoeffizienten für das Jahr 2020, 2025 und 2030 aufgelistet. Die Transferkoeffizienten für die späteren Jahre bis zum Jahr 2050 entsprechen den Werten des Jahres 2030.

Tabelle 8: Angepasste Szenarien «VQ mittel + BR» im Vergleich zum Szenario «VQ mittel».

Modul	Verteilung (TK für das Jahr 2020)	Verteilung (TK für das Jahr 2025)	Verteilung (TK für das Jahr 2030)
vMod_AUSH_s+w	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 99.8%</li> <li>• Typ C: 0.1%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.1%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 83.5%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 16.5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 67.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 33%</li> </ul>
vMod_Boden_s+w	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 100%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 68.5%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 31.5%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 37.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 0.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 63.0%</li> </ul>

## A.3 Parameteränderungen für das Szenario «VQ mittel + BR + SV»

In der Tabelle 9 sind diejenigen Modellparameter aufgeführt, welche sich vom Szenario «VQ mittel + BR» unterscheiden. Dabei sind jeweils die Transferkoeffizienten für das Jahr 2025, 2030 und 2035 aufgelistet. Die Transferkoeffizienten für die späteren Jahre bis zum Jahr 2050 entsprechen den Werten des Jahres 2035.

Tabelle 9: Angepasste Szenarien «VQ mittel + BR + SV» im Vergleich zum Szenario «VQ mittel + BR».

Modul	Verteilung (TK für das Jahr 2025)	Verteilung (TK für das Jahr 2030)	Verteilung (TK für das Jahr 2035)
vMod_Schlacke	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 0.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 100.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 0.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 0.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 85.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 15.0%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Typ B: 0.0%</li> <li>• Typ C: 0.0%</li> <li>• Typ D: 70.0%</li> <li>• Typ E: 0.0%</li> <li>• Verwertung: 30.0%</li> </ul>