



**Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser,
Energie und Luft**

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

Analyse zum Verwertungspotential von deponierten Materialien, welche in De- ponien des Typs B und E gelangen

Grundlagenbericht

Februar 2022

Energie- und Ressourcen-Management GmbH

Auftraggeber	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe, Sektion Abfallwirtschaft
Kontaktpersonen	André Leumann, Daniel Locher (AWEL)
Bearbeitung	Energie- und Ressourcen-Management GmbH Wolleraustrasse 15g 8807 Freienbach Tel. +41 44 371 40 90 Fax +41 44 371 40 04 info@energie-ressourcen.ch www.energie-ressourcen.ch
Bearbeitung	Stefan Rubli, Dr. sc. techn., Sandrine Werner, BSc Umwelting. ETH
Zeitraum	Juni 2021 – Februar 2022

ZUSAMMENFASSUNG

Das Deponievolumen im Kanton Zürich ist begrenzt und es gilt, sorgsam und bewusst damit umzugehen. Im Sinne eines geschlossenen Ressourcenkreislaufs sowie der Schonung des Deponieraumes soll möglichst wenig Material einer Deponie zugeführt und möglichst hohe Anteile mit Hilfe von Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen recycelt werden. Insgesamt ist eine Reduktion des Deponievolumens von 30 - 50% anzustreben. Im Rahmen einer Gesamtschau wird aktuell die Deponieplanung des Kantons Zürich überarbeitet. Unter anderem soll dabei mittels eines zu entwickelnden Prognosemodells für Deponieabfälle die künftige Entwicklung der Deponieabfälle im Kanton Zürich abgeschätzt werden. Im vorliegenden Projekt wird das Verwertungspotential der heute noch deponierten Materialien in Deponien des Typs B und E untersucht. Die Resultate dieser vertieften Analyse werden für die Szenarienrechnungen des Deponieprognosemodells (DPM) verwendet. Das Ziel der vorliegenden Studie ist, die Mengenanteile der heute auf den Deponien des Typs B und E abgelagerten mineralischen Materialien, die grundsätzlich einer Verwertung oder Behandlung zugeführt werden können, abzuschätzen. Auf Basis dieser Abschätzungen sollen Massnahmen abgeleitet werden, mit welchen die Erhöhung der Verwertungsquoten sowie die Reduktion des Deponievolumens erreicht werden können. Ergänzend dazu werden die damit verbundenen Mehrkosten grob abgeschätzt, um die ökonomischen Konsequenzen dieser Strategie aufzuzeigen.

Über eine Datenanalyse und die Begehung von verschiedenen Deponien und Aufbereitungsanlagen im Kanton Zürich und den ergänzenden Interviews mit den Betreiber*innen wurden in einem ersten Schritt die Grundlagen erarbeitet. Dies erlaubt eine Einschätzung der Ist-Situation im Kanton Zürich über die abgelagerten Materialien in den untersuchten Deponien des Typs B und E und eine erste Abschätzung des Verwertungspotentials.

Es wurden die folgenden, mengenmässig relevantesten Materialkategorien der beiden Deponietypen B und E im Kanton Zürich identifiziert:

Typ B	Typ E
<ul style="list-style-type: none"> • Schwach +wenig verschmutzter Aushub (17 05 94 & 17 05 97) • Schwach + wenig verschmutzter Bodenaushub (17 05 93 & 17 05 96) • Gemischte Bauabfälle (17 09 04) • Feste Abfälle aus Sanierung von Böden und Aushub (19 13 02) • Inertstoffe aus BSSA (19 12 12) • Ausbauasphalt (17 03 02) 	<ul style="list-style-type: none"> • Stark verschmutzter Aushub (17 05 91) • Ausbauasphalt (17 03 01, 17 03 02 & 17 03 03) • Feste Abfälle aus Sanierung von Böden und Aushub (19 13 02) • Wenig + stark belastete Böden (17 05 96 & 17 05 90) • Feinmaterial aus der BSSA (19 12 96)

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Datenauswertung, den Informationen aus den Begehungen und den Interviews wurden die Verwertungsquoten, differenziert nach den einzelnen Materialkategorien, abgeschätzt.

In einem weiteren Schritt wurden vier strategische Ansätze entwickelt, mit denen die brachliegenden Verwertungspotentiale künftig besser ausgeschöpft und eine Reduktion des Materialflusses in die Deponien erreicht werden können.

Diese strategischen Ansätze wurden mit verschiedenen Stakeholdern in einem Workshop diskutiert und weiterentwickelt. Anschliessend wurden die nachfolgenden **empfohlenen Massnahmen** abgeleitet, mit denen die oben erwähnten Ziele erreicht werden sollen:

- Einführung einer **Verwertungs-/Behandlungspflicht** für Materialien der Typs B und einer damit verbundenen Positivliste. Die Positivliste definiert dabei die Materialien, welche direkt ohne Aufbereitung auf einer Deponie abgelagert werden dürfen.
- Evtl. Einführung und Erarbeitung einer **Anlagenklassierung** für die Sicherstellung der Umsetzbar- und Überprüfbarkeit der Verwertungs-/Behandlungspflicht. Über eine solche Anlageklassierung würde festgehalten, welche Aufbereitungsanlage, welche Materialkategorien nach dem Stand der Technik (SdT) annehmen und aufbereiten kann.
- Erhöhung der **Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial von 50% auf 70%**.
- **Miteinbezug des Bodenaushubs in die Behandlungsregel** (eine genaue Definition gilt es noch zu treffen).
- **Maximale Reduktion oder Elimination des Materialstromes in die Deponien des Typs E:** Zusammen mit den betroffenen Anlagebetreiber*innen soll eine Liste, in der differenziert nach Materialkategorien die alternativen Verwertungs- und Entsorgungsoptionen von Typ-E-Materialien aufgeführt sind, erarbeitet werden. Die Einführung einer solchen Massnahme könnte neben den Vorteilen der Reduktion des deponierten Volumens im Typ E und der Erhöhung der Verwertungsquoten auch die Reduktion des Nachsorgezeitraums darstellen.

In einem weiteren Schritt wurden vier verschiedene Szenarien definiert und gerechnet, um die Auswirkungen der umzusetzenden Massnahmen auf das Deponievolumen aufzeigen zu können. Die Reduktionspotentiale bei den Deponievolumen resultieren aus den in den einzelnen Szenarien durchgeführten Abschätzungen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Abgeschätzte Reduktionspotentiale der vier definierten Szenarien für die Deponien des Typs B und E im Vergleich mit dem Szenario REFERENZ (Ist-Zustand).

	Prozentuale Reduktion im Typ B [%]	Prozentuale Reduktion im Typ E [%]
Szenario VQ ¹ minimal	10	27
Szenario VQ mittel	21	30
Szenario VQ maximal	30	33
Szenario VQ mittel + BR	37	30

¹ Verwertungsquote (VQ): Sie stellt das Verhältnis zwischen dem Anteil von Material auf der Deponie dar, welcher einer Aufbereitungs- oder Behandlungsanlage zur zusätzlichen Verwertung zugeführt werden kann und dem Anteil, welcher nicht weiter aufbereitet oder behandelt werden kann.

Das Richtziel einer Reduktion von 30 - 50% kann im Szenario VQ maximal sowie im Szenario VQ mittel + BR für beide Deponietypen erreicht werden. Das Szenario VQ mittel hingegen erfüllt das Ziel nur für den Deponietyp E. Für den Typ B liegt die Reduktion mit 27% unter den geforderten 30%. Beim Szenario VQ minimal liegen die Reduktionen für beide Deponietypen unter dem angestrebten Ziel-Wert.

Die geschätzten Mehrkosten (bezogen auf den Ist-Zustand), welche aus der zusätzlichen Aufbereitung resultieren, bewegen sich für die Materialien Typ B in Abhängigkeit der Szenarien im Bereich von 2.4 und 10 Mio. Franken pro Jahr. Die Mehrkosten für die Materialien des Typs E liegen zwischen 1.5 und 1.6 Mio. Franken pro Jahr. Betrachtet man die geschätzten Mehrkosten pro aufbereitete Tonne aus der zusätzlichen Aufbereitung, liegen sie für die Materialkategorien des Typs B für die vier Szenarien zwischen 35 und 40 Franken pro Tonne. Fast doppelt so hoch sind die Mehrkosten für die Typ-E-Materialien mit 56 – 60 Franken pro Tonne je nach Szenario.

Es zeigt sich somit, dass mittels verschiedener Massnahmen ein grosser Teil der Materialien, welche heute noch deponiert werden, einem Verwertungs- bzw. Behandlungsprozess zugeführt werden kann. Es bedarf jedoch einer Konkretisierung der Massnahmen, insbesondere in Bezug auf deren Umsetzung. Es wird deshalb empfohlen, folgende Aspekte in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Stakeholdern genauer zu analysieren:

- Erstellen einer Positivliste, in welcher die Materialien aufgeführt sind, welche auch in Zukunft direkt von der Baustelle auf Deponien des Typs B geführt werden dürfen.
- Eine Definition von Anlagenklassen sollte in Betracht gezogen werden, um die Umsetzbarkeit- und Überprüfbarkeit der Verwertungs-/Behandlungspflicht sicherzustellen. Darin würde festgehalten, welche Aufbereitungsanlage welche Materialkategorien nach dem Stand der Technik (SdT) annehmen und aufbereiten kann.
- In Zusammenarbeit mit den Betreiber*innen der Zementwerke sollten die künftig zu erwartenden Mengen abgeschätzt und Materialqualitäten definiert werden, damit entsprechenden Kapazitäten seitens der Zementindustrie innert nützlicher Frist zur Verfügung gestellt werden können.
- Mit dem Einbezug von Boden in die Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial könnte das vorhandene Potential noch besser ausgeschöpft werden. Es braucht dazu noch genauere Untersuchungen zur Umsetzbarkeit und die Zusammenarbeit mit der Fachstelle Boden (FaBo).

Mit der Umsetzung der hier präsentierten Massnahmen kann das benötigte Deponievolumen künftig deutlich reduziert werden. Der Einbezug der Stakeholder in den Umsetzungsprozess ist von entscheidender Bedeutung. Diese werden später dafür verantwortlich sein, genügend Verwertungs- und Behandlungskapazitäten zur Verfügung zu stellen. Sollte dies nicht gelingen, könnten mit der Einführung einer Lenkungsabgabe auf Deponiegüter, die Materialflüsse in die gewünschte Richtung geführt werden. Entsprechende Rahmenbedingungen zur Einführung einer solchen Abgabe sind bereits frühzeitig zu definieren.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	9
1.1	<i>Ausgangslage</i>	9
1.2	<i>Fragestellung und Zielsetzung.....</i>	9
1.3	<i>Vorgehen</i>	10
2	Grundlagen zur Abschätzung des Verwertungspotentials	11
2.1	<i>Detailanalyse DEMIS-Daten.....</i>	11
2.2	<i>Zusammenfassung wichtigste Materialkategorien</i>	15
2.3	<i>Erkenntnisse aus den Begehungen der Deponien und Aufbereitungsanlagen.....</i>	18
2.3.1	<i>Erkenntnisse aus den Begehungen Deponien</i>	18
2.3.2	<i>Erkenntnisse aus den Begehungen der Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen.....</i>	23
2.3.3	<i>Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse</i>	24
2.4	<i>Abschätzung Verwertungspotential.....</i>	25
3	Strategische Ansätze, mögliche Massnahmen und Definition von Szenarien.....	27
3.1	<i>Entwicklung von strategischen Ansätzen und mögliche Massnahmen.....</i>	27
3.1.1	<i>1. Strategischer Ansatz: Verwertungs-/Behandlungspflicht für Typ B Materialien</i>	28
3.1.2	<i>2. Strategischer Ansatz: Maximale Reduktion des Materialflusses in die Deponien des Typs E</i>	28
3.1.3	<i>3. Strategischer Ansatz: Anpassung der Behandlungsregel für Aushub</i>	29
3.1.4	<i>4. Strategischer Ansatz: Lenkungsabgabe und weitere Massnahmen</i>	30
3.1.5	<i>Zusammenfassung Erkenntnisse Workshop</i>	30
3.1.6	<i>Zusammenfassung der empfohlenen Massnahmen</i>	32
3.2	<i>Szenarioanalyse</i>	33
3.2.1	<i>Definition und Beschreibung der Szenarien</i>	33
3.2.2	<i>Materialflüsse Szenario REFERENZ.....</i>	36
4	Resultate aus den Szenarienrechnungen	37
4.1	<i>Materialflüsse in Deponien Typ B.....</i>	37
4.2	<i>Materialflüsse in Deponien Typ E.....</i>	41
4.3	<i>Verteilung der zusätzlichen Materialflüsse auf die Verwertungspfade</i>	45
4.4	<i>Kostenabschätzung</i>	49
5	Diskussion.....	51
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	53

7	Literatur	55
	Anhang.....	56
A.1	<i>Fragenkatalog Deponiebesichtigungen</i>	<i>56</i>
A.2	<i>Fragenkatalog Besichtigung Aufbereitungsanlagen (Bodenwaschanlage).....</i>	<i>57</i>
A.3	<i>Fragenkatalog Besichtigung Aufbereitungsanlage (BSSA).....</i>	<i>59</i>
A.4	<i>Strategische Ansätze (inkl. Notizen aus dem Workshop)</i>	<i>60</i>

Abkürzungsverzeichnis

AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
BR	Behandlungsregel
BSSA	Bausperrgutsortieranlage
DEMIS	Deponie-Monitoring- und Informationssystem
ERM	Energie- und Ressourcenmanagement GmbH
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
s+w Aushub	Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial
s+w Boden	Schwach und wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden
SdT	Stand der Technik
VP	Verwertungspotential
VQ	Verwertungsquote
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

Glossar

Aufbereitung	Unter diesem Begriff versteht man die mechanische Aufbereitung von Materialien zu verwertbaren Produkten oder Fraktionen, die danach weiterverwendet oder umweltverträglich entsorgt werden können. Die Materialkategorien werden dabei nach ihrer Zusammensetzung oder Korngrösse getrennt. Beispiele für Aufbereitungsanlagen sind Bausperrgutsortier- oder Bauschutttaufbereitungsanlagen.
Behandlung	Im Gegensatz zur Aufbereitung werden bei der Behandlung gefährliche oder umweltschädliche Stoffe einer zu behandelnden Materialkategorie oder eines Materialgemisches über (nass-)chemische oder thermische Behandlungswege eliminiert oder aus dem Materialkreislauf ausgeschlossen. Beispiele hierfür sind Bodenwaschanlagen, thermische Asphaltbehandlungsanlagen oder Kehrichtverbrennungsanlagen.
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 eine der wichtigsten Anforderungen, dass die Abfälle einen maximalen Gesamtgehalt an Organika nicht überschreiten dürfen (BAFU, 2019).
Negativliste	Die Negativliste definiert, welche Materialkategorien vor der Deponierung über eine Aufbereitungsanlage gehen müssen.
Positivliste	Im Gegensatz zur Negativliste definiert die Positivliste die Materialien, welche direkt ohne Aufbereitung auf einer Deponie abgelagert werden dürfen.
Verwertungspotential bzw. Reduktionspotential	Der Begriff „Verwertungspotential“ wird für diesen Bericht als Bereich definiert, in welchem sich die Verwertungsquoten (VQ) einer bestimmten Materialkategorie bewegen können. Im Gegensatz dazu entspricht die Verwertungsquote immer einem fix definierten Wert (in %). Liegen beispielsweise die Verwertungsquoten für eine Materialkategorie minimal bei 5% und maximal bei 15%, so liegt das Verwertungspotential im Bereich von 5 - 15%. Das Reduktionspotential entspricht sinngemäss dem Verwertungspotential, es bezieht sich jedoch auf die eingesparte Deponiemenge.
Verwertungsquote	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.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Im Zuge eines wachsenden Wohlstandes und des Bevölkerungswachstums in der Schweiz nehmen auch die Abfallströme stetig zu. Obwohl im Kanton Zürich bereits heute ein Grossteil davon stofflich oder thermisch verwertet wird, gelangt immer noch ein relativ grosser Materialstrom auf die Deponien des Typs B, C, D und E. Im Sinne einer vorausschauenden Abfall- und Ressourcenwirtschaft soll eine Verwertung von heute noch deponierten Materialien gezielt gefördert werden. Das Deponievolumen ist begrenzt und es gilt, bewusst und vorausschauend damit umzugehen und dieses wenn möglich zu schonen.

Aktuell wird die Deponieplanung des Kantons Zürich im Rahmen einer Gesamtschau überarbeitet. Ziel dieser Gesamtschau ist, neue Deponiestandorte in den kantonalen Richtplan aufzunehmen, um auch in Zukunft die erforderlichen Kapazitäten sicherstellen zu können und bei der Nutzungsplanung die Flexibilität zu erhöhen. Zusätzlich bietet eine Gesamtschau auch die Möglichkeit, die Planung von Deponien im Kanton neu auszurichten und bestehende Festlegungen neu zu bewerten. Das Projekt «Gesamtschau Deponien» wird durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) geleitet. Um die künftige Entwicklung der Deponieabfälle für den Kanton Zürich abzuschätzen, wird ein Prognosemodell für Deponieabfälle entwickelt.

In einem zweiten Projekt, welches in diesem Bericht behandelt und weitgehend parallel zum Projekt «Gesamtschau Deponien» bearbeitet wird, soll das Verwertungspotential der heute noch deponierten Materialien in Deponien des Typs B und E untersucht werden. Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse fliessen in die Szenariendefinition und -rechnungen des Deponieprognosemodells ein.

1.2 Fragestellung und Zielsetzung

Das Projekt ist in zwei Etappen gegliedert. In einem ersten Schritt werden Grundlagen erarbeitet, um die Ist-Situation der abgelagerten Materialien, welche in die Deponien des Typs B und E im Kanton Zürich gelangen, abschätzen zu können. Ebenfalls werden erste Abschätzungen darüber getroffen, welche Materialkategorien sich für eine Aufbereitung und Verwertung eignen würden. Darauf aufbauend werden in einem zweiten Schritt strategische Ansätze und mögliche Massnahmen entwickelt und mit verschiedenen Stakeholdern in einem Workshop diskutiert. In beiden Schritten wird untersucht, ob sich eine Materialkategorie zur Verwertung oder Behandlung eignet oder direkt in die Deponien geführt werden kann. Ziel der Auswertungen ist, eine Aussage zum künftigen Reduktionspotential der heute noch abgelagerten Materialien treffen zu können. Dabei wird ein Reduktionsziel von 30 - 50% angestrebt. Auf Basis der Erkenntnisse werden Massnahmen vorgeschlagen, mit denen das zuvor abgeschätzte Verwertungspotential möglichst vollständig ausgeschöpft werden soll. Im Rahmen einer Szenarienanalyse werden die Auswirkungen der definierten Massnahmen auf die Entwicklung und Verteilung der Materialflüsse in die Verwertung bzw. die Deponien abgeschätzt.

Dabei stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund:

1. Abklärungen, welche Mengen(-anteile) der auf die Deponietypen B und E gelangenden Abfälle zwecks Verwertung einer Behandlung zugeführt werden könnten (Fragestellung: Wieviel verwertbares Material kann zu welchen Kosten zurückgewonnen werden).
2. Abklärungen, welche Anteile, die der Deponierung zugeführt werden, verwertet werden können bzw. anderen Entsorgungswegen zuzuführen sind.
3. Abklärungen, welche Kosten durch die Behandlungsprozesse dieser Abfälle anfallen.
4. Formulierung von Kriterien für diejenigen Abfälle, die sich nicht für eine Behandlung eignen und somit direkt ab Baustelle der Deponie zugeführt werden können.

1.3 Vorgehen

Im Rahmen des Projekts «Prognosemodell für Deponieabfälle» wurden die bestehenden Datengrundlagen aus dem DEMIS (Deponie-Monitoring- und Informationssystem) zusammengetragen, ausgewertet und analysiert. Teilweise wurden weitere Daten von anderen Kantonen beschafft, um ein möglichst umfassendes Bild zu den Materialflüssen der letzten 10 Jahre in die Deponie sowie der Importe und Exporte zu erhalten. Mittels einer Detailanalyse wurden die relevanten Materialkategorien identifiziert. Dabei geht es einerseits darum, die gesamte Situation in Bezug auf die Materialflüsse in die Deponien zu erfassen. Andererseits werden die für die hier untersuchten Kompartimenttypen B und E relevantesten Materialkategorien, nach deren Mengenanteil und -entwicklung differenziert.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Analysen, lassen sich die Verwertungspotentiale, differenziert nach Materialkategorie, identifizieren. Ergänzend dazu wurden mittels Begehungen von verschiedenen Deponien des Typs B und E im Kanton Zürich die Materialqualität der wichtigsten Materialkategorien mittels Fotos dokumentiert, sowie Interviews mit den Deponiebetreiber*innen bezüglich ihrer Einschätzung zum Verwertungspotential durchgeführt. Die Interviews mit Betreiber*innen von verschiedenen Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen dienen dazu, Inputs zur Verwertbarkeit der verschiedenen Materialien und den vorhandenen Kapazitäten zu erhalten.

Mittels der Auswertung der Interviews und den Fotodokumentationen wurden die Verwertungsquoten abgeschätzt und erste mögliche strategische Ansätze zur Erhöhung des Verwertungspotentials abgeleitet. Die Präsentation der strategischen Ansätze erfolgte im Rahmen eines Workshops mit den betroffenen Akteuren (Deponiebetreiber*innen, Anlagebetreiber*innen, Vertreter*innen KVA und Zementindustrie, usw.). In Gruppenarbeiten wurden die verschiedenen strategischen Ansätze diskutiert und weiterentwickelt. Dabei lag der Fokus auf der Einschätzung, ob die vorgeschlagenen Ansätze zielführend sind, um die Materialflüsse in die Deponien Typ B und E langfristig zu senken. Es galt zudem abzuklären, mit welchen Herausforderungen die Branche bei einer Umsetzung konfrontiert wäre. Auf Basis der strategischen Ansätze werden anschliessend konkrete Massnahmen abgeleitet. Ergänzend dazu werden verschiedene Szenarien erarbeitet, um die Entwicklung und Verteilung der Materialflüsse in die Verwertung und die Deponien bei der Umsetzung der verschiedenen Ansätze abzuschätzen und die mit der Einführung der Massnahmen verbundenen Mehrkosten zu quantifizieren. Die Erkenntnisse aus den erarbeiteten Szenarien fliessen zudem in das parallellaufende Projekt des Deponieprognosemodells ein.

2 Grundlagen zur Abschätzung des Verwertungspotentials

2.1 Detailanalyse DEMIS-Daten

Um einen Überblick über die Situation und die Mengen der abgelagerten Materialien in Deponien des Typs B und E zu erhalten, wurden die DEMIS-Daten (Deponie-Monitoring- und Informationssystem) über den Zeitraum 2010 - 2020 ausgewertet. In einem ersten Schritt wurde die gesamte abgelagerte Menge an Abfällen, somit die Materialien der Deponietypen B, C, D und E, im Kanton Zürich untersucht. Diese Entwicklung über die Jahre 2010 bis 2020 ist in der untenstehenden Abbildung 1 dargestellt. Zudem sind in dieser Abbildung die abgelagerten Mengen im Kanton Zürich, aufgeteilt in die einzelnen Deponiekompimente (Typ B - E), ebenfalls über den Zeitraum der Jahre 2010 bis 2020, zu sehen.

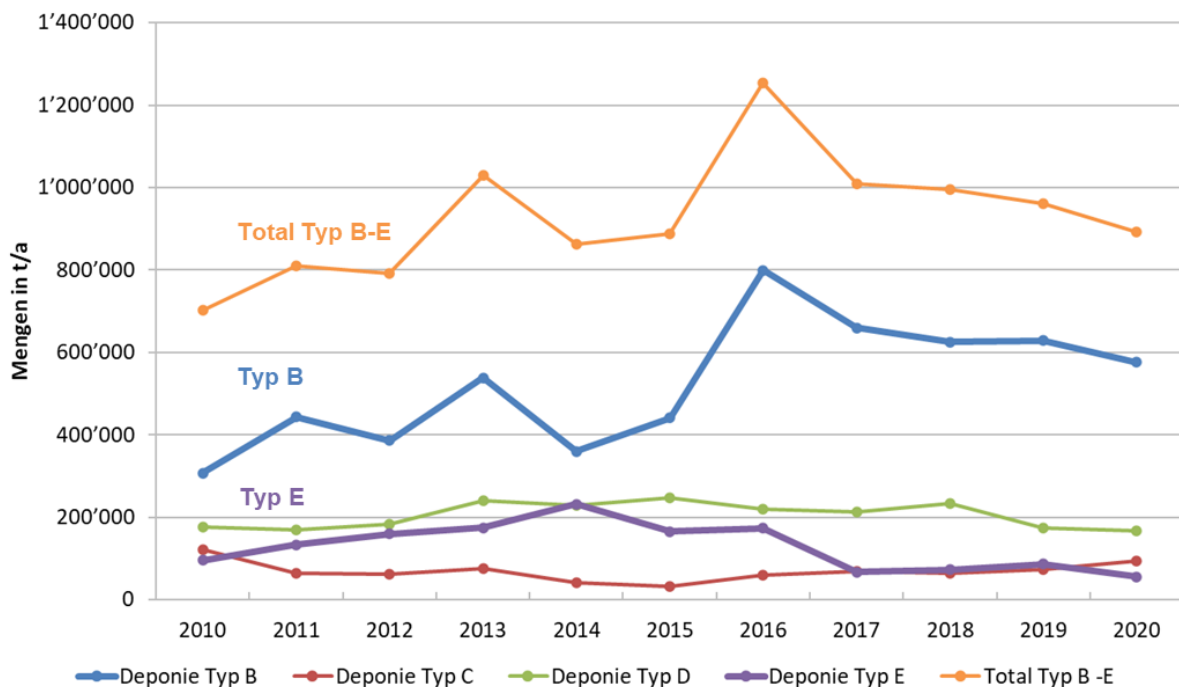


Abbildung 1: Entwicklung der abgelagerten Materialien in Deponien des Typs B - E im Kanton Zürich zwischen 2010 – 2020; die für die Studie relevanten Deponiekompimente sind in der Abbildung beschriftet und hervorgehoben. (DEMIS, 2020).

Die Summe aller Kompartimenttypen (B - E) zeigt eine stetige Zunahme der Menge an abgelagerten Materialien bis ins Jahr 2016, in welchem auch der Höchststand von knapp 1'200'000 Tonnen pro Jahr erreicht wurde. Seit dem Jahr 2016 nimmt der Materialfluss wieder ab und erreicht im Jahr 2020 ein Total von rund 900'000 Tonnen pro Jahr. Es ist zu erkennen, dass rund 50 - 60% der deponierten Mengen im Kompartiment Typ B abgelagert werden. Die Materialflüsse in die Kompartimenttypen E und D nehmen ebenfalls ab, dies schon seit dem Jahr 2014 bzw. 2015. Der Materialfluss in die Kompartimente Typ C nimmt seit dem Jahr 2015 tendenziell leicht zu.

In der untenstehenden Tabelle 2 sind die Mittelwerte der abgelagerten Mengen in den verschiedenen Deponiekompimenten (B - E) für den Zeitraum 2010 - 2020 ersichtlich. Aus diesen Mittelwerten wurde der prozentuale Anteil der einzelnen Kompartimente berechnet. Insgesamt wurden durchschnittlich ca. 927'000 Tonnen Material pro Jahr in Deponien des Typs B - E abgelagert. Das

Kompartiment des Typs B beansprucht dabei mit durchschnittlich ca. 524'000 Tonnen pro Jahr über die Hälfte der abgelagerten Materialmengen. Mit 7% wird im Kompartiment Typ C am wenigsten Material deponiert. Doppelt so viel Material, d.h.14%, wird im Kompartiment Typ E deponiert.

Tabelle 2: Durchschnittlich abgelagerte Mengen in den verschiedenen Deponietypen zwischen den Jahren 2010 und 2020 (DEMIS, 2020).

	Mittelwert abgelagerter Mengen zwischen 2010 - 2020 (Mengen in Tonnen)	Berechneter prozentualer Anteil der einzelnen Kompartimente
Deponie Typ B	524'200	57%
Deponie Typ C	68'900	7%
Deponie Typ D	204'800	22%
Deponie Typ E	128'900	14%
Total Typ B - E	926'800	100%

In einem weiteren Schritt wurde die Entwicklung der Bauabfälle (ohne Aushubmaterial) im Kanton Zürich der letzten 10 Jahre, welche auf Deponien abgelagert wurden, untersucht. Es wurde die Summe aller Bauabfälle in alle Deponietypen betrachtet, jedoch keine Differenzierung nach Deponietypen vorgenommen. Die Entwicklung der Bauabfälle in die Deponien (Typ B - E) ist in Abbildung 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Bauabfallmenge in den Deponien im Jahr 2015 und 2016 im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren stark zugenommen hat. Die höchste Bauabfallmenge in den Deponien war im Jahr 2016 mit knapp 160'000 Tonnen pro Jahr zu verzeichnen. Ab dem Jahr 2017 nahm dann diese Menge kontinuierlich ab und lag im Jahr 2020 dann noch bei knapp 100'000 Tonnen pro Jahr.

Die Bauabfallmenge (ohne Aushubmaterial) ist aufgeschlüsselt nach den jeweiligen Materialkategorien. Daraus sticht die Materialkategorie 17 09 04 («Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle») hervor, die mit Abstand den grössten Anteil an der Gesamtmenge beansprucht. Im Jahr 2020 waren es beispielsweise rund 90% der gesamten Bauabfallmenge. Der jährliche Durchschnitt (2010 - 2020) des Anteils der Kategorie 17 09 04 an der gesamten Bauabfallmenge liegt bei knapp 76%. Seit 2016 ist jedoch auch hier eine kontinuierliche Abnahme der Mengen in dieser Materialkategorie zu verzeichnen.

Neben der Kategorie der «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle» sind es vor allem noch zwei andere Materialkategorien, welche mengenmässig eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung der Bauabfälle spielen. Dabei handelt es sich um die Materialkategorien 17 09 03 («Gemischte Bauabfälle sowie sonstige Bauabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten») und 19 12 96 («Feinmaterial aus der Bauabfallsortierung»). Die restlichen Kategorien machen einen sehr geringen Anteil an der Gesamtmenge der Bauabfälle aus.

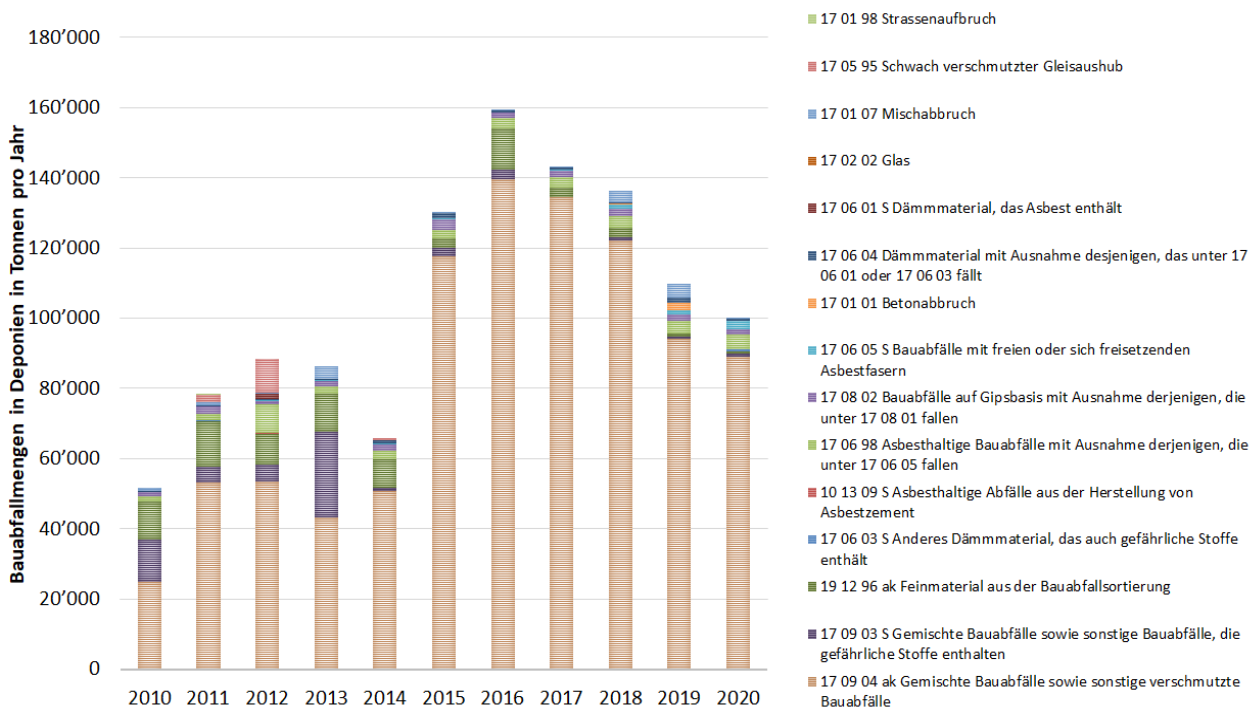


Abbildung 2: Entwicklung der Bauabfälle (ohne Aushubmaterial) in die Deponien Typ B – E von 2010 - 2020 (DEMIS, 2020).

Um ein genaueres Bild zur Verteilung der einzelnen Materialkategorien in den beiden Deponiekompartimenten B und E im Kanton Zürich zu erhalten, wurde die Entwicklung der verschiedenen Materialmengen über die letzten 10 Jahre (2010 - 2020) analysiert, sowie die mengenrelevanten Materialkategorien in dem jeweiligen Kompartiment identifiziert.

In der Abbildung 3 sind die verschiedenen Materialkategorien im Kompartiment Typ B des Kantons Zürich für den Zeitraum 2010 bis 2020 aufgeführt. Die Materialkategorie «Wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial» ist die Materialkategorie mit dem grössten Mengenanteil in dem Kompartiment Typ B. Knapp die Hälfte des Totals (exkl. Exporte) beansprucht diese Materialkategorie. Es lässt sich grundsätzlich festhalten, dass die Mengen der Materialkategorien «Schwach sowie wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial» sich zwischen 200'000 t/a und 400'000 t/a bewegen (mit einem Ausreisser nach oben im Jahr 2017). Klare Trends sind nicht auszumachen, da diese Materialkategorie relativ starken jährlichen Schwankungen zu unterliegen scheint. Trotzdem ist ab dem Jahr 2017 eine leichte Abnahme ersichtlich.

Einen nicht zu vernachlässigenden Anteil stellen die beiden Materialkategorien «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle» sowie «Schwach und wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden» dar. Während bei erstgenannter Materialkategorie seit 2017 ein kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen ist, unterliegen die «Schwach und wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden» jährlichen Schwankungen und scheinen tendenziell leicht zuzunehmen.

In der Grafik sind zudem die Exporte von Materialien in die Deponien von anderen Kantonen enthalten (zweitletzte Gruppe in der Abbildung 3), wobei die Zahlen mit grossen Unsicherheiten behaftet sind und deshalb mit Vorsicht zu betrachten sind. Der Exportanteil lag in den letzten 10

Jahren zwischen 8 - 25%. Auch hier sind jährliche Schwankungen ersichtlich, was das Ableiten eines Trends schwierig macht. Trotzdem scheint die Tendenz seit den letzten fünf Jahren eher etwas rückläufig zu sein.

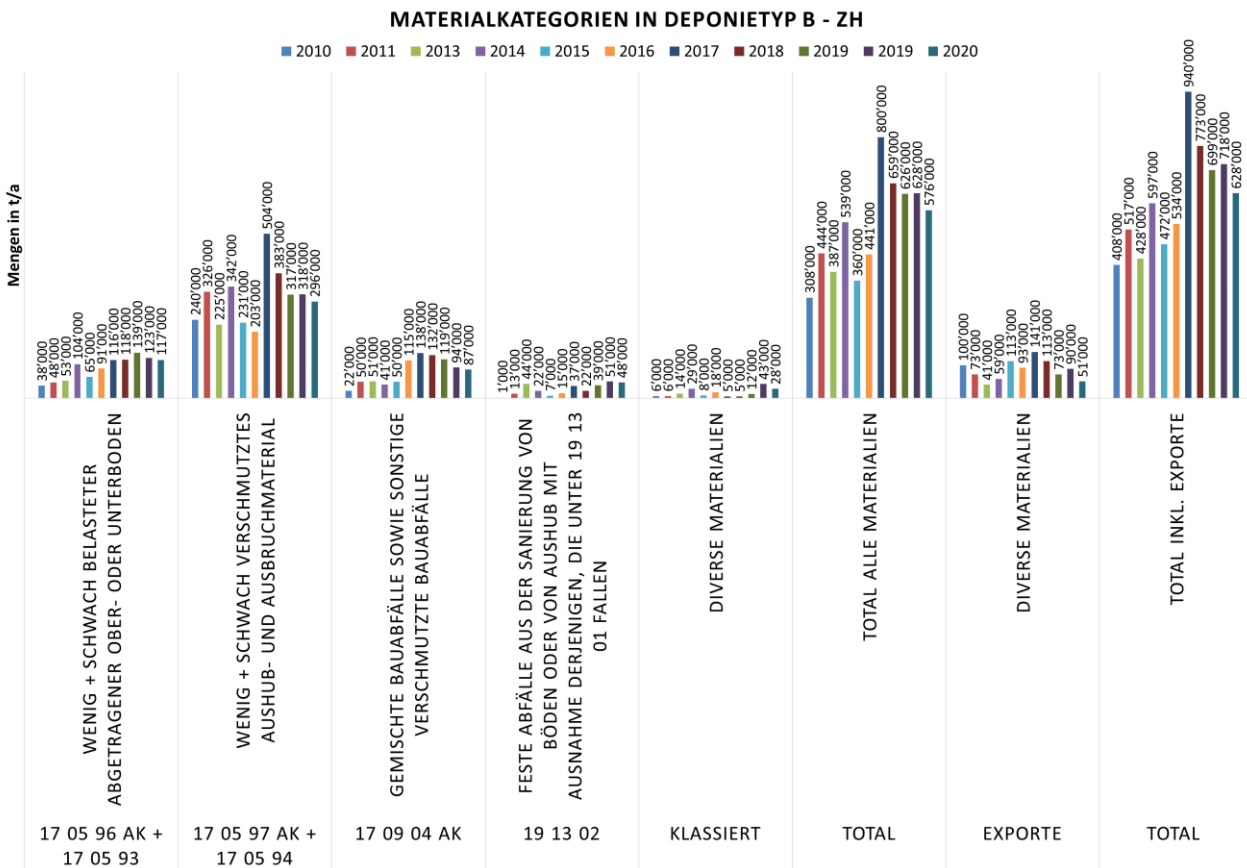


Abbildung 3: Materialkategorien in Deponietyp B im Kanton Zürich; Zahlen auf Tausend gerundet (DEMIS, 2020).

Analog zu Abbildung 3 wurde die Entwicklungen für das Deponiekompartment Typ E differenziert nach den verschiedenen Materialkategorien untersucht (Abbildung 4). Hier lassen sich ebenfalls die mengenmässig relevantesten Materialkategorien eruieren. Grundsätzlich hat das Total aller Materialien ab dem Jahr 2017 stark abgenommen. Diese starke Reduktion beruht hierbei vor allem auf Materialien, welche früher auf diesem Kompartimenttyp zur Rekultivierung verwendet wurden und ab 2017 aufgrund von Änderungen im Vollzug hauptsächlich in Deponien des Typs B geführt wurden. Es handelt sich vor allem um die Kategorie «Schwach verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial», welches in der Abbildung 4 unter der Materialkategorie «Diversen Materialien» eingeordnet ist und den Grossteil dieser Kategorie ausmacht (bis 2015).

Im Grundsatz bewegen sich die meisten Materialkategorien in einem ähnlichen Bereich, bzw. unterliegen im zeitlichen Verlauf grossen Schwankungen. So bewegen sich beispielsweise die beiden Materialkategorien «Stark verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial mit Ausnahme desjenigen, das unter 17 05 05 fällt» und «Aushub- und Ausbruchmaterial, das durch gefährliche Stoffe verunreinigt ist» auf einem recht hohen Niveau, ab 2017 haben sich diese Mengen aber stark verringert aufgrund der Einführung neuer Abfallcodes für verschmutztes Aushubmaterial.

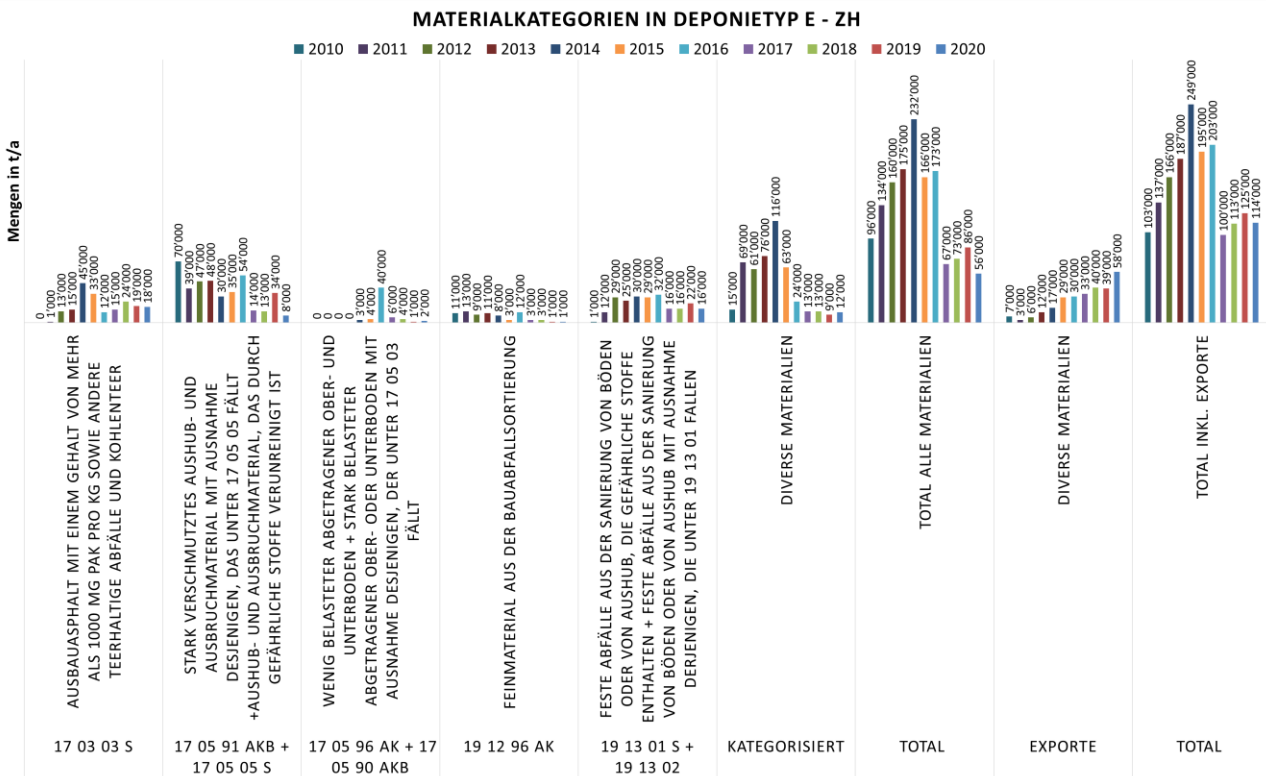


Abbildung 4: Materialkategorien in Deponien Typ E; Zahlen auf Tausend gerundet (DEMIS, 2020).

Die Mengen der Materialkategorie «Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer» bewegen sich über den betrachteten Zeitraum auf relativ konstantem Niveau (mit hohen Mengen in den Jahren 2014 und 2015) und beansprucht heute einen beträchtlichen Teil im Kompartiment Typ E. Ein relativ konstanter Materialfluss stammt aus den Materialkategorien «Feste Abfälle aus der Sanierung von Böden oder von Aushub, die gefährliche Stoffe enthalten» und «Feste Abfälle aus der Sanierung von Böden oder von Aushub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 13 01 fallen». Analog zu der zuvor erwähnten Materialkategorie «Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer» ist auch hier ein leichter Rückgang ab dem Jahr 2017 zu erkennen. Die Kategorie «Feinmaterial aus der Bauabfallsortierung» nahm in den letzten Jahren ab und macht heute nur noch einen kleinen Teil aus. Die Exporte nehmen hingegen kontinuierlich zu. Im Jahr 2020 beanspruchten die Exporte rund 50% des Totals. Die Exportdaten sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da sie mit sehr grossen Unsicherheiten behaftet sind. Es ist durchaus möglich, dass in den früheren Jahren nicht alle Exporte erfasst wurden und der Anstieg somit deutlich geringer ausfallen könnte.

2.2 Zusammenfassung wichtigste Materialkategorien

Die Verteilung der Stoffflüsse in die Deponien des Typs B und E sind in der Abbildung 5 respektive in der Abbildung 6 dargestellt. Diese Verteilungen wurden jeweils aus den Mittelwerten der Jahre 2016 - 2020 abgeleitet und soll als eine Zusammenfassung der Erkenntnisse der wichtigsten Materialkategorien dienen.

Die untenstehende Abbildung 5 zeigt dabei die Verteilung der Stoffflüsse in die Deponien Typ B. Hier wurde zusätzlich die Materialkategorie «Inertstoffe aus BSSA» miteinbezogen und von der Kategorie der gemischten Bauabfälle (17 09 04) separiert. Dies soll ein genaueres Bild darüber geben, welche Bauabfälle bereits aus einer Behandlungsanlage kommen und anschliessend abgelagert werden und welcher Anteil direkt von der Baustelle in die Deponien geführt werden.

Die mengenmässig relevantesten Materialkategorien des Kompartiments Typ B sind folgende:

- s+w Aushub (17 05 94 & 17 05 97)
- s+w Boden (17 05 93 & 17 05 96)
- Gemischte Bauabfälle (17 09 04)
- Feste Abfälle aus Sanierung von Böden und Aushub (19 13 02)
- Inertstoffe aus BSSA (19 12 12)
- Ausbauasphalt (17 03 01 & 17 03 02)

Mit 55% macht die Kategorie s+w Aushub über die Hälfte des abgelagerten Materials in diesem Typ aus.

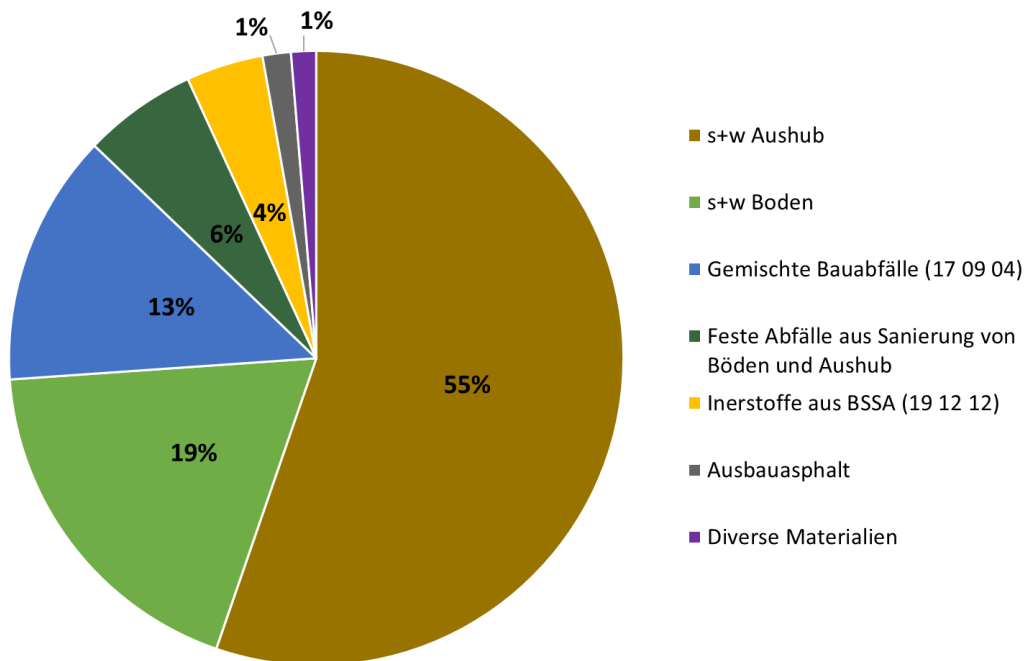


Abbildung 5: Verteilung der Materialflüsse, welche in die Deponien des Typs B gelangen (Mittelwerte der Jahre 2016 - 2020).

In Abbildung 6 ist die Zusammensetzung der Stoffflüsse in die Deponien Typ E mit den mengenmässig wichtigsten Materialkategorien zu sehen. Dazu gehören:

- Stark verschmutzter Aushub (17 05 91)
- Ausbauasphalt (17 03 01, 17 03 02 & 17 03 03)
- Feste Abfälle aus Sanierung von Böden und Aushub (19 13 02)
- Wenig+stark belastete Böden (17 05 96 & 17 05 90)
- Feinmaterial aus der BSSA (19 12 96)

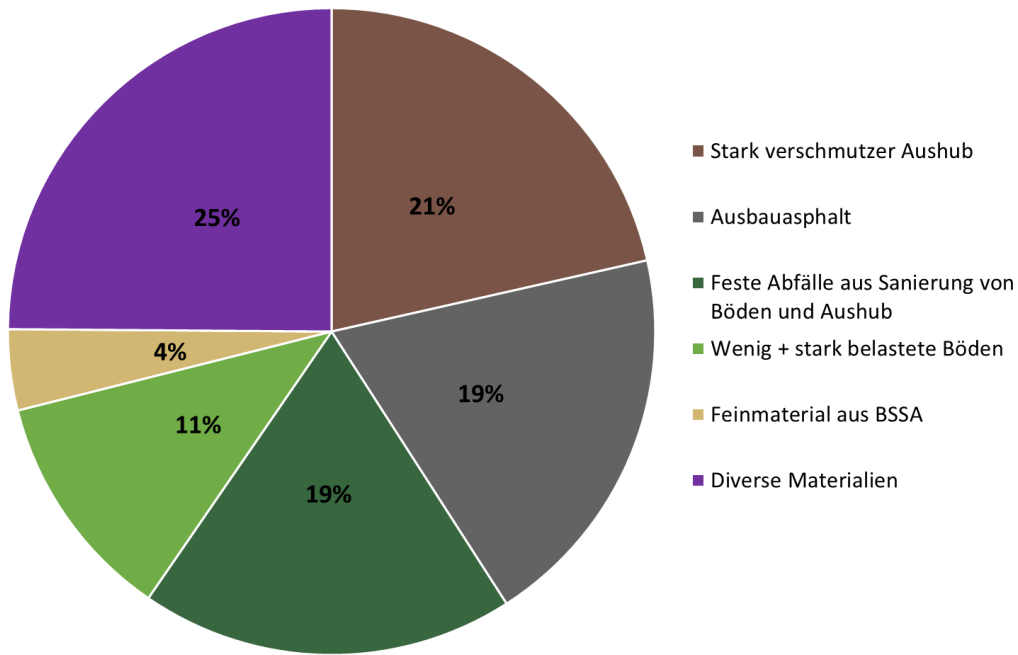


Abbildung 6: Verteilung der Materialflüsse, welche in die Deponien des Typs E gelangen (Mittelwerte der Jahre 2016 - 2020).

2.3 Erkenntnisse aus den Begehungen der Deponien und Aufbereitungsanlagen

Um eine Abschätzung über die Ist-Situation bezüglich der Qualität der Materialien und der Verwertungspotentiale treffen zu können, welche auf die Deponie des Typs B und E abgelagert werden, wurde eine Situationsanalyse durchgeführt. Dazu wurden verschiedene Deponien des Typs B und E im Kanton Zürich besichtigt sowie Interviews mit den Betreiber*innen geführt. Zudem wurden Aufbereitungsanlagen (Bausperrgutsortier- und Bodenwaschanlagen) im Kanton Zürich besichtigt und die Betreiber*innen ebenfalls interviewt. Dies ermöglichte es, neben den Eindrücken aus den Deponiebesichtigungen zusätzlich eine Einschätzung der Betreiber*innen zum Verwertungspotential zu erhalten. Im Rahmen der Anlagebegehungen konnte zudem abgeklärt werden, ob die vorhandenen Anlagekapazitäten für die Bearbeitung von einer potentiell zusätzlichen Materialmenge bereits ausreichend sind oder ob diese künftig allenfalls auszubauen sind. Die Ergebnisse der Situationsanalyse sind in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführt.

2.3.1 Erkenntnisse aus den Begehungen Deponien

Insgesamt wurden sechs Deponien im Kanton Zürich besichtigt und jeweils Interviews mit den Betreiber*innen geführt (Fragenkatalog im Anhang A.1). Bei den besuchten Deponien handelt es sich um drei Deponien des Typs B, zwei des Typs E und eine Deponie, welche sowohl über Deponiekompartimente des Typs B und E verfügt. Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die besuchten Deponien. Die Besichtigungen fanden dabei in einem Zeitraum von 4 Monaten zwischen Juni 2021 und September 2021 statt.

Tabelle 3: Besichtigte Deponien im Rahmen dieses Projekts (fett markiert: untersuchte Kompartimente).

Deponie	Gemeinde	Kompartimente	Deponievolumen ² (m ³)
Chalberhau	Rümlang	B	500'000
Hardrütene	Weiach	B	1'300'000
Schwanental	Eglisau	B	800'000
Häuli	Lufingen	C, D, E	2'000'000
Tambrig	Obfelden	C, D, E	2'500'000
Chrüzlen	Egg, Oetwil	B, D, E	1'000'000

Die Auswertung der Interviews sowie Informationen aus den Begehungen zeigen, dass bereits heute im Kanton Zürich ein erheblicher Teil des Aufbereitungs- und Verwertungspotentials ausgeschöpft wird. Dies manifestiert sich aus der Tatsache, dass ein hoher Anteil des deponierten Materials aus Aufbereitungs- oder Behandlungsanlagen stammt. Dabei herrschen aber grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Deponien. Das hängt stark mit der jeweiligen vorhandenen Logis-

² Quelle: (Kanton Zürich, 2019)

tik sowie den externen Aufbereitungs- und Verwertungsanlagen zusammen. Bei einigen der Deponien lässt es die Infrastruktur zu, dass Material, welches noch aufbereitet werden kann, vor der Ablagerung in externen Werken bearbeitet und dadurch nicht auf der Deponie selbst aufbereitet wird, da bereits nur der nicht-verwertbare Teil auf die Deponie kommt. Bei anderen Deponien sind wiederum kleinere Aufbereitungsanlagen, wie beispielsweise mobile Brech- oder Siebanlagen, auf der Deponie vorhanden.

Ausserdem befanden die befragten Deponiebetreiber*innen, dass heute auf öffentlichen oder grösseren Baustellen im Kanton Zürich die Materialtrennung vor Ort sehr gut funktioniert. Damit wird ein erhebliches Verwertungspotential bereits heute ausgeschöpft. Es gibt jedoch bei einigen Materialkategorien noch immer erhebliches Verwertungspotential. Mehrmals wurde die Materialkategorie der «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Abfälle» genannt, bei welcher noch Potential vorliegt, falls die Materialtrennung auf den Baustellen optimiert wird. Dies korreliert insofern mit den Ergebnissen aus dem Kapitel 2.1 Abbildung 2, als diese Materialkategorie bei den Bauabfällen (ohne Aushub) mit Abstand den grössten Anteil beansprucht. Vermischtes Material stammt laut den Befragten zu einem grossen Teil von kleinen privaten Baustellen bzw. Sanierungsvorhaben, von denen ein Grossteil der gelieferten Mulden als «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Abfälle» angeliefert werden. Bei kleineren oder privaten Baustellen wird oftmals aus Platzgründen oder Bequemlichkeit nur eine Mulde verwendet und das Material dementsprechend nicht getrennt. Mengemässig spielt dieser Materialstrom jedoch eine untergeordnete Rolle.

Aus den Interviews ging hervor, dass allgemein der Wille für eine bessere Verwertung durchaus vorhanden ist. Die Deponiebetreiber*innen sind ebenfalls daran interessiert, dass mehr Material einer Aufbereitung oder Behandlung zugeführt wird, da der Grossteil der besuchten Deponien bereits heute nahe ihrer Kapazitätsgrenze ist. Einige der Deponien haben deshalb schon Deponieerweiterungen in Planung. Daher ist eine Erhöhung der Verwertungsquoten und der damit einhergehenden Reduktion des Deponievolumens von allgemeinem Interesse. Dennoch wurde immer wieder betont, dass eine Deponie eine gewisse Inputmenge benötigt, um diese wirtschaftlich betreiben zu können. Ausserdem braucht es eine bestimmte Menge von Material einer gewissen Qualität zur Deponiestabilisierung. Ebenfalls wurde mehrmals erwähnt, dass das Material, welches aus einer zusätzlichen Aufbereitung- oder Behandlung stammt, einen Abnehmer braucht. Sprich es muss ein Absatzmarkt für dieses zusätzlich aufbereitete Material vorhanden sein, sodass das Kosten/Nutzen-Verhältnis stimmt.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Auswertung der DEMIS-Daten wurde bei den Begehungen und Interviews ein besonderer Fokus auf die nachfolgenden Materialkategorien gelegt:

- Schwach verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial
- Wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial
- Schwach belasteter abgetragener Ober- und Unterboden
- Wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden
- Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Abfälle
- Feinmaterial aus Bauabfallsortierung

Grundsätzlich herrschen bei der Qualität und Zusammensetzung der einzelnen Materialkategorien grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Deponien:


- Bei der Kategorie «**Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial**» gibt es vor allem starke Unterschiede beim Feinanteil. Bei einem Grossteil dieses Materials ist der Feinanteil relativ hoch (>30%), woraus ein geringes bis nicht vorhandenes Verwertungspotential resultiert. Material solcher Qualität wird eher ungern in den Bodenwaschanlagen angenommen, da der höhere Feinanteil bedeutet, dass mehr Filterkuchen anfällt und die Anlage öfters gewartet oder stärker beansprucht wird (Kapitel 2.3.2). Solches Material könnte auch in einem Zementwerk verwertet werden, da es dort nicht auf den Feinanteil des Materials ankommt, sondern auf die Zusammensetzung (Schadstoffgrenzwerte müssen eingehalten werden). Der Grund, warum dieser Entsorgungsweg bislang aber nicht dominiert, liegt vermutlich in den höheren Kosten im Vergleich zur Deponierung. Die Besichtigungen zeigten jedoch auch, dass ca. 30% der abgelagerten Menge der Kategorie «Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial» einen geringeren Feinanteil aufweisen (Feinanteil <30%). Solches Material kann einer Verwertung bzw. Behandlung zugeführt werden.
- Die Begehungen zeigen, dass bei der Materialkategorie «**Schwach und wenig belasteter abgetragener Ober- und Unterboden**» grundsätzlich Verwertungspotential vorhanden ist. Dabei muss aber spezifiziert werden, dass mengenmässig das theoretische Potential sehr gross, aber unter der aktuellen rechtlichen Lage das effektive Potential eher beschränkt ist. Hier braucht es zuerst ein Umdenken im Umgang mit dem Boden, damit das volle Potential ausgeschöpft werden kann.
- Bei der Kategorie «**Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle**» handelt es sich um heterogenes Material. Es gibt grosse Unterschiede bezüglich der Zusammensetzung und Bestandteile, da ein Teil davon bereits aus einer Bausperrgutsortieranlage kommt. Grundsätzlich ist das Verwertungspotential vorhanden, aber vor allem für jenen Teil, der direkt von den Baustellen stammt.
- Die Kategorie «**Feinmaterial aus der BSSA³**» macht einen kleinen Teil auf den Deponien des Typs E aus, aber das Verwertungspotential ist gross. Denn Versuche haben gezeigt, dass dieses Material nass gewaschen werden kann. Die daraus entstehenden Fraktionen sind: Brennbares Material, mineralische Bestandteile 5 - 25mm, Filterkuchen, Sand 0 - 5 mm und Eisen/Schrott. Jeder Fraktion ist hinsichtlich ihrer Verwertungsoption separat zu beurteilen (teilweise mittels Schadstoffanalysen).

Diese Erkenntnisse aus den Begehungen sind in der untenstehenden Tabelle 4 zusammengefasst. Zusätzlich ist eine Auswahl an repräsentativen Bildern aus den Besichtigungen der Deponien der jeweiligen Materialkategorie abgebildet.

³ Allgemein: Die Korngrössenverteilung hängt vom gewählten Trennschnitt zur Abscheidung von Feinmaterial auf der BSSA ab, entsprechend fällt je nach Korngrössenverteilung mehr oder weniger Feinmaterial auf der BSSA an.

Tabelle 4: Zusammenfassung und qualitative Bewertung der Materialqualitäten der verschiedenen Materialkategorien, welche auf Deponien des Typs B und E abgelagert werden (Quelle Bilder: Eigene Aufnahme).

Materialkategorie «Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial» 17 05 94 & 17 05 97	
Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial mit einem hohen Feinanteil (>30%).	Schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial mit einem Feinanteil <30%.
	
Fazit: Verwertungspotential eher gering.	Fazit: Verwertungspotential eher gross.

Materialkategorie «Wenig und schwach belasteter abgetragener Ober- und Unterboden» 17 05 93 & 17 05 96	
Böden Kat. II: Mengenmässiges Potential sehr gross, unter der aktuellen rechtlichen Lage Potential aber eher beschränkt.	
	
Fazit: Verwertungspotential durchaus vorhanden.	

Materialkategorie «Gemischte Bauabfälle sowie sonstige verschmutzte Bauabfälle»**17 09 04**

Materialherkunft/-beschreibung: aus Bausperrgutsortieranlagen, von kleineren Baustellen, viele verschiedene Komponenten, sehr heterogen.

**Fazit: Verwertungspotential durchaus vorhanden.****Materialkategorie «Feinmaterial aus der Bauabfallsortierung»****19 12 96**

Materialbeschreibung: Sehr feinkörniges Material, welches aber nassaufbereitet werden kann.

**Fazit: Verwertungspotential hoch.**

2.3.2 Erkenntnisse aus den Begehungen der Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen

Es wurden insgesamt zwei Aufbereitungs- und drei Behandlungsanlagen im Kanton Zürich besucht und Interviews mit den jeweiligen Betreiber*innen geführt (Fragenkataloge im Anhang A.2 & A.3). Diese Besichtigungen wurden im gleichen Zeitraum wie die Deponiebesichtigungen durchgeführt. Bei den besuchten Aufbereitungsanlagen handelt es sich um die Bausperrgutsortieranlagen der:

- Spross Transport & Recycling AG, Recyclingwerk Zürich
- SORTAG Zürich AG

Bei den besuchten Behandlungsanlagen handelt es sich um die folgenden Bodenwaschanlagen:

- ESAR Bodenwaschanlage
- KIBAG Re Bodenrecycling
- Richi Weiningen AG

Aus den Interviews geht hervor, dass in den verschiedenen Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen die Anlagekapazitäten, um mehr Input zu verarbeiten, grösstenteils vorhanden sind. Dies ist jedoch stark von der Inputcharakteristik und vom Anlagekonzept abhängig. Zudem bedeutet mehr Input gleichzeitig auch mehr Output. Daher muss die Nachfrage für die Produkte vorhanden sein, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Die Betreiber*innen der Bodenwaschanlagen geben an, dass grundsätzlich alles Material an Aushub- und Ausbruchmaterial gewaschen werden kann. Sprich auch Material mit einem sehr hohen Feinanteil kann technisch gesehen gewaschen werden. Die Problematik dabei ist, dass je feiner das Material ist, umso öfter technische Probleme zu erwarten sind (Abnutzung, Verstopfungen, etc.). Ausserdem resultiert aus der Behandlung von feinkörnigem Material wie beispielsweise Bodenaushub entsprechend mehr Filterkuchen. Somit gilt auch hier, die Nachfrage nach den Produkten muss vorhanden sein, damit die Wirtschaftlichkeit gewährleistet werden kann. Zudem müsste abgeklärt werden, ob die Zementwerke den Filterkuchen annehmen würden.

Weiter wurde erwähnt, dass das Potential zur besseren Trennung bei Strassensanierungen vorhanden sei. Es komme immer wieder vor, dass Aushubmaterial vermischt mit Ausbauasphalt in die Bodenwaschanlagen geliefert wird. Ab einem gewissen Anteil von Ausbauasphalt im Aushub ist eine Behandlung nicht mehr möglich und das Material muss deponiert werden.

2.3.3 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 zusammengefasst.

Wichtigste Erkenntnisse aus den **Deponiebesichtigungen**:

- Grundsätzlich wird im Kanton Zürich bereits ein erheblicher Teil des Aufbereitungspotentials ausgeschöpft.
- Ein recht hoher Anteil des Materials auf den Deponien stammt bereits aus Aufbereitungsanlagen → Aber: Die Situation ist je nach Deponie unterschiedlich.
- Bei öffentlichen/grösseren Baustellen funktioniert die Materialtrennung bereits heute grösstenteils gut → Es ist jedoch noch Potential vorhanden, insbesondere bei der Kategorie der «Gemischten Bauabfälle sowie sonstigen verschmutzten Bauabfälle».
- Vermischtes Material kommt zum grössten Teil von kleineren, privaten Baustellen und aus Sanierungen. Dort findet oftmals keine und nur eine marginale Materialtrennung statt. Es wird meistens nur eine Bausperrgutmulde hingestellt. Solche Mulden weisen üblicherweise einen hohen Anteil an mineralischen Materialien auf und werden deshalb von der Baustelle direkt in die Deponien geführt.
- Der Wille für bessere Verwertung ist allgemein vorhanden → Aber: Es muss auch ein vernünftiger Verwertungsweg vorhanden sein.
- Eine gewisse Inputmenge braucht es, um eine Deponie wirtschaftlich betreiben zu können.
- Eine bestimmte Menge von Material mit einer gewissen Qualität ist nötig für den Deponiebau bzw. die Stabilisierung der Deponie. Ohne grobkörnige Abfälle müssten daher andere Wege zur Stabilisierung der Deponie gefunden werden.
- Die Menge an verwertetem schwach und wenig verschmutztem Aushub- und Ausbruchmaterial hängt stark mit der Behandlungsregel (derzeit 50/50) zusammen.
- Ein Absatz für verwertbare Fraktionen muss vorhanden sein → Kosten/Nutzen-Verhältnis muss stimmen.

Wichtigste Erkenntnisse aus den **Besichtigungen der Aufbereitungs- und Behandlungsanlagen**:

- Die Anlagekapazitäten, um mehr Input zu verarbeiten, sind grösstenteils vorhanden. Die Inputcharakteristik und das Anlagekonzept sind hier entscheidend.
- Mehr Input = mehr Output → Der Absatz der Produkte muss gewährleistet sein.
- Grundsätzlich kann alles Material gewaschen werden (Aushub- und Ausbruchmaterial) → Je feinkörniger desto mehr Filterkuchen entsteht → Abgabe in Zementwerken muss auch bei grösseren Mengen möglich sein.
- Weiteres Potential ergäbe sich durch die bessere Materialtrennung bei Strassensanierungen. Oftmals ist das Aushubmaterial mit Asphaltbruchstücken versetzt.

2.4 Abschätzung Verwertungspotential

Auf Basis der Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel wurden Abschätzungen zu den Verwertungspotentialen getroffen. Die Abschätzung wurden differenziert nach den relevanten Materialkategorien und nach Deponietypen B und E vorgenommen. Es wurde jeweils eine minimale und eine maximale Verwertungsquote abgeschätzt. Aus der minimalen und maximalen Verwertungsquote wird für jede Materialkategorie zusätzlich eine mittlere Verwertungsquote angegeben. Der Begriff der Verwertungsquote wurde für diese Untersuchung folgendermassen definiert⁴:

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.

In der Tabelle 5 sind die abgeschätzten Verwertungsquoten für die Materialkategorien des Kompartiments Typ B zusammengefasst. Die Materialkategorie «schwach und wenig verschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial» wurde für diese Abschätzung nach Feinanteilgehalt differenziert. Die Materialkategorie «Ausbauasphalt⁵» wurde ebenfalls miteinbezogen. Da ab 2022 im Zuge der Revision der VVEA voraussichtlich ein Verbot der Ablagerung von Ausbauasphalt eingeführt wird (BAFU, März 2021), wird sowohl bei der minimalen als auch bei der maximalen Verwertungsquote ein Wert von 100% eingesetzt.

Tabelle 5: Geschätzte Verwertungspotentiale (Bereich der Verwertungsquoten) Typ B Materialien.

	Minimale VQ	Maximale VQ	Mittlere VQ
s+w Aushub mit einem Feinanteil >30%	5%	15%	10%
s+w Aushub mit einem Feinanteil <30%	25%	75%	50%
s+w Boden	5%	10%	7.5%
Gemischte Bauabfälle inkl. Inertstoffe	20%	60%	40%
Ausbauasphalt ⁵	100%	100%	100%
Feste Abfälle aus der Sanierung von Böden oder von Aushub	0%	0%	0%
Div. Materialien	5%	20%	12.5%
Total⁶	12%	32%	22%

⁴ Die Definition für die «Verwertungsquote» ist angelehnt an die Definition des Dokuments «Behandlungsregel für verschmutzte Bauabfälle und Aushub- und Ausbruchmaterial im Hinblick auf die Verwertung» des AWEL und wurde für diesen Zweck leicht angepasst (AWEL, Juli 2020).

⁵ Hier gilt der Begriff «Ausbauasphalt» als eine Summe der drei Materialkategorien: Ausbauasphalt mit einem Gehalt von bis zu 250 mg PAK pro kg (17 03 02), Ausbauasphalt mit einem Gehalt von 250 bis 1000 mg PAK pro kg (17 03 01) und Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlentee (17 03 03).

⁶ Die angegebenen totalen Verwertungsquoten wurden auf Grundlage der Mittelwerte der deponierten Mengen im Typ B der Jahre 2016 - 2020 berechnet.

Die abgeschätzten Verwertungsquoten für die Materialien, welche im Kompartiment Typ E abgelagert werden, sind in der Tabelle 6 dargestellt. Auch hier wird beim Ausbauasphalt⁷ mit einer Verwertungsquote von 100% gerechnet.

Tabelle 6: Geschätzte Verwertungspotentiale (Bereich der Verwertungsquoten) Typ E Materialien.

	Minimale VQ	Maximale VQ	Mittlere VQ
Ausbauasphalt ⁷	100%	100%	100%
Feinmaterial aus BSSA	12%	75%	43.5%
Wenig + stark belastete Böden	5%	10%	7.5%
Stark verschmutzter Aushub	5%	10%	7.5%
Feste Abfälle aus der Sanierung von Böden oder von Aushub	0%	0%	0%
Div. Materialien	5%	20%	12.5%
Total⁸	24%	32%	28%

⁷ Hier gilt der Begriff «Ausbauasphalt» als eine Summe der drei Materialkategorien: Ausbauasphalt mit einem Gehalt von bis zu 250 mg PAK pro kg (**17 03 02**), Ausbauasphalt mit einem Gehalt von 250 bis 1000 mg PAK pro kg (**17 03 01**) und Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer (**17 03 03**).

⁸ Die angegebenen totalen Verwertungsquoten wurden auf Grundlage der Mittelwerte der deponierten Mengen im Typ E der Jahre 2016 - 2020 berechnet.

3 Strategische Ansätze, mögliche Massnahmen und Definition von Szenarien

3.1 Entwicklung von strategischen Ansätzen und mögliche Massnahmen

In Abb. 7 sind drei Ebenen aufgeführt, über die Einfluss auf die Materialströme genommen werden kann: regulative, technische und organisatorische Ebene. Für jede Ebene ist jeweils ein Beispiel für eine mögliche Einflussnahme aufgeführt.

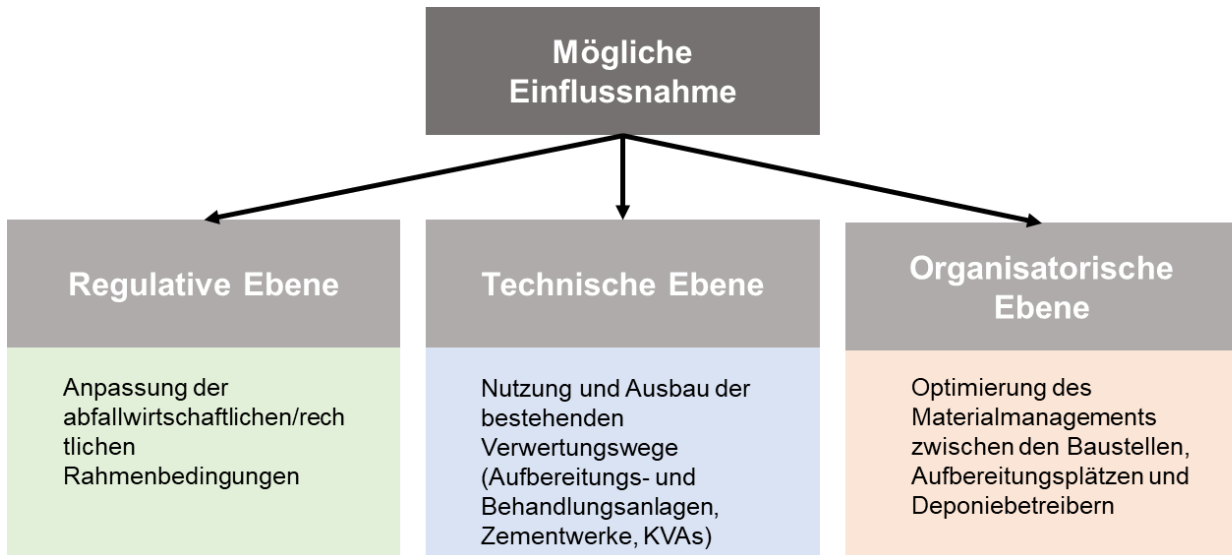


Abbildung 7: Drei Ebenen der möglichen Einflussnahme (Eigene Darstellung).

Auf Grundlage dieser drei Ebenen wurden erste strategische Ansätze entwickelt. In einem Workshop (Oktober 2021) mit den relevanten Stakeholdern, wie Deponiebetreiber*innen, Anlagebetreiber*innen, Vertreter*innen von KVA und Zementwerken und dem AWEL wurden die vorgeschlagenen strategischen Ansätze diskutiert und weiterentwickelt. Diese Ansätze sollen eine möglichst hohe Ausschöpfung des Verwertungspotentials und eine damit einhergehende Reduktion der Materialströme in die Deponien des Typs B und E gewährleisten. Insgesamt wurden die folgenden vier strategischen Ansätze (A.4) ausgearbeitet:

- **1. Strategischer Ansatz:** Verwertungs-/Behandlungspflicht für Typ B Materialien
- **2. Strategischer Ansatz:** Maximale Reduktion des Materialflusses in die Deponien des Typs E
- **3. Strategischer Ansatz:** Anpassung der Behandlungsregel für Aushub
- **4. Strategischer Ansatz:** Einführung einer Lenkungsabgabe und weitere Massnahmen

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die einzelnen strategischen Ansätze und die damit verbundenen Massnahmen detaillierter eingegangen.

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

Der 1. Strategische Ansatz stellt die Einführung einer Verwertungs-/Behandlungspflicht für Materialien, welche heute in Deponien des Typs B geführt werden, dar. Als mögliche regulative Massnahme zur Steuerung der Materialflüsse in die Deponien des Typs B könnte eine Positiv- oder Negativliste eingeführt werden. Die Positivliste würde definieren, welche Materialien direkt ohne Aufbereitung auf einer Deponie abgelagert werden dürfen. Sie würde somit die Materialien zusammenfassen, welche laut heutigem Stand der Technik nicht verwertbar sind. Im Gegensatz dazu wäre in der Negativliste definiert, welche Materialien vor der Deponierung über eine Aufbereitungsanlage gehen müssen. Aus den Diskussionen des Workshops ging hervor, dass eine Positivliste bevorzugt wird, da diese einfacher umzusetzen ist. Bei einer Negativliste müsste der Vollständigkeit halber für jede Materialkategorie gleichzeitig auch die Art der Aufbereitung definiert werden, um den Weg der Verwertung/Behandlung klar festzulegen. Bei der Positivliste reicht die Auflistung der Materialien, welche sich nicht für eine Verwertung eignen, da somit der Entsorgungsweg klar ist. Eine Voraussetzung für die Einführung einer Positiv- oder Negativliste ist eine Differenzierung der auf den Deponien Typ B abgelagert Materialien nach verwertbaren und nach nicht verwertbaren Materialien. Auf Basis der Begehungen wurde ein Beispiel für Materialien einer Positivliste und einer Negativliste erstellt. Dieses Beispiel ist in Abbildung 8 zu sehen.



Abbildung 8: Beispiel Materialien für eine Positivliste und eine Negativliste (Eigene Darstellung).

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

Unter dem 2. Strategischen Ansatz versteht sich die maximale Reduktion des Materialflusses in die Deponien des Typs E. Dieser Ansatz könnte dabei über technische Massnahmen, wie die Einführung von zusätzlichen Behandlungsanlagen-/techniken zur Verwertung von Typ-E-Materialien verfolgt werden. Eine Auswahl von alternativen Verwertungs- und Entsorgungsoptionen, differenziert nach Materialkategorien, ist in der Tabelle 7 zusammengefasst. Die Einführung einer solchen

Massnahme kann neben den beiden Vorteilen der Reduktion des deponierten Volumens im Typ E sowie der Erhöhung der Verwertungsquoten auch die Reduktion des Nachsorgezeitraums darstellen, falls durch diese Massnahme vollständig auf eine Deponie des Typs E verzichtet werden könnte.

Tabelle 7: Alternative Verwertungs- und Entsorgungsoptionen zur Ablagerung von verschiedenen Materialien in Deponien des Typs E.

Materialkategorie	Alternative Verwertungs- und Entsorgungsoptionen zur Ablagerung in Deponien des Typs E
Feinfraktion aus BSSA	Nassaufbereitung
Schlacke aus Zwischenböden	KVA
Brandschutt	Sperrgutsortierung
Dämmmaterial (z.B. Korkbitumen)	Shredder und anschliessend KVA
Verbundstoffe mit org. Anteil (Holzzement, zementgebundenes Holz)	Shredder und anschliessend KVA
Aushub belastet	Waschen; Filterkuchen → auf Deponie Typ C (nach Eluattest) oder in Zementwerk, wenn TOC-Gehalt < 2% → direkt auf Deponie Typ C
Sandfangmaterial von Kläranlagen	Waschen; Filterkuchen Deponie Typ C
PAK-haltiger Ausbauasphalt	Export oder thermische Verwertung im Inland
Gips	Verwertung oder Deponie Typ B
Strahlmittelabfälle	Deponie Typ C
Holzasche, Klärschlammasche (muss ab 2026 verwertet werden)	Deponie Typ D oder KVA
Brennbare asbesthaltige Abfälle	KVA

3.1.3 3. Strategischer Ansatz: Anpassung der Behandlungsregel für Aushub

Der 3. Strategische Ansatz beinhaltet die Anpassung der Behandlungsregel von schwach und wenig verschmutztem Aushubmaterial einer bestimmten Körnigkeit. Diese liegt heute bei 50%, sprich 50% dieses Materials einer Baustelle muss verwertet werden und die anderen 50% dürfen deponiert werden. Die genaue Definition lautet gemäss der Behandlungsregel (AWEL, Juli 2020, S. 7):

«Schwach und wenig verschmutzte Bauabfälle sowie Aushub- und Ausbruchmaterial, das eine Körnigkeit (Feinkornanteil von < 0.063 mm) von 2 - 4 gemäss ARV besitzen und die Anforderungen an den Deponietyp B einhalten, sind möglichst vollständig im Sinne der VVEA zu verwerten. Wenn dies nicht möglich ist, ist mittels Behandlung eine Verwertungsquote von mindestens 50% zu erreichen. Um die geforderte Verwertungsquote zu erreichen, ist die Effizienz der Behandlungsanlage (Verhältnis Input- zu Outputmenge) zu berücksichtigen und die Inputmenge entsprechend gross zu dimensionieren.»

Aus den Interviews mit den Deponiebetreiber*innen ging hervor, dass vermehrt qualitativ gutes Aushub- und Ausbruchmaterial auf die Deponie gelangt, da es die Behandlungsregel zulässt (alles

über den 50%) und die Deponierung kostengünstiger ist als die Behandlung. Wäre beispielsweise auf einer Baustelle 70% des Aushub- und Ausbruchmaterials theoretisch verwertbar, gelangen oftmals trotzdem nur 50% in eine Behandlungsanlage (aus Kostengründen). Somit bleiben 20% des Potentials ungenutzt. Natürlich kann auch der umgekehrte Fall auftreten, dass eine Baustelle Aushub- und Ausbruchmaterial hat, wovon nur beispielsweise 30% verwertbar sind. Dann muss trotzdem 20% des qualitativ schlechten Materials aufbereitet oder in einem Zementwerk verwertet werden.

Die Anpassung der Behandlungsregel könnte einerseits die regulative Massnahme der Erhöhung der Behandlungsregel auf beispielsweise 70% bedeuten. Ausserdem könnte es durchaus sinnvoll sein, in die Behandlungsregel den Bodenaushub ebenfalls miteinzubeziehen, so wäre die Erhöhung des Verwertungsanteils dieser Kategorie gewährleistet. Die diesbezügliche Gleichstellung von Aushub- und Bodenmaterial würde zudem zu einer Vereinfachung des Materialmanagements und der Triage auf den Baustellen führen.

Durch zusätzliche organisatorische Massnahmen, wie eine Verschiebung des Materialmanagements von der Baustelle hin zu den Aufbereitungsplätzen, könnte das Verwertungspotential zudem noch besser ausgeschöpft werden.

3.1.4 4. Strategischer Ansatz: Lenkungsabgabe und weitere Massnahmen

Unter dem 4. Strategischen Ansatz sind mehrere weitere mögliche Ansätze zusammengefasst (siehe Anhang A.4), welche das Ziel haben, die Verwertungsquoten zu erhöhen und das Deponievolumen zu reduzieren. Ein möglicher Ansatz und gleichzeitig auch Massnahme wäre die Einführung einer Lenkungsabgabe auf Materialien, welche in Deponien geführt werden. Damit könnten die Materialflüsse in diesen Deponietyp über die Höhe der Abgabe gesteuert und das Verwertungspotential besser ausgeschöpft werden. Ein weiterer Ansatz wäre, die Einsatzmöglichkeiten für Böden der Kat. II so zu erweitern, dass beispielsweise der Einsatz dieser Kategorie entlang von Verkehrsträgern zugelassen würde, weil hier schon nach einigen Jahren wieder eine Schadstoffkontamination stattfinden würde. Deshalb macht es wenig Sinn, in diesen Bereichen unbelasteten Boden einzubringen.

3.1.5 Zusammenfassung Erkenntnisse Workshop

Die zuvor genannten strategischen Ansätze und Massnahmen wurden, wie bereits erwähnt, an einem Workshop mit den relevanten Akteuren diskutiert. Im Folgenden werden die Ergebnisse aus diesem Workshop kurz zusammengefasst.

Eine wichtige Erkenntnis stellt die Tatsache dar, dass sich die verschiedenen strategischen Massnahmen nicht gegenseitig ausschliessen, sondern durchaus in Kombination miteinander angewandt werden können. Ebenfalls wurde die Wichtigkeit der Materialkategorie «Boden» erkannt und vertieft diskutiert. Es wurden festgehalten, dass beim Boden mengenmässig noch ein grosses Verwertungspotential besteht und ein Umdenken im Umgang mit dieser Materialkategorie von grosser Bedeutung ist. Hier ist der Einbezug der Fachstelle Bodenschutz (FaBo) zentral. Diese bearbeitet zusammen mit dem AWEL zurzeit bereits ein Projekt, welches sich mit dieser Thematik befasst.

Auch auf Bundesebene wird derzeit der Umgang mit belasteten Böden diskutiert. Die daraus resultierenden Entscheide/Vorgaben haben enormen Einfluss auf den künftigen Anfall von belastetem Bodenmaterial. Die Möglichkeiten zur Verwertung von Böden gilt es zu einem späteren Zeitpunkt noch weiter auszuarbeiten und können im Rahmen der Studie nicht abschliessend behandelt werden.

Der erste strategische Ansatz einer Verwertungspflicht für Materialien der Kategorie Typ B wurde als sinnvoll erachtet, wobei eine Positivliste einer Negativliste vorgezogen wird. Eine Materiallieferung, welche direkt in eine Deponie ginge, dürfte ausschliesslich Materialien enthalten, welche auf der Positivliste aufgeführt sind. Gemischte Materialien, welche u.a. auf der Positivliste aufgeführte Materialien enthalten, müssten in einer dafür geeigneten Aufbereitungsanlage sortiert werden. Eine Herausforderung bei diesem Ansatz stellt die Umsetzung bzw. die Überprüfung der Massnahme dar. Hier wurde der Ansatz einer «Anlagenklassierung» vorgeschlagen und besprochen. Entsprechend würde definiert werden, welche Aufbereitungsanlage welche Materialien nach dem Stand der Technik (SdT) annehmen und aufbereiten kann. Damit würde klar, welche Materialien über welche Anlagentypen geführt werden müssten. Vermutlich müsste eine solche Klassierung in Zusammenarbeit mit den Anlagenbetreiber*innen erfolgen.

Ein zusätzlicher Ansatz, welcher beim Workshop Anklang fand, ist die Einrichtung eines Controlling-Systems für Deponien. So könnte beispielsweise vorgeschrieben werden, dass nur noch Materialien mit einem verwertbaren Anteil von x% abgelagert werden dürften. Dies könnte beispielsweise über die Gesteinskörnungsanteile geregelt werden. Ebenfalls wurde festgestellt, dass die Zementwerke eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der verschiedenen Ansätze einnehmen werden. Die zusätzlichen Materialströme in die Aufbereitung- und Behandlungsanlagen führen zu einem grösseren Anfall von mineralischen Feinfraktionen und von Filterkuchen. Theoretisch wären die Zusatzkapazitäten im Umfang von weiteren 100'000 – 200'000 t/a (Holcim Werk Siggenthal) vorhanden, diese stehen aber heute nicht zur Verfügung. Seitens der Zementwerke müssten zur Bereitstellung der entsprechenden Kapazitäten weitere umfangreiche Investitionen getätigt werden. Dafür müssten genügend Mengen vorhanden sein und die Qualitätsanforderungen erfüllt werden. Dies bedingt ein entsprechendes Materialmanagementkonzept und falls notwendig eine Vorconditionierung der Materialien für die Zementwerke. Es ist deshalb zu empfehlen, die Einführung und Umsetzung der Massnahmen mit den Zementwerken zu koordinieren.

Die Einführung einer Lenkungsabgabe für zu deponierende Materialien wurde im Grossen und Ganzen als sinnvoll erachtet. Jedoch wurde die Meinung vertreten, dass eine solche Massnahme nur in Koordination mit anderen Kantonen sinnvoll ist, da sonst befürchtet wird, dass es vermehrt zu Materialexporten in andere Kantone kommen könnte. Allgemein wurde die Wirkung dieser Massnahme hinterfragt.

Die Anpassung der Behandlungsregel für Aushub auf 70% wurde als realistisch und zielführend eingeschätzt. Ein weiterer wichtiger Punkt, welcher diskutiert wurde, ist die Möglichkeit der Zulassung von Behandlungs- bzw. Aufbereitungsanlagen auf Deponiestandorten (z.B. im Rahmen eines Gestaltungsplans). Dies wurde als sinnvoll und zielführend erachtet, da so beispielsweise zusätzliche Transporte (zu Behandlungs- oder Aufbereitungsanlagen) eingespart werden könnten.

3.1.6 Zusammenfassung der empfohlenen Massnahmen

Aus den oben gewonnenen Erkenntnissen werden folgende Massnahmen zur Konkretisierung und zur weiteren Prüfung der Umsetzbarkeit empfohlen:

Empfohlene Massnahmen:

- Einführung einer **Verwertungs-/Behandlungspflicht** für Materialien des Typs B und einer damit verbundenen Positivliste.
- Evtl. Einführung und Erarbeitung einer **Anlagenklassierung** für die Sicherstellung der Umsetzbar- und Überprüfbarkeit der Verwertungs-/Behandlungspflicht.
- Erhöhung **Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial von 50% auf 70%**.
- **Miteinbezug des Bodenaushubs in die Behandlungsregel** (eine genaue Definition gilt es noch zu treffen).
- **Maximale Reduktion oder Elimination des Materialstromes in die Deponien des Typs E:** In Zusammenarbeit mit den betroffenen Anlagebetreiber*innen soll eine Liste, in der differenziert nach Materialkategorien die Verwertungs- und Entsorgungsoptionen von Typ-E-Materialien aufgeführt sind, erarbeitet werden.

3.2 Szenarioanalyse

Auf Grundlage der Ergebnisse der vorhergegangenen Kapitel und den vorgeschlagenen Massnahmen wurden verschiedene Szenarien definiert. Diese Szenarien sollen in groben Zügen aufzeigen, welche Auswirkungen die Umsetzung der Massnahmen auf die Materialflüsse in die Deponien des Typs B und E sowie auf die Verwertungsprozesse haben. Die Reduktion des Deponievolumens resp. die bessere Ausschöpfung des Verwertungspotentials bedingt zusätzliche Aufbereitungs- und Behandlungsprozesse. Es wird deshalb analysiert, wie sich die Materialflüsse in den verschiedenen Verwertungsprozesse verteilen. Es gilt zu beachten, dass es sich hierbei um Abschätzungen handelt und die Ergebnisse deshalb mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind.

3.2.1 Definition und Beschreibung der Szenarien

Insgesamt wurden vier Szenarien definiert und gerechnet (exkl. Szenario REFERENZ). Diese Szenarien sind in der untenstehenden Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Definition und Beschreibung der verschiedenen Szenarien zur Abschätzung der Materialflüsse in den verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungsprozessen (VQ: Verwertungsquote; BR: Behandlungsregel).

Szenario	Beschreibung
Szenario REFERENZ	Das Referenzszenario zeigt den Ist-Zustand.
Szenario VQ minimal	Das Szenario VQ minimal stellt die Ausschöpfung der minimalen Verwertungsquoten ⁹ dar.
Szenario VQ mittel	Das Szenario VQ mittel stellt die Ausschöpfung der mittleren Verwertungsquoten dar.
Szenario VQ maximal	Das Szenario VQ maximal stellt die Ausschöpfung der maximalen Verwertungsquoten dar.
Szenario VQ mittel + BR	Das Szenario VQ mittel + BR stellt die Ausschöpfung der mittleren Verwertungsquoten dar, zusätzlich wird hier die Erhöhung der Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial von 50% auf 70% berücksichtigt (inkl. Boden).

Die für die einzelnen Szenarien verwendeten Parameter sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 aufgeführt.

⁹ Verwertungsquoten aus Kapitel 2.4.

Tabelle 9: Vergleich Parameter / Annahmen der einzelnen Szenarien Typ B Materialkategorien.

	Szenario VQ minimal	Szenario VQ mittel	Szenario VQ maximal	Szenario VQ mittel + BR
s+w Aushub mit einem Feinanteil >30%	5%	10%	15%	Erhöhung Behandlungsregel von 50% auf 70%
s+w Aushub mit einem Feinanteil <30%	25%	50%	75%	Erhöhung Behandlungsregel von 50% auf 70%
s+w Boden	5%	7.5%	10%	Erhöhung Behandlungsregel von 0% auf 70%
Gemischte Bauabfälle inkl. Inertstoffe	20%	40%	60%	40%
Ausbauasphalt ¹⁰	100%	100%	100%	100%
Div. Materialien	5%	12.5%	20%	12.5%

Tabelle 10: Vergleich Parameter / Annahmen der einzelnen Szenarien Typ E Materialkategorien.

	Szenario VQ minimal	Szenario VQ mittel	Szenario VQ maximal	Szenario VQ mittel + BR
Ausbauasphalt ¹⁰	100%	100%	100%	100%
Feinmaterial aus BSSA	12%	43.5%	75%	43.5%
Wenig + stark belastete Böden	5%	7.5%	10%	7.5%
Stark verschmutzter Aushub	5%	7.5%	10%	7.5%
Div. Materialien	5%	12.5%	20%	12.5%

¹⁰ Hier gilt der Begriff «Ausbauasphalt» als eine Summe der drei Materialkategorien: Ausbauasphalt mit einem Gehalt von bis zu 250 mg PAK pro kg (**17 03 02**), Ausbauasphalt mit einem Gehalt von 250 bis 1000 mg PAK pro kg (**17 03 01**) und Ausbauasphalt mit einem Gehalt von mehr als 1000 mg PAK pro kg sowie andere teerhaltige Abfälle und Kohlenteer (**17 03 03**).

Um Aussagen zur Verteilung der Materialflüsse nach der Aufbereitung machen zu können, wurden verschiedene Annahmen getroffen, welche auf Information aus den Interviews mit den Deponie- und Anlagenbetreiber*innen basieren. Es geht dabei darum, welche Outputfraktionen aus der Aufbereitung und Behandlung der verschiedenen Materialkategorien entstehen und wie sich diese verteilen. Die getroffenen Annahmen sind differenziert nach Materialkategorien in der Tabelle 11 zusammengefasst. Die Annahmen gelten für alle Szenarien (exkl. Szenario REFERENZ).

Tabelle 11: Annahmen zur Verteilung der Outputfraktionen aus der Behandlung/Aufbereitung verschiedener Materialkategorien.

		Annahmen zur Verteilung der Outputfraktionen
Typ B Materialien	s+w Aushub	Feinanteil <30%: <ul style="list-style-type: none"> • Anteil geschätzt: 30% • Fraktionen nach Aufbereitung: 30% Filterkuchen, 70% Kies/Sand/Anderes Feinanteil >30% <ul style="list-style-type: none"> • Anteil geschätzt: 70% • Fraktionen nach Aufbereitung: 50% Filterkuchen, 40% Kies/Sand/Andere, 10% Deponie Typ B
	s+w Boden	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung: 50% Filterkuchen, 50% Kies/Sand/Anderes¹¹
	Gemischte Bauabfälle inkl. Inertstoffe	Annahme: 50% wird auf einer Bausperrgutsortieranlage aufbereitet und 50% auf einer Bauschutttaufbereitungsanlage Anteil auf BSSA: <ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung: 30% Feinmaterial aus BSSA, 10% KVA, 30% Kies/Sand/Anderes, 30% Deponie Typ B Anteil auf BSA: <ul style="list-style-type: none"> • Fraktion nach Aufbereitung: 100% Kies/Sand/Anderes
	Ausbauasphalt	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktion nach Aufbereitung: 100% Thermische Behandlung
	Div. Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktion nach Aufbereitung: 100% Kies/Sand/Anderes
Typ E Materialien	Ausbauasphalt	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktion nach Aufbereitung: 100% Thermische Behandlung
	Feinmaterial aus BSSA	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung¹²: 44% Filterkuchen, 12% KVA, 19% weitere Verwertung, 25% Deponie Typ B
	Wenig + stark belastete Böden	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung: 50% Filterkuchen, 50% weitere Verwertung
	Stark verschmutzter Aushub	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung: 50% Filterkuchen, 50% weitere Verwertung
	Div. Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Fraktionen nach Aufbereitung: 50% KVA, 50% weitere Verwertung

¹¹ Bei Szenario VQ mittel + BR wurde mit folgender Verteilung gerechnet: Fraktionen nach Aufbereitung: 50% Filterkuchen, 40% Kies/Sand/Anderes, 10% Deponie Typ B.

¹² Verteilung resultiert aus Versuchen auf der Deponie Tambrig.

3.2.2 Materialflüsse Szenario REFERENZ

In der untenstehenden Abbildung 9 und Abbildung 10 sind jeweils Materialflüsse in die Deponien des Typs B und E für das Szenario REFERENZ dargestellt. Diese bilden den Ist-Zustand ab und wurden aus den Mittelwerten der Jahre 2016 bis 2020 der DEMIS-Daten berechnet (DEMIS, 2020).

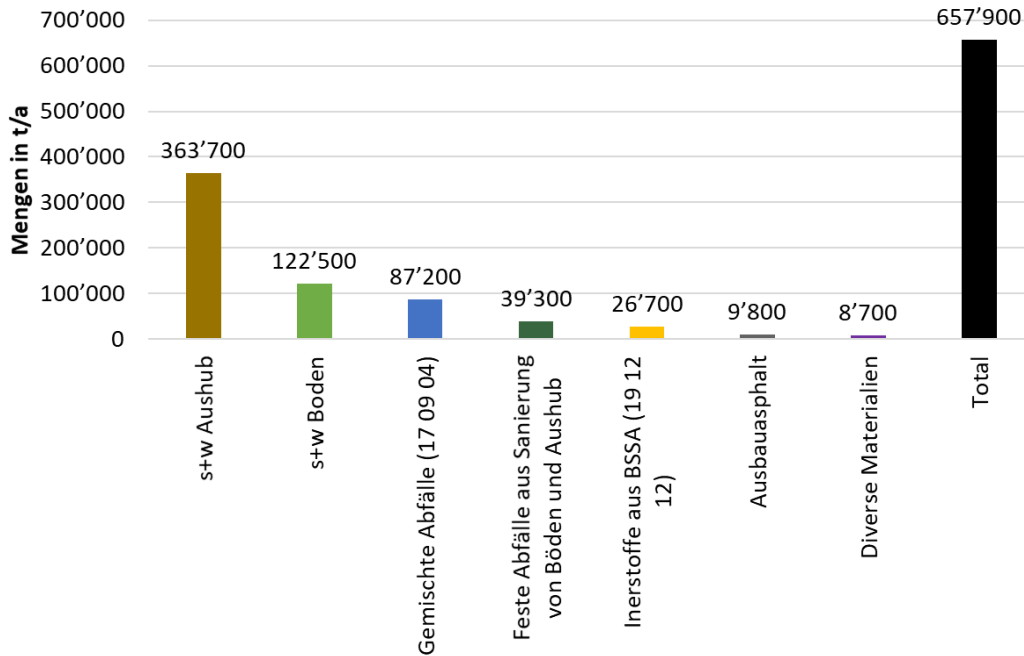


Abbildung 9: Materialflüsse in Deponien Typ B **Szenario REFERENZ**; Zahlen auf Hundert gerundet (Mittelwerte Jahre 2016 - 2020).

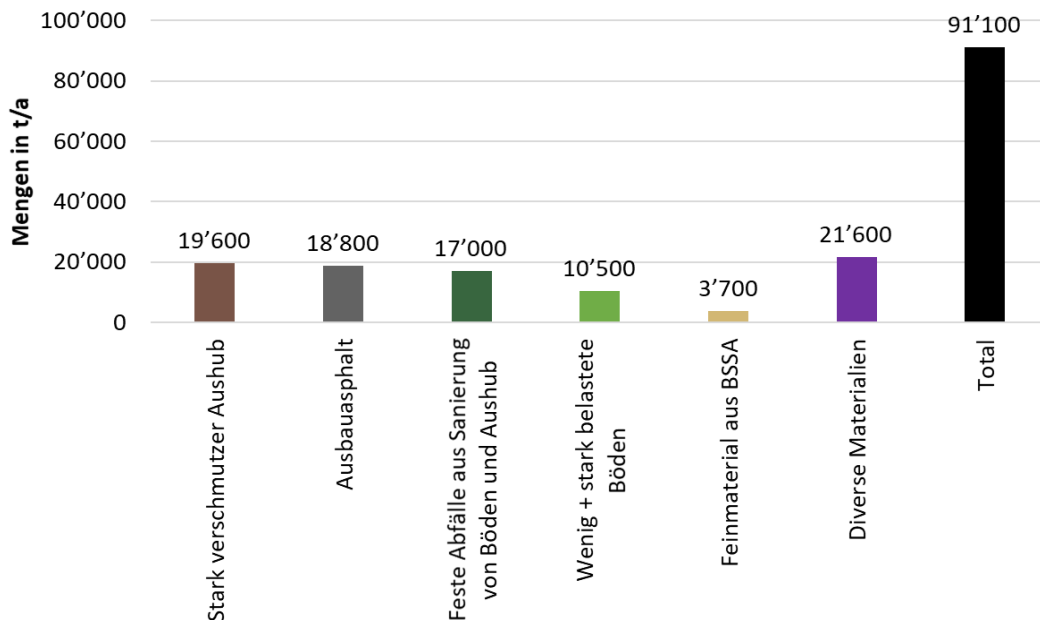


Abbildung 10: Materialflüsse in Deponien Typ E **Szenario REFERENZ**; Zahlen auf Hundert gerundet (Mittelwerte Jahre 2016 - 2020).

4 Resultate aus den Szenarienrechnungen

4.1 Materialflüsse in Deponien Typ B

Folgend wird jedes der vier berechneten Szenarien und die daraus resultierenden Materialflüsse in die Deponien des Typs B vorgestellt. Dabei sind die berechneten Materialflüsse aus den Szenarienrechnungen jenen des Szenarios REFERENZ gegenübergestellt.

Szenario VQ minimal

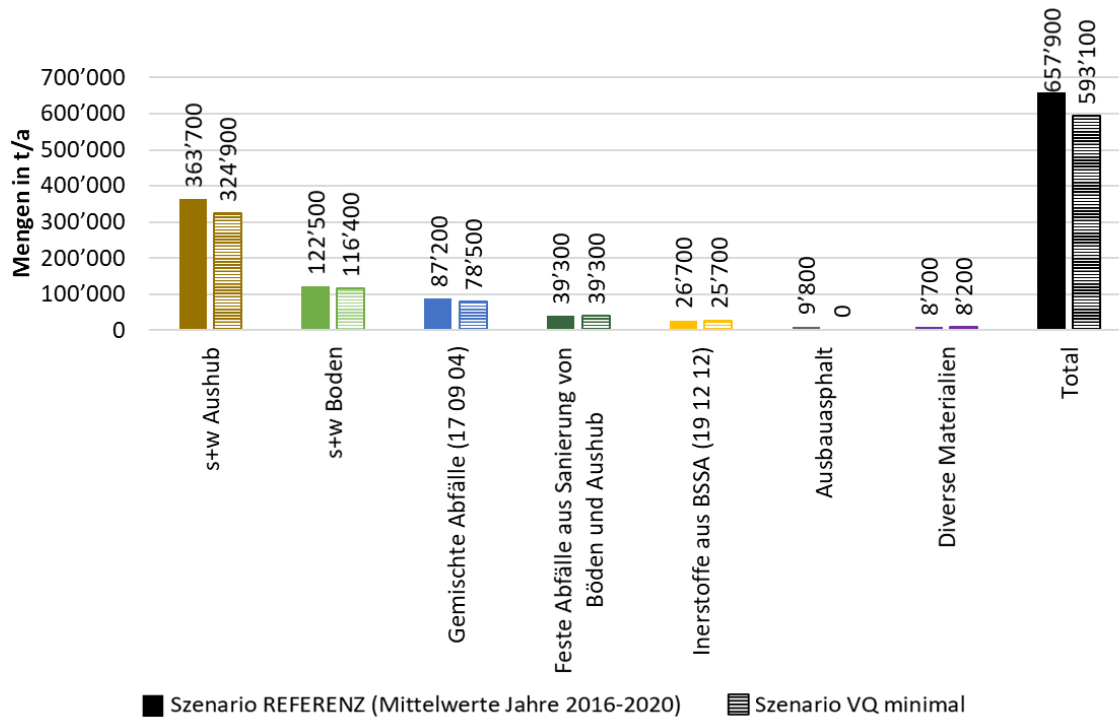


Abbildung 11: Materialflüsse in Deponien Typ B **Szenario VQ minimal** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Die Materialflüsse können bei diesem Szenario im Vergleich zum Szenario REFERENZ von 657'900 Tonnen pro Jahr auf ein Total von 593'100 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Das bedeutet eine totale Reduktion des Deponievolumens von rund **10%** oder knapp 65'000 Tonnen pro Jahr.

Szenario VQ mittel

Das Szenario VQ mittel stellt, wie bereits erwähnt, einen Mittelwert aus dem Szenario VQ minimal und VQ maximal dar. Im Vergleich zum vorangegangenen Szenario VQ minimal kann nochmals eine Mengenreduktion von 70'000 Tonnen pro Jahr erreicht werden, was im Vergleich zum Szenario REFERENZ einer totalen Reduktion von über 135'000 Tonnen pro Jahr entspricht. Der Deponieeintrag könnte somit um rund **21%** reduziert werden.

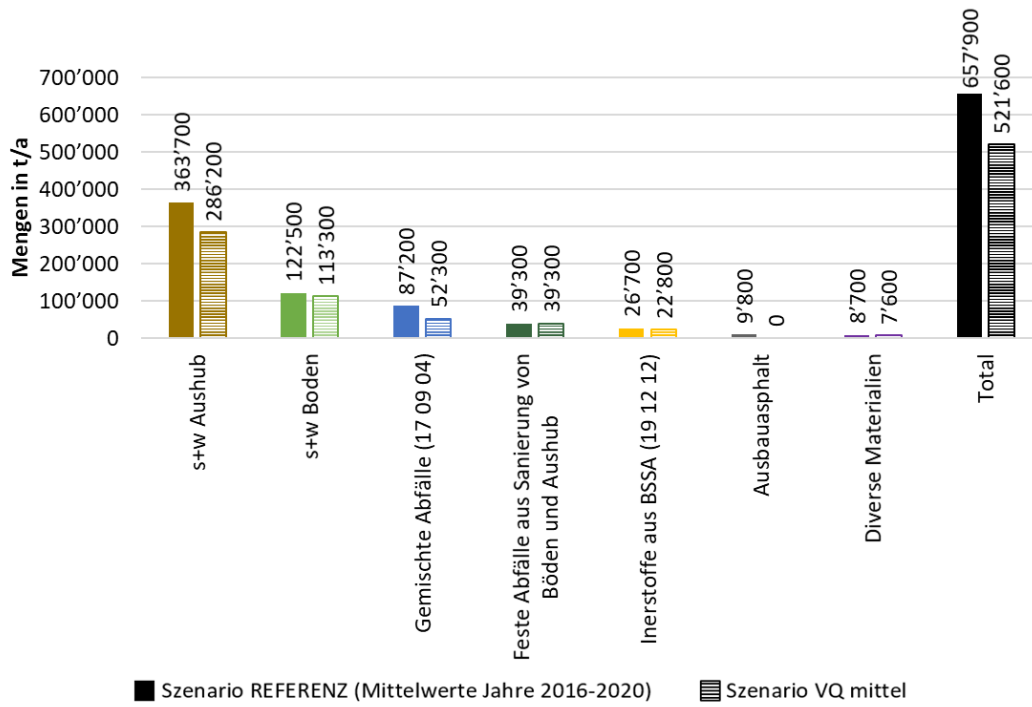


Abbildung 12: Materialflüsse in Deponien Typ B **Szenario VQ mittel** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Szenario VQ maximal

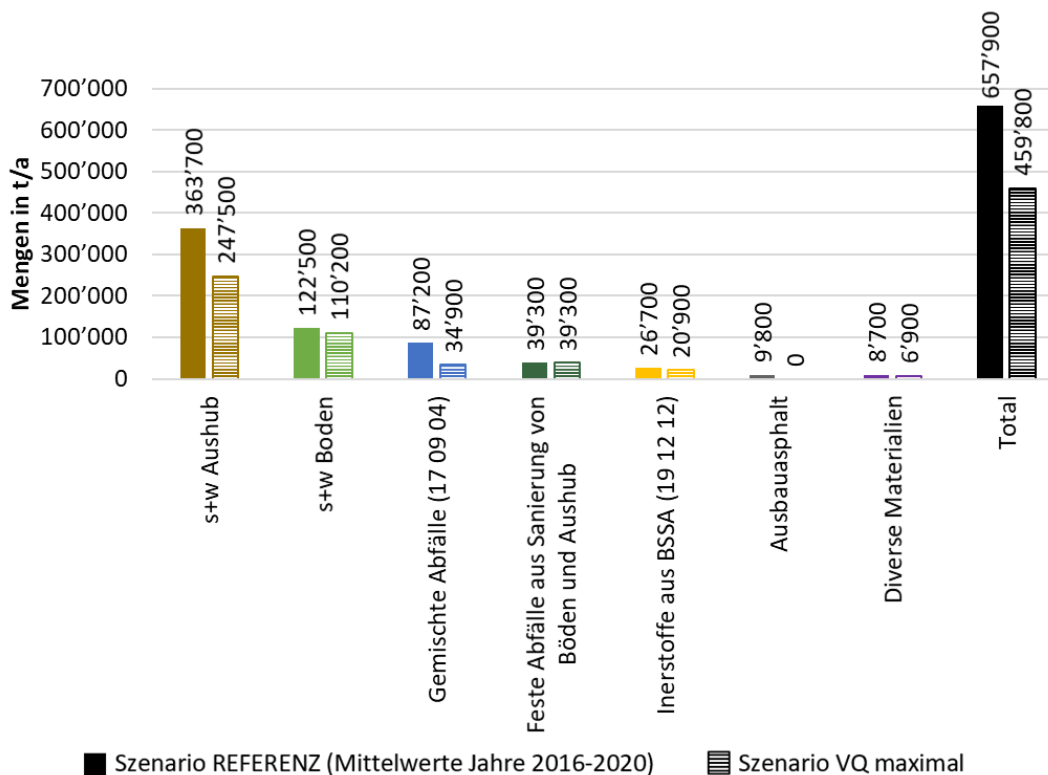


Abbildung 13: Materialflüsse in Deponien Typ B **Szenario VQ maximal** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

In dem Szenario VQ maximal kann das Total von dem Wert des Szenario REFERENZ von 657'900 Tonnen pro Jahr auf 459'800 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Dies entspricht einer Reduktion von rund **30%**. Insgesamt können 198'100 Tonnen pro Jahr eingespart werden.

Szenario VQ mittel + BR

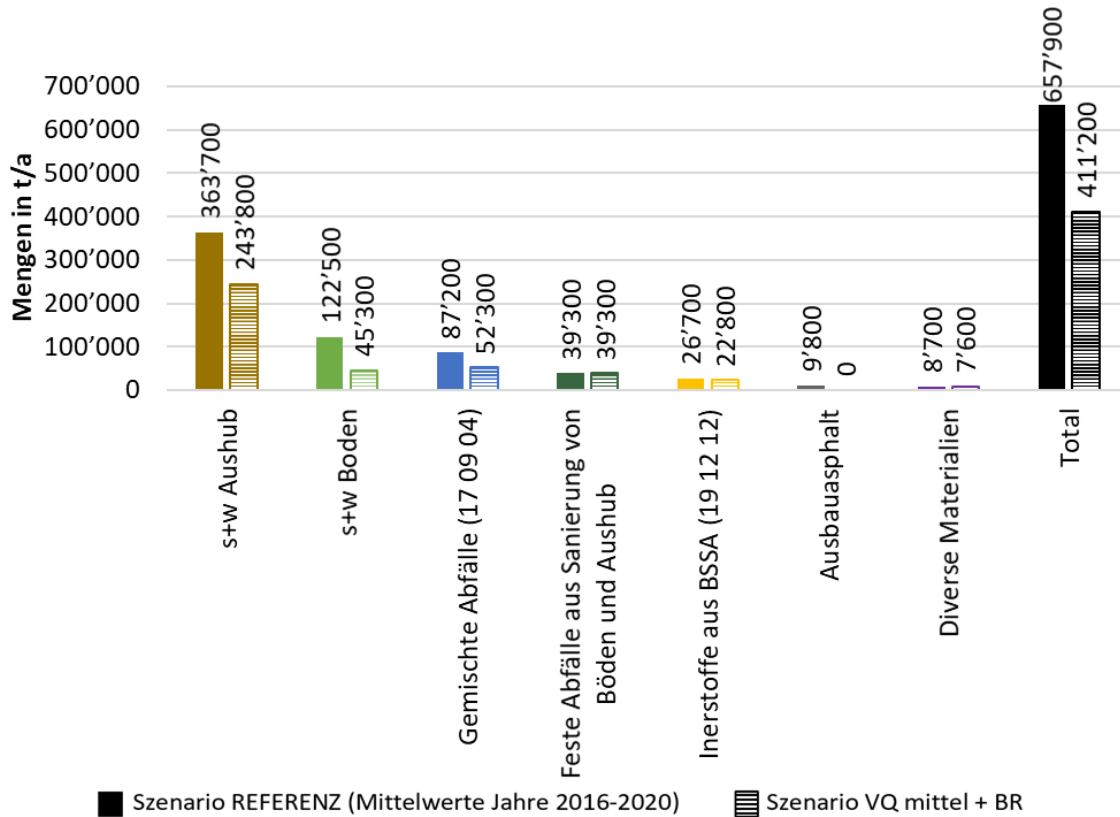


Abbildung 14: Materialflüsse in Deponien Typ B **Szenario VQ mittel + BR** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Das Szenario VQ mittel + BR beinhaltet die grösste Gesamtreduktion des Deponievolumens von insgesamt **37%** und knapp 250'000 Tonnen.

Zusammenfassung

In Abbildung 15 sind die Reduktionspotentiale für die einzelnen Materialkategorien des Kompartimenttyps B, bezogen auf das Szenario REFERENZ, für die vier verschiedenen Szenarien zusammenfassend dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass in allen vier Szenarien die mengenmässig grössten Reduktionen bei den Materialkategorien «s+w Aushub» sowie «Gemischte Abfälle (17 09 04)» erreicht werden. Im Szenario VQ maximal sind es zusammen 168'500 Tonnen pro Jahr, welche bei diesen beiden Materialkategorien eingespart werden können, was 85% der Gesamtreduktion in diesem Szenario ausmacht. Das mengenmässig grösste Deponiereduktionspotential mit jährlich 246'700 Tonnen liegt im Szenario VQ mittel + BR. Neben den beiden erwähnten Materialkategorien kommt bei diesem Szenario noch die Kategorie «s+w Boden» hinzu, bei welcher eine erhebliche Reduktion von 77'200 Tonnen pro Jahr erzielt werden kann. Dies resultiert aus dem

Miteinbezug des Bodens in die Behandlungsregel in diesem Szenario. Für die restlichen Materialkategorien sind die Reduktionspotentiale bei allen Szenarien relativ gering. Zwischen dem Szenario mit dem niedrigsten Reduktionspotential von 64'800 Tonnen pro Jahr (Szenario VQ minimal) und demjenigen mit dem höchsten von 246'700 Tonnen pro Jahr (Szenario VQ mittel + BR), liegt eine Differenz von 181'900 Tonnen jährlich.

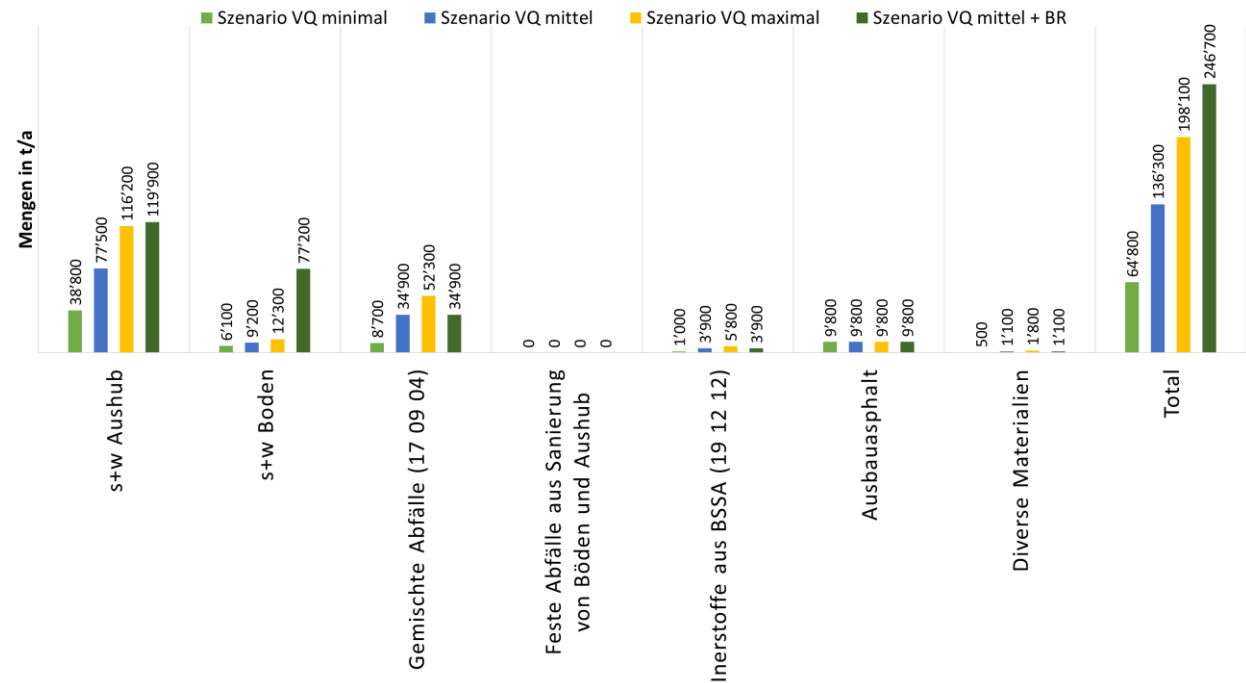


Abbildung 15: Zusätzliches Reduktionspotential bzw. Deponiereduktionspotential für die einzelnen Materialkategorien, welche heute noch auf Deponien des Typs B abgelagert werden (bezogen auf das Szenario REFERENZ) für die vier verschiedenen Szenarien.

Zusammenfassend werden hier nochmals die Gesamtreduktionen des Deponievolumens der einzelnen Szenarien im Vergleich zum Szenario REFERENZ in Prozenten und in absoluten Zahlen aufgeführt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Abgeschätzte Reduktionspotentiale der vier definierten Szenarien für die Deponien des Typs B in Bezug auf das Szenario REFERENZ (rot markiert: ausserhalb Zielbereich; grün markiert: innerhalb Zielbereich von 30 – 50%).

	Gesamtreduktion [%]	Gesamtreduktion [t/a]
VQ minimal	10	64'800
VQ mittel	21	136'300
VQ maximal	30	198'100
VQ mittel + BR	37	246'700

Die anzustrebende Gesamtreduktion von 30 - 50% kann in diesem Kompartimenttyp im Szenario VQ maximal (Gesamtreduktion von 30%) und im Szenario VQ mittel + BR (Gesamtreduktion von 37%) erreicht werden. Bei den anderen beiden Szenarien VQ minimal und VQ mittel liegt die Gesamtreduktion jeweils unter den angestrebten 30%.

4.2 Materialflüsse in Deponien Typ E

Nachfolgend werden wiederum die Resultate der Szenarienrechnungen für die Deponien des Typs E analog zum Kapitel 4.1 vorgestellt. Auch werden die berechneten Materialflüsse jeweils dem Szenario REFERENZ gegenübergestellt.

Szenario VQ minimal

Mit dem Szenario VQ minimal lassen sich die Materialflüsse von einem Total von 91'100 Tonnen pro Jahr (Szenario REFERENZ) auf 66'100 Tonnen pro Jahr reduzieren. Dies entspricht einer Reduktion des Deponieeintrages von rund **27%** oder knapp 25'000 Tonnen pro Jahr. Das mit Abstand grösste Verwertungspotential liegt bei der Materialkategorie «Ausbauasphalt», weil im Szenario davon ausgegangen wird, dass sämtlicher Ausbauasphalt einer Verwertung zugeführt werden kann.

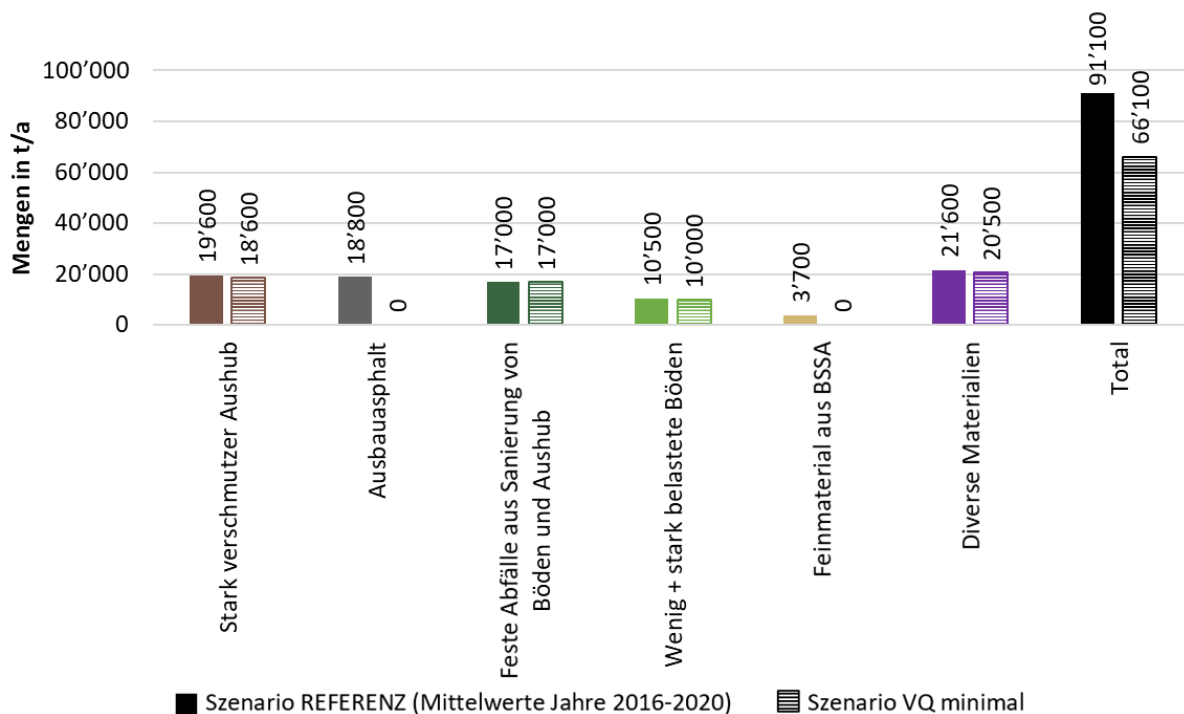


Abbildung 16: Materialflüsse in Deponien Typ E **Szenario VQ minimal** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Szenario VQ mittel

Hier können im Vergleich zum vorherigen Szenario zusätzlich nur knapp 2'300 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Dies liegt daran, dass der Ausbauasphalt mengenmässig den grössten Anteil an der Reduktion beansprucht, welcher bei allen Szenarien um 100% reduziert wird. Da die anderen Materialkategorien von der absoluten Menge her nicht so stark ins Gewicht fallen, sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien nicht sehr gross. Die totale Reduktion des Deponieeintrages im Vergleich zum Szenario REFERENZ beträgt hier **30%**.

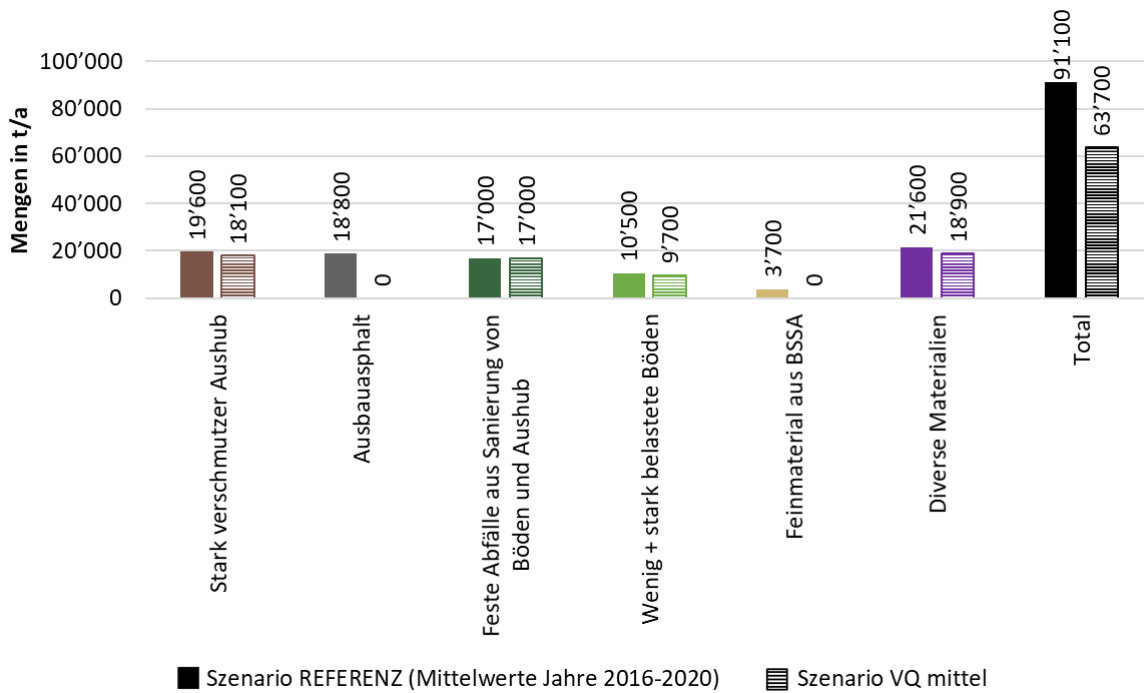


Abbildung 17: Materialflüsse in Deponien Typ E **Szenario VQ mittel** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Szenario VQ maximal

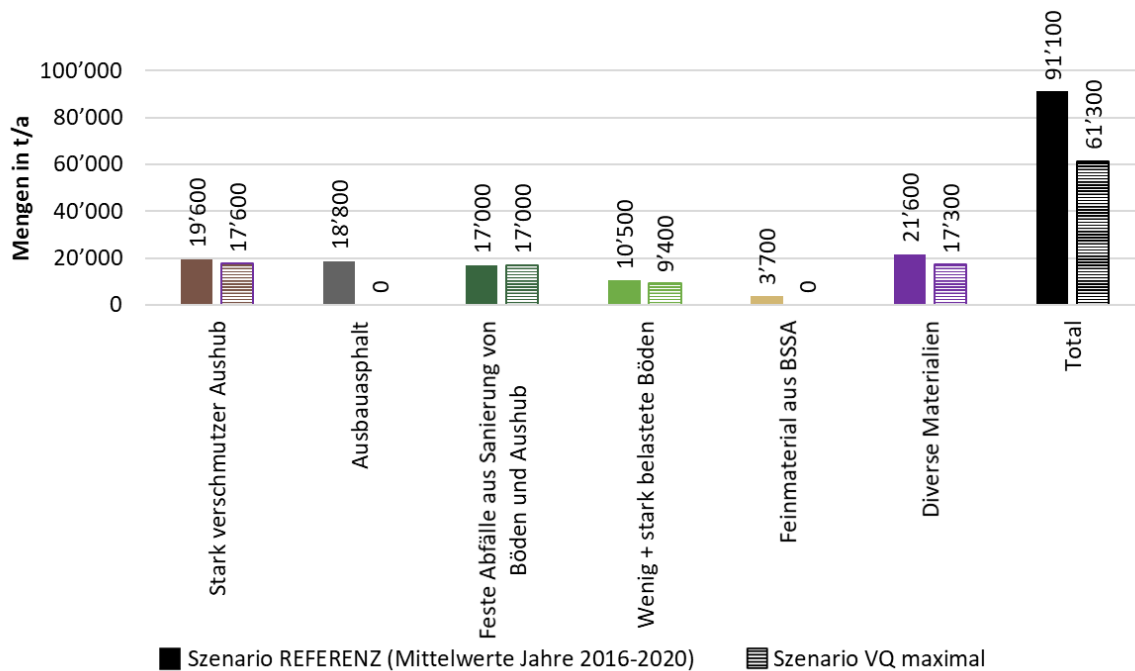


Abbildung 18: Materialflüsse in Deponien Typ E **Szenario VQ maximal** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016-2020).

In diesem Szenario kann der Deponieeintrag von 91'100 Tonnen pro Jahr (Szenario REFERENZ) auf 61'300 Tonnen pro Jahr bzw. um **33%** reduziert werden.

Szenario VQ mittel + BR

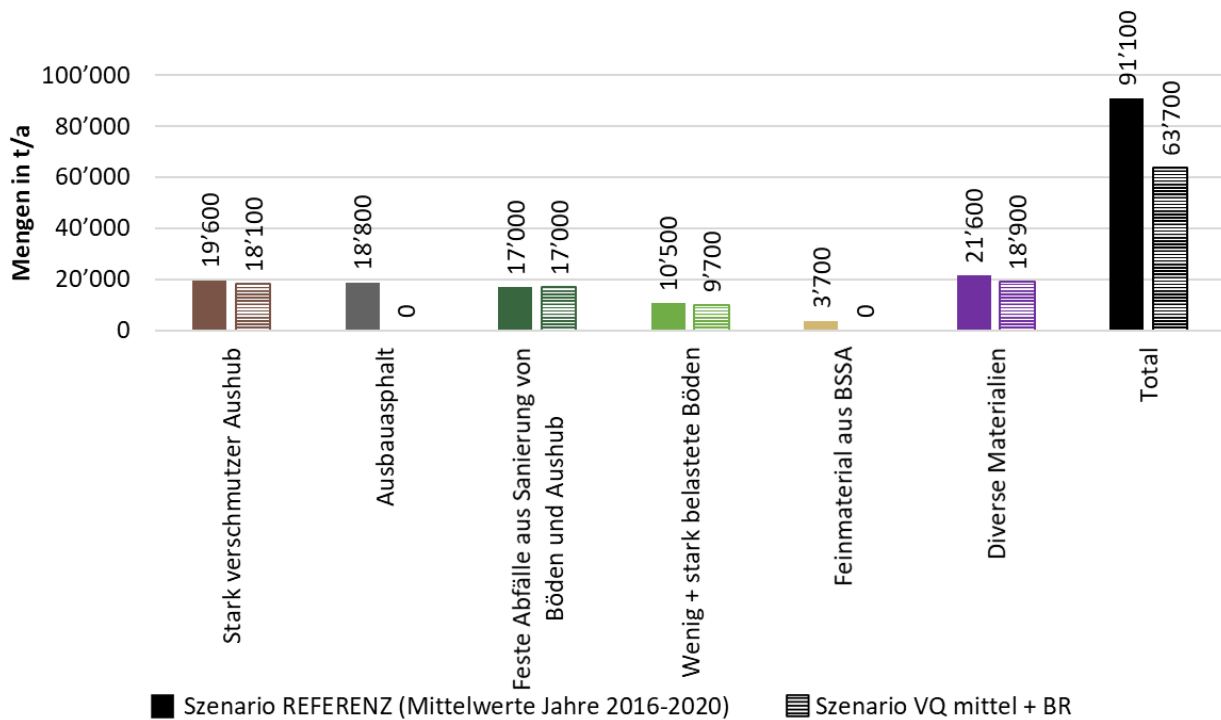


Abbildung 19: Materialflüsse in Deponien Typ E **Szenario VQ mittel + BR** mit Vergleich zum Szenario REFERENZ (Mittelwerte 2016 - 2020).

Da bei diesem Szenario die Verwertungsquoten gleich sind wie beim Szenario VQ mittel, entspricht dieses Szenario dem des Szenario VQ mittel.

Zusammenfassung

Abbildung 20 zeigt eine Zusammenfassung der Reduktionspotentiale der einzelnen Materialkategorien des Kompartimenttyps E, bezogen auf das Szenario REFERENZ, für die vier verschiedenen Szenarien. Bei den Materialien des Typs E liegt das grösste Reduktionspotential bei der Materialkategorie «Ausbauasphalt». Dies liegt daran, dass diese Materialkategorie mengenmässig einerseits die zweitgrösste Kategorie dieses Typs darstellt (ohne die Kategorie «Diverse Materialien») und für diese Kategorie eine Verwertungsquote von 100% für alle vier Szenarien eingesetzt wird. Dabei liegt der Anteil der Reduktion dieser Materialkategorie an der Gesamtreduktion bei allen Szenarien mit jeweils 18'800 Tonnen pro Jahr zwischen 60% und 75%. Die Reduktionspotentiale für die restlichen Materialkategorien sind deutlich geringer. Die höchste Gesamtreduktion wird im Szenario VQ maximal mit 29'800 Tonnen pro Jahr erzielt. Die Differenz zu den Gesamtreduktionen der anderen Szenarien ist deutlich geringer als die Differenz aus den Gesamtreduktionen der Szenarien der Typ-B-Materialien. Hier variiert die Gesamtreduktion unter den vier Szenarien zwischen 25'000 und 29'800 Tonnen pro Jahr, was einer Differenz von 4'800 Tonnen jährlich entspricht.

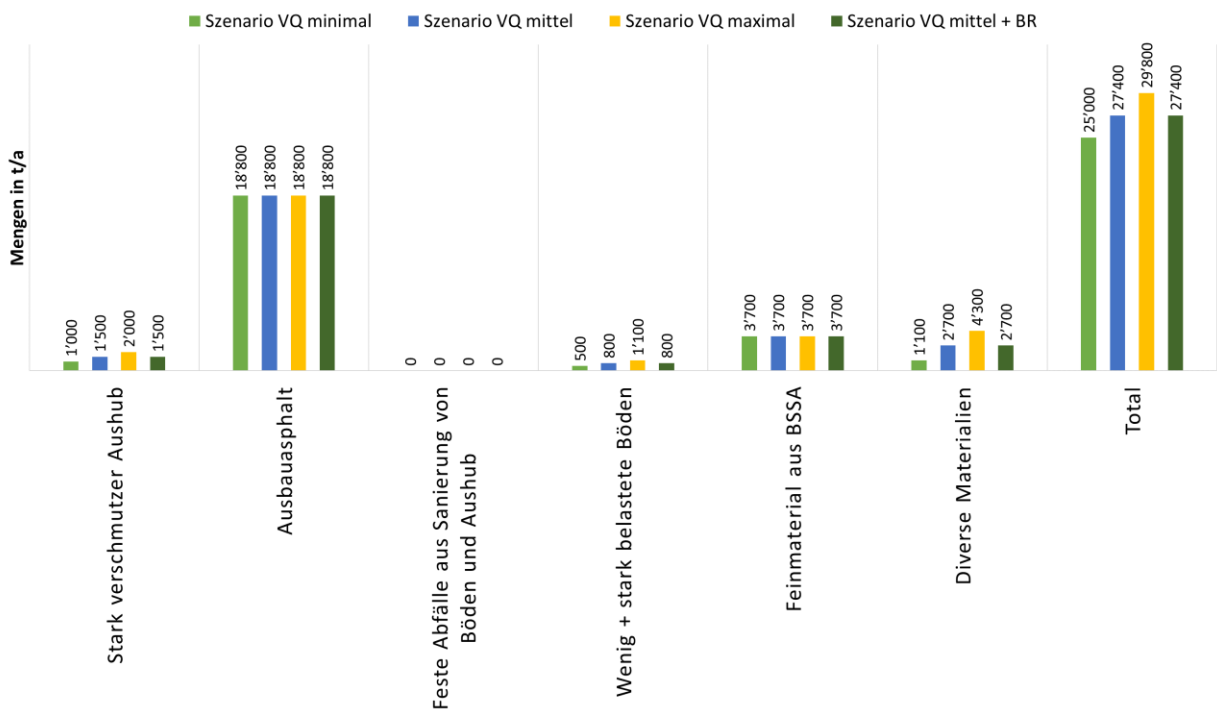


Abbildung 20: Zusätzliches Reduktionspotential bzw. Deponiereduktionspotential für die einzelnen Materialkategorien, welche heute noch auf Deponien des Typs E abgelagert werden (bezogen auf das Szenario REFERENZ) für die vier verschiedenen Szenarien.

Auch für diesen Typ und die verschiedenen Szenarien kann die Gesamtreduktionen des Depo-nievolumens im Vergleich zum Szenario REFERENZ beziffert werden (Tabelle 13). Es zeigt sich, dass hier bereits beim Szenario VQ mittel der Zielbereich von 30 - 50% erreicht werden kann. Lediglich beim Szenario VQ minimal liegt die Gesamtreduktion mit 27% knapp unterhalb des Zielbereichs.

Im Vergleich zu den Deponien des Typs B ist das Reduktionspotential bei den Typ-E-Deponien in Bezug auf die absoluten Materialflüsse um bis zu einer Grössenordnung kleiner.

Tabelle 13: Abgeschätzte Reduktionspotentiale der vier definierten Szenarien für die Deponien des Typs E in Bezug auf das Szenario REFERENZ (rot markiert: ausserhalb Zielbereich: grün markiert: innerhalb Zielbereich von 30 – 50%).

	Gesamtreduktion [%]	Gesamtreduktion [t/a]
VQ minimal	27	25'000
VQ mittel	30	27'400
VQ maximal	33	29'800
VQ mittel + BR	30	27'400

4.3 Verteilung der zusätzlichen Materialflüsse auf die Verwertungspfade

In einem weiteren Schritt werden die Verwertungs- und Entsorgungspfade der Materialien, welche in den verschiedenen Szenarien anstatt den Deponien der Aufbereitung/Behandlung zugeführt werden, analysiert und die entsprechenden Materialflüsse abgeschätzt. Daraus lassen sich anschliessend die Transferkoeffizienten (Verteilungskoeffizienten) ableiten, welche wichtige Parameter für das Deponieprognosemodell und die dortigen Szenarienrechnungen darstellen.

Szenario VQ minimal

Die Materialflüsse, die anstatt in die Deponien des Typs B und E nun zusätzlich in die Behandlung/Aufbereitung geführt werden und auf die verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungspfade verteilt werden, sind in der Abbildung 21 dargestellt. Beim Szenario VQ minimal würden jährlich 67'700 Tonnen Material nicht mehr in einer Deponie des Typs B abgelagert, sondern zusätzlich aufbereitet oder behandelt. Dadurch könnten knapp 96% des Materials verwertet werden. Der grösste Teil davon fällt als Kies/Sand/anderes Material an. Ein erheblicher Teil gelangt zudem als Feinfraktion aus der Aufbereitung oder als Filterkuchen aus der Behandlung in die Zementwerke. Der Rest von rund 3'000 Tonnen pro Jahr müsste einer Deponie des Typs B zugeführt werden.

Bei den Materialien des Typs E können 25'100 Tonnen pro Jahr einer zusätzlichen Aufbereitung/Behandlung zugeführt werden. Davon müssten anschliessend nur noch 900 Tonnen pro Jahr deponiert werden (Typ B). Der grösste Teil davon, d.h. knapp 19'000 t/a kann einer thermischen Behandlung im In- oder Ausland zugeführt werden (Ausbauasphalt). Die weiteren Materialien können in anderen Verwertungs- und Entsorgungsprozessen aufbereitet werden.

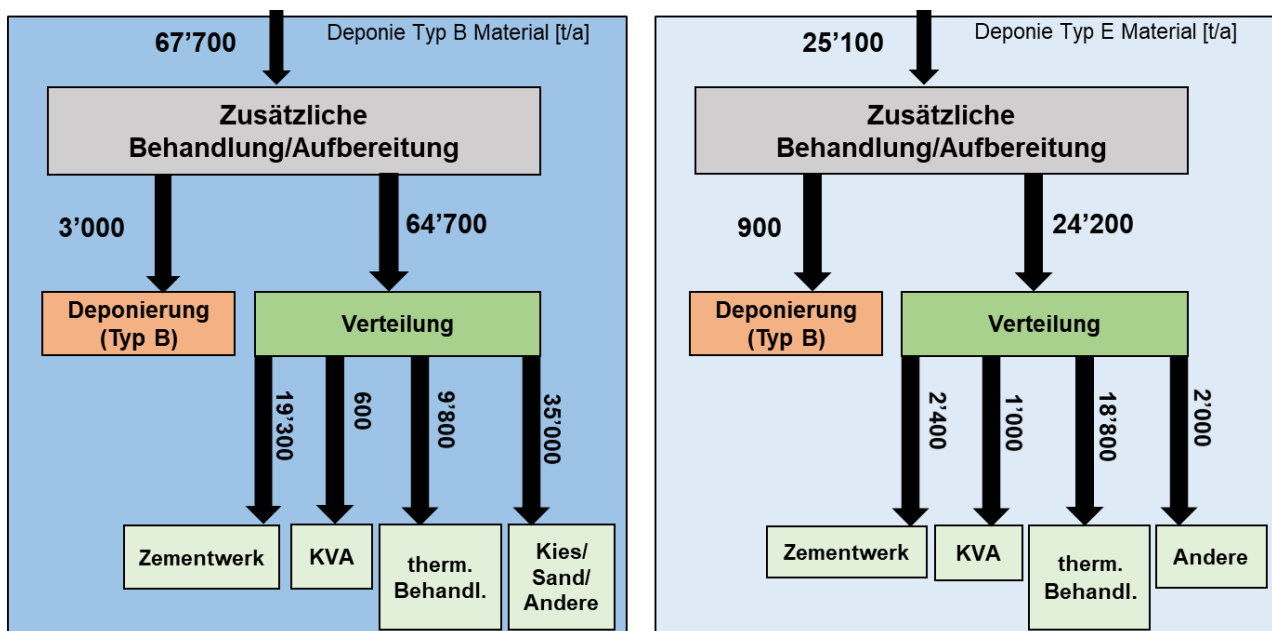


Abbildung 21: Materialflüsse und Verwertungs-/Entsorgungspfade der Materialien, welche bisher in Deponien des Typs B (links) und E (rechts) abgelagert wurden für das **Szenario VQ minimal**.

Szenario VQ mittel

In der Abbildung 22 sind die Verwertungs-/Entsorgungspfade sowie die Materialflüsse für das Szenario VQ mittel für beide Deponietypen dargestellt. Bei den Typ-B-Materialien können in diesem Szenario rund 94% verwertet werden. Im Vergleich zum vorangegangenen Szenario VQ minimal ist bei den Materialflüssen in die Zementwerke und bei der Fraktion Kies/Sand/andere Materialien mit mindestens einer Verdoppelung zu rechnen. Bei den Materialien des Typs E können rund 97% verwertet werden. Die Materialflüsse in die Verwertungs- und Entsorgungsprozesse verändern sich jedoch im Vergleich zum vorangegangenen Szenario nur in geringem Umfang.

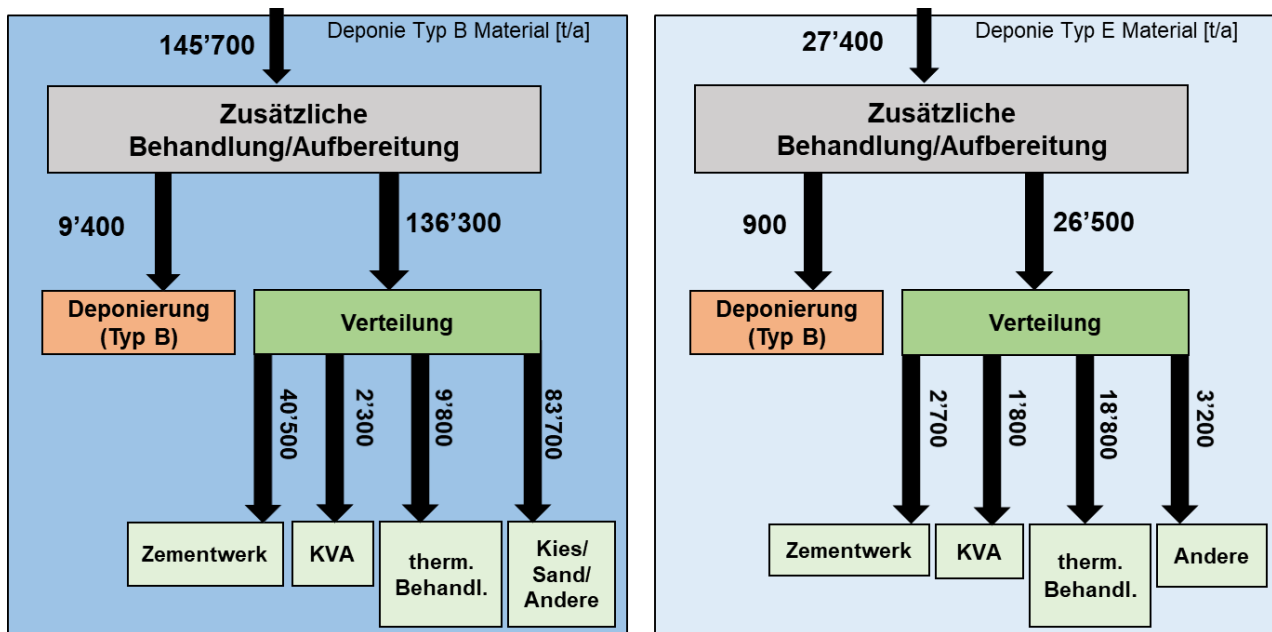


Abbildung 22: Materialflüsse und Verwertungs-/Entsorgungspfade der Materialien, welche bisher in Deponien des Typs B (links) und E (rechts) abgelagert wurden für das **Szenario VQ mittel**.

Szenario VQ maximal

Die Verwertungs- und Entsorgungspfade sowie die Materialflüsse für das Szenario VQ maximal sind in der Abbildung 23 abgebildet. Bei diesem Szenario würden 212'000 Tonnen Material pro Jahr zusätzlich aufbereitet oder behandelt werden, anstelle einer direkten Deponierung. So könnten jährlich 198'000 Tonnen (93%) verwertet werden. Im Vergleich zum Szenario VQ mittel ist dies knapp 62'000 Tonnen pro Jahr mehr. Sowohl bei den Materialflüssen in die Zementwerke als auch bei der Fraktion Kies/Sand/andere Materialien ist mit einer Erhöhung von knapp 50% im Vergleich zum Szenario VQ mittel zu rechnen. Der Materialstrom, welcher nach der Behandlung/Aufbereitung deponiert werden müsste (im Typ B), nimmt im Vergleich zum vorangegangenen Szenario ebenfalls um knapp 50% zu. Bei den Materialien des Typs E können knapp 96% der 29'800 Tonnen pro Jahr verwertet werden. Auch hier ändern sich die Materialflüsse in die verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungsprozesse nur geringfügig.

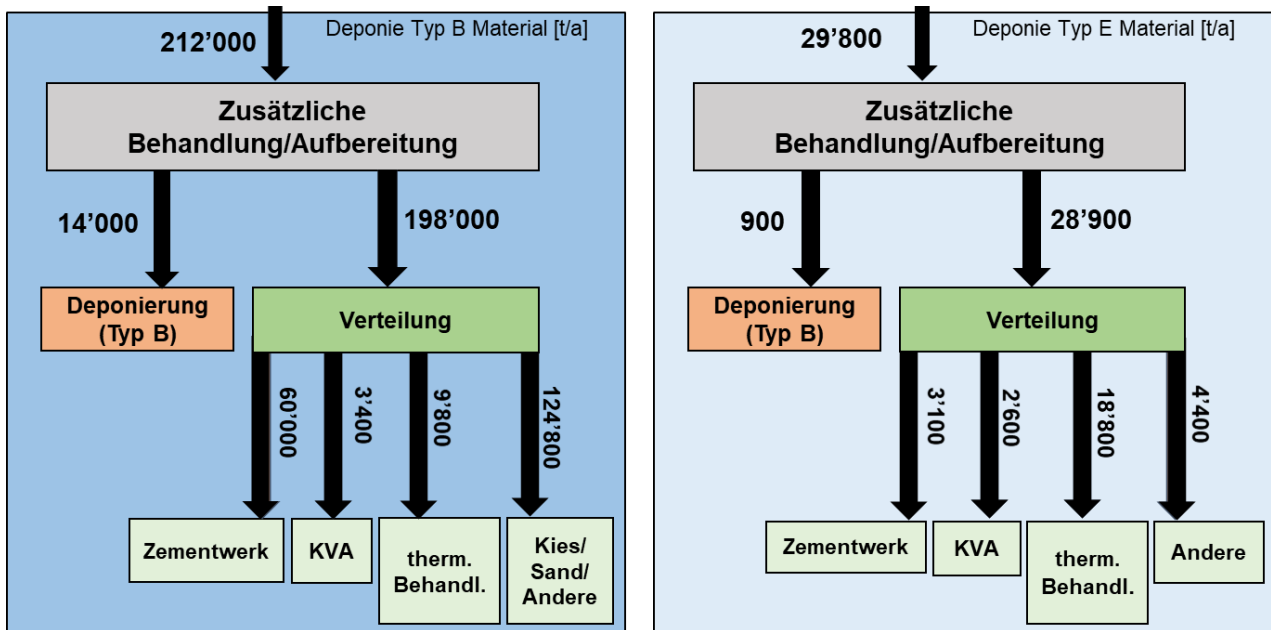


Abbildung 23: Materialflüsse und Verwertungs-/Entsorgungspfade der Materialien, welche bisher in Deponien des Typs B (links) und E (rechts) abgelagert wurden für das **Szenario VQ maximal**.

Szenario VQ mittel + BR

In Abbildung 24 sind die Verwertungs-/Entsorgungspfade sowie die Materialflüsse für das Szenario VQ mittel + BR für die beiden Deponietypen dargestellt. Bei den Materialien des Kompartimenttyps B können knapp 91% der 272'500 Tonnen Material pro Jahr in einem Aufbereitungs-/Behandlungsprozess verwertet werden. Im Vergleich zum Szenario VQ maximal sind dies knapp 50'000 Tonnen pro Jahr mehr. Der Materialstrom in die Zementwerke nimmt verglichen mit dem vorangegangenen Szenario um über 80% stark zu, während sich die anderen Materialströme in die Verwertungs- und Entsorgungsprozesse nur leicht erhöhen.

Bei den Deponien des Typs E verändern sich die Materialflüsse und Verwertungs-/Entsorgungspfade im Szenario VQ mittel + BR im Vergleich zum Szenario VQ mittel nicht. Dies hängt mit den gewählten Parametern zusammen, welche sich in diesem Szenario nur bei Materialkategorien des Typs B ändern. Deshalb liegen auch die Mengen der Materialflüsse in die verschiedenen Verwertungswege unter denen des Szenarios VQ maximal.

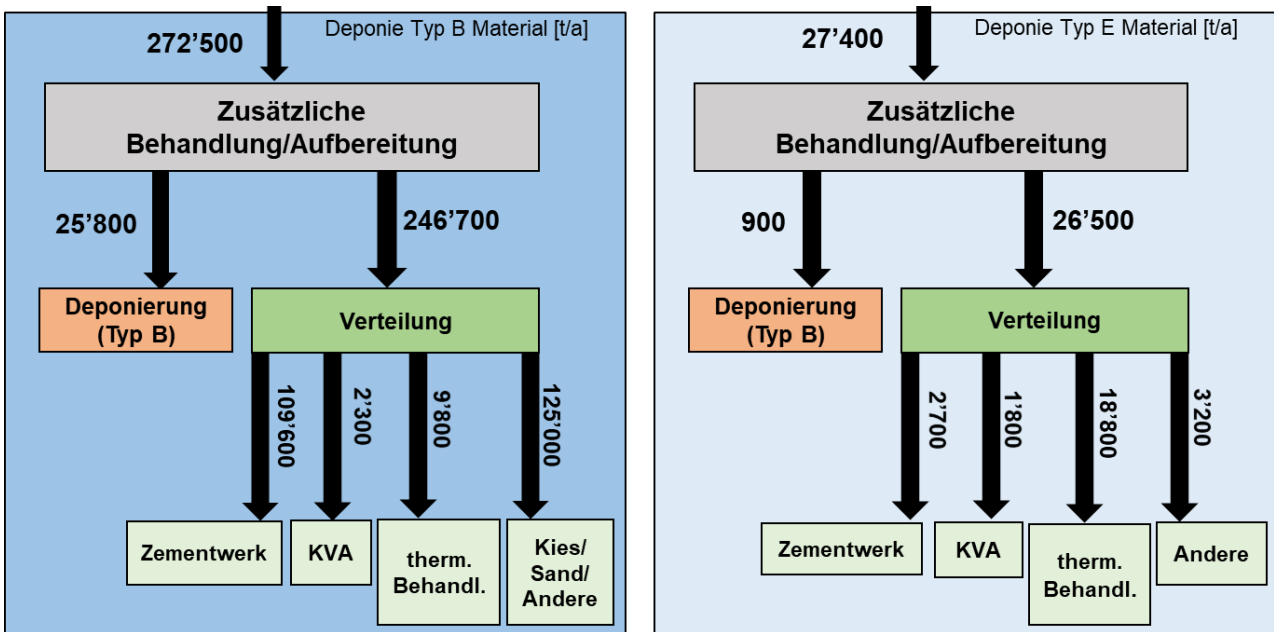


Abbildung 24: Materialflüsse und Verwertungs-/Entsorgungspfade der Materialien, welche bisher in Deponien des Typs B (links) und E (rechts) abgelagert wurden für das **Szenario VQ mittel + BR**.

4.4 Kostenabschätzung

Ein weiterer Aspekt bei der Analyse der vier Szenarien sind die entstehenden Mehrkosten, welche durch die zusätzlich eingeführten Aufbereitungs-/Behandlungsprozesse entstehen und der direkten Deponierung gegenübergestellt werden müssen. In der Tabelle 14 sind die abgeschätzten Mehrkosten pro Tonne für jede Materialkategorie aufgeführt. Dabei ist hier zu erwähnen, dass es sich um grobe Abschätzungen handelt und die angegebenen Mehrkosten mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Die Abschätzungen beruhen dabei zu einem Grossteil auf Umfragen zu dieser Thematik mit verschiedenen Akteuren aus der Branche. In der Abschätzung der Mehrkosten sind allfällige Zusatzkosten, welche durch nachgelagerte Entsorgungs- und Verwertungswege für Outputmaterial aus einer BSSA (beispielsweise in ein Zementwerk) entstehen, nicht berücksichtigt.

Tabelle 14: Abgeschätzte Mehrkosten für die verschiedenen Materialkategorien im Vergleich zu einer direkten Deponierung dieser Materialien.

		Abgeschätzte Mehrkosten [CHF/t]
Typ B Materialien	s+w Aushub mit einem Feinanteil >30%	65
	s+w Aushub mit einem Feinanteil <30%	10
	s+w Boden	65
	Gemischte Bauabfälle inkl. Inertstoffe	60
	Ausbauasphalt	20
	Div. Materialien	20
Typ E Materialien	Ausbauasphalt	70
	Feinmaterial aus BSSA	20
	Wenig + stark belastete Böden	60
	Stark verschmutzter Aushub	60
	Div. Materialien	20

Mit Hilfe der abgeschätzten spezifischen Mehrkosten pro Materialkategorie und unter Einbezug der Materialmengen (Kapitel 4.3) können die absoluten Mehrkosten auf Jahresbasis beziffert werden (Tabelle 15). Diese Mehrkosten beziehen sich auf diejenigen Materialien und Mengen, welche im Kanton Zürich zusätzlich aufbereitet und nicht mehr direkt deponiert werden. Die Mehrkosten sind nach Szenario und nach Deponietypen gegliedert.

Tabelle 15: Abgeschätzte Mehrkosten pro Jahr für Verwertung der Materialien, die in den verschiedenen Verwertungs- und Entsorgungsprozessen bearbeitet werden im Vergleich zur Deponierung.

	Abgeschätzte Mehrkosten aus zusätzlicher Aufbereitung Materialien Typ B [CHF/a]	Abgeschätzte Mehrkosten aus zusätzlicher Aufbereitung Materialien Typ E [CHF/a]
Szenario VQ minimal	2'386'000	1'500'000
Szenario VQ mittel	5'749'000	1'577'000
Szenario VQ maximal	8'428'000	1'655'000
Szenario VQ mittel + BR	10'089'000	1'577'000

Die Mehrkosten aus der zusätzlichen Aufbereitung aus den Materialien des Typs B für die verschiedenen Szenarien belaufen sich dabei auf knapp 2 bis 10 Mio. Franken pro Jahr. Für die Materialien des Typs E ist der Unterschied zwischen den einzelnen Szenarien nicht ganz so gross, dort liegen die Mehrkosten alle bei ca. 1.5 Mio. Franken pro Jahr. Aus den in der Tabelle 15 aufgeführten totalen Mehrkosten können nun die aggregierten Mehrkosten pro aufbereitete Tonne für jedes Szenario berechnet werden (Tabelle 16). Dies bedeutet, dass die Mehrkosten nicht materialspezifisch dargestellt sind, sondern jeweils das Total der Kosten aus Tabelle 14 mit dem Total der Menge an aufbereiteten Materialien verrechnet wird. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zu sehen.

Tabelle 16: Abgeschätzte aggregierte Mehrkosten pro aufbereitete Tonne Material für die verschiedenen Szenarien im Vergleich zur Deponierung.

	Abgeschätzte Mehrkosten aus zusätzlicher Aufbereitung Materialien Typ B [CHF/t]	Abgeschätzte Mehrkosten aus zusätzlicher Aufbereitung Materialien Typ E [CHF/t]
Szenario VQ minimal	35	60
Szenario VQ mittel	39	58
Szenario VQ maximal	40	56
Szenario VQ mittel + BR	37	58

Die abgeschätzten Mehrkosten pro aufbereitete Tonne aus der zusätzlichen Aufbereitung für die Materialkategorien des Typs B liegen für die vier Szenarien zwischen 35 und 40 Franken pro Tonne. Die Mehrkosten für die Typ-E-Materialien sind fast doppelt so hoch und belaufen sich je nach Szenario auf 56 – 60 Franken pro Tonne. Interessant ist hier die Tatsache, dass die Mehrkosten aus den Materialien des Typs B vom Szenario VQ minimal bis zum Szenario VQ maximal zunehmen, während sie bei den Typ E Materialien tendenziell leicht abnehmen.

5 Diskussion

Die Resultate aus den Szenarienrechnungen zeigen, dass noch erhebliche Verwertungspotentiale für Materialien, welche heute noch in die Deponien des Typs B und E gelangen, vorliegen. Das Verwertungspotential ist bei den Typ-B-Materialien um einiges höher als bei Typ-E-Materialien, da die Materialflüsse in die Deponien des Typs B deutlich grösser sind als bei Deponien des Typs E. In der Abbildung 25 sind die Verwertungspotentiale für die einzelnen Szenarien auf dem Deponietyp B im Kanton Zürich noch einmal zusammenfassend dargestellt. Dabei handelt es sich um die relative Zunahme des Verwertungspotentials bzw. des Deponiereduktionspotentials im Vergleich zum Ist-Zustand, d.h. zu den Materialflüssen des Szenarios REFERENZ. Die Abbildung zeigt eine deutliche Zunahme des Verwertungspotentials in Abhängigkeit der einzelnen Szenarien. Während es bei Szenario VQ minimal 64'800 Tonnen pro Jahr sind, welche zusätzlich verwertet werden können, sind es beim Szenario VQ mittel + BR mit 246'700 Tonnen pro Jahr, knapp vier Mal so viel.

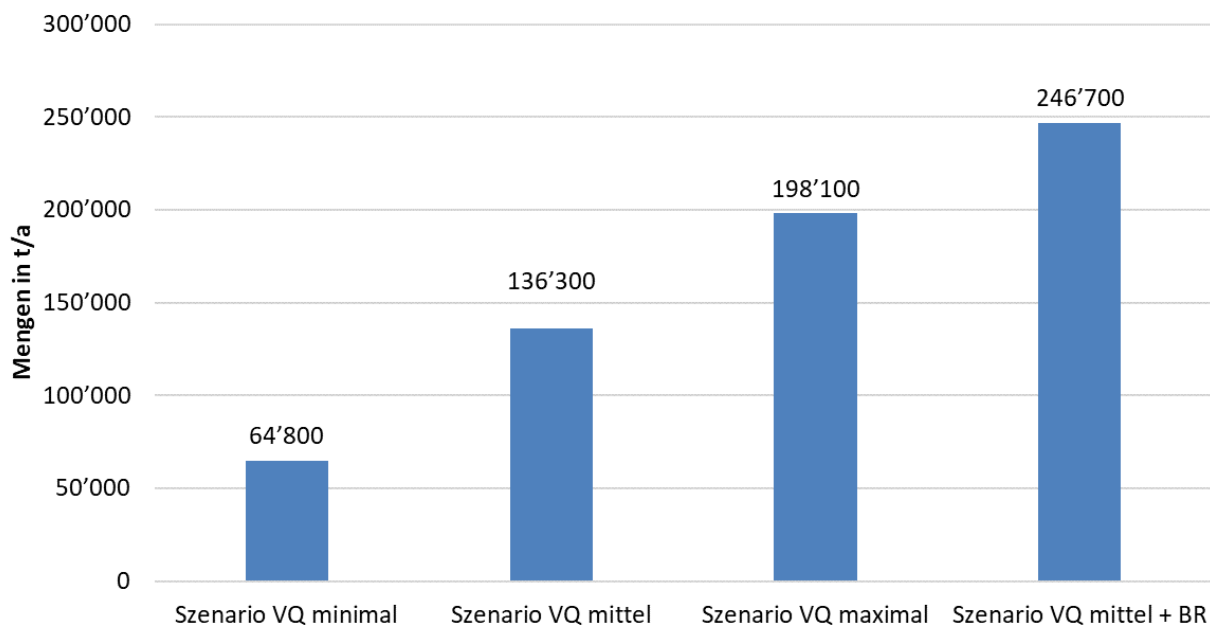


Abbildung 25: Zusätzliches Verwertungspotential bzw. Deponiereduktionspotential für Materialien, welche heute noch auf Deponien des Typs B abgelagert werden (bezogen auf das Szenario REFERENZ) für die vier verschiedenen Szenarien.

In der Abbildung 26 sind die Verwertungspotentiale für die vier Szenarien für Deponietyp-E-Materialien zusammengefasst. Hier bewegte sich das Verwertungspotential mit Werten zwischen 25'000 und 30'000 Tonnen pro Jahr auf einem deutlich tieferen Niveau. Zudem fallen die Unterschiede zwischen den einzelnen Szenarien eher gering aus. Bei Materialien, welche in die Deponien des Typs E gelangen, ist deshalb zu prüfen, welche Verwertungsstrategie sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht als sinnvoll erachtet wird. Hierzu sind weitere Abklärungen notwendig.

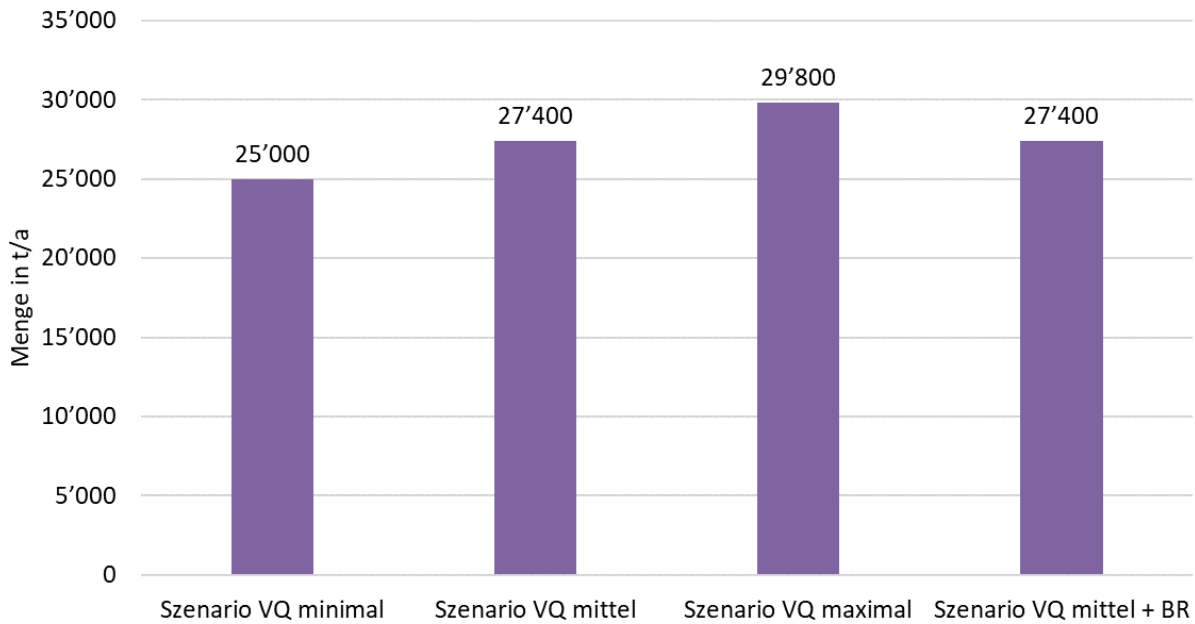


Abbildung 26: Zusätzliches Verwertungspotential bzw. Deponiereduktionspotential für Materialien, welche heute noch auf Deponien des Typs E abgelagert werden (bezogen auf das Szenario REFERENZ) für die vier verschiedenen Szenarien.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse aus den Szenarienrechnungen deutlich, dass ein grosses bis heute ungenutztes Verwertungspotential besteht. Die Reduktionen, welche mittels der verschiedenen vorgeschlagenen Massnahmen in den vier Szenarien erreicht werden können, sind in der untenstehenden Tabelle 17 für beide Deponietypen zusammengefasst. Dabei kann das Ziel einer Reduktion von 30 - 50% sowohl im Szenario VQ maximal als auch im Szenario VQ mittel + BR in beiden Deponiekompartimenten erfüllt werden. Im Szenario VQ mittel wird das Ziel nur im Kompartimenttyp E mit einer Gesamtreduktion von 30% erreicht, die Reduktion für den Typ B liegt mit 21% unter den angestrebten 30%. Für das Szenario VQ minimal liegen sowohl die Reduktionspotentiale für den Kompartimenttyp B als auch für den Typ E unter den 30%.

Tabelle 17: Abgeschätzte Reduktionspotentiale der vier definierten Szenarien für die Deponien des Typs B und E in Bezug auf das Szenario REFERENZ (rot markiert: ausserhalb Zielbereich; grün markiert: innerhalb Zielbereich von 30 – 50%).

	Gesamtreduktion Typ B [%]	Gesamtreduktion Typ E [%]
VQ minimal	10	27
VQ mittel	21	30
VQ maximal	30	33
VQ mittel + BR	37	30

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Analysen und Resultate aus der vorliegenden Studie zeigen, dass mittels verschiedener Massnahmen ein erheblicher Anteil der heute noch deponierten Materialien einem Verwertungs- bzw. Behandlungsprozess zugeführt werden kann.

Mit den vorgeschlagenen Massnahmen wie

- Einführung einer Verwertungs-/Behandlungspflicht für Materialien der Typs B und einer damit verbundenen Positivliste,
- Erhöhung Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial von 50% auf 70%,
- Miteinbezug des Bodenaushubs in die Behandlungsregel,
- Maximale Reduktion oder Elimination des Materialstromes in die Deponien des Typs E,

können Verwertungsquoten von bis zu 37% für Deponie-B-Materialien und 33% für Deponie-E-Materialien erzielt werden.

Die aufgeführten Massnahmen schliessen sich gegenseitig nicht aus, sondern ergänzen einander (Kapitel 3.1.6). Es bedarf jedoch einer Konkretisierung der Massnahmen vor allem in Bezug auf deren Umsetzung. Es muss beispielsweise sichergestellt sein, dass ein Grossteil der aus der Aufbereitung und Behandlung anfallenden Feinfraktionen und Filterkuchen von den Zementwerken angenommen wird.

Wir empfehlen deshalb, dass im Rahmen der Konkretisierung der Massnahmen in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Stakeholdern die folgenden Aspekte vertieft analysiert werden:

- Mit der Einführung einer Verwertungs-/Behandlungspflicht für Materialien der Typs B muss eine Positivliste mit Materialien erstellt werden (vgl. Abbildung 8), in der die Materialien aufgeführt sind, welche weiterhin direkt von der Baustelle auf die Deponien des Typs B geführt werden dürfen.
- Zur Sicherstellung der Umsetzbar- und Überprüfbarkeit der Verwertungs-/Behandlungspflicht sollten allenfalls Anlagenklassen definiert werden. Darin würde festgehalten, welche Aufbereitungsanlage, welche Materialkategorien nach dem Stand der Technik annehmen und aufbereiten kann. Somit wäre klar definiert, welche Materialkategorien über welche Aufbereitungsanlagen aufbereitet werden können. Die genaue Definition einer solchen Anlagenklassierung sowie der Klassierung selber müsste in Zusammenarbeit mit den Anlagenbetreiber*innen erfolgen.
- Die Zementwerke verfügen heute teilweise noch nicht über die erforderlichen Kapazitäten, um das zusätzlich anfallende Material in ihren Werken einzusetzen. In Zusammenarbeit mit den Zementwerken sollten deshalb die künftig zu erwartenden Mengen abgeschätzt (aus den Szenarienrechnung resultieren zusätzliche Materialströme in die Zementwerke, welche sich im Bereich von 22'000 – 112'000 t/a bewegen) und Materialqualitäten definiert werden, damit die entsprechenden Kapazitäten seitens der Zementindustrie innert nützlicher Frist zur Verfügung gestellt werden können.
- Mit dem Einbezug von Boden in die Behandlungsregel für Aushub- und Ausbruchmaterial könnte das vorhandene Potential besser ausgeschöpft werden. Dazu braucht es jedoch weitere Abklärungen zur Umsetzbarkeit. Die Zusammenarbeit mit der FaBo ist dabei von zentraler Bedeutung.

Mit der Umsetzung der hier präsentierten Massnahmen kann das Deponievolumen künftig nennenswert reduziert werden. Der Einbezug der Stakeholder in diesen Prozess ist von entscheidender Bedeutung, denn nur wenn sämtliche Verwertungs- und Entsorgungspfade offenstehen bzw. genügend Kapazitäten zur Verfügung gestellt werden, können die brachliegenden Verwertungspotentiale vollständig ausgeschöpft werden.

Falls diese Vorhaben nicht gelingen sollten, ist die Einführung einer Lenkungsabgabe auf Deponiegüter ein weiteres Element, um die Materialflüsse in die gewünschte Richtung zu führen. Entsprechende Rahmenbedingungen zur Einführung einer solchen Abgabe sind bereits frühzeitig zu prüfen. Der Austausch mit den Akteuren im Rahmen des durchgeführten Workshops zeigte jedoch, dass im Kanton Zürich wohl nicht auf diesen strategischen Ansatz zurückgegriffen werden muss.

7 Literatur

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)*. BAFU.

DEMIS. (2020). *DEMIS*. (Meier und Partner AG, Wasser Informatik Umwelt, Freierstr. 26, 8570 Weinfelden) Von <https://www.mpsecure.ch/xmis12/login.aspx?theme=DEMIS> abgerufen

Kanton Zürich. (2019). *Richtplangentext*. Zürich: Kanton Zürich.

Anhang

A.1 Fragenkatalog Deponiebesichtigungen

Fragenkatalog für Gespräche mit Deponiebetreibern

Deponietypen: ...

Gesprächsdauer: ca. 90-120 Minuten inklusive Begehung und Fotodokumentation Deponien

Ablauf:

1. Begrüssung und Vorstellen des Projekts
2. Besprechung der detaillierten Excellisten bzw. der Angabe nach den einzelnen VeVA-Materialkategorien
3. Fragen zur Thematik
4. Besprechung bzw. Erläuterung des weiteren Vorgehens → Geplanter Workshop erwähnen

Fragen Allgemein:

1. Werden bereits heute Materialien auf der Deponie aufbereitet?
2. Wenn ja, werden die aufbereiteten Produkte einer externen Verwertung zugeführt?
3. Gibt es starke Vermischungen bei den ausgewiesenen Materialkategorien mit anderen Materialien? Wenn ja, bei welchen?
4. Könnte mehr Material in den Behandlungsanlagen verwertet werden, wenn die Materialtrennung auf der Baustelle besser ausgeführt würde? Wenn ja, bei welchen Materialkategorien müsste die Materialtrennung verbessert werden?
5. Gibt es Materialien, welche sich noch aufbereiten liessen und welche Materialien würden sich dabei Ihrer Meinung nach für eine Aufbereitung eignen? Welche Anteile könnten noch verwertet werden?
6. Wie hoch schätzen Sie das Verwertungspotential der Materialien, welche auf Ihre Deponie kommen? Nach einer Aufbereitung oder direkt
7. Verfügen Sie auf der Deponie über irgendwelche Aufbereitungsanlagen? Wenn ja, über welche und welche Materialkategorien werden damit aufbereitet? (z.B. mobile Brecher)
8. Welche Aufbereitungstechnologien müssten die Deponiebetreiber bzw. externe Aufbereiter zur Verfügung haben, damit die Verwertungsquote erhöht werden könnte?
9. Werden Gipsabfälle abgelagert? In welchen Materialkategorien sind Ihres Erachtens die meisten Gipsabfälle enthalten?
10. Müssten Gipsabfälle bereits auf der Baustelle getrennt gesammelt werden?
11. Sehen Sie bei der Ablagerung von Gipsabfällen Probleme für die Deponie (z.B. hohe Sulfatkonzentration im Sickerwasser)?
12. Wie stehen Sie zu einem Ablagerungsverbot von verwertbaren Gipsabfällen? Vor- und Nachteil?
13. Wird Ausbaupasphalt in der Deponie abgelagert? In welcher Form wird dieser abgelagert (in Stücken oder allenfalls auch als Granulate, weil zu viel Überschuss aus der Aufbereitung)?
14. Wie stehen Sie zu einem Ablagerungsverbot von Ausbaupasphalt?
15. Wie schätzen Sie die Qualität der abgelagerten Aushubfraktion ein? Gibt es kiesigen Aushub? Gibt es Aushub mit einem Feinanteil (<0.063mm) von maximal 30%?
16. Wie hoch schätzen Sie den verwertbaren Anteil beim abgelagerten Aushub?
17. Wie findet die Unterscheidung zwischen schwach (17 05 94) und wenig verschmutztem Aushubmaterial statt (17 05 97)? Auf der Baustelle durch den Altlastenberater?
18. Erhält der Deponiebetreiber die Analysen?
19. Wenn nicht, dann ist es möglich, dass auch schwach verschmutzter Aushub als wenig verschmutzter Aushub deklariert wird. Fragen ob das der Fall sein könnte.
20. Gibt es einen Preisunterschied zwischen diesen beiden Materialkategorien?
21. Mit welchen Problemen wären Sie konfrontiert, wenn aufgrund einer effizienteren Verwertung weniger Material angeliefert würde?
22. Wären Sie auch bereit, in geeignete Aufbereitungsanlagen zu investieren, um mehr Material einer Verwertung zuführen zu können?
23. Können wir Sie bei weiteren Fragen nochmals kontaktieren?

A.2 Fragenkatalog Besichtigung Aufbereitungsanlagen (Bodenwaschanlage)

Fragenkatalog für Gespräche mit Anlagebetreibern (Bodenwaschanlage)

Gesprächsdauer: ca. 90-120 Minuten inklusive Begehung und Fotodokumentation

Ablauf:

1. Begrüssung und Vorstellen des Projekts
2. Fragen zur Thematik
3. Besprechung bzw. Erläuterung des weiteren Vorgehens

Fragen Allgemein:

1. Welche Rückbaumaterialien nehmen Sie auf Ihrer Aufbereitungsanlage an?
2. Hat sich die Nachfrage nach Ihren RC-Produkten in den vergangenen Jahren verändert? Falls ja, was könnten Gründe dafür sein?
3. Deponieren Sie einen Teil der angelieferten Rückbaumaterialien?
 - a. Wenn ja, was sind die Gründe für die Deponierung (keine Absatzmöglichkeiten, zu viele Fremdstoffe, usw.)?
 - b. Auf welchen Deponietyp werden sie deponiert?
4. Haben Sie Schwierigkeiten beim Absatz der Produkte? Wenn ja, bei welchen Produkten und was könnten Gründe dafür sein?
5. Welche Herausforderungen sehen Sie in den kommenden Jahren in Bezug auf die Annahme von Rückbaustoffen und den Absatz der RC-Produkte?
6. Kennen Sie Projekte, in denen der Einsatz von RC-Baustoffen bzw. RC-Beton explizit gefordert wurde? Wie hoch ist der Anteil dieser Projekte? Öffentliche oder private Projekte?
7. Welche Massnahmen oder Rahmenbedingungen müssten vorliegen, um den Absatz der RC-Produkte auch künftig zu gewährleisten? Welche Herausforderungen sehen Sie?
8. Gibt es Materialkategorien, wo Sie noch mehr Verwertungs-/Aufbereitungspotential sehen (Beispielsweise bei den gemischten Bauabfällen, Ober- und Unterboden oder Aushubmaterial)?
9. Was bräuchte es, um dieses Potential zu erhöhen (Bessere Trennung auf der Baustelle, etc.)?
10. Was sind die Anforderungen bei den Materialkategorien wenig und schwach verschmutzter Ober- und Unterboden sowie wenig und schwach belastetes Aushubmaterial, damit sie aufbereitet werden können (Feinanteil, etc.)?
11. Sehen Sie Probleme, falls in Zukunft mehr Material (es handelt sich dabei vor allem um schwach und wenig verschmutzten Boden und Aushub, sowie die gemischten Bauabfälle), welches heute noch direkt auf eine Deponie geht, zuerst auf eine Aufbereitung kommen würde, bevor es abgelagert wird (Kapazität, Absatzmarkt, etc.)?
12. Hätten Sie auf Ihrer Aufbereitungsanlage genügend Kapazitäten, falls in Zukunft mehr Material angeliefert werden würde?
13. Könnten in Ihren Anlagen zusätzlich schwach und wenig verschmutzter Aushub und Boden behandelt/aufbereitet werden?
 - a. Wenn ja: Welche Kriterien müssten erfüllt werden?
 - b. Welche Mengen könnten in etwa von jeder Fraktion zusätzlich zum heutigen Stand behandelt/aufbereitet werden?
 - c. Welche Produkte müssten nach der Behandlung in welche Deponien oder weitere Behandlungsverfahren? Welche Anteile könnten verwertet werden? In welche Produkte gelangen die verwertbaren Anteile?
14. Wie sehen Sie eine Beschränkung der Ablagerung von Materialien, welche heute in Deponien des Typs E evtl. aus Typ B gehen? Künftig könnte gefordert werden, dass ein Grossteil der Materialien zuerst über eine Aufbereitungs- bzw. Behandlungsanlage gehen müssen, bevor

diese abgelagert werden dürfen. Es gäbe vermutlich eine Positivliste von Materialien, die ohne Aufbereitung in die Deponien geführte werden dürften, z.B. asbesthaltige Materialien, Fliesen, Verputz usw. sonstige gemischte Bauabfälle 17 09 04 gingen über Anlagen. Wie würde sich dies auf den Betrieb auswirken? Ergäben sich dadurch neue Geschäftschancen für den Betrieb? Wenn ja, welche?

15. Welche Materialien dürften Ihrer Meinung nach direkt auf die Deponie Typ E gehen?
16. Welche Materialien dürften Ihrer Meinung nach direkt auf die Deponie Typ B gehen?
17. Wie sehen Sie eine Änderung der Handhabung der Verwertungsregel von 50/50 (50% Verwertung und 50% Deponie), sodass die Trennung nicht mehr auf der Baustelle stattfinden würde, sondern beispielsweise auf einem Recyclingplatz? Könnte dadurch mehr gutes Material von hoher Qualität einer Verwertung zugeführt werden?

A.3 Fragenkatalog Besichtigung Aufbereitungsanlage (BSSA)

Fragenkatalog für Gespräche mit Anlagebetreibern (Bausperrgutsortieranlage)

Gesprächsdauer: ca. 90-120 Minuten inklusive Begehung und Fotodokumentation

Ablauf:

1. Begrüßung und Vorstellen des Projekts
2. Fragen zur Thematik
3. Besprechung bzw. Erläuterung des weiteren Vorgehens

Fragen Allgemein:

1. Welche Rückbaumaterialien nehmen Sie auf Ihrer Aufbereitungsanlage an?
2. Hat sich die Nachfrage nach Ihren RC-Produkten in den vergangenen Jahren verändert? Falls ja, was könnten Gründe dafür sein?
3. Deponieren Sie einen Teil der angelieferten Rückbaumaterialien?
 - a. Wenn ja, was sind die Gründe für die Deponierung (keine Absatzmöglichkeiten, zu viele Fremdstoffe, usw.)?
 - b. Auf welchen Deponietyp werden sie deponiert?
4. Haben Sie Schwierigkeiten beim Absatz der Produkte? Wenn ja, bei welchen Produkten und was könnten Gründe dafür sein?
5. Welche Herausforderungen sehen Sie in den kommenden Jahren in Bezug auf die Annahme von Rückbaustoffen und den Absatz der RC-Produkte?
6. Kennen Sie Projekte, in denen der Einsatz von RC-Baustoffen bzw. RC-Beton explizit gefordert wurde? Wie hoch ist der Anteil dieser Projekte? Öffentliche oder private Projekte?
7. Welche Massnahmen oder Rahmenbedingungen müssten vorliegen, um den Absatz der RC-Produkte auch künftig zu gewährleisten? Welche Herausforderungen sehen Sie?
8. Gibt es Materialkategorien, wo Sie noch mehr Verwertungs-/Aufbereitungspotential sehen?
9. Was bräuchte es, um dieses Potential zu erhöhen (Bessere Trennung auf der Baustelle, etc.)?
10. Was sind die Anforderungen bei den Materialkategorien, welche Sie annehmen?
11. Sehen Sie Probleme, falls in Zukunft mehr Material, welches heute noch direkt auf eine Deponie geht, zuerst auf eine Aufbereitung kommen würde, bevor es abgelagert wird (Kapazität, Absatzmarkt, etc.)?
12. Hätten Sie auf Ihrer Aufbereitungsanlage genügend Kapazitäten, falls in Zukunft mehr Material angeliefert werden würde?
13. Wie sehen Sie eine Beschränkung der Ablagerung von Materialien, welche heute in Deponien des Typs E evtl. aus Typ B gehen? Künftig könnte gefordert werden, dass ein Grossteil der Materialien zuerst über eine Aufbereitungs- bzw. Behandlungsanlage gehen müssen, bevor diese abgelagert werden dürfen. Es gäbe vermutlich eine Positivliste von Materialien, die ohne Aufbereitung in die Deponien geführte werden dürften, z.B. asbesthaltige Materialien, Fliesen, Verputz usw. sowie sonstige gemischte Bauabfälle 17 09 04 gingen über Anlagen. Wie würde sich dies auf den Betrieb auswirken? Ergäben sich dadurch neue Geschäftschancen für den Betrieb? Wenn ja, welche?
14. Welche Materialien dürften Ihrer Meinung nach direkt auf die Deponie Typ E gehen?
15. Welche Materialien dürften Ihrer Meinung nach direkt auf die Deponie Typ B gehen?
16. Wie sehen Sie eine Änderung in der Handhabung der Verwertungsregel von 50/50 (50% Verwertung und 50% Deponie), sodass die Trennung nicht mehr auf der Baustelle stattfinden würde, sondern beispielsweise auf einem Recyclingplatz? Könnte dadurch mehr Material von guter Qualität aufbereitet werden anstelle einer Deponierung?

A.4 Strategische Ansätze (inkl. Notizen aus dem Workshop)

1. Strategischer Ansatz				
Verwertungs-/Behandlungspflicht für Materialien, welche heute in Deponien des Typs B geführt werden.				
Nr.	Massnahmen	Inhalte	Ziele	Bemerkungen
1.1	Einführung einer Verwertungs-/Behandlungspflicht.	Es wird eine Positiv-/Negativliste eingeführt zur Steuerung der Materialflüsse in die Deponien des Typs B.	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion deponiertes Volumen. - Erhöhung der Verwertungsquoten. 	Damit könnte allenfalls auf eine Lenkungsabgabe verzichtet werden. Massnahme ermöglicht effiziente Steuerung der Materialflüsse.

Nr.	Fragen	Bemerkungen	Vor-/Nachteile	Problematik/Herausforderungen
1.	Was halten Sie von dieser Massnahme?	positiv	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung "Positivliste" schwierig - Weitere Transportwege - Kein Strukturmaterial für Deponie 	<ul style="list-style-type: none"> - SdT materialspezifisch definieren - "Kantonsgrenze" - Welche Materialien wie aufbereiten?
2.	Was ist sinnvoll: -Positiv- und Negativliste -Nur Positivliste -Nur Negativliste	Eher Positivliste		<ul style="list-style-type: none"> - Vollzug auf der Baustelle → Baustellen ohne Fachberater
3.	Welche Materialien/Materialkategorien sollen auf einer Positivliste erscheinen (dürfen direkt auf Deponie)?	<ul style="list-style-type: none"> - "Anlagen als Positivanlagen" - Gemäss Präsentation - Evtl. Boden 		<ul style="list-style-type: none"> - Bessere Trennung auf der Baustelle - (Kleine Rück-/Umbauten) → nur "sortenreine" Abfälle in Deponie, gemischte → Aufbereitung
4.	Mit welchen Mehr kosten ist mit der Einführung der Massnahme zu rechnen? -Bei Aushub: -Bei Boden: -Bei gem. Bauabfällen (vorwiegend mineralisch):	<ul style="list-style-type: none"> - T3/B3: 20-25 Fr./t - T2/B2: 0-10 Fr./t - T4/B4: 50-60 Fr./t - Boden: 60 Fr./t - Gem. Bauabfälle (mineralische Anteile) ohne Vorsortierung: 40 Fr./t 	Problem Boden: Umweltnutzen? Organische Anteile...	Andere Massnahmen nötig → Wiederverwendung etc. Koordination mit Bodenschutz (Flächen/Bewirtschaftung etc.)
5.	Welche Aufbereitungs- bzw. Behandlungskapazitäten müssten zusätzlich bereitgestellt werden? Reichen die bestehenden Kapazitäten aus?	Kap. vorhanden		<ul style="list-style-type: none"> - Zementwerk ist von grosser Bedeutung (eher knapp) - Absatz RC-Produkte Voraussetzung

2. Strategischer Ansatz:
Maximale Reduktion des Materialflusses in die Deponien des Typs E durch Einführung von zusätzlichen Behandlungsanlagen/-techniken zur Verwertung von Materialien wie FF aus BSSA usw.

Nr.	Massnahmen	Inhalte	Ziele	Bemerkungen
2.1	Einführung von zusätzlichen Behandlungsanlagen/-techniken.	<ul style="list-style-type: none"> - Verwertung von Materialien wie FF aus BSSA auf Deponien bzw. Behandlungsanlagen. - Siehe Zusatztabelle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion deponiertes Volumen Typ E. - Erhöhung der Verwertungsquoten. - Reduktion Nachsorgezeitraum. 	Zusätzlich Schadstoffentfrachtung (v.a. org. Schadstoffe).

Nr.	Fragen	Bemerkungen	Vor-/Nachteile	Problematik/Herausforderungen
1.	Was halten Sie von dieser Massnahme?	Gut aber es gibt Materialien die können nur auf einer Deponie Typ E abgelagert werden	<ul style="list-style-type: none"> - Verschiebung von Typ E zu Typ C und D 	TOC-Grenzwert für Typ C
2.	Diskussion separate Tabelle.	Viele Materialkategorieine mit relativ geringen Mengen.	<ul style="list-style-type: none"> - Keine relevante Mengenreduktion 	Zu kleinvolmig für neue Verwertungstechnologien
3.	Herausforderungen bei der Weitergabe von Fraktionen aus der Behandlung/Aufbereitung an KVAs und Zementwerke	Für die Anlieferung zu einem Zementwerk oder einer KVA muss das Material häufig vorkonditioniert werden	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Preis, Deponie ist meistens der günstigere und deshalb bevorzugte Weg - Im Zementwerk 100% Verwertungsquote 	Häufig macht es vermutlich Sinn das Material in einer Aufbereitungsanlage(z.B. Bodenwaschanlage) zu behandeln und dann den Filterkuchen in einem Zementwerk und die Organik in einer KVA zu entsorgen.
4.	Mit welchen Mehrkosten ist mit der Einführung der Massnahme zu rechnen? -Aushub/Boden: -Schlacke aus Zwischenböden: -FF aus BSSA: usw.:	<ul style="list-style-type: none"> -Aushub/Boden: Differenz Deponie Typ E – Bodenwaschanlage -Schlacke aus Zwischenböden: Differenz Deponie Typ E -KVA -FF aus BSSA: Differenz Deponie Typ E - Zementwerk 		Damit sich das System «selber» regelt müssten <ul style="list-style-type: none"> - Preise für Typ D Deponien teurer sein als KVA-Preise - Typ E-Deponien müssten mind. doppelt so teuer sein wie Typ B-Deponien
5.	Welche Aufbereitungs- bzw. Behandlungskapazitäten müssten zusätzlich bereitgestellt werden? Reichen die bestehenden Kapazitäten aus?	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbau Kapazität Zementwerk - Thermische Verwertung im Inland? (Verwertung im Ausland vermutlich günstiger) 		

3. Strategischer Ansatz:
 Verwertungsregel für Aushub anpassen:
 • Erhöhung der Quote.
 • Ausschöpfen des zusätzlichen Potenzials durch optimiertes Materialmanagement auf den Aufbereitungsplätzen.

Nr.	Massnahmen	Inhalte	Ziele	Bemerkungen
3.1	Verwertungsquote für Aushubmaterial erhöhen: z.B. auf 70%.	Erhöhung VQ von 50% auf ??	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Verwertungsquoten. Reduktion Deponievolumen. 	Berücksichtigung der technischen, ökologischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.
3.2	Optimierung Materialmanagement.	Stärkerer Einbezug der Aufbereiter bei der Erarbeitung von Entsorgungskonzepten.	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Verwertungsquoten. Reduktion Deponievolumen. 	Bodenwaschanlagen können besser beurteilen, welche Aushubmaterialien (s+w Aushub) verwertbar sind.

Nr.	Fragen	Bemerkungen	Vor-/Nachteile	Problematik/Herausforderungen
1.	Was halten Sie von dieser Massnahme?	3.1 → sinnvoll 3.2 → Detaillierte Überlegungen erforderlich	<ul style="list-style-type: none"> 3.2: <ul style="list-style-type: none"> Ungleichbehandlung "kompliziert" 	Umsetzung
2.	Welche Verwertungsquote sollte angestrebt werden, bzw. ist aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht sinnvoll?	70% für T/B >B weiterhin 100%		
3.	Herausforderungen bei der Weitergabe von Fraktionen aus der Behandlung/Aufbereitung an KVAs und Zementwerke.			<ul style="list-style-type: none"> Mehr ins Zementwerk Absatz der Produkte Zu tiefe Primärkiespreise (Grund: Kiesgewinnung zur Schaffung von Volumen für Aushubentsorgung) Vorgaben RC-Anteil im Bau Verwertungsregel auch für Produkte
4.	Mit welchen Mehrkosten ist mit der Einführung der Massnahme zu rechnen? -Aushubwaschanlage: -Entsorgung Zementwerk:	Bei 70% Verwertungsanteil: 10-20% auf Gesamtsumme Entsorgung		
5.	Welche Aufbereitungs- bzw. Behandlungskapazitäten müssten zusätzlich bereitgestellt werden? Reichen die bestehenden Kapazitäten aus?	Anlagenkapazitäten sind grundsätzlich Vorhanden. Problematisch bzw. eine Herausforderung wären die Zwischenlagerkapazitäten bei der Entgegennahme der Materialien.		Eine herausragende Rolle betreffend Kapazitäten haben die Zementwerke

Weitere Ansätze:
 • Lenkungsabgabe für deponierte Materialien in Deponien des Typs B einführen.
 • Einsatzmöglichkeiten von Böden Kat. II erweitern, z.B. vereinfachter Einsatz von Böden Kat. II entlang von Verkehrsträgern (Autobahn- oder Bahnböschungen).

Nr.	Massnahmen	Inhalte	Ziele	Bemerkungen
4.1	Lenkungsabgabe auf Materialien in Deponien des Typs B.		<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Verwertungsquoten. Reduktion Deponievolumen. 	Evtl. in Koordination mit Nachbarkantonen.
4.2	Erweitern Einsatzmöglichkeiten Kat. II Böden.	Z.B. vereinfachter Einsatz von Böden Kat. II entlang von Verkehrsträgern.	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Verwertungsquoten. Reduktion Deponievolumen. 	In Koordination mit FaBo

Nr.	Fragen	Bemerkungen	Vor-/Nachteile	Problematik/Herausforderungen
1.	Was halten Sie von diesen Massnahmen? <ul style="list-style-type: none"> Lenkungsabgabe Erweitern Einsatzmöglichkeiten Böden Kat. II 	<ul style="list-style-type: none"> Teils positive teils negativ Regionale Optimierung Einsatz der Abgabe für Landfillmining 	Falls Abgabe nicht sehr hoch Wenig Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> Umsetzung schwierig Abgabe ↔ Gebühr Besser eine Behandlungspflicht Analog der Rückgewinnung von Mteallen aus KVA-Schlacken
2.	Wie hoch müsste eine Lenkungsabgabe sein, um Wirkung zu erzeugen.	0-50 Fr./t (keine Einigung, bräuchte vertiefte Berechnungen)		
3.	Welche weiteren Einsatzmöglichkeiten sehen Sie beim Boden Kat. II?	<ul style="list-style-type: none"> Problem Vermischungsverbot Zwingender Einsatz auf Baustelle als Boden bei Rekultivierung 		Zusammenarbeit mit FaBo wichtig – zur Verwertung von Boden läuft ein separates Projekt
4.	Braucht es eine (Handels-) Plattform zum Austausch von Kat. II Böden?	Frage wird im separaten Projekt behandelt		

Weitere Ansätze:				
Nr.	Massnahmen	Inhalte	Ziele	Bemerkungen
1	Kontrolle letzte Senke	Controlling auch das Material nicht mehr verwertet werden kann als Pflicht für Deponiebetreiber		
2	Zwischenlager	Mehr Zwischenlagerplätze für verwertbare Materialien und Boden würde die Verwertung vereinfachen		
3	Aufbereitung vor Deponierung auf Deponie	Einfachere Genehmigung von Aufbereitungsanlagen auf Deponien – bis hin zur Aufbereitungspflicht		
4	Gesetzliche Rahmenbedingungen anpassen	Deponierungsverbot Aufbereitung von Materialien welche nicht deponiert werden		
5	SdT konsequenter durchsetzen			
6	Anlagenklassen definieren			100% Verwertung aber Umsetzung schwierig