



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

Abfallwirtschaft

Stand der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut

Ermittlung und Beschreibung

vom 24. Juli 2014 (Stand am 19. August 2016, Version 6)



Impressum

Erstellungs- und Änderungsprotokoll:

Aktuelle Version: Version 6, Stand am 19. August 2016
Änderungen: Bezug zur Abfallverordnung VVEA vom 14. Dezember 2015
Erstversion: Version 1.0: 31. Oktober 2012, (am 24. Juli 2014 publiziert: V5)

Herausgeber:

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Bearbeitung und Berichterstattung:

Dr. Stefan Rubli Energie- und Ressourcen-Management GmbH

Mitglieder der Arbeitsgruppe:

Dr. Elmar Kuhn Sektionsleiter Abfallwirtschaft AWEL
Beat Hürlimann Verantwortlicher Bauabfallanlagen AWEL
Seraina Steinlin Abteilung Lufthygiene AWEL

Konsultation:

Rico Buchli Vorsitzender Kommission Bausperrgut ARV
Prof. Dr. Rainer Bunge UMTEC
Dr. Jürg Liechti Neosys AG
Vertreter BSSA

Titelbild:

Sortierroboter in der Bausperrgutsortierung Baetsen Recycling, Son (NL)

Diese Publikation dient Behörden und Gesuchstellern sowie Verfügungsadressaten bei der Beurteilung der technischen Anforderungen an die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut. Sie dokumentiert die Ermittlung des aktuellen Standes der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut durch die zuständige Behörde im Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Papiers und beschreibt insbesondere die massgeblichen Leistungsindikatoren sowie die verschiedenen dem Umweltrecht entsprechenden aktuell verfügbaren Lösungen. Andere Lösungen sind zulässig, sofern sie den massgeblichen Leistungsindikatoren ebenfalls genügen.

Bei der Ermittlung und Beschreibung des bei der Bausperrgutsortierung anwendbaren Standes der Technik wurden die Vorgaben des vom AWEL im Jahr 2011 publizierten Grundlagenpapiers zur Feststellung und Anwendung des „Standes der Technik“ bei Prozessen der Abfallbehandlung befolgt.

Erfolgt bei der Erteilung von Bewilligungen eine Beurteilung oder Anordnung zum Stand der Technik, so werden im Sinne von § 2 und § 4 des Abfallgesetzes des Kantons Zürich die wirtschaftliche Tragbarkeit im Sinne von Art. 3 Bst. m Ziff. 2 der Abfallverordnung (VVEA) und die Verhältnismässigkeit im Einzelfall der Bewilligung mit berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	4
Zusammenfassung	5
1. Gegenstand der Abklärungen und Betrachtungsperimeter	7
2. Kriterien für die Beurteilung der angewendeten Technik	9
3. Repräsentative Übersicht über die existierenden Lösungen	12
4. Leistungsindikatoren für die Beurteilung der ökologischen Aspekte verschiedener Lösungen, Anlagen und Verfahren	18
5. Bewertung der existierenden Lösungen, Anlagen, Verfahren mit den Leistungsindikatoren	23
6. Bandbreite der besten verfügbaren Lösungen, Anlagen und Verfahren	25
Anhang	27

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungs-Anlage
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BSSA	Bausperrgutsortieranlage
DOC	Dissolved organic carbon (gelöster organisch gebundener Kohlenstoff)
Deponie Typ B	ehemals Inertstoffdeponie (nach revidierter Abfallverordnung TVA)
Deponie Typ E	ehemals Reaktordeponie (nach revidierter Abfallverordnung TVA)
GSchV	Gewässerschutzverordnung
IGH	Industrie, Gewerbe und Haushalte
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
KW-Index	Kohlenwasserstoff-Index
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PET	Polyethylenterephthalat
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
SM	Schwermetalle
SdT	Stand der Technik
TOC	Totaler organische Kohlenstoff
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen

Zusammenfassung

Rechtliche Grundlagen und Anwendung

Gesetzliche Anforderung: § 2 Abs. 3 des zürcherischen Abfallgesetzes verlangt, dass alle Abfallanlagen im Sinne von Art. 26 Abs. 1 VVEA (Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen) nach dem Stand der Technik (SdT) erstellt und betrieben werden. Ziele einer optimalen Abfallbehandlung sind eine möglichst hohe stoffliche Verwertung, die Rohstoff- und Energierückgewinnung sowie die nachsorgefreie Ablagerung der nicht verwertbaren Rückstände. Dazu muss die Technik der Abfallbehandlung kontinuierlich weiterentwickelt werden.

Anwendung: Die präzise Beschreibung, Dokumentation und Veröffentlichung des Standes der Technik für bestimmte Anlagen und Abfallbehandlungen dient den Vollzugsbehörden sowie den Gesuchstellern und Verfügungsadressaten als Entscheidungs- und Planungsgrundlage im Hinblick auf die Errichtung und den Betrieb von Abfallanlagen und die Wahl von Abfallbehandlungen.

Auftrag: Wenn zu einer bestimmten Behandlung die geeigneten Grundlagen noch nicht vorliegen, hat gemäss dem Auftrag des Zürcher Baudirektors (BD-Verfügung Nr. 289/2011 vom 20. Februar 2011) das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) die notwendigen Abklärungen zur Erhebung des Standes der Technik in Auftrag zu geben. Die Anleitung zur Ermittlung und Beschreibung des wirtschaftlich tragbaren Standes der Technik findet sich im Dokument „Feststellung und Anwendung des Standes der Technik bei Prozessen der Abfallbehandlung. Grundlagenpapier für Behandlungsprozesse der Abfallwirtschaft“ des AWEL vom 16. Mai 2011. Der hier dokumentierte Stand der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut wurde gemäss diesem Grundlagenpapier ermittelt.

Ermittlung und Beschreibung des Standes der Technik

Ziel: Bausperrgut ist der Kategorie „gemischte Bauabfälle“ zuzuordnen. Es besteht aus unsortierten Materialien wie Bauschutt, Holz, Metallen, Gips, Glas, Kunststoffen, Verbundstoffen, Karton usw. Die Sortierung in den Bausperrgutsortieranlagen (BSSA) soll möglichst wenig Energie erfordern, die Umwelt möglichst wenig belasten und Sekundärrohstoffe produzieren. Diese substituieren primäre Rohstoffe, die sonst oft über energieintensive Prozesse gewonnen werden müssten. Das verringert die Umweltbelastung. Zudem sollen bei der Sortierung schadstoffhaltige Fraktionen möglichst effizient ausgeschieden und, falls keine weitere Behandlung möglich ist, in entsprechenden Deponien entsorgt werden.

Ermittlung und Beurteilung real existierender Lösungen: Das Bausperrgut wird mit physikalischen Trenn- und Sortierprozessen fraktioniert. Die hierzu genutzten verfahrenstechnischen Komponenten können sich in ihrer Anzahl, Art und Komplexität von Anlage zu Anlage unterscheiden. Für die Ermittlung und Beurteilung real existierender Lösungen wurden zunächst die Materialflüsse in kleinen (Behandlungskapazität <5000 Tonnen/Jahr) und grossen Anlagen (Behandlungskapazität

>5000 Tonnen/Jahr) erhoben und verschiedene Schadstoffgehalte in den mineralischen Fein- und Mittelfractionen bestimmt. Ergänzend dazu wurden Grossanlagen im Ausland besichtigt.

Auf Basis dieser Abklärungen konnten diverse Leistungsindikatoren zur Beurteilung der existierenden Lösungen definiert werden. Im Rahmen einer Evaluation wurden die Indikatoren definiert, mit denen sich der Stand der Technik von BSSA am einfachsten und effizientesten beschreiben lässt. Insgesamt wurden sieben Indikatoren festgelegt.

Ergebnis: Der Vergleich der real existierenden Lösungen zeigt, dass die untersuchten Kleinanlagen generell niedrige Verwertbarkeitsquoten erreichen. Aber auch in Grossanlagen sind die Verwertbarkeitsquoten teilweise gering. In einigen Grossanlagen sind zudem die Schadstoff- und Fremdstoffgehalte in den mineralischen Grob- und Mittelfractionen hoch, was auf eine ungenügende Schad-, Stör- und Fremdstoffentfrachtung¹ in den verwertbaren Fraktionen hindeutet.

Nach dem Stand der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut sind für die massgebenden Indikatoren folgende Vorgaben relevant:

1. Sonderabfälle, Batterien, elektrische und elektronische Geräte werden bei der Anlieferung und Grobsortierung sowie in den Outputfraktion konsequent aussortiert und gesetzeskonform entsorgt.
2. Stückiger Gips und gipshaltige Materialien werden konsequent aus dem angelieferten Bausperrgut und wenn erforderlich aus den Outputfraktionen aussortiert und fachgerecht entsorgt.
3. Die Verwertbarkeitsquote muss in BSSA mit >5000 t/a Behandlungskapazität mindesten 70 % erreichen. BSSA mit <5000 t/a Behandlungskapazität müssen 60 % Verwertbarkeitsquote erreichen.
4. Die Verwertbarkeit der Fraktionen „brennbare Materialien (inkl. Kunststoffe)“, „Metalle“ und „Altholz“ ist gewährleistet.
- 5a. Die mineralischen Grob- und Mittelfractionen, die einer Bauschutttaufbereitungsanlage zugeführt werden, entsprechen dem in der Bauabfallrichtlinie des BAFU definierten Mischabbruch. Der Metallanteil sowie der brennbare Anteil (inkl. Holz) liegt in diesen Fraktionen unter 1 %.
- 5b. Die mineralischen Grob- und Mittelfractionen, die einer Deponie Typ B (ehem. Inertstoffdeponie) zugeführt werden, halten den TOC-Gehalt von 2 % ein. Der Metallanteil liegt in diesen Fraktionen unter 1 %.
6. Die brennbare Fraktion, die einer KVA zugeführt wird, enthält weniger als 30 % mineralische Materialien. Der Gipsanteil liegt unter 5 %.
7. Die Feinfraktion, die in einer Deponie Typ E (ehem. Reaktordeponie) abgelagert wird, enthält weniger als 5 % TOC.

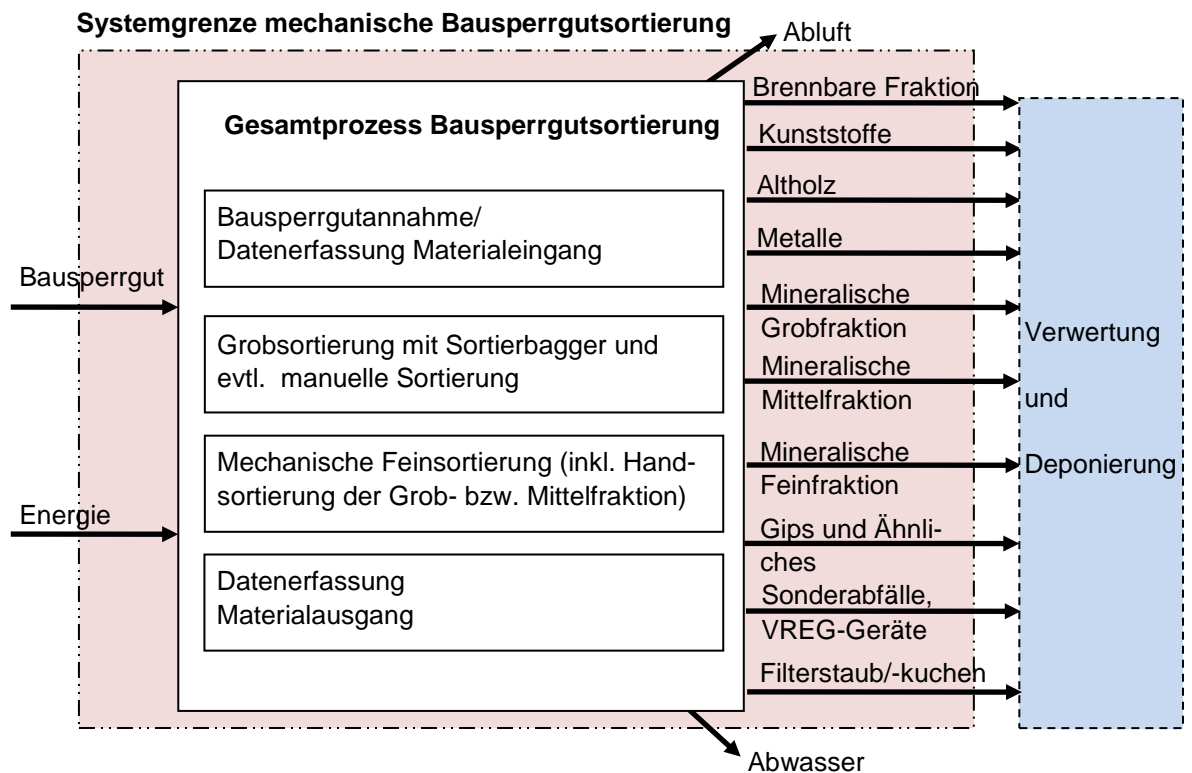
¹ Schadstoffe: Schwermetalle, PAK, DOC usw./ Störstoffe: Glas, Gips und andere mineralische Stoffe, die nicht der Definition „mineralische Bauabfälle“ der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle, BAFU 2006 (BAR) entsprechen/ Fremdstoffe: PET, Textilien, Holz

1. Gegenstand der Abklärungen und Betrachtungsperimeter

Gesamtsystembetrachtung

Bausperrgut ist der Kategorie der „gemischten Bauabfälle“ zuzuordnen. Gemäss der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) vom 22. Juni 2005 handelt es sich um unsortierte Bauabfälle (Bauschutt) vermischt mit verschiedenen Materialien wie Holz, Metalle, Kunststoffe, jedoch ohne Sonderabfälle. Sollten dennoch Sonderabfälle, Batterien, elektrische oder elektronische Geräte im Bausperrgut enthalten sein, müssen diese abgetrennt und den entsprechenden Entsorgungswegen zugeführt werden. In Bausperrgutsortieranlagen (BSSA) wird neben Bausperrgut oft auch Sperrgut aus Industrie, Gewerbe und Haushalten (IGH) behandelt. Im Folgenden wird deshalb davon ausgegangen, dass das Sperrgut aus IGH im Begriff „Bausperrgut“ mit einbezogen ist. Die vorliegende Beschreibung des Standes der Technik bezieht sich auf die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut, wie sie in BSSA durchgeführt wird. Darunter versteht man die Aufbereitung von Bausperrgut zu verwertbaren Produkten oder zu Fraktionen, die umweltverträglich entsorgt werden können (Abbildung 1).

Abbildung 1
Schematische Darstellung des Systems „Bausperrgutsortieranlage - BSSA“ mit den wichtigsten Teilprozessen sowie den relevanten In- und Outputströmen und den externen Zielprozessen „Verwertung“ und „Deponierung“



Perimetergrenzen verfahrenstechnisch

Die Perimetergrenzen orientieren sich an der Systemgrenze wie sie in Abbildung 1 angegeben ist. Die Betrachtung umfasst die gesamte BSSA, bestehend aus der Annahme und Erfassung, der Separierung von Sonderabfällen, Batterien, elektrischen und elektronischen Geräten usw. Dazu gehören auch die Grobsortierung, die mechanische Feinsortierung inklusive der damit verbundenen manuellen Sortierung, die Zwischenlagerung und Erfassung der Outputflüsse. Bilanziert wird aufgrund der Input- und Outputflüsse. Dies bedingt eine vollständige Erfassung dieser Materialflüsse.

Perimetergrenzen geografisch

Der SdT ist grundsätzlich unabhängig vom Standort anwendbar. Er kann somit auch auf Anlagen ausserhalb des Kantons Zürich übertragen werden.

Was steht am Eingang des Betrachtungsperimeters (Input)?

	Inputfraktionen	Mögliche Herkunftsprozesse
1	Bausperrgut (inkl. Sperrgut aus IGH)	Bauwerk bzw. Baustellen, Sperrgut aus Haushalten (H), Industrie und Gewerbe (I+G)
2	Energie	Elektrizität und Treibstoffe

Was steht am Ausgang des Betrachtungsperimeters (Output)?

	Outputfraktionen	Mögliche Zielprozesse (nicht abschliessend)
1	Brennbares Material	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)
2	Kunststoffe, Papier, Karton	Stoffliche oder thermische Verwertung
3	Holz (Altholz unbelastet/belastet)	Stoffliche oder thermische Verwertung
4	Metalle	Altmetallhandel → Metallrecycling
5	Mineralische Grobfraktion ca. >200 mm	Baustoffrecycling/ Deponie Typ B
6	Mineralische Mittelfraktion ca. 20 – 200 mm	Baustoffrecycling/ Deponie Typ B/ Deponie Typ E
7	Mineralische Feinfraktion ca. <20mm	Baustoffrecycling/ Deponie Typ B/ Deponie Typ E
8	Gips und ähnliche Materialien	Baustoffrecycling/ Deponie Typ B/ Deponie Typ E
9	Sonderabfälle und/oder elektrische und elektronische Geräte	Sonderabfallverwertung/ Recycling von elektrischen und elektronischen Geräten
10	Gereinigte Abluft	Atmosphäre
11	Filterstaub/Filterkuchen	Deponie Typ E, evtl. Zementwerk
12	Abwasser	Abwasserreinigungsanlage (ARA)

2. Kriterien für die Beurteilung der angewendeten Technik

Der Umweltnutzen einer BSSA besteht darin, mit der angewendeten Technik und bei möglichst geringem Energie- und Kostenaufwand sowie geringen Umweltbelastungen Sekundärrohstoffe zu produzieren. Diese substituieren im Wirtschaftskreislauf Rohstoffe, die sonst aus primären Quellen gewonnen werden müssten. Das verringert die Umweltbelastung.

Zur Beurteilung der angewendeten Technik können somit die folgenden Kriterien dienen:

- der spezifische Energieverbrauch
- die Entlastung von Deponieraum
- die Verwertbarkeit der einzelnen Outputfraktionen (d. h. deren „Sauberkeit“)
- die Abreicherung von Schad-, Stör- und Fremdstoffen in den verwertbaren Fraktionen.

Die in den Anlagen entstehenden Rückstände müssen umweltverträglich entsorgt werden². Ferner müssen Schadstoffe soweit technisch möglich und wirtschaftlich tragbar während des Aufbereitungsprozesses ausgeschieden werden, um die Schadstoffeinträge in sekundäre Rohstoffe möglichst gering zu halten (Bericht zum Massnahmenplan Abfall- und Ressourcenwirtschaft 2011 ... 2014, S. 12; AWEL Januar 2011).

Voraussetzung für den Betrieb einer BSSA ist die Erfüllung aller spezifischen Anforderungen des Gesetzes- und Verwaltungsrechts. Aus diesem Grund muss im Rahmen der Abklärung, ob eine BSSA den SdT erfüllt, auch der Nachweis der „legal compliance“ erbracht werden. Dies bedeutet, dass die **Qualität der Abluft und des Abwassers** als weitere mögliche Kriterien zur Beurteilung der angewendeten Technik mit einzubeziehen sind. Gleiches gilt auch für die Bereiche „**Brandschutz**“ und „**Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz**“.

Die in einer BSSA eingesetzten verfahrenstechnischen Komponenten sind in der Art kombiniert und dimensioniert, dass die gesetzlichen und materialtechnischen Vorgaben an die Qualität der Rückstände und der gewonnenen Sekundärrohstoffe gewährleistet sind. Dies gilt während der gesamten Betriebsdauer und unabhängig von der Zusammensetzung des Materialinputs. Werden diese Vorgaben geändert, muss die Verfahrenstechnik entsprechend überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Bei den heutigen BSSA werden ausschliesslich physikalische Trennprozesse eingesetzt. Hierzu gehören etwa: Grobsortierung mit dem Sortierbagger, Siebung, Windsichtung, Handsortierung, Magnetabscheidung und teilweise auch nasse Verfahren, das heisst Wasch- oder Schwimm-Sink-Prozesse. Zur Ermittlung und Beschreibung des SdT werden nicht Kriterien im Bereich der Verfahrenstechnik, sondern solche mit Bezug auf die Qualität und Verwertbarkeit der Outputgüter definiert. Dieser Ansatz lässt den Betreibern von BSSA die Wahl der geeigneten Verfahrenstechnik offen.

² Kantonales Abfallgesetz, § 2, Abs. 2; Umweltschutzgesetz (USG) Art. 30c; Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen Art. 27, Abs. 1

Aus den geschilderten Aspekten und aufgrund von Material- und Stoffflussbetrachtungen lassen sich Kriterien für die Ermittlung des SdT von BSSA ableiten. Es sind dies die Verwertbarkeitsquote und die Schad- und Fremdstoffentfrachtung bei den verwertbaren Fraktionen.

a) Definition Verwertbarkeitsquote

$$\mathbf{VQ_{tot} = (Ma_{F1} \times VQ_{F1} + Ma_{F2} \times VQ_{F2} + Ma_{F3} \times VQ_{F3} + \dots + Ma_{Fx} \times VQ_{Fx})}$$

wobei

VQ_{tot}	=	Totale Verwertbarkeitsquote der BSSA in %
Ma_{F1}	=	Massenanteil der Fraktion 1 am Gesamtoutput (Wertebereich von 0 – 1)
Ma_{F2}	=	Massenanteil der Fraktion 2 am Gesamtoutput (Wertebereich von 0 – 1)
Ma_{F3}	=	Massenanteil der Fraktion 3 am Gesamtoutput (Wertebereich von 0 – 1)
Ma_{Fx}	=	Massenanteil der Fraktion x am Gesamtoutput (Wertebereich von 0 – 1)
VQ_{F1}	=	Verwertbarkeitsquote Fraktion 1 in %
VQ_{F2}	=	Verwertbarkeitsquote Fraktion 2 in %
VQ_{F3}	=	Verwertbarkeitsquote Fraktion 3 in %
VQ_{Fx}	=	Verwertbarkeitsquote Fraktion x in %

Bei der Berechnung der Verwertbarkeitsquote VQ_{tot} sind gewisse Vereinfachungen möglich, um die Komplexität möglichst niedrig zu halten. Das Vorgehen zur Erfassung und Berechnung der Verwertbarkeitsquote ist im Anhang beschrieben.

b) Schad-, Stör- und Fremdstoffentfrachtung

Schadstoffe werden dem Stofffluss durch Absieben und Entsorgen der Feinfraktion in einer Deponie Typ E entzogen. Die Stör- und Fremdstoffentfrachtung erfolgt durch verfahrenstechnische Massnahmen wie Windsichtung, Schwimm-Sink-Verfahren, Magnet- und Buntmetallabscheidung sowie durch Handsortierung oder allenfalls Sortierung mittels Sensoren und Robotern.

Übersicht aller möglichen Kriterien

Neben den beiden genannten Kriterien sind weitere Kriterien von Bedeutung. In Tabelle 1 sind mögliche Kriterien zur Beurteilung der angewendeten Technik in Anlagen mit mechanischer Aufbereitung von Bausperrgut zusammengefasst.

Tabelle 1:

Mögliche Kriterien zur Beurteilung der angewendeten Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut.

Q-Anforderung	Kriterium	Parameter und Dimension
Sortiereffizienz und Qualität der Outputfraktionen	Verwertbarkeitsquote, Entlastung von Deponieraum	<ul style="list-style-type: none"> • Totale Verwertbarkeitsquote in %, berechnet aus dem mit den Massenanteilen gewichteten Mittelwert der jeweiligen Verwertbarkeitsquoten der Outputfraktionen • Anteil der zu deponierenden Fraktionen.
Qualität der Outputfraktionen	Schad- und Fremdstoffentfrachtung	Schad- und Fremdstoffgehalte in den verwertbaren Fraktionen
Energiebedarf mechanische Aufbereitung	Spezifischer Energieverbrauch	Z. B. Primärenergieaufwand in GJ.
Abluft	Emissionen und Immissionen von Luftschadstoffen	Schadstoffemissionen in der Abluft bzw. Immissionen in die Umgebung
Abwasser	<ul style="list-style-type: none"> • Guter Zustand, ordentliche Wartung und gute Dokumentation der Kanalisation • Vorschriftsgemässe Abwasserführung • Einhaltung der Abwassergrenzwerte 	<ul style="list-style-type: none"> • Kanalisationsplan und von einer Fachperson erstellter Zustandsbericht der Kanalisation • Anforderungen an die Einleitung von Abwasser gemäss GSchV
Sicherheit gegen Brände	Installierte Brandschutzvorrichtungen	Auflagen Feuerpolizei und allfällige weitergehende Massnahmen
Sicherheit gegen Unfälle und Schutz vor Berufskrankheiten	<ul style="list-style-type: none"> • SUVA-Konformität • Konzept zum Personen- und Gesundheitsschutz vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> • SUVA-Vorschriften • Schutzvorrichtungen und persönliche Schutzausrüstung (PSA) vorhanden und eingesetzt • Evtl. MAK¹⁾-Wert für Staub eingehalten

¹⁾ MAK: Maximale Arbeitsplatz-Konzentration

3. Repräsentative Übersicht über die existierenden Lösungen

Im Rahmen der Vorabklärungen zur Ermittlung und Beschreibung des Standes der Technik wurden sechs repräsentative BSSA in Kanton Zürich vertieft untersucht. Die Behandlungskapazitäten dieser BSSA bewegen sich in einem sehr breiten Spektrum von rund 1000 bis ca. 50 000 Tonnen pro Jahr. Demensprechend unterscheiden sich die Mechanisierungsgrade der Anlagen in Abhängigkeit von der Anlagegrösse erheblich voneinander, was sich auf die Trenneffizienz auswirken kann.

Die für die Ermittlung des SdT definierten Kriterien müssen grundsätzlich auf alle Anlagen anwendbar sein. Aufgrund der grossen Bandbreite der Anlagekonzepte muss es aber trotzdem möglich sein, dass beispielsweise auch kleinere Anlagen die Kriterien erfüllen können. Durch die Berücksichtigung von unterschiedlichen Zielbereichen der Leistungsindikatoren ist dies grundsätzlich möglich. Deshalb werden für die BSSA zwei grössenabhängige Anlagekategorien definiert: Kategorie 1 mit >5000 t Durchsatz pro Jahr und Kategorie 2 mit < 5000 t/a. Details dazu liefert Tabelle 2.

Tabelle 2:

Unterscheidung in zwei Anlagekategorien.

Anlagekategorie	Beschreibung
Anlagekategorie 1	<p>Behandlungskapazität: >5000 Tonnen pro Jahr</p> <ul style="list-style-type: none"> Grobsortierung mit Sortierbagger Anschliessende mechanische Feinsortierung mit einer beträchtlichen Anzahl verfahrenstechnischer Komponenten <p>oder</p> <ul style="list-style-type: none"> Grobsortierung mit Sortierbagger und Handsortierung Anschliessende mechanische Feinsortierung mit einer geringeren Anzahl an verfahrenstechnischen Komponenten, jedoch mit einer Abscheidung der Feinfraktion Verarbeitung der mineralischen Fraktionen (ohne Feinfraktion) in einer Bauschutttaufbereitungsanlage und Einsatz als Mischgranulate in gebundener Form
Anlagekategorie 2	<p>Behandlungskapazität: <5000 Tonnen pro Jahr</p> <ul style="list-style-type: none"> Grobsortierung mit Sortierbagger Abtrennung der Feinfraktion Heute wird die mineralische Feinfraktion teilweise in Deponien Typ B geführt (gemäss VVEA nicht zulässig) Teilweise wird die mineralische Gesamtfraction nach der Grobsortierung einer grösseren BSSA mit entsprechenden verfahrenstechnischen Komponenten zugeführt

In den folgenden Tabellen werden jeweils die mineralischen Fraktionen Feinfraktion, Mittelfraktion und Grobfraktion aufgeführt. Die Differenzierung dieser Fraktionen hängt auch von der Anlagekategorie (gem. Tabelle 2) ab. Um Missverständnissen vorzubeugen, werden die mineralischen Fraktionen aus BSSA wie folgt definiert:

Mineralische Feinfraktion:	Anlagekategorie 1:	0 – 8 mm
	Anlagekategorie 2:	0 – 20 mm
Mineralische Mittelfraktion:	Anlagekategorie 1:	8 – 200 mm
	Anlagekategorie 2:	20 – 200 mm
Mineralische Grobfraktion:	Anlagekategorie 1:	>200 mm
	Anlagekategorie 2:	>200 mm

Grundsätzlich sind auch andere Trennschnitte möglich. Die aufgeführten Trennschnitte dienen als Richtgrössen, um die untersuchten Anlagen miteinander vergleichen zu können.

Die Erhebungen in sechs repräsentativen Anlagen von unterschiedlicher Grösse sowie die chemischen Analysen der mineralischen Outputfraktionen (Mittel- und Feinfraktionen) erlauben eine gute Übersicht in Bezug auf den Status der BSSA im Kanton Zürich.

In der Tabelle 3 sind die Durchsätze und Anteile der Outputfraktionen in den untersuchten Anlagen, differenziert nach Anlagegrösse, aufgeführt. Die Anteile variieren teilweise stark, was mit den unterschiedlichen Inputzusammensetzungen zu erklären ist. Teilweise sind die Unterschiede aber auch auf die unterschiedlichen Sortiereffizienzen zurückzuführen. Auch in Bezug auf die Qualität der Outputgüter sind Unterschiede feststellbar. Besonders bei den mineralischen Fraktionen sind die Qualitätsunterschiede in Bezug auf die Fremdstoffanteile teilweise erheblich.

Tabelle 3:

Durchsatz und Anteile der Outputfraktionen in Prozent des Gesamtinputs in den untersuchten Anlagen im Kanton Zürich, differenziert nach Anlagegrösse.

	Einheit	BSSA >5000 t/a	BSSA <5000 t/a
Durchsatz	t/a	11 000 – 50 000	1700 – 4400
Anteile im angelieferten Bausperrgut in Massenprozenten			
Brennbare Materialien	%	25 – 42	34 – 40
Altholz	%	6,7 – 8,2	7,9 – 8,0
Metalle	%	2,5 – 5,6	2,9 – 5,0
Mineralische Grobfraktion bzw. Recyclingfraktion	%	3,7 – 27	0 – 12
Mineralische Mittelfraktion	%	30 – 44	0 – 10
Mineralische Feinfraktion ¹⁾	%	0 – 25	37 – 43

¹⁾ Die Feinfraktion in BSSA <5000 t/a enthält auch erhebliche Anteile Mittelfraktion, weil die Feinfraktionen in diesen Anlagen nicht abgesiebt werden.

Die chemischen Analysen der mineralischen Fraktionen zeigen, dass die Grenzwerte für die Ablagerung in Deponien Typ B und für den T-Aushub sowohl bei den Mittelfraktionen als auch bei den Feinfraktionen in Bezug auf die untersuchten Schwermetalle meist deutlich unterschritten wurden. Bei weiteren chemischen Parametern sind Überschreitungen feststellbar (Tabelle 4).

Tabelle 4:

Gemessene Minimal-/Maximalwerte sowie Mediane von ausgewählten chemischen Parametern in den mineralischen Fein- und Mittelfraktionen von verschiedenen BSSA und Vergleich mit den Grenzwerten für Deponie Typ B (B) und tolerierbaren Aushub (T) gemäss BAFU-Aushubrichtlinie. Die markierten Medianwerte liegen über den Grenzwerten für Deponie Typ B (*rosarot*) bzw. T-Aushub (*orange*). KW-Index: Aliphatische Kohlenwasserstoffe C₁₀–C₄₀.

Parameter	Einheit	Grenzwerte		Feinfraktion ²⁾			Mittelfraktion ²⁾		
		B	T	Minimalwert	Maximalwert	Medianwert	Minimalwert	Maximalwert	Medianwert
pH	-			9,28	12,3	11,8	11,3	12,5	11,4
NH₄	mgN/l	0,5		0,13	1,73	0,9	0,42	3,04	0,7
DOC	mg _C /l	20		17	140	82,0	27	55	37,5
TOC	M.-%	2		0,9	3,7	1,8	0,7	2,3	1,2
KW-Ind.	mg/kg	500	250	106	3210	485	1080	95	555
LA¹⁾	M.-%	0,5		2,8	3,4	2,9	n. b.	n. b.	n. b.
PAK	mg/kg	25	15	1,4	192	29,6	1,5	19,9	5,0
PCB	mg/kg	1	0,1	<0,5	0,86	0,41	<0,5	0,42	0,1

1) LA: Löslicher Anteil; ergibt sich aus der Bestimmung des Trockenrückstands im 24-h-Eluat (max. 0, 5 % lösliche Salze im unbehandelten Rückstand, vgl. Anh. 5, Ziff. 2.3). Der lösliche Anteil wurde aus gemahlten Proben bestimmt. Ein Vergleich mit dem Grenzwert ist deshalb nicht zulässig.

2) Während in den grösseren Anlagen der Trennschnitt zwischen der Fein- und Mittelfraktion bei 8 bis 16 mm stattfindet, gibt es in Kleinanlagen oft keine Trennung zwischen der Fein- und Mittelfraktion. Die Feinfraktion liegt dort im Bereich zwischen 0 - 200 µm. Die Werte für die Fein- bzw. Mittelfraktionen beziehen sich deshalb auf unterschiedliche Korngrössen (0 – 8 µm; 0 – 16 µm oder 0 – 200 µm).

Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse aus den Untersuchungen in BSSA im Kanton Zürich zusammengefasst:

A Abtrennung der Feinfraktion und Trenneffizienz:

- Die Trenneffizienz ist vor allem in den Kleinanlagen, aber teilweise auch in den Grossanlagen verbesserungsfähig.
- In einigen Grossanlagen könnte der Anteil der verwertbaren mineralischen Outputfraktionen mit geringem Zusatzaufwand erhöht werden (z. B. durch Siebung oder Optimierung der Windsichtung).

B Qualität der Feinfraktionen:

- Bei den Feinfraktionen werden die Grenzwerte für die Ablagerung in Deponie Typ B vor allem bezüglich DOC, Ammonium sowie den löslichen Anteilen überschritten. Auch die TOC- und PAK-Werte sind teilweise zu hoch.
- In Bezug auf die Schwermetalle werden die Grenzwerte für die Deponie Typ B sowie für den tolerierbaren Aushub (bis auf wenige Ausnahmen) eingehalten.
- Beim PCB und beim KW-Index wird der Grenzwert für die Deponie Typ B unterschritten und derjenige für den tolerierbaren Aushub bis auf eine Ausnahme überschritten.

C Qualität der Mittelfraktion:

- Auch bei den mittleren Fraktionen (20 mm – 200 mm) werden die Grenzwerte für Deponie Typ B beim DOC, KW-Index und beim Ammonium überschritten. Teilweise trifft dies, wenn auch nicht im starken Ausmass, für den TOC und die PCB zu.

Wie in Kapitel 2 erwähnt, wird die Verfahrenstechnik für die Ermittlung und Beschreibung des SdT für Bausperrgutsortieranlagen nicht direkt mit einbezogen. Aus diesem Grund wird hier nicht näher auf die eingesetzte Verfahrenstechnik der bestehenden Anlagen eingegangen.

Bausperrgutsortieranlagen in Holland und Deutschland

Um weitere Grundlagen für die Ermittlung des Standes der Technik zu erhalten, wurden ausgewählte BSSA in Holland und Deutschland besichtigt. Im Vergleich zu den untersuchten Anlagen im Kanton Zürich sind folgende Unterschiede feststellbar:

Anlagegrösse: Die besichtigten Anlagen behandeln zwischen 100 000 und 150 000 Tonnen pro Jahr, was dem 2- bis 3-fachen Durchsatz einer Grossanlage im Kanton Zürich entspricht.

Eingesetzte Verfahrenstechnik: In den Anlagen wurden verschiedene verfahrenstechnische Komponenten in unterschiedlichen Kombinationen eingesetzt. Grundsätzlich handelt es sich um die folgenden Prozesse:

- Mechanische Grob-Vorsortierung mit Greifer
- Shredder
- Spannwellensiebung
- Rüttelsiebung
- Trommelsiebung
- 2- und 3-Weg Windsichtung
- Magnetbandabscheidung
- Buntmetallabscheidung (Wirbelstromtechnik, sensorbasierte Sortiermaschinen)
- Sensorbasierte Sortiermaschinen mit verschiedensten Sensoren
- Sortierroboter
- Flotation (Schwimm-Sink-Verfahren)
- Handauslese

Im Vergleich zu den BSSA in Kanton Zürich unterscheiden sich die Anlagen in Holland und Deutschland bezüglich der verfahrenstechnischen Komponenten bei der Vorzerkleinerung mit einem Shredder und bei der Siebtechnik, mit der sich möglicherweise bessere Sortier- bzw. Trenneffizienzen erreichen lassen. Zudem wird in den Grossanlagen verstärkt mit sensorbasierten Sortiermaschinen und versuchsweise mit Sortierrobotern gearbeitet. Letztere können bei solchen Grossanlagen kostengünstiger sein als die Handsortierung. Ausserdem werden die mineralischen Fraktionen in den Niederlanden meist einem Waschprozess zugeführt. Im Kanton Zürich setzt 2014 nur eine Anlage ein Schwimm-Sink-Verfahren zum Abtrennen der Leichtfraktion aus den mineralischen Fraktionen ein.

Die Betreiber der ausländischen Anlagen konnten keine Angaben zur stofflichen Zusammensetzung der Outputfraktionen machen. Aus diesem Grund ist ein Vergleich bezüglich der Sortiereffizienz bzw. der Qualität der Outputfraktionen mit jener der Outputfraktionen im Kanton Zürich nicht möglich. Ein weiterer Unterschied zu den BSSA im Kanton Zürich besteht darin, dass sowohl das angelieferte Bausperrgut als auch die Outputfraktionen konsequent verwogen werden.

Im Brandschutz und der Staubbekämpfungen werden wirksame Konzepte umgesetzt. So werden die in den Maschinen und bei den Übergabestellen entstehenden Stäube

oft abgesaugt. Hingegen wird entstehender Staub nur teilweise mit Wasser gebunden.

Zusammenfassend lassen sich bezüglich der ausländischen Anlagen folgenden Schlüsse ziehen:

- In Holland und Deutschland ist die Tendenz zu beobachten, dass das anfallende Bausperrgut in Grossanlagen sortiert wird. Grund dafür sind starke Anreize infolge der Förderung erneuerbarer Energien (Separierung von Altholz und Ersatzbrennstoffen (EBS)), finanzielle Unterstützung der stofflichen Verwertung durch die Hersteller (z.B. Grüner Punkt). Allenfalls wirken auch strenge gesetzliche Rahmenbedingungen in der Abfallwirtschaft dieser Länder unterstützend.
- Als Folge der Anlagengrössen wird komplexere Verfahrenstechnik eingesetzt. Dies senkt die Betriebskosten in einem Mass, dass Kleinanlagen kaum mehr konkurrenzfähig sind.
- Es fehlen Informationen zur Qualität der Outputfraktionen der ausländischen BSSA. Nicht bekannt sind zudem die Auswirkungen der Anreize für die Produktion erneuerbarer Energien in den beiden Ländern. Diese spezifischen Rahmenbedingungen führen zu unterschiedlicher Praxis und Leistungen (Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit). Aus diesen Gründen können die Sortierprozesse der beiden Länder nur rudimentär in den vorliegenden Betrachtungen berücksichtigt werden.

4. Leistungsindikatoren für die Beurteilung der ökologischen Aspekte verschiedener Lösungen, Anlagen und Verfahren

Die Rahmenbedingungen sind für jede Anlage verschieden, so dass jede mit spezifischen technischen Konzepten die für sie beste Lösung zu erreichen versucht. So gibt es beispielsweise Unternehmen, die zusätzlich eine Bauschutttaufbereitungsanlage betreiben, in der sich die nach der Grobsortierung und Absiebung der Feinfraktion verbleibende mineralische Fraktion aufbereiten lässt. Schon aus diesen Gründen wird auf die detaillierte Beurteilung der ökologischen Performance bestimmter Anlagen, basierend auf der eingesetzten Verfahrenstechnik, verzichtet.

Abgeleitet aus den in den Kapiteln 1 bis 3 geschilderten Erkenntnissen werden die folgenden Indikatoren zur Beurteilung der ökologischen Leistungsfähigkeit von BSSA und damit zur Bemessung des Standes der Technik zur mechanischen Aufbereitung von Bausperrgut vorgeschlagen:

1. Die korrekte **Ausscheidung, Separierung und Entsorgung von Sonderabfällen, Batterien, elektrischen und elektronischen Geräten** beim Input und wenn vorhanden aus den Outputfraktionen.
2. Die **Aussortierung von stückigem Gips und gipshaltigen Materialien** aus dem Inputgut und soweit erforderlich aus den mineralischen Grob- und Mittelfraktionen.
3. Die **Verwertbarkeitsquote VQ_{tot}** gemäss Kapitel 2 bzw. Anhang.
4. Die Verwertbarkeit, d.h. die Akzeptanz der Abnehmer der Fraktionen brennbare Materialien (inkl. Kunststoffe), Metalle, Altholz und Gips.
5. Die **Schad-, Stör- und Fremdstoffentfrachtung** in den mineralischen Grob- und Mittelfraktionen.
6. Die **Fremdstoffentfrachtung** in der brennbaren Fraktion.

Begründung der vorgeschlagenen Bandbreite der Leistungsindikatoren

Indikator 1: Ausscheidung, Separierung und Entsorgung von Sonderabfällen, Batterien, elektrischen und elektronischen Geräten.

BSSA dürfen keine Sonderabfälle, elektrische und elektronische Geräte oder Batterien usw. annehmen. Trotzdem kommt es immer wieder vor, dass das angelieferte Bausperrgut derartige Abfälle enthält. Es muss deshalb gewährleistet werden, dass bei der Anlieferung und Grobsortierung die aufgeführten Fraktionen separiert und fachgerecht entsorgt werden. Falls dennoch Teile dieser Fraktionen in die Outputgüter gelangen sollten, müssen diese ebenfalls ausgeschieden werden. Nur so ist ein gesetzeskonformer Betrieb möglich.

Indikator 2: Aussortierung von Gips

Gips ist ein unerwünschter Fremdstoff in sämtlichen Outputfraktionen. Deshalb ist es wichtig, dass der Gips bzw. gipshaltige Materialien (z. B. Gipskartonplatten) bereits bei der Anlieferung bzw. Grobsortierung konsequent aussortiert werden. Falls erforderlich, soll eine weitere Ausscheidung von Gips in den verschiedenen Outputfraktionen vorgesehen werden, so dass diese tatsächlich einer Verwertung zugeführt werden können. Bei den meisten Anlagebetreibern besteht bei der Aussortierung von Gips Optimierungsbedarf. Zurzeit stehen kaum Verwertungsmöglichkeiten für Abbruchgips zur Verfügung, womit für die Betreiber kein Anreiz besteht, Gips im grösseren Ausmass zu separieren. Um eine gute Qualität zu gewährleisten, ist die konsequente Aussortierung auch dann sinnvoll, wenn die Gipsfraktion deponiert werden muss.

Indikator 3: Verwertbarkeitsquote VQ_{tot}

Wie in Tabelle 3 erwähnt, kann die Zusammensetzung des Bausperrgutes relativ stark variieren. So liegt der brennbare Anteil, der in die KVA geführt wird, zwischen 25 % und 42 % des zu sortierenden Bausperrguts. Der Anteil der Feinfraktion liegt bei BSSA mit >5000 t/a Behandlungskapazität im Bereich von 0 – 25 % und bei BSSA <5000 t/a bei 37 – 43 %. Der Anteil der restlichen mineralischen Fraktionen (Grob- und Mittelfraktion) bewegt sich im Bereich von 23 – 48 %. Wird nun davon ausgegangen, dass ein relativ grosser Teil der mineralischen Mittelfraktion bei guter Qualität der Verwertung (Bauschuttzubereitungsanlage) zugeführt werden kann, dann ist eine Verwertbarkeitsquote von über 70 % in grossen Anlagen und 60 % in kleinen Anlagen erreichbar. Die geringere Quote bei kleineren Anlagen lässt sich folgendermassen begründen: In kleinen Anlagen wird eine Absiebung bei 20 mm vorgeschlagen, damit die Fremdstoffe in der mineralischen Fraktion >20 mm überhaupt von Hand aussortiert werden können (siehe dazu ergänzende Erläuterungen im Anhang). Die Absiebung bei 20 mm führt somit zu einer grösseren Menge bzw. zu einem höheren Anteil an Feinfraktion.

Indikator 4: Verwertbarkeit, d. h. die Akzeptanz seitens der Abnehmer der verwertbaren Fraktionen „brennbare Materialien (inkl. Kunststoffe)“, „Metalle“ und „Altholz“

Eine hohe Verwertbarkeitsquote lässt sich nur erreichen, wenn die Produkte den von Abnehmern verlangten Qualitätsanforderungen entsprechen. Bezüglich der Fraktionen „brennbare Materialien (inkl. Kunststoffe)“, „Metalle“ und „Altholz“ bedeutete dies, dass diese möglichst geringe Anteile an Fremdstoffen aufweisen müssen. Andernfalls ist die Verwertung nicht möglich und sind die anzustrebenden Verwertbarkeitsquoten nicht erreichbar. Deshalb muss die Verwertbarkeit, d. h. die Akzeptanz der Abnehmer der hier diskutierten Fraktionen grundsätzlich gewährleistet sein.

Indikator 5: Schad-, Stör- und Fremdstoffentfrachtung mineralische Grob- und Mittelfraktion

- a) Bei Verwertung: Um eine hohe Verwertbarkeitsquote zu erreichen, muss ein relativ grosser Teil der mineralischen Grob- und Mittelfraktionen in der Art aufbereitet werden, dass diese einer Bauschutttaufbereitungsanlage zugeführt werden können. Um dies zu gewährleisten, dürfen die Stör- und Fremdstoffeinträge nicht zu hoch sein. Für die Begrenzung der Störstoffeinträge müssen die Fraktionen dem in der Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle (BAFU) definierten Mischabbruch (Seite 12 der Richtlinie) entsprechen.

Eisenhaltige Metalle sowie Altholz und brennbare Fraktionen werden in den Bauschutttaufbereitungsanlagen meist mittels Magnetabscheidern bzw. Windsichtung ausgeschieden. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, dass der Metallanteil sowie der Anteil an brennbaren Materialien (inkl. Altholz) in der mineralischen Grob- und Mittelfraktion unter 1 % liegen sollen. Für Gips wird kein Minimalanteil vorgegeben, weil dieser Bereich mittels den unter Indikator 2 beschriebenen Massnahmen und Anforderungen bereits ausreichend abgedeckt ist.

- b) Bei Deponierung: Wird die mineralische Grob- oder Mittelfraktion deponiert, gelten die Vorgaben der VVEA. Das Material kann grundsätzlich in Deponie Typ B deponiert werden. Durch die Vorlage von Belegen soll gewährleistet werden, dass die I-Werte eingehalten werden und dass nur geringste Mengen an organischen Schadstoffen ins Sickerwasser gelangen. Deshalb darf der TOC-Gehalt bei maximal 2 % liegen. Als Indikatoren werden für den Bereich „Schadstoffe“ der TOC-Gehalt und für den Bereich „Fremdstoffe“ der Metallanteil vorgeschlagen.

Indikator 6: Mineralischer Anteil und Gipsanteil in der brennbaren Fraktion

Wie bereits unter Indikator 4 beschrieben, ist die Akzeptanz im Markt für die verwertbaren Outputfraktionen ein wichtiges Kriterium. Die brennbare Fraktion, die in die KVA gelangt, darf nicht zu hohe mineralische Anteile haben, weil es sinnlos ist, mineralische Fraktionen unnötigerweise in einen Verbrennungsprozess zu führen. Zudem darf der Gipsanteil nicht zu hoch sein, weil die während der Verbrennung entstehenden Reaktionsprodukte (SO₂) unter gewissen Verfahrensbedingungen die Rauchgasreinigungssysteme zusätzlich belasten können.

Indikator 7: TOC-Gehalt in der Feinfraktion

Die Feinfraktion des mineralischen Anteils von Bausperrgut muss aufgrund der Schadstoffbelastung in einer Deponie Typ E entsorgt oder behandelt werden. Bei der Entsorgung in einer Deponie Typ E soll der TOC-Gehalt nicht über 5 % liegen.

In der Tabelle 5 sind die Leistungsindikatoren sowie mögliche Wertebereiche für die Beurteilung als „Stand der Technik“ zusammengefasst.

Tabelle 5:
 Leistungsindikatoren für
 die Beurteilung der
 ökologischen Perform-
 ance einer BSSA.

Leistungsindikatoren/ Nachweise	Wertebereich und Vorgaben für „Stand der Technik“	
	Anlagen mit Behand- lungskapazität: > 5000 t/a	Anlagen mit Behand- lungskapazität: < 5000 t/a
Ausscheidung und Separierung von Sonderabfällen, Batterien, elektrischen und elektronischen Geräten beim Input	<i>muss vorhanden sein</i>	
Konsequente Ausscheidung von stückigem Gips und gipshaltigen Materialien aus dem Inputgut und falls notwendig aus den Grob- und Mittelfractionen	<i>muss vorhanden sein</i>	
Verwertbarkeitsquote (VQ _{tot})	VQ_{tot} ≥ 70 %	VQ_{tot} ≥ 60 %
Verwertbarkeit der erzeugten Fraktionen (erfüllen die Kriterien von Abnehmern im Recyclingmarkt)	<i>muss vorhanden sein</i>	
Stör- und Fremdstoffgehalte in der mineralischen Mittel- und Grobfraktion, die in eine Bauschutttaufbereitungsanlage weitergeleitet werden. Störstoffe: Fremdstoffe: Metalle (metallisch vorliegend) Holz, brennbare Materialien (gilt nur für Verwertung)	Mischabbruchzusammensetzung gem. Definition Bauabfallrichtlinie des BAFU <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <1 % <1 % </div>	
Schadstoffgehalt in der mineralischen Grob- und Mittelfraktion, die in eine Deponie Typ B gelangen: Schadstoffe: TOC-Gehalt Fremdstoffe: Metalle (metallisch vorliegend)	 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <2 % <1 % </div>	
Mineralischer Stoffgehalt in der organischen (brennbaren) Fraktion	<i>Mineralisch <30 % Gips <5 %</i>	
TOC-Gehalt in der mineralischen Feinfraktion, die in einer Deponie Typ E abgelagert wird	<i>TOC <5 %</i>	

Kriterien ohne Leistungsindikatoren

Aus den anderen, im Kapitel 2 erwähnten Kriterien werden keine Leistungsindikatoren zur Beurteilung der ökologischen Performance hergeleitet. Dies aus folgenden Gründen:

Entlastung von Deponieraum: Die Entlastung von Deponieraum lässt sich indirekt aus der berechneten Verwertbarkeitsquote ableiten. Aus diesem Grund ist dieses Kriterium bzw. ein entsprechender Leistungsindikator als Bewertungsgrundlage nicht zwingend notwendig.

Spezifischer Energieverbrauch: Dieses Kriterium wäre durchaus interessant für eine gesamtheitliche Beurteilung. Die Erhebungen haben aber gezeigt, dass die Datengrundlagen oft mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, weil die Unternehmen keine diesbezüglichen Erhebungen durchführen. Die alleinige Betrachtung des spezifischen Energieverbrauchs reicht nicht für die Beurteilung hinsichtlich des SdT. Aufgrund des geringen Mechanisierungsgrades hätten beispielsweise Kleinanlagen einen deutlich tieferen spezifischen Energieverbrauch als Grossanlagen. Zudem müsste der Energieverbrauch der Sortiereffizienz und den anderen Parametern gegenübergestellt werden, was eine Gewichtung der einzelnen Leistungsindikatoren bedingen würde. Aus diesem Grund werden zum heutigen Zeitpunkt keine Leistungsindikatoren für dieses Kriterium definiert.

Abluft: Bei der Abluft wird „legal compliance“ vorausgesetzt. Dies gilt auch, falls bei den Ein- und Austragssystemen der Anlage sowie bei Verlade- und Umladeprozessen diffuse Staubemissionen entstehen (Anh. 1 Ziff. 43 LRV).

Abwasser: Grundsätzlich entsteht in den bestehenden Anlagen kein Abwasser, da keine Waschprozesse betrieben werden. Sollten zu einem späteren Zeitpunkt solche Behandlungsverfahren eingeführt werden, müssen zumindest die Einleitbedingungen der GSchV eingehalten werden. Gleiches gilt auch für die Platzentwässerung, falls sie in die Kanalisation eingeleitet wird.

Brandschutz: Es gelten die von den zuständigen Behörden angeordneten Brandschutz-massnahmen.

Arbeitssicherheit/Gesundheitsschutz: Es müssen die von der SUVA vorgeschriebenen bzw. empfohlenen Vorgaben eingehalten werden (vgl. Art. 82 UVG). Beim Bau neuer Anlagen müssen sie zuständigen Stellen beigezogen werden.

5. Bewertung der existierenden Lösungen, Anlagen, Verfahren mit den Leistungsindikatoren

Die existierenden Lösungen aus Kapitel 3 werden anhand der Kriterien (Leistungsindikatoren) aus Kapitel 4 bewertet. Tabelle 6 zeigt das Resultat dieser Bewertung. Die Farbe der Felder zeigt, ob das Verfahren in den Leistungsindikatoren die im Kapitel 4 vorgeschlagenen Wertebereiche für den „Stand der Technik“ erreicht. Grün bedeutet ‚ja‘, rot bedeutet ‚nein‘.

Tabelle 6:
Bewertung der existierenden Lösungen
(n. b. = nicht bestimmt).

Leistungsindikatoren/ Nachweise	Anlagen mit Behandlungskapazität: >5000 t/				Anlagen mit Behandlungskapazität: <5000 t/a	
	1	2	3	4	5	6
Anlagentyp						
Ausscheidung Sonderabfälle usw.	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Aussortierung von stückigem Gips bei Materialeingang und evtl. bei Grob- und Mitelfraktion	OK, optimierbar	OK, optimierbar	OK	OK, optimierbar	OK, optimierbar	OK, optimierbar
Verwertbarkeitsquote	66 %	38 %	97 % (bzw. 72 %) ¹	67 %	53 %	57 %
Verwertbarkeit Fraktionen KVA (inkl. Kunststoffe), Altholz, Metalle	Metalle OK Holz OK KVA OK	Metalle OK Holz OK KVA OK	Metalle OK Holz OK KVA OK	Metalle OK Holz OK KVA OK	Metalle OK Holz OK KVA OK	Metalle OK Holz OK KVA OK
Störstoffe mineralischen Mittel- und Grobfraktionen in Bauschuttzubereitung Mischabbruch gem. Bauabfallrichtlinie	OK, optimierbar	optimierbar	OK	OK, optimierbar	OK, optimierbar	OK, optimierbar

Leistungs- indikatoren/ Nachweise	Anlagen mit Behandlungskapazität:				Anlagen mit Behandlungs- kapazität: <5000 t/a	
	1	2	3	4	5	6
Fremdstoffgehalte mineralische Mittel- und Grobfraktion in Bau- schutttaufbereitung Metallgehalt : <1 % Brennbar/Holz: <1 %	<i>Metalle</i> OK <i>Brenn- bar/ Holz:</i> OK	<i>Me 1,1</i> <i>Brenn- bar/ Holz: 8</i> <i>%</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>
Schadstoffgehalte mineralischen Grob- und Mittelfraktion in Deponie Typ B TOC: <2 %	<i>TOC: 2,3</i> <i>%</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>	OK	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>
Fremdstoffgehalte mineralische Mittel- und Grobfraktion in Deponie Typ B Metallgehalt : <1 %	OK < 1%	1,1 %	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>	<i>n. b.</i>
Gehalt in der brennba- rere Fraktion Mineralisch < 30% Gips < 5%	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TOC-Gehalt in der deponierten minerali- schen Feinfraktion TOC <5 %	OK	OK	OK	OK	OK	OK

1) In dieser Anlage wird/wurde die mineralische Feinfraktion in die Bauschutttaufbereitungsanlage geführt. Dies ist nicht VVEA-Konform. Der Anteil der Feinfraktion bei einer Absiebung bei 8 mm am Bausperrgut liegt bei 20 – 25 %. Bei korrekter Handhabung (Absiebung der Feinfraktion und Entsorgung in Deponie Typ E) würde eine Verwertbarkeitsquote von 72 – 77 % resultieren.

6. Bandbreite der besten verfügbaren Lösungen, Anlagen und Verfahren

Es wird vorausgesetzt, dass die in Gesetz und Verordnung definierten Anforderungen an die Qualität der zu deponierenden Outputfraktionen, die Qualität der Abluft und des Abwasser bei einer Anlage zur Aufbereitung von Bausperrgut eingehalten werden. Zudem wird vorausgesetzt, dass Outputfraktionen von Anlagen Dritter, die nur teilaufbereitete Outputfraktionen von BSSA annehmen (z. B. verbleibende mineralische Fraktion nach der Grobsortierung), ebenfalls den Anforderungen an Outputfraktionen gemäss dem Stand der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut entsprechen. Aufgrund der im Kapitel 4 aufgeführten Indikatoren 1 bis 7 kann der Stand der Technik beschrieben werden. Es wird vorgeschlagen, dass diese Indikatoren in bestimmten Bereichen liegen müssen, damit die Anforderungen des Standes der Technik erfüllt sind. Dabei gilt es zu beachten, dass die Indikatoren nicht gewichtet werden, sondern sämtliche Kriterien erfüllt sein müssen. Vor diesem Hintergrund wird der Stand der Technik für die mechanische Aufbereitung von Bausperrgut wie folgt beschrieben.

Ermittlung und Beschreibung des Standes der Technik

Eine mechanische Bausperrgutaufbereitung entspricht dem Stand der Technik, wenn sie folgende sieben Anforderungen erfüllt:

1. Sonderabfälle, Batterien, elektrische und elektronische Geräte werden bei der Anlieferung und Grobsortierung sowie in den Outputfraktion konsequent aussortiert und gesetzeskonform entsorgt.
2. Stückiger Gips und gipshaltige Materialien werden konsequent aus dem angelieferten Bausperrgut und wenn erforderlich aus den Outputfraktionen aussortiert und fachgerecht entsorgt.
3. Die Verwertbarkeitsquote muss in BSSA mit >5000 t/a Behandlungskapazität mindesten 70 % erreichen. BSSA mit <5000 t/a Behandlungskapazität müssen 60 % Verwertbarkeitsquote erreichen.
4. Die Verwertbarkeit der Fraktionen „brennbare Materialien (inkl. Kunststoffe)“, „Metalle“ und „Altholz“ ist gewährleistet.
- 5a. Die mineralische Grob- und Mittelfraktionen, die einer Bauschutttaufbereitungsanlage zugeführt werden, entsprechen dem in der Bauabfallrichtlinie des BAFU definierten Mischabbruch. Der Metallanteil sowie der brennbare Anteil (inkl. Holz) liegt in diesen Fraktionen unter 1 %.
- 5b. Die mineralische Grob- und Mittelfraktionen, die einer Deponie Typ B zugeführt werden, halten den TOC-Gehalt von 2 % ein. Der Metallanteil liegt in diesen Fraktionen unter 1 %.
6. Die brennbare Fraktion, die einer KVA zugeführt wird, enthält weniger als 30 % mineralische Materialien. Der Gipsanteil liegt unter 5 %.
7. Die Feinfraktion, die in einer Deponie Typ E abgelagert wird, enthält weniger als 5 % TOC.

Anhang

Berechnung und Nachweis der Verwertbarkeitsquote

Für die Berechnung der Verwertbarkeitsquote (VQtot) müssen die Jahreswerte verwendet werden. Der Bilanzraum für die Bestimmung der Verwertungsquote ist im Kapitel 1 definiert. Wie erwähnt, müssen zur Bestimmung der Verwertungsquote sämtliche Input- und Outputflüsse in Tonnen erfasst bzw. von Kubikmetern in Tonnen umgerechnet werden. Vereinfachend können für die einzelnen Entsorgungswege die Verwertungseffizienzen aus der Tabelle 7 angenommen werden.

Die Anteile der mineralischen Materialien, die in die Deponien Typ E- und Typ B gelangen, können mit den Angaben aus den Deponiescheinen berechnet werden. Gleiches gilt für die Materialanteile, die in das Baustoffrecycling gelangen. Kann bei den mineralischen Komponenten die Aufteilung zwischen Deponierung und Baustoffrecycling nicht auf nachvollziehbare Weise belegt werden, wird ein Verwertungsteil von 0 % eingesetzt.

Tabelle 7

Für die Berechnung der totalen Verwertbarkeitsquote können die folgenden Verwertungseffizienzen der einzelnen Entsorgungsprozesse angenommen werden. Die in die Deponie Typ E- und B verbrachten Anteile sind mit Deponiescheinen nachzuweisen

Outputfraktionen	Zielprozesse	Verwertungseffizienz in %
Brennbares Material	KVA	100 %
Kunststoffe	Zementwerk, thermische oder stoffliche Verwertung	100 %
Holz	Thermische oder stoffliche Verwertung	100 %
Mineralische Grobfraction	Deponieanteil in x % Baustoffrecycling (Verwertungsanteil)	100 - x %
mineralische Mittelfraction	Deponieanteil in y % Baustoffrecycling (Verwertungsanteil)	100 - y %
mineralische Feinfraction	Deponieanteil in z% Baustoffrecycling (Verwertungsanteil)	100 - z %
Gips od. ähnliche Materialien	Deponieanteil in w% Baustoffrecycling (Verwertungsanteil)	100 - w %
Weitere Fraktionen	a) therm. oder stoffliche Verwertung oder b) Deponieanteil in v % Baustoffrecycling (Verwertungsanteil)	100 % 100 - v %

Sind die Mengen und Verwertungseffizienzen (VE) der einzelnen Fraktionen bekannt, lässt sich die Verwertbarkeitsquote VQtot gemäss der Formel in Kapitel 2 berechnen. In Tabelle 8 sind die für die Berechnung notwendigen Daten und Angaben zur Bestimmung der VQtot aufgeführt. Die dort gemachten Angaben der Unternehmen müssen für die Behörden nachvollziehbar sein. Damit die Transparenz sichergestellt werden kann, müssen die Betreiber vor allem für die Input- und Outputflüsse ein Materialerfassungskonzept aufbauen. Die Materialflussbilanzierung ist wiederum durch die entsprechenden Nachweise (Deponiescheine und Analysen) überprüfbar. Zudem

muss nachgewiesen werden, dass die mineralischen Fraktionen die SdT-Vorgaben in Bezug auf die chemisch-physikalischen Parameter erfüllen.

Tabelle 8

Notwendige Daten und Angaben zur Bestimmung der Verwertbarkeitsquote VQ_{tot} , die gemäss der Formel in Kapitel 2 berechnet wird. Ma_{Fx} = Massenanteil der Fraktion x am Gesamtoutput in %, VE_{Fx} = Verwertungseffizienz der Fraktion x in %

Outputfraktionen	Zielprozesse	Menge in Tonnen	Ma_{Fx}¹⁾	VE_{Fx} in %²⁾	$Ma_{Fx} \times VE_{Fx}$
Brennbares Material	<i>Z. B. KVA</i>				
Kunststoffe	<i>Z. B. Zementwerk</i>				
Holz	<i>Z. B. therm. Verwertung</i>				
Metalle	<i>Z. B. Altmetallhandel</i>				
Mineralische Grobfraktion >200 mm	<i>Z. B. Baustoffproduktion</i>				
Mineralische Mittelfraktion z. B. 8 – 200 mm bzw. 20 – 200 mm	<i>Z. B. Baustoffprod. und Deponie Typ B</i>				
Mineralische Feinfraktion z. B. <8 mm bzw. <20 mm	<i>Z. B. Deponie Typ E</i>				
Gips und ähnliche mineralische Materialien	<i>Z. B. Deponie Typ B</i>				
VQ_{tot}³⁾					

1) Ma_{Fx} = Massenanteil der Fraktion x am Gesamtoutput (Wertebereich 0 – 1).

2) VE_{Fx} = Verwertungseffizienz der Fraktion x in %

3) VQ_{tot} = Totale Verwertbarkeitsquote der Fraktion x in %, siehe auch Angaben in Tabelle 7.