



Stand der Technik für die Aufbereitung von Kugelfang-Material

Ermittlung und Beschreibung

10. August 2016



**Baudirektion
Kanton Zürich**

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Diese Publikation dient Behörden und Gesuchstellern sowie Verfügungsadressaten bei der Beurteilung der technischen Anforderungen an die Aufbereitung von Kugelfangmaterial. Sie dokumentiert die Ermittlung des Standes der Technik für die Anlagen und Verfahren zur Aufbereitung von Kugelfangmaterial durch das AWEL 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 Aufbereitung von Kugelfangmaterial anwendbaren Standes der Technik wurden die Vorgaben des vom AWEL im Jahr 2011 publizierten Grundlagenpapiers zur "Ermittlung und Beschreibung 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.

Stand der Technik für die Aufbereitung von Kugelfangmaterial - Summary

Rechtliche Grundlagen und Anwendung

Gesetzliche Anforderung § 2 Abs. 3 des zürcherischen Abfallgesetzes (AbfG) verlangt, dass alle Abfallanlagen im Sinne von Kapitel 4 der VVEA (Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen) nach dem Stand der Technik sowie nach der wirtschaftlichen Tragbarkeit erstellt, angepasst und betrieben werden. Ziele einer optimalen Abfallbehandlung sind eine möglichst hohe stoffliche Verwertung, Rohstoff- und Energierückgewinnung sowie die nachsorgefreie Ablagerung der nicht verwertbaren Rückstände. Dazu muss die Technologie 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, Stand August 2016. Der hier dokumentierte Stand der Technik für die Aufbereitung von Kugelfangmaterial wurde gemäss diesem Grundlagenpapier ermittelt.

Ermittlung und Beschreibung des Standes der Technik: Stand August 2016

Ziel Kugelfangmaterial ist Boden oder Untergrund, welcher in Schiessanlagen durch Munition verunreinigt worden ist. Am Ende der Aufbereitung soll einerseits der Boden bzw. Untergrund von den Schadstoffen aus der Munition abgereichert vorliegen, sodass das Material wieder einer Nutzung zugeführt werden kann. Die Munitionsbestandteile sollen andererseits aufkonzentriert werden, sodass ein Recycling der Metallbestandteile (insbesondere von Blei) möglich ist. Dadurch wird einerseits Deponieraum eingespart. Andererseits wird durch das Recycling die Produktion von Blei aus primären Rohstoffen substituiert.

Ermittlung und Beurteilung real existierender Lösungen Zur Aufbereitung von Kugelfangmaterial werden vor allem Bodenwaschanlagen, in welchen eine Fraktionierung des Materials möglich ist, trockenmechanische Anlagen sowie die Hand-Sortierung mit Wiedereinbau des abgereinigten Aushubmaterials eingesetzt. Diese Verfahren werden mit der direkten Ablagerung des Materials auf Deponien verglichen. Mit einer ökologischen Gewichtung (Ökobilanzierungssystem der „ökologischen Knappheit“ mittels Umweltbelastungspunkten, BAFU 2006) lassen sich diejenigen Indikatoren identifizieren, mit welchen der Stand der Technik der Kugelfang-Aufbereitung am einfachsten und wirkungsvollsten beschrieben werden kann. Es handelt sich um die zwei Indikatoren „Rückgewinnungsrate Blei“ sowie „Schadstoffgehalt der gewaschenen Kies- und Sandfraktion“ (Schadstoffabreicherung).

Ergebnis Ein Vergleich der real existierenden Lösungen zeigt, dass das Verfahren der Bodenwäsche die beste ökologische Performance aufweist. Bei der rein mechanischen Sortierung ist das Resultat dagegen stark inputabhängig, die direkte Deponierung weist erwartungsgemäss die schlechteste Umweltleistung auf.

Nach dem Stand der Technik für die Behandlung von Kugelfangmaterial sind für die *beiden massgeblichen Indikatoren die folgenden Werte* zu erreichen:

- 1 Das metallisch vorliegende Blei ist aus dem Kugelfangmaterial in eine rezyklierbare Blei-Fraktion überzuführen und dabei eine Rückgewinnungsrate von mindestens 80% zu erreichen [kg Blei metallisch in der Blei-Fraktion / kg Blei absolut im Ausgangsmaterial]**
- 2 Mindestens die Kies- und Sand-Anteile aus dem Ausgangsmaterial, eventuell auch integrale Boden-Bestandteile aus dem Ausgangsmaterial sind wieder zu verwenden. Diese Fraktionen müssen den Anforderungen an Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 2 VVEA entsprechen, d.h. insbesondere ist ein Blei-Gehalt von weniger als 250 mg/kg Material einzuhalten.**

Inhalt

1.	Gegenstand der SdT-Feststellung, Betrachtungsperimeter (Scope).....	5
2.	Kriterien für die Beurteilung der angewendeten Technik.....	6
3.	Repräsentative Übersicht über die existierenden Lösungen.....	7
4.	Auswahl von Leistungsindikatoren für die Beurteilung der ökologischen Performance der verschiedenen Lösungen / Anlagen / Verfahren. Gewichtung verschiedener Indikatoren..	9
5.	Bewertung der existierenden Lösungen / Anlagen / Verfahren mit den Leistungsindikatoren	11
6.	Beschreibung der Bandbreite der besten verfügbaren Lösungen / Anlagen / Verfahren => Festlegen des Stands der Technik	12
7.	Erstellungs- und Änderungsprotokoll.....	13

Impressum

Herausgeber	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe Walchetor 8090 Zürich www.awel.zh.ch
Projektleitung	Dr. Jörg Egestorff
Begleitung	Arbeitsgruppe „Stand der Technik“, AWEL
Grundlagenerarbeitung	Neosys AG, Gerlafingen, Dr. Jürg Liechti, Alexander Winkler

1. Gegenstand der SdT-Feststellung, Betrachtungsperimeter (Scope)

Die vorliegende Beschreibung des Standes der Technik bezieht sich auf die Aufbereitung von mineralischem Kugelfangmaterial. Kugelfangmaterial ist Boden oder Untergrund, welches in Schiessanlagen durch in ihn eindringende Munition verunreinigt worden ist. Nicht Gegenstand dieser Beschreibung sind Kugelfänge aus organischen Materialien wie Stirnholz, Gummi usw. Am Ende der Aufbereitung soll einerseits der Boden bzw. Untergrund oder Bestandteile davon von den Schadstoffen aus der Munition abgereichert vorliegen, sodass das Material wieder einer Nutzung zugeführt werden kann. Die Munitionsbestandteile sollen andererseits aufkonzentriert vorliegen, sodass ein Recycling der Metallbestandteile (insbesondere von Blei) möglich ist.

Es liegt folgende Input-Output-Situation vor.


Input		Output	
Aushub Kugelfangmaterial mit Geschossresten		Metall (Blei)	
		Fraktionierte Bestandteile des Aushubs	Kies
			Sand
			Organische Bestandteile
Energie			Boden (im Sinne der VBBo)
Chemikalien			Feinanteil / Schlamm
Wasser		Abwasser (Aufbereitetes Prozesswasser)	

Abb. 1: Grafische Darstellung Input, Output

➔ Perimetergrenzen verfahrenstechnisch

Das Verfahren gilt für Aushub aus Kugelfängen mit anorganischen Kontaminationen.

Der Betrachtungsperimeter reicht bis zur Verwertung oder bis zur endgültigen Ablagerung inklusive deren Umweltwirkungen.

➔ Perimetergrenzen geografisch

Keine. Die Aufbereitung betrifft Kugelfänge unabhängig von ihrem Standort in der ganzen Schweiz.

➔ Was steht am Eingang des Betrachtungsperimeters (Inputs)

Ausgehobener Boden und Untergrund aus Kugelfängen. Die Materialbelastung mit Blei [Pb] beträgt bis zu 100'000 ppm oder mehr.

➔ Was steht am Ausgang des Betrachtungsperimeters (Outputs)

1. Metalle (bleihaltige Munitionsteile/Geschossfragmente)
2. Kies (aus der Behandlung des Aushubs)
3. Sand (aus der Behandlung des Aushubs)
4. Organische Bestandteile, insbes. abgetrennte Leichtstoffe (Wurzelreste, Kunststoffschnipsel usw...)
5. Boden (aus der Behandlung des Aushubs)
6. Lehm, Schlamm, Feinanteil (aus der Behandlung des Aushubs)
7. Ev. Abwasser / Aufbereitetes Prozesswasser

Die Definition der möglichen Abfallqualitäten bezieht sich auf die VVEA, zB 3.1 = Anhang 3 Ziffer 1 VVEA:

- **unverschmutzt** (≤ 3.1): Verwertung gemäss VVEA
- **schwach** verschmutzt ($>3.1, \leq 3.2$), (< 250 ppm Pb): Wiederverwertung in gebundener Form möglich
- **wenig** verschmutzt ($>3.2, \leq B$), (< 500 ppm Pb): Deponietyp B, sofern TOC $< 2\%$
- **stark** verschmutzt ($\leq D$), ($< 2'000$ ppm Pb): Deponietyp D, falls TOC $< 2\%$

- durch **gefährliche** Stoffe verunreinigt (>D), (> 2'000 ppm Pb und TOC > 2%): VVEA-konforme Entsorgung/Nachbehandlung.

Die ausgewerteten Massenflüsse von belasteten Bauabfällen aus dem Kanton Zürich basieren auf den Deponietypen (Inertstoffdeponie; Reststoffdeponie und Reaktordeponie) der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA). Im vorliegenden Dokument werden die neuen Deponietypen B bis E gemäss neuer VVEA verwendet, für Auswertungen aus den Jahren bis 2015 die Deponietypen gemäss TVA.

2. Kriterien für die Beurteilung der angewendeten Technik

Der Umweltnutzen der angewendeten Technik besteht darin, dass Materialien wiederverwertet anstatt deponiert werden und das Schadstoffpotential verringert wird. Dadurch wird einerseits Deponieraum eingespart. Andererseits wird durch das Recycling die Produktion aus primären Rohstoffen von bestimmten Materialien (z.B. Blei) substituiert. Der Umweltnutzen ist zu vergleichen mit den Umweltwirkungen (den Aufwänden), welche durch das Aufbereitungsverfahren entstehen, beispielsweise durch den Verbrauch von Energie, Wasser und Hilfsstoffen.

Mit folgenden Kriterien ist es möglich, zu beurteilen, ob eine bestimmte Aufbereitungstechnik besser ist als eine andere.

Bezug	Kriterium	Parameter und Dimension
Boden	Sauberkeit, Gehalt an Schadstoffen (Wiederverwendbarkeit)	Menge [kg Boden/kg Aushub] Schadstoffgehalte [mg/kg Boden]
Kies	Sauberkeit, Gehalt an Schadstoffen (Wiederverwendbarkeit)	Menge [kg Kies/kg Aushub] Schadstoffgehalte [mg/kg Kies]
Sand	Sauberkeit, Gehalt an Schadstoffen (Wiederverwendbarkeit)	Menge [kg Sand/kg Aushub] Schadstoffgehalte [mg/kg Sand]
Metall (Blei)	Rückgewinnungsrate	Anteil der total im Material vorliegenden Metallmenge, die mit der Metallfraktion ausgeschieden wird [%]
	Reinheit des Metalls in der Metallfraktion. Gehalt an Fremdstoffen	Metallgehalt (Blei): [kg Pb pro kg Metallfraktion] Schadstoffgehalte: [mg pro kg Metallfraktion]
Abwasser	Gehalt an Schadstoffen (Einleitbarkeit)	Konzentrationsgrenzwerte [mg Schadstoff pro L Abwasser]
Ganzes Verfahren	Energieverbrauch	Stromverbrauch und ev. Verbrauch an fossilen Brenn-/Treibstoffen pro kg behandeltes Material [kWh/kg]
Ganzes Verfahren	Verbrauch an Rohstoffen (Wasser, Chemikalien, ...)	Verbrauch an Wasser oder spezifischen Chemikalien pro kg behandeltes Material [kg/kg]
Deponierte Anteile (Feinfraktion)	Nachsorgefreiheit, dh. Gehalt des Deponiesickerwassers	Schadstoffgehalt [mg Pb pro L Sickerwasser oder Eluat]

Tabelle 1: Kriterien zur Beurteilung der Verfahren

3. Repräsentative Übersicht über die existierenden Lösungen

Die Behandlung des Materials findet in folgenden Schritten statt:

A – Separation / Reinigung des Materials

B – Weiterverarbeitung der Fraktionen

Die Reinigung / Separation wird in unterschiedlichen Anlagen mit unterschiedlicher Detaillierung der angewendeten Prozesse durchgeführt. Es sind die nachstehend genannten Prozessschritte möglich und z.T. gebräuchlich, was aber nicht bedeutet, dass diese immer alle vorkommen.

1. Vorbereitung des Aufgabeguts

- Grob-Entschrottung, Handverlesen (Klauben)

2. Nassaufschluss im Wäscher

3. Trocken-mechanischer Aufschluss durch Sieben etc.; evtl. nach vorgängiger thermischer Behandlung

4. Reinigung der Kiesfraktion

- Abtrennung von Leicht- und Schwerstoffen (Setzmaschine)
- Nichteisenmetall-Abscheider (Wirbelstromabscheider, Sensortechnik)

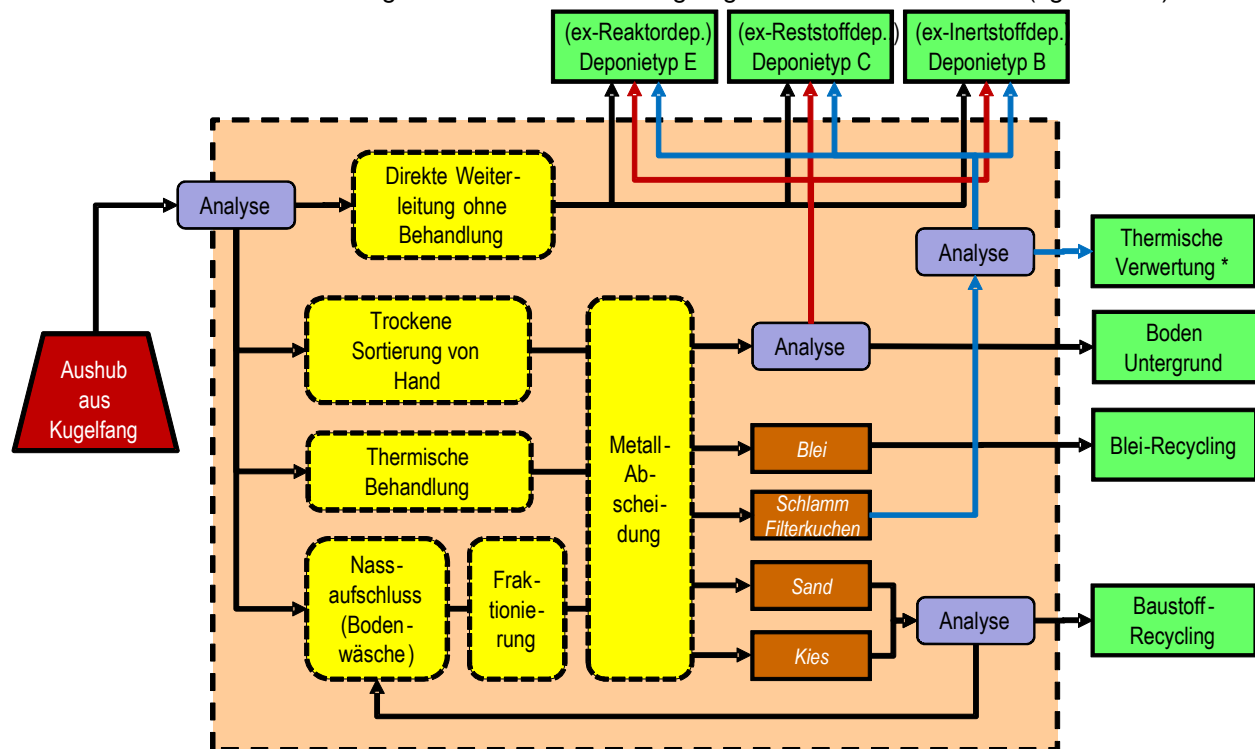
5. Reinigung der Sandfraktion

- Attrition
- Dichtesortierung (Wendelscheider)
- Flotation

6. Schlamm bzw. Abwasserbehandlung

- Flockung/Fällung
- Schlammentwässerung (Kammerfilterpresse)
- Wasserreinigung (Sandfilter, Aktivkohle, Ionentauscher)

Die Weiterverarbeitung geschieht entsprechend den Schadstoffgehalten der separierten, gereinigten Fraktionen. Im Kanton Zürich lag zur Zeit der Auswertung folgende reale Situation vor (vgl. Abb. 2):



* : zB. im Zementwerk, wenn viel Organika und wenig Blei vorhanden

Abb. 2: Real existierende Lösungen Materialflüsse qualitativ

Drei eigentliche Bodenwaschanlagen, in welchen eine Fraktionierung des Materials möglich ist, sind in Betrieb, davon eine im Kanton Thurgau. Daneben gibt es direkte Ablagerungen auf Deponien, eine Hand-Sortierung mit Wiedereinbau des abgereinigten Aushubmaterials, u.a.m.

Mengenmässig, bezogen auf die Jahre 2008-2011, bestehen folgende Stoffflüsse im Kanton Zürich (Quelle: ALIS-Datenbank):

A: Reinigung / Separation	B: Weiterverarbeitung	Tonnage [t] 2008 - 09	Tonnage [t] 2010 - 11	Tonnage [t/J] (Schnitt) (2008-11)	Tonnage [%]
Keine	Direkt in Deponietyp B (ex-Inertstoffdeponie)	63'786	15'880	19'917	36.8%
Keine	Direkt in Deponietyp E (ex-Reaktordeponie)	28'445	3'279	7'931	14.7%
Keine	Direkt in Deponietyp C (ex-Reststoffdeponie)	51'638	1'967	13'401	24.8%
Mechanische Sortierung	Wiedereinbau vor Ort	1'671	1'006	669	1.2%
Trockenfraktionierung	Recycling und Deponie	2'417	0	604	1.1%
Trockenfraktionierung	Recycling, und thermische Verwertung	2'746	700	861	1.6%
Thermische Behandlung	Recycling oder therm. Verwertung oder Deponie	2'203	5'436	1'910	3.5%
Nassfraktionierung	Recycling und thermische Verwertung	17'864	9'518	6'846	12.6%
Nassfraktionierung	Recycling und Deponietyp B	4'853	3'108	1'990	3.7%

Tabelle 2: Real existierende Lösungen Materialflüsse quantitativ

In den beiden Spalten rechts sind die durchschnittlichen Jahresmengen 2008 bis 2011 absolut und in Prozent angegeben. Aus der separaten Auflistung der Jahre 2008/09 einerseits und 2010/11 andererseits kann die Entwicklung der letzten Jahre ersehen werden. Die absoluten Mengen sind rückläufig. Während der Anteil an Material, das in den Deponietyp B (frühere Inertstoffdeponie gemäss TVA) geht, etwa konstant bleibt, nimmt der Anteil der Bodenwaschanlagen stark zu, der Anteil der Deponietypen C und E (ex-Reststoff- und Reaktordeponie gemäss TVA) geht im selben Ausmass zurück. Ca. 75% der Tonnagen von Kugelfang-Material laufen heute durch Bodenwaschanlagen.

Die Bodenwaschanlagen (Nassfraktionierung) können neben der Schadstoffentfrachtung das kiesige und sandige Material aus Kugelfängen mit einem Bleigehalt von bis zu 2000 mg/kg auf einen Reinheitsgrad säubern, welcher den Anforderungen gemäss Anhang 3 Ziffer 1 VVEA (unverschmutzt) und Anhang 3 Ziffer 2 VVEA (schwach verschmutzt) entspricht. Bei Material aus höher verschmutzten Kugelfängen (>2000 mg Pb/kg) liegt der Fokus bei der Bleientfrachtung von mindestens 90%, wobei in den Kiesfraktionen >4mm in der Regel die Anforderungen gemäss Anhang 3 Ziffer 2 VVEA ebenfalls erreicht wird.

Die maximal erreichbaren Werte hängen von der Struktur des betroffenen Kugelfangmaterials und vom betriebenen Aufwand ab. Die Schadstoffe werden vorwiegend als metallische Rückstände ausgefragt. Die Rückgewinnungsrate des Bleis ist gross und liegt bei Blei-Stückchen >4 mm bei nahezu 100%.

Die Separation von Blei in eine Metallfraktion ist mit den heutigen Anlagen für Bleistückchen ab ca. 2 mm und grösser möglich. Der restliche Bleianteil, oftmals aus Geschossfragmenten <2 mm bestehend, ausgebildet als kondensierte Pb-Schicht auf dem Mineralkorn oder als Bleiverbindung (Oxide, Sulfate, Carbonate) reichert sich bevorzugt in den Feinfraktionen an und kann auf physikalischem Weg nicht rückgewonnen werden. Dieser Anteil macht weniger als 10% der Gesamtmasse Blei aus.

4. Auswahl von Leistungsindikatoren für die Beurteilung der ökologischen Performance der verschiedenen Lösungen / Anlagen / Verfahren. Gewichtung verschiedener Indikatoren.

Es werden folgende Indikatoren zur Beurteilung der ökologischen Leistungsfähigkeit einer Anlage und damit zur Bemessung des Standes der Technik vorgeschlagen (vgl. Abbildung 3). Gleichzeitig werden in der Spalte ganz rechts mögliche Wertebereiche für die Beurteilung als „Stand der Technik“ vorgeschlagen. Diese werden in den Kapiteln 5 und 6 verifiziert bzw. beschrieben.


Input	Anlage(n)	Output	Kennzahl und Dimension	Erreichbarer Wertebereich
Aushub Kugelfangmaterial mit Geschossresten und Wasser		Metall (Blei)	1 Rückgewinnungsrate [kg Pb verwertet/kg Pb im Material]	> 90 % des als Metallteilchen vorliegenden Anteils in verwertbarer Qualität sind möglich. Dies entspricht ca. 80% des totalen Bleis im Aushub.
		Kies, Sand, wieder eingebauter Boden	2 Schadstoffgehalt der gewaschenen Kies- und Sandfraktion [kg Schadstoff pro kg Material]	≤ Anhang 3 Ziffer 2 VVEA, insbesondere: < 250 mgPb/kg sind möglich (ev. nach mehreren Waschgängen)
		Abwasser	3 Schadstoffgehalt der eingeleiteten Abwässer [mg Schadstoff pro Liter Abwasser]	Die Einleitgrenzwerte der Gewässerschutzverordnung werden in der Regel eingehalten, insbesondere: < 0.5 mgPb/Liter

Abb. 3: Darstellung der relevanten umweltbezogenen Leistungsindikatoren

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

- Die Qualität (Schadstoffbelastung etc.) des Filterkuchens / der Schlammfraktion soll nicht zur Beurteilung des Verfahrens beitragen, weil der Filterkuchen die gewollte Schadstoffsенke der Verfahren ist. Eine höhere oder tiefere Schadstoffbelastung des Filterkuchens ist deshalb kein Gradmesser für die ökologische Qualität des Verfahrens. Wichtig ist die Abreicherung der Schadstoffe in den anderen Fraktionen. Wenn nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Schlamm nachsorgefrei abgelagert werden kann, so ist eine Vorbehandlung bzw. ein Deponietyp vorzusehen, welcher Depo-niesickerwässer mit zu hohen Bleibelastungen ausschliessen kann.
- Die spezifischen Energieverbräuche der Verfahren sind grundsätzlich valable Indikatoren zur ökologischen Beurteilung. Sie sind aber nicht gut bekannt und nicht stabil genug, um darauf ein gutes Urteil über ein Verfahren abzustützen. Weil sehr wenig thermische Verfahren zur Anwendung kommen, kann man auch davon ausgehen, dass die Energieverbräuche bzw. deren ökologisches Gewicht nicht gross sind, verglichen mit der erwünschten Verminderung von Stoffströmen problematischer Abfälle und mit dem Recycling von Metallen. Siehe dazu auch unten: ökologische Gewichtung. Die spezifischen Energieverbräuche werden deshalb als Indikatoren vernachlässigt.
- Die analogen Gründe gelten für die spezifischen Verbräuche für Roh- und Hilfsstoffe
- Die Reinheit der Blei-Fraktion spielt insofern eine Rolle, als das Metall aus dieser Fraktion zurückgewonnen werden muss. Es muss also von einer nachfolgenden Anlage zur Metallgewinnung akzeptiert werden. Ob innerhalb dieses Toleranz-Intervalls höhere oder tiefere Reinheiten erreicht werden, hat dann eher ökonomische als ökologische Relevanz: Reineres Material erreicht höhere

Preise. Der ökologische Haupt-Nutzen liegt aber in der Rückgewinnung des Metalls an sich und diese ist in erster Näherung konstant, sofern das Material akzeptiert wird.

Ökologische Gewichtung der Indikatoren:

Die ökologischen Gewichte der Indikatoren können aus folgendem Vergleich abgelesen werden. Im Ökobilanzierungssystem der „ökologischen Knappheit“ (BAFU, 2006) wird folgenden Wirkungen die entsprechende Umweltbelastung zugeordnet (UBP = Umweltbelastungspunkte):

Produktion von 1 kg Blei:	6'200 UBP
Emission von 1 g Blei in ein Gewässer:	4'400 UBP
Nutzung eines Kubikmeters Deponieraum (CH: VVEA)	500 UBP (Faktor 1997, im System 2006 modifiziert)
Primärenergieverbrauch von 1 kWh (3.6 MJ)	11.9 UBP

Wenn wir grob davon ausgehen, dass 1 Tonne Kugelfangmaterial 100 kg Blei enthält, sowie ca. 500 kg kiesig/sandiges Material, dass 100L Abwasser bei der Behandlung anfallen, und dass die Behandlung etwa 10 kWh Energie pro Tonne benötigt, dann resultiert für die drei Indikatoren folgende ökologische ‚Hebelwirkung‘:

- Wenn die geforderte Rückgewinnungsrate von 80% Blei um +/-10% schwankt, so werden 8 kg Blei mehr oder weniger rezykliert, dies macht 50'000 UBP mehr oder weniger aus.
- Wenn die geforderten Anforderungen gemäss Anhang 3 Ziffer 2 VVEA erreicht werden oder nicht, müssen 500 kg Material mehr oder weniger VVEA-konform deponiert werden. Dies macht 25'000 UBP mehr oder weniger aus.
- Wenn der Einleitgrenzwert von Blei um 100% überschritten wird, so werden 0.05 g Blei zusätzlich in ein Gewässer emittiert. Dies macht 220 UBP mehr aus.
- Wenn die Behandlung des Materials 10 kWh mehr oder weniger pro Tonne Material beträgt, macht dies 119 UBP mehr oder weniger aus.

Daraus wird klar, dass die ökologisch bedeutenden – und etwa gleich wichtigen – Indikatoren die Bleirückgewinnung und die für ein Recycling genügende Abreicherung der Kies- und Sandfraktion sind. Der Energieverbrauch kann demgegenüber als Indikator weggelassen werden. Auch die Reinigung des Abwassers wäre aus ökologischen Gründen nicht ein zwingender Indikator. Er ist aber aus Gründen der Gesetzeskonformität der Verfahren ohnehin gesetzt.

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

Die existierenden Lösungen aus dem Kapitel 3 werden einer Bewertung mit den Kriterien unterzogen. Die nachstehende Tabelle 3 zeigt das Resultat.

A: Reinigung / Separation	B: Weiterverarbeitung	Indikator 1 Pb- Rückgewinnung ²	Indikator 2 Qualität Sand/Kies/ Boden	Indikator 3 Qualität Abwasser
Keine	Direkt in Deponietyp B	0%	kein	n.a.
Keine	Direkt in Deponietyp D/E	0%	kein	n.a.
Keine	Direkt in Deponietyp C	0%	kein	n.a.
Mechanische Sortierung ³	Bleifraktion ins Recycling Wiedereinbau vor Ort	< 20%	schwach?	n.a.
Trockenfractionierung	Recycling und Deponie	< 40%	schwach?	n.a.
Trockenfractionierung	Recycling, und Zementwerk	< 40%	schwach?	n.a.
Thermische Behandlung	Deponiefraktion in Deponie Ev. alles ins Zementwerk	0%	≤Deponietyp B ev. kein	n.a.
Nassfraktionierung: Ausschleusung Blei, Kies, Sand, Schlamm, Werk 1	Recycling; Thermische Behandlung Schlamm im Zementwerk oder Schlamm in Deponie	90%	schwach	GSchV eingehalten
Nassfraktionierung: Ausschleusung Blei, Kies, Sand, Schlamm, Werk 2	Recycling; Thermische Behandlung Schlamm im Zementwerk oder Schlamm in Deponie	85-90%	schwach	GSchV eingehalten
Nassfraktionierung: Ausschleusung Blei, Kies, Sand, Schlamm, Werk 4	Recycling; Schlamm in Deponie	80%	schwach	GSchV eingehalten

Tabelle 3: Bewertung der existierenden Lösungen^{1,2}

Legende des Farbcodes:

Rot: Schlechte Performance, Werte weit unterhalb des möglichen Bereichs

Grün: Gute Performance. Werte im Bereich des Bestmöglichen:

Gelb: Mittlere Performance: Werte am unteren Ende des Bestmöglichen

Die Definition der Abfallqualitäten bezieht sich auf die VVEA, zB 3.1 = Anhang 3 Ziffer 2 VVEA

Bei der rein mechanischen Sortierung ist das Resultat stark Inputabhängig.

Bei den Bodenwaschanlagen lässt sich eine Abreicherung der Sand-/Kies-Fraktion auf schwach verschmutzt (Anhang 3 Ziffer 2 VVEA) relativ unabhängig von der Inputverschmutzung gut erreichen. Höhere Inputverschmutzungen als ca. 2'000 ppm benötigen aber Zusatzaufwände (mehrere Waschgänge etc.). Es ist technisch möglich, aber aus wirtschaftlichen Gründen heute nicht üblich, diesen Zusatzaufwand zu betreiben. Bei einer direkten Deponierung ist gemäss Anhang 5 Ziffer 4 Bst. g VVEA nicht brennbares, mineralisches Kugelfangmaterial auf dem Deponietyp D abzulagern.

¹ Die Angaben für die Pb-Rückgewinnung verstehen sich bezogen auf die totale Menge Blei im Material. Es wird davon ausgegangen, dass der als Metallstückchen > 2mm vorliegende Anteil ca. 90% beträgt.

² Die Bleistückchen sind schlecht sichtbar, was die händische Sortierung erschwert.

6. Beschreibung der Bandbreite der besten verfügbaren Lösungen / Anlagen / Verfahren

→ Ermittlung und Beschreibung des Stands der Technik

Der Indikator 3 (Qualität des Abwassers), muss bei den dem Stand der Technik entsprechenden Lösungen mindestens die Vorgaben der Gewässerschutzverordnung einhalten. Nicht gesetzeskonforme Anlagen dürfen gar nicht betrieben werden. Wenn die Werte aber im gesetzeskonformen Bereich liegen, trägt ein saubereres Abwasser nicht mehr zu einer besseren Ökoperformance bei, da das ökologische Gewicht der Restverschmutzung klein ist (vgl. Kap 4) Abgesehen davon wird die nachgeschaltete Kläranlage auch noch eine weitere Abreinigung der Restverschmutzung bewirken. Der Indikator 3 wird deshalb nicht für die Ausgestaltung der ‚Bandbreite‘ der besten Lösungen gebraucht. Er hat einen digitalen Charakter: Es kommen nur Lösungen in Betracht, die gesetzeskonform sind, unter diesen aber alle.

Die Indikatoren 1 und 2 öffnen das Feld für eine Definition der Bandbreite wie in Abbildung 4 dargestellt. Die Grafik zeigt die (ungefähren) Positionen von

- Direkte Deponierungslösungen (D)
- Hand-Sortier-Lösungen (S)
- Trockenmechanischen Lösungen (T) und
- Bodenwäsche-Lösungen mit Verwertung der Blei- und der Sand- und Kiesfraktionen (B)

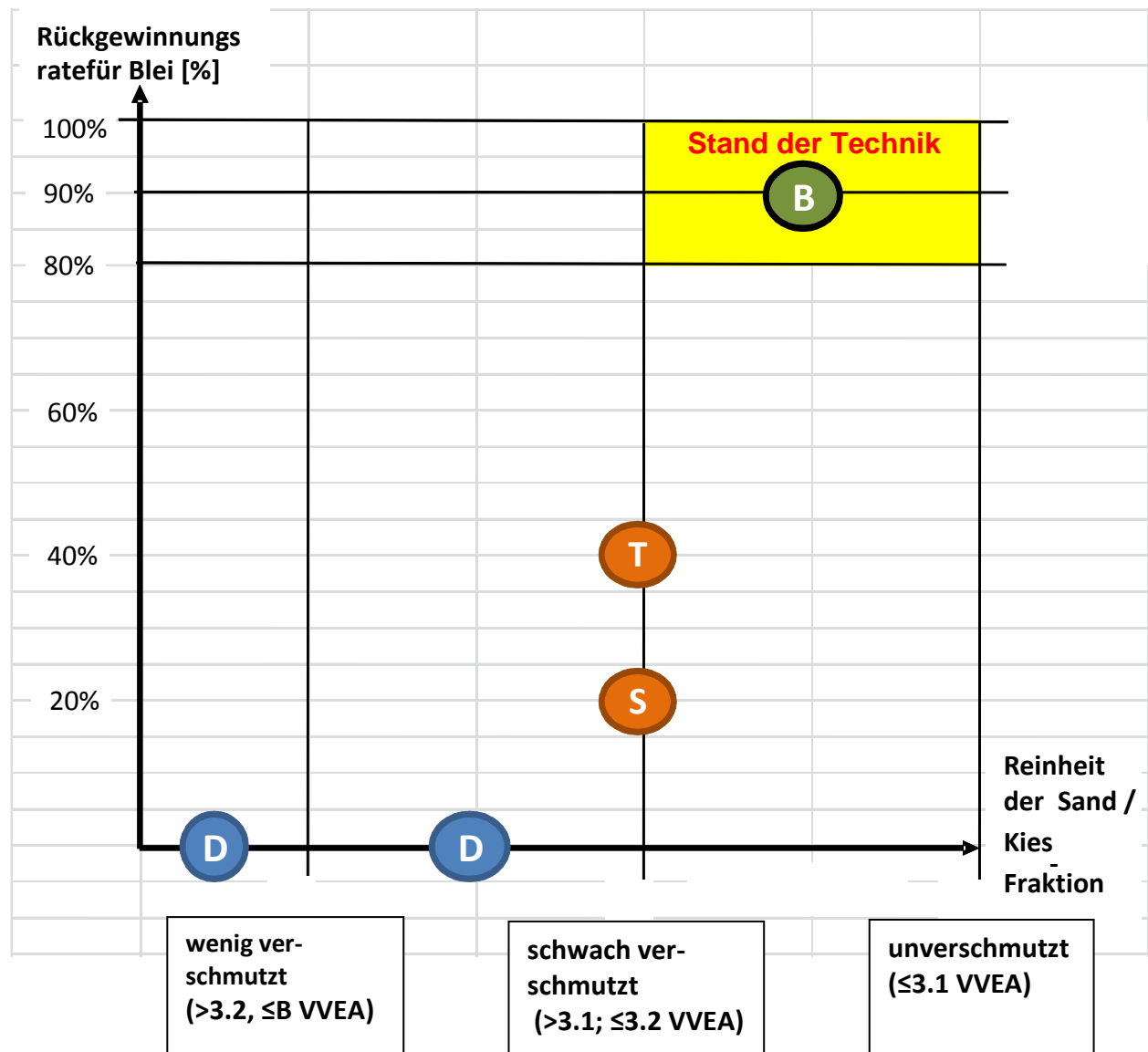


Abb. 4: Bandbreite der besten verfügbaren Lösungen

Vor diesem Hintergrund wird der Stand der Technik für die Behandlung von Kugelfangmaterial wie folgt festgehalten:

- 3 Stand der Technik heisst, das metallisch vorliegende Blei aus dem Kugelfangmaterial in eine rezyklierbare Blei-Fraktion überzuführen und dabei eine Rückgewinnungsrate von mindestens 80% zu erreichen. [kg Blei metallisch in der Blei-Fraktion / kg Blei absolut im Ausgangsmaterial]**
- 4 Mindestens die Kies- und Sand-Anteile aus dem Ausgangsmaterial, eventuell auch integrale Boden-Bestandteile aus dem Ausgangsmaterial sind wieder zu verwenden. Diese Fraktionen müssen den Anforderungen an Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 2 VVEA entsprechen, d.h. insbesondere ist ein Blei-Gehalt von weniger als 250 mg/kg Material einzuhalten.³**

7. Erstellungs- und Änderungsprotokoll

Aktuelle Version, Datum	V1.11; 10.08.2016
Erstversion	V1.0; 23.06.2011
Ersteller	Neosys AG, Dr. Jürg Liechti, Alexander Winkler
Auf www.awel.zh.ch publiziert	05.08.2016

³ Wenn die Inputkonzentration an Blei grösser als ca. 2'000 mg/kg ist wird der technisch mögliche Abreicherungsgrad heute aus wirtschaftlichen Gründen üblicherweise noch nicht realisiert.