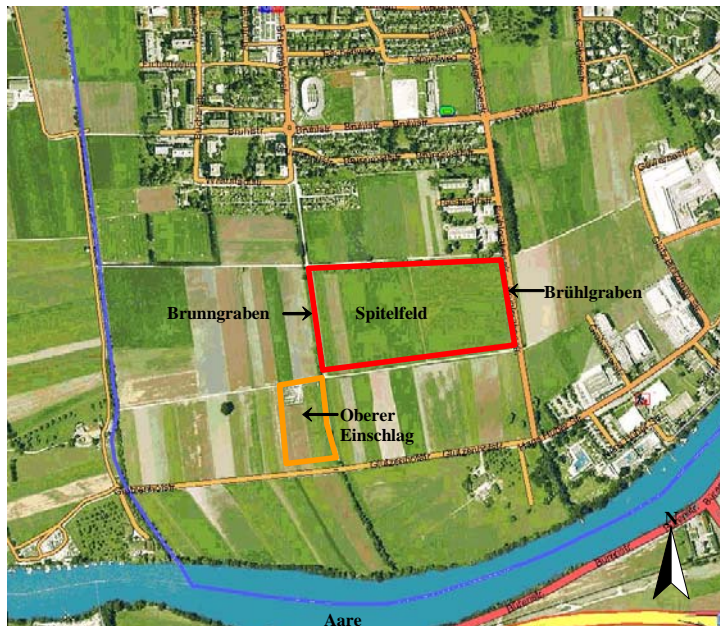


Baumackerstrasse 24
CH-8050 Zürich
Tel +41 44 315 10 10
Fax +41 44 315 10 11
www.friedlipartner.ch
info@friedlipartner.ch

Auftraggeber: Einwohnergemeinde Solothurn, Stadtbauamt, Solothurn

EHEMALIGE KEHRICHTDEPONIE SOLOTHURN WEST ("STADTMIST", SPITELFELD UND OBERER EINSCHLAG)

Sanierungsprojekt



Projektleitung: Dr. Rita Hermanns Stengele

Sachbearbeitung: Lars Knechtenhofer, Tanja Müller

Koreferat: Daniel Bürgi

Objekt-Nr. 05.32 (2)

Zürich, 18. August 2009

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	V
1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
1.1 Basisdaten	1
1.2 Ausgangslage	1
1.3 Zielsetzung	2
1.4 Beteiligte	2
1.5 Verwendete Unterlagen, Vorakten	3
2 GRUNDLAGEN AUS VOR- UND DETAILUNTERSUCHUNG	4
2.1 Historik	4
2.2 Schutzgüter	4
2.3 Belastungssituation	5
2.4 Gefährdungsabschätzung	5
3 ERGÄNZENDE STANDORTUNTERSUCHUNG	7
3.1 Einleitung	7
3.2 Vorgehen	8
3.3 Ergebnisse	10
3.4 Schlussfolgerungen aus allen Untersuchungen	14
4 SANIERUNGSBEDARF UND -ZIELE	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Altlastenrechtliche Beurteilung Standort Spitelfeld	16
4.3 Altlastenrechtliche Beurteilung Standort Oberer Einschlag	17
4.4 Sanierungsbedarf Nachbargrundstücke	19
4.5 Ziel und Machbarkeit der Sanierung	19
5 SANIERUNGSVARIANTEN	21
5.1 Verfahren zur Dekontamination	21
5.2 Verfahren zur Sicherung	27
5.3 Zusammenfassende Bewertung aller Varianten	32
6 SANIERUNGSKONZEPT AUSHUB	35
6.1 Vorbemerkungen	35
6.2 Belastete Materialien, Abfallkategorien	35
6.3 Ablauf der Sanierungsarbeiten	39
6.4 Entsorgung	45
6.5 Wiederherstellung	47
6.6 Sicherheitsaspekte	47
6.7 Überwachung Schutzgüter	48
6.8 Zeitbedarf	49

6.9	Umweltauswirkungen	50
6.10	Grobkostenschätzung	51
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERES VORGEHEN	54
7.1	Beurteilung der Machbarkeit	54
7.2	Beurteilung der Wirksamkeit	54
7.3	Beurteilung der Kosten	55
7.4	Zusammenfassende Beurteilung Sanierungsprojekt Aushub	55
7.5	Weiteres Vorgehen	55
8	ABKÜRZUNGEN	57
9	NORMEN, GESETZLICHE GRUNDLAGEN, REFERENZEN	58

ANHANG

Anhang 1	Situationen Wasser- und Feststoffproben
Anhang 2	Profile der Baggersondierungen
Anhang 3	Situationen Porenluftuntersuchungen
Anhang 4	Analysenberichte Labor
Anhang 5	Geologische Profile
Anhang 6	Sanierungsprojekt, Situation 1:5'000
Anhang 7	Abschätzung Kubaturen und Kosten

VERTEILER

2 Exemplare	Amt für Umwelt, Kt. Solothurn, Martin Brehmer, Solothurn
2 Exemplare	Einwohnergemeinde Solothurn, Stadtbauamt, Solothurn
2 Exemplare	Bernhard Straub, planteam, Solothurn
1 Exemplar	FRIEDLIPARTNER AG, Zürich

ZUSAMMENFASSUNG

<p>Auf der Deponie Stadtmist am Westrand der Stadt Solothurn wurden zwischen 1992 und 2006 mehrere Altlastenuntersuchungen durchgeführt. Dabei ergaben sich klare Hinweise, dass ein altlastenrechtlicher Sanierungsbedarf besteht. Im Jahre 2007 wurde daher beschlossen, mittels Zusatzuntersuchungen den Sanierungsbedarf abschliessend abzuklären und ein Sanierungsprojekt mit Variantenstudium auszuarbeiten.</p>	Ausgangslage und Zielsetzung
<p>Der vorliegende Bericht enthält eine Zusammenfassung aller bisherigen Untersuchungsergebnisse, ein Variantenstudium für die Sanierung sowie ein erstes Grobkonzept für die Sanierungsvariante Aushub.</p>	Inhalt des Berichts
<p>Auf den beiden Flächen „Spitelfeld“ und „Oberer Einschlag“ (totale Fläche ca. 135'000 m²) wurde von 1950 bis 1975 der Kehricht der Stadt Solothurn in Hügeldeponien abgelagert. Das Deponiegut liegt ohne Abdichtung auf einer feinkörnigen Schicht aus Verlandungssediment. Darunter folgt der sandige Grundwasserträger. Die gesamten Deponieflächen verfügen über ein altes Drainagesystem, das direkt in die beiden Bäche Brunn- und Brühlgraben entwässert.</p>	Historik Kehrichtdeponie
<p>Ein grosser Teil der 310'000 m³ (fest) Deponiegut besteht aus organischem Material (bis > 50 %). Abhängig vom Ablagerungszeitraum und den Entwässerungsverhältnissen (Einstau), ist das Material unterschiedlich stark abgebaut. Aufgrund der Schadstoffgehalte im Feststoff bzw. in den Eluat und der Fremdstoffanteile weist das Deponiematerial mehrheitlich Reaktor- bzw. Reststoffqualität auf.</p>	Schadstoffpotential Deponiegut
<p>Das Grundwasser und die beiden Bäche Brunn- und Brühlgraben im Abstrombereich der Deponieflächen sind u.a. mit Ammonium, Nitrit und chlorierten Lösungsmitteln (CKW) bzw. deren Abbauprodukten (z.B. Vinylchlorid) belastet. Die AltIV-Konzentrationswerte werden für Ammonium und Vinylchlorid im Grundwasser und in beiden Bächen überschritten (z.T. > 10-fach).</p>	Belastung Bäche und Grundwasser
<p>Ausgehend von allen bisher durchgeführten Untersuchungen besteht für die Teilfläche Spitelfeld eindeutig ein Sanierungsbedarf nach Art. 9 Abs. 2b AltIV bzgl. Grundwasser (relevante Schadstoffe: Ammonium und Vinylchlorid) bzw. nach Art. 10 Abs. 2a AltIV bzgl. der Oberflächengewässer Brunngraben, Brühlgraben und Aare (relevante Schadstoffe: Ammonium und Vinylchlorid).</p>	Sanierungsbedarf Spitelfeld
<p>Für das Spitelfeld bestand die Hypothese, dass die Quelle der sanierungsbedürftigen CKW-Verunreinigung auf eine Teilfläche eingrenzbar ist. Zur Prüfung dieser Hypothese wurde eine Rasterbeprobung der Porenluft durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten jedoch, dass praktisch überall im Deponieperimeter CKW nachzuweisen sind und keine eindeutig identifizierbare CKW-Herde bestehen.</p>	Sanierungsperimeter Spitelfeld
<p>Die Teilfläche Oberer Einschlag ist aufgrund der festgestellten Belastungen im Sickerwasser (Hauptschadstoffe Ammonium, Benzol, PCB und Schwermetalle) überwachungsbedürftig. Aufgrund der möglichen direkten Entwässerung (Drainagesystem) in den Brunngraben besteht ein Sanierungsbedarf nach Art. 10 Abs. 2b AltIV. Aufgrund des voraussichtlich ungenügenden Rückhalts besteht auch ein Sanierungsbedarf für das Grundwasser nach Art. 9, Abs. 2d AltIV.</p>	Sanierungsbedarf Oberer Einschlag

Sanierungsprojekt	Aufgrund des festgestellten Sanierungsbedarfs war für die beiden Ablagerungsstandorte ein Sanierungsprojekt nach Art. 17 Altlastenverordnung (AltV) auszuarbeiten. Im vorliegenden Bericht wird das Sanierungsprojekt erarbeitet. Das eigentliche Ausführungsprojekt wird erst im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens erstellt.
Sanierungsziel	Ziel der Sanierung ist die Beseitigung der Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen, die zur Sanierungsbedürftigkeit geführt haben. Schadstoffe müssen nicht zwingend entfernt werden, es gilt das Prinzip des nachhaltigen Quellenstopps. Insbesondere besteht kein Zwang zur Totaldekontamination.
Sanierungsvarianten	Für die Sanierung wurden verschiedene denkbare Sanierungsvarianten ermittelt. Dabei wurden folgende Dekontaminations- und Sicherungs-Verfahren näher betrachtet: Teil- und Totalaushub, Pump and Treat, In situ Strippen / Air-Sparging, Biosparging / Aerobisierung, Monitored Natural Attenuation, Einkapselung, Permeable Reaktive Barrieren.
Aushub als Bestvariante	Die genannten Verfahren wurden jeweils bezüglich den Kriterien Machbarkeit, Wirksamkeit sowie Kosten beurteilt. Die Variante Aushub schnitt in der Gesamtbewertung am besten ab. Insbesondere weist sie eine deutlich bessere Wirksamkeit als alle anderen Varianten auf. Für die Variante Aushub wurde daher auch das Sanierungsprojekt erarbeitet.
Teil- oder Totaldekontamination	Bei der Variante Aushub wird der gesamte Oberboden (30'000 m ³ fest) und das gesamte Deponiegut (310'000 m ³ fest) vom Standort entfernt. Mit dieser Teildekontamination würde das altlastenrechtliche Sanierungsziel voraussichtlich bereits erreicht. Bei einer Totaldekontamination würde zusätzlich auch der leicht belastete anstehende Untergrund (36'000 m ³ fest) ausgehoben und entfernt.
Infrastruktur, inkl. Hallen	Zu Beginn ist die notwendige Infrastruktur zu erstellen (Lagerplätze, Verkehrswege etc.). Zur Vermeidung von Geruchsemissionen ist die Installation einer mobilen Abbauhalle und einer stationären Aufbereitungshalle zu prüfen.
Entwässerung und Vorbelüftung	Vor dem eigentlichen Aushub ist die Deponie zu entwässern (Deponiegut steht ca. 1 m im Wasser). Anschliessend ist eine Vorbelüftung des Deponieguts durchzuführen (Vermeidung übermässiger Geruchsemissionen und explosionsfähiger Deponiegas-Luft-Gemische).
Aushub und Triage in 5 Fraktionen	Nach Abtrag des Oberbodens wird das Deponiegut ausgehoben. In einer Aufbereitung vor Ort wird das Deponiegut in fünf verschiedene Fraktionen (Brennbarer Abfall, mineralisches Aushubmaterial und stark abgebauter Kehricht, Bauschutt, Metalle, Spezialabfälle) aufgetrennt.
Entsorgungswege	Als mögliche Entsorgungswege kommen KVA, Zementwerke, Sondermüllverbrennungsanlagen, Bodenwaschanlagen sowie Reaktor-, Rest- und Inertstoffdeponien in Frage. Es wird eine hohe Vewertungsquote angestrebt.
Kosten 80-200 Mio, Zeitbedarf 2-4 Jahre	Basierend auf Erfahrungswerten und zahlreichen Annahmen wird von Kosten von ca. 80–200 Mio CHF und einer Ausführungsdauer von 2–4 Jahren ausgegangen.
Beurteilung Sanierungsprojekt	Mit der Aushubvariante besteht eine machbare, wirksame und nachhaltige Sanierungsmethode, mit welcher das Sanierungsziel erreicht werden kann.

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

1.1 Basisdaten

Objektbezeichnung	Stadtmist Solothurn (Spitelfeld und Oberer Einschlag)
Gemeinde	Solothurn
Parzellen Kat.-Nr.	GB2038, GB5251 (Spitelfeld), GB2025 (Oberer Einschlag)
Mittlere Koordinaten	606'190 / 227'900 (Spitelfeld) 605'900 / 227'640 (Oberer Einschlag)
Mittlere Kote	ca. 429 m ü.M.
Deponieflächen	ca. 108'000 m ² (Spitelfeld) ca. 25'000 m ² (Oberer Einschlag)
Gewässerschutzbereich	A _u
Grundwasserschutzzone	Keine Zone
Eintrag im Kataster der belasteten Standorte	022.001.002A (Spitelfeld) 022.001.001A (Oberer Einschlag)

1.2 Ausgangslage

Die Stadtmist-Deponien sind in die beiden Teilflächen Spitelfeld und Oberer Einschlag unterteilt und liegen in der Landwirtschaftszone an der westlichen Stadtgrenze von Solothurn. Das Gebiet wird durch die beiden kanalisierten Bäche Brühl- und Brunngraben in Richtung Aare entwässert. Der Obere Einschlag liegt in der Schutzzone Witi (Grenze ist der Brunngraben). Die Örtlichkeiten sind in den Situationen in den Anhängen 1 und 5 ersichtlich. Lage

Aufgrund der bisherigen Untersuchungen sind das Grundwasser und die beiden Bäche Brunn- und Brühlgraben im Abstrombereich der Deponieflächen Spitelfeld und Oberer Einschlag u.a. mit Ammonium, Nitrit und chlorierten Lösungsmitteln (CKW) bzw. deren Abbauprodukten (z.B. Vinylchlorid) belastet. Aufgrund dieser Belastungen sind die Standorte als sanierungsbedürftig gemäss Altlastenverordnung (AltIV) einzustufen. Die ausführliche Beurteilung nach AltIV findet sich in Kapitel 4 des vorliegenden Berichts. Die Feststellung des altlastenrechtlichen Status in Form einer Verfügung durch das Amt für Umwelt Kanton Solothurn steht noch aus. Sanierungsbedarf

Mit Auftragsbestätigungen vom 27. April 2007 und 25. März 2008 wurde die FRIEDLIPARTNER AG von der Einwohnergemeinde der Stadt Solothurn beauftragt, ergänzende Standortuntersuchungen durchzuführen und ein Sanierungsprojekt zu Handen des AfU auszuarbeiten. Auftrag

1.3 Zielsetzung

Optimale Sanierungs- massnahmen	Im vorliegenden Sanierungsprojekt werden mögliche Sanierungsvarianten bewertet und ein Vorschlag für eine optimale Sanierungsvariante gemacht. Es soll als Beurteilungsgrundlage für das AfU zur Genehmigung des Sanierungsprojektes dienen (Art. 18 AltIV). Die Behörde entscheidet daraufhin über die definitiven Sanierungsziele und Sanierungsmassnahmen.
Abgrenzung	Der Bericht umfasst ein Sanierungsprojekt nach Art. 17 AltIV mit Schwerpunkt auf dem Variantenstudium und einem Konzept für die optimale Sanierungsvariante. Für die konkrete Umsetzung ist im Rahmen des Baubewilligungsverfahren zu einem späteren Zeitpunkt ein detailliertes Ausführungsprojekt auszuarbeiten.

1.4 Beteiligte

Auftraggeber	Einwohnergemeinde Solothurn Stadtbauamt Benedikt Affolter Baselstrasse 7 4500 Solothurn Tel. 032 626 93 10
Vollzugsbehörden Altlasten	Amt für Umwelt (AfU) Kanton Solothurn Dr. Martin Brehmer Werkhofstrasse 5 4509 Solothurn 8090 Zürich Tel. 032 627 20 52
Altlastenuntersuchung	FRIEDLIPARTNER AG Dr. Rita Hermanns Stengele Weissensteinstrasse 5 4502 Solothurn Tel. 044 315 10 10

Eigentumsverhältnisse Die heutigen Eigentums- und Pachtverhältnisse sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1 Eigentums- und Pachtverhältnisse der betroffenen Parzellen

Deponierteil	Parzelle Kat.-Nr.	Fläche [m ²]	Eigentümer	Pächter
Spitelfeld West	GB 2038	78'240	Einwohnergemeinde der Stadt Solothurn	Bernhard Lehmann, Solothurn, Ulrich Rothen, Bellach
Spitelfeld Ost	GB 5251	30'850	Kanton Solothurn	Ulrich Rothen, Bellach
Oberer Einschlag	GB 2025	24'930	Einwohnergemeinde der Stadt Solothurn	Bernhard Lehmann, Solothurn

1.5 Verwendete Unterlagen, Vorakten

Die gesetzlichen Grundlagen und Richtlinien für die Bearbeitung von Altlastenfällen sind in Kapitel 9 aufgeführt. Gesetzliche Grundlagen

- [1] FRIEDLIPARTNER AG (2006). Ehemalige Städtische Kehrichtdeponie Solothurn West ("Stadtmist"). Altlastenvoruntersuchung: Technische Untersuchung Etappe 2. Bericht FRIEDLIPARTNER AG, 23. Februar 2006. Vorakten
- [2] Geotechnisches Institut (2005). Altdeponien Stadtmist Solothurn Weststadt, Informationsaustausch Hydrogeologie. Protokoll. Daniele Biaggi. 1. April 2005.
- [3] Geotechnisches Institut (2005). Deponien Stadtmist (Solothurn West), Unterlagen zur Sitzung vom 31. März 2005.
- [4] Ambio (2005). Stadtmist Solothurn. Voruntersuchung Boden. Eruierung der Schadstoffbelastung des Bodens und Gefährdungsabschätzung. März 2005.
- [5] Friedli Geotechnik AG (2003). Solothurn Weststadt, Kehrichtdeponien 2. Sondierungsetappe. Aktennotiz. 5. Dezember 2003.
- [6] Sieber Cassina + Partner AG (2003). Weststadt Solothurn, Belastungen des Grundwassers mit chlorierten Kohlenwasserstoffen, Untersuchungsergebnisse der Probenahmekampagne, Mai 2003. 30. Juni 2003.
- [7] Friedli Geotechnik AG (2001). Zwischenbericht Solothurn Weststadt, Kehrichtdeponien, Erste Erkenntnisse im Rahmen der technischen Untersuchung. 29. Oktober 2001.
- [8] Friedli Geotechnik AG (2001). Pflichtenheft zur ergänzenden technischen Untersuchung, ehemalige städtische Kehrichtdeponie „Stadtmist“. 23. April 2001.
- [9] Friedli Geotechnik AG (1996). Ehemalige städtische Kehrichtdeponien in der Weststadt, Zusammenfassender Jahresbericht 1996. 18. Dezember 1996.
- [10] Friedli Geotechnik AG (1996). Bericht über die Kontrollmessungen vom 05.01.1996, ehemalige städtische Kehrichtdeponien in der Weststadt. 16. April 1996.
- [11] Geotechnisches Institut (1995). Ehemalige Deponie „Stadtmist“, Kurzbericht über bisherige Untersuchungsergebnisse und Vorschlag für das weitere Vorgehen. 13. September 1995.
- [12] Friedli Geotechnik AG (1994). Ehemalige städtische Kehrichtdeponien in der Weststadt, Bericht über die Kontrollmessungen vom 24.01.1994 an den Sickerwässern aus der Deponie Spitälfeld (GB2038). 14. Februar 1994.
- [13] Friedli Geotechnik AG (1992). Ehemalige städtische Kehrichtdeponien (Stadtmist) in der Weststadt, Bericht über die Untersuchungen an den Deponien Spitälfeld (GB2038) und Oberer Einschlag (GB2025), Empfehlungen für das weitere Vorgehen. 23. Juni 1992.

2 GRUNDLAGEN AUS VOR- UND DETAIL- UNTERSUCHUNG

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchungen aus den Jahren 1992-2006 nochmals zusammenfassend dargestellt (vgl. Vorakten).

2.1 Historik

Ist-Zustand/ Nutzung	Auf den Deponieflächen wurde nach der Rekultivierung Ackerwirtschaft betrieben. Seit 1982 darf auf dem Spitefeld nur noch Graswirtschaft (inkl. Weide) betrieben werden. Aufgrund von neueren Bodenuntersuchungen [4] sind 2008 durch das AfU für den Ostteil des Spitefeldes weitere Nutzungseinschränkungen verfügt worden. Auf dem Oberen Einschlag wird nach wie vor Ackerwirtschaft betrieben.
Kehrichtablagerung	Die Kehrichtablagerungen auf dem Spitefeld erfolgten von 1950 bis 1970 , im Bereich des Oberen Einschlags von 1971 bis 1976 . Nach 1976 wurden keine Abfälle mehr abgelagert. Die Anlage der Deponie wurde etappenweise auf dem vorgängig stückweise abhumusierten Untergrund ausgeführt. Die Deponien verfügen weder über eine Sohlenabdichtung noch über Sickerwasserdrainagen [1, 13].
Abfälle	Das abgelagerte Material besteht zur Hauptsache aus Siedlungsabfällen der Stadt Solothurn (ca. 90 %). Zusätzlich sind Gewerbe- und Industrieabfälle wie Farb- und Lösungsmittelreste, diverse Industrieschlämme, Strassenwischgut, Autoreifen, Glas und Metzgereiabfälle vorhanden [13].

2.2 Schutzgüter

Geologie / Hydrogeologie	<p>Das Deponiegut liegt ohne Abdichtung auf dem anstehenden Untergrund. Dieser besteht im Bereich der Deponien aus 1-3 m mächtigen feinkörnigen Verlandungssedimenten, darunter folgen sandige Seeablagerungen.</p> <p>In den sandigen Seeablagerungen ist ein subartesisch gespanntes Grundwasservorkommen vorhanden. Der Flurabstand des Grundwassers beträgt im Bereich des Spitefeldes 1-2 m. Die generelle Grundwasserfließrichtung verläuft nach SSE bis S [1].</p>
Entwässerung	Das gesamte Gebiet der Stadtmistdeponie ist stark drainiert . Die abgesenkten Brühl- und Brunngraben dienen dabei als Vorfluter für die Drainagen und das oberflächennahe Grundwasser. Trotz des wahrscheinlich schlechten Zustandes des alten Entwässerungssystems (Dichtigkeit, Verschlammung) fliesst immer noch ein relevanter Teil des Deponiesickerwassers über die Drainage- und Sickerleitungen in den Brühl- und Brunngraben. Das restliche Sickerwasser infiltriert ins Grundwasser und exfiltriert stromabwärts in die beiden Kanäle [1].
Schutzgüter	Relevante Schutzgüter sind der Boden , das Grundwasser und die Oberflächen-gewässer Brühlgraben, Brunngraben und die Aare .

2.3 Belastungssituation

Die Kubaturen an abgelagertem Deponiematerial betragen für die Teilfläche Spitelfeld ca. 250'000 m³ (fest), für die Teilfläche Oberer Einschlag ca. 60'000 m³ (fest). Durch Emissionen aus dem Deponiegut wurden zusätzlich ca. 33'000 m³ (fest) Oberboden (Deponieabdeckung) und ca. 36'000 m³ (fest) anstehender Untergrund mit Schadstoffen belastet. Insgesamt ergibt sich eine Kubatur an belastetem Material von ca. **380'000 m³** (fest). Kubaturen

Wie im Abschnitt Historik (Abschnitt 2.1) erwähnt, besteht das Deponiegut mehrheitlich aus Siedlungsabfällen (ca. 90 %) sowie z.T. aus Gewerbe- und Industrieabfällen. In den durchgeführten Baggerschlitten wurde u.a. Sperrgut, Plastik (Abfallsäcke), Gummi (Pneus), Textilien, Papier, Metall-, Glas-, Keramik- und Holzstücke etc. angetroffen. Art und Menge der Schadstoffe

Aufgrund der Schadstoffgehalte im Feststoff und der Fremdstoffanteile weist das Deponiematerial mehrheitlich **Reststoff- bzw. Reaktorstoffqualität** auf. Lokal dürften die Anforderungen der TVA an Inertstoffe erfüllt sein.

Die im 2005 beprobten Sickerwässer aus dem Spitelfeld und dem Oberen Einschlag wiesen hohe organische Frachten und allgemein stark reduzierende Verhältnisse auf. Die Gehalte an **Vinylchlorid, Ammonium, Benzo(a)pyren, PCB, Benzol** und diversen **Schwermetallen** lagen zum Teil deutlich über dem AltIV-Konzentrationswert. Sickerwässer

Sowohl im Grundwasser als auch im Brühl- und Brunnenbereich wurden im Abstrombereich der Deponien teilweise stark erhöhte Ammonium-, Nitrit- und DOC-Konzentrationen festgestellt. Weiter treten durchwegs erhöhte Belastungen mit Vinylchlorid auf. Die AltIV-Konzentrationswerte werden bei **Ammonium** und **Vinylchlorid** im Grundwasser und im Brunn- und Brühlgraben überschritten (z.T. > 10-fach). Belastungen in den Schutzgütern

Aufgrund der Historik, Untersuchungen im Deponiekörper (Feststoffproben) und Zustrommessungen im Grundwasser und in den Bächen stammen die festgestellten Immissionen eindeutig aus den abgelagerten Abfällen auf dem Spitelfeld und dem Oberen Einschlag. Herkunft der Belastung

2.4 Gefährdungsabschätzung

Das Schadstoffpotential ist aufgrund der starken bis sehr starken Belastung des Deponieguts und der sehr grossen Kubaturen als **sehr hoch** einzustufen [1]. Schadstoffpotential

Das Freisetzungspotential ist aufgrund folgender Punkte ebenfalls als **sehr hoch** einzustufen: Freisetzungspotential

- Fehlende Oberflächenversiegelung
- Fehlende Sohlenabdichtung
- Direkte Entwässerung von Deponiesickerwasser in die Oberflächengewässer Brunn- und Brühlgraben
- Teilweise hoch mobile Schadstoffe (CKW)

- Eine Freisetzung von Schadstoffen in die Schutzgüter ist nachweisbar bereits erfolgt

Gefährdung möglich Die erhöhten Vinylchlorid- und Ammoniumkonzentrationen in Brunn- und Brühlgraben stellen eine Gefährdung dieser beiden Gewässer dar. Insbesondere ist durch die gute Zugänglichkeit der Gewässer auch eine Gefährdung von Mensch und Umwelt (Flora/Fauna) nicht auszuschliessen [1].

Zukünftige Emissionen Das hohe Schadstoffpotential und die im Vergleich zum gesamten Schadstoffpotential geringen jährlich emittierten Frachten deuten auf einen Emissionszeitraum von deutlich mehr als 50 Jahren hin [1]. Das Emissionsniveau wird somit in den nächsten Jahrzehnten voraussichtlich nur langsam reduziert.

Die altlastenrechtliche Beurteilung der Deponieflächen, basierend auf sämtlichen bisher durchgeführten Arbeiten ist in Kapitel 4 dargelegt.

3 ERGÄNZENDE STANDORT- UNTERSUCHUNG

3.1 Einleitung

Basierend auf den zwischen 1992 und 2005 durchgeführten Untersuchungen (vgl. Ausgangslage Vorakten, Kap. 1.5) waren die beiden Deponieflächen Spitefeld (KbS-Nr. 022.001.002A) und Oberer Einschlag (KbS-Nr. 022.001.001A) als belastete Standorte zu beurteilen.

Die Fläche **Spitefeld** war bereits aufgrund der früheren Untersuchungen [1] eindeutig als sanierungsbedürftig bzgl. der Schutzgüter Grundwasser und Oberflächengewässer zu beurteilen.

Die Fläche **Oberer Einschlag** war aufgrund der früheren Untersuchungen als überwachungsbedürftig einzustufen. Der Sanierungsbedarf konnte im oben genannten Bericht [1] aufgrund von Wissenslücken noch nicht abschliessend beurteilt werden.

Im Rahmen der Erarbeitung des vorliegenden Sanierungsprojektes wurden 2007 und 2008 zusätzliche technische Untersuchungen zur Schliessung von Kenntnislücken durchgeführt (ergänzende Standortuntersuchungen).

Basierend auf den Ergebnissen können die beiden Deponieflächen nun abschliessend altlastenrechtlich beurteilt werden (vgl. Kapitel 4). Weiter konnten zusätzliche Erkenntnisse bzgl. der Materialqualität im Hinblick auf die Beurteilung der Sanierungsvarianten (vgl. Kapitel 5) gewonnen werden.

Im vorliegenden Kapitel 3 werden die Ergebnisse dieser Zusatzuntersuchungen zusammenfassend dargestellt.

3.2 Vorgehen

Zielsetzung

Mit den durchgeführten ergänzenden Untersuchungen sollten die folgenden Ziele erreicht werden:

- Verifizierung der Belastungen im Abstrombereich der Deponieflächen (Grundwasser und Oberflächengewässer)
- Differenzierte Beurteilung des Oberen Einschlags bzgl. der altlastenrechtlichen Einstufung
- Beurteilung des Spitefelds hinsichtlich allfälligen nicht sanierungsbedürftigen Teilflächen (altlastenrechtliche notwendige Sanierungsmassnahmen)¹.
- Charakterisierung des Deponiematerials inkl. chemischer Belastung im Hinblick auf die Entsorgung

Ausgeführte Arbeiten

Die ergänzenden Untersuchungen waren in die folgenden vier Teile gegliedert:

- Teil 1: Zusätzliche Grundwasserbeprobungen im Abstrom der beiden Deponieflächen sowie im Brunn- und Brühlgraben. Insbesondere wurde eine neue Messstelle (MS 2, vgl. Anhang 1) im Brunngraben eingerichtet mit dem Ziel, allfällige unterschiedliche Einflüsse der beiden Deponieflächen auf den Brunngraben zu erkennen.
- Teil 2: Baggersondierungen im Deponiekörper zur besseren Beurteilung des Deponiematerials.
- Teil 3: Porenluft-Rasterbeprobung zur Ermittlung der räumlichen Verteilung der Belastung mit chlorierten Lösungsmitteln (CKW) auf der Fläche Spitefeld.
- Teil 4: Fünf zusätzliche Piezometer im Deponiekörper des Spitefelds. Untersuchung des Sickerwassers auf CKW.

Die ausgeführten Arbeiten sind untenstehend aufgelistet. Die Lage der Sondierungen und der Probenahmestellen kann den Situationen in Anhang 1 entnommen werden.

- 8. Juni 2007: Entnahme von vorgepumpten Grundwasserproben (Entnahmetiefe 3.5 m) aus Piezometern KB 2, KB 3, IMP Bautest AG, Oberbuchsiten.
- 8. Juni 2007: Entnahme von Schöpfproben aus dem Brühl- und Brunngraben (bei US 1, MS 2 und US 3) durch IMP Bautest AG, Oberbuchsiten.

¹ Aufgrund der vier unterschiedlichen Ablagerungszeiträume in den vier Sektoren D1-D4 (vgl. Anhang 6) bestand für das Spitefeld die Hypothese, dass die Quellen der sanierungsbedürftigen CKW-Verunreinigungen auf einzelne Teilflächen eingrenzbar sind. Auf dem Oberen Einschlag (Sektor D5) wurden die Abfälle ohne Etappierung, in einem einzigen Ablagerungszeitraum eingebaut. Daher können beim Oberen Einschlag keine Teilflächen mit anderer Abfallzusammensetzung eingegrenzt werden. Beim Oberen Einschlag wurde daher auf eine weitere Untersuchung der Porenluft zur Eingrenzung von Schadstoffherden verzichtet.

- Chemische Analysen der Grund- und Bachwasserproben durch IMP Bautest AG, Oberbuchsiten. Analyseparameter: pH-Wert, Leitfähigkeit, O₂, Ammonium, Nitrit, DOC, Schwermetalle und PUT (u.a. CKW).
- 12. Juli 2007: Aufgraben von 8 Baggerschlitzten auf der Deponiefläche Spitalfeld durch die Reinhold Dörfiger AG, Egerkingen; geologische und organoleptische Aufnahme der Sondierungen, Entnahme von Feststoffproben des Deponiegutes und des anstehenden Untergrundes durch die FRIEDLIPARTNER AG. Entnahme von Deponiematerial fürs Eluat-Tests nach TVA und AltIV.
- Chemische Analysen der Feststoffproben (Deponiegut und Verlandungssedimente) durch IMP Bautest AG, Oberbuchsiten. Analyseparameter: pH-Wert, Leitfähigkeit, O₂, Ammonium, Nitrit, DOC, Schwermetalle und PUT (u.a. CKW).
- Chemische Analysen von Eluaten (1x AltIV, 1x TVA 24h) aus dem Deponiegut durch IMP Bautest AG, Oberbuchsiten, Analyseparameter: pH-Wert, Leitfähigkeit, O₂, Ammonium, Nitrit, DOC, PCB, Schwermetalle, PUT (u.a. CKW).
- 24./25. April 2008: Rasterbeprobung der Porenluft auf der Fläche Spitalfeld durch die UmweltMess GmbH, Lützelfüh. Messung von CH₄, H₂S, CO₂ und CKW in der Porenluft an 45 Messpunkten.
- September 2008: Versetzen von 5 Grundwassermessstellen (PM 2008-1 bis 2008-5, 2 Zoll) durch die UmweltMess GmbH, Lützelfüh.
- 8. Oktober 2008: Entnahme von Sickerwasserproben (Entnahmetiefe 2 m) aus den Piezometern PM 2008-1 bis PM 2008-5 durch das Institut Bachema, Schlieren.
- Chemische Analyse an den Sickerwasserproben durch das Institut Bachema, Schlieren. Analyseparameter: PUT.
- 16. Januar 2009: Aufgraben von 3 Baggerschlitzten auf der Deponiefläche Spitalfeld und Oberer Einschlag durch die Reinhold Dörfiger AG, Egerkingen; geologische und organoleptische Aufnahme der Sondierungen durch die FRIEDLIPARTNER AG, Vor-Ort-Beurteilung des Deponiegutes durch spezialisierte Entsorgungsunternehmen, Entnahme von Proben zur Feststoffanalytik und für Eluat-Tests nach TVA.
- Chemische Analyse an den Feststoffproben und Eluattests durch das Institut Bachema, Schlieren. Analyseparameter: Schwermetalle, KW-Index, PUT.

3.3 Ergebnisse

Alle Ergebnisse
im Anhang

Die Ergebnisse der Zusatzuntersuchung sind zusammen mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen in Anhang 1 dargestellt:

- Anhang 1.1: Feststoffproben
- Anhang 1.2: Sickerwasserproben und AltV-Eluate
- Anhang 1.3: Grundwasser- und Bachwasserproben

Die Profile der Baggerschlitz 2007-1 bis 2007-08 sind in Anhang 2 beigelegt. Die Porenluftanalysen sind als Belastungskarten in Anhang 3 dargestellt (Interpolation mittels Programm SURFER, Methode "Kriging"). Die vollständigen Analyseberichte der Labore finden sich in Anhang 4.

3.3.1 Ergebnisse Feststoffproben und TVA-Eluate

Organoleptische
Befunde

Die Zusammensetzung des Deponiegutes ist sowohl im Spitäfeld als auch im Oberen Einschlag sehr heterogen und ändert kleinräumig. Die organoleptische Aufnahme der Baggerschlitz der Zusatzuntersuchung bestätigte im Allgemeinen die Materialqualitäten der bisherigen Untersuchungen (ca. 90 % Siedlungsabfälle, ca. 10 % Gewerbe- bzw. Industrieabfälle, vgl. Abschnitt 2.3). Im Baggerschlitz BS 2007-7 wurde eine ca. 1 m mächtige Schicht aus sandigem Kies mit ca. 50 % mineralischen Bauabfällen angetroffen.

Das Deponiegut ist abhängig von der Tiefe, dem Alter und der Abfallzusammensetzung unterschiedlich stark verwittert bzw. abgebaut. Die oberste, nicht eingestaute Schicht des Deponiegutes (ca. 1 m) ist im Allgemeinen stark verwittert und weist einen kleineren organischen Anteil auf. Die darunter liegenden Schichten weisen höhere organische Anteile auf.

In horizontaler Hinsicht unterscheiden sich nur die ältesten Ablagerungen im Nordostviertel des Spitäfelds deutlich vom Rest. Hier ist der mineralische Anteil höher und es ist weniger Plastik vorhanden als in den anderen, jüngeren Bereichen von Spitäfeld und Oberem Einschlag.

Feststoffproben
Deponiegut

Die analysierten Feststoffproben des Deponiegutes weisen durchwegs stark erhöhte Kohlenwasserstoff- und PAK-Gehalte auf (> Inertstoff, vgl. Anhang 1.1). Auch die Schwermetalle Blei, Kupfer, Zink und Quecksilber wurden teilweise in Konzentrationen deutlich über den entsprechenden Inertstoff-Grenzwerten nachgewiesen. Das Material ist somit im Allgemeinen als **Reaktor- bzw. Reststoffmaterial** zu klassieren.

Das Deponiegut weist im Allgemeinen einen hohen Anteil an **organischem Material** auf. Abhängig vom Ablagerungszeitraum und den Entwässerungsverhältnissen (Einstau) ist der organische Anteil unterschiedlich stark abgebaut. Selbst in den ältesten Ablagerungen beträgt der organische Anteil (Glühverlust) jedoch immer noch 10-20 %. So wurde an zwei Mischproben aus älteren Ablagerungsbereichen des Spitäfelds ("BS 2007-01-1/BS 2007-04-1" und "BS 2007-05-1/BS2007-06-2") ein Glühverlust von 12.9 bzw. 20.3 % festgestellt. Bei den jüngeren Bereichen dürfte der organische Anteil weit höher (> 50 % liegen).

Aus vier Sondierungen wurden Proben der anstehenden Verlandungssedimente untersucht. Das tonig-siltige Material wies dabei schwache Belastungen mit Kohlenwasserstoffen auf (< Inerstoff-Grenzwert). Die Konzentrationen von PAK, Blei, Kupfer, Quecksilber sowie Zink lagen durchwegs unter dem Grenzwert für unverschmutzten Aushub. Das Material kann somit insgesamt als **tolerierbarer Aushub** klassiert werden.

Feststoffproben
Untergrund

Mit Deponiegut aus dem Spitzfeld (Proben BS 2007-8-1, BS 2009-2-1, vgl. Anhang 1.1) wurden TVA-Eluate (24 h) hergestellt (vgl. Tabelle 2). Die Anforderungen der TVA an Inertstoffdeponien wurden bei Ammonium, Nitrit und Arsen nicht eingehalten. Bei den Schwermetallen wurden keine Überschreitungen des massgebenden Grenzwertes festgestellt. Das Deponiematerial ist auch aufgrund dieser Ergebnisse (wie bereits aufgrund der Feststoffproben) als **Reaktor- bzw. Reststoffmaterial** zu klassieren.

TVA-Eluate
Deponiegut

Tabelle 2 Ausgewählte Schadstoff-Gehalte in den TVA-Eluaten

Parameter	BS 2007-08-1	BS 2009-02-1	Grenzwert TVA (Inertstoffe)	Grenzwert TVA (Reststoffe)
Ammonium (N)	4.18	7.22	0.5	5
Nitrit	0.131	0.045	0.1	1
DOC	2.6	-	20	50
KW-Index	0.5	-	0.5	5
Arsen	0.006	0.014	0.01	0.1
Blei	< 0.001	< 0.001	0.1	1
Kupfer	< 0.002	< 0.002	0.2	0.5
Nickel	0.062	0.034	0.2	2
Quecksilber	< 0.0002	< 0.0002	0.005	0.01
Zink	0.21	0.37	1	10

Alle Messwerte in mg/l gelöste Konzentration. Rote Zahlen: > Grenzwert für Inertstoffe.

AltIV-Eluat-Test
Deponiegut

3.3.2 Ergebnisse Emissionsmessungen (AltIV-Eluate und Sickerwasser)

Mit Deponiegut aus dem nordöstlichen Bereich des Spitefelds (Probe BS 2007-1-1, vgl. Anhang 1.2) wurde ein AltIV-Eluat-Test durchgeführt. Das Material ist relativ stark verwittert und weist einen kleineren Fremdstoffanteil als die neueren Ablagerungen auf.

In Tabelle 3 sind die im AltIV-Eluat gemessenen Konzentrationen zusammengestellt. Die Substanzen **Vinylchlorid** und **Antimon** überschritten die entsprechenden Konzentrationswerte der AltIV. Ammonium überschritt 50 % des AltIV-Konzentrationswerts.

Tabelle 3 Ausgewählte Schadstoff-Gehalte im Altlasten-Eluat der Probe BS 2007-1-1

Parameter	Einheit	W/F 0.25	W/F 3.0	W/F 6.0	Konzentrationswert AltIV
Ammonium	mg/l	0.38	0.21	0.16	0.5
Nitrit	mg/l	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.1
PCB	µg/l	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.1
Benzol	µg/l	0.16	0.06	0.07	10
Vinylchlorid	µg/l	0.43	0.21	0.19	0.1
Antimon	mg/l	0.012	0.011	0.005	0.01
Blei	mg/l	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.05
Kupfer	mg/l	0.006	0.003	< 0.002	1.5
Nickel	mg/l	0.013	0.005	0.003	0.7
Quecksilber	mg/l	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	0.001
Zink	mg/l	< 0.01	< 0.01	< 0.01	5

Alle Messwerte in mg/l bzw. µg/l Eluat gelöste Konzentration (vgl. Spalte „Einheit“).

W/F = Wasser-Feststoff-Verhältnis. Rote Zahlen: > Konzentrationswert AltIV, orange: > 50% AltIV

Sickerwasser

In allen fünf Sickerwasserproben aus den Piezometern im Deponiekörper des *Spitefelds* (PM 2008-1 bis 5, vgl. Anhang 1.2) wurden Spuren von organischen Lösungsmitteln, insbesondere Benzol, festgestellt. Die maximale Benzol-Konzentration betrug 4.4 µg/l und lag damit knapp unterhalb des halben Konzentrationswertes der AltIV (10 µg/l). Weiter zeigten zwei Proben Belastungen mit **Vinylchlorid** (0.07 bzw. 0.11 µg/l) in der Größenordnung des AltIV-Konzentrationswertes (0.10 µg/l).

In der Sickerwasserprobe aus dem *Oberen Einschlag* (Piezometer in BS 2009-01) vom 16.01.2009 wurde **Ammonium** und **Blei** über dem AltIV-Konzentrationswert nachgewiesen. Benzol und Cadmium lagen über der Hälfte der entsprechenden AltIV-Konzentrationswerte.

3.3.3 Ergebnisse Immissionsmessungen (Bachwasser und Grundwasser)

Die beiden Abstromproben im Brühl- und Brunngraben (US 1, US 2, vgl. Anhang 1.3) wiesen auch im 2007 wiederum erhöhte Werte an **Ammonium**, **Nitrit** und **Vinylchlorid** auf. In beiden Bächen lagen insbesondere die Konzentrationen an Vinylchlorid mit 0.94 bzw. 1.66 µg/l um ein Mehrfaches über dem entsprechenden AltIV-Konzentrationswert von 0.1 µg/l. Oberflächengewässer

Im Brunngraben zeigte die Probe der Messstelle MS 2 (Abstrom Spitelfeld und Anstrom Oberer Einschlag, vgl. Situation Anhang 1.3) bei der Messung im Jahre 2007 nur Spuren von Ammonium, Nitrit und PER. Die Probe wies somit ähnliche Konzentrationen wie die Zustromprobe OS 2 im Jahre 2005 auf. Alle Messwerte lagen unterhalb des AltIV-Konzentrationswertes.

Die Grundwasserprobe aus dem Abstrom des *Spitelfeldes* (KB 2, vgl. Anhang 1.3) zeigte deutliche Überschreitungen der AltIV-Konzentrationswerte bei verschiedenen Schadstoffen. So wurden 46.5 µg/l **Vinylchlorid** (AltIV-Konzentrationswert 0.1 µg/l) und 21.5 mg/l **Ammonium** (AltIV-Konzentrationswert 0.5 mg/l) festgestellt. Grundwasser

Im Abstrom des *Oberen Einschlag* wurden dagegen nur Spuren von PER (0.05 µg/l) und Ammonium (0.09 mg/l) gefunden.

3.3.4 Ergebnisse Porenluftmessung

Zwecks Abgrenzung von allenfalls nicht sanierungsbedürftigen Bereichen wurden im Spitelfeld Porenluftmessungen durchgeführt. Die Messungen zeigen generell ein sehr heterogenes Bild (vgl. Anhang 3).

Bei 31 der 45 Beprobungspunkte wurden CKW festgestellt, hauptsächlich Trichlor- (TRI) und Tetrachlorethen (PER). Die maximalen Konzentrationen betragen rund 0.1 ml/m³ (Summe CKW) und lagen somit deutlich unter den entsprechenden Konzentrationen der AltIV² (50 ml/m³ für PER sowie für TRI). Die räumliche Verteilung ist heterogen. Mit Ausnahme eines südlichen zentralen Bereichs wurden **überall zumindest Spuren** von CKW festgestellt (vgl. Anhang 3.1). Die festgestellten Belastungen stehen in keinem Zusammenhang mit den Ablagerungszeiträumen, sowohl in den ältesten als auch in den jüngeren Ablagerungen treten CKW auf. CKW

Die Methangehalte schwankten sehr stark und reichten von 0 bis max. 46 Vol.-% und lagen somit teilweise deutlich über dem AltIV-Konzentrationswert von 10'000 ml/m³ (= 1 Vol.-%). Die Belastungsschwerpunkte liegen für Methan eindeutig im jüngeren, **westlichen Bereich** der Deponie (vgl. Anhang 3.2). Methan

Kohlendioxid (CO₂) war, wie Methan, v.a. am **westlichen Rand** des Spitelfelds stark erhöht sowie in geringerem Ausmass auch an den nördlichen und östlichen Kohlendioxid

² Die Konzentrationswerte für Luft gemäss AltIV können nur angewendet werden, wenn das Schutzgut Luft betroffen ist, d.h. wenn sich Personen regelmässig während längerer Zeit in geschlossenen Räumen im Einflussbereich der Deponiegase aufhalten. Beim Stadtmist Solothurn ist dies nicht der Fall. Im vorliegenden Bericht werden die Konzentrationswerte daher nur zu orientierenden Zwecken verwendet.

Deponierändern (vgl. Anhang 3.3). Die maximalen Konzentrationen betragen 30 Vol-% (AltIV-Konzentrationswert = 0.5 Vol-%).

Schwefelwasserstoff Schwefelwasserstoff konnte nur in der **Westhälfte** des Spitefelds festgestellt werden (vgl. Anhang 3.4). Der AltIV-Konzentrationswert von 10 ml/m³ wurde dabei an vier Messpunkten bis 10-fach überschritten.

3.4 Schlussfolgerungen aus allen Untersuchungen

Aus den Ergebnissen der Zusatzuntersuchung und aller früheren Untersuchungen (vgl. Vorakten) ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

Qualität Deponiematerial Das Deponiematerial weist einen hohen Anteil an organischem Material auf. Selbst in den ältesten Ablagerungen beträgt der **organische Anteil** (Glühverlust) 10-20 %. Bei den jüngeren Bereichen dürfte der organische Anteil weit höher (> 50 % liegen). Basierend auf den Methan- und CO₂-Messungen ist die Abbauproduktivität der organischen Anteile in den meisten Bereichen immer noch sehr hoch.

Aufgrund der Schadstoffgehalte im Feststoff (vgl. Anhang 1.1), im TVA-Eluat sowie der Fremdstoffanteile weist das Deponiematerial mehrheitlich **Reaktor- bzw. Reststoffqualität** auf. Lokal dürften die Anforderungen der TVA an Inertstoffe erfüllt sein.

Anstehender Untergrund Die direkt unter den Ablagerungen anstehenden Verlandungssedimente sind nur **schwach bis mässig belastet** (max. Inertstoffqualität). Die Eindringtiefe der Belastungen dürfte gering sein (wenige Dezimeter).

Sickerwasser und AltIV-Eluate Sowohl die Sickerwässer der Deponien Spitefeld und Oberer Einschlag als auch die AltIV-Eluate von Deponiematerial aus dem Spitefeld weisen wiederholt stark erhöhte Schadstoff-Konzentrationen auf (vgl. Anhang 1.2). Insbesondere **Ammonium, Vinylchlorid** und diverse **Schwermetalle** wie Blei und Antimon liegen z.T. deutlich über den entsprechenden Konzentrationswerten der AltIV. Vereinzelt überschritten in Sickerwasserproben auch weitere Schadstoffe wie PCB, Benzol und Benzo(a)pyren die Konzentrationswerte der AltIV.

Belastungen in den Schutzgütern Die Ergebnisse der zusätzlichen Beprobungen bestätigten die bereits früher festgestellten Belastungen im abströmenden Grundwasser und in den Abstromproben in den beiden Bächen Brunn- und Brühlgraben. Die Konzentrationswerte der AltIV sind insbesondere für **Ammonium** und **Vinylchlorid** teilweise deutlich überschritten (vgl. Anhang 1.3). In den Anstromproben war Vinylchlorid hingegen nicht nachweisbar und Ammonium nur in sehr geringen Konzentrationen.

Porenluft Die Porenluft wurde insgesamt viermal beprobt (1992, 2001, 2005 und 2008, vgl. [13], [7], [1] sowie Kap. 3.3.4 des vorliegenden Berichts). Dabei wurden bei jeder Kampagne andere Probenahme- und Analysen-Methoden eingesetzt. Die Ergebnisse sind daher nur bedingt vergleichbar. Es können bezüglich der Belastung der Porenluft folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Bei den Ablagerungen im Oberen Einschlag und im jüngeren, westlichen Teil des Spitefelds weist die Porenluft stellenweise **sehr hohe Methankonzentrationen** auf (Spitefeld bis 47.4%, Oberer Einschlag bis 47.5 %). Bei Arbeiten in diesen

Bereichen ist daher die latente Explosionsgefahr zu beachten (vgl. Kap. 6.6, Sicherheitsaspekte). Neben Methan sind in diesen Bereichen auch weitere Deponiegase wie CO₂ und H₂S stark erhöht.

Die Porenluft ist zudem auf der ganzen Fläche des Spitefeldes und auch im Oberen Einschlag mit CKW belastet (je nach Probenahmekampagne und je nach Probe v.a. mit Per, Tri, Vinylchlorid und/oder Methylenchlorid, mit Konzentrationen Σ CKW bis max. 3 ml/m³). Die CKW-Gehalte zeigen keinen Zusammenhang mit dem Alter der Ablagerungen. Insbesondere können auch **keine grösseren CKW-freie Teilflächen** ausgeschieden werden.

Neben CKW wurden in diversen Porenluft-Proben aus beiden Deponieflächen weitere organische Schadstoffe wie **BTEX**, **MTBE** sowie aliphatische Kohlenwasserstoffe (**C₂-C₁₀**) in Konzentrationen bis max. ca. 250 ml/m³ nachgewiesen.

4 SANIERUNGSBEDARF UND -ZIELE

4.1 Allgemeines

Für die beiden Ablagerungsstandorte Spitelfeld und Oberer Einschlag wurde in der Vor- bzw. Detailuntersuchung [1] bereits ein Vorschlag für die altlastenrechtliche Beurteilung gemacht (vgl. Kap. 2 und Abschnitt 3.1. des vorliegenden Berichts). Nachfolgend wird die Klassierung der Standorte unter Einbezug der neuen Untersuchungsergebnisse (vgl. Kap. 3) nochmals ausgeführt.

4.2 Altlastenrechtliche Beurteilung Standort Spitelfeld

Sanierungsbedürftiger Standort

Die ergänzenden Standortuntersuchungen (vgl. Kapitel 3) bestätigen die Beurteilung des Ablagerungsstandortes Spitelfeld (Nr. 022.001.002A) aus der Vor- bzw. Detailuntersuchung. Er ist eindeutig als **sanierungsbedürftiger Standort** zu beurteilen.

4.2.1 Sanierungsbedarf hinsichtlich Grundwasser

Ein Sanierungsbedarf hinsichtlich Schutz des **Grundwassers** nach Art. 9 Abs. 2b AltIV besteht aus folgenden Gründen³:

- Deutliche Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte im Grundwasser für Ammonium und Vinylchlorid im unmittelbaren Abstrom des Spitelfelds (Probenahmestelle KB 2). Aufgrund der Ergebnisse der Anstromprobe (vgl. [1]) sowie der Ergebnisse der Sickerwasserproben und des AltIV-Eluats von Deponiematerial stammen die Schadstoffe eindeutig aus dem Spitelfeld.

4.2.2 Sanierungsbedarf hinsichtlich Oberflächengewässer

Ein Sanierungsbedarf hinsichtlich Schutz von **Oberflächengewässern** nach Art. 10 Abs. 2a AltIV besteht aus folgenden Gründen:

- Hinsichtlich **Brühl- und Brunngraben** ist ein Sanierungsbedarf aufgrund der stark erhöhten Ammonium- und Vinylchloridkonzentrationen im eingeleiteten

³ Gemäss Aussagen des Amtes für Umwelt wurden bei der östlich angrenzenden Deponie Unterhof im Grundwasser keine relevanten Schadstoffbelastungen nachgewiesen, obwohl die geologische bzw. hydrogeologische Situation vergleichbar mit den Verhältnissen beim Spitelfeld ist. Allerdings sind auf der Deponie Unterhof im Unterschied zum Spitelfeld keine mobilen Schadstoffe wie z.B. CKW im Deponiematerial vorhanden (Ablagerungen im Zeitraum 1926 bis 1947, vor dem verbreiteten Einsatz von CKW). Auch der organische Anteil der Abfälle im Unterhof ist deutlich geringer als bei den Abfällen im Stadtmist (im Unterhof abgelagerte Haushaltsabfälle wurden vorgängig meist verbrannt, so kamen nur die Asche und unbrennbare Gegenstände zur Ablagerung). Die im Unterhof in relevanten Konzentrationen nachgewiesenen Schwermetalle sind weniger mobil als CKW und werden in den feinkörnigen Verlandungssedimenten vermutlich praktisch vollständig adsorbiert und dadurch zurückgehalten.

Sickerwasser gegeben (mehr als Zehnfache Überschreitung der Konzentrationswerte in den Sickerwasserprobe der Kontrollschächte KS 1 und KS 2, welche direkt in Brunn- bzw. Brühlgraben entwässern, vgl. [1]).

- Weiterhin besteht auch hinsichtlich des **Oberflächengewässer Aare** ein Sanierungsbedarf nach Art. 10 Abs 2a AltIV, da die Vinylchloridkonzentrationen in den Aarezuflüssen Brühl- und Brunngraben den AltIV-Konzentrationswert um über das 10-fache überschreiten.

4.2.3 Sanierungsbedürftiger Perimeter

Aufgrund der Heterogenität der Ablagerungen und der praktisch überall im Deponiekörper auftretenden CKW-Belastungen ist keine Ausscheidung von nicht sanierungsbedürftigen Flächen möglich (vgl. Kap. 3). Die Quellen der CKW-Immissionen können nicht näher eingegrenzt werden. Der Sanierungsbedarf besteht somit für die gesamte Fläche des Ablagerungsstandortes Spitelfeld.

Ganze Fläche
sanierungsbedürftig

4.2.4 Sanierungsbedarf hinsichtlich Boden

Hinsichtlich des Schutzgutes Boden besteht für das Spitelfeld gemäss Art. 12 Abs 1 AltIV ein Sanierungsbedarf, da die Konzentrationswerte aus Anhang 3 AltIV für Kupfer überschritten werden. Diese Überschreitung und somit der Sanierungsbedarf ist jedoch auf die südöstliche Ecke des Spitelfelds beschränkt (vgl. [4]).

Sanierungsbedarf für
Südostecke

4.3 Altlastenrechtliche Beurteilung Standort Oberer Einschlag

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass auf der Deponiefläche des Oberen Einschlags das Schadstoffpotential bezüglich der chlorierten Lösungsmittel wahrscheinlich niedriger ist als im Falle des Spitelfeldes. So wurden in einer Grundwasserprobe aus KB 3 (Abstrom Oberer Einschlag) nur Spuren von PER gemessen (vgl. Anhang 1.3). Die Beurteilung des Standorts Oberer Einschlag kann daher bzgl. CKW nicht analog derjenigen des Spitelfeldes erfolgen. Bei anderen Schadstoffen wie Benzol, Ammonium und den Schwermetallen liegen im Oberen Einschlag allerdings vergleichbare oder gar höhere Belastungen vor [1].

Weniger CKW als
Spitelfeld

4.3.1 Sanierungsbedarf hinsichtlich Grundwasser

Hinsichtlich des Schutzgutes Grundwasser ist der Ablagerungsstandort Oberer Einschlag (Nr. 022.001.001A) aus untenstehenden Überlegungen **als überwachungsbedürftig** nach AltIV zu beurteilen:

Überwachungsbedarf

- Im abstromseitigen **Grundwasser** (Probenahmestelle KB 3) wurden in den beiden Beprobungen im 2005 und 2007 geringe Konzentrationen von Ammonium, Nitrit und Tetrachlorethen (PER) festgestellt. Die massgebenden halben Konzentrationswerte der AltIV wurden jedoch nicht überschritten. Es besteht daher nach Art. 9 Abs. 2b AltIV kein Sanierungsbedarf, nach Art. 9 Abs. 1b jedoch allenfalls ein Überwachungsbedarf. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass die Schadstoffe nicht aus dem Oberen Einschlag, sondern aus dem Spitelfeld bzw. aus dem Anstrombereich oberhalb beider Deponieflächen stammen.

- Im **Sickerwasser** aus den Probenahmestelle BS 2005-4 und BS 2009-1 wurden die AltIV-Konzentrationswerte für Ammonium, Benzol, PCB und diverse Schwermetalle teilweise z.T. deutlich überschritten (vgl. Abschnitt 3.3 und [1]). Diese Sickerwasserproben können als **Eluat** des Deponiematerials aus dem Oberen Einschlag betrachtet werden. Daher ist der Standort nach Art. 9 Abs. 1a eindeutig überwachungsbedürftig.

Sanierungsbedarf da ungenügender Rückhalt

Ein **Sanierungsbedarf** hinsichtlich des Schutzes des Grundwassers besteht nach Art. 9 Abs. 2d aufgrund des oben aufgeführten Überwachungsbedarfs und des **ungenügenden Rückhaltes** des Untergrundes:

- Zwischen den Ablagerungen und dem Grundwasserleiter besteht eine ca. 80 cm mächtige Schicht aus tonig-siltigen Verlandungssedimenten. Diese feinkörnige Schicht wirkt vermutlich als verzögernde Barriere für die Schadstoffausbreitung (vgl. dazu die Ergebnisse der Feststoffanalysen dieser Schicht, Abschnitt 3.3). Die geringe Durchlässigkeit dieser Verlandungssedimente und das geringe Alter der Ablagerungen haben wahrscheinlich bisher einen relevanten Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser verhindert.
- Die Grundwasserbelastungen beim Spitälfeld (ältere Ablagerungen als Oberer Einschlag) zeigen allerdings, dass die Verlandungssedimente voraussichtlich keine dauerhafte Barriere für mobile Schadstoffe wie Ammonium, Benzol und chlorierte Lösungsmittel darstellen. Insbesondere Benzol und Ammonium treten auch bei Sickerwasser des Oberen Einschlages in erhöhten Konzentrationen auf und können längerfristig ins Grundwasser gelangen.
- Aufgrund der Analogie von abgelagerten Materialien und der Analogie des geologischen Untergrundes beim Spitälfeld und beim Oberen Einschlag ist damit zu rechnen, dass auch beim Oberen Einschlag (mit jüngeren Ablagerungen) zukünftig relevante Schadstoff-Konzentrationen im abströmenden Grundwasser gemessen werden können.

4.3.2 Sanierungsbedarf hinsichtlich Oberflächengewässer

Überwachungsbedarf

Hinsichtlich des Schutzes der Oberflächengewässer ist der Obere Einschlag als **überwachungsbedürftig** nach AltIV zu beurteilen:

- Aufgrund der teilweise deutlichen Überschreitung der AltIV-Konzentrationswerte im **Sickerwasser** (= **Eluat** des Deponiematerials) aus den Probenahmestellen BS 2005-4 und BS 2009-1 für Ammonium, Benzol, PCB und diverse Schwermetalle (vgl. Abschnitt 3.3) ist der Standort nach Art. 10 Abs. 1a überwachungsbedürftig.

Sanierungsbedarf bzgl. Brunngraben

Ein **Sanierungsbedarf** hinsichtlich des **Brunngrabens** besteht nach Art. 10 Abs. 2b aufgrund des **ungenügenden Rückhaltes** des Untergrundes:

- Die Deponiefläche ist zumindest teilweise drainiert. Die Drainagen entwässern direkt in den Brunngraben (für Details vgl. [1]). Es ist daher wahrscheinlich, dass zumindest lokal Sickerwasser aus der Deponie ohne Passage der Verlandungssedimente direkt in den Brunngraben gelangt. Damit ist der Standort nach Art. 10 Abs. 2b wegen des ungenügenden Rückhaltes als sanierungsbedürftig zu klassieren.

Ob die Bedingungen von Art. 10 Abs. 2a AltIV für einen **Sanierungsbedarf** hinsichtlich des Schutzgutes **Aare** erfüllt sind, kann zum jetzigen Zeitpunkt aus untenstehenden Gründen **nicht abschliessend beurteilt** werden: Sanierungsbedarf bzgl. Aare nicht beurteilbar

- Beim Oberen Einschlag liegt die Differenz von Ab- und Zustrom (US 2 – MS 2) des Brunngraben-Bachwassers für Vinylchlorid im Bereich des 10-fachen AltIV-Konzentrationswerts. Da der Brunngraben anschliessend in die Aare entwässert, würde dies nach Art. 10 Abs. 2a AltIV einen Sanierungsbedarf bezüglich dem Schutzgut Aare bedeuten.
- Das im Brunngraben bei US 2 gemessene Vinylchlorid dürfte allerdings nicht nur aus dem Oberen Einschlag, sondern z.T. auch aus dem Spitäfeld stammen: Aufgrund der starken Drainagewirkung dient der Brunngraben auch als Vorfluter für das abstromseitige Grundwasser des Spitäfelds (vgl. dazu die Ausführungen in [1]). Sowohl das Spitäfeld als auch der Obere Einschlag emittieren somit Schadstoffe in den Brunngraben. Der Einfluss der beiden Deponieflächen kann jedoch nicht klar differenziert werden. Die Bedingungen von Art. 10 Abs. 2a AltIV sind für den Oberen Einschlag wahrscheinlich erfüllt. Eine abschliessende Beurteilung ist jedoch nicht möglich.

4.3.3 Sanierungsbedarf hinsichtlich Boden

Hinsichtlich des Schutzgutes Boden besteht für den Oberen Einschlag gemäss Art. 12 Abs 1 AltIV kein Sanierungsbedarf, da die Konzentrationswerte aus Anhang 3 AltIV für keine Substanz überschritten werden (vgl. [4]). Kein Sanierungsbedarf

4.4 Sanierungsbedarf Nachbargrundstücke

Es gibt keine Hinweise, dass belastetes Material ausserhalb des eigentlichen Deponieperimeters abgelagert wurde. Auch ist nicht damit zu rechnen, dass flüssige Schadstoffe in Phase über den eigentlichen Deponieperimeter hinaus gelangt sein könnten. Keine Ablagerungen, keine Phase

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass sich der sanierungsbedürftige Perimeter auf die in Anhang 6 dargestellten Flächen "Spitäfeld" und "Oberer Einschlag" beschränkt. Insbesondere ist nicht damit zu rechnen, dass benachbarte Grundstücke im Anstrom oder im Abstrom der Deponieflächen sanierungsbedürftig sind. Perimeter auf Deponien beschränkt

4.5 Ziel und Machbarkeit der Sanierung

Ziel der Sanierung ist die Beseitigung der Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen, die zur Sanierungsbedürftigkeit geführt haben. Schadstoffe müssen nicht zwingend entfernt werden, es gilt das Prinzip des nachhaltigen Quellenstopps. Generell gilt als minimales Sanierungsziel, dass mit den Sanierungsmassnahmen die schädlichen oder lästigen Einwirkungen vom belasteten Standort auf ein Schutzgut so weit verringert werden, dass keine Sanierungsbedürftigkeit mehr gegeben ist (Art. 9 bis 12 AltIV). Ziel der Sanierung

Erreichen der Sanierungsziele	Das Sanierungsziel kann durch Dekontamination, Sicherung oder Nutzungseinschränkung erreicht werden (BUWAL, 2001). Die Sanierung ist nach Erreichen der Sanierungsziele abgeschlossen. Die Behörden können ein etappiertes Vorgehen zur Erreichung der Sanierungsziele vorsehen.
Nachweis der Machbarkeit der Sanierung	Die Sanierungsmassnahmen müssen eine langfristig wirksame und nachhaltige Gefahrenbeseitigung ermöglichen. Die Machbarkeit der Sanierungsmassnahmen ist vom Sanierungspflichtigen nachzuweisen.
Abweichen vom Sanierungsziel	<p>Bei der Sanierung zum Schutz der oberirdischen Gewässer oder des Grundwassers kann vom Ziel abgewichen werden wenn</p> <ul style="list-style-type: none"> a) dadurch die Umwelt gesamthaft weniger belastet wird; b) sonst unverhältnismässige Kosten anfallen würden; und c) bei oberirdischen Gewässern: das Gewässer die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung an die Wasserqualität erfüllt. <p style="padding-left: 40px;">bei Grundwasser: die Nutzbarkeit des Grundwassers gewährleistet ist.</p> <p>So kann eine kostengünstige und umweltverträgliche Sanierungsmassnahme vorgezogen werden, sofern sie zu einer wesentlichen Verbesserung der Umweltsituation führt (BUWAL, 2001).</p>

5 SANIERUNGSVARIANTEN

Für die Sanierung der Deponien Spitälfeld und Oberer Einschlag wurden verschiedene denkbare Sanierungsvarianten ermittelt. Einerseits wurden Verfahren zur **Dekontamination** (Abschnitt 5.1), andererseits Verfahren zur **Sicherung** (Abschnitt 5.2) der belasteten Standorte diskutiert. Allgemeines

Die Verfahren wurden jeweils bezüglich den Kriterien **Machbarkeit**, **Wirksamkeit** sowie **Kosten** (qualitativ) beurteilt (Tabelle 4 und Tabelle 5). Grundsätzliche Vor- und Nachteile sämtlicher Verfahren sind in Abschnitt 5.3 zusammenfassend dargestellt (Tabelle 6).

5.1 Verfahren zur Dekontamination

Im Folgenden werden fünf Verfahren zur Dekontamination evaluiert. Im Anschluss an die Tabelle 4 werden die Verfahren kurz erläutert und bezüglich ihrer grundsätzlichen Eignung beurteilt. Für beide Deponien werden die gleichen Verfahren betrachtet.

- Aushub: Totaldekontamination oder Teildekontamination
- In situ-Sanierung durch aktive hydraulische Verfahren: Pump and Treat
- In situ-Sanierung durch pneumatische Verfahren: Strippen / Air-Sparging
- In situ-Sanierung durch biologische Verfahren: Biosparging oder Aerobisierung
- Monitored Natural Attenuation

Tabelle 4 Beurteilung möglicher Sanierungsvarianten zur Dekontamination (Vorstudie)

Verfahren	Kriterien			
	Beschrieb	Machbarkeit Deponien Stadtmist	Wirksamkeit	Kosten
Aushub <u>Total- oder Teil-</u> <u>dekontamination</u>	Entfernen der Schadstoffe aus dem Untergrund / Grundwasser durch Aushub der belasteten Materialien und umweltgerechte Entsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswert: Stand der Technik • Schwierigkeitsgrad: mittel; Aushub im Grundwasser oder Grundwasserabsenkung, geringe Mächtigkeit • Realisierungszeit: mittel • Akzeptanz: mittel -hoch • Flexibilität: hoch • Entsorgung: belastetes GW muss entsorgt / gereinigt werden; bei Deponierung: Verlagerung; bei Verbrennung / Bodenwäsche: Verwertung als Rohstoff 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut • Erfolgsaussichten: gut, nachhaltige Lösung • Umweltauswirkung: Belastung Luft / Lärm durch Aushub und Abtransport; Belästigung der Anwohner durch Luft (Geruch) 	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierungskosten: hoch, keine Anlagenkosten • Kosten nach Realisierung: gering, kein umfangreiches Monitoring nötig • Nutzungsmöglichkeiten: gut
In situ: Aktive hydraulische Verfahren <u>Pump and Treat</u> <u>evtl. in</u> <u>Kombination mit</u> <u>einer vertikalen</u> <u>Infiltration</u>	<p>GW, hier Sickerwasser, fassen, mit Pumpen fördern, behandeln (z.B. Spaltanlage) und reinfiltrieren oder in Kanalisation einleiten</p> <p>evtl. zusätzlich vertikale Infiltration des Deponiekörpers: durch „Bewässerung“ in situ-„Wäsche“, ausgewaschenen Schadstoffe werden mit Filterbrunnen abgepumpt</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswert: hoch, Stand der Technik (Pump and Treat) • Schwierigkeitsgrad: mittel, Schadstoffe im GW verfügbar. Heterogene, eher geringe Durchlässigkeit des Deponiekörpers • Realisierungszeit: mittel - hoch • Akzeptanz: mittel - hoch • Flexibilität: mittel - hoch • Entsorgung: Reinigung und Reinfiltration des abgepumpten Wassers oder Einleitung in Kanalisation • Einfluss auf Nachbargebäude (Setzungen): keine, da nicht eigentlicher GW-Spiegel abgesenkt wird 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut • Erfolgsaussichten: Löslichkeit der Schadstoffe im GW gegeben; zu Beginn sehr gut, aber Effektivität der Reinigungsleistung lässt mit der Zeit nach, Einpendeln auf ein bestimmtes Schadstoffniveau, Nachdiffundieren (Desorption) der Schadstoffe; in Kombination mit Infiltration bessere Erfolgsaussichten; keine Sanierung der Quelle, nur der Auswirkungen, nicht nachhaltig • Umweltauswirkungen: gering 	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierungskosten: Anlagekosten je nach Variante mittel bis hoch; Betriebskosten: hoch (je nach Zeitdauer) durch Abpumpen, Reinigung und Reinfiltration oder Ableitung des Sickerwassers • Kosten nach Realisierung: gering - mittel • Nutzungsmöglichkeit: mittel

<p>In situ: pneumatische Verfahren <u>Strippen / Air-Sparging</u></p>	<p>Einblasen von Luft in gesättigte Zone, Austreiben der Schadstoffe in ungesättigte Zone, Absaugen und Reinigung der Bodenluft, evtl. auch Förderung des biologischen Abbaus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswert: Stand der Technik • Schwierigkeitsgrad: mittel - hoch • Realisierungszeit: mittel - hoch • Akzeptanz: mittel • Flexibilität: mittel • Entsorgung: Fassen und Reinigung der abgesaugten Bodenluft notwendig (z.B. Aktivkohle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut • Erfolgsaussichten: schlecht –mittel; Flüchtigkeit der Schadstoffe nur für Vinylchlorid gegeben, Abbaubarkeit der Schadstoffe, aerob und teilweise anaerob gegeben; Sauerstoffversorgung fördert biologischen Abbau; Inhomogenitäten vermindern die Effizienz; nachhaltig? • Umweltauswirkungen: gering 	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierungskosten: je nach Variante mittel bis hoch • Betriebskosten: mittel-hoch (je nach Zeitdauer) • Nutzungsmöglichkeit: mittel
<p>In situ: Biologische Verfahren <u>Biosparging (kombiniert mit Strippen)</u> oder <u>Aerobisierung</u></p>	<p>Einleiten von Luft bzw. Druckluft in Deponiekörper, dadurch Beschleunigung des biologischen Abbaus organischer Schadstoffe in gesättigter, teilweise auch in ungesättigter Bodenzone (Biosparging)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswert: Stand der Technik • Schwierigkeitsgrad: mittel • Realisierungszeit: mittel - hoch • Akzeptanz: mittel • Flexibilität: mittel • Entsorgung: bei Kombination mit Strippen; Fassen und Reinigung der abgesaugten Bodenluft notwendig (z.B. Aktivkohle) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut-mittel • Erfolgsaussichten: Ammonium gut, Vinylchlorid aber schlecht biologisch abbaubar; beschleunigter in situ-Abbau des Schadstoffpotentials in Deponie sowohl in gesättigter (schwerflüchtige) als auch in ungesättigter Zone (leicht flüchtige Schadstoffe). Verlagerung der Schadstoffe in GW oder Luft möglich; nachhaltig, wenn erfolgreich • Umweltauswirkungen: gering-mittel (je nach Kontrolle); Beseitigung von Methangasemissionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierungskosten: mittel-hoch (je nach Zeitdauer), Zufuhr von Energie notwendig • Kosten Nach Realisierung: gering • Nutzungsmöglichkeit: mittel - hoch
<p>Monitored Natural Attenuation</p>	<p>Intensive Grundwasserüberwachung (Monitoring) ohne weitere Massnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrungswert: mittel, nicht in CH • Schwierigkeitsgrad: einfach • Realisierungszeit: hoch • Akzeptanz: mittel - gering • Flexibilität: keine • Entsorgung: keine 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut • Erfolgsaussichten: gering, Vinylchlorid werden schlecht abgebaut; nicht nachhaltig, da Sanierung > eine Generation • Umweltauswirkungen: mittel - gering 	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierungskosten: gering • Kosten nach Realisierung: mittel (nur Analytik, aber über lange Zeit) • Nutzungsmöglichkeit: mittel

5.1.1 Aushub (Total- oder Teildekontamination)

Beim Aushub wird der Schadensherd ausgekoffert und je nach Zusammensetzung gesetzteskonform entsorgt (Bodenwäsche, thermische Behandlung, Deponierung etc). Anfallendes belastetes Grundwasser ist dabei zu fassen und allenfalls nach einer Behandlung der Kanalisation (ARA) zuzuführen oder, wenn möglich, dem Grundwasserleiter zurückzugeben (Wiederversickerung).

Die räumlichen Ausmasse der Deponiekörper sind gut bekannt. Da die Mächtigkeit der Ablagerungen nur wenige Meter (maximal 3 m) betragen und durch eine noch vorhandene geringmächtige Schicht aus Verlandungssedimenten vom anstehenden Untergrund getrennt sind, bereitet der Aushub der Abfälle nur geringe technische Schwierigkeiten. Mit entsprechenden baulichen Massnahmen (Spundwände und Absenken des GW-Spiegels innerhalb der Deponien) können die Abfälle ausgekoffert, vor Ort triagiert und einer gesetzteskonformen Entsorgung zugeführt werden. Sollte der gewachsene Untergrund ebenfalls noch Belastungen aufweisen, können auch diese entfernt werden.

Technische
Machbarkeit

Bei der Aushubvariante kann zwischen einer Total- und einer Teildekontamination unterschieden werden:

Total- vs Teil-
dekontamination

Bei einer Totaldekontamination würde das gesamte belastete Material vom Standort entfernt. So würden neben dem belasteten Oberboden und dem Deponiegut auch die belasteten Verlandungssedimente vom Standort entfernt. Nach einer Totaldekontamination wäre am Standort kein belastetes Untergrundmaterial mehr vorhanden. Der Standort könnte aus dem Kataster der belasteten Standorte (KbS) entlassen werden.

Total-
dekontamination

Zur Erreichung des altlastenrechtlichen Sanierungsziels (Beseitigung der Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen, die zur Sanierungsbedürftigkeit geführt haben, vgl. Abschnitt 4.5) ist keine Totaldekontamination notwendig. Der Sanierungssperimeter d.h. der Aushubbereich könnte prinzipiell sowohl in lateraler, als auch in vertikaler Hinsicht auf die eigentlichen Schadstoffherde begrenzt werden, welche zur Sanierungsbedürftigkeit führen.

Teil-
dekontamination

Im vorliegenden Fall ist eine **Eingrenzung in lateraler Hinsicht** jedoch **nicht möglich**: Für das Spitefeld wurde mittels Rasterbeprobung der Porenluft und Sickerwasserproben geprüft, ob eine Eingrenzung der Schadstoffquellen, insbesondere bzgl. Vinylchlorid, auf Teilflächen möglich ist (vgl. Kap. 3). Die durchgeführte Untersuchungen zeigten jedoch, dass CKW-Belastungen auf mindestens 2/3 der Fläche des Spitefeldes auftreten. Es konnte **keine grössere CKW-freie Teilfläche** ausgeschieden werden.

Auch für den Oberen Einschlag gibt es keine Hinweise, dass eine laterale Eingrenzung von sanierungsbedürftigen Schadstoffherden möglich wäre (keine Abgrenzung von Sektoren mit unterschiedlichen Abfallarten vorhanden).

Bezüglich der **vertikalen Ausdehnung** ist eine Begrenzung des Aushubs auf die Schicht mit dem **Deponiegut**, welches die eigentliche Schadstoffquelle darstellt, denkbar. Der oberhalb des Deponieguts liegende **Oberboden** sowie die unter dem Deponiegut liegenden **Verlandungssedimente** sind zwar auch belastet, führen aber mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht zu einem Sanierungsbedarf

bezüglich Grundwasser oder Oberflächengewässer. Ein altlastenrechtlicher Sanierungsbedarf hinsichtlich des Schutzgutes Boden besteht nur für die südöstliche Ecke des Spitefelds (vgl. Kap. 4).

Der **Oberboden** müsste aus technischer Hinsicht jedoch auch bei einer Teildekontamination entfernt werden (damit das darunterliegende Deponiegut ausgehoben werden kann). Stark belastetes Bodenmaterial müsste dabei gesetzeskonform entsorgt werden (Inert- oder Reststoff/Reaktordeponie). Unbelastetes und schwach belastetes Bodenmaterial könnte prinzipiell vor Ort wiederverwendet werden. Allerdings ist ein grosser Teil des Bodens (insbesondere beim Oberen Einschlag) mit Abfällen durchsetzt, was eine Wiederverwendung verunmöglicht.

Die nur leicht belasteten **Verlandungssedimente** könnten bei einer Teildekontamination allerdings ohne technische Schwierigkeiten im Untergrund verbleiben. Das Sanierungsziel könnte trotzdem erreicht werden. In Anhang 5.2 und 5.3 sind die daraus resultierenden unterschiedlichen Tiefen von Teil- und Totaldekontamination im geologischen Schnitt eingezeichnet.

Beurteilung Sowohl eine Total- als auch eine Teildekontamination (Entfernung von Oberboden und Deponiegut, verbleiben der belasteten Verlandungssedimente im Untergrund) mittels Aushub sind aus technischer Sicht **möglich und wirksam**, wenn auch mit grossem finanziellem Aufwand.

5.1.2 Pump and Treat

Deponiesickerwasser abpumpen Das Pump and Treat Verfahren stellt ein Verfahren zur Reinigung des Grundwassers dar. Im vorliegenden Fall würde jedoch nicht das Grundwasser, sondern das mit Schadstoffen belastete Deponiesickerwasser mittels mehrerer Filterbrunnen direkt im Deponiekörper gefasst, abgepumpt und allenfalls nach einer Behandlung der Kanalisation (ARA) zugeführt oder, wenn möglich, dem Grundwasserleiter zurückzugeben (Wiederversickerung).

Vertikale Infiltration Die Reinigungswirkung könnte allenfalls noch durch eine vertikale Infiltration des Deponiekörpers erhöht werden.

Geringe Effizienz Die gesättigte Zone im Deponiekörper des vorliegenden Projekts ist nur wenige Meter (max. 2 m) mächtig, sehr heterogen und von geringer Durchlässigkeit. Unter solchen Voraussetzungen wird der Pumpeffort einer Pump and Treat-Anlage als gering beurteilt.

Gefahr für Grundwasser Weiterhin besteht die Gefahr, dass die Filterbrunnen die unter dem Deponiekörper vorhandenen, relativ geringdurchlässigen, aber auch geringmächtigen (wenige Dezimeter) Verlandungssedimente perforieren und somit einen erhöhten Eintrag der Schadstoffe in den Grundwasserleiter bewirken.

Variante: im Abstrom Eine Pump and Treat-Anlage im Abstrom der Deponie wird als nicht effizient beurteilt, da der Eintrag an Sickerwasser ins Grundwasser und die Durchlässigkeit des Untergrundes gering sind.

Beurteilung Das Pump and Treat-Verfahren kommt aufgrund der schlechten Effizienz sowohl im Deponiekörper als auch im Abstrom der Deponien **nicht in Betracht**.

5.1.3 In situ-Strippen

Die beim in situ-Strippen aus der gesättigten Bodenzone ausgetriebenen flüchtigen Schadstoffe (CKW) müssen abgesaugt und fachgerecht gereinigt werden. Durch das kontrollierte Einblasen von Luft (Sauerstoff) wird in der gesättigten Zone der biologische Abbau von Schadstoffen (Ammonium) gefördert. Als geeigneter Untergrund gilt Material mit einer hoher Durchlässigkeit (k -Wert $> 10^{-5}$ m/s).

Die Deponiekörper weisen heterogene, eher geringdurchlässige Ablagerungsmaterialien auf. Sowohl die gesättigte als auch die ungesättigte Zone sind nur geringmächtig (je max. 2 m). Ammonium kann durch Sauerstoffzufuhr biologisch gut abgebaut werden, Vinylchlorid hingegen praktisch nicht. Ausserdem gehört Vinylchlorid zu den schwerflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen. Das in situ-Strippen kommt daher aufgrund der geringen Effizienz bezüglich Vinylchlorid **nicht in Betracht**. Beurteilung

5.1.4 Biosparging /Aerobisierung

Das Biosparging und die Aerobisierung entsprechen weitestgehend dem in situ-Strippen. Der Schadstoffaustrag durch Desorption ist bei diesen biologischen Verfahren kleiner als beim in situ-Strippen. Ansonsten gilt das oben gesagte.

Die Deponiekörper weisen heteroge, eher geringdurchlässige Ablagerungsmaterialien auf. Ammonium kann durch Sauerstoffzufuhr biologisch gut abgebaut werden, Vinylchlorid hingegen praktisch nicht. Ausserdem gehört Vinylchlorid zu den schwerflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen. Insbesondere für Vinylchlorid **eignen sich** Biosparging und Aerobisierung **nicht**. Beurteilung

5.1.5 Monitored natural attenuation

Monitored natural attenuation stellt kein Sanierungsverfahren im eigentlichen Sinn dar. Es wird hier auf die „Selbstreinigung“, d.h. den natürlichen Abbau von Schadstoffen z.B. durch Mikroorganismen abgezielt. Eine intensive Überwachung wäre zu installieren.

Reines monitored natural attenuation wird in der Schweiz i.a. nicht als Sanierungsvariante anerkannt. Der Abbau von Vinylchlorid erfolgt auf natürliche Weise nur sehr langsam. Es kommt somit **als alleinige Variante nicht in Betracht**. Beurteilung

5.2 Verfahren zur Sicherung

Im Folgenden werden drei Verfahren zur Sicherung evaluiert. Im Anschluss an die Tabelle 5 werden die Verfahren kurz erläutert und bezüglich ihrer grundsätzlichen Eignung beim vorliegenden Projekt beurteilt.

- Oberflächenabdichtung
- Einkapselung
- Permeable Reaktive Barrieren (PRB)

Tabelle 5 Beurteilung möglicher Sanierungsvarianten zur Sicherung der Altlast (Vorstudie)

Verfahren	Kriterien			
	Beschrieb	Machbarkeit Deponien Stadtmist	Wirksamkeit	Kosten
Einkapselung <u>Oberflächenabdichtung</u>	Reduktion des Deponiesickerwassers, evtl. Fassen von Deponiegas	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrung: Stand der Technik • Schwierigkeitsgrad: gering - mittel • Realisierungszeit: gering - mittel • Akzeptanz: hoch - mittel • Flexibilität: mittel - hoch • Zufuhr von Energie (Fassen und Reinigen/-Abfackeln von Gas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut • Erfolgsaussichten: gering, da Quelle erhalten bleibt und durch Versiegelung aerober Abbau stark reduziert wird • Umweltauswirkungen: gering • Ansammlung von Deponiegas unter Abdichtung • Indirekter Eingriff in Quelle • Nicht nachhaltig 	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagekosten: je nach Variante mittel - hoch • Betriebskosten: für Abdichtung keine; bei Gasfassung: gering - mittel • Nutzungsmöglichkeit: mittel - hoch
<u>Oberflächenabdichtung kombiniert mit Dichtwänden</u>	Oberflächenabdichtung wie oben, zusätzlich Einbau von vertikalen Dichtwänden im An- und/oder Abstrom des Grundwassers und zu den Bächen; Abpumpen von Sickerwasser und evtl. Gasfassung	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrung: Stand der Technik • Schwierigkeitsgrad: mittel • Realisierungszeit: mittel • Akzeptanz: gering - mittel • Flexibilität: mittel • Zufuhr von Energie (Fassen und Reinigen von Sickerwasser und Gas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit: gut - mittel • Erfolgsaussichten: bis Ende Lebensdauer der Wand: gut, danach: s.u. • Nicht nachhaltig: Umweltgefährdung bleibt bestehen (nach Ende Lebensdauer), da Quelle erhalten bleibt und durch Versiegelung aerober Abbau stark reduziert wird • Umweltauswirkungen: während Massnahme und nach Sicherung gering • Dichtwandmaterial weist begrenzte Lebensdauer auf 	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagekosten: je nach Variante mittel - hoch • Betriebskosten: für Sickerwasserfassung und Reinigung/Ableitung: mittel - hoch; bei Gasfassung: gering - mittel; für Monitoring: mittel • Nutzungsmöglichkeit: mittel - hoch

<p>In situ:</p> <p>Passive hydraulische Verfahren</p> <p><u>Permeable Reaktive Barriere (PRB)</u></p> <p><u>Vollflächig</u></p> <p>oder</p>	<p>Permeable Reaktive Wände im Abstrom (z.B. Aktivkohle, UV-Licht, nullwertiges Eisen), verhindern die weitere Freisetzung von Schadstoffen im GW, Reinigung des GWs durch Füllmaterial</p> <p>oder</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion/Abbau der Schadstoffe mit geeigneten Füllmaterialien theoretisch möglich • noch keine echten Langzeiterfahrungen. Erfahrung: hauptsächlich an Modellstandorten oder privaten Projekten • Schwierigkeitsgrad: mittel • Realisierungszeit: hoch • Akzeptanz: mittel • Flexibilität: mittel • Entsorgung von Aushub, sofern belastet • gute Reinigungsleistungen bei Einkomponentenstoffen oder Stoffgruppen • Genaue Kenntnis der Geologie und Hydrogeologie notwendig • Geringe Durchlässigkeit der gesättigten Zone ($k \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontrollierbarkeit gut • Erfolgsaussichten: lange Sanierungszeit, je nach Reaktivität der Wand abnehmende Reinigungsleistung, vermutlich mehrere Jahrzehnte • keine Sanierung der Quelle, sondern nur der Auswirkungen, nicht nachhaltig • Umweltbelastung gering während Herstellung und Betrieb • keine äussere Energiezufuhr nötig Sanierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Anlagekosten: hoch • Betriebskosten: gering • Kosten für Monitoring: mittel • Nutzungsmöglichkeit: gut
<p><u>Funnel and Gate</u></p>	<p>reaktive Zonen im Abstrom kombiniert mit Dichtwänden</p>			

5.2.1 Einkapselung

Eine Einkapselung, sei es nur durch eine **Oberflächenabdichtung** oder durch eine Oberflächenabdichtung in Kombination mit einer vertikalen **Dichtwand im An- und/oder Abstrom** des Grundwassers und zu den Bächen hin würde verhindern, dass belastetes Grundwasser weiterhin das Areal verlässt und belastetes Sickerwasser direkt in die Bäche drainiert.

Oberflächenabdichtung
/ Dichtwände

Die Dichtwände werden senkrecht zur Grundwasserflussrichtung und zur Entwässerungsrichtung in die Bäche erstellt. Hierfür stehen verschiedene Verfahren aus dem Spezialtiefbau, wie z.B. Schmalwände, Schlitzwände im Ein- oder Zweiphasenverfahren sowie mixed-in-place (MIP) oder Injektionswände zur Verfügung. Um einen Aufstau vor oder ein seitliches Umströmen der Wand zu vermeiden, muss das anströmende Grundwasser in Filterbrunnen gefasst, abgepumpt und gereinigt werden (Pump and Treat, siehe oben).

Verfahren aus
Spezialtiefbau

Die Oberflächenabdichtung verhindert das Eindringen von Niederschlagswasser, damit aber auch weitgehend den aeroben Abbau organischer Schadstoffe. Eine gewisse Methanbildung wird jedoch auch weiterhin stattfinden, sodass allenfalls eine Fassung und Entsorgung des Deponiegases (z.B. durch Abfackeln) gesorgt werden muss.

Abbau vermindert

Eine Einkapselung der Deponien mit Oberflächenabdichtungen, auch in Kombination mit Dichtwänden, kommt aufgrund des verzögerten Abbaus der organischen Schadstoffe, der begrenzten Lebensdauer der Dichtwände (Rückhalt von Vinylchlorid durch Dichtwandmaterial ebenfalls fraglich) und somit einer Sanierungszeit von voraussichtlich mehreren Generationen sowie sehr hohen Kosten für den Betrieb von Fassung und Behandlung für Grundwasser und Gas **nicht in Betracht**.

Beurteilung

5.2.2 Permeable reaktive Barrieren (PRB)

Permeable reaktive Barrieren werden im Abstrom einer Schadstofffahne im Grundwasser errichtet (vollflächig durchströmbar oder Funnel and Gate-Systeme). Das Wandmaterial wird so auf den Schadstoff abgestimmt, dass das Grundwasser während der Durchströmung vom Schadstoff gereinigt wird (z.B. Abbau, Ausfällung, Umwandlung). Eine gute Durchlässigkeit des Wandmaterials und des Untergrundes sind Voraussetzungen für die Funktionsfähigkeit. Der Grundwasserträger sollte eine möglichst homogene Durchlässigkeit über die Tiefe der Wand aufweisen.

Der Untergrund (Verlandungssedimente und feinkörnige Sande) **eignet sich** im vorliegenden Fall hydraulisch **schlecht** für eine PRB, da er eine geringe Durchlässigkeiten aufweist. Selbst bei der Wahl eines hydraulisch geeigneten Wandmaterials würde die Sanierungszeit durch den noch vorhandenen natürlichen Rückhalt der Schadstoffe durch die Verlandungssedimente unterhalb der Deponie vermutlich deutlich länger als eine Generation dauern. An Stellen, an denen die PRB bestehende Drainageleitungen durchtrennt, fließen konzentrierte Wassermengen durch die PRB und reduzieren damit lokal die Wirkung der Wand. Eine PRB kommt somit als Sicherungsmassnahme aufgrund ungenügender Effizienz und zu langer Sanierungsdauer **nicht in Betracht**.

Beurteilung

5.3 Zusammenfassende Bewertung aller Varianten

In untenstehender Tabelle 6 sind die Vor- und Nachteile aller Sanierungsvarianten nochmals zusammenfassend dargestellt. In Tabelle 7 werden die Kriterien Machbarkeit, Wirksamkeit und Kosten semi-quantitativ beurteilt. Der Variantenvergleich ergibt zusammenfassend folgendes Fazit:

Beste Variante:
Aushub

Als beste Sanierungsmassnahme wird die Dekontamination der Deponien durch Aushub und umweltgerechter Entsorgung der abgelagerten Abfälle beurteilt. Diese Variante (sowohl die Teil- als auch Totaldekontamination mittels Aushub) wird im folgenden Kapitel 6 konkretisiert.

Tabelle 6 Sanierungsvarianten (Vorstudie), Vor- und Nachteile

Verfahren	Vorteile	Nachteile
Aushub Total- oder Teildekontamination	Nachhaltig, Areal sowohl bei Total- als auch bei Teildekontamination (exkl. Verlandungs-sedimente) wieder uneingeschränkt nutzbar, technisch relativ einfach machbar	Grundwasserhaltung/-absenkung nötig, je nach weiterer Nutzung Rückfüllung notwendig, finanziell aufwändig
Pump and Treat	Schadstoffe sind im GW löslich, Stand der Technik, zu Beginn relativ effizientes Verfahren, relativ geringe Investitionskosten	Schlechte Effizienz in gering durchlässigen Böden, Einstellung eines konstanten Schadstoffniveaus (Tailing), Betriebskosten hoch, keine Sanierung der Quelle, langfristige Massnahme
In situ Strippen / Air-Sparging	Zugeführte Luft (Sauerstoff) fördert den mikrobiellen Abbau von Ammonium, Stand der Technik	Inhomogenitäten der Ablagerungen verringern Effizienz, langfristige Sanierung, Vinylchlorid nicht oder nur schwer biologisch abbaubar, wenig flüchtig
Biosparging / Aerobisierung	Zugeführte Luft (Sauerstoff) fördert den mikrobiellen Abbau von Ammonium, Stand der Technik, Beseitigung / Verminderung von Methan gasemissionen	Inhomogenitäten der Ablagerungen verringern Effizienz, langfristige Sanierung, Vinylchlorid nicht oder nur schwer biologisch abbaubar, wenig flüchtig
Monitored Natural Attenuation	Kostengünstiges Verfahren, nur Monitoring-Kosten	lang andauernder Prozess, langsamer Schadstoffabbau
Einkapselung Nur Oberflächenabdichtung	Relativ kostengünstig, Stand der Technik	„Mumifizierung“ der Deponiekörper, Reduktion des biologischen Abbaus der Schadstoffe, nur Sicherung, keine eigentliche Sanierung
Einkapselung Oberflächenabdichtung und Dichtwände	Stand der Technik, kurze Realisierungszeit	„Mumifizierung“ der Deponiekörper, Reduktion des biologischen Abbaus der Schadstoffe, nur Sicherung, keine eigentliche Sanierung, begrenzte Lebensdauer der Dichtwände
Permeable Reaktive Barrieren (PRB)	Geringer Energieaufwand, niedrige Betriebs- und Wartungskosten, minimaler Eingriff in den Boden- und Wasserhaushalt, passive Massnahme, Austauschbarkeit des Adsorptionsmaterials.	Hohe Investitionskosten, Verbleib von Adsorbermaterial nach Abschluss der Massnahme im Boden oder als Abfall, Wiederverwertung bzw. Entsorgung? eventuell erforderlicher Rückbau des Gesamtsystems nach erfolgreicher Sanierung, mit hohem technischem Aufwand, Hindernisse durch Werkleitungen, ungleichmässiger Durchfluss der PRB, Lebensdauer begrenzt

Tabelle 7 Bewertung der Sanierungsvarianten. ++ = sehr gute Erfüllung. -- = sehr schlechte Erfüllung des jeweiligen Kriteriums.

Kriterium	Verfahren								
	Aushub	Pump and Treat	In situ Strippen / Air-Sparging	Biosparging / Aerobisierung	Monitored Natural Attenuation	Einkapselung (nur Oberflächenabdichtung)	Einkapselung (Oberflächenabdichtung u. Dichtwände)	Permeable Reaktive Barrieren (PRB)	
Machbarkeit	Erfahrungswert	++	++	+	+	-	+	+	--
	Schwierigkeitsgrad	0	0	-	0	++	+	0	0
	Realisierungszeit	0	-	-	-	--	+	0	--
	Akzeptanz	+	+	0	0	-	+	-	0
	Flexibilität	++	+	0	0	--	0	0	0
	Entsorgung	0	+	+	+	++	+	+	0
Zwischentotal 1 (Machbarkeit)		5	4	0	1	-2	5	1	-4
Wirksamkeit	Kontrollierbarkeit	+	+	+	+	++	++	+	++
	Erfolgsaussichten	+	0	--	--	--	--	--	-
	Umweltauswirkungen	-	+	+	+	+	++	++	++
	Sanierung innert zwei Generationen	++	--	0	+	--	--	--	--
Zwischentotal 2 (Wirksamkeit)		3	0	0	1	-1	0	-1	1
Kosten	Realisierungskosten	--	--	-	-	++	-	-	--
	Kosten nach Realisierung	++	+	-	+	0	+	0	+
Zwischentotal 3 (Kosten)		0	-1	-2	0	2	0	-1	-1
Total		8	3	-2	2	-1	5	-1	-4

6 SANIERUNGSKONZEPT AUSHUB

6.1 Vorbemerkungen

Basierend auf der Bewertung aller Sanierungsvarianten in Kapitel 5 wird im vorliegenden Kapitel die Variante Aushub konkretisiert. Dabei wird sowohl die Total- als auch die Teildekontamination (ohne Aushub der belasteten Verlandungssedimente) betrachtet. Das Konzept sieht für beide Teilvarianten das gleiche Vorgehen vor, der einzige Unterschied bildet die etwas geringere Aushubkubatur bei der Teildekontamination.

Teil- oder Totaldekontamination

Die Aushubvariante kann auf viele unterschiedliche Arten ausgeführt werden. Das vorliegende Konzept beschreibt eine denkbare Umsetzung der Aushubvariante mit praxiserprobten Methoden, welche als Stand der Technik bezeichnet werden können.

Stand der Technik

Falls im weiteren Projektverlauf einschränkende Rahmenbedingungen z.B. bezüglich Zeit, Kosten, Emissionen (Lärm, Luft) etc. festgelegt werden, sind entsprechend angepasste Vorgehensweisen zu prüfen.

Geänderte Rahmenbedingungen

Im Rahmen der Ausschreibung für die Ausführung sind zudem Unternehmervarianten zu prüfen. Insbesondere das Behandlungsverfahren vor Ort sollte sinnvollerweise erst nach Prüfung der Unternehmervarianten festgelegt werden.

Unternehmervarianten

Aufgrund der sehr heterogenen Zusammensetzung des Deponieguts sind die folgenden Abschätzungen von Kubaturen und Kosten sehr approximativ und allenfalls in einem Vorprojekt noch genauer abzuklären.

Abschätzungen, in Vorprojekt prüfen

6.2 Belastete Materialien, Abfallkategorien

Auf den gesamte Deponieflächen (Spitelfeld und Oberer Einschlag) ist ein ähnlicher Schichtaufbau vorhanden: Unter 0.2 bis 0.3 m Oberboden stehen durchschnittlich 2.5 m Deponiegut an. Der anstehende Untergrund (Verlandungssedimente) ist bis ca. 0.3 m ab UK Deponie belastet. Es ergibt sich somit für den Aushub eine Gesamtmächtigkeit von rund 3 m.

Schichtaufbau / Mächtigkeiten

Auf dem Spitelfeld und dem Oberen Einschlag sind gemäss heutigem Wissensstand folgende Kubaturen an belastetem Material vorhanden (vgl. Tabelle 9):

Kubaturen

- ca. **30'000 m³ fest Oberboden**
- ca. **310'000 m³ fest Deponiematerial**
- ca. **36'000 m³ fest anstehender Untergrund** (Verlandungssedimente)

Bei einer Totaldekontamination fällt somit insgesamt **376'000 m³ fest** belastetes Aushubmaterial an. Bei einer Teildekontamination werden nur der Oberboden und das Deponiematerial entfernt, also total 340'000 m³ fest.

Best-Guess vs. Worst-Case
Bei den oben genannten Angaben handelt es sich um die sogenannte Best-Guess-Schätzung (wahrscheinlichster Fall, basierend auf den heute verfügbaren Daten). Für das Sanierungskonzept wird von diesen Zahlen ausgegangen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass im schlechten Fall (Worst-Case) insgesamt bis ca. 450'000 m³ fest und im günstigsten Fall (Best-Case) weniger als 325'000 m³ fest an belastetem Aushubmaterial zu erwarten sind (vgl. Anhang 7.1).

5 Hauptfraktionen Deponiegut
Beim Aushub werden der Oberboden, das Deponiegut und die Verlandungssedimente je separat erfasst. Die ca. 310'000 m³ fest Deponiegut werden weiter in **fünf Hauptfraktionen** aufgetrennt (vgl. Tabelle 9):

1. **Brennbarer Abfall** (wenig verrotteter Siedlungsabfall, Holz, Plastik, Sperrgut etc.): Der brennbare Anteil des Deponieguts variiert nach den bisherigen Erkenntnissen in Abhängigkeit des Ablagerungszeitraums zwischen 10 - 80% (vgl. Tabelle 8). Der jüngere Teil der Deponie im Oberen Einschlag besteht noch bis zu 80 % aus brennbarem Deponiegut. Durchschnittlich sind ca. 45-65 % des Deponieguts brennbar. Dies ergibt eine Kubatur von ca. 150'-200'000 m³ fest.
2. **Mineralisches Aushubmaterial** (abgelagerte Aushubmaterialien) und stark abgebauter bzw. **mineralisierter Kehricht** (stark verrotteter, nicht mehr brennbarer Siedlungsabfall, optisch kaum unterscheidbar von feinkörnigem mineralischem Aushubmaterial) und **nicht brennbare Anteile des Kehrichts** (Keramik etc.): Durchschnittlich ca. 15-30 % des Deponieguts bzw. 55'-90'000 m³ fest.
3. **Mineralische Bauabfälle** (Betonabbruch, Ziegelbruch etc.): Durchschnittlich ca. 5-10 % des Deponieguts bzw. 15'-30'000 m³ fest.
4. **Metalle**: Durchschnittlich ca. 5-10 % des Deponieguts bzw. 15'-30'000 m³ fest.
5. **Spezialabfälle** (Gewerbeabfälle, alte Gebinde, ggf. Fässer, Spitalabfälle etc.): Durchschnittlich < 5 % des Deponieguts bzw. < 15'000 m³ fest.

Anteile der Hauptfraktionen
Die ungefähren Anteile der einzelnen Fraktionen wurden aufgrund der bisherigen Erkenntnisse aus den Baggerschlitzten der Voruntersuchungen abgeschätzt (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9). Die Abschätzungen sind **sehr approximativ** und aufgrund der sehr heterogenen Zusammensetzung des Deponieguts allenfalls in einem Vorprojekt noch genauer abzustimmen.

Belastungskategorien
Der **Oberboden** ist zu ca. 10 % als Reaktormaterial, ca. 75 % als **Inerstoff** und ca. 15% als unverschmutzter Bodenaushub zu klassieren (vgl. Tabelle 9).

Beim **Deponiegut** handelt es sich gemäss den chemischen Analysen der Voruntersuchung mehrheitlich um **Reaktormaterial** und vereinzelt um Inertstoff (Bauschutt o.ä.).

Das anstehende **Untergrundmaterial** (feinkörnige Verlandungssedimente) weist voraussichtlich mehrheitlich die Qualität von **tolerierbarem Aushubmaterial** gemäss Aushubrichtlinie auf (vgl. Anhang 1.1).

Tabelle 8 Charakterisierung des Deponiegutes in den fünf Deponieteilen (vgl. Anhang 6)

Deponie- teil	Ablagerungs- zeitraum	Zusammensetzung	Brenn- barer Anteil	Organischer Anteil der Matrix
D1	1950 - 1955	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 40 - 60 % Deponiegut (Keramik, Glas, Holz, Gummi etc.), weniger als die Hälfte davon brennbar • < 10 % Metall • ca. 30-60 % siltig-sandiges Aushubmaterial oder stark abgebauter Kehricht 	10 - 30 %	10 - 20 %
D2 – D4	1956 - 1970	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 50 - 70 % mehrheitlich brennbares Deponiegut (Sperrgut, Holz, Gummi, Plastik, Keramikteile, Papier, Glas, etc.), • < 10 % Metall • < 10 % Bauschutt • < 5 % Spezialabfälle (alte Gebinde, Spitalabfälle). • 10 - 20 % feinkörniges (d.h. tonig-siltiges) Aushubmaterial oder stark abgebauter Kehricht 	50 - 70 %	> 20 %
D5 (= Oberer Einschlag)	1971 - 1976	<ul style="list-style-type: none"> • ca. 70 - 80 % mehrheitlich brennbares Deponiegut (Sperrgut, Holz, Gummi, Plastik, Keramikteile, Papier, Glas) • ca. 5 - 10 % Metall • < 5 % Bauschutt • < 5 % Spezialabfälle (alte Gebinde, Spitalabfälle). • ca. 10 % sehr feinkörniges (d.h. tonig-siltiges) Aushubmaterial oder stark abgebauter Kehricht 	70 - 80 %	> 20 %

Tabelle 9 Abfall- und Aushubfraktionen und mögliche Entsorgungswege

Typ, Fraktion	Chem. Belastung, Klassierung	Material-aufteilung %-Anteil	Mengen m ³ (fest)	Mögliche Entsorgungswege
Oberboden	Kat. III	--	3'000	Reaktordeponie
Oberboden	Kat. II/III	--	23'000	Inertstoffdeponie
Oberboden	U	--	4'000	Aushubdeponie, Wiederverwertung
Total Oberboden			30'000	
Deponiegut Fläche D1 davon:			50'000	
• Brennbar	brennbar	10 - 30	5' - 15'000	KVA
• Mineralischer Aushub bzw. abgebauter Kehricht	Reststoff / Reaktormat.	60 - 80	30' - 40'000	Verwertung/Deponie
• Metall	Wertstoff	< 10	< 5'000	Metall-Recycling
• Spezialabfälle	Sonderabfall	< 5	< 2'500	Sondermüllöfen/Deponie
Deponiegut Flächen D2 - D4 davon:			200'000	
• Brennbar	brennbar	50 - 70	100'-140'000	KVA
• Mineralischer Aushub bzw. abgebauter Kehricht	Reststoff / Reaktormat.	10 - 20	20'-40'000	Verwertung/Deponie
• Metall	Wertstoff	< 10	< 20'000	Metall-Recycling
• Bauschutt	Inertstoff	< 10	< 20'000	Verwertung/Deponie
• Spezialabfälle	Sonderabfall	< 5	< 10'000	Sonderabfall
Deponiegut Fläche D5 davon:			60'000	
• Brennbar	brennbar	70 - 80	40' - 50'000	KVA
• Mineralischer Aushub bzw. abgebauter Kehricht	Reststoff / Reaktormat.	10 - 15	6' - 9'000	Verwertung/Deponie
• Metall	Wertstoff	5 - 10	3' - 6'000	Metall-Recycling
• Bauschutt	Inertstoff	< 5	< 3'000	Verwertung/Deponie
• Spezialabfälle	Sonderabfall	< 5	< 3'000	Verbrennung/Deponie
Total Deponiegut davon:			310'000	
• Brennbar	brennbar	45 - 65	145' - 205'000	
• Mineralischer Aushub bzw. abgebauter Kehricht	Reststoff / Reaktormat.	15 - 30	55' - 90'000	
• Metall	Wertstoff	5 - 10	15' - 30'000	
• Bauschutt	Inertstoff	5 - 10	15' - 30'000	
• Spezialabfälle	Sonderabfall	< 5	< 15'000	
Untergrundmaterial Flächen D1 - D5 :	T		36'000 ⁴	Verwertung/Deponie
Total Untergrundmaterial			36'000	
Sickerwasser / abgepumptes Grundwasser	Anforderung Kanalisation erfüllt	--	120 mio l ⁵	Via Absetzbecken in Schmutzwasserkanalisation
Total Wasser			120 mio l	

⁴ Annahme: rund 30 cm belastetes Untergrundmaterial auf Gesamtfläche von 120'000m².

⁵ Annahme: ca. unterster Meter des Deponieguts steht im Wasser bzw. ist nass

6.3 Ablauf der Sanierungsarbeiten

6.3.1 Übersicht Bauablauf

Ein vordefinierter Bauablauf soll sicherstellen, dass der Aushub, die Aufbereitung sowie der Abtransport und die Entsorgung fachgerecht und möglichst effizient und kostengünstig erfolgen. Es ist untenstehendes Vorgehen geplant. Details zu einzelnen Vorgehensschritten werden in den anschliessenden Abschnitten erläutert. Geplantes Vorgehen

1. **Installationen** (Aushub- und Aufbereitungshallen, Umschlagplätze, Verkehrsinfrastruktur etc., vgl. Abschnitt 6.3.2)
2. **Absenken Grundwasserspiegel** (Wellpoint, Spundwände, vgl. Abschnitt 6.3.3).
3. Bereichsweise **Vorbelüftung Deponiekörper** (vgl. Abschnitt 6.3.5)
4. **Aushub, Grobtriage** mit Bagger (vgl. Abschnitt 6.3.6)
5. **Mechanische Auftrennung** des Deponieguts vor Ort in die 5 Hauptfraktionen (vgl. Abschnitt 6.3.6)
6. Chemische **Analysen und Klassierung** der Materialien (vgl. Abschnitt 6.3.7)
7. Aufräum und **Abtransport** (vgl. Abschnitt 6.3.8)
8. **Entsorgung** in externe Aufbereitungs- /Behandlungsanlagen oder Deponien (vgl. Abschnitt 6.4)
9. **Wiederauffüllung / Rekultivierung** der gesamten Fläche (vgl. Abschnitt 6.5)

Aufgrund der Grösse der Deponieflächen Spitelfeld und Oberer Einschlag ist eine Etappierung der Arbeiten vorzusehen. Bei der Definition der Etappen bzw. Sektoren sind geotechnische, logistische und umwelttechnische Aspekte zu berücksichtigen. Etappierung

Zur Überprüfung der technischen Machbarkeit von Entwässerung, Vorbelüftung, Trennbarkeit, Verwertbarkeit / Brennbarkeit etc. empfehlen wir die Ausführung eines zeitlich vorgezogenen Pilotprojekts auf einer Teilfläche. Pilotprojekt

6.3.2 Installation / Infrastruktur / Hallen

Vor Beginn der Aushubarbeiten sind Arbeits- bzw. Lagerflächen auszuscheiden und zu installieren (Zwischenlagerplätze für Aushubmaterial, Platz für die Aufbereitung vor Ort, Abstellflächen für Geräte und Maschinen, Containerdorf / Garderoben / sanitäre Anlagen für Mitarbeiter, etc.). Arbeits- und Lagerflächen

Da sich die Deponie im Siedlungsrandgebiet bzw. innerhalb der Landwirtschaftszone befindet, bestehen keine speziellen räumlichen Einschränkungen. Bei der definitiven Festlegung der Installationsplatzes sind die Nutzung der Landwirtschaftsflächen, logistische Aspekte, umweltspezifische Aspekte (Immissionen Anwohner) und Bauvorhaben im Umfeld des Stadtmists zu berücksichtigen.

Die südlich an das Spitelfeld angrenzende Landwirtschaftsfläche auf dem Unterfeld (insbesondere der östlichen Teil, welcher nicht intensiv ackerbaulich genutzt wird)

wäre für Lager- und Arbeitsflächen geeignet, da diese sich direkt neben den Aushubflächen und angrenzend an die Strasse befinden (vgl. Anhang 6).

Eine Alternative wäre die Erstellung des Installationsplatzes auf einer in einem Vorprojekt bereits sanierten Teilfläche auf dem Spitälfeld oder dem Oberen Einschlag.

Zu prüfen ist auch, ob die Installation für Zwischenlager und Aufbereitung direkt bei der KEBAG in Zuchwil möglich wäre.

Verkehrs-Infrastruktur Als Voraussetzung für eine reibungslose Abfuhr sind sämtliche Zufahrten für die zu erwartende Verkehrsbelastung einzurichten und evt. neue Anbindungen an das Verkehrsnetz sowie allenfalls ein Eisenbahnanschluss zu erstellen (vgl. Abschnitt 6.3.8). Für die LKW ist eine Fahrzeugwaschanlage vorzusehen.

Immissionsbegrenzung durch Einhausung Das freigelegte Deponiegut führt beim Aushub und bei der anschliessenden Fraktionierung voraussichtlich zu starken Geruchsemissionen. Aufgrund der Nähe zum Siedlungsgebiet sind Massnahmen zur Immissionsbegrenzung zu treffen (vgl. Abschnitt 6.6 und 6.9). Dazu ist der Abbaubereich einzuhausen sowie der Bau von Hallen für die Zwischenlagerung und die Aufbereitung zu prüfen.

Bei Ausführung der Arbeiten in Hallen oder Zelten können die Geruchsstoffe bzw. Schadstoffe via Entlüftung auf Biofilter oder Aktivkohlefilter gelenkt werden. Zusätzlich werden auch andere Emissionen bzw. Immissionen reduziert (Sicht- und Zutrittsschutz, Staubschutz, Vermeidung Meteorwassereintritt ins Deponiegut etc., vgl. Abschnitt 6.9, Umweltauswirkungen).

Mobile Abbauhalle oder Festzelte Aufgrund der grossen Flächen wird eine allenfalls notwendige Einhausung des Abbaubereichs vorteilhafterweise als mobile Einrichtung ausgeführt. Eine mobile Halle könnte beispielsweise auf Schienen entlang der Deponie in den jeweiligen Abbaubereich verschoben werden. Die Halle muss nicht zwingend mit festen Wänden ausgeführt werden, allenfalls sind Blachen-Wände ausreichend. Ebenso ist der Einsatz von grossen Festzelten denkbar. Die Herstellung eines Unterdrucks ist nicht zwingend, eine aktive Entlüftung (ggf. über Filter) sollte ausreichend sein.

Fixe Zwischenlager- und Aufbereitungshalle Hallen für Zwischenlager und Aufbereitung könnten fest installiert werden. Die Zwischenlagerhalle wäre auf 3-5 Aushub-Tagesleistungen auszulegen. Bei einer Abbauleistung von 500-1'000 m³ / Tag ergäbe sich eine geforderte Kapazität von 1'500-5'000 m³. Die Aufbereitungshalle wäre angepasst auf die notwendigen Installationen für die Aufbereitung vor Ort auszulegen.

6.3.3 Grundwasserabsenkung

Deponiesohle eingestaut Die Deponiesohle ist heute zum Grossteil im Wasser eingestaut. Die Entsorgung von nassem Material wäre mit grossen Mehrkosten verbunden (bis zu 50%). Mittels geotechnischen Massnahmen ist daher sicherzustellen, dass das Grundwasser im auszuhebenden Sektor soweit abgesenkt werden kann bzw. die Deponie entwässert wird, dass der Aushub des Deponiematerials ohne Wasserzufluss und eine Separierung von „trockenen“ (entwässerten) Abfällen erfolgen kann.

In einem ersten Schritt müssen die Vorkehrungen für eine über die ganze Aushubphase hin dauerhafte Grundwasserabsenkung getroffen werden. Dazu bedarf es geotechnischer Sicherungsmassnahmen (Böschungssicherungen, in Sektoren unterteilte Spundwände, allenfalls Abschirmung Zustrom), welche die Grundwasserabsenkung auch während der Aushubphase der Deponie gewährleisten.

Geotechnische
Sicherung

Die Grundwasserabsenkung soll möglichst zeitnah zum Aushub im entsprechenden Sektor erfolgen. Falls die Entwässerung zu früh erfolgt, wird die Gasproduktion im entwässerten Deponiegut stark erhöht. Mit einer frühen Entwässerung könnte trotzdem kein relevanter Zusatzabbau der organischen Substanz des Deponieguts erreicht werden, welcher Vorteile bei der Entsorgung bringen würde.

Zeitpunkt der
Absenkung

Das bei der Entwässerung anfallende Wasser aus dem Deponiebereich muss gesammelt, chemisch überwacht, allenfalls vorbehandelt und entsprechend entsorgt bzw. in die Kanalisation eingeleitet werden.

Entsorgung Deponie-
sickerwasser

Die Einleitbedingungen in die öffentliche Kanalisation wurden in den Analysen von Grund- bzw. Sickerwasser im Jahr 2008 bis auf zwei Ausnahmen (DOC 14 bzw. 29 mg/l) für alle gemessenen Parameter stets eingehalten. Im Jahr 2005 wurden bei zwei Proben im Sickerwasser die Einleitbedingungen für Schwermetalle bis zu Faktor 15 überschritten (Pb, Cd, Cu, Zn, As).

Zur Vorbehandlung des Deponiewassers können z.B. kaskadenartig angeordnete Absetzbecken eingesetzt werden. Für eine weitergehende Vorbehandlung wäre der Einsatz von Flockungs- bzw. Fällungsmitteln, Ionenaustauschern, Aktivkohlefiltern o.ä. denkbar. Dazu wären geeignete Speicher- und Behandlungsbecken vorzusehen.

Vorbehandlung
Deponiewasser

6.3.4 Restliche Entwässerung

Neben Deponiewasser, welches bei der oben beschriebenen Grundwasserabsenkung anfällt, sind folgende Abwasserarten zu entsorgen: Abwasser Umschlagsflächen, Abwasser Verkehrswege, unverschmutztes Regenwasser (Meteorwasser), Waschwasser.

Das auf der Umschlagsfläche anfallende Wasser (Regen- und Oberflächenwasser aus Triage-, Zwischenlager- und Aufbereitungsplatz) ist gleich wie das abgepumpte Grundwasser zu behandeln (vgl. Abschnitt 6.3.3).

Abwasser
Umschlagsflächen

Mittels Entwässerungssystem ist eine vollständige Fassung und allenfalls Vorbehandlung (neuer Ölabscheider) der anfallenden Oberflächenwässer von Platz- und Zufahrtswegen zu gewährleisten.

Abwasser
Verkehrswege

Es ist eine Fahrzeugwaschanlage sowie ein Waschplatz für die manuelle Reinigung der Geräte mittels Hochdruckreiniger mit Fassung und Ableitung der Waschwässer zur Reinigungsanlage vorzusehen.

Waschwässer

Das Regenwasser ist soweit möglich getrennt von den anderen Abwasserarten zu erfassen. Eine Verunreinigung des Meteorwassers im jeweiligen Aushubbereich soll mittels geeigneter Überdeckung des Aushubbereichs (Halle, Festzelt o.ä.)

Unverschmutztes
Regenwasser

verhindert werden. Die Ableitung des Regenwassers erfolgt über die Entwässerung allfälliger Dachflächen (Regenwasserableitrinnen).

Retention /
Löschwasser

Das Regenwasser kann in Regenwasserretentionsbecken abgeleitet werden, welche parallel als Löschwasserrückhaltung genutzt werden können. Dafür ist ein Platz für die Unterbringung von Becken oder Lagertanks bereitzustellen.

6.3.5 Vorbelüftung Deponiekörper

Hohe Gehalte an
Deponiegasen

In den jüngeren Deponieteilen (Oberer Einschlag und westlicher Bereich des Spitefelds) liegen Deponiegase wie Methan und CO₂ in der Porenluft in stark erhöhten Konzentrationen vor (vgl. Ergebnisse der Porenluftmessungen, Abschnitt 3.3.4 und Beurteilung der Gefährlichkeit der Deponiegase, Abschnitt 6.6).

Vorbelüftung notwendig

Aus Gründen der Arbeitssicherheit und zur Vermeidung von übermässigen Geruchsemissionen ist in den genannten Bereichen vor dem Aushub voraussichtlich eine Belüftung des Deponiekörpers vorzunehmen (vgl. Abschnitt 6.9).

Die Vorbelüftung kann vor Freilegung des Deponieguts durch **Einblasen** von Luft (ggf. angereichert mit zusätzlichem Sauerstoff) geschehen. Gleichzeitig werden die Deponiegase **abgesaugt** und über eine **Filteranlage** (Aktivkohle, Biofilter) geführt. Durch Herstellung eines Unterdrucks im Deponiekörper kann ein unkontrolliertes Entweichen der Deponiegase in relevanten Mengen vermieden werden.

2-4 Wochen Dauer

Aufgrund von Erfahrungswerten bei anderen Hausmülldeponien ist mit einer Behandlungszeit von 2-4 Wochen zu rechnen, bis ein aerobes Milieu entsteht (vgl. z.B. Sanierung der Fischer-Deponie in Niederösterreich).

6.3.6 Aushub, Triage und Aufbereitung vor Ort

Aushub

Der Aushub erfolgt prinzipiell in der Abfolge Oberboden, Deponiegut, Verlandungssedimente. Diese drei Materialarten sind sortenrein zu erfassen.

Aushub-Geräte

Das Deponiegut wird soweit möglich bereits beim Aushub in die Hauptfraktionen aufgetrennt. Für die erste Grobtrriage des Deponiegutes sind neben konventionellen Aushubbaggern daher auch Bagger mit Greifarmen und **Sieblöffeln** (Gitterlöffel) vorzusehen.

Förderbandsystem

Für den Transport des Aushubmaterials aus dem Aushubbereich zur zentralen Aufbereitung vor Ort kann ein Förderbandsystem eingesetzt werden. Zur Vermeidung von Staub- und Geruchsemissionen ist das Förderband einzuhausen.

Aufbereitung vor Ort

Mittels mechanischer Aufbereitung vor Ort erfolgt eine erste Auftrennung des Deponieguts in die fünf Hauptfraktionen (brennbarer Abfall, Metalle, Bauschutt, mineralisches Aushubmaterial und Rest).

Das mineralische Aushubmaterial und die Restfraktion werden mittels **Trockensiebung** (z.B. Doppeldeckersieb, Siebschnitt 200 – 300 mm), **Windsichter** (zum Ausblasen von leichten Stoffen wie Plastik und Papier) und **Metallabscheider** soweit möglich vom restlichen Abfallmaterial (brennbare und nicht brennbare Abfälle wie Altpapier, Keramik-, Ziegelbruchstücke, Bauschutt,

Holz, Metall etc.) getrennt. Somit wird eine Aufbereitung der Aushub bzw. Restfraktion in einer Bodenwaschanlage ermöglicht.

Das brennbare Deponiegut wird mittels **Shredder** vor Ort in KVA taugliche Stücke zerkleinert.

Aufgrund der unterschiedlichen Konsistenz und der zu erwartenden hohen Feuchte des Aushubmaterials dürfte die Aufbereitung vor Ort technisch anspruchsvoll sein. Ob die im vorliegenden Konzept geplante Fraktionierung überhaupt technisch umsetzbar ist, wäre nach Vorliegen der Unternehmervarianten zu erörtern und in einem Vorprojekt prüfen.

Aufbereitung technisch anspruchsvoll

Für die Auftrennung und Aufbereitung der Abfälle vor Ort sind ausreichend grosse Triage- und Zwischenlagerplätze für die fünf Hauptfraktionen (à bis zu 3-5 Tagesleistungen) mit befestigten Flächen vorzusehen.

Lagerplätze

6.3.7 Probenahme, Analysen und Klassierung

Das Aushubmaterial wird erst nach der Auftrennung in die Hauptfraktionen beprobt und analysiert. Das Probenahme- und Analysenprogramm ist pro Hauptfraktion gesondert festzulegen. Für KVA-gängiges Material kann voraussichtlich ein gegenüber dem mineralischen Aushub und dem Restmaterial reduziertes Analysenprogramm angewendet werden.

Konzept Triageanalytik

Als Leitparameter sind i.A. Schwermetalle, PAK, aliphatische Kohlenwasserstoffe C10-C40, PCB und flüchtige organische Substanzen (z.B. mittels Methode Purge & Trap, PUT) im Labor zu analysieren. Ein erstes Schwermetallscreening kann vor Ort mit einem tragbaren XRF-Gerät erfolgen. Die XRF-Messungen sind allerdings regelmässig im Labor zu verifizieren.

Leitparameter

Für Probenaufbereitung und Analysen in einem externen Labor sind im Normalfall 2-3 Arbeitstage zu veranschlagen. Falls die Analysen sehr kurzfristig vorliegen müssen (z.B. bei unzureichender Kapazität der Zwischenlager) sind Expressanalysen bzw. die Einrichtung eines Labors vor Ort zu prüfen.

Labor extern oder vor Ort

6.3.8 Transport und Logistik

Insgesamt fallen rund 310'000 m³ fest Deponiematerial, 30'000 m³ fest Oberbodenmaterial sowie bei der Totaldekontamination 36'000 m³ fest Untergrundmaterial an, welches zur weiteren Aufbereitung oder zur Deponierung abtransportiert werden muss (vgl. Abschnitt 6.2). Nur ein kleiner Teil des Oberbodens (ca. 4'000 m³ fest unbelasteter Bodenaushub, vgl. Tabelle 9) könnte prinzipiell vor Ort wiederverwertet werden. Diese insgesamt 376'000 m³ fest entsprechen rund 470'000 m³ lose Material.

Ca. 470'000 m³ lose zum Abtransport

Die Aushub-Etappierung ist so zu planen, dass die Abwicklung der Transporte verkehrstechnisch sinnvoll realisiert werden kann.

Etappierung

Mit der direkten Erschliessung des nahegelegenen Industriegebietes Obach durch die neue Umfahrung der Westtangente ist das ehemalige Deponiegebiet Spitelfeld und Oberer Einschlag **gut an das Strassenverkehrsnetz** mit Anschluss an die Autobahn (A5 und A1) **angeschlossen**. Sämtliche Richtungen (Grenchen - Biel,

Strassentransport

Bern-Zürich) und externe Aufbereitungsanlagen bzw. Deponien sind ohne Umwege oder Fahrten durch Quartierstrassen innert kurzer Zeit per Lastwagen erreichbar.

Für den **Abtransport** des Aushub- und Deponieguts wird mit Sattelschleppern (16 m³ lose Füllvolumen) gerechnet. Bei einer Gesamtkubatur von 470'000 m³ lose ergeben sich ca. **29'000-40'000 LKW-Fahrten** à 12 bis 16 m³. Bei einer Ausführungszeit von ca. 375 bis 750 Tagen für den Aushub (vgl. Abschnitt 6.8) entspricht dies **täglich ca. 40-110 LKW-Fahrten**.

Bei der **Wiederherstellung** (Rekultivierung) sind nochmals **12'000-15'000 LKW-Fahrten** für die Anlieferung der Rückfüllmaterialien notwendig (vgl. Abschnitt 6.5).

Bahntransport

Für die Variante des Materialtransports mit der Bahn bestehen prinzipiell verschiedene Möglichkeiten:

- **Nutzung der SBB-Linie Solothurn-Lyss.** Südlich der Aare, parallel zur Autobahn, ist eine stillgelegte, nicht elektrifizierte Eisenbahnlinie vorhanden. Das Schienennetz ist jedoch funktionstüchtig und wird z.T. für Zuckerrüben-transporte genutzt. Die Aushubmaterialien müssten ggf. mittels Förderband über die Aare, an den nördlichen Fuss des Hunnenbergs (Gemeindegebiet Biberist) transportiert werden. Hier könnte ein Verlad auf Eisenbahnwagen erfolgen, welche z.B. zur KVA in Zuchwil geführt werden können. Aufgrund der engen Platzverhältnisse am Fuss des Hunnenbergs müsste die vorgängige Aufbereitung der Abfälle nördlich der Aare erfolgen.
- Abtransport mit dem LKW zu einer **bestehenden Bahn-Verladestation**.
- **Neubau eines Anschlusses** an die SBB-Bahnlinie rund 800 m östlich entlang der Dammstrasse (mit bereits bestehendem regionalen Bahnhof) bzw. ca. 600 m nördlich an die bestehende SBB-Bahnlinie mittels Abzweigergleis (Verlängerung zur Deponie). Ein rund 200 m breiter Streifen bis auf Höhe der SBB-Linie ist zurzeit noch nicht bebaut (Landwirtschaftsland). Die Infrastruktur für Verlad und Abtransport ist noch nicht vorhanden. Die Linienführung dürfte aber aufgrund der örtlichen und baulichen Gegebenheiten **kaum realisierbar** sein.

Schiffsweg

Da sich das ehemalige Gebiet der Kehrrechtdeponien Spitelfeld und Oberer Einschlag in nur gerade 200 bis 400 m Distanz zur Aare befindet, stellt sich die Frage nach der Möglichkeit des **Schiffstransports**.

Abklärungen bei den zuständigen Wehrbetreibern bzw. Wasserpolizei haben ergeben, dass der Schiffsverkehr **Aareabwärts** für **grosse Lasten nicht geeignet** ist, da Aareabwärts zahlreiche Kraftwerke mit Wehranlagen zum Teil über Boottransportanlagen mit Maximalgewichten zwischen 2 und 4 Tonnen passiert werden müssen. Erst ab Waldhut kann der Rhein ohne Barrieren mit grossen Frachtschiffen befahren werden.

Möglich wäre jedoch ein **Schiffstransport Aareaufwärts**, insbesondere **bis zur KEBAG** in Zuchwil. Dort könnte ggf. auch ein Umlad und Weitertransport der nicht-brennbaren Abfälle erfolgen.

6.4 Entsorgung

Ziel der Entsorgung ist es, eine möglichst gute Auftrennung der verschiedenen Abfallfraktionen zu erreichen und, unter Beachtung der technischen Machbarkeit und der wirtschaftlichen Tragbarkeit gemäss Art. 12, Abs. 3a TVA, eine hohe Verwertungsquote zu erzielen.

Hohe Verwertungsquote

Für die Entsorgung der Aushubmaterialien gibt es die Möglichkeiten einer Verwertung, einer Aufbereitung und Wiederverwendung oder einer Deponierung. Dazu bieten sich je nach Materialkategorie und chemischer Belastung die in Tabelle 10 aufgeführten Entsorgungsmöglichkeiten in der Nähe von Solothurn an. In Tabelle 9 (vgl. Seite 38) erfolgt eine Zuteilung der erwarteten Abfallarten zu möglichen Entsorgungswegen.

Entsorgungsmöglichkeiten

Das brennbare Material (Holz, Plastik, Papier, etc.) kann zur Verbrennung in eine **KVA** (vgl. Tabelle 10) gebracht werden. Das Abfallmaterial muss dafür „trocken“ (d.h. brennbar) sein und mindestens einen brennbaren Anteil von 50 % aufweisen⁶. Die in der KVA angelieferten Materialien dürften maximal eine Stückgrösse von ca. 50 x 10 x 10 cm aufweisen (Einsatz von Holzschredder vor Ort).

Brennbares Material

Für die aussortierten Metalle ist die **Verwertung** als Wertstoff (Alteisen etc.) vorgesehen.

Metalle

Für das mineralische Aushubmaterial und für den Bauschutt ist je nach chemischer Belastung und Fremdstoffanteil eine geeignete Aufbereitungsmethode (**Bauschuttaufbereitung**, **Nassmechanische Behandlung**, Thermische Behandlung im **Zementwerk**) oder eine gesetzeskonforme **Deponierung** (Inertstoffdeponie, Reststoff- / Reaktordeponie) zu wählen (vgl. Tabelle 10).

Mineralischer Aushub / Bauschutt

Das restliche Deponiematerial bzw. die nichtverwertbaren Anteile (Kadaver, etc.) sind in einer **Sondermüllverbrennungsanlage** zu verbrennen oder in einer geeigneten **Deponie** fachgerecht einzulagern.

Restmaterial

Die Kapazitäten der jeweiligen Entsorgungsanlagen werden in Kap. 6.8, Zeitbedarf, näher diskutiert.

Kapazitäten

⁶ Gemäss Aussagen der Betreiber der KVA bereitet feuchter oder sogar nasser Kehricht keine relevanten Probleme bei der Verbrennung, solange der brennbare organische Gehalt genügend hoch ist.

Tabelle 10 Mögliche Entsorgungswege in der Umgebung von Solothurn

Material	Art der Entsorgung bzw. Klassierung	Kt.	Name	Ort
Deponiegut, brennbar	Verwertung, KVA	SO	KVA Zuchwil (KEBAG)	Zuchwil
		SO	KVA Oftringen	Oftringen
		BE	KVA Biel (MÜVE)	Biel
		BE	KVA Bern (EWB)	Bern
Oberboden, Mineralischer Aushub, Bauschutt	Deponierung, Reaktormaterial	SO	Geordnete Deponie Härkingen AG	Härkingen
		SO	Deponie Erlimoos	Trimbach
		SO	Deponie Rothacker	Walterswil
	Deponierung, Inertstoffmaterial	SO	Deponie Erlimoos	Trimbach
		SO	Deponie Weid	Hauenstein-Ifenthal
Mineralischer Aushub und Bauschutt	Verwertung, Bodenwaschanlage	ZH	Bodenrecycling AG	Regensdorf
		ZH	Eberhard Recycling AG	Rümlang
		BE	ISD Chrützwald und Gleisaushubwaschanlage Vibeton AG	Lyss
		BE	ISD Steinigand und Gleisaushubwaschanlage KIESTAG	Wimmis
		TG	Toggenburger AG, Bodensanierungszentrum Tollenmatt	Gachnang
	LU	Makies AG	Gettnau	
	Verwertung, Zementwerk	ZH	Zementwerk Siggenthal	Würenlingen
		BE	Ciments Vigier SA	Péry
Metall	Verwertung, Recycling	div.	Diverse Altmetallhändler	diverse
Sonderabfall (diverse Materialien)	Verwertung, Recycling	BE	Sonderabfallverwertungs-AG SOVAG	Brügg
	Verwertung, Verbrennung	BS	RSMVA (regionale Sondermüllverbrennungsanlage)	Basel

U = unverschmutzt, T = tolerierbare Qualität, IS = Inertstoffqualität, RS = Reststoffqualität, SA = Sonderabfall

6.5 Wiederherstellung

Nach dem Aushub bzw. der Totaldekontamination der Gebiete Spitelfeld und Oberer Einschlag sind die entstandenen Geländemulden wieder auf die umliegenden Terrainhöhe zu rekultivieren. Bei der Rückfüllung ist zwingend zu beachten, dass ausschliesslich unbelastetes Material wiederverfüllt wird. Rekultivierungsziel

Bei einem Bodenaufbau von 0.3 m Ober- bzw. 0.5 m Unterboden sowie zusätzliches Aushubmaterial für die Rohplanie wird total rund ca. **200'000 m³ lose Material** (d.h. **12'000 - 15'000 LKW** à 12-16 m³) benötigt. Mengen Bodenaushub

6.6 Sicherheitsaspekte

Die mit der Ausdehnung der ehemaligen Deponie verbundene Baustellengrösse sowie das Vorhandensein von Deponiegasen erfordert eine sorgfältige Planung und Umsetzung aller notwendigen Sicherheitsmassnahmen. Sicherheit

In der Porenluft des Spitelfelds wurden insbesondere im westlichen Bereich der Deponie z.T. massiv erhöhte Konzentrationen an Methan, Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff nachgewiesen (vgl. Kapitel 3 und Anhang 3). Im Oberen Einschlag ist von ähnlichen Verhältnissen auszugehen. Deponiegase

Die Gehalte an **Methan** erreichten bis 46 Vol.-%. und lagen somit sowohl über der unteren, als auch der oberen Explosionsgrenze für Methan (UEG = 4.4 Vol.-%, OEG 16.5 Vol.-%). Zwischen UEG und OEG kann es bei einer Zündung zu einer Explosion kommen.

Kohlendioxid (CO₂) erreichte Konzentrationen bis 30 Vol.-%, ist jedoch weder explosionsgefährlich noch toxisch. Da es schwerer ist als Luft, kann es sich jedoch in Gräben / Vertiefungen ansammeln.

Schwefelwasserstoff (H₂S) wurde in Konzentrationen bis ca. 100 ml/m³ nachgewiesen. H₂S ist ebenfalls schwerer als Luft. Zudem ist H₂S toxisch sowie brennbar und riecht stark nach faulen Eiern.

Zur Minimierung der Deponiegas-Belastung, insbesondere zur Vermeidung explosionsfähiger Luft-Gas-Gemische, ist in den jüngsten Deponiebereichen (Oberer Einschlag, Westteil Spitelfeld) eine **Vorbelüftung** vorzusehen (vgl. Abschnitt 6.3.5). Vorbelüftung
Deponiegase

Beim Aushub sind die Deponiegase laufend mittels **mobiler FID-Gasmessgeräte** zu überprüfen. Für den Fall einer Überschreitung der MAK-Werte bzw. der unteren Explosionsgrenze (UEG) sind konkrete **Massnahmen** und Aktionspläne vorzusehen (z.B. Einsatz von Luftgebläse, Öffnungen der Hallenseitenwände bei Hallenvariante). Überwachung und
Massnahmen Gase

Für die Variante einer Abbauhalle ist die **Eigenluftversorgung** der Bagger und anderer in der Halle arbeitenden Maschinen zu prüfen.

Brandschutz	Es ist ein Brandschutzkonzept (Sofortmassnahmen, Zufahrten Feuerwehr etc.) auszuarbeiten. Für den Fall eines Brandes (z.B. Entzündung Deponiegase durch Funkenschlag) ist eine ausreichende Menge an Löschwasser vor Ort zu lagern. Dazu ist ein Meteorwasserrückhalt (vgl. Abschnitt 6.3.4, Entwässerung) oder eine direkte Zuleitung ab Aare vorzusehen.
Schwarz/Weiss-Bereiche	Über den ganzen Baustellenperimeter sind klar definierte "Schwarz/Weiss"-Bereiche auszuscheiden (schwarz: Kontakt mit belasteten Materialien, weiss: saubere Bereiche). Der Aushubperimeter bzw. die Deponie ist als Schwarzbereich durch vollständige Einzäunung mit Eingangstoren abzusichern und es sind Massnahmen zur Verhinderung von Schadstoffverschleppungen vorzusehen. Die Schwarzbereiche sind dazu mit Personen- und Fahrzeugschleusen abzutrennen.
Persönliche Schutzmassnahmen	Das Tragen von Arbeitskleidung und allenfalls Staubmasken ist in den belasteten Bereichen, den sogenannten Schwarz-Bereichen vorgesehen (standardmässig sind keine speziellen Schutzkleider oder Atemschutzgeräte vorgesehen).
Verkehrssicherheit	Durch die Wahl einer geeigneten Verkehrsführung ist sicherzustellen, dass ein reibungsfreier Ablauf für Zu- und Abtransporte gewährleistet werden kann (vgl. Abschnitt 6.3.8 und Anhang 6). Beachtung finden sollten dabei die Auswirkungen auf die Anwohner nördlich des Sektors D1 sowie ein möglichst effizienter und sicherer Zu- bzw. Abtransport der Güter und Materialien. Die Verkehrssicherheit auf der Baustelle ist mit sauberen Markierungen, vordefinierten Ein- und Ausfahrten / Wendeplätzen / Abstellplätze etc. zu gewährleisten.

6.7 Überwachung Schutzgüter

Monitoring	<p>Die Überwachungsmassnahmen sollen sicherstellen, dass das Sanierungsziel erreicht wird und dass bei Auffälligkeiten der Analysenresultate schnell und gezielt reagiert werden kann. Die Qualität der Schutzgüter soll während den Aushubarbeiten durch allenfalls neu mobilisierte Schadstoffe nicht verschlechtert werden.</p> <p>Untenstehend wird ein erstes Überwachungskonzept vorgestellt. Die Details bzgl. Probenahmerhythmus, Probenahmestellen und Analysenparameter sind im Ausführungsprojekt zu regeln.</p>
Grundwasserüberwachung	<p>Während dem Aushub auf dem Oberen Einschlag wird das Grundwasser alle zwei Wochen im Zustrom (Grundwasserprobenahmestelle KB1) sowie im Abstrom (KB3) des Oberen Einschlag auf LCKW (inkl. Vinylchlorid), Benzol, KW-Index, DOC, Nitrat, Nitrit und Schwermetalle (Pb, Cd) analysiert.</p> <p>Während den Aushubarbeiten auf dem Spitzfeld sind monatlich Grundwasserproben aus dem Zustrom (KB1) sowie aus dem Abstrom (KB2 und KB4) auf LCKW (inkl. Vinylchlorid), Benzol, KW-Index, DOC, Nitrat, Nitrit und Schwermetalle (Pb, Cd) zu analysieren.</p>
Bachwasserüberwachung	<p>Aus dem Brühl- und dem Brunngraben sind ab Beginn bis Ende der Aushubarbeiten monatlich je zwei Proben im Zustrom sowie zwei im Abstrom der ehemaligen Deponieflächen auf die Parameter LCKW (inkl. Vinylchlorid), Benzol, KW-Index, DOC, Nitrat, Nitrit und Schwermetalle (Pb, Cd) zu analysieren.</p>

Bei Ausführung der Teildekontamination wird der verbleibenden anstehenden Untergrund rasterweise beprobt und geprüft, ob allenfalls noch sanierungsbedürftige Belastungen vorhanden sind.

Erfolgskontrollen
Untergrund

Bei einer Totaldekontamination wird nach Erreichen der ehemaligen Deponiesohle solange anstehendes Material (Verlandungssedimente) ausgehoben, bis die chemischen Analysen alle Richtwerte für unverschmutzten Aushub einhalten. Dazu werden ebenfalls rasterweise Proben analysiert.

Die im Lauf der Überwachung anfallenden Analyse-Daten sollten (zusammen mit allen Informationen über Abfallmengen, Fraktionen, Entsorgungswege etc.) in einem Deponie-Management-System (DMS) dargestellt und den Behörden selektiv Online zur Verfügung gestellt werden.

DMS

6.8 Zeitbedarf

Zur Abschätzung des Zeitbedarfs für die Sanierung der Deponie Stadtmist wird in erster Linie auf Erfahrungswerte von Sanierungen anderer Deponien abgestellt. Insbesondere folgende drei grössere Sanierungen in Österreich und Deutschland sind in Ausmass, Abfallarten und Vorgehen vergleichbar (Quelle: öffentlich zugängliche Daten im Internet):

Erfahrungswerte
anderer Deponien

- Sanierung Fischer-Deponie in Niederösterreich (2002-2006): Total 840'000 t Deponiematerial. Durchschnittliche Räumungsleistung 3'000 t/Tag (=ca. 1500 m³/Tag).
- Sanierung der Hausmülldeponie Immenstetten in der Oberpfalz (1997-1998): Total 235'000 m³ Müll, durchschnittliche Räumungsleistung 600-700 m³/Tag.
- Sanierung der Berger-Deponie in Niederösterreich (1996-2001): Total 1'379'000 t Abfälle und kontaminierter Untergrund. Maximal 4'000 t / Tag. Durchschnittlich ca. 1'000 t / Tag (= ca. 500 m³/Tag).

Bei diversen kleineren Deponie-Sanierungen in der Schweiz konnten Tagesleistungen von ca. 500 m³ fest/Tag erreicht werden.

Zusammenfassend ist realistischerweise von eine Tagesleistung von **500 bis 1'000 m³ fest/Tag** auszugehen. Die genannte Tagesleistung kann nur erreicht werden, falls bei keinem Sanierungsschritt ein Engpass entsteht. Insbesondere sind die Abbauleistung, die Kapazität der Aufbereitung vor Ort, die Abfuhrleistung sowie die Kapazitäten der Entsorger zu berücksichtigen.

Realistische
Tagesleistung

Die Abbauleistung, die Aufbereitung vor Ort und die Abfuhr können prinzipiell entsprechend der gewünschten Tagesleistung ausgelegt werden. Ein Engpass könnte insbesondere noch bei den Entsorgungsanlagen entstehen. Daher wurden erste Kapazitätsabklärungen durchgeführt:

Kapazitäten
Entsorgung

Die grössten Kubaturen fallen beim brennbaren Abfall an (vgl. Abschnitt 6.2). In den **KVA** können im Normalfall pro KVA ca. 200 - 300 to Abfall/Tag entsorgt werden. Aufgrund der grossen zu erwartenden Kubaturen muss der Abfall auf mehrere KVA in der Region verteilt werden. Die Kapazität der in der Nähe liegenden KVA Zuchwil (KEBAG) ist davon abhängig, ob die 4. Ofenlinie für die

Entsorgung des Stadtmistes geöffnet und der Marktkehricht zurückgestellt werden kann⁷. In diesem Fall könnten ca. 150-200 to/Tag in die KEBAG geführt werden.

Bei den **Zementwerken** ist mit Kapazitätsgrenzen von 100 - 150 to/Tag pro Zementwerk zu rechnen. Bei den **Bodenwaschanlagen** kann durchschnittlich mit einer Kapazität von rund 200 to/Tag gerechnet werden.

Insgesamt sollte die oben genannten Tagesleistung des Abbaus von 500 bis 1'000 m³ fest/Tag (ca. 1'000 bis 2'000 to/Tag) bei einer Verteilung auf mehrere Entsorgungsanlagen voraussichtlich zu **keinem Entsorgungseingpass** führen.

Fazit Zeitbedarf

Für den Aushub, die Triage und den Abtransport der Gesamtkubatur von 376'000 m³ fest Aushubmaterial ergibt sich bei einer Tagesleistung von 500 bis 1'000 m³ fest/Tag ein Zeitbedarf von rund 375 bis 750 Arbeitstagen = 75 bis 150 Arbeitswochen = 1.5 bis 3 Jahre.

Nicht eingerechnet in obige Zeit sind Installations- und Vorbereitungsarbeiten (Bau Hallen, Vor-Ort-Aufbereitung, Verkehrswege, Entwässerung, Vorbelüftung, etc.) sowie die Wiederherstellung / Rekultivierung. Bei Berücksichtigung dieser Arbeiten ergibt sich ein Zeitbedarf von **ca. 2 bis 4 Jahren**.

6.9 Umweltauswirkungen

Emissionen

Durch den Aushub, die Sortierung und den Abtransport des Deponieguts entstehen diverse Emissionen (insbesondere Lärm- und Geruchsemissionen).

Nähe Siedlungsgebiet

Da sich die Deponie in unmittelbarer Nähe des Siedlungsgebiets befindet, sind zahlreiche Anwohner von allfälligen Emissionen bzw. Immissionen betroffen. Die Emissionen bzw. Immissionen sind durch technische Massnahmen auf ein vertretbares Mass reduzieren.

Geruch

Geruchsemissionen entstehen durch die Freilegung und den Umschlag des teilweise bereits verrotteten Deponieguts und durch die im Deponiegut vorhandenen Deponiegase (Methan, Schwefelwasserstoff, etc.). Es sind mindestens folgende Massnahmen zur Emissions- bzw. Immissionsminderung zu prüfen:

- Das Schadstoff- und Geruchspotential der Deponiegase kann mit einer **Vorbelüftung** des Deponiekörpers vor Aushubbeginn stark reduziert werden (Überführung in einen aeroben Zustand, Details vgl. Abschnitt 6.3.5).
- Beim Abbau wird jeweils nur ein **kleiner Teilbereich** der Deponie auf einmal **geöffnet**.
- Der Abbau und die Vor-Ort-Aufbereitung des Deponieguts sind allenfalls in **Hallen** auszuführen (Details vgl. Abschnitt 6.3.2).

⁷ Gemäss Martin Moser, Amt für Umwelt, Fachstelle Abfallwirtschaft wäre die Voraussetzung für den Betrieb der 4. Ofenlinie eine GP-Änderung, befristet auf die Dauer der Sanierung des Stadtmists. Ausserdem wären evtl. Investitionen in zusätzliche technische Einrichtungen für die Wärmeabgabe notwendig.

- Das für den Transport des Aushubmaterials verwendete **Förderbandsystem** ist zur Vermeidung von Staub- und Geruchsemissionen **einzuhausen** (vgl. Abschnitt 6.3.6).

Durch den Einsatz von grossen Maschinen, die Aufbereitung des Materials vor Ort sowie den Verlad und Abtransport des Materials werden Lärmemissionen verursacht.

Lärm

Bei den eingesetzten Maschinen und Anlagen ist sicherzustellen, dass diese dem heutigen **Stand der Technik** entsprechen und sämtliche Lärm- und Schadstoffemissionen auf möglichst geringem Niveau gehalten werden.

Neben den Lärm- und Geruchsemissionen ergeben sich im Zusammenhang mit dem geplanten Deponierückbau insbesondere Staub- bzw. Luftschadstoffemissionen.

Staub / Luftschadstoffe

Die oben vorgestellten Massnahmen zur Geruchsminimierung dienen jeweils auch der Reduzierung der Staub- und Luftschadstoffemission. Zusätzlich gilt es vor allem bei der Sortierung bzw. beim Umschlag des Materials auf dem Zwischenlagerplatz die Staubbelastung zu minimieren (befestigter Zwischenlagerplatz, Wässerung, Abfangen Platzwasser und Einleiten in Kanalisation).

Der Staubbelastung durch die zu- und weggehenden LKW's soll mit einer Fahrzeugwaschanlage minimiert werden (vgl. Abschnitt 6.3.4).

Die jeweiligen Emissionen sind laufend durch ein Überwachungsprogramm (Monitoring) zu überprüfen.

Monitoring

6.10 Grobkostenschätzung

6.10.1 Kosten Totaldekontamination

Die geschätzten Kosten für die Totaldekontamination der Deponieflächen Stadtmist und Oberer Einschlag sind in untenstehender Tabelle 11 zusammengestellt. Die detaillierte Herleitung der Kubaturen und der Entsorgungskosten ist in Anhang 7.1, die Herleitung der Gesamtkosten in Anhang 7.2 beigelegt.

Es wurden drei Szenarien berechnet: Der Best-Guess entspricht dem wahrscheinlichsten Fall. Der Worst-Case ist eine Abschätzung des schlechtesten Falls, der Best-Case ist der günstigste Fall. Die tatsächlichen Kosten liegen mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 95 % zwischen dem Best-Case und dem Worst-Case.

Szenarien

Die Gesamtkosten für die Totaldekontamination liegen zwischen ca. 85 und 200 Mio. CHF, mit einem Best-Guess bei ca. 125 Mio. CHF. Die Kosten wurden entsprechend den in Kap. 6.3 bis 6.5 aufgeführten Arbeitsschritten berechnet.

Gesamtkosten
85-200 Mio CHF

Mit 75 % der Gesamtkosten sind die Entsorgungskosten der bestimmende Kostenblock. Weitere ca. 6 % der Gesamtkosten werden für den eigentlichen Aushub der Materialien benötigt. Die weiteren Kostenblöcke bewegen sich jeweils in der Grössenordnung von ca. 2 % der Gesamtkosten (vgl. Tabelle 11).

Entsorgung 75 % der
Kosten

Tabelle 11 Grobkostenschätzung Totaldekontamination

Kubatur [m ³ fest]	Best-Guess	%	Worst-Case	Best-Case
Total Aushubkubatur	375'000		440'000	325'000
Kosten [CHF]				
Entwässerung, inkl. Spundwände	2'000'000	1.6%	4'000'000	1'500'000
Abwasservorbehandlung	1'000'000	0.8%	2'000'000	0
Abwasserentsorgung	0	0.0%	0	0
Vorbelüftung Deponiekörper	3'000'000	2.4%	4'000'000	2'000'000
Verkehrsinfrastruktur	2'000'000	1.6%	4'000'000	1'000'000
Mobile Abbauhalle	3'000'000	2.4%	5'000'000	1'000'000
Sortieranlage (Installation)	2'000'000	1.6%	3'000'000	1'500'000
Sortieranlage (Betrieb)	3'000'000	2.4%	5'000'000	1'000'000
Planung / Ausschreibung / Begleitung	3'000'000	2.4%	5'000'000	2'000'000
Analytik	2'000'000	1.6%	3'000'000	1'500'000
Aushub	7'500'000	6.1%	13'000'000	5'000'000
Entsorgung (inkl. Transport)	92'500'000	74.7%	150'000'000	65'000'000
Rekultivierung	3'000'000	2.4%	4'000'000	2'000'000
Total Grobkostenschätzung	124'000'000	100 %	202'000'000	83'500'000

Unsicherheiten

Die Berechnungen basieren auf den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen, heutigen Marktpreisen, unverbindlichen Preisanfragen bei Unternehmern, Erfahrungen der FRIEDLIPARTNER AG sowie zahlreichen Annahmen. Unsicherheiten bestehen dabei v.a. In folgenden Bereichen:

Die **physikalische Qualität** des Aushubmaterials, insbesondere die Dichte (t/m³), die Entwässerbarkeit, die Sortierbarkeit sowie die Verwertbarkeit des Deponieguts könnten erst im Rahmen eines Vorprojekts genauer beurteilt werden. Die entsprechenden Eigenschaften haben einen sehr grossen Einfluss auf die Entsorgungskosten und führen in diesem Bereich zu einer verbleibenden Unsicherheit von gegen 100%.

Die **Entsorgungspreise** wurden gemäss heutigen Marktpreisen angenommen. Insbesondere für die KVA können die Preise jedoch noch stark variieren, da das Deponiematerial nicht einem üblichen Hauskehricht entspricht und es allenfalls zu Kapazitätsengpässen in nahegelegenen KVAs kommen könnte (vgl. Kap.6.8). Die verbleibende Unsicherheit schätzen wir auf ca. 20%.

6.10.2 Kosten Teildekontamination

Weniger Aushub und Entsorgung

Bei einer Teildekontamination (vgl. Kap. 5.1.1) würden die Kosten für Aushub und Entsorgung der belasteten Verlandungssedimente entfallen. Die Entsorgungskosten für die Verlandungssedimente betragen im Best-Guess ca. 6 Mio. CHF (vgl. Anhang 7.1), die Kosten für deren Aushub ca. 700'000 CHF (ca. 35'000 m³ à CHF 20/m³ fest).

Zudem verringern sich die Kosten für die Wiederauffüllung um ca. 1 Mio. CHF, da weniger Material rückgefüllt werden müsste (ca. 35'000 m³ à CHF 30/m³ fest). Die Einsparung bei allen anderen Arbeitsschritten dürfte aufgrund der um ca. 6 % kleineren Gesamtkubatur in der Grössenordnung von 5 % liegen.

Insgesamt liegen somit die Kosten für die Teildekontamination im Best-Guess bei ca. 115 Mio. CHF, also ca. 10 Mio. CHF tiefer als die Gesamtkosten für die Totaldekontamination (vgl. Anhang 7.2).

Weniger Rückfüllung

Ca. 10 Mio. CHF
weniger als Totaldek.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND WEITERES VORGEHEN

7.1 Beurteilung der Machbarkeit

Stand der Technik	Die Sanierung von Hausmülldeponien mittels konventionellem Aushub entspricht dem Stand der Technik. Im benachbarten Ausland wurden in den letzten Jahren Sanierungen von Deponien mit ähnlicher Ausdehnung und Abfallzusammensetzung mittels Aushub erfolgreich ausgeführt (vgl. Abschnitt 6.8).
Entsorgungskapazität vorhanden	Die Entsorgungsanlagen in der Region verfügen insgesamt über genügend Kapazität zur Aufnahme der anfallenden Abfallmengen (vgl. Abschnitt 6.8).
Entwässerung machbar	Für die Deponie Spitalfeld ergeben sich spezielle Schwierigkeiten aufgrund des Einstaus des Deponieguts im Wasser. Die Entwässerung des Deponiekörpers ist jedoch technisch machbar.
Ausführungszeit 2-4 Jahre	Aufgrund der Erfahrungswerte von vergleichbaren Sanierungen ist realistischerweise mit einer Ausführungszeit von 2-4 Jahren zu rechnen (vgl. Abschnitt 6.8). Bei Vorgabe einer kürzeren Sanierungszeit wäre die Machbarkeit neu zu prüfen.
Akzeptanz	Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist abhängig von den Immissionen (insbesondere Geruch und Lärm) während der Ausführung der Sanierung. Durch geeignete Massnahmen (Vorbelüftung, Halle etc.) kann insbesondere die Geruchsmission stark reduziert werden.

7.2 Beurteilung der Wirksamkeit

Sanierungsziel wird erreicht	Mit dem Aushub von Oberboden und Deponiegut wird das Sanierungsziel mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit bereits erreicht. Die belasteten Verlandungssedimente sind vermutlich nur bei einer Totaldekontamination zu entfernen (vgl. Kap. 5.1.1).
Restbelastungen im GW möglich	Benzol und Vinylchlorid (VC) wurden bereits im Grundwasser, ausserhalb des Sanierungsperimeters nachgewiesen. Erfahrungsgemäss ist daher damit zu rechnen, dass auch längere Zeit nach einem Totalaushub der Deponie noch Restbelastungen dieser Schadstoffe im Grundwasser nachzuweisen sind.

Mit dem Aushub der Abfälle im Deponieperimeter wird jedoch die eigentliche Quelle der Belastung entfernt, zusätzliche Belastungen des Grundwassers werden verhindert. Die in allen Bereichen der Deponie nachgewiesene CKW-Belastung in der Porenluft, die erhöhten Benzol- und z.T. VC-Konzentrationen in den Sickerwasserproben sowie die erhöhte VC-Konzentration im Altlasteneluat der Probe 2007-1-1 beweisen, dass im Deponiekörper weiterhin ein hohes entsprechendes Schadstoffpotential vorhanden.

Zudem ist zu beachten, dass mit dem Aushub neben den BTEX und CKW auch weitere Schadstoffe wie PCB und Schwermetalle entfernt werden, welche bis

heute (noch) nicht in das Grundwasser eingetragen wurden, aber mit dem Sickerwasser bereits heute in die angrenzenden Oberflächengewässer gelangen.

Die Aushubvariante ist nachhaltig, da die sanierungsauslösenden Abfälle endgültig vom Standort entfernt werden. Nachhaltig

Das Areal kann sowohl nach einer Total- als auch bei einer Teildekontamination (exkl. Verlandungssedimente) wieder uneingeschränkt genutzt werden. Uneingeschränkte Nutzbarkeit

Die Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolgs ist gegeben. Kontrollierbarkeit

Beim Aushub und bei der Aufbereitung vor Ort sind relevante Emissionen von Deponiegasen (Geruch) zu erwarten. Durch Aushub, Aufbereitung und Abtransport sind zudem Lärm-Belästigungen der Anwohner möglich. Die entsprechenden Immissionen sind durch geeignete Massnahmen zu minimieren (Details vgl. Abschnitt 6.9). Umweltauswirkungen

7.3 Beurteilung der Kosten

Die Realisierungskosten der Aushubvariante sind sehr hoch. Eine erste Kostenschätzung geht von einem Betrag in niedriger dreistelliger Millionenhöhe aus (vgl. Kap. 6.10). Nach Abschluss der Sanierung fallen nur noch marginale Überwachungskosten an. Hohe Kosten

Wie bereits im Abschnitt „Wirksamkeit“ (7.2) erwähnt, bestehen nach ausgeführtem Aushub und Rekultivierung uneingeschränkte Nutzungsmöglichkeiten mit entsprechendem Ertragspotential. Sehr gute Nutzungsmöglichkeiten

7.4 Zusammenfassende Beurteilung Sanierungsprojekt Aushub

Zusammenfassend kann die Sanierungsvariante Aushub als machbar, wirksam und nachhaltig bezeichnet werden. Machbar, wirksam, nachhaltig

Das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist gut, da die kurzfristig hohen Ausführungskosten zu einer nachhaltigen Lösung mit uneingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten führen. Kosten-Nutzen gut

7.5 Weiteres Vorgehen

- Besprechung Bericht mit dem BAFU (August 2009)
- Ggf. Überarbeitung Bericht (September 2009)
- Anhörung BAFU und Stellungnahme BAFU (Oktober 2009)
- Sanierungsverfügung AfU
- Abgeltungsgesuch an BAFU
- Planung und Ausschreibung Sanierung (2010/2011)
- Beginn Sanierung (ab 2012)

Haftung

Alle Arbeiten der FRIEDLIPARTNER AG wurden unter Einhaltung der Sorgfaltspflicht ausgeführt. Die FRIEDLIPARTNER AG übernimmt keine Haftung für die Folgen aus unbekanntem oder verschwiegenen Tatsachen. Ebenso übernimmt die FRIEDLIPARTNER AG keine Haftung für allfällige Kostenfolgen aus den getroffenen Abschätzungen (Ausmasse, Kosten).

Falls Dritte basierend auf diesem Bericht Entscheidungen treffen, so trägt der Dritte die alleinige Verantwortung für allfällige Kostenfolgen.

Das vorliegende Gutachten ist für den Auftraggeber und zu dessen ausschliesslicher Nutzung erstellt. Es ist vertraulich und darf ohne Zustimmung von Auftraggeber und Verfasser weder kopiert noch an Dritte weitergegeben werden.

Zürich,

FRIEDLIPARTNER AG

Rita Hermanns Stengele,
Dr.sc.techn. ETH, Dipl.-Ing. / SIA

Daniel Bürgi
Dipl. Natw. ETH, NDS BWI ETH

Macintosh HD:Users:danielbuergi:Desktop:05.32_Stadtmist_Sanierungsprojekt_2009_04_18.doc

8 ABKÜRZUNGEN

AHR	Aushubrichtlinie (BUWAL)
AltIV	Altlastenverordnung
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
C ₅ -C ₁₀	Aliphatische Kohlenwasserstoffe C ₅ bis C ₁₀
GC-Fingerprint	Gaschromatographische Auftrennung mit FID und ECD Detektion
KbS	Kataster der belasteten Standorte
KW	Kohlenwasserstoffe (aliphatische Kohlenwasserstoffe > C ₁₀)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
ppm	parts per million (w/w), entspricht der Einheit mg/kg
SM	Schwermetalle
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
VBBö	Verordnung über Belastungen des Bodens
VBBö	Verordnung über Schadstoffe im Boden
VFK	Altlastenverdachtsflächen-Kataster des Kantons Zürich
VeVa	Verordnung über den Verkehr mit Abfällen

Kürzel aus dem Periodensystem der Elemente sind nicht aufgeführt.

9 NORMEN, GESETZLICHE GRUNDLAGEN, REFERENZEN

BUWAL (1997) Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle. Vollzug Umwelt – Abfall. EDMZ, Bern.

BUWAL (1999) Richtlinie für die Verwertung und Ablagerung von mineralischem Aushub- Abraum und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie). Vollzug Umwelt – Abfall und Altlasten. EDMZ, Bern.

BUWAL (2001) Erstellung von Sanierungsprojekten für Altlasten. Vollzug Umwelt – Altlasten Sanierung. EDMZ, Bern.

Schweizerischer Bundesrat (1994) Technische Verordnung über Abfälle (TVA). EDMZ, Bern.

Schweizerischer Bundesrat (1998) Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (AltIV). EDMZ, Bern.

SIA (1993) Entsorgung von Bauabfällen bei Neubau-, Umbau- und Abbrucharbeiten. Empfehlung 430, SIA, Zürich.