

Anhang A: Beschreibung der technischen Systeme

1.	Oberflächensicherung	2
1.1	Rekultivierungs- und Wasserhaushaltschicht	2
1.1.1	Bepflanzung.....	2
1.1.2	Rekultivierungsboden	4
1.2	Entwässerungsschicht	7
1.2.1	Mineralische Drainageschichten	7
1.2.2	Künstliche Drainagematerialien	8
1.3	Dichtungsschicht.....	10
1.3.1	Mineralische Dichtungen.....	10
1.3.2	Kunststoffdichtungsbahnen.....	12
1.3.3	Bentonitmatten.....	13
1.3.4	Polymervergütete Dichtungsmaterialien	15
1.3.5	Kapillarsperren.....	16
1.3.6	Asphaltbetondichtungen	19
1.3.7	Bentonitvergütetes Mineralgemisch	20
1.4	Leckortungssysteme	22
1.5	Gasdrainageschicht	24
1.6	Ausgleichsschicht	25
2.	Vertikale Sicherung.....	26
2.1	Dichtwände	26
2.1.1	Schlitzwand.....	26
2.1.2	Bohrpfahlwand.....	28
2.1.3	Schmalwand	29
2.1.4	Stahlspundwand	31
2.1.5	Injektionswand	32
2.1.6	Mixed-in-Place-Wand	34
2.2	Hydraulische Maßnahmen.....	36
3.	Deponiegasfassung und -entsorgung.....	37
3.1	Deponiegasfassung	37
3.2	Deponiegasentsorgung.....	38

Anmerkung:

Die Angabe der Preise für die Systeme der Oberflächenabdichtung und die Dichtwände erfolgte auf Basis folgender Größen:

Oberflächenabdichtung: Fläche: 10.000 m²

Dichtwand: Tiefe: 20 m
Länge: 500 m
Fläche: 10.000 m²

Die jeweiligen Gesamtkosten umfassen die fertige Leistung einschl. Qualitätssicherung und pauschale Baustelleneinrichtung. Der Stand der Preiserhebung ist 2003. Standortbedingt und konjunkturell können die Preise starken Schwankungen unterliegen.

1. Oberflächensicherung

1.1 Rekultivierungs- und Wasserhaushaltschicht

1.1.1 Bepflanzung

Aufgaben	
Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtung bzw. Abdeckung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherstellen einer geringen und gleichmäßigen Versickerung ▪ Aufnahme des Sickerwassers durch Pflanzenwurzeln und Abgabe über Pflanzenoberfläche (Evaporation) ▪ Rückhalt von Niederschlägen und anschließende Verdunstung von der Pflanzenoberfläche (Interzeption)
Schutz gegen Erosion der Rekultivierungsschicht	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Notwendigkeit einer schnellen Entwicklung einer geschlossenen Pflanzendecke ▪ Gräser als temporären Bewuchs mit späterer Verdrängung oder gezielter Anpflanzung durch langsamwachsende Pflanzenarten (z. B. Gehölze) ▪ Vollständige Durchwurzelung der Rekultivierungsschicht für natürliche Bewehrung
Landschaftliche Eingliederung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz standortgerechter, dem Landschaftsbild angepasster natürlicher Vegetation
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auswahl der Pflanzen unter sicherheitstechnischen und landschaftspflegerischen Gesichtspunkten in Abhängigkeit von <ul style="list-style-type: none"> – Art und Mächtigkeit der Rekultivierungsböden – Durchwurzelungsempfindlichkeit des Abdichtungssystems – Verdunstungsleistung der Pflanzen (höchste Sickerwasserminimierung durch Bäume) – natürlicher Vegetation der Umgebung ▪ Begrünung schnellst möglich nach Bodenauftrag zur Erosionsminderung und zur Verbesserung des Wasserhaushaltes (Empfehlung: zunächst Graseinsaat, anschließend Ergänzung standortgerechter regionaler Pflanzenarten) ▪ Pflanzen mit in der Regel Wurzeltiefen von < 80 cm, nur flach bis mitteltief wurzelnde Baumarten aus Sicherheitsgründen gegenüber der Abdichtungsschicht ▪ Anpassung der Vegetation an die vorherrschenden Standortbedingungen 	

Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine Bepflanzung ist bei jeder Oberflächenabdichtung erforderlich (Ausnahme bei entsprechender Nachnutzung oder bei Ersatz durch Asphaltbeton respektive Pflasterung), d. h. keine primäre Sukzession ▪ Rekultivierung mit Rasenflächen <ul style="list-style-type: none"> – zur Gewährleistung notwendiger Reparaturarbeiten in der Nachsorgephase von Deponie-Altlasten – bei temporärer Abdeckung zur Einpassung in die Landschaft – bei langfristig notwendigem Zugang der Deponieoberfläche
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gerade im urbanen Bereich Gestaltung häufig im Hinblick auf Freizeit oder Erholung
Bewertung	
<p>Ziel der Bepflanzung als unverzichtbarer Bestandteil der Rekultivierung ist die Sickerwasserminimierung sowie der Erosionsschutz und die Einbindung des Deponiebauwerkes in die Landschaft. Durch eine gezielte Pflanzenauswahl ist eine Erhöhung der Transpiration und Interzeption möglich, was die gewünschte Reduzierung des Sickerwasseranfalls zur Folge hat. Zwar ist eine vollständige Verhinderung der Durchsickerung der Rekultivierungsschicht auch bei optimierter Bepflanzung nicht ganzjährig möglich, jedoch kann es bei entsprechenden klimatischen Bedingungen gelingen, die Restdurchsickerung einer Wasserhaushaltsschicht im Jahresmittel sehr stark zu minimieren. Nachteilig kann sich jedoch die Durchwurzelung der Bodenschichten auswirken, wenn es zu einer Durchdringung der Dichtungsschichten oder zu erheblichen Wasserwegsamkeiten durch abgestorbene Wurzeln kommt.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 0,10 CHF/m² ▪ Material: 0,50 CHF/m² ▪ Einbau: 1,90 CHF/m² ▪ Gesamt: 2,50 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Bodenbearbeitung, Ansaat und Düngung</p>

1.1.2 Rekultivierungsboden

Aufgaben
<ul style="list-style-type: none">▪ Funktionen des Rekultivierungsbodens:<ul style="list-style-type: none">– Reduzierung des Eintrages von Niederschlagswasser (Tiefensickerung)– Minimierung/Verhinderung der Austrocknung der Dichtungsschicht– Minimierung/Verhinderung der Durchwurzelung der Dichtungsschicht– Erosions- und Frostschutz für die Dichtungsschicht
Technische Beschreibung
<ul style="list-style-type: none">▪ Häufig mind. 1,0 m mächtiger kulturfähiger Boden, gegebenenfalls Schichtstärke von > 1,5 m bis 3,0 m je nach<ul style="list-style-type: none">– örtlichen Gegebenheiten,– Wurzelcharakteristik der potentiellen natürlichen Vegetation,– der beabsichtigten Folgenutzung,– der Art des verfügbaren Bodenmaterials (Wasserspeichervermögen) oder– der maximaler Frosteindringtiefe (mind. 0,7 m)▪ Möglicher Aufbau von oben nach unten (grundsätzliche Verwendung von unbelastetem Material und Ausrichtung auf die zu schaffenden Standortbedingungen nach der typischen potentiellen natürlichen Vegetation). Siehe hierzu auch Publikation „Boden und Bauen“ (BAFU, 2015). Oberboden:<ul style="list-style-type: none">– Humushaltiger Boden für ausreichende Nährstoff - und Wasserversorgung– Mächtigkeit $d \leq 30$ cm (anaerobe Abbauprozesse der humosen Anteile in tieferen Schichten können Pflanzenwachstum stören)– Nutzbare Feldkapazität $nFK \geq 200$ mm– Lagerungsdichte zwischen 1,2 und 1,4 g/cm³ (aber Standsicherheit beachten)– Gute Infiltrationskapazität zur schnellen Wasseraufnahme zur Vermeidung von ErosionsschädenUnterboden:<ul style="list-style-type: none">– Standortangepasstes, verfügbares, kulturfähiges Bodenmaterial mit niedrigem Humusgehalt (s. Oberboden)

- Mächtigkeit $d \geq 40$ cm
- Lagerungsdichte zwischen 1,4 und 1,6 g/cm³ (aber Standsicherheit beachten)
- Etwas geringer durchlässiger Bereich zur Verhinderung der schnellen Tiefensickerung (verdichteter Einbau)
- Geeigneter Boden - bewertet nach guter Wasserspeicherung, guter Durchwurzelbarkeit und geringer Schrumpffgefährdung - in der abnehmenden Reihenfolge: Schluffe, schluffige Sande, lehmige Sande, schluffiger Lehm, sandiger Lehm

Unterer Bereich des Unterbodens mit sickerwasserminimierender Funktion:

- Stärker verdichtete Schicht von ca. 0,2 bis 0,3 m
- Bindiges, sehr steiniges oder sehr sandiges Material
- Lagerungsdichte $> 1,8$ g/cm³
- wenn $d < 100$ cm dient diese Schicht als Wurzelsperre (auch einsetzbar: Schicht mit Körnungssprung, Geotextilien)

Anwendung

Einsatz

- Ein Rekultivierungsboden ist als Teil der Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschicht in fast allen Oberflächenabdichtungssystemen vorzusehen.
- Bei Schichtdicken $< 2,0$ m und bei rein mineralischen Dichtungselementen nur in Verbindung mit Maßnahmen zur Begrenzung des Tiefenwachstums der Wurzeln durch
 - Optimierung der Nährstoff- und Wasserversorgung vor allem im oberen Bereich der Rekultivierungsschicht
 - Unterstützung der Barrierewirkung des Körnungssprungs an der Unterkante der Rekultivierungsschicht durch Vermeidung eines Wasserangebotes im oberen Bereich der Entwässerungsschicht
 - Einbau einer Wurzelschutzbahn oder einer wurzelhemmenden Substratlage, welche aber ausreichende Wasserdurchlässigkeit gewährleisten, damit kein Stauwasser anfällt (z. B. stark steinige Substrate oder stark verdichtete Sandschichten)

Folgenutzung

- In Abhängigkeit der Folgenutzung Dimensionierung der Schichtdicke (z. B. bei gärtnerisch/land-/forstwirtschaftlicher Nutzung mind. 1,5 bis 3,0 m)

Bewertung	
<p>Diese Schicht gewinnt vor allem in der Langzeitbetrachtung bei evtl. nachlassender Wirksamkeit der Dichtungselemente eine immer größere Bedeutung. Je mehr Wasser durch die Bepflanzung und den Rekultivierungsboden verdunstet und zurückgehalten wird, desto weniger Wasser gelangt in die Entwässerungsschicht und an die Dichtung. Die Schicht dient auf lange Sicht aber nur bei ausgeglichenem Wasserhaushalt und standortgerechter Vegetationsstruktur als wesentliches Schutzelement.</p> <p>Eine Mindestüberdeckung von 1 m bietet der mineralischen Dichtungsschicht häufig keinen ausreichenden Schutz. Auch beim Einsatz einer Kapillarsperre sollte die Schichtdicke des bepflanzten Rekultivierungsbodens mind. 1,2 m betragen, da es bei geringem Wasserspeichervermögen in der Schicht - und daher direkter Weiterleitung des Wassers - zu einer Überlastung der Kapillarsperre mit Durchbruch zum Kapillarblock kommen kann. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass eine optimal konzipierte und einer Qualitätsprüfung unterworfenen Rekultivierungsboden eine Abminderung der Anforderungen an Dichtungsschichten (z. B. hinsichtlich der begrenzten Lebensdauer alternativer Systeme) ermöglichen oder im Einzelfall Dichtungselemente ersetzen kann.</p> <p>Folglich ist standortspezifisch ein Konzept unter Berücksichtigung des geplanten Oberflächenabdichtungssystems, der Standortgegebenheiten (Klima, Boden, Topographie etc.), der vorgesehenen Nutzung der Deponie-Altlast und des dafür erforderlichen Aufbaus der Bodenschicht auszuarbeiten.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abhängig von der Materialverfügbarkeit vor Ort ▪ Baustelleneinrichtung 1,00 CHF/m² ▪ Material: 18,00 CHF/m² ▪ Einbau: 22,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 41,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Anlegen des Unterbodens (0,8 m), Entsteinung, Tiefenlockern, Aufreissen, Zwischenbegrünung, Anlegen Oberboden (0,2 m), Entsteinung, Bodenlockern, Arbeiten an Depot, Materialkosten franko Baustelle Kubikmeter lose: Unterboden 5,- CHF/m³; Oberboden 50 CHF/m³</p>

1.2 Entwässerungsschicht

1.2.1 Mineralische Drainageschichten

Aufgaben	
<p>Die Entwässerungsschicht hat vorrangig die Aufgabe,</p> <ul style="list-style-type: none"> – das durch die Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschicht durchsickernde Niederschlagswasser möglichst rasch und mit geringer Abflusshöhe oberhalb der Abdichtungselemente abzuleiten. – Zum einen ist Staunässe zu vermeiden, da die Wasserdurchtrittsmenge durch eine mineralische Abdichtung wesentlich durch die Höhe und Dauer des Überstaus bestimmt wird. – Zum anderen muss die Standsicherheit der Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschicht gewährleistet sein, welche bei unzureichendem Wasserableitvermögen der Entwässerungsschicht unter Auftrieb geraten würde. – Darüber hinaus kann die Drainageschicht durch Aufhöhung der Überdeckung die darunter liegende Dichtungsschicht zusätzlich vor Witterungseinwirkungen sowie vor Durchwurzelung schützen, wobei diese Punkte lediglich auf mineralische Drainmaterialien zutreffen. Letzteres ist auf den Sprung im Korndurchmesser gegenüber der Rekultivierungsschicht zurückzuführen, der die Durchwurzelung der mineralischen Abdichtungselemente behindern kann. 	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Körnung 16/32 mm bzw. Körnung mit vergleichbarem Porenraum (z. B. 8/16 mm), möglichst frei von Über- und Unterkorn ▪ Kornmaterial: Rundkorn (Schutz der Dichtungen, unempfindlich gegenüber Verkrustungen wegen glatter Oberfläche), Brechkorn oder Feinkorn, grobkörniges mineralisches Material (Kiese, Sande), gewaschene Mittel- bis Grobkiese ▪ Bei steileren Böschungen gegebenenfalls Einsatz von Schotter (gebrochene Oberfläche) für höhere Standsicherheit ▪ Unter Umständen Verwendung von Recyclingbaustoffen mit umweltverträglichem Eluatverhalten ▪ Langfristiger Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 10^{-3} \text{ m/s}$ ▪ Schichtdicke $d \geq 0,3 \text{ m}$ mit Höhenzugabe je nach Erfordernis ▪ Calciumkarbonat-Gehalt $< 20 \text{ Gew.-%}$ 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei allen Abdichtungssystemen (Ausnahme: Kapillarsperre und Asphaltbetonabdichtung mit direkter Nutzung an der Oberfläche)

Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei entsprechendem Schichtaufbau möglich
Bewertung	
<p>Mineralische Drainmaterialien bieten aufgrund des größeren Gesamtporenvolumens gegenüber künstlichen Drainmatten eine größere Sicherheit bezüglich der Sickerwasserableitung. Darüber hinaus können sie gleichzeitig als Wurzelsperre dienen, wenn ein entsprechender Körnungssprung zur Rekultivierungsschicht besteht. Allerdings ist die Materialverfügbarkeit standortabhängig und der Einsatz damit bei weiten Transportwegen für die erforderlichen Mengen nicht immer wirtschaftlich.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark abhängig von dem eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit ▪ Baustelleneinrichtung 0,00 CHF/m² ▪ Material: 19,00 CHF/m² ▪ Einbau: 7,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 26,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Trenngeotextil oben, Arbeiten an Depot, Material franko Baustelle: 50,-- CHF/m³ lose.</p>

1.2.2 Künstliche Drainagematerialien

Aufgaben
Entsprechend der mineralischen Drainageschicht (Kap. 1.2.1)
Technische Beschreibung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geotextile Drainmatten ($d = 0,01$ bis $0,04$ m) als Matten- oder Rollenware ▪ Mehrlagiger Aufbau schubkraftübertragender Schichten von oben nach unten: <ul style="list-style-type: none"> – Filtervlies zur Gewährleistung der Filterstabilität gegenüber dem Rekultivierungsboden oder zur Schaffung des für die Drainwirkung erforderlichen Hohlraums – Sickerschicht zur Entwässerung des Niederschlagswassers (z. B. Gitter, grobstrukturierte Partikel oder Wirrgelege, Noppenbahnen, PE-Schaumflocken) – Filtervlies zum Schutz anschließender Schichten (z. B. Schutz der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) vor mechanischer Beschädigung) oder zur Herstellung der Gleitsicherheit zwischen den Schichten ▪ Als Rohstoffe überwiegen Polyethylen, Polypropylen, z. T. auch Polyester ▪ Keine Verwendung von Recyclingwerkstoffen

Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei temporären Abdeckungen (sinnvoll aufgrund geringer Bauhöhe, geringen Materialbedarfs und hoher Drainleistung, aber unter Berücksichtigung der geplanten Nutzungsdauer) ▪ In allen Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien-Altlasten gegebenenfalls in Kombination mit einer reduzierten mineralischen Entwässerungsschicht (Ausnahme: Kapillarsperre und Asphaltbetonabdichtung mit direkter Nutzung an der Oberfläche)
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei entsprechendem Schichtaufbau möglich
Bewertung	
<p>Drainmatten weisen im Vergleich zu mineralischen Systemen mehrere Vorteile auf:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Industrielle Herstellung der Geokunststoffe und damit bessere Qualitätsüberwachung – Niedrige Masse pro Flächeneinheit, somit leichte und schnelle Verlegung sowie Reduzierung nachträglicher Setzungen – Schonung natürlicher mineralischer Ressourcen – Geringere Belastung der Umwelt durch weniger Transporte (Erheblich geringeres Gewicht gegenüber mineralischer Entwässerungsschicht) – Trotz geringer Dicke hohe Drainleistung – Kostengünstig <p>Allerdings sind Leistungsfähigkeit und Beständigkeit einzelner Produkte umstritten. Für einen Einsatz ist nachzuweisen, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> – ausreichendes Wasserableitungsvermögen, – ausreichende Filterstabilität gegenüber angrenzenden Schichten, – ausreichende Sicherheit gegen Funktionsversagen infolge Durchwurzelung, – Langzeitbeständigkeit der Geokunststoffe im Milieu der Oberflächenabdichtung und – Nachweis der Standsicherheit <p>gegeben ist. Grundsätzlich ist die Genehmigungsfähigkeit mit der Behörde abzustimmen.</p>	

Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 0,00 CHF/m² ▪ Material: 7,00 CHF/m² ▪ Einbau: 1,50 CHF/m² ▪ Gesamt: 8,50 CHF/m²

1.3 Dichtungsschicht

1.3.1 Mineralische Dichtungen

Aufgaben	
<p>Dichtungssysteme haben die Aufgabe:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ein Eindringen von Niederschlagswasser in den Deponiekörper und damit die Bildung von kontaminiertem Sickerwasser und – den Austritt von Deponiegas zu verhindern. <p>Gleichzeitig stellen sie die Unterlage für die Herstellung der Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht dar und müssen das entsprechende Gefälle und eine ausreichende Tragfähigkeit haben.</p>	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ In der Regel zweilagige mineralische Dichtungsschicht mit Mindeststärke von insgesamt 0,5 m und Durchlässigkeitsbeiwert $k_f \leq 5 \times 10^{-9}$ m/s bei hydraulischem Gradienten $i = 30$ (Laborwert); höhere Durchlässigkeiten bei Rissbildung ▪ Fein- bis gemischtkörniger Boden mit Tonmineralanteil > 10 Gew.-% ▪ Neigungen bis 1:2,5 ohne zusätzliche Maßnahmen herstellbar. ▪ Sehr gute Langzeitbeständigkeit, da nur mineralische Materialien; Gefahr der Rissbildung durch Austrocknung 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oberflächenabdichtung mit Rekultivierungsboden, Entwässerungsschicht und unterhalb der mineralischen Dichtungsschicht eine Ausgleichsschicht gegebenenfalls mit Gasdrainschicht ▪ Oberflächenabdichtung mit Kombinationsdichtung ▪ Temporäre Abdeckung bis zum Abklingen der Hauptsetzungen, spätere Eingliederung in Abdichtungssystem evtl. möglich

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In qualifizierter Abdeckung als endgültiges Oberflächensicherungssystem z. B. in Kombination mit Rekultivierungs- und Entwässerungsschicht
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingeschränkt ▪ Nur bei geringen Flächenlasten und Auflastunterschieden ▪ Bei baulichen Nutzungen müssen die Setzungen abgeklungen sein ▪ Nur mit Schutz vor Durchdringung der Dichtung durch Versorgungsstrassen
Bewertung	
<p>Mineralische Dichtungen müssen vor Austrocknung geschützt werden. Hierzu eignen sich am besten konvektionsdichte Systeme, wie z. B. Kunststoffdichtungsbahnen bzw. Asphaltbetondichtungen. Umfangreiche Erfahrungen der bauausführenden Unternehmen bei der Herstellung mineralischer Dichtungen bieten die Voraussetzungen für eine hohe Ausführungsqualität. Jedoch häufen sich Bedenken zum langfristigen Verhalten der mineralischen Komponente (Schrumpfrisse durch Austrocknung). Die Qualität der darüber liegenden Schichten, insbesondere der Rekultivierungsschicht, gewinnt an Bedeutung, wenn es um die langfristige Funktionstüchtigkeit einer Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtung geht.</p> <p>Neben den Möglichkeiten zur Verbesserung der Funktionsfähigkeit der mineralischen Dichtung (z. B. optimierte Bodenauswahl, Überdeckung > 1,5 m) sollten auch andere Systeme (z. B. Kunststoffdichtungsbahn, Bentonitmatte) im Rahmen der Planung, insbesondere im Hinblick auf Kosten und Verfügbarkeit, untersucht werden.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark abhängig von dem eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit (geeignetes und homogenes Material fraglich) ▪ Baustelleneinrichtung 3,00 CHF/m² ▪ Material: 17,00 CHF/m² ▪ Einbau: 21,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 41,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Witterungsmaßnahmen, QS, Schutzgeotextil oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten franko Baustelle 25,-- CHF/m³ lose</p>

1.3.2 Kunststoffdichtungsbahnen

Aufgaben	
Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für Abdichtungen zugelassene Kunststoffdichtungsbahnen (KDB): $d \geq 2,5$ mm, PEHD ▪ Für temporäre Abdeckungen auch nicht zugelassene KDB mit geringerer Dicke bzw. Folien ($d = 1,5$ und $2,0$ mm) ▪ Ausführung glatt und einseitig/beidseitig genoppt (zur Verhinderung von Gleitfugen bei Böschungen) ▪ Max. Böschungsneigung 1:3; auch größere Neigungen bei zusätzlichen Maßnahmen möglich ▪ Werkseitig verlegefertige Herstellung und Lieferung auf die Baustelle ▪ Praktisch undurchlässig; Durchlässigkeiten entstehen nur durch Beschädigungen oder unvollständige Verschweißung ▪ Haltbarkeit geprüfter Kunststoffdichtungsbahnen > 90 Jahre ▪ KDB verhindert Sickerwasserbildung und damit biologischen Abbau im Deponiekörper (KDB = Konvektionssperre); gegebenenfalls für weitere Deponiegasproduktion gezielte Infiltration von Wasser unter der Dichtungsschicht 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Im Verbund mit mineralischer Dichtung als Kombinationsdichtung, z. B. <ul style="list-style-type: none"> – Verbunddichtung KDB über polymervergüteter mineralischer Abdichtung. Sicherungsaufbau: Rekultivierungsboden, Schutzschicht, Entwässerung, KDB, polymervergütete Schicht oder – Verbunddichtung KDB mit Kapillarsperre. Sicherungsaufbau: Rekultivierungsboden, Schutzschicht, Entwässerung, KDB, Kapillarsperre oder nach Schutzschicht Kapillarsperre mit anschließender KDB ▪ Als alleiniges Abdichtungselement bei Sicherstellung der langfristigen Funktionsfähigkeit durch geeignete Maßnahmen <ul style="list-style-type: none"> – Rekultivierungsschicht, Schutzschicht, Entwässerungsschicht, KDB oder

	<ul style="list-style-type: none"> – optimierte Rekultivierungsschicht + KDB, d. h. optimierter Bewuchs und stark wasserspeichernde Rekultivierungsschicht ▪ Als temporäre Abdeckung (aber kein Einsatz einer nicht zugelassenen KDB in einem endgültigen Abdichtungssystem)
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei entsprechendem Aufbau möglich ▪ Punktförmige Lasten und Durchdringungen müssen ausgeschlossen werden
Bewertung	
<p>Die Kunststoffdichtungsbahn wurde bereits zahlreich in Oberflächenabdichtungssystemen eingesetzt. Die Systemeigenschaften der KDB sind als positiv zu bewerten. Langjährige Erfahrungen der einschlägigen Unternehmen mit der Verlegung der KDB bieten die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Ausführung. Darüber hinaus handelt es sich um die am weitgehendsten untersuchte Dichtungskomponente.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 3,00 CHF/m² ▪ Material: 17,00 CHF/m² ▪ Einbau: 22,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 42,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Schutzgeotextil oben und unten</p>

1.3.3 Bentonitmatten

Aufgaben
Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)
Technische Beschreibung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) = Bentonitmatte ▪ Es sind Verbundprodukt aus Geotextilien und eingearbeiteter Natrium-Bentonitfüllung (ca. 4,5 kg/m²), vernadelt, schubkraftübertragend ▪ Lieferung als Rollenware mit Mattenstärke von d = 1 bis 4 cm ▪ Einsatz doppellagig oder doppelstöckig (d. h. einlagig mit Erhöhung des Gramm-Gewichtes) ▪ Wasserdichtigkeit $k_f \leq 10^{-10}$ m/s

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Langzeitbeständigkeit bisher noch nicht abschließend geprüft. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als temporäre Abdeckung von setzungsgefährdeten Deponie-Altlasten noch vor Abklingen der Hauptsetzungen zur Minimierung der Sickerwasserbildung und Gasemissionen (später evtl. Bestandteil eines Abdichtungssystems) ▪ Als Ersatz für mineralische Dichtungsschichten in endgültigen Oberflächenabdichtungssystemen von Deponie-Altlasten mit geringem Gefährdungspotential in flach geneigten Bereichen ▪ Als Ersatz der mineralischen Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen mit zwei Einschränkungen: <ul style="list-style-type: none"> – doppelte Verlegung zur Vermeidung der Austrocknung der unteren Bentoniteinlage, – maximal zulässige Böschungsneigung 1:3, anderenfalls sind geeignete Maßnahmen zur Sicherung (z. B. durch Geogitter) zu treffen. ▪ Als Ersatz für die mineralische Dichtung in einer Kombinationsabdichtung wobei ein Eignungsnachweis erforderlich ist.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingeschränkt, nur bei geringen Flächenlasten und Auflastunterschieden ▪ Voraussetzung: abgeklungene Setzungen, nur mit Schutz vor Durchdringung der Dichtung durch Versorgungsstrassen
Bewertung	
<p>Noch besteht Forschungsbedarf bezüglich der Alterungsvorgänge der geotextilen Komponenten und der daraus resultierenden Scherfestigkeitsminderung sowie im Hinblick auf geeignete Schutzmaßnahmen gegen Austrocknung und biologische Beanspruchungen (Durchwurzelung). Als dünne Dichtschicht reduziert eine Bentonitmatte aber Erdarbeiten und besitzt herausragende Dichtwirkung bei geringer Schichtstärke mit potentielltem Selbstheilungsvermögen.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 0,00 CHF/m² ▪ Material: 19,00 CHF/m² ▪ Einbau: 7,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 26,00 CHF/m² <p>Bentonitmatte einlagig; Leistungen umfassen Witterungsmaßnahmen, QS, Trenngeotextil unten, Schutzgeotextil oben</p>

1.3.4 Polymervergütete Dichtungsmaterialien

Aufgaben	
Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patentrechtlich geschütztes mineralisches Abdichtungsmaterial (Markenname TRISOPLAST) bestehend aus <ul style="list-style-type: none"> – Sand $\leq 89,1$ Masse-% (für mechanische Stabilität) – Bentonit $\geq 10,7$ Masse-% – Polymer $\geq 0,2$ Masse-% (ca. 10 – 15 Gew.-% bezogen auf den Bentonitanteil) ▪ Mischung der beiden ersten Komponenten unter geringer Wasserzugabe, damit dass Bentonit quillt und das Porenvolumen des Sandkorngerüstes füllt. Gleichzeitig Zuführung eines speziell entwickelten Polymers zur Bildung eines stabilen Hydrogels mit der Calcium-Bentonitaufschlammung ▪ Mächtigkeit je nach Anforderung mind. $d = 7$ bis 10 cm (ausreichende Dichtwirkung mit Schichtdicke von 7 cm, aber zur Sicherheit Schichtdicke von 15 cm (minimal 10 cm), da die Sicherstellung der Schichtdicke im Bauablauf nicht unbedingt gewährleistet ist.) ▪ Bei Schichtdicken < 10 cm ist das System undurchlässiger als konventionelle mineralische Dichtungen mit $d = 0,5$ m. Im Labor sind k_f-Werte $< 1 \times 10^{-12}$ m/s erreichbar. ▪ Der Polymerzusatz ist sehr beständig gegenüber inneren und äußeren Alterungsursachen; Langzeitbeständigkeit noch nicht abschließend geprüft. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen mit Maßnahmen zum Schutz der Abdichtung gegen Durchwurzelung
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bedingt wegen geringer Mächtigkeit, höhere Anforderungen an die Rekultivierungsschicht
Bewertung	
<p>Grundsätzlich ist TRISOPLAST für die Herstellung von mineralischen Abdichtungselementen in der Oberflächenabdichtung geeignet, aber aufgrund von Unsicherheiten sollte eine Schichtmächtigkeit von mind. 10 cm, gegebenenfalls sogar 15 cm vorgesehen werden. TRISOPLAST ist einer Dichtung aus natürlichem mineralischem Material in vielen Punkten überlegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ressourcenschonung durch geringeren Materialverbrauch und weniger Transporte (erheblich geringe Schichtstärke gegenüber mineralischer Dichtung) – witterungsunempfindlicherer Einbau 	

- größere Dichtigkeit
- bessere Zähigkeit und Verformbarkeit bei geringen Wassergehalten
- Selbstheilungsvermögen
- geringere Schichtstärke (erfordert hohe Anforderungen an die Qualität beim Einbau)

Der Einsatz dieses Material ist insbesondere wirtschaftlich interessant, wenn kein natürliches mineralisches Dichtungsmaterial in der Nähe verfügbar ist.

Kosten

Kosten

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| ▪ Baustelleneinrichtung | 5,00 CHF/m ² |
| ▪ Material: | 20,00 CHF/m ² |
| ▪ Einbau: | 14,00 CHF/m ² |
| ▪ Gesamt: | 39,00 CHF/m ² |

Trisoplastschicht 7 cm; Leistungen umfassen Mischen Komponenten, Einbau, Witterungsmaßnahmen, QS, Trenngeotextil unten, Schutzgeotextil oben, Arbeiten an Depot

1.3.5 Kapillarsperren

Aufgaben

Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)

Technische Beschreibung

- Die „Dichtwirkung“ der nicht konvektionsdichten Kapillarsperre basiert auf Umlenkung und Ableitung des Sickerwassers zum Böschungsfuß hin und nicht auf einer Dichtung im herkömmlichen Sinne
- Die Sperre besteht aus zwei deutlich voneinander getrennte Lagen definierter Mineralstoffschichten unterschiedlicher Körnung:
 - oben **Kapillarschicht**: Schichtdicke $d \geq 0,4$ m, Fein- bis Mittelsand mit $k_f \geq 10^{-4}$ m/s, z. B. enggestufter Sand 0/1 mm oder 0/2 mm, Korngrößenverteilung möglichst steil ($U < 2,5$), geringer Feinkornanteil (z. B. $0,1 \text{ mm} < 8 \text{ Gew.-%}$), kein quellfähiger Ton
 - unten **Kapillarblock**: Schichtdicke $d \geq 0,3$ m, enggestufter Grobsand bis Kies bzw. Splitt mit größtmöglichem Porensprung zur Kapillarschicht, z. B. 0,6/4 mm oder 2/5 mm, verwitterungsbeständig, mechanisch beanspruchbar, so gut wie keine Eigenporosität, keine Eigenspannung, keine Veränderung der Korngrößenverteilung des eingesetzten Materials über die Zeit.
- Die Kapillarblockbahn ist eine Neuentwicklung eines Kapillarblockes, welche aus beidseitig beschichtetem PEHD-Doppelabstandsgewebe mit spezieller Füllung aus Kapillarblockmaterial (Körnung 2/5 mm, $d = 20$ mm) besteht.

- Kapillarschicht und Kapillarblock werden durch den Einsatz von Geotextilen getrennt wodurch ebenfalls der Deponiehang (z. B. bei Setzungen) verstärkt wird
- Funktionsprinzip der Kapillarsperre: In die Kapillarschicht infiltriertes Wasser wird dort kapillar als Haftwasser gebunden. Das Wasser fließt dabei oberhalb der Schichtgrenze zum ungesättigten Kapillarblock im Porenraum der Kapillarschicht ungesättigt lateral zum Böschungsfuß - und nicht der Schwerkraft folgend in den Kapillarblock – ab. Die Grenzflächenspannung am Übergang der wassergefüllten Poren in der sandigen Kapillarschicht zu den mehrheitlich luftgefüllten Poren des kiesigen Kapillarblocks sowie der unter ungesättigten Bedingungen sehr geringe wassergefüllte Fließquerschnitt im Kapillarblock behindert die vertikale Versickerung, d. h. das Infiltrieren von Niederschlagswasser aus der Kapillarschicht über den Kapillarblock in den Abfallkörper wird verhindert bzw. deutlich verringert.
- Die Voraussetzungen für die abschirmende Wirkung einer Kapillarsperre unter ungesättigten Bedingungen sind
 - das Vorhandensein eines deutlichen Porengrößensprungs an der Schichtgrenze zwischen Kapillarschicht und Kapillarblock,
 - ein Mindestgefälle von $\geq 1:10$ (ca. $5,7^\circ$); üblicherweise liegt das Gefälle bei $1:7$ (ca. 8°); ein gutes Gefälle beträgt $1:5$ (ca. 11°)
- Ein größeres Gefälle führt zu hoher lateraler Abflussmenge, d. h. zu hoher Leistungsfähigkeit, aber das Maximalgefälle ist durch die Standsicherheit des gesamten Abdichtungssystems, der einzelnen Materialien sowie der Einbautechnik begrenzt
- Keine zusätzliche Gasdrainageschicht erforderlich
- Sehr gute Langzeitbeständigkeit, da nur mineralische Materialien

Anwendung

Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Oberflächenabdichtung bei Deponien mit geringem Gefährdungspotential und weitgehend abgeklungener Gasproduktion ▪ Als Ersatz der mineralischen Dichtung in Kombinationsdichtungen (unter oder über der Kunststoffdichtungsbahn = erweitertes Kapillarsperrensystem) ▪ Als Ersatz der Entwässerungsschicht oberhalb der Kunststoffdichtungsbahn ▪ Als Kontrollschicht für das darüber liegende Dichtungselement ▪ Besonders bei steilen Böschungsneigungen
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingeschränkt ▪ Bebauung aufgrund der steilen Böschung nicht möglich

Bewertung	
<p>Die grundsätzliche Eignung der Kapillarsperre in Deponieoberflächenabdichtungen zur Minimierung der Sickerwasserbildung ist nachgewiesen. Bis zu 99 % des eingesickerten Wassers werden lateral abgeführt. Aufgrund der systembedingt hohen Anforderungen an die Ausführungsqualität sind allerdings erhebliche Aufwendungen zur Überwachung der Maßnahmen erforderlich. Voraussetzung für eine Anwendung ist stets eine Einzelfallbeurteilung auf der Grundlage einer hydraulischen Bemessung.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark abhängig von dem eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit <p>Kapillarsperre/Kapillarschicht (0,40 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 2,00 CHF/m² ▪ Material: 36,00 CHF/m² ▪ Einbau: 15,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 53,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Trenngeotextil unten, Schutzgeotextil oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten 70,-- CHF/m³ lose (kalziumcarbonatarm)</p> <p>Kapillarsperre/Kapillarblock (0,30 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 2,00 CHF/m² ▪ Material: 25,00 CHF/m² ▪ Einbau: 9,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 36,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Trenngeotextil unten, Schutzgeotextil oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten 70,-- CHF/m³ lose (kalziumcarbonatarm)</p>

1.3.6 Asphaltbetondichtungen

Aufgaben	
Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es ist ein Gemisch aus mineralischen Zuschlagstoffen (Splitt oder Kiese verschiedener Körnungen, Sande, Füller) und dem Bindemittel Bitumen, dessen Zusammensetzung an die örtlichen Gegebenheiten und Anforderungen angepasst werden kann ▪ Aufbau einer Asphaltbetondichtung: <ul style="list-style-type: none"> – Asphaltbeton-Tragschicht (d = 8 cm, Hohlraumgehalt ≤ 5,0 Vol.-%) – darüber Asphaltbeton-Dichtungsschicht, (mind. d = 8 cm Hohlraumgehalt ≤ 3,0 Vol.-%); alternativ auch zweilagige Deckschicht (mind. d = 2 × 6 cm) ▪ Praktisch undurchlässig bei fachgerechter Herstellung und beschädigungsfreiem Zustand ▪ Sehr langzeitbeständig 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Ersatz der mineralischen Dichtungsschicht als alleiniges Abdichtungselement ▪ Als Ersatz der Kunststoffdichtungsbahn als Konvektionsperre in der Kombinationsabdichtung. Eine Reduzierung oder ein Verzicht auf die mineralische Dichtungsschicht wegen der hohen Langzeitbeständigkeit der Asphaltabdichtung und der geringen chemischen Belastung ist gegebenenfalls begründbar ▪ Als teilweiser Ersatz der mineralischen Dichtung in Verbindung mit einer in der Mächtigkeit reduzierten mineralischen Dichtungsschicht oder bei besonderen Bedingungen unter Verzicht darauf
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingeschränkt ▪ Unter Vermeidung punktförmiger Lasten, großer Auflastunterschiede sowie hoher Flächenlasten ▪ Unter Berücksichtigung der späteren Nutzung z. B. als Verkehrsfläche (Deponiebetrieb, Abstellfläche, Zwischenlager etc.) bereits in der Planung die projektspezifischen Einzelheiten vorsehen (ausreichende Tragfähigkeit sowie ausreichende Verformbarkeit)

Bewertung	
<p>Bei der Asphaltbetondichtung handelt es sich, ähnlich wie bei den Kunststoffdichtungsbahnen, um ein konvektionsdichtes System mit hoher Gas- und Wasserdichtigkeit. Aufgrund seiner Robustheit, der Verfügbarkeit der Rohstoffe und der Verbreitung der Kenntnisse im Umgang mit dem Material, bietet Asphalt einen idealen Grundstoff für die Ausbildung einer dauerhaften Dichtung. Hervorzuheben sind die Möglichkeiten der Nachnutzung von mit Asphaltbeton gedichteten Deponie-Altlasten.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung 4,00 CHF/m² ▪ Material: 45,00 CHF/m² ▪ Einbau: 21,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 70,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Witterungsmaßnahmen, QS; Asphaltbetondichtung mit zweilagiger Deckschicht 115,00 CHF/m²</p>

1.3.7 Bentonitvergütetes Mineralgemisch

Aufgaben	
Entsprechend der mineralischen Abdichtung (Kap. 1.3.1)	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine Mischung aus gemischtkörnigen Materialien (z. B. sandige Kiese) und hochquellfähigem Bentonit (ca. 3 Gew.-%), Feinstkornanteil (< 0,06 mm) im Gemisch mind. 20 Gew.-%; z. B. DYWIDAG-Mineralgemisch (Produktname) oder Bentokies ▪ Sehr niedriges Porenvolumen von ca. 18 Vol.-% ▪ Eine Wasserdurchlässigkeit $\leq 5 \times 10^{-9}$ m/s ist erreichbar. ▪ Schichtmächtigkeit $d \geq 30$ cm, zweilagiger Einbau ▪ Sehr gute Langzeitbeständigkeit, da nur mineralische Materialien; Gefahr der Rissbildung durch Austrocknung 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz, wenn in zumutbarer Entfernung kein feinkörniges Material verfügbar ist ▪ Als mineralische Dichtung (zweilagig) in Oberflächenabdichtungssystemen (nach Einzelfallprüfung gegebenenfalls mit verminderter Stärke) (Tab.3: Typ II)

	<ul style="list-style-type: none"> Als mineralische Komponente (zweilagig) in Oberflächenabdichtungssystemen mit Kombinationsdichtung (nach Einzelfallprüfung mit verminderter Stärke) und gegebenenfalls Verzicht auf KDB bei optimierter Rekultivierungsschicht
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> Wie mineralische Dichtung
Bewertung	
<p>Bentonitvergütetes Material hat sehr gute Materialeigenschaften, kann allerdings nur mit relativ hohem Aufwand hergestellt werden. Durch die Herstellung in Zwangsmischern weist die Bentokiesdichtung aber eine kontrollierte und prüfbare Materialzusammensetzung mit geringer Streuung auf. Abdichtungen in Bentokiesbauweise haben sich vielfach in der technischen Ausführbarkeit und im Hinblick auf die bodenmechanischen Anforderungen bewährt. Sowohl für Mischungsrezepturen, Einbautechnik als auch für Qualitätssicherung liegen ausreichende Erfahrungen vor.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> Stark abhängig von dem eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit (besser als bei Material für mineralische Dichtung) Baustelleneinrichtung 6,00 CHF/m² Material: 16,00 CHF/m² Einbau: 45,00 CHF/m² Gesamt: 67,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Aufbereitung Grundmaterial, Mischen mit Tonmehl, Einbau, Witterungsmaßnahmen, QS, Schutzgeotextil oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten 5,- CHF/m³ lose (schlechtere Qualität als bei der mineralischen Dichtung ausreichend)</p>

1.4 Leckortungssysteme

Aufgaben	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leckortungssysteme werden als Dichtungskontrollsystemen zur Langzeitüberwachung der konvektionsdichten Oberflächenabdichtungssysteme eingesetzt; Verwendung bisher nur in Verbindung mit der Kunststoffdichtungsbahn. ▪ Zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Leckagen ▪ Zur Ermöglichung einer zielgerichteten Reparatur 	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Funktionsprinzipien: Widerstandsmessung, Feuchte- und Temperaturmessverfahren sowie Ermittlung der Dielektrizitätszahl ▪ Erfahrungen im Deponiebau liegen vorwiegend im Einsatz sensorgestützter Dichtungskontrollsysteme mit Messung des elektrischen Widerstands bzw. elektrischen Potentials vor. ▪ Messprinzip: Schichten mit Elektroden/Sensoren oberhalb und unterhalb der KDB besitzen Eigenleitfähigkeit. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung auf der Schicht oberhalb der KDB werden elektrische Felder gemessen. Bei Leckagen geht die elektrisch isolierende Wirkung der KDB verloren, d. h. es fließt Strom zwischen diesen Schichten, so dass über die unterhalb der KDB installierten Messelektroden/Sensoren eine lokale Anomalie des elektrischen Potentials abgebildet wird. Entsprechende Auswerteeinheiten ermöglichen genaue Bestimmung der Lage der Leckage aus den unterschiedlichen Spannungsänderungen (z. B. GEOLOGGER oder SENSOR) ▪ Neue Systemvarianten erfordern lediglich einseitige Elektrodenanordnung, deshalb Verlegung des Elektrodensystems (Linearelektrode) je nach Randbedingungen oberhalb der Dichtung, unmittelbar unterhalb der Dichtung oder aber bereits auf dem Rohplanum möglich (z. B. GEOLOGGER) ▪ Es befinden sich Systeme in Entwicklung zur Überprüfung der Dichtheit mineralischer Komponenten (faseroptische Messung der Temperaturverteilung, Messung der Feuchteverteilung) 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei besonders problematischem Abfall (Sonderabfalldeponien) wird die teilweise kontrollierbare Oberflächenabdichtung gefordert. ▪ Als kontrollierbares Abdichtungssystem, d. h. KDB + Messsystem ▪ Nach Abklingen der Setzungen ist die Überführung einer temporären Abdichtung ohne weitere Baumaßnahmen in eine Endabdichtung mit Dichtungskontrollsystem möglich, sofern die Abdichtungsfunktion ohne Einschränkung gegeben ist.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Als Maßnahme der Eigenkontrolle von Deponie-Altlasten ▪ Als zusätzliches Kontroll- und Sicherungselement bei Standorten mit höheren Sicherheitsanforderungen ▪ Zur Überwachung von Kombinationsabdichtungen als Dichtungskontrolle der Konvektionssperren
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Einschränkungen
Bewertung	
<p>Die allgemein übliche Überwachung der Oberflächenabdichtungssysteme sieht die Beobachtung und Dokumentation der Sickerwassermengen sowie die Messung von Gasaustritten an der Oberfläche und die Installation von Messeinrichtungen zur Überwachung der Setzungen und Verformungen der Abdichtungssysteme vor. Nur mit elektronischen Sensoren ist eine unmittelbare und ortgenaue Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der Abdichtung möglich.</p> <p>Anstelle des Redundanzgedankens von Kombinationsabdichtungen, dass nämlich bei Ausfall einer Dichtungskomponente die zweite Komponente die Dichtheit der Oberfläche ausreichend sicherstellt, wird mit einem Dichtungskontrollsystem das Ziel einer langfristigen, über die gesamte Nachsorgephase andauernder Überprüfung der Dichtungselementes verfolgt. Schäden werden so frühzeitig erkannt und können zielgerichtet repariert werden.</p> <p>Das Konzept der kontrollierbaren Kunststoffabdichtung findet auf dem Markt positive Resonanz und zeigt eine relativ kostengünstige, richtungsweisende Lösung für zukünftige Endabdichtungssysteme bei Deponieoberflächen auf. Langfristige Erfahrungen, beispielsweise für die Dauer der Nachsorgephase, liegen aber noch nicht vor, und erst eine annähernd kontinuierliche und vollflächige sowie langfristig funktionstüchtige Kontrolle verleiht dem System eine zusätzliche Sicherheit, die es z. B. erlauben könnte, auf die mineralische Komponente der Kombinationsdichtung zu verzichten. Grundsätzlich gilt daher, dass ein Leckortungssystem bisher kein gleichwertiger Ersatz eines Abdichtungselementes ist.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ System fertig eingebaut: 15 CHF/m²

1.5 Gasdrainageschicht

Aufgaben	
<p>Die Gasdrainageschicht hat die Aufgabe</p> <ul style="list-style-type: none"> – die im Ablagerungskörper entstehenden Gase (Deponiegas, toxische Gase) in der Fläche zu fassen und – die Gase den punktiert oder linienhaft vorhandenen Gasfassungssystemen zuzuführen. 	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kornmaterial: Brechkorn, Glasbruch, Schotter oder Kiese, verdichtungsfähig, homogen ▪ Einbau einer Gasdrainageschicht (Entgasungsschicht) als Flächendrainage unterhalb der Dichtungsschicht, wenn die Fassung und Ableitung der Gase nicht in der Ausgleichsschicht möglich ist ▪ Schichtdicke $d \geq 0,3$ m ▪ Kalziumkarbonat-Gehalt von max. 10 Massen-% ▪ Bei Deponie-Altlasten ist auch die Anordnung der Kollektoren in der Gasdrainageschicht sinnvoll. ▪ Hohe Langzeitbeständigkeit da mineralisches Material 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Erfordernis zur Fassung und Ableitung auftretender Deponiegase ▪ Ggf. zur Leckageüberwachung für das Dichtungssystem
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Einschränkungen
Bewertung	
<p>Die Gasdrainageschicht dient zum einen der Fassung und Ableitung von Deponiegasen und kann zum anderen als Kontrollelement hinsichtlich der Dichtigkeit der Dichtungsschicht herangezogen werden. Für eine Lokalisierung sollte die Gasdrainage in Teilflächen unterteilt werden.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark abhängig vom eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit ▪ Baustelleneinrichtung 1,00 CHF/m² ▪ Material: 22,00 CHF/m² ▪ Einbau: 9,00 CHF/m²

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamt: 32,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Trenngeotextil unten, Planie oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten 60,-- CHF/m³ lose; kalziumkarbonatarm</p>
--	--

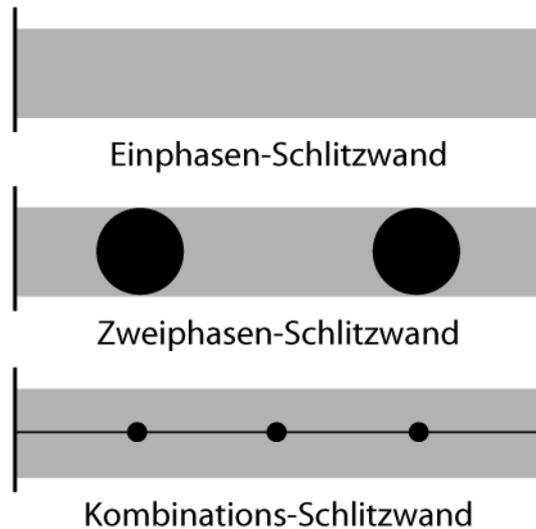
1.6 Ausgleichsschicht

Aufgaben	
Die Ausgleichsschicht dient der Profilierung einer unebenen Abfalloberfläche und der Herstellung eines tragfähigen Planums für den Einbau der technischen Dichtung	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kornmaterial: Brechkorn, Schotter oder Kiese, verdichtungsfähig, homogen ▪ Mächtigkeit d = 0,5 m ▪ In der Regel Herstellung einer gaswegsamen Ausgleichsschicht 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In jedem Fall als Bestandteil einer Oberflächensicherung ▪ Als Ausgleichsschicht gegebenenfalls gleichzeitig als Gasdrainschicht, wobei die Notwendigkeit zusätzlicher Drainageleitungen und eines aktiven Entgasungssystem zu prüfen ist.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Einschränkungen
Bewertung	
Auf eine Ausgleichsschicht kann nur dann verzichtet werden, wenn die Deponieoberfläche für das geplante Oberflächensicherungssystem aus einem ausreichend tragfähigen Material besteht. Die Beschaffenheit der Ausgleichsschicht darf die Funktionen der darüber liegenden Schichten nicht beeinträchtigen.	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stark abhängig vom eingesetzten Material und dessen Verfügbarkeit ▪ Baustelleneinrichtung 1,00 CHF/m² ▪ Material: 18,00 CHF/m² ▪ Einbau: 22,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 41,00 CHF/m² <p>Leistungen umfassen Planie oben, Arbeiten an Depot, Materialkosten 15,-- CHF/m³ lose</p>

2. Vertikale Sicherung

2.1 Dichtwände

2.1.1 Schlitzwand



Aufgaben

- Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels Beton oder Bentonit-Suspension

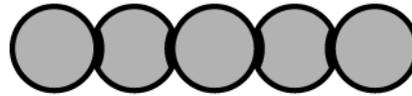
Technische Beschreibung

- Das Herstellungsverfahren beruht auf dem Prinzip des Bodenaushubs. Der Aushub kann mittels eines **Schlitzwandgreifers** (gegriffene Wand) oder einer **Schlitzwandfräse** (gefräste Wand) geschehen. Bei Tiefen bis 13 m kann auch ein Tieflöffelbagger eingesetzt werden.
- Für das Greifer- und Fräsverfahren ist es notwendig in einem vorab ausgehobenen Graben eine Leitwand als Führungselement aufzustellen.
- Für die Standsicherheit des ausgehobenen Schlitzes sorgt eine Stützflüssigkeit (Bentonit-Zement-Suspension). Beim **Einphasenverfahren** wird die Flüssigkeit als endgültiges Dichtmaterial verwendet. Es verbleibt in dem Schlitz und härtet langsam aus. Im Gegensatz dazu wird bei dem **Zweiphasenverfahren** die Stützflüssigkeit (Bentonit-Suspension) durch ein Dichtmaterial im Kontraktorverfahren ausgetauscht.
- Die Herstellung erfolgt im „Pilgerschritt-Verfahren“ (Herstellung Primärlamelle Nr. 1, 3, 5, ... anschließend Herstellung Sekundärlamelle Nr. 2, 4, ...).
- Die Lamellen müssen sich auf mindestens zwei Drittel der Schlitzwanddicke überschneiden. Das Einbindemaß in die abdichtende Schicht ist für jede Baumaßnahme aufgrund der gegebenen Untergrundverhältnisse festzulegen, eine Mindesteinbindung von 1,50 m in die abdichtende Schicht ist in jedem Falle einzuhalten.
- Die Wanddicken und -tiefen können mittels der eingesetzten Gerätetechnik variiert werden. Die üblichen Wanddicken bei allen Verfahren liegen bei 400 - 1000 mm, die erreichbaren Tiefen betragen ca. 30 m (Einphasenschlitzwand sowie Kombinationsdichtwand) respektive ca. 100 m (Zweiphasenschlitzwand).

Durch in die noch nicht abgebundene Suspension eingestellte Stahlspundwandprofile oder Kunststoffdichtungsbahnen entstehen Dichtwände, die besonders resistent, langzeitbeständig und sehr gering durchlässig sind.

Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Statische Belastungen können nur begrenzt aufgenommen werden. ▪ Eine Anwendung kann in einem weiten Bereich unterschiedlicher Baugründe erfolgen (bei gefrästen Schlitzwänden unter Umständen auch im Festgestein)
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überfahrungen müssen vermieden oder ein besonderer Schutz vorgesehen werden. ▪ Bei entsprechender bautechnischer Gestaltung kann die Schlitzwand Teil eines späteren Bauwerkes werden (z.B. Kellerwand).
Bewertung	
<p>Die Schlitzwandtechniken sind die im Altlastenbereich am häufigsten eingesetzten vertikalen Abdichtungsverfahren. Sie vereinen eine in Bezug auf die Schadstoffsituation im Baugrund variabel einsetzbare Bautechnik mit guter Kontrollierbarkeit des Herstellungsprozesses und damit mit guten Abdichtungs- und Schadstoffrückhaltungseigenschaften.</p>	
Kosten	
Kosten	<p><u>Leitwand (Beton, beidseitig):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 1,00 CHF/m² ▪ Material: 12,00 CHF/m² ▪ Einbau: 12,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 25,00 CHF/m² <p><u>Gegriffene Schlitzwand (Einphasen, 80 cm):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 10,00 CHF/m² ▪ Material: 140,00 CHF/m² ▪ Einbau: 180,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 330,00 CHF/m² <p><u>Gefräste Schlitzwand (Einphasen, 80 cm):</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 20,00 CHF/m² ▪ Material: 150,00 CHF/m² ▪ Einbau: 250,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 420,00 CHF/m² <p><u>Zuschlag Zweiphasendichtwand:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gesamt: 120,00 CHF/m²

2.1.2 Bohrpfahlwand



Aufgaben	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels Beton oder Bentonit-Suspension 	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> • Bohrpfahlwände werden aus überschneidenden Ortbetonpfählen hergestellt. Zunächst werden die Primärpfähle (1,3,5 usw.) niedergebracht, anschließend folgt die Herstellung der Sekundärpfähle (2,4,6 usw.). Durch die Aufbohrung der Primärpfähle bzw. das Ineinandergreifen der Nachbarpfähle wird die Dichtigkeit der Bohrpfahlwand gewährleistet. • Das Lösen und Fördern des Bodens geschieht abgestimmt auf den jeweiligen Baugrund im Drehbohrverfahren z.B. mit Drehbohrgreifern, Bohreimern, Bohrschnecken etc. oder mit Bohrgreifern an Seilbaggern. • Die erforderliche Stützung der Bohrlochwandung erfolgt in der Regel durch das Einbringen von Rohren (Verrohrung), alternativ kann die Stützung auch durch das Einbringen von Suspensionen erfolgen. • Durch gleichzeitiges Drücken und Drehen wird die Verrohrung so eingebracht, dass sie dem Aushub vollständig vorausseilt. • Es können Bohrtiefen bis > 40 m und Rohrdurchmesser (= Wanddurchmesser) bis zu 2,0 m erreicht werden. • Die Arbeit der Bohrwerkzeuge und der Verrohrungsanlage ist weitgehend erschütterungsfrei. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Ausführung in Ortbeton können sehr hohe statische Belastungen aufgenommen werden (sogar bewehrte Ausführung möglich). ▪ Die Anwendung kann in einem weiteren Bereich unterschiedlicher Baugründe erfolgen.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei entsprechender bautechnischer Gestaltung kann die Bohrpfahlwand Teil eines späteren Bauwerkes werden (z.B. Kellerwand)
Bewertung	
<p>Bohrpfahlwände sind ein Standard-Bauverfahren zur Herstellung von Baugruben. In der Altlastensanierung werden sie weniger verwendet, da die relativ großen Dicken der Wände in der Regel für die Altlastensicherung nicht erforderlich sind.</p>	

Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 8,00 CHF/m² ▪ Material: 120,00 CHF/m² ▪ Einbau: 152,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 280,00 CHF/m² <p>Bohrpfahlwand 80 cm; Einbau verrohrt</p>

2.1.3 Schmalwand



Aufgaben
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels mineralischer Suspension
Technische Beschreibung
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das Herstellungsverfahren beruht auf dem Prinzip der Bodenverdrängung. Es werden Bohlen (Stahl-Doppel-T-Profile) vertikal in den Boden gerammt oder eingerüttelt. ▪ Die Steghöhe beträgt dabei zwischen 500 bis 1000 mm. ▪ Am verstärkten Bohlenfuß sind Injektionsdüsen angeordnet, durch welche während des Ziehens der Bohlen die Dichtsuspension eingepresst wird. Der durch die Verdrängung entstandene Hohlraum wird somit durch die Suspension gefüllt. ▪ Die Nennweite der Schmalwand beträgt üblicherweise 80 bis 100 mm, max. 150 mm. Eine durchgehende Dichtungswand erreicht man durch eine Übergreifung der Stiche von 10 - 50% der Profilhöhe. ▪ Die maximal erreichbare Tiefe liegt bei ca. 30 m. Sie ist aber stark abhängig von der Bodenart. ▪ Wanddicken liegen etwa zwischen 8 und max. 20 cm ▪ Der Einbau einer Schmalwand ist nahezu ohne Bodenaushub möglich. ▪ Als Schmalwandmasse wird zumeist eine Bentonit-Zement-Suspension mit Zugabe von Steinmehl verwendet. Da die Schmalwand im Vergleich zu anderen Dichtwänden nur eine geringe Dicke aufweist, muss die Suspension eine hohe Dichte, ein rasches Abbindevermögen und eine geringe Durchlässigkeit besitzen. ▪ Je nach Zusammensetzung der Dichtmasse sowie der Porengeometrie und -kanalweite kann die Suspension das umgebende Erdreich penetrieren und weitgehend abdichten. ▪ Schmalwände zeichnen sich durch kurze Bauzeiten aus.

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durch die Herstellung von zwei parallelen Schmalwänden mit durch Querwände abgeteilten Kammern kann ein System mit doppelter Sicherheit erstellt werden. Mit Pumpversuchen in den Kammern lassen sich Dichtheitskontrollen durchführen. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine Anwendung nur bei geringen hydraulischen Druckdifferenzen möglich. ▪ Statische Belastungen können nicht aufgenommen werden. ▪ Grundvoraussetzung für den Einsatz von Schmalwänden ist die Ramm- bzw. Rüttelfähigkeit des Baugrundes. ▪ Aufgrund der geringen Bauzeit besonders geeignet für dringende Sicherungsmaßnahmen.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es ist keine statische Belastbarkeit vorhanden, Überfahrungen müssen vermieden oder ein besonderer Schutz vorgesehen werden.
Bewertung	
<p>Schmalwände sind ein kostengünstiges Verfahren zur Herstellung vertikaler Abdichtungen und sie werden im Altlastenbereich häufig eingesetzt. Selbst in der doppelten Ausführung können sie günstiger sein als z.B. Schlitzwände (siehe 2.1.1), bieten gegenüber diesen aber den Vorteil, dass eine direkte Kontrollierbarkeit der Dichtheit bei doppelter Bauweise gegeben ist.</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 3,00 CHF/m² ▪ Material 17,00 CHF/m² ▪ Einbau: 50,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 70,00 CHF/m² <p>Schmalwand 8 cm</p>

2.1.4 Stahlspundwand



Aufgaben	
Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels Stahlprofilen	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> • Spundwände bestehen aus aneinandergereihten Stahlspundbohlen, die mit Schlössern miteinander verbunden sind • Sie werden nach dem Prinzip der Verdrängung (Rammen, Drücken, Vibrieren) vertikal in den anstehenden Boden eingebracht. • Die erreichbaren Tiefen der Spundwand liegen bei ca. 30 m. • Der Boden muss rammbar sein, d.h. die Lagerungsdichte muss das Einbringen der Spundbohlen ermöglichen. Festgestein ist in der Regel nicht rammbar und es wird auf die Gefahr von Rammhindernissen (große Steine usw.) und auf Emissionsprobleme (Lärm, Erschütterungen) hingewiesen. • Bei schwer rammfähigen Böden kann durch den Einsatz von Spül-, Bohr- oder Sprengverfahren der Vortrieb erleichtert werden. • Durch das Anbringen von Beschichtungen und Schlossdichtungen bei der Fabrikation der Spundwände wird die Beständigkeit gegenüber Sickerwässern erhöht und die Systemdurchlässigkeit reduziert. • Ein wesentlicher Vorteil der Spundwand ist die relativ schnelle Herstellbarkeit. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausschließlich für ramm- bzw. rüttelfähige Böden ▪ Aufgrund der geringen Bauzeit besonders geeignet für dringende Sicherungsmaßnahmen ▪ Bei der Verwendung von vergüteten Stählen oder beschichteten Spundbohlen ist der Einsatz bei aggressiven Sickerwässern möglich
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durch die relativ hohe statische Belastbarkeit ist die Folgenutzung weitgehend uneingeschränkt
Bewertung	
<p>Spundwände sind ein Standard-Bauverfahren, das überwiegend eingesetzt wird, wo die statische Beanspruchung dies erfordert oder die Verwendung nur temporär ist (z.B. Verbau im Rohrleitungsbau). Bei der Sicherung von Altlasten kommen sie nur in Ausnahmefällen zur Anwendung, da sie bei auf Dauer angelegtem Einsatz ohne Rückbau der Stahlprofile relativ teuer sind. Vorteilhaft sind sie, weil kein Bodenaushub notwendig ist und daher belastete Böden nicht entsorgt werden müssen.</p>	

Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 3,00 CHF/m² ▪ Material 205,00 CHF/m² ▪ Einbau: 72,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 305,00 CHF/m² ▪ Mehrkosten Schlossdichtung: 25,00 CHF/m² <p>Spundwandprofil Larssen 22, nicht beschichtet</p>

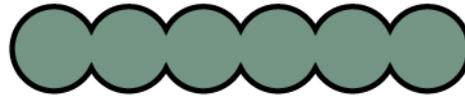
2.1.5 Injektionswand



Aufgaben
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels mineralischer Suspensionen
Technische Beschreibung
<ul style="list-style-type: none"> • Bei der Injektionswand (HDI-Wand) werden die offenen Klüfte und Porenräume des Untergrundes mit einem Dichtungsmaterial verpresst und dadurch die Durchlässigkeit des Bodens verringert. • Bei diesem Verfahren fällt kein Bodenaushub an. • Der wesentliche Vorteil dieses Verfahren besteht darin, dass mit einem relativ kleinen Bohrgestänge (Bohrdurchmesser ca. 15 cm) im Boden größere Verfestigungskörper hergestellt werden können. Am unteren Ende des Bohrgestänges ist seitlich eine Düse angebracht, durch welche die Bindemittelsuspension verpresst wird. Dabei entsteht ein sehr energiereicher „Schneidestrah“, der den Boden aus seiner natürlichen Lagerung löst und mit Bindemittel versetzt. Erreichbar sind Tiefen von 100 bis 150 m. • Die Reichweite des Strahles ist u. a. durch die Lagerungsdichte und die Bodenart begrenzt. Damit entstehen unter Umständen unregelmäßige Geometrien der Verfestigungskörper, so dass eine definierte Dicke der Dichtwand nicht garantiert werden kann. Eine nachträgliche Überprüfung der Geometrie ist ebenfalls nur begrenzt möglich. • Eine Alternative ist die Anwendung von reinen Injektionen ohne Lösung des Bodens und nur der Verpressung von Hohlräumen (z.B. Klüfte im Festgestein). Auch die Förderung des durch den Schneidstrahl suspendierten Bodens an die Oberfläche und Verbleib einer Säule aus aushärtender Suspension („Soilcrete-Verfahren“) ist möglich. • HDI- Verfahren werden zur Erstellung von Dichtsohlen verwendet (flächenhaft angeordnete kurze Säulen in definierten Tiefen). • Unter Hochdruck (400 - 600 bar) injiziert werden Zementsuspensionen, Kunstharze oder Injektionsmittel auf Wasserglasbasis, deren Grundwasserverträglichkeit nachzuweisen ist.

<ul style="list-style-type: none"> • Durch Drehen und gleichzeitiges Ziehen des HDI-Gestänges durchfährt der Schneidestrahle im Boden eine enge Spirale mit dem Ergebnis, dass ein säulenartiger Hohlraum entsteht, der mit Bindemittelsuspension und Boden gefüllt ist. Durch das Bindemittel verfestigt sich dieses Gemisch. Durch nebeneinander angeordnete, sich überschneidende Injektionssäulen entsteht die Dichtwand. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Anwendung ist in einem sehr weiten Bereich von unterschiedlichen Baugründen möglich, wie <ul style="list-style-type: none"> – in Lockergestein bis hin zum Ton – in Mischböden und Wechsellagerungen – in organische Partien – bei klüftigem Festgestein (dann durch reines Verpressen der Klüfte). ▪ Säulen können auch auf/um Hindernissen wie z. B. Steinblöcken hergestellt werden.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durch die Vermörtelung des anstehenden Bodens mit Suspension können sehr gut tragfähige Wände entstehen, die eine Überbauung ohne weiteres zulassen.
Bewertung	
<p>Injektionswände beruhen auf Standard-Verfahren des Tiefbaus. Da die Geometrie der hergestellten Wand nur sehr begrenzt steuer- und kontrollierbar ist, findet das Verfahren im Altlastenbereich nur bei besonderen Anforderungen seinen Einsatz (bei Festgestein, bei großen Tiefen, wenn die Oberkante der Dichtwand weit unterhalb der Geländeoberfläche enden soll usw.).</p>	
Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Baustelleneinrichtung: 3,00 CHF/m² ▪ Material 17,00 CHF/m² ▪ Einbau: 50,00 CHF/m² ▪ Gesamt: 70,00 CHF/m² <p>Injektionswand 80 cm</p>

2.1.6 Mixed-in-Place-Wand



Aufgaben	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seitliche Abdichtung der Deponie-Altlast mittels mineralischer Suspensionen 	
Technische Beschreibung	
<ul style="list-style-type: none"> • Eine Alternative zu den bisher ausgeführten Bohrpfahlwänden stellt das "Mixed-in-Place-Verfahren" (MIP) dar. Es kommt weitgehend ohne Bodenaushub aus. • Bei dieser Technik wird eine Dreifachschnecke bis auf die Solltiefe abgeteuft. Während des Abbohrens und Ziehens der Schnecke wird der anstehende Boden aufgemischt und durch das hohle Seelenrohr der Schnecke wird eine Bindemittelsuspension eingebaut. Die Porenräume im Bodengerüst werden dabei mit dem Bindemittel verfüllt. • Die einzeln zu variierende Drehrichtung der Schnecken garantiert eine homogene Vermischung von Bindemittelsuspension und Boden. Die Herstellung der MIP-Wand erfolgt im Pilgerschrittverfahren. • Es sind Tiefen von bis zu 25 m erreichbar. • Wanddicken können zwischen 40 und 90 cm betragen • Zur Anwendung kommt die MIP-Wand als Dichtwand mit und ohne eingestellte Spundbohlen. Das Verfahren wird, flächenhaft angewandt und auch zur in situ-Immobilisierung von kontaminierten Böden eingesetzt. 	
Anwendung	
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Das MIP- Verfahren ist in vielen Bodenarten anwendbar. Ungeeignet sind Böden mit Fels, großen Steinen und Felsblöcken • Die festigkeitsmindernde Wirkung bindiger Böden muss beachtet werden. • Das Verfahren wird derzeit nur von einem Anbieter aus Deutschland angeboten.
Folgenutzung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine Einschränkungen bei Folgenutzung.
Bewertung	
<p>Das MIP-Verfahren ist ein neuartiges Verfahren, das auf dem Markt noch nicht sehr verbreitet ist, hat sich aber bereits verschiedentlich bewährt. Es kombiniert die Vorteile der Bohrpfahlwand (definierte Geometrie der einzelnen Säule und der Dichtwand insgesamt) mit dem Injektionsverfahren (kein Bodenaushub) und eignet sich für Lockergestein oder bindigen Boden bis in begrenzte Tiefen.</p>	

Kosten	
Kosten	<ul style="list-style-type: none">▪ Baustelleneinrichtung: 7,00 CHF/m²▪ Material 35,00 CHF/m²▪ Einbau: 53,00 CHF/m²▪ Gesamt: 95,00 CHF/m² <p>Mixed-in-Place-Wand 80 cm, Bentonit-Zement-Suspension, ohne Bewehrung</p>

2.2 Hydraulische Maßnahmen

Einrichtung	Funktion
Grundwasserbrunnen/ Drainagen	<ul style="list-style-type: none"> • Brunnen im Abstrom der Deponie-Altlast • Ausbaudurchmesser ab 4" (100 mm); 2" (50 mm) nur zur Grundwasserprobenahme • Auf Filterstabilität des Ausbaus achten • Alternativ zur Grundwasserförderung über Brunnen kann das Grundwasser unter günstigen Standortbedingungen auch über Drainagegräben oder horizontierte Bohrungen gefasst werden.
Pumpen	In der Regel Unterwasser-Tauchpumpen (verfügbar ab 4"; für Probenahme auch 2").
Rohrleitungen	Rohrleitung zwischen <ul style="list-style-type: none"> • Grundwasserbrunnen und Aufbereitungsanlage: Druckleitungen • Aufbereitungsanlage und Einleitung: In der Regel Freispiegleitungen Auf Frostschutz achten (Rohrheizung)!
Wasseraufbereitung	Ziel der Wasseraufbereitung: <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung der Schadstoffe • Entfernung anderer Stoffen, welche die Aufbereitung behindern (Enthärtung, Enteisung/Entmanagnung) • Entfernung von Stoffen, welche die Einleitung behindern (z.B. pH-Wert-Regulierung) Technik der Wasseraufbereitung: <ul style="list-style-type: none"> • Oxidation: Eisen, Mangan • UV-Oxidation: organische Schadstoffe • Desorption („Strippen“): Kohlendioxid, flüchtige organische Schadstoffe • Fällern: Metalle, Schwermetalle • Biologische Behandlung: Organische Stoffe • Adsorption (z.B. Aktivkohle): Organische Stoffe • Ionentausch
Entsorgung	Entsorgung des aufbereiteten Grundwassers ist möglich über <ul style="list-style-type: none"> • Versickerung auf dem Gelände (Reinfiltration) • Einleitung in den Vorfluter • Ableitung in die Kanalisation (Regen-/Schmutzwasser) Bei der Versickerung auf dem Gelände und der Einleitung in den Vorfluter sind hohe Anforderungen an die Qualität der Reinigung erforderlich; bei der Ableitung in die Kanalisation fallen gegebenenfalls Gebühren an.
Mess- und Regeltechnik	Steuerung: <ul style="list-style-type: none"> • manuell (bei einfachen Anlagen; gegebenenfalls wartungsintensiv) • automatisch (z.B. EDV-Steuerung) • Datenfernübertragung /Externe Steuerung Kontinuierliche Messungen: <ul style="list-style-type: none"> • Wassermenge (Wasseruhr) • Durchfluss (z.B. induktive Messung) • Ggf. Vor-Ort-Parameter (pH-Wert, Leitfähigkeit usw.)

Einrichtung	Funktion
	<ul style="list-style-type: none"> Ggf. Online-Analytik (Prozess-Gaschromatograph) Sporadische Messungen: <ul style="list-style-type: none"> Chemische Schadstoff-Analytik Chemische Analytik sonstiger Wasserinhaltsstoffe

3. Deponiegasfassung und -entsorgung

3.1 Deponiegasfassung

Einrichtung	Funktion
Vertikale Gasbrunnen	<ul style="list-style-type: none"> Brunnen wird während der Verfüllung mit hochgebaut oder nachträglich gebohrt (Einsatz dann auch bei Deponie-Altlasten) Perforierte Rohre; Durchmesser 0,8 bis 1,2 m Bohrlochringraum mit gaswegsamem Material verfüllt Gasdichter Anschluss an Oberflächenabdichtung erforderlich Brunnenkopf mit Möglichkeit zur Messung (Druck, Gaskonzentration etc.)
Horizontale Gaskollektoren	<ul style="list-style-type: none"> Horizontal im Abfallkörper liegende Sammelleitungen (während der Verfüllung mit hochgezogen oder bei Deponie-Altlasten in der Gasdrainageschicht verlegt) Perforierte Drainagerohre; Durchmesser ≥ 200 mm (Kamerabefahrbarkeit zur Inspektion) Gasdichte, randliche Durchführungen durch Oberflächenabdichtung erforderlich Verlegung in Rigolen aus gaswegsamem Material mit Gefälle (Abführung von Kondensat)
Rohrleitungen	<ul style="list-style-type: none"> Kunststoffrohre; Muffen verschweißt (Gasdichtigkeit) Durchmesser ≥ 200 mm (Kamerabefahrbarkeit zur Inspektion und Reinigung) Verlegung in Kiesrigolen mit Gefälle (Abführung von Kondensat)
Schächte	<ul style="list-style-type: none"> Kunststoffbauteile; Anschlüsse verschweißt (gasdicht) Als Revisionsöffnung, bei Richtungsänderungen der Rohre und bei Zusammenfassung einzelner Gaskollektoren (Anordnung von Gassammelbalken) Ex-geschützte Ausstattung erforderlich Arbeitsschutzmaßnahmen zum Betreten der Schächte erforderlich
Abscheider	<ul style="list-style-type: none"> Fassung und Ableitung von Kondensat (Deponiegas ist warm und wassergesättigt; bei Abkühlung fallen erhebliche Mengen belasteten Kondensats an) Anordnung an Tiefpunkten des Leitungssystems Gasdichter Anschluss an Rohrleitungen oder Schächte Entsorgung des Kondensates (Schmutzwasserkanalisation oder Ähnliches)

Einrichtung	Funktion
Sammelbalken und Messstrecken	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammenführung einzelner Kollektoren • Möglichkeit zur Messung (Druck, Temperatur, Durchfluss) und Probenahme (Zusammensetzung) an den Gasleitungen • Messstrecken für Durchfluss mit Beruhigungsstrecken
Gasförderung	<ul style="list-style-type: none"> • Seitenkanalverdichter • Drehkolbenverdichter oder Kolbenkompressoren bei höheren Druckdifferenzen • Deponiegastaugliche Ausstattung erforderlich (Korrosion, Ex-Schutz, Gaswarneinrichtungen)

3.2 Deponiegasentsorgung

Einrichtung	Funktion
Fackel	<ul style="list-style-type: none"> • Hochtemperaturfackel • Hohe Temperatur zur vollständigen Zerstörung vor allem organischer Spurenstoffe notwendig (1.000 - 1.200 °C im Gasstrom mit mindestens 0,3 s Verweilzeit)
Katalytischer Verbrennung	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz von Katalysatoren zur Verbrennung der Gase • Einsatz spezieller Katalysatoren erforderlich • Temperaturniveau 300 – 400°C
Energetische Verwertung von Deponiegas	<ul style="list-style-type: none"> • Verbrennung des aktiv geförderten Deponiegases in Gasmotoren zur Gewinnung von Energie • Erfordert methanreiches Deponiegas • Richtige Auslegung der Motoren und spezielle Betriebsführung erforderlich (spezielle Materialien, Häufigkeit des Ölwechsels usw.), da Deponiegase sehr aggressiv sind