

H Asphaltabdichtungen als Oberflächenabdichtungen – eine Alternative zur Kunststoffdichtungsbahn?

Dipl.-Geol. Ulrich Hundhausen, Ditzingen

Asphaltabdichtungen als Oberflächenabdichtungen – eine Alternative zur Kunststoffdichtungsbahn?

1 Allgemeines

Die Frage nach der Wirtschaftlichkeit für die Herstellung von Oberflächenabdichtungen hat eine dominierende Bedeutung. In diesem Zusammenhang wurde durch die Genehmigung alternativer Oberflächenabdichtungssysteme ein wesentlicher Schritt zur Kostenreduktion beschritten. Mithilfe der Gleichwertigkeitsklausel konnten zahlreiche weitere Abdichtungssysteme auf dem Markt konkurrieren. Aus der Übertragung von Systemskizzen aus den Verwaltungsvorschriften erfolgt mittlerweile eine Entwicklung hin zur Bemessung der Abdichtungssysteme. Die LAGA-Arbeitsgruppe „Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen“ /1/ hat bereits 1999 ein Arbeitspapier verabschiedet nach dem Asphaltabdichtungen als Ersatz der Kunststoffdichtungsbahn im System der Kombinationsabdichtung eingesetzt werden können. Danach kann bei Einsatz einer Asphaltabdichtung als Konvektionssperre das mineralische Dichtungselement stark reduziert werden.

Dichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen und Geokunststoffen erfüllen die maßgebenden Leistungen die Oberflächenabdichtungen von Deponien zu erbringen haben und sind Teil der Regelabdichtungen nach Deponieverordnung für Deponien der Klassen I –III. Hier soll eine vergleichende Betrachtung vorgestellt werden, die sich nach den GDA-Empfehlungen bzw. den „Allgemeinen Grundsätzen für die Eignungsbeurteilung von Abdichtungskomponenten der Deponieoberflächenabdichtungssysteme“ /2/ aus den Anforderungen an ein Oberflächenabdichtungssystem ermitteln lassen. Die Vergleichsmerkmale werden anhand vorliegender Projekte erläutert.

2 Vergleichskriterien

Im Anhang 1 der Deponie Verordnung (DepV) wird die Möglichkeit des Einsatzes alternativer Abdichtungselemente bei Wahrung der Gleichwertigkeit der Einzelelemente bzw. der Gleichwertigkeit der Kombination der Abdichtungselemente eingeräumt. Eine Beurteilung muss sich an Maßstäben orientieren. Nachfolgend werden diese Maßstäbe zur Orientierung des Vergleiches zwischen KDB und Asphaltabdichtung in Analogie herangezogen. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Kriterien und ist dem LAGA Ad-hoc-AG Arbeitspapier /2/ entnommen.

Tabelle 1:

Kriterien/Einwirkungen	Leistungsfähigkeit	Nachweise
Dichtigkeit	Permeationsraten DK I / II $q \leq 8 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{s})$ DK III $q \leq 8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{s})$	k-Wert – Bestimmung nach DIN 18130 Berechnung bei 30 cm Aufstau
Mechanische Widerstandsfähigkeit	dauerhaft standsicher bei Böschungsneigung 1 : 3	Scherversuch DIN 18137
	verformbar bis Krümmungsradius 200 m ohne Erhöhung der Durchlässigkeit	Biegezugversuch
	hydraulisch widerstandsfähig (erosions- und suffusionsbeständig)	Körnungslinien
Beständigkeit	Langzeitbeständigkeit (>> 100 Jahre) der die Dichtung maßgeblich beeinflussenden Komponenten	zeitraffende Reaktorsimulation mineralogische Analogien
	Dauerbeständigkeit der die Standsicherheit beeinflussenden Komponenten (> 1000 Jahre)	zeitraffende Reaktorsimulation mineralogische Analogien
	beständig gegen aggress. Niederschlagswasser (pH 4 – pH 11)	pH-stat-Verfahren
	beständig gegen Mikroorganismen, Pilze (Erhöhung $c_{\text{org}} < 1\%$)	Eingrabversuch
	beständig gegen Pflanzenwurzeln (Wurzelanteil < 1 Gew.-%)	Wurzeltest
	schrumpfrissunempfindlich bei relativer Wassergehaltsänderung von bis zu 10 Gew.-%	Trocknen
	deponiegasbeständig	Durchströmungsversuch
Herstellbarkeit	Die Errichtung muss unter Baustellenbedingungen mit Sicherheit erbringbar und reproduzierbar sein.	Probebau/Versuchsfeld
Sonstige Kriterien (Hinweis: Erfüllung ist nicht in jedem Fall möglich und erforderlich, ggfs. Ergänzende Maßnahmen und Elemente notwendig z.B. temporärer Frostschutz oder Kontrollelemente)	Systemverträglich	Probebau/Versuchsfeld Scherversuche
	kontrollierbar (DK III)	z.B. Stellungnahme der BAM
	frostsicher in der Bauphase	Frost-/Tauwechsel
	Robust	Probebau/Versuchsfeld
	Umweltverträglich	Einhaltung der Zuordnungswerte abfallrechtliche Vorschriften

2.1 Dichtigkeit

Kunststoffdichtungsbahnen mit BAM-Zulassung sind im technischen Sinne konvektionsdicht. Diese Dichtigkeit bezieht sich sowohl auf Flüssigkeiten als auch auf Gase. Die Angabe eines Durchlässigkeitsbeiwertes ist in diesem Zusammenhang schwierig. In der Literatur werden Werte zwischen 10^{-14} m/s (französische Angaben) und 10^{-17} m/s (deutsche Angaben) mitgeteilt. Zutretende Wässer sind unterschiedlich mineralisiert und können dadurch aggressiv wirken. Es ist von Kunststoffdichtungsbahnen bekannt, dass chemische Einwirkungen erst nach sehr langer Einwirkungsdauer maßgebend für Veränderungen werden.

Bezüglich der Durchlässigkeit von Asphaltdeckungen verweist die Literatur im Zusammenhang mit Speicherbecken und Staudämmen auch auf höhere Durchlässigkeiten. Die im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben BayFORREST /5/ mitgeteilten Durchlässigkeiten für Deponieasphalt werden mit 10^{-13} m/s angegeben. Unter Berücksichtigung dass der Deponieasphalt mit einem Hohlraumanteil von $< 5\%$ eingebaut werden kann und unter Verwendung von Bitumen mit niedrigerem Erweichungspunkt „Ring-und-Kugel (RuK)“, scheint die mitgeteilte Durchlässigkeit auf der sicheren Seite zu liegen. Asphaltdeckungen sind ebenfalls dampf- und konvektionsdicht.

2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit

Die KDB stellt sich als ein sehr dünnes Dichtungselement, das industriell vorgefertigt wird dar. Damit wird bereits werkseitig eine hohe Qualität des Produktes sichergestellt. Durch die geringe Dicke erweist sich die KDB als sehr verformungsunempfindlich. Die Vorgabe des LAGA Arbeitspapierses Verformungen (Krümmungsradius 200 m) ohne Beeinträchtigung der Durchlässigkeit hinzunehmen, wird problemlos erfüllt. Flächendehnungen bis zu 6%, verbunden mit Spannungsrelaxation, sind Merkmale der KDB. Die Vorgabe der dauerhaft standsicheren Abdichtung bei Neigungen bis 1 : 3 wird erfüllt. Steilere Böschungen können bei entsprechender Bemessung und Abstimmung der Komponenten und bis zu Neigungen von 1 : 2,5 ausgeführt werden. Gleichzeitig ist darauf hinzuweisen, dass die Scherfestigkeit zwischen Kunststoffdichtungsbahn und unterlagernder mineralischer Dichtung in der Kontaktfläche relativ gering ist. Ebenso ist das Kontaktverhalten zwischen KDB und Drainageschicht durch relativ geringe Verbundfestigkeit charakterisiert. Das temperaturabhängige Dehnungsverhalten von KDB und mineralischem Material ist unterschiedlich, dadurch können sich Verrückungen im Verbund ergeben. Die hydraulische Widerstandsfähigkeit der KDB stellt sich aus praktischer Sicht als unproblematisch dar.

Tabelle 2 zeigt zulässige Verformungen bei Abdichtungsmaterialien (aus /4/).

Dichtungselement	Grenzwert ϵ_{\max} [%]	Anmerkung
Mineralische Dichtung	0,1 – 3	stark abhängig vom verwendeten Material
Asphalttragschicht	1,75	ohne Berücksichtigung von Alterung
Asphaltdichtungsschicht	0,85	ohne Berücksichtigung von Alterung
PEHD-Dichtungsbahn	6	Langzeitig zulässige Verformung bei 25°C

Untersuchungen unseres Hauses in Zusammenarbeit mit der FH Jena können die angegebenen Grenzwerte der zulässigen Verformung von Asphalt mit 0,85% nicht bestätigen. Probekörper aus Mischgut 0/11 gem. ZTV Asphalt erbrachten rissfreie Verformungen bei Umgebungstemperatur von ca. 18°C von Probekörpern im Laborversuch (3 Punktbiegeversuch, Abb.1), Balkenlänge 550 mm, Breite 95 mm und Höhe 85 mm) bis 2,5%. Ähnliche Größenordnungen wurden gemessen bei Asphaltbalken bis 3,75 m Länge im Großbiegeversuch (Abb. 2). Verformungen über 2,5 bzw. 2,6 % brachten erste randliche Risse in den Prüfkörpern.



2.3 Beständigkeit

Im Vergleich KDB mit der Asphaltabdichtung ist die Beständigkeit gegen biologische Einwirkungen Nagetiere, Pflanzenwurzeln, Mikroorganismen und Pilze darzustellen. Kunststoffdichtungsbahnen gelten als wurzelfest. In Einzelfällen sollen selbst Asphaltdichtungen durchwurzelt worden sein. Bezüglich der Nagetierbeständigkeit ist bekannt dass Kunststoff-

dichtungsbahnen von 2,5 mm Stärke zwar randlich angenagt wurden jedoch sonst ein sehr wirksames Hindernis für Nagetiere bilden.

Grundsätzlich unterliegt Asphalt im Gegensatz zum Einsatz an der Deponiebasis einem Alterungsprozess durch Oxidation in dessen Folge eine Versprödung des Materials eintritt.

Bei hohen Temperaturen kann sowohl die Standfestigkeit als auch die Resistenz der Asphaltsschicht gegenüber chemischen Angriffen und somit die Langzeitbeständigkeit verringert werden. Durch hohe Temperaturen wird die Asphaltsschicht andererseits begünstigt hinsichtlich ihrer thermoplastischen Eigenschaften. Die funktionale Dichtigkeit gegenüber Setzungen wird erhalten. SCHELLENBERG /10/ gibt folgende Temperaturbereiche für die Oberflächenabdichtung mit einer 1 m mächtigen Rekultivierungsschicht an (Tabelle 3):

Tabelle 3: Temperaturbelastungen einer OAD-Asphaltsschicht

Asphaltsschicht	Temperaturbereich
Bauphase (temporär) und mögliche Deponiestraße (dauerhaft)	-20 bis +60° C
Dauerhaft von oben	0 bis +30° C
Dauerhaft von unten	+10 bis +30° C

Die zu erwartenden Temperaturbelastungen liegen dauerhaft unter den Grenztemperaturen von Asphalt im Straßenbau. Die Empfindlichkeit gegenüber Wärme ist im Vergleich zu Straßenasphalten auch geringer, da das thermoplastische Bindemittel, bezogen auf die Kornzusammensetzung, nur in begrenzten Mengen vorhanden ist und durch die abgestuften Mineralstoffe, insbesondere auch durch den hohen Fülleranteil, stark versteift wird. Abtauererscheinungen im Asphalt sind bis zu einer Grenz-Temperatur von +80° C nicht zu erwarten. Bezüglich der Temperatureinwirkung (Kälte und Wärme) ist die Asphaltsschicht gegenüber der Kunststoffdichtungsbahn als zumindest gleichwertig anzusprechen.

2.4 Herstellbarkeit

Die Kunststoffdichtungsbahn wird in güteüberwachten Produktionsstätten hergestellt. Für den Transport und die Lagerung auf der Baustelle gelten prüfbare Regelungen. Verlege- und Schweißarbeiten erfolgen nach Zulassungsanforderungen durch qualifizierte Verlegefachbetriebe. Diese Betriebe unterliegen ebenfalls einer Güteüberwachung.

Herstellung und Einbau der KDB werden im Rahmen von Qualitätsmanagementsystemen eigen- und fremd überwacht.

Für die Verlegung gelten jedoch Anforderungen an die Witterung. Eine Verlegung bzw. Verschweißung der Bahnen darf ebenfalls nicht bei Niederschlägen, hoher Luftfeuchtigkeit und Temperaturen unter + 5° C erfolgen. Zusätzlich ist hier darauf zu achten, dass eine weitere Überschüttung nicht bei hohen Temperaturen oder direkter Sonneneinstrahlung erfolgt, da in diesem Fall Faltenbildungen auftreten können. Eine Fragestellung die bei Asphalt keine Rolle spielt.

Asphaltabdichtungen bieten sehr gute konstruktive Möglichkeiten. Temporäre Bauzustände bieten sich an und sind wirtschaftlich. Besonders verdient die mechanische Robustheit hervorgehoben zu werden. Die Oberfläche kann ohne weitere Schutzmaßnahmen überbaut werden. Besonders der Einsatz in Böschungen verdient dabei hervorgehoben zu werden. Böschungsneigungen bis 1 : 1,5 sind bei Asphaltabdichtungen bereits ausgeführt worden und unter dem Gesichtspunkt der Standsicherheit auch möglich /8/. Baupraktisch kann nach Niederschlägen mittels Gebläse schnell eine trockene Arbeitsfläche hergestellt werden, auf die Folgeschichten aufgebracht werden können. Als problematisch muss der höhere Fertigungsaufwand bei Asphaltabdichtungen gegenüber der KDB gesehen werden. Das betrifft in besonderem Maße die Bereiche (Randgräben, Durchdringungspunkte), bei denen kleinflächig gearbeitet werden muss. Der Bauverfahrensablauf ist daher durch den Planer so zu gestalten, dass Arbeitsabschnitte möglichst großflächig gewählt werden und Abrundungen an den Böschungsflanken so dimensioniert werden, dass der manuelle Asphaltbau minimiert wird.

Zu den Herstellungsvoraussetzungen gilt als ein wesentliches Kriterium das Tragverhalten des Untergrundes und seine Verteilung.

Bei Asphaltbauweisen werden Erfahrungen von möglichen und ausreichenden Tragwerten unseres Hauses genannt, die für die Herstellung einer Asphaltabdichtung mit den entsprechenden Hohlraumgehalten als ausreichend erachtet werden.

- $E_{V2} \geq 10 \text{ MN/m}^2$ auf OK Planum
- $E_{V2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ auf OK Ausgleichs- und Entwässerungsschicht
- $E_{V2} \geq 17 \text{ MN/m}^2$ auf OK mineralische Dichtung

Der in der DIBT-Zulassung geforderte Wert von $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ lässt sich praktisch nicht realisieren, wie Erfahrungen aus zahlreichen Testfeldern zwischenzeitlich belegen.

Die Herstellung einer Asphaltabdichtung erfolgt in Bahnen mit einem Fertiger (Abb. 3).



Abb. 3: Fertiger bei der Herstellung einer Bahn der Asphaltabdichtung.

Dadurch entstehen zwischen den Bahnen Nähte, die eine Schwachstelle des Dichtungselementes darstellen können, wenn sich keine vollständige Verbindung benachbarter Asphaltbahnen einstellt. Aus diesem Grund wird in der Regel der Einbau „heiß an heiß“ durchgeführt. Im Zuge des Bauablaufes ist der Einbau „heiß an heiß“ nicht immer zu bewerkstelligen, Zwangsweise entstehen auch Nähte „heiß an kalt“. Für diesen Fall sind gemäß DVWK-Merkblatt 237 (1997) verschiedene Vorgehensweisen möglich:

- Vorwärmen des Nahtbereiches beim Einbau der nachfolgenden Bahn
- Schräges Abwalzen der vorhergehenden Bahn und Einsatz einer Heizleiste. Dadurch entsteht eine keilförmige Überlappung, die eine dichte Ausbildung der Naht gewährleistet
- Versetztes Anordnen der Nähte von ca. 30 cm oder mehr beim mehrlagigen Einbau.
- Aufbringen einer Bitumenmembran im unmittelbaren Nahtbereich.

In den Nahtbereichen ist dazu eine systematische Überprüfung der Dichtigkeit mittels Vaku-umglocke durchzuführen.

Ein Maß der Herstellbarkeit ist die Fehlerempfindlichkeit beim Einbau der einzelnen Abdichtungselemente. Die Herstellbarkeit ist im Rahmen der Eignungsprüfungen grundsätzlich

nachzuweisen. Tabelle 4 gibt eine Zusammenstellung wesentlicher Festlegungen im Zusammenhang mit der Herstellbarkeit der Oberflächenabdichtung.

Tabelle 4

Lfd. Nr.	Festlegung
1	Verpackung, Transport und Lagerung von Baustoffen und Produkten
2	Einbauverfahren in der Böschung und in der Ebene
3	Einbaudicke, Lagenzahl
4	Verdichtung
5	Geräteeinsatz
6	Stoß- und Nahtausführung
7	Verbundherstellung zwischen Lagen und Schichten
8	Herstellung von Anschlüssen und Durchdringungen
9	Einbautoleranzen
10	Anschlüsse nach Arbeitsunterbrechungen
11	Schutzmaßnahmen
12	Maßnahmen bei ungünstigen Abweichungen von den Witterungsvoraussetzungen während des Einbaus
13	Nachbesserungsverfahren, Reparaturverfahren

2.5 Sonstige Anforderungen

Bei den sonstigen Anforderungen sind Kriterien zu nennen wie die Empfindlichkeit einzelner Abdichtungselemente. Dadurch ist häufig ein Qualitätsverlust im eingebauten Zustand gegenüber den Laboreigenschaften festzustellen. Aber auch Kriterien, wie das Verbundverhalten der einzelnen Abdichtungselemente spielen eine Rolle. Beim Einbau des Asphaltmischgutes war beispielsweise zu berücksichtigen, dass das Mischgut mit Temperaturen von ca. 160°C auf das mineralische Dichtungselement aufgebracht wird. Die in diesem Zusammenhang auftretende Temperaturverteilung wurde im Rahmen einer Dissertation an der ETH Zürich simuliert /9/. Mit dieser Arbeit wurde nachgewiesen, dass die Temperatureinwirkung auf die mineralische Abdichtung vor allem von der Einwirkzeit und nicht so sehr von der Temperatur abhängt. Direkt an der Oberfläche findet dabei eine geringfügige Austrocknung statt, wobei sich nach der Abkühlung der Asphalttschicht der Ausgangswassergehalt wieder einstellte.

3 Beispiel einer alternativen Oberflächenabdichtung mit Asphaltabdichtung

Der Landkreis Freudenstadt betreibt die an der Verbindungsstraße Horb (Neckar) nach Freudenstadt liegende Deponie Horb-Rexingen (Abb. 4). Die Deponie untergliedert sich in 4 Abschnitte die mittlerweile verfüllt sind. Im Eingangsbereich wird ein Recycling-



Abb.: 4 Luftbild der Deponie vor Beginn der Arbeiten

hof und eine Umladestation betrieben. Vor Aufbringung der ca. 60.000 m² großen Abdichtung wurde die Deponie zur Herstellung des notwendigen Gefälles (> 5 % TASI) profiliert. Dazu wurden belastete Erdstoffe im Umfang von ca. 29.000 m³ bisher angenommen. Die Akquisition erfolgte durch den AG.

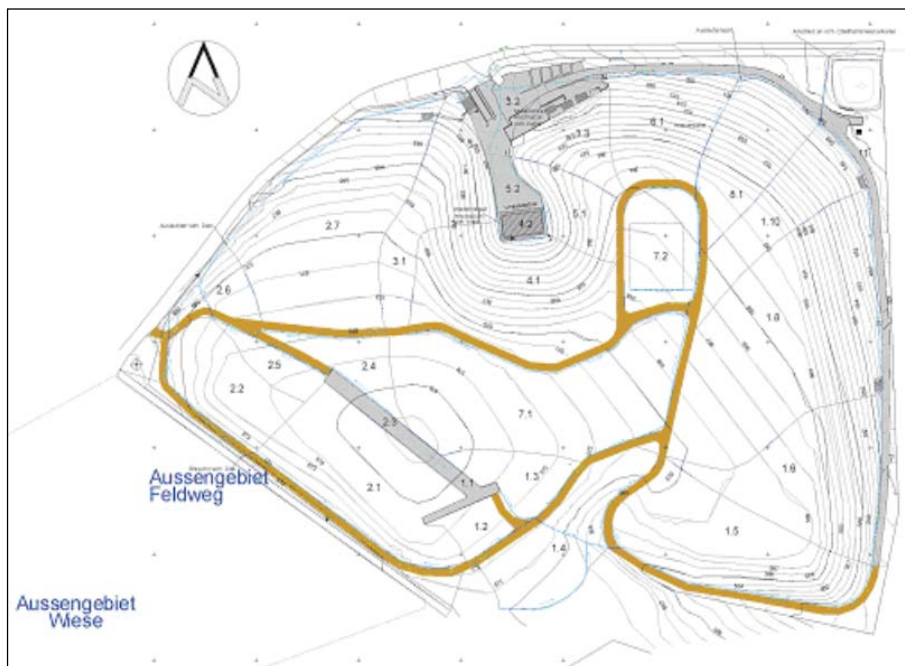


Abb. 5: Lageplan der Deponie Horb-Rexingen (Endzustadt).

3.1 Aufbau der Oberflächenabdichtung

Anfang 2003 erteilte das Regierungspräsidium Karlsruhe die abfallrechtliche Genehmigung für die Oberflächenabdichtung der Deponie.

Genehmigt wurde ein Oberflächenabdichtungssystem mit folgendem Aufbau. (Abb.: 5)

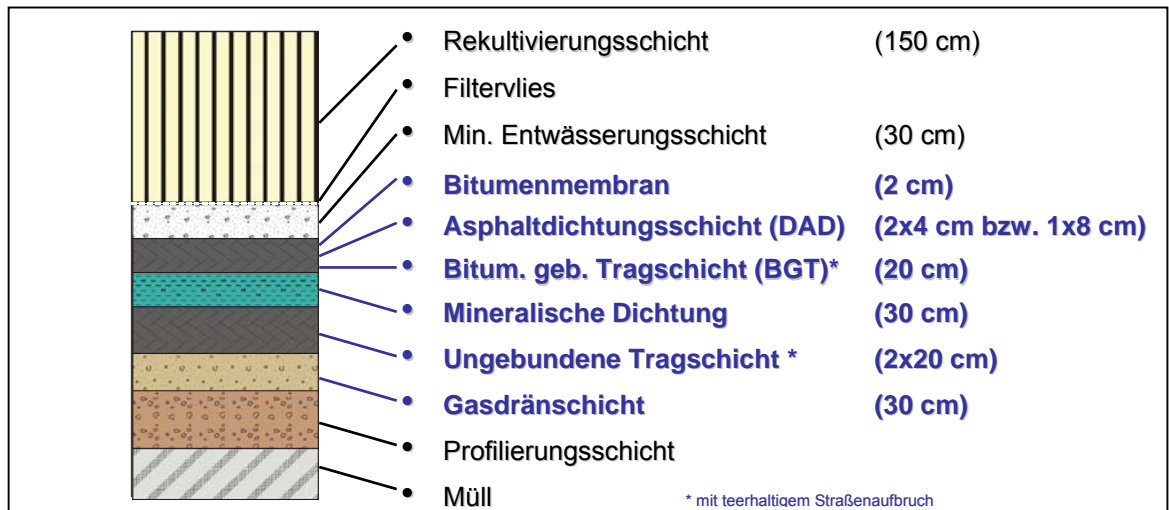


Abb. 6: Profil der kombinierten Asphaltflächenabdichtung der Deponie Horb-Rexingen.

Die bituminös gebundene Tragschicht (BGT) wurde in einer Stärke von $d = 20$ cm aus pechhaltigem Strassenaufbruch 0/32 mm, der zuvor gebrochen und gesiebt wurde, hergestellt. Vom Auftraggeber wurden bisher ca. 36.000 m³ pechhaltiger Strassenaufbruch angenommen. Durch Zugabe von Bitumenemulsion von 3,5 - 5,5 % wurde ein Hohlraumgehalt < 10 % in der Eignungsprüfung und im Testfeld belegt. Der Einbau erfolgt dabei erst mit Raupe und Walze und später mit Fertiger und Walze.

Die Asphaltflächenabdichtung (DAD) wurde mit den Materialanforderungen gemäß DIBt hergestellt. Zu unterscheiden waren die Ausführung im Flachbereich mit 2 x 4 cm Stärke und in den bis 1 : 3 geneigten Böschungsbereichen mit einer Stärke von 1 x 8 cm und einer zusätzlichen Versiegelung mit einer Bitumenmembran (statt nach DIBt 1 x 8 cm und 2 x 6 cm).

Die darüber liegende Entwässerungsschicht wird mit einer Stärke von $d = 30$ cm aus Schotter 0/32 mm vor Kopf eingebaut (Abb. 7).



Abb. 7:: Aufgrabung im Bereich des Testfeldes

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Asphaltabdichtung entspricht als Ersatz der KDB im System der Kombinationsabdichtung den Vorgaben der TASI als auch der Deponieverordnung. Sie ist mechanisch widerstandsfähiger als die KDB und ist bezüglich den Anforderungen: Verformbarkeit, Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit mit den Eigenschaften der KDB vergleichbar.

Durch die Möglichkeit alternative Abdichtungssysteme auszuführen, können durchaus wirtschaftliche Lösungen auch für kostenintensive Systeme gefunden werden, wie am vorgestellten Projekt der Deponie Horb-Rexingen gezeigt wurde.

5 Projektbeteiligte

Bauherr der Deponie Horb-Rexingen ist der Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreis Freudenstadt. Die Planung der Oberflächenabdichtung sowie die Erarbeitung des alternativen Abdichtungskonzeptes erfolgte durch die Umweltwirtschaft GmbH Stuttgart. Die Bauausführung dauert von Anfang 2004 bis voraussichtlich Oktober 2005. Mit der Ausführung der Arbeiten

wurde die ARGE Rexingen, bestehend aus den Firmen Richard Meyer Umweltschutzbau GmbH & Co. KG, Sindelfingen sowie die F. Kirchhoff Straßenbau GmbH & Co. KG, Niederlassung Freudenstadt, betraut. Die Fremdüberwachung wurde durch unser Haus in Zusammenarbeit mit dem Fachingenieur für Asphaltprüfungen Dipl.-Ing. Maurer Tuttlingen ausgeführt.

Literatur

- /1/ LAGA-Arbeitsgruppe: Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und –abdeckungen. 1999
- /2/ LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“: Allgemeine Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von Abdichtungskomponenten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen. 10.09.2004.
- /3/ GDA-Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten, 3. Auflage 1997.
- /4/ MÜLLER, W.W.: Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik (Handbook of HDPE geomembranes for geotechnical applications). Basel: Birkhäuser Verlag 2001.
- /5/ BayFORREST-Forschungsvorhaben F 166: Wirtschaftlichkeitsvergleich von Oberflächenabdichtungen. J. Schmidt, H. Schulz, Universität der Bundeswehr München.
- /6/ DIBT: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-67.11-1 (Deponieasphalt für Deponieabdichtungen der Deponieklasse II) vom 14.08.1996
- /7/ Deponieverordnung (DepV) vom 01.08.2002.
- /8/ STEFFEN, HEINZ, SCHIFFER, Josef (1997): Asphaltabdichtungen im Deponiebau. 1997
- /9/ SCAPOZZA, I.: Untersuchungen zum Verhalten einer Kombinationsbarriere aus Asphalt auf mineralischer Trag- und Dichtungsschicht. Diss. Technische Wissenschaften ETH Zürich Nr. 13827. 2000.
- /10/ SCHELLENBERG, K. (1998): Oberflächenabdichtungen aus Asphalt; Zeitgemäße Deponietechnik 1998, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 69; Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1998.