



Zum Stand von Asphaltabdichtungen im Deponiebau und Ausführungserfahrungen

Hans-Georg Kempfert, Ulrich Berner und Mechtild Röttcher

1 Einleitung

Asphaltabdichtungen finden seit Jahrzehnten im Wasserbau Anwendung und wurden innerhalb der letzten 20 Jahre vereinzelt auch im Deponiebau verwendet. Die geringe Anzahl ausgeführter Asphaltabdichtungen in Deutschland von etwa 9 Deponien bis 1991, im Vergleich z.B. zur Schweiz mit ca. 27 Deponien im vergleichbaren Zeitraum, ist u.a. auch auf Genehmigungsfragen zurückzuführen, die erst ab 1996 mit der allgemeinen baurechtlichen Zulassungsmöglichkeit durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) abgebaut sind. In einer Zulassungsprüfung muß die Gleichwertigkeit einer Dichtung aus Asphaltbeton mit der Regeldichtung nachgewiesen werden.

Der vorliegende Beitrag beschreibt den derzeitigen Kenntnisstand und die Regeldichtungen beim Bau von Deponieabdichtungen mit Asphalt. Des Weiteren wird neben der Darstellung des Kenntnisstandes aus der Literatur über Erfahrungen bei der Ausführung einer Asphaltzwischenabdichtung an einer Deponie der Deponiekategorie II in Süddeutschland berichtet.

2 Kenntnisstand und Regeldichtungen

2.1 Anforderungen an Asphaltabdichtungssysteme

2.1.1 Allgemeines

Die Anforderungen an die Regeldichtungen im Deponiebau nach *TA Siedlungsabfall (1993)* und *TA Abfall (1993)* können als bekannt vorausgesetzt werden. Abweichungen davon sind

zulässig, wenn die Gleichwertigkeit nachgewiesen werden kann. Für den Nachweis der Gleichwertigkeit fehlen in den technischen Anleitungen konkrete Anforderungen, so dass in *DIBt (1995)* unter fachlicher und rechtlicher Beteiligung ein Grundsatzpapier für den Eigenschaftsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen veröffentlicht wurde. Darin sind materialunabhängige Anforderungen an die Deponiedichtung formuliert, die die Grundlagen für die Zulassung von alternativen Dichtungselementen bilden. Die Anforderungen beziehen sich einerseits auf die von der Dichtung zu erbringenden Leistungen, z.B. Dichtigkeit, mechanische Widerstandsfähigkeit, Beständigkeit und Herstellbarkeit, andererseits auf die äußeren Einwirkungen denen die Dichtung standhalten muss, z.B. chemische, biologische und physikalische Einwirkungen. Die auf dieser Grundlage erteilten bauaufsichtlichen Zulassungen erfüllen gleichermaßen abfallrechtliche und baurechtliche Anforderungen, *Herold (1996)*.

In *DIBt (1996)* wurde vom Deutschen Institut für Bautechnik eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Deponieasphalt zur Verwendung in Deponieabdichtungen der Deponieklasse II erteilt. Darin werden die Anforderungen an einen Deponieasphalt für Deponiebasisabdichtungssysteme der Deponieklasse II festgelegt. Die Abdichtung besteht aus einer Asphalttragschicht und einer Asphaltabdichtungsschicht und darf unter den Bedingungen der Zulassung im Bereich von Sohle und Böschung der Deponiebasis bis zu einer Neigung von 1 : 2,5 angewendet werden.

In den nachfolgenden Abschnitten sind die wesentlichen Anforderungen für den Deponieasphalt zusammengestellt. Da der Deponieasphalt aus Asphalt für Straßen- und Wasserbau entwickelt wurde, bezieht sich ein großer Teil der Anforderungen auf Vorschriften und Richtlinien aus diesen Bereichen.

2.1.2 Anforderungen an das Mischgut

Im Deponieasphalt können nach *DIBt (1996)* und *TL Min-StB* die Mineralstoffarten Edelsplitt, fullerkonstante Edelbrechsande, gewaschene Natursande und Füller (Gesteinsmehle) verwendet werden. Dabei dürfen nur gebrochene und ungebrochene natürliche Mineralstoffe und keine Recycling-Baustoffe (einschließlich Ausbauphosphat) genutzt werden. In den Mineralstoffen für Sand und Splitt muss der Kalziumkarbonatgehalt < 50 Masse-% betragen und ihr Schlagzertrümmerungswert SZ 8/12 nach *DIN 52115* muss ≤ 22 sein. Reines Kalkgestein ist als Sand und Splitt nicht zugelassen. Für Füller gibt es keine Begrenzung des Kalziumkarbonatgehaltes. Es sind fullerkonstante Edelbrechsande zu verwenden. Bei den weiteren Anfor-

derungen an Splitt, Sande und Füller sind die *TL Min-StB* und die *TP Min-StB* zu berücksichtigen. Alle Mineralstoffe müssen aus Mineralstoffwerken bezogen werden, die nach *RG Min-StB* überwacht werden.

Als Bindemittel sind B 65 oder B 80, Straßenbaubitumen nach *DIN 1995-1* zugelassen, wobei polymermodifizierte Bitumen oder Zusätze zum Bitumen nicht verwendet werden dürfen. Auch die Bitumen dürfen nur von Herstellern bezogen werden, die die Anforderungen der *DIN 1995-1* erfüllen.

Tabelle 2.1: Anforderungen an die Mischgutzusammensetzung und an die Mischguteigenschaften nach *DIBt (1996)*

Anforderungen	Deponieasphalt-Tragschicht (DAT)	Deponieasphalt-Dichtungsschicht (DAD)
Körnungsbereich [mm]	0 bis 16 (0/16)	0 bis 11 (0/11)
Fiktiver Hohlraumgehalt [Vol.-%]	16 bis 20	
Korngröße nach <i>DIN 52098</i> [Masse-%] < 0,09 mm Füller > 2,0 mm Splitt Überkorn	9,0 bis 14,0 50,0 bis 65,0 ≤ 8,0 (> 16 mm)	12,0 bis 16,0 40,0 bis 55,0 < 8,0 (> 11 mm)
Verhältnis Brechsand zu Natursand [Masse-%]	≥ 1 : 1	
Bindemittelgehalt [Masse-%]	5,2 bis 6,5	6,5 bis 7,5

Projektbezogene Eignungsprüfungen sind durchzuführen und die Ausführungsrezeptur ist festzulegen. Des Weiteren muss das Mischgut die in Tabelle 2.1 aufgeführten Anforderungen erfüllen.

Bei einem Mineralstoffgemisch mit einer Rohdichte > 2,8 g/cm³ darf die untere Grenze des Bindemittelgehaltes unterschritten werden, wenn dieser für die Minimierung des Hohlraumgehaltes ausreichend ist. Der Hohlraumgehalt ist im Marshall-Probekörper nach *DIN 1996-7* bei 2 · 25 Verdichtungsschlägen zu prüfen und muss bei der Deponieasphalt-Dichtungsschicht ≤ 2,0 Vol.-% und bei der Deponieasphalt-Tragschicht ≤ 3,0 Vol.-% betragen. Der Ausfüllungsgrad ist im Rahmen der projektbezogenen Eignungsprüfung festzustellen. Das Mischgut für das jeweilige Deponiebauvorhaben sollte in einem stationären Mischwerk hergestellt und fort-



laufend eigenüberwacht werden. Die zulässigen Abweichungen der Prüfergebnisse vom Sollwert sind in Tabelle 2.2 zusammengestellt.

Tabelle 2.2: Zulässige Abweichungen vom Sollwert bei Produktionskontrollen, nach *DIBt (1996)*

Abweichung des Mittelwerts aus n Prüfungen vom Sollwert [Masse-%]	Anzahl der Prüfungen					
	n = 1	n = 2	n = 3 - 4	n = 5 - 8	n = 9 - 10	n > 20
Bindemittelgehalt						
DAT	± 0,50	± 0,45	± 0,40	± 0,35	± 0,30	± 0,25
DAD	± 0,40	± 0,30	± 0,27	± 0,23	± 0,19	± 0,17
Füllergehalt						
DAT / DAD	± 2,0	± 1,6	± 1,4	± 1,2	± 1,0	± 0,8
Sand- und Splittgehalt						
DAT / DAD	± 6,0	± 4,8	± 4,3	± 3,8	± 3,3	± 2,9
Hohraumgehalt im Marshall-Probekörper (bei 2 · 25 Schlägen) [Vol.-%]	± 1,0					

2.1.3 Aufbau von Asphaltabdichtungssystemen

Bild 2.1 zeigt die Standardbauweise einer Deponiebasisabdichtung mit Asphalt-systemelementen. Die Anforderungen an die mineralische Trag- und Dichtungsschicht entsprechen denen der *T4 Siedlungsabfall (1993)* für die Deponieklasse II. Dabei kann die Dicke, aufgrund der Dichtungswirkung der Deponieasphalt-Dichtung auf 40 cm ($2 \cdot 20$ cm) reduziert werden. Für weitere Abweichungen von der *T4 Siedlungsabfall (1993)* müssen gesonderte baurechtliche Verwendbarkeitsnachweise bzw. im Einzelfall ein abfallrechtlicher Eignungsnachweis erbracht werden.

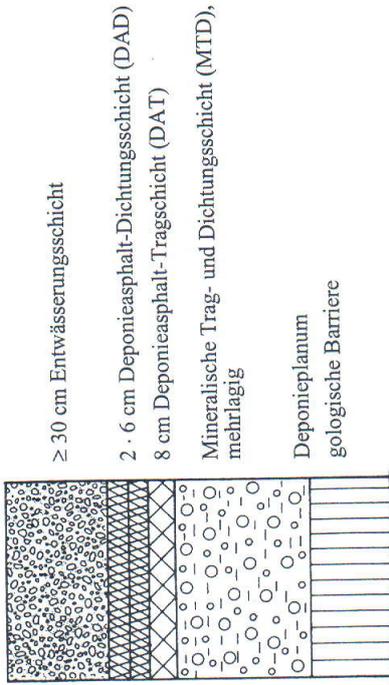


Bild 2.1: Standardbauweise einer Deponieabdichtung mit Asphalt-Systemelementen, aus *DVWK (1996)*

Es muss weiterhin nachgewiesen werden, dass die mineralische Trag- und Dichtungsschicht für den Einbau und die Verdichtung von Deponieasphalt geeignet ist. Insbesondere ist ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ zu gewährleisten sowie in Versuchsfeldern zu überprüfen, dass beim Einbau des heißen Asphalts keine Schädigung der mineralischen Trag- und Dichtungsschicht auftritt. Die Deponieasphalt-Tragschicht und die Deponieasphalt-Dichtungsschicht sind mindestens in den oben genannten Stärken einzubauen. Die Entwässerungsschicht muss den Vorgaben der *T4 Siedlungsabfall (1993)* entsprechen. Die technischen Anforderungen an ein Basisabdichtungssystem aus Deponieasphalt sind in Tabelle 2.3 zusammengestellt.

Tabelle 2.3: Technische Anforderungen an ein Deponieasphaltbasisabdichtungssysteme für die Deponieklasse II nach *DVWK / DIBt (1996)*

	Anforderungen	Deponieklasse II
Geolog. Barriere	Dicke d [m]	3,0
	Durchlässigkeitsbeiwert k [m/s]	$\leq 1 \cdot 10^{-7}$
	Verdichtungsgrad D_p [-]	n. Tab. 4 <i>ZTVE</i>
	Abstand zum Grundwasser [m]	$\geq 1,0$
Basisabdichtung	Dicke der mineralischen Abdichtung d [m]	$\geq 0,40$
	Durchlässigkeitsbeiwert der mineral. Abdichtung k [m/s]	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$
	Verdichtungsgrad d. mineral. Abdichtung je Lage D_p [-]	$\geq 0,95$
	Verformungsmodul E_{v2} [MN/m ²]	$\geq 45,0$
DAT	Dicke der Deponieasphalt-Tragschicht d [m]	$\geq 0,08$
	Hohlraumgehalt der DAT [Vol.-%]	$\leq 5,0$
	Durchlässigkeitsbeiwert der DAT k [m/s] ¹⁾	$5 \cdot 10^{-10}$
DAD	Dicke der Deponieasphalt-Dichtungsschicht d [m]	$\geq 0,12$
	Hohlraumgehalt der DAD [Vol.-%]	$\leq 3,0$
	Durchlässigkeitsbeiwert der DAD k [m/s] ²⁾	$1 \cdot 10^{-10}$
	Restquergefälle [%]	$\geq 3,0$
Entwässerungsschicht	Restlängsgefälle [%]	$\geq 1,0$
	Dicke der Entwässerungsschicht d [m]	$\geq 0,40$
	Durchlässigkeitsbeiwert d. Entwässerungsschicht k [m/s]	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$

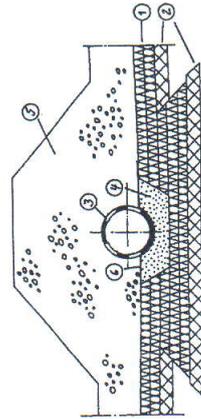
¹⁾ Der Wert wurde angegeben für einen Asphaltbeton 0/12

²⁾ Deponieasphalt mit einem Hohlraumgehalt $\leq 3,0$ Vol.-% gilt als dicht

2.1.4 Konstruktive Elemente

2.1.4.1 Rohraufleger

Im Tiefpunkt der sich zunehmenden Deponieasphalt-Dichtungsbahnen werden die Auflager für die Sickerrohre angeordnet. Gemäß *DIN 19667* werden die Sickerrohre in einem Auflagerwinkel von 120° gebettet, wobei ein Wasserstau in den Kehlen vermieden werden sollte. Bild 2.2 zeigt eine Prinzipskizze für ein Rohraufleger.



- ① Deponieasphalt-Dichtungsschichten
- ② Deponieasphalt-Tragschichten
- ③ PE-HD Sickerwasserrohr
- ④ Rohraufleger
- ⑤ Dränschicht (Kies 16/32 mm)
- ⑥ Erosionsschutz (ggf.)

Bild 2.2: Prinzipskizze für ein Rohraufleger, aus *DVWK (1996)*

Die Bettung besteht aus Sand 0/2a. Alternativ kann ein Sand-Splitt-Gemisch mit Zusätzen, z.B. Bentonit, Tonmehl oder Zement, oder ein Bitumen-Mineralgemisch verwendet werden. Für das gewählte Material ist ein Eignungsnachweis erforderlich, der bei der Berechnung der Rohrstatik berücksichtigt werden muss. Erosionsempfindliches Material muss durch eine Schutzlage vor Erosionen durch Rohrspülungen geschützt werden. Auch vorgefertigte Bettungselemente können verwendet werden. Sie werden in Dichtungsaussparungen angeordnet.

Die, infolge der Rohrbettung, unterbrochene Dichtungsschicht wird durch eine mehrschichtige abgetreppte Unterlage aus Deponieasphalt ausgeglichen. Das Material für das Bettungselement muss dicht, erosionsfest und gegen Sickerwasser resistent sein. Ein inniger Verbund zwischen Bettungselement und Deponieasphaltabdichtungsschicht (DAD) sollte sichergestellt werden. Da die Funktion der Sickerwasserrohre auch langfristig gewährleistet werden muss, sollte sich das Bettungselement den Rohrverformungen anpassen können *DVWK (1996)*. Zur Problematik im Rohraufleger siehe auch *Kempfert et al. (2000)*.

2.1.4.3 Abdichtungsübergänge

Das Dichtungssystem der Böschung kann nach *DVWK (1996)* von dem der Sohle abweichen, wenn ein konstruktiver Übergang vorgesehen wird. Dies kann z. B. eine Abrundung mit einem Radius $\geq 20,0$ m sein. Auch andere Lösungen sind möglich, wenn der Hohlraumgehalt der Deponieasphalt-Dichtung von $\leq 3,0$ Vol.% nicht überschritten wird.

Der obere Abschluss der Böschungsabdichtung ist abhängig von der Standsicherheit und von der Einbaumethode. Eine für die Bauausführung günstige Möglichkeit ist ein Randabschluss aus Betonsteinen, durch den ein Wasserzutritt von oben, zwischen die mineralischen und Deponieasphalt-Schichten verhindert wird. Bei einem Anschluss an ein festes Widerlager ist eine Bewegungsfuge mit Fugenvergussmasse zwischen Widerlager und Dichtung notwendig.

2.1.5 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheit der Deponie bzw. ihrer Bauwerkteile ist nach *DVWK (1996)* analog zu Regelabdichtungen bezüglich ständiger, veränderlicher und außergewöhnlicher Lasten für die Bau- und Betriebsphase sowie für den Endzustand nachzuweisen. Durchzuführen sind:

- der Nachweis der Gleitsicherheit für jedes Systemelement des Dichtungssystems sowie deren Kontakflächen unter Berücksichtigung der Strömungskräfte in der Flächendränage für freiliegende Böschungen. Die Berechnung kann mit den üblichen bodenmechanischen Ansätzen für hangparallele Gleitflächen durchgeführt werden.
- der Nachweis für Böschungs- und Grundbruchsicherheit für die ungünstigsten Geländeprofile und Lastannahmen (einschließlich Verkehrslasten).
- der Sicherheitsnachweis gegen Spreizkräfte bei Dichtungselementen im Endzustand. Er erfolgt über die Ermittlung des aktiven und passiven Erddrucks in ausgewählten Schnittten des Abfallkörpers und der daraus abzuleitenden Normal-, Spreiz-, und Schubbeanspruchungen im Übergang zum Dichtungssystem. Der Nachweis sollte nach *Engesser* durchgeführt werden, wobei die Sicherheitsbeiwerte gemäß *DIN 1054* und *DIN 4084* zu berücksichtigen sind.

Für Standsicherheitsnachweise dürfen für die Asphaltelemente die Kenngrößen nach Tabelle 2.4 verwendet werden.

2.1.4.2 Rohrdurchführungen

Rohrdurchführungen sind wie bei den Regelabdichtungen möglichst zu vermeiden. In den Bildern 2.3 und 2.4 sind beispielhaft Lösungen für eine Rohrdurchführung am Übergang der Dichtung von der Sohle zur Böschung dargestellt.

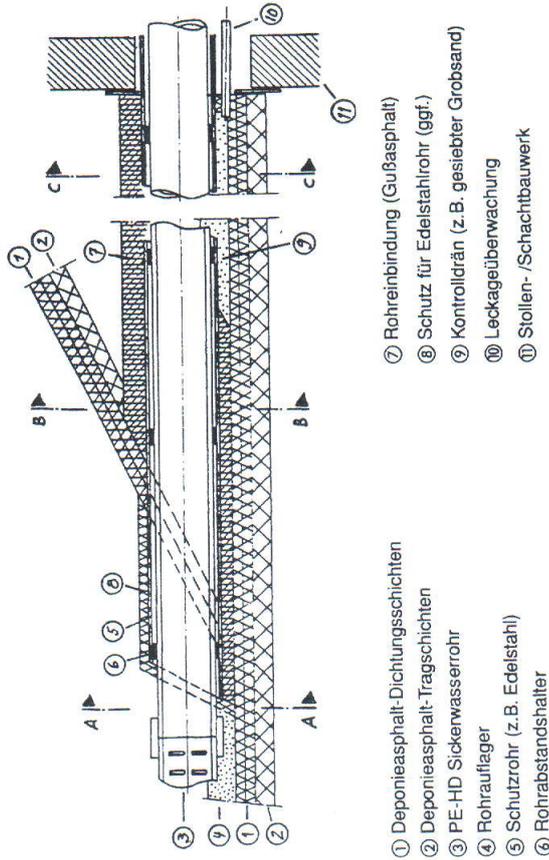


Bild 2.3: Prinzipskizze als Längsschnitt für eine Rohrdurchführung mit Übergang von der Sohle- zur Böschungsabdichtung, aus *DVWK (1996)*

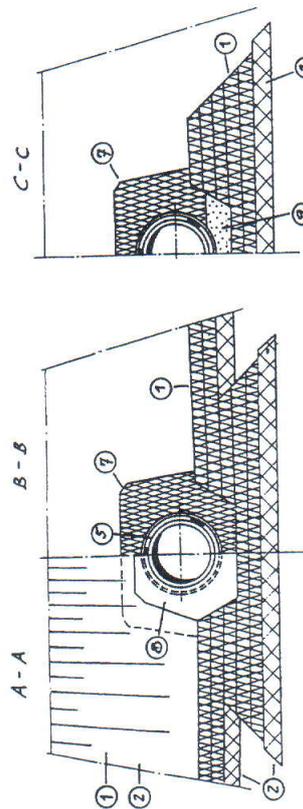


Bild 2.4: Prinzipskizze der Querschnitte für eine Rohrdurchführung nach Bild 2.3, aus *DVWK (1996)*

Tabelle 2.4: Kenngrößen für die Asphaltelemente, nach DIBt (1996)

	DAT	DAD
Winkel der inneren Reibung bei 40°C	35°	32°
Kohäsion bei 40°C	20 kN/m ²	
Dehnung bei 10°C ¹⁾	8,5 %	15,0 %

1) Als Dehnung ist die einaxiale Zugdehnung unter eine Zugdehnungsgeschwindigkeit von 0,05 % / Minute bei 10°C angegeben. Sie gilt als charakteristischer Wert der maximalen Dehnung, bis zu der Deponieasphalt seine Dichtigkeit beibehält. Er wurde an Deponieasphalten mit für diese Beanspruchung ungünstigen Mischgutzusammensetzungen bestimmt.

2.2 Anforderungen an die Qualitätssicherung

2.2.1 Allgemeines

Auch bei Asphaltabdichtungen ist im Rahmen der baurechtlichen Zulassung eine Qualitätssicherung analog zur *TA Siedlungsabfall* (1993) wie bei Regelabdichtungen gefordert. Dabei sind bei der Herstellung und beim Einbau von Deponieasphalt ebenfalls folgende Elemente der Qualitätssicherung zu unterscheiden:

- Zulassungsprüfung;
- Erstprüfung;
- projektbezogene Eignungsprüfung;
- Eigenprüfung;
- Fremdprüfung;

Die Zulassungsprüfung liegt durch DIBt (1996) vor. Damit ist die grundsätzliche Eignung von Deponieasphalt zur Herstellung einer Deponiebasisabdichtung der Deponieklasse II projektunabhängig nachgewiesen. Die weiteren projektbezogenen Prüfverfahren zeigt Bild 2.5 schematisch. Weitere Details zur Qualitätssicherung und zu den einzuhaltenden Werten siehe DIBt (1996).

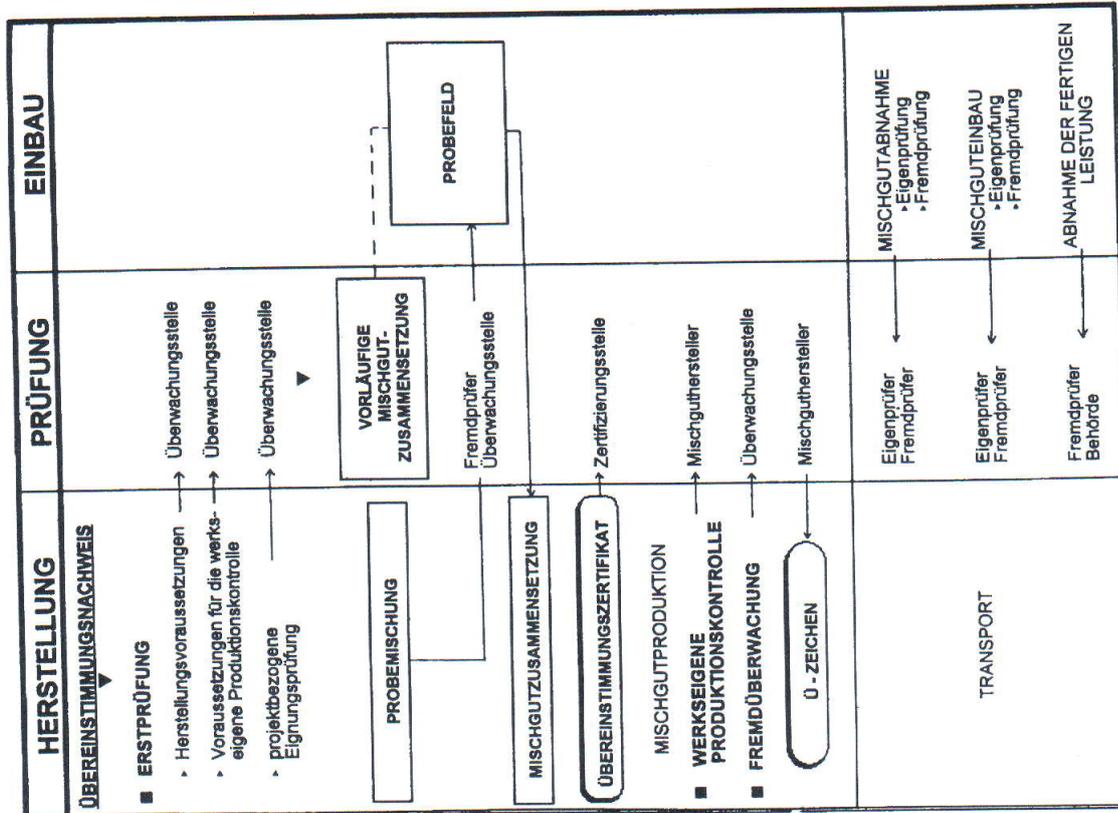


Bild 2.5: Qualitätssicherung bei projektbezogener Herstellung und Einbau von Deponieasphalt, aus DIBt (1996)

2.3 Eignung von Deponieasphalt als alternatives Abdichtungsmaterial

2.3.1 Erfahrungen mit Asphalt im Straßen- und Wasserbau

Asphalt hat sich als Abdichtungsmaterial im Wasserbau, beim Bau von Kanälen, Talsperren und Speicherbecken seit etwa 60 Jahren bestens bewährt, *Arand et al. (1992)*. Es kann also bei der Verwendung von Asphalt im Deponiebau, insbesondere bei der Beurteilung seiner Eigenschaften auf langfristige Erfahrungen zurückgegriffen werden. Allerdings gibt es bei Abdichtungssystemen zwischen Wasserbau, Straßenbau und Deponiebau grundlegende Unterschiede. Im Wasserbau muss die Asphaltabdichtung druckbeständig und dicht gegenüber in der Regel schadstoffarmem Wasser sein. Unter Umständen können bei Außendichtungen auch Witterungsbeständigkeit und Beständigkeit gegenüber mechanischen und biologischen Faktoren (Wellenschlag, Kleinlebewesen, Pflanzenwuchs usw.) von Bedeutung sein. Im Straßenbau sind wechselnde Verkehrslasten und Witterungseinflüsse (Frost-Tau-Wechsel) zu berücksichtigen. Grundsätzlich können aber in beiden Bereichen Erneuerungs- und Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden, so dass etwaige Schäden relativ leicht zu beheben sind. Dies ist im Deponiebau nicht möglich. Eine Basisabdichtung soll für einen unbegrenzten Zeitraum Dichtigkeit gegenüber Wasser und schadstoffhaltigen Sickerwässern sowie Verformungsbeständigkeit gewährleisten. Selbst bei Oberflächenabdichtungen, die trotz Setzungen gegenüber Niederschlägen dicht sein müssen, sind Instandsetzungen sehr aufwendig.

Die Fertigungsmethoden können dagegen weitestgehend aus dem Straßen- und Wasserbau übernommen werden. Asphaltabdichtungen werden bahnhweise unter Einsatz von Straßenfertigern und Verdichtungsgeräten hergestellt. Im Asphaltwasserbau wurden Böschungen bisher mit Neigungen bis zu 1 : 1,2 ausgeführt, ohne dass Probleme der Standsicherheit zu beobachten gewesen wären. Diese steileren Böschungen als bei den Regelsystemen könnten im Deponiebau bei gleicher Grundfläche zu höherem Deponievolumen und zu erheblicheren Einsparungen bei den Bauarbeiten führen.

Es liegen Erfahrungen mit Speicherbecken bei hydraulischen Gradienten von über 10^3 mit $k = 10^{-11}$ bis 10^{-12} m/s vor, wo eine praktisch vollständige Undurchlässigkeit ($k = 0$) nachgewiesen werden konnte. Dies bestätigt, dass die Herstellung einwandfreier Nähte zwischen den einzelnen Fertigerbahnen problemlos möglich ist, *FGSV (1998)*.

2.3.2 Wirksamkeit gegen Konvektion und Diffusion

2.3.2.1 Konvektiver Durchgang

Der konvektive Durchgang von (schadstoffbehafteten) Flüssigkeiten beruht auf Strömungsvorgängen durch Hohlräume des Dichtungsmediums. Ein hoher Bindemittelgehalt und eine optimale Kornabstufung der Mineralstoffe verringern den Porengehalt des Deponieasphalts, der aufgrund der Viskoelastizität des Bitumens und dessen hoher Klebkraft am Mineralstoffgerüst aus isolierten Einzelporen besteht.

Bei einem Hohlraumgehalt ≤ 3 Vol. % besitzt der Deponieasphalt keine durchflusswirksamen Porenräume mehr und gilt als konvektionsdicht, *Egloffstein/Burkhard (1995)*.

Arand et al. (1992) haben des weiteren überprüft, ob Asphaltabdichtungen auch gegenüber Flüssigkeiten, wie sie bei Hausmüll-, Industriemüll- und Sondermülldeponien anfallen, zuverlässig dicht sind. Beprobt wurden Asphaltgemische 0/8 mm und 0/16 mm mit einer Dicke von rund 4,0 cm und Asphaltgemische 0/2 mm mit einer Schichtdicke von 1,0 cm. Bei einer Temperatur von 20°C wurden Prüfdrücke von bis zu 5 bar über 24 Stunden und länger aufgebracht. Alle Asphalte waren gegenüber den Testflüssigkeiten dicht. Da diese so ausgewählt wurden, dass sie nach dem heutigen Stand der Kenntnisse für Deponieabdichtungen aus Asphalt die kritischen Fälle erfassen, darf davon ausgegangen werden, dass Asphaltabdichtungen von Deponien gegen das Durchströmen von Sickerwässern absolut dicht sind.

Weiterhin wurde aus den vorstehend genannten Versuchen deutlich, dass sich bereits eine 1,0 cm dicke Asphaltmastixschicht als absolut undurchlässig erweist, d.h. eine größere Schichtdicke verbessert die Dichtigkeit nicht, wohl aber die Sicherheit.

2.3.2.2 Diffusionsverhalten

Bei der Diffusion gelangen Teilchen durch das Abdichtungsmaterial infolge ihrer eigenen Wärmebewegung von Orten höherer Konzentration zu Orten niedrigerer Konzentration. Ein solcher Diffusionsprozess tritt grundsätzlich in allen Abdichtungssystemen aus organischen Stoffen auf; dabei ist die Diffusionsgeschwindigkeit temperaturabhängig. Während beim Deponieasphalt die Mineralstoffe diffusionsdicht sind, kann entlang der mit Bitumen ausgefüllten Poren zwischen den Mineralstoffkomponenten Diffusion auftreten. Allerdings sind die bitumengefüllten Zwischenräume sehr klein und durch die Mineralstoffe getrennt, so dass der Diffusionsprozess nur langsam fortschreitet. Bei der Diffusion von Lösemitteln muss in polare organische Substanzen, anorganische Kationen und Anionen sowie unpolare organische Substanzen wie z.B. Benzin, Toluol, Trichlorethylen unterschieden werden. Polare organische

Substanzen sind in Bitumen schlecht löslich, so dass ihre Diffusion durch den Deponieasphalt sehr gering ist. Unpolare organische Substanzen dagegen lösen sich im hochmolekularen Bitumen und können es bis zur Fließfähigkeit erweichen, so dass das Bitumen letztlich im Lösemittel gelöst wird. Das heißt, dass bei einem konzentrierten organischen Lösemittelangriff kein Diffusionskoeffizient angegeben werden kann. Bei begrenzten Lösemittelmengen stellt sich nach anfänglichem Anlösen der Kontaktflächen eine instationäre Diffusion im Bitumen ein, die solange erfolgt, bis ein Konzentrationsgleichgewicht im Bitumen erreicht wird, bzw. das Lösemittel an der schadstoffabgewandten Seite wieder desorbiert wird, *Egloffstein/Burkhard (1995)*.

Von *Arand et al. (1992 und 1997)* wurden umfangreiche Untersuchungen zum Diffusionsverhalten mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten durchgeführt. Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Induktionszeiten mit zunehmender Probekörperdicke überproportional ansteigen, die Diffusionsraten dagegen überproportional abnehmen. Des weiteren konnte unabhängig von der Art des Asphalts bei den Probekörpern mit 160 mm Dicke auch nach über 2000 Tagen kein Schadstoffdurchtritt beobachtet werden. Weiterhin wurde festgestellt, dass bei Verdoppelung der Probekörperdicke die Zeit bis zum ersten Schadstoffdurchtritt etwa um den Faktor 5 vergrößert wird, während sich gleichzeitig die Diffusionsrate durchschnittlich um den Faktor 1/5 verringert. Die Merkmalsgrößen des Diffusionsprozesses folgen demnach einem Potenzgesetz, wobei zur Berechnung der Induktionszeit in Abhängigkeit von der Dicke der Asphaltabdichtung ein Exponent von 2,332 und zur Berechnung der Diffusionsdauer in Abhängigkeit von der Dicke ein Exponent von -2,332 ermittelt wurden. Unter Zuhilfenahme dieser Regressionsexponenten wurde errechnet, wie sich die Induktionszeit und die Diffusionsrate mit der Schichtdicke ändern, siehe Tabelle 2.5.

Tabelle 2.5: Näherungswerte für die Induktionszeit und die Diffusionsraten in Abhängigkeit von der Schichtdicke D in mm, aus *Arand et al. (1992)*.

Schichtdicke D	mm	60	80	120	200
Induktionszeit t	Tage	556	1.084	2.779	9.100
	Jahre	1,5	3,0	7,5	25,0
Diffusionsrate q	g/cm ² ·d	0,585	0,300	0,117	0,036

Die ermittelten Werte konnten durch Permeationsversuche bestätigt werden. Als Ergebnis kann davon ausgegangen werden, dass bei genügend dicken Abdichtungsschichten aus Asphalt ein Austritt von Schadstoffen in den Boden bzw. in das Grundwasser verhindert wird. Insbesondere dann, wenn bei fehlendem Nachschub an Lösemitteln mit Rückdiffusion in das Deponiegut und mit einer annähernden Wiederherstellung der Festigkeit der angelösten Schicht gerechnet werden kann.

2.3.3 Beständigkeit

2.3.3.1 Mechanische Beanspruchungen

Die Festigkeit einer Asphaltabdichtung wird vom Untergrund und von der Mischungszusammensetzung beeinflusst. Bitumen allein ist relativ gut verformbar, wobei Deponieasphalt allerdings in der Regel lediglich einen Bitumenanteil von 4 bis 7 % aufweist, so dass er zwar über große Biegeradien gut verformbar ist, aber wesentlich empfindlicher auf Biegebeanspruchungen bzw. Längs-, Quer- und Flächendehnungen in Form kleiner Setzungsunterschiede reagiert, *Egloffstein/Burkhard (1995)*. In diesen Setzungsmulden überlagern sich nach *Haas (1992)* drei unterschiedliche Verformungsvorgänge. Zum einen wird die Dichtungsschicht im Bereich der Mulde zu einer Flächenvergrößerung gezwungen, so dass in allen Richtungsrichtungen Längsdehnungen entstehen. Zum anderen bewirken die vertikalen Verschiebungen innerhalb der Setzungsmulde Biegevorgänge, die – für sich betrachtet – gestauchte und gedehnte Zonen erzeugen. Weiterhin treten Stauchungen auf, die von den vertikal gerichteten Druckspannungen aus der Auflast erzeugt werden, d.h. die Schichtdicken verringern sich. Als Maß für die Verformbarkeit bei Dichtungsbelägen wird das Verhältnis Muldentiefe zu Muldenweite angegeben. Setzungen in Asphaltabdichtungen mit einem Verhältnis 1 : 10 werden vom Deponieasphalt plastisch ausgeglichen.

Ein stabiler Untergrund mit einer ausreichenden Verzahnung mit der Asphaltabdichtung schützt diese auch vor dem Abrutschen. Besonders in Böschungsbereichen können ohne Verzahnung und bei hohen Mischguttemperaturen aufgrund geringer Adhäsion Risse entstehen. Weitere Hinweise dazu siehe *Steffen et al. (1993)*. Erfahrungen aus dem Wasserbau zeigen, dass Böschungen mit Neigungen von bis zu 1 : 1,2 standsicher sind. Aus Gründen der Arbeitssicherheit und des technischen Aufwandes sollten lange Böschungen eine Neigung von 1 : 1,5 nicht überschreiten.

Infolge der inhomogen Beschaffenheit des Abfalls kann es zu ungleichmäßigen Bodenpressungen und damit zu Lastkonzentrationen kommen, wobei die Lasten ohne unzulässige Ver-

formungen der Dichtungsschicht an den Untergrund abgegeben werden müssen. Der Verformungsmodul von Asphalt hängt weitgehend von der Verformungsgeschwindigkeit und der Temperatur ab. Bei ausreichend hohem Seiten- und Vertikaldruck benötigt das Mineralstoffgerüst des Asphaltbetons zur Verformung keinen oder nur wenig zusätzlichen Raum, wobei keine Auflockerung stattfindet, wenn sein Hohlraum im geeigneten Maß mit Bitumen ausgefüllt ist. Der Asphaltbeton nimmt bei richtig bemessenem Bindemittelgehalt die Eigenschaften einer viskoplastischen und volumenkonzstanten Masse an. Bei einem Seitendruck von 750 kN/m² und einem Bindemittelgehalt von 6,5 – 8,0 Gew.-% tritt infolge der Vertikaldehnung praktisch keine Volumenänderung auf. Bei abnehmendem Bitumengehalt und abnehmendem Seitendruck verstärkt sich die Neigung zur Auflockerung. Volumendehnungen sind hinsichtlich einer größeren Durchlässigkeit bis zu einem Wert von 2 % unbedenklich, *Steffen et al. (1993)*.

Während des Betriebs der Deponie unterliegt die Basisabdichtung auch dynamischen Beanspruchungen, wie z.B. Liefer- und Transportverkehr, Raupen und Kompaktor. Bereits aus dem Wasserbau (z.B. Räumung von Speicherbecken) ist bekannt, dass Asphaltbeton gegenüber diesen Beanspruchungen beständig ist *Steffen et al. (1993)*. Deponieasphalt besitzt eine große Zähigkeit, d.h. Stöße, Schläge und mechanische Verformungen können weitgehend ohne Schäden aufgenommen werden. Mit zunehmender Dicke und zunehmendem Mineralstoffgehalt nimmt die Gefahr einer Beschädigung ab.

2.3.3.2 Chemisch-physikalische Beanspruchungen

Bitumen besitzt eine geringe chemische Reaktionsfähigkeit gegenüber Wasser, Säuren, Laugen und salzhaltigen Lösungen, während es gegen Fette, Öle, Kraftstoffe und vielen organischen Lösemitteln, deren Angriffsvermögen sich mit einer hohen Temperatur, einer langen Einwirkzeit und einer hohen Chemikalkonzentration verstärkt, nicht resistent ist. Dennoch ist der Deponieasphalt weitgehend beständig gegen chemische Angriffe, da das Bitumen nur die Porenräume zwischen dem Mineralstoffgerüst ausfüllt, das bei hochwertigen, kalkfreien Bestandteilen beständig ist. Entsprechend schreitet der Lösungs- und Erweichungsprozess des Bitumens im Deponieasphalt nur wenige mm bis cm voran, bis sich ein quasistationärer Zustand einstellt, *Egloffstein/Burkhardt (1995)*.

Im Bereich der Basisabdichtung können in Hausmülldeponien aufgrund der biologischen Abbauprozesse Temperaturen von 70°C und mehr herrschen. Dies bedeutet, dass die Resistenz der Asphaltabdichtung gegen chemische Angriffe herabgesetzt und die Langzeitbeständigkeit beeinträchtigt wird. Gleichzeitig schützt die Abfallüberdeckung die Asphaltabdichtungen vor periodischen Witterungsschwankungen (Frost-Tau-Wechsel). Die Gefahr, dass die Asphalt-

dichtung aufgrund der hohen Temperaturen austrocknet, wie dies z.B. bei der mineralischen Dichtungsschicht geschehen kann, besteht nicht, aber Bitumen ist bei sehr hohen Temperaturen (Flammpunkt > 200°C) brennbar. In Verbund mit den Mineralstoffen können auftretende Schwelbrände oder zeitweilig aufflammende Brände die Oberfläche der Deponieasphaltabdichtung zwar schädigen, aber ihre Dichtigkeit nicht beeinflussen, *DYWK (1996)*. Während des Einbaus darf kein Niederschlag fallen und die Temperatur nicht unter 0°C sinken, *Egloffstein/Burkhardt (1995)*. Niederschläge vermässen den Untergrund, so dass der Deponieasphalt beim Einbau Dampfblasen bildet.

2.3.3.3 Biologische Beanspruchung

Im Bereich der Basisabdichtungen kann die Asphaltabdichtung sowohl von aeroben als auch anaeroben Mikroorganismen angegriffen werden, wobei die Temperatur, die Feuchtigkeit und der Luftsauerstoffgehalt von großer Bedeutung sind. Aerob können etwa 20 – 50 g Bitumen pro Jahr und m² abgebaut werden, anaerob etwa 0,2 – 0,6 g Bitumen pro Jahr und m². Mit fortschreitender Abfallüberdeckung überwiegt das anaerobe Milieu. Bei der Einbindung des Bitumens in den Deponieasphalt verringert sich der Betrag für den anaeroben Abbau entscheidend, so dass letztlich nur eine theoretische Gefahr besteht, *Egloffstein/Burkhardt (1995)*. Durchwurzelung und Angriff von Tieren (z.B. Nagetieren) sind nur für die Oberflächenabdichtung von Bedeutung.

2.3.4 Herstellbarkeit

Während des langjährigen Einsatzes des Asphaltbetons im Wasserbau wurden Geräte und Techniken entwickelt, die sicherstellen, dass funktionstüchtige und beständige Asphaltbetonabdichtungen zuverlässig hergestellt werden können. Die Witterungsempfindlichkeit des Asphaltbetons macht es allerdings notwendig, die Bauzeiten auf die klimatisch günstigen Jahreszeiten zu legen. Niedrige Temperaturen (< +3°C), Niederschläge und starker Wind müssen beim Transport bzw. Einbau des Mischgutes berücksichtigt werden, *DYWK (1996)* und *Steffen et al. (1993)*. Die Möglichkeit die verdichtete Asphaltbetonschicht schon im noch warmen Zustand mit gummiradgeführten Fahrzeugen befahren zu können, ist für den Bauablauf von Vorteil.

2.4 Oberflächenabdichtung mit Deponieasphalt

Die bauaufsichtliche Zulassung des Deponieasphalts nach *DIBt (1996)* gilt nicht für Oberflächenabdichtungen, so dass im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens eine projektbezogene Eignungsprüfung durchgeführt und ggf. eine Zustimmung im Einzelfall erteilt werden muss. Neben den Anforderungen wie Dichtigkeit, Standsicherheit, mechanische Beanspruchbarkeit, Witterungsbeständigkeit usw., die auch eine Basisabdichtung erfüllen muss, werden bei der Oberflächenabdichtung insbesondere Anforderungen an die biologische Resistenz und an die Setzungseigenschaften gestellt.

Oberflächenabdichtungen, die mit einer Rekultivierungsschicht versehen werden, müssen gegenüber Durchwurzelungen beständig sein. Für das Wurzelwachstum sind Wasserverfügbarkeit, Sauerstoffversorgung, geringe Lagerungsdichte und Nährstoffangebot von entscheidender Bedeutung. Diese Faktoren sind innerhalb einer Asphaltabdichtung generell nicht vorhanden. Ferner haben Erfahrungen aus der Dachbegrünung gezeigt, dass Dachabdichtungen auf Bitumenbasis nicht durchwurzelt wurden. Für die Oberflächenabdichtung einer Deponie kann daraus geschlossen werden, dass bei einer Schichtdicke von 15 bis 20 cm keine Durchwurzelung stattfindet, wenn die Oberfläche ganz glatt ausgebildet ist und somit ein Einmisten von Wurzeltrieben verhindert wird. Auch eine Einwirkung von Mikroorganismen und Pilzen kann bei einer Asphaltabdichtung ausgeschlossen werden, *Schellenberg (1998)*.

Aufgrund der chemischen und biologischen Abbauprozesse in einem Deponiekörper, können erhebliche örtliche Setzungen auftreten, denen sich die Asphaltabdichtung anpassen muss, d.h. der Asphalt muss eine ausreichende Verformbarkeit besitzen. Es ist deshalb notwendig die Zusammensetzung des Asphalts (Bindemittel und Mineralstoffe) den jeweiligen Anforderungen anzupassen. Die in der projektbezogenen Eignungsprüfung ausgewählte Mischgutzusammensetzung sollte deshalb im Probefeld unter Baustellenbedingungen geprüft und optimiert werden. Als ungünstigster Lastfall wird dabei die Belastung aus Eigengewicht und Auflast (Rekultivierungsschicht, Dränageschicht) bei gleichzeitig fehlender Unterlage angenommen. Die Asphaltabdichtung ist setzungsbeständig, wenn die Dichtigkeit durch die Verformung nicht beeinträchtigt wird. Dafür ist auch eine sorgfältige Herstellung der Asphaltabdichtung insbesondere die ordnungsgemäße Herstellung der Nähte erforderlich, *Schellenberg (1998)*. Die Setzungs- und Scherempfindlichkeit des Deponieasphalts wird derzeit noch als größter Nachteil angesehen, *Hessische Landesanstalt für Umwelt (1998)*.

Bild 2.6 zeigt beispielhaft einen schematischen Aufbau einer Asphaltflächenabdichtung. Um die Unebenheiten des Müllkörpers auszugleichen und eine Tragfähigkeit für die darüberliegenden Schichten zu gewährleisten, wird direkt auf den Müllkörper eine Ausgleichsschicht

aufgebracht ($d > 30$ cm, $E_{v2} > 30$ MN/m²). Die anschließende Tragschicht ($d \sim 30$ cm, $E_{v2} > 100$ MN/m²) sollte zum einen eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleisten, zum anderen eine für das Gas ausreichende Dänagefähigkeit aufweisen. Die Anforderungen an die Asphaltabdichtungsschicht und die -tragschicht entsprechen den Vorgaben für die Basisabdichtung (Hohlraumgehalt $< 3,0$ bzw. $< 5,0$ Vol.%, Körnungsbereich 0/11 bzw. 0/16, Bitumen B 80 usw.) Oberhalb der Asphaltabdichtung wird zur Ableitung des Niederschlagswassers eine Dränageschicht ($d \sim 30$ cm) angeordnet. Die Rekultivierungsschicht ($d > 1,0$ m) sollte aus bewuchsfähigem Boden bestehen, *Schellenberg (1998)*.

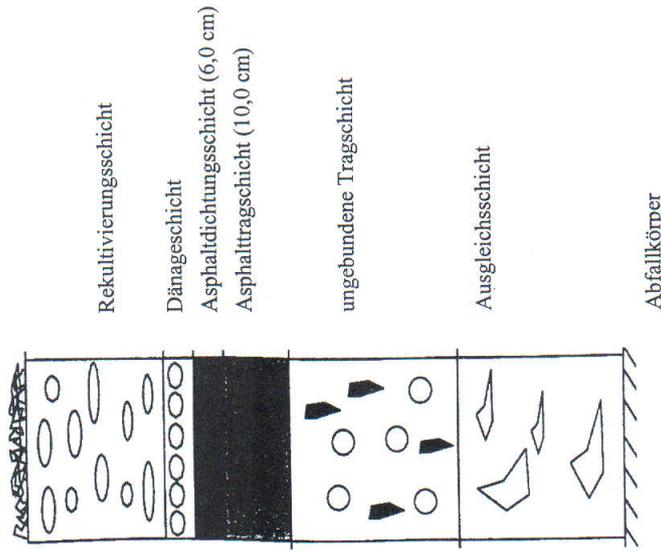


Bild 2.6:
Schematische Aufbau einer Asphaltflächenabdichtung aus *Schellenberg (1998)*.

2.5 Vergleichende Kostenübersicht

Die Kosten für eine Oberflächenabdichtung sind abhängig von den Anforderungen an das zu verwendende Material, den Transportkosten und der Beschaffenheit der Deponieoberfläche (Einbauaufwand). In Tabelle 2.6 sind für unterschiedliche Abdichtungssysteme Preisspannen

angegeben. Es wird deutlich, dass die Asphaltabdichtung kostengünstiger bzw. kostengleich zur Kombinationsdichtung hergestellt werden kann. Bei Basisabdichtungen liegen ähnliche Größenordnungen vor.

Tabelle 2.6: Preisspannen für Oberflächenabdichtungssysteme aus Hessische Landesanstalt für Umwelt (1998)

Oberflächenabdichtungssystem	Preisspanne [DM/m ²]
Kombinationsdichtung nach TA Siedlungsabfall	150,- bis 220,-
Mineralisches Oberflächenabdichtungssystem	120,- bis 180,-
Oberflächenabdichtung mit Kapillarsperre	150,- bis 180,-
Asphaltbetonabdichtung	100,- bis 150,-
Abdichtungssysteme mit Bentonitmatten	100,- bis 150,-
Temporäre Oberflächenabdichtungen (für den Endausbau müssen zusätzliche Kosten berechnet werden)	50,- bis 150,-

2.6 Hinweise zur kritischen Einschätzungen zur Eignung von Asphaltabdichtung im Deponiebau

Noch 1989 herrschte in Deutschland die Meinung, dass Dichtungsmembranen aus Bitumen (d = 5,0 mm), Kautschuk / Bitumen (d = 5,0 mm) und Asphalt (d = 120 mm Asphaltbinder) im Deponiebau nicht mehr einsetzbar sind, *Düllmann (1989)*. Insbesondere im Vorfeld der bauaufsichtlichen Zulassung durch das *DIBt (1996)* gab es erhebliche Diskussionen über die Vor- und Nachteile bzw. die Verwendbarkeit von Asphalt im Deponiebau. Es wurde in Frage gestellt, in wie weit Erfahrungen aus Straßen- und Wasserbau auf die Anwendung von Asphalt im Deponiebau übertragbar sind und ob der in Straßen- und Wasserbau verwendete Asphalt ohne spezielle Anpassung an die aggressiven Umweltbedingungen im Deponiebau genutzt werden kann. Eine Deponieabdichtung muss über Jahrzehnte funktionsfähig sein, ohne dass wie im Wasser- und Straßenbau üblich, Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten durchgeführt werden können. Deshalb wurden besonders die Beständigkeit, das Alterungsverhalten und die Qualitätssicherung hinterfragt.

Besonders in *August (1994, 1995)* sind Bedenken gegen die Eignung von Asphalt im Deponiebau zu finden. Sie beziehen sich im wesentlichen auf Fragen der mechanischen und biologischen Beständigkeit sowie auf Fragen der Langzeitdichtigkeit und Alterung.

Die Herstellung von bituminösem Mischgut ist nach *Schuhbauer (1992)* durch hohe Streuungen gekennzeichnet, was durch hohe Toleranzen in den technischen Vorschriften des bituminösen Straßenbaus zum Ausdruck kommt. Um einen Hohlraumgehalt ≤ 3 Vol. % gewährleisten zu können, müsste deshalb bei einer Eignungsprüfung ein Hohlraumgehalt von 1 Vol. % am Probekörper angestrebt werden. Folglich dürfen Eigen- und Kontrollprüfungen des Mischguts dann 2 Vol. % nicht überschreiten. Solch kleine Toleranzen können in der Praxis aber nicht eingehalten werden. Des weiteren erfordert eine Qualitätssicherung einen hohen zeitlichen Aufwand, so dass die für den Asphalt relevanten Kenngrößen wie der Hohlraumgehalt zu spät, u.U. erst nachdem das Mischgut eingebaut wurde, festgestellt werden, *August (1994)*.

Für die Verwendung von Asphalt im Deponiebau ist von entscheidender Bedeutung, daß die Erfahrungen aus Strassen- und Wasserbau nicht bedingungslos übertragen werden können und daß viele Eigenschaften nur über kurze Zeiträume bzw. im Labor erprobt wurden.

3 Erfahrungen mit Asphaltabdichtungen aus der Literatur

3.1 Bauabschnitt 11 und 12 der Hausmülldeponie Außernzell

Die Projektandbedingungen und weitere Erfahrungen siehe auch *Hämmerle (1996)*. Die Hausmülldeponie Außernzell wird seit 1977 betrieben, wobei 1993 in den Bauabschnitten 11 und 12 eine Anpassung an den Stand der Technik geplant und ausgeführt wurde. Neben anderen Maßnahmen wurde eine Asphaltabdichtung an der Basis vorgesehen, da diese besser für die vorhandenen langen Böschungen geeignet erschien als eine Kombinationsdichtung.

Die Basisabdichtung besteht entsprechend Bild 3.1 aus einer zweilagigen je 6,0 cm starken Asphaltbetondichtung mit einem Körnungsbereich 0 bis 16 mm und einem Hohlraumgehalt $\leq 3,0$ Vol. % sowie einer Asphaltbetontragschicht von 10,0 cm Dicke mit einem Körnungsbereich 0 bis 16 mm und einem Hohlraumgehalt $\leq 4,0$ Vol. %. Direkt unterhalb der Asphaltbetontragschicht wurde eine Kontrolldränage (d = 15,0 cm, Hohlraumgehalt = 15 Vol. %) angeordnet. Mit dieser konnten vor der Inbetriebnahme eventuell vorhandene Undichtigkeiten

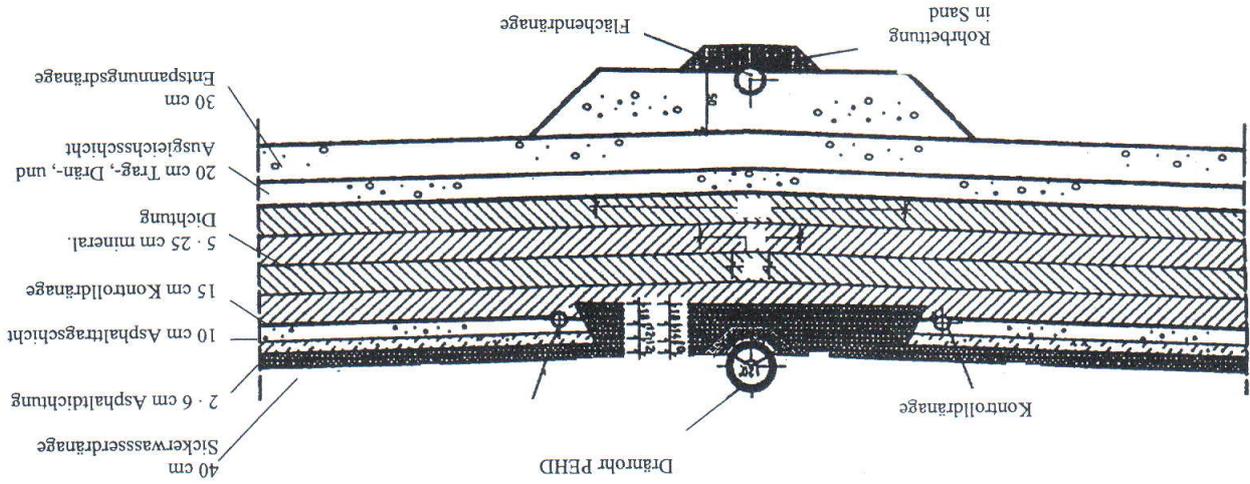
festgestellt werden, später sollte ggf. austretendes Sickerwasser über die Drainage erfasst und abgeleitet werden. Gleichzeitig fungiert die Kontrolldrainage als Auflager für die Asphaltabdichtung. Die darunter befindliche 1,0 m starke mineralische Dichtungsschicht wurde mit einem Durchlässigkeitsbeiwert $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s ausgeführt. Sie bildet auch die technische Ersatzmaßnahme für die geologische Barriere, so dass sie hohe Anforderungen an den Tonmineralgehalt (Feinkornanteil ≥ 20 Gew.-%, Tonmineralanteil ≥ 10 Gew.-%, ausreichender Anteil an quellfähigen Tonmineralien) erfüllen muss. Unterhalb der mineralischen Dichtungsschicht wurde eine Entspannungsdrainage angeordnet, die anfallendes Grund- und Schichtenwasser an den begehbaren Entwässerungsstellen ableitet.

Bei der Bauausführung ergaben sich Probleme mit der Tragfähigkeit der mineralischen Dichtung. Die mangelnde Tragfähigkeit der mineralischen Dichtungsschicht führte zu 1,0 cm tiefen Verdrückungen durch Baufahrzeuge. Zur Verbesserung wurden die Anforderungen an den Verdichtungsgrad auf $D_{pr} \geq 0,97$ erhöht. Der Verformungsmodul $E_{v2} \geq 45$ MN/m² konnte nicht erreicht werden. Es zeigte sich aber, dass ein Mittelwert von $E_{v2} = 27,5$ MN/m² mit einer Standardabweichung von 12,1 MN/m² für die Verdichtung der Asphaltbetondichtung ausreichend war.

Die Mineralstoffe wurden im Rahmen der Qualitätssicherung aufgrund von Verunreinigungen und Niehteinhaltung der Vorgaben für die Splittbeurteilung. Entsprechend wurden die Asphaltmischungen nicht in allen Punkten den Anforderungen der Eignungsprüfung gerecht. Auch war eine neue Mischgutzeptur und damit eine neue Eignungsprüfung erforderlich, um die Tragfähigkeit des Asphaltbetons zu erhöhen.

Bei der Herstellung der Asphaltbetondichtungslagen waren Reinigungsarbeiten vor dem Überbauen erforderlich und, um den Schichtenverbund ausreichend sicherstellen zu können, wurden die Asphaltbetontragschicht und die erste Asphaltbetondichtungsschicht vor dem Überbauen mit Bitumen-Haftkleber vorgespritzt. Durch hohe Lufttemperaturen, die ein rasches Abkühlen des eingebauten Asphaltbetons auf $\leq 40^\circ\text{C}$ (notwendig, um eine ordnungsgemäße Verdichtung der darüberliegenden Lage zu gewährleisten) hemmten, wurde die Überbauung mit der nächsten Schicht / Lage behindert.

Bild 3.1: Aufbau des Basissicherungssystems aus Hammerle (1996)



Auch bei der Herstellung der Nähte der Asphaltbetondeckungsschicht gab es Probleme. Zum einen wegen der schnellen Abkühlung des Mischgutes, zum anderen wegen der Grobkornanreicherung. Infolgedessen gab es Nahtrisse in den oberen 10–15 cm, die aufgewärmt und mit beheizten Handstampfern nachverdichtet wurden. Die Ansicht, dass es bei der Ausführung der Asphaltbetondeckungsschicht mit einem Körnungsbereich 0/11 weniger Schwierigkeiten bei der Nahtherstellung gibt als bei einem Körnungsbereich 0/16 konnte nicht bestätigt werden. Eine Verschleißung der Nähte mit Heißgutmasse wurde probiert und verworfen. Bei der Überprüfung der Dichtigkeit der Nähte wurde nicht wie vorgesehen die Isotopsonde verwendet, sondern wegen der unebenen Oberflächenbeschaffenheit das Unterdruckverfahren gewählt.

Die Qualitätssicherung erforderte insgesamt einen hohen Aufwand. Bei der Regelausführung mit einer Kombinationsschichtung entstehen Kosten für die Verlegung und Verschweißung der Kunststoffdichtungsbahnen, während bei der Asphaltabdichtung noch die Qualitätssicherung beim Einbau und beim Mischwerk sowie die projektbezogene Eignungsprüfung hinzukommen. Bei der fertiggestellten Asphaltbetondeckung besteht zudem Bedarf an der Entwicklung aussagekräftiger zerstörungsfreier Prüfverfahren.

3.2 Hausmülldeponie Oberndorf

Die nachfolgend wiedergegebenen Erfahrungen finden sich im wesentlichen in *Schellenberg/Maurer(1992)* und *Schellenberg(1995)*. In dieser Hausmülldeponie wird schon seit vielen Jahrzehnten Hausmüll und Klärschlamm abgelagert, wobei erst seit 1975 der Untergrund und das Grundwasser durch eine Basisabdichtung geschützt wird. Bereits 1979/80 kam eine Sohlabdichtung aus Asphaltbeton zur Ausführung. Die mineralische Tragschicht weist einen Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ auf. Die einlagige Tragdeckschicht (0/16) setzte sich aus sechs verschiedenen Mineralstoffkörnungen zusammen und bestand zu 56,4 % aus Kieselplite (> 70 % Quarzanteil), zu 33,7 % aus Sand und zu 9,9 % aus Füller. Bei 5,9 Masse-% Bitumen B 80 konnte am Marshall-Probekörper ein Hohlraumgehalt von 1,5 Vol.-% und ein Ausfüllungsgrad von 90,2% nachgewiesen werden.

1985/86 wurde die Deponie erweitert, wobei der konstruktive Aufbau der Dichtungsschichten übernommen wurde. Anhand von 20 Mischgutproben wurden Splittgehalte von 52,0 bis 56,0 Masse %, Sandanteile von 33,2 bis 38,0 Masse % und Füllermengen von 9,5 bis 11,2 Masse % nachgewiesen. Die an Bohrkernen ermittelten Hohlraumgehalte lagen zwischen 2,0 und 2,8 Vol.%, bei Messungen mit der Isotopsonde wurden Hohlraumgehalte von 1,8 bis 3,2 Vol.-% festgestellt.

Für einen weiteren Bauabschnitt wurde 1991 gefordert, dass zunächst die 5 bzw. 10 Jahre alte Tragdeckschicht freigelegt und ihre Qualität untersucht wurde. Dazu wurden an drei Probestellen insgesamt 9 Bohrkern entnommen. Als Probestellen wurden gewählt:

1. Probestelle: Die ca. 5 Jahre alte Sohlabdichtung war mit Erdmaterial durchsetztem Hausmüll überschüttet. Direkt über der Asphaltabdichtung lag eine 1 bis 1,5 m dicke Hausmüllschicht. Die weitgehend trockene Sohlabdichtung zeigte am Asphalt augenscheinlich keine Veränderungen gegenüber dem Einbauzustand. Hier wurden die Bohrkern A, B, C entnommen.
2. Probestelle: Auch an dieser Stelle war die Sohlabdichtung seit ca. 5 Jahren mit Hausmüll überdeckt, wobei unmittelbar auf der Asphalttschicht eine feste, kompakte Schicht weitgehend anorganischen Materials in einer Stärke von 10 bis 20 cm lag. Der Asphalt war trocken und wies keine Veränderungen gegenüber dem Einbauzustand auf. Die Bohrkern F, G, H wurden hier entnommen.
3. Probestelle: Die 10 Jahre alte Sohlabdichtung konnte aufgrund eines Sickerwasserstaus nur mit großem Aufwand von der 10 m hohen Überdeckung befreit werden. Bei der augenscheinlichen Prüfung der Bohrkern J, K und L zeigte die Asphalttschicht eine deutlich dunklere Färbung als die Bohrkern der anderen Probestellen. Es konnten aber keine Anlöseerscheinungen, Aufweichungen oder sonstige negative Veränderungen beobachtet werden.

Die Werte der nachträglichen Bohrkernanalyse stimmen hinsichtlich Bindemittelmenge, -eigenschaften, Kornzusammensetzung, Dichte, Hohlraumgehalt und der mechanischen Eigenschaften weitgehend mit den Sollwerten der Eignungsprüfung überein. Die Untersuchung des rückgewonnenen Bindemittels zeigt, dass das vorgegebene Bitumen B 80 verwendet wurde. Die Verhärtung des Bindemittels von 2,5 bis 4°C bezogen auf die obere Grenze des Erweichungsbereichs eines Bitumens B 80 ist sehr gering und kann auf die Herstellung und den Einbau des Mischguts zurückgeführt werden. Nach *ZTV bit-SiB 84* sind Verhärtungen bis zu 8°C zulässig, eine Beeinflussung durch das Sickerwasser konnte ausgeschlossen werden.

Die Bohrkern der Probestelle 3 wurden zusätzlich auf Eindringung von sickernwasserspezifischen Inhaltsstoffen der Tiefe nach untersucht. Zum Vergleich wurde ein Bohrkern (P) aus der Zufahrt zur Deponie und eine Parallelprobe aus einer Straße außerhalb der Deponie genommen. Es konnten weder bei den Schwermetallen (Kupfer und Zink) noch bei den Chloriden Veränderungen nachgewiesen werden. Lediglich der CSB-Wert ist im oberen Drittel erhöht. Die elektrische Leitfähigkeit lässt keine Rückschlüsse auf Verschmutzungen zu. Insgesamt

3.3 Erfahrungen mit Asphaltabdichtungen in der Schweiz

Schon seit mehreren Jahrzehnten werden in der Schweiz Deponien mit Asphaltabdichtungen gebaut. In *Stockmeyer/Müller (1997)* sind Erfahrungen an 4 Deponien zusammengestellt. Bei zwei bestehenden Anlagen wurde nach der Ursache für einen Schadstoffaustritt gesucht, bei den beiden anderen Anlagen wurde eine unzureichende geologische Barriere festgestellt, die durch eine technische Ersatzmaßnahme ausgeglichen wurde.

Die auf Sickerwasseraustritt untersuchten Anlagen wurden Ende der 80er Jahre gebaut und besitzen annähernd identische Abdichtungssysteme, siehe Bild 3.2. Eine 7 bzw. 8 cm dicke Asphaltichtungsschicht überdeckt eine 6 cm starke Asphalttragschicht und eine 50 cm dicke Kiestragschicht (inklusive Untergrundentwässerung). Das Dränagesystem besteht aus PE-Rohren, wobei die Ableitung des Sickerwassers bei einer Anlage über einen Betonschacht erfolgt, während bei der anderen Anlage ein begehbare Betonstollen existiert.

Folgende Ursachen für den Schadstoffaustritt wurden untersucht:

- konvektiver Schadstofftransport durch die Asphaltabdichtung,
- Fehlstellen (Löcher, Risse) in der Abdichtung,
- diffusiver Schadstofftransport durch die Abdichtung,
- Leckagen am Betonschacht / Betonstollen,
- Mängel an der Sickerwasserleitung ausserhalb der Deponie.

Ein rein konvektiver Schadstofftransport konnte bei beiden Anlagen ausgeschlossen werden. Nur wenn die Asphaltabdichtung einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k \geq 4 \cdot 10^{-10}$ m/s aufweisen würde, wäre ein Sickerwasserverlust in den ermittelten Größenordnungen möglich. Eine fehlerfrei ausgeführte Asphaltabdichtung besitzt aber einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s. Um weitere mögliche Ursachen gezielt ausschließen zu können, wurden ein Kontrollfärberversuch und ein Abpressversuch der Sickerwasserleitung durchgeführt. Beim Färberversuch wurden um den Deponierand und um den Betonschacht / Betonstollen herum Farbstoffe eingegeben, wodurch Undichtigkeiten der Asphaltabdichtung vermutlich in unmittelbarer Nähe des Betonschachtes / Betonstollens festgestellt wurden. Des Weiteren konnten Undichtigkeiten der Rohrfutterabdichtungen und / oder der Sickerwasserableitung beim Betonschacht / Betonstollen festgestellt werden.

konnte ein Wandel der Eigenschaften der Asphaltabdichtung aufgrund der Überdeckung mit Hausmüll und Sickerwasser nicht nachgewiesen werden.

Im Vorfeld der Deponieverweiterung 1991 wurde bei Untersuchungen festgestellt, dass der Untergrund nicht den Anforderungen entsprach und zusätzliche technische Maßnahmen notwendig waren. Unmittelbar auf die 75 cm dicke mineralische Dichtungsschicht wurde eine zusätzliche Asphalttragschicht ($d = 3 \cdot 10$ cm, mit 60 % Altpfand) eingebaut, die die Standfestigkeit und die Dichtigkeit des Abdichtungssystems entscheidend erhöhte. Der Hohlraumgehalt betrug im Durchschnitt 3,36 Vol.% in der 1. Lage, 3,47 Vol.% in der 2. Lage und 3,55 Vol.% in der 3. Lage.

Die Asphaltichtungsschicht ($d = 2 \cdot 6$ cm) wies einen Bindemittelgehalt von 5,8 – 6,1 Masse %, eine Splittmenge (2/16) von ca. 57 %, einen Sandanteil von ca. 33 % und eine Füllermenge von ca. 10 % auf und erfüllte damit die Vorgaben der Eignungsprüfung. Anhand von Marshallprobekörpern konnte weiterhin ein Hohlraumgehalt von 1,0 – 1,7 Vol.% festgestellt werden. Zerstörungsfreie Messungen mit der Isotopensonde ergaben einen mittleren Hohlraumgehalt von 1,12 Vol.% in der 1. Lage und 0,78 Vol.% in der 2. Lage. Eine Bitumenmembran zwischen den beiden Schichten sollte eine vollflächige Verklebung der beiden Asphaltsschichten gewährleisten und gleichzeitig als zusätzliche Sperrschicht wirken.

Bei der Sanierung von Sickerwasserleitungen wurde 1994 erneut die inzwischen 15 Jahre alte Asphaltabdichtung freigelegt und untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Asphaltabdichtung gut mit der darunter befindlichen mineralischen Schicht verzahnt hatte und dass der Heißeinbau des Asphalts keine Veränderungen bei der mineralischen Schicht (Blasenbildung, Rissbildung oder Austrocknung) hervorgerufen hatte. Der natürliche Wassergehalt der mineralischen Schicht hat sich unter dem Asphalt wieder eingestellt.

Die Untersuchungen der Bohrkern ergab keine Veränderungen gegenüber den Ergebnissen von 1991, insbesondere konnte keine Verhärtung des Asphalts festgestellt werden. Bei der Eluatanalyse zeigte sich, dass der pH-Wert des Asphalts im alkalischen Bereich lag und die elektrische Leitfähigkeit ergab keinen Hinweis auf eine Kontamination der Dichtung. Eine Schlammsschicht, die sich auf der Abdichtung abgesetzt hatte und die oberflächlichen Poren ausfüllte, bewirkte eine zusätzliche Abdichtung des Asphalts.

Die technische Ersatzschicht für die mangelhafte geologische Barriere der beiden anderen untersuchten Deponien musste sowohl ausreichend tragfähig sein sowie gleichzeitig eine hohe Schadstoffrückhaltekapazität besitzen. Dabei erwiesen sich die vorgesehene Ersatzmaterialien als problematisch (Ziegeleilehm mit $d = 1,0$ m in 5 Lagen bzw. ein kiesig-lehmiges Material mit $d = 0,5$ m in 2 Lagen zu $0,3$ m und $0,2$ m), da sie keine ausreichende Tragfähigkeit besaßen. Die obersten $0,2$ m der mineralische Schicht der ersten Deponie wurden mit dem Produkt Dorodur, das aus dem gebrannten Tonmehl eines Ölschiefers besteht und puzzolosisch abbindet, stabilisiert. Bei einer Stabilisierung mit 3 Gew.% Dorodur, wurden nach einem Tag Abbindezeit in der Erstbelastung ein Steifemodul von 73 MN/m^2 und in der Wiederbelastung 211 MN/m^2 gemessen. Nach 28 Tagen Abbindezeit stiegen die Werte für die Erstbelastung auf 148 MN/m^2 und für die Wiederbelastung auf 235 MN/m^2 . Die darunterliegende Schicht wurde mit 2,5 Gew.% Ca-Bentonit vergütet, um das Schadstoffrückhaltevermögen zu verbessern. Die drei anderen Schichten blieben unvergütet.

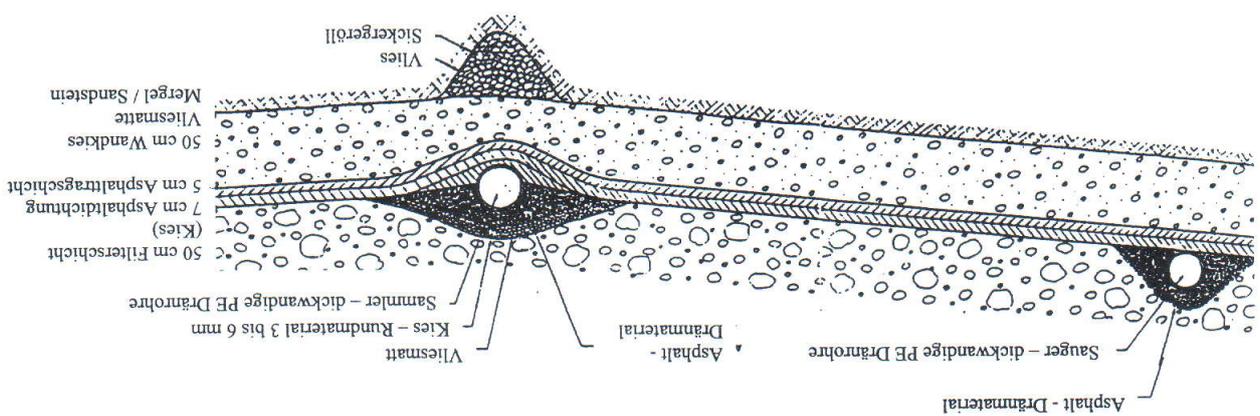
Mit diesem Aufbau der mineralischen Ersatzschicht konnte die Anforderung an den Hohlraumgehalt ($< 3 \text{ Vol.}\%$) von Asphaltabdichtungen erfüllt werden.

Bei der zweiten Deponie wurde die oberste $0,3$ m starke Schicht mit 5 Gew.% Ca-Bentonit vergütet, die unteren $0,2$ m blieben unverändert. Mit der Ca-Bentonitvergütung konnten Schadstoffrückhalt und Tragfähigkeit verbessert werden, so dass der Einbau und die Verdichtung der Asphaltabdichtung problemlos erfolgen konnte.

Aufgrund der oben beschriebenen Erfahrungen und Erkenntnisse aus anderen Projekten konnten Stockmeyer/Müller (1997) zu folgenden Ergebnissen:

- Eine flächenhafte Durchströmung kann bei einer fachgerecht ausgeführten Asphaltabdichtung praktisch ausgeschlossen werden; sie ist hydraulisch dicht.
- Fugen, Stöße, Überlappungen benötigen besondere Sorgfalt beim Einbau, da Relativbewegungen oder Zugspannungen hydraulisch wirksame Haarrisse hervorrufen können.
- Bei Asphaltabdichtungen sind Durchdringungsbauwerke zu vermeiden; besser geeignet sind Rohrdurchdringungen wie in *DVWK (1996)* beschrieben.
- Es liegen keine genauen Erkenntnisse über den diffusiven Schadstoffdurchgang vor; Diffusion und Adsorption sind möglich.
- Bei einer Kombination der Asphaltabdichtung mit einer $0,5$ m starken mineralischen Abdichtung können alle Anforderungen hinsichtlich des Schadstoffrückhaltevermögens erfüllt werden.

Bild 3.2: Schnittskizze durch das Abdichtungssystem nach Stockmeyer/Müller (1996)



- Eine schnelle diffusive Sättigung der mineralischen Abdichtung wird von der Asphaltabdichtung verhindert, ein Schadstoffdurchtritt, z.B. infolge einer Leckage kann von der mineralischen Schicht aufgefangen werden.
- Eine Verbesserung des Rückhaltevermögens der mineralischen Schicht ist durch Vergütung z.B. mit Bentonit möglich.
- Die Anforderungen an die Tragfähigkeit der mineralischen Dichtungsschicht können mit einem geeigneten Bindemittel, wie oben beschrieben, problemlos erfüllt werden.
- Der Einbau von heißem Asphalt auf die feuchte mineralische Schicht ist unproblematisch, da sämtliche Dampfdrücke über die Binderschicht entweichen können, so dass es keine Blasenbildung gibt.
- Eine Asphaltabdichtung über der mineralischen Dichtungsschicht kann als Witterungsschutz vor Erosion, Frost usw., fungieren, allerdings kann langanhaltender starker Frost auch die Asphaltabdichtung schädigen, so dass eine schnelle Überdeckung mit der Dränageschicht zu empfehlen ist.

4 Eigene Erfahrungen beim Bau einer Asphaltzwischenabdichtung

4.1 Ausgangssituation

4.1.1 Geologische Randbedingungen

Die Deponie Konstanz-Dorfweier befindet sich im Bereich wurmeiszeitlicher Grundmoränenböden. Der im Untergrund anstehende Geschiebemergel ist am oberen Horizont durch Verwitterung zu Geschiebelehm umgewandelt worden. Die Verbreitung von lokalen eiszeitlichen Nachschüttungskiesen an der Oberfläche der Grundmoräne kann nicht genau belegt werden. Stellenweise konnten wasserführende eiszeitliche Kiese (Kieslager) nachgewiesen werden, die von Schichten der oberen Stüßwassermolasse unterlagert werden. Überlagert werden die Kieslager von einem gering durchlässigen Moränepaket, was zu gespanntem Grundwasser führt. Auch der allgemein gering durchlässige Geschiebemergel der Grundmoräne stellt einen Wasserstauer gegen bereichsweise oberflächlich vorhandene Kiese dar.

4.1.2 Abdichtungssysteme

Die Deponie kann entsprechend ihrer zeitlichen Inbetriebnahme in mehrere Teilbereiche untergliedert werden. Von 1961 bis 1967 wurde die ehemalige Deponie Bettenberg verfüllt. Sie wird heute größtenteils von der Erddeponie Riesenberg überdeckt. Eine Erweiterung der Deponie erfolgte in den Jahren 1966 bis 1976 auf dem Gelände des Dorfweihers, woraus mit den hinzugekommenen Erweiterungsflächen I bis IV die Hausmülldeponie Dorfweier entstand (Bild 4.1).

Der ursprüngliche Altlagerungsbereich wurde ohne Basisabdichtungs- und Dränagesystem erstellt. Lediglich die Erweiterungsbereiche wurden entsprechend des Stands der Technik bzw. der Auflagen des Planfeststellungsbeschlusses vom Mai 1977 mit Basisabdichtung und -dränage versehen. Die bestehende Abdichtung besteht in den Erweiterungsbereichen I bis III_A aus einer mineralischen Basisabdichtung, gefertigt aus dem örtlich vorhandenen Geschiebemergel /-lehm mit einer Stärke $d \geq 0,3$ m, einem Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 0,95$ und einem Durchlässigkeitsbeiwert $k \leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s sowie im Erweiterungsbereich III_B aus einer zweilagigen mineralischen Dichtungsschicht mit $d = 0,6$ m, $D_{pr} \geq 0,95$ und $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Die Oberflächenabdichtung des alten Deponieteils besteht aus einer mineralischen Dichtungsschicht von ca. 1,0 m Stärke bzw. 2,5 m im Bereich der Südböschung. Als Material wurde seinerzeit ein weicher bis steifer Geschiebemergel mit $D_{pr} = 0,91$ und $k \leq 7 \cdot 10^{-9}$ m/s eingebaut. Zusätzlich wurde der Bereich der Südböschung im Zuge der Errichtung des IV-Abschnitts mit einer 0,5 m starken Dichtungsschicht überdeckt. Auch der nördliche Teilbereich der Dichtung (Erweiterungsbereiche I - III_B) entspricht mit einer ca. 1,0 m mächtigen mineralischen Dichtungsschicht ($D_{pr} \geq 0,91$ und $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s) weitgehend den heutigen Anforderungen.

4.1.3 Sickerwasserleitungen

Es muss davon ausgegangen werden, dass auf Grund der Belastungen durch den Abfall unter dem alten Deponieteil und unter den Erweiterungsflächen I und II keine funktionsfähige, flächendeckende Dränageschicht vorhanden ist. Eine bessere Situation stellt sich in den Erweiterungsbereichen III_A und III_B dar. Dort werden die verlegten Leitungen durch ein Kies- und Schotterbett geschützt. Die vorhandenen Rohrdurchmesser und Flächenfilter entsprechen allerdings nicht den heutigen Anforderungen.

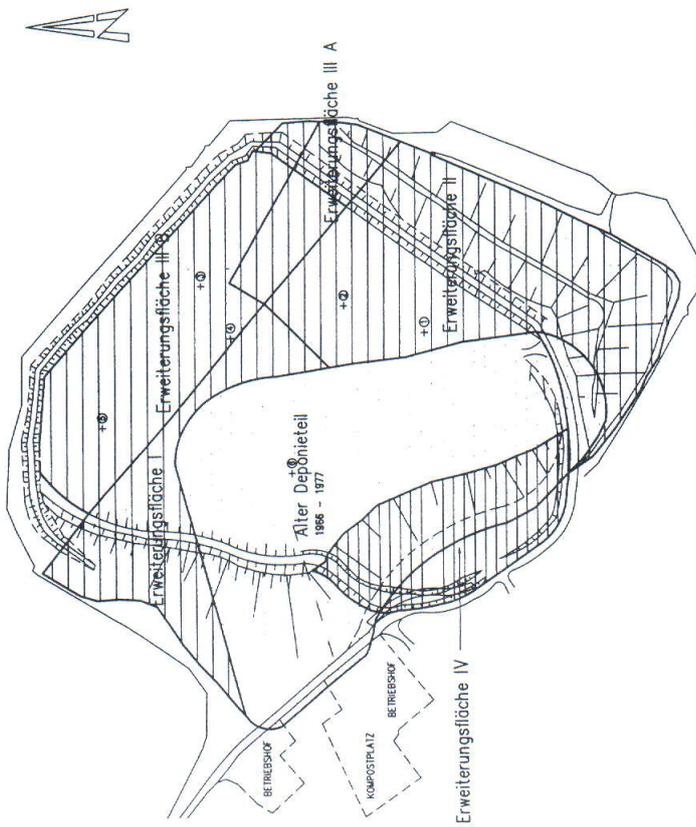


Bild 4.1: Lageplan der Erweiterungsabschnitte der Deponie Konstanz - Dorfweiher

4.1.4 Setzungen

Über einen Zeitraum von 14 Monaten wurden an sechs Messstellen Setzungen zwischen 2 und 53 mm gemessen. Im *Müllhandbuch, Band 4, Kennzahl 4604* wird bei einem guten Verdichtungsgrad ein spezifisches jährliches Setzungsmaß von 2 mm/m Deponiehöhe angegeben. Bei einer Deponiehöhe von ca. 25 m beträgt die jährliche Setzung demnach 50 mm. Das heißt, dass die gemessenen Setzungswerte von im Mittel 18,9 mm/Jahr relativ gering sind, was auf bereits abgeschlossene Setzungs Vorgänge, bzw. auf einen hohen Anteil mineralischer Stoffe im Müll hindeutet.

4.2 Zwischenabdichtung

4.2.1 Allgemeines

Aufgrund der mangelhaften Basisabdichtung des alten Deponieteils sollte vor einer weiteren Verfüllung der Deponie eine Trennung zwischen dem alten Abfallkörper ($d \approx 20$ m, Müll, Erdaushub und Bauschutt) und dem neuen Abfallkörper ($d \approx 25$ m, Siedlungsabfälle und Verbrennungsrückstände aus Hausmüllverbrennungsanlagen) geschaffen werden. Diese Trennung wurde als Kombinationsdichtung aus einer mineralischen Trag- und Dichtungsschicht und einer Asphaltabdichtung geplant und ausgeführt, wobei für die mineralische Dichtung die bereits vorhandene Abdichtungsschicht der Deponieoberfläche, soweit technisch ausreichend, mit verwendet werden konnte (Bild 4.2).

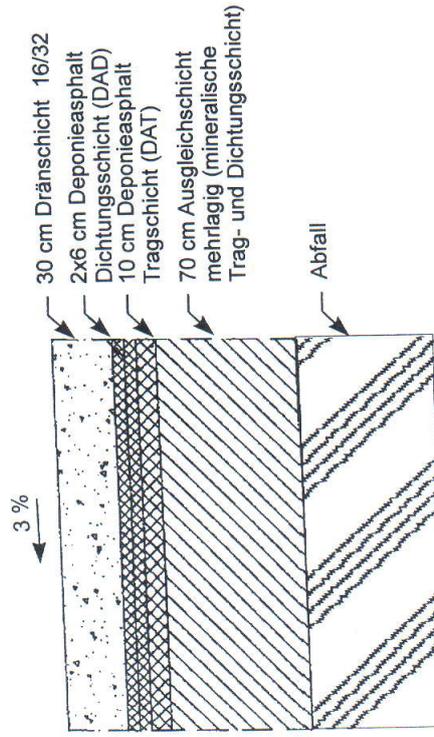


Bild 4.2: Schematischer Aufbau der Asphaltzwischenabdichtung

Da der Bau der Asphaltabdichtung auf Erlass des zuständigen Regierungspräsidiums erfolgte, musste keine baurechtliche Genehmigung eingeholt werden.

Bild 4.3 zeigt die Lage der Zwischenabdichtung. Sie befindet sich im zentralen Bereich des Deponiegebietes und schließt südöstlich an den Randdamm der Ostböschung an. Im Westen endet sie am Erweiterungsabschnitt IV. Ein Randdamm, der an den Westdamm und an den Randdamm des Erweiterungsabschnitts IV angeschlossen ist, bildet die südliche Abgrenzung, während das nördliche Ende in etwa 120 m Entfernung parallel zum nördlichen Randdamm verläuft. Insgesamt wurde eine Fläche von 39.338 m² abgedichtet.

Tabelle 4.1: Anforderungen an das mineralische Trag- und Dichtungsmaterial

Eigenschaften	Anforderungen
Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	$k \leq 1 \cdot 10^{-9}$
Verdichtungsgrad [-]	$D_{pr} \geq 0,95$
Feinstkornanteil ($< 2 \mu\text{m}$) [Gew.-%]	≥ 20
Anteil an organischer Substanz [Gew.-%]	≤ 5
Ersatzreibungswinkel [°]	$\phi'_{es} \geq 30$
Einbauwassergehalt	$w_{pr} < w < w(0,95)$
Mindestdicke [cm]	70 in 3 Lagen zu 25 cm

Tabelle 4.2: Anforderungen an den Sickerwasserdrängekies

Eigenschaften	Anforderungen
Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	$k \geq 1 \cdot 10^{-2}$ langfristig $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$
Material	16/32 mm, gewaschen, Rundkorn oder Gestein (doppeltgebrochener Splitt) oder ein vergleichbares Material
abschlämmbare Bestandteile [Gew.-%]	$\leq 0,5$
Anteil Körner mit Verhältnis Länge : Dicke $\geq 3 : 1$ [Gew.-%]	≤ 20
Anteil an gebrochene Körnern (bei Grobkies [Gew.-%])	≤ 10
Mindestdicke [cm]	30
Anteil an Kalziumcarbonat [Gew.-%]	≤ 20

Das im Labor festgelegte Asphaltmischgut wurde ebenfalls im Probefeld auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt. Neben den Bestandteilen und Eigenschaften (Anteile an Bindemittel, Füller, Sand, Splitt, Hohlraumgehalt usw.) wurden wie bei der mineralischen Trag- und Dichtungsschicht die Geräte und Einbaubedingungen (z.B. trockene Oberfläche) bestimmt.

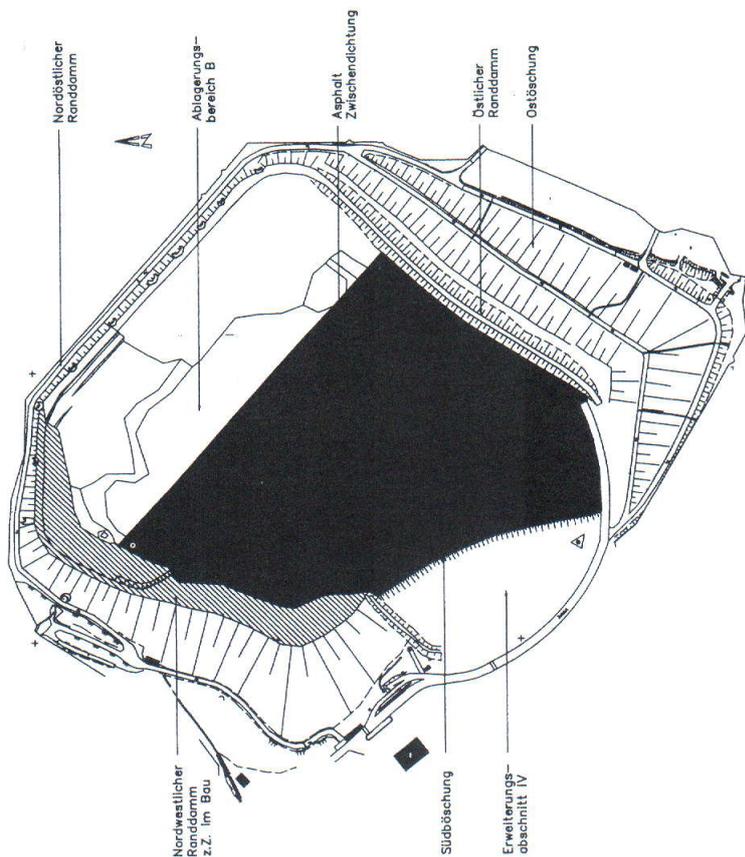


Bild 4.3: Bestands- und Übersichtsplan der Deponie

4.2.2 Qualitätssicherung

Die festgelegten Anforderungen an die Materialien für die Asphaltzwischenabdichtung sind in den Tabellen 4.1 bis 4.3 zusammengestellt. Gemäß *DIBt* (1996) wurden für die Materialien der mineralischen Trag- und Dichtungsschicht sowie für die Materialien der Asphalttrag- und der Asphaltzwischenabdichtung Eignungsprüfungen durchgeführt. In Probefeldern wurden für die mineralische Trag- und Dichtungsschicht die Einbaukriterien (Einbaugeräte, Anzahl der Verdichtungsübergänge, Aussagekraft der vorgesehenen Kontrollprüfungen usw.) untersucht. Ferner wurden im Labor das Spannungs-Verformungs-Verhalten, die Durchlässigkeit, die Langzeitbeständigkeit und die tonmineralogischen Eigenschaften ermittelt.

Tabelle 4.3: Anforderungen an die Asphalt dichtungsschicht (DAD) und an die Asphalttragschicht (DAT)

Eigenschaften	DAD	DAT
Korngröße [mm]	0/11	0/16
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	≤ 3,0	≤ 5,0
Bindemittelorte	B 65, B 85	B 65, B 85
Bindemittelgehalt [Masse-%]	6,5 – 7,5	≥ 5,2
Fiktiver Hohlraumgehalt [Vol.-%]	≤ 20,0	≤ 20,0
Mineralstoff-Korngrößenverteilung		
≤ 0,09 mm [Masse-%]	12 – 16	9 – 14
≥ 2,0 mm [Masse-%]	40 – 55	50 – 65
Übersand [Masse-%]	≤ 8,0	≤ 8,0
Brechsand/Natursand	≥ 1 : 1	≥ 1 : 1
Mindestdicke [cm]	12 (zweilagig)	10

Im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung wurden bei der mineralischen Dichtungsschicht folgende Werte untersucht:

- Identitätskontrolle;
- Wassergehalt beim Einbau, Homogenität des Materials sowie die Anzahl der Walzenübergänge (je 1000 m² Einbaulage);
- Lagendicke, Ebenförmigkeit der Schichtfläche und Einhaltung der Soll-Höhenlagen (je 500 m² Einbaulage);
- Verdichtung und Homogenität der Lage (Dichte-, Wassergehalt- und Kornverteilungsbestimmung sowie optische Beurteilung) je 1000 m² Einbaulage;
- Durchlässigkeitsbestimmung (je 1000 m² Einbaulage).

Der Prüfungsumfang der Eigen- und Fremdüberwachung für die Asphalttrag- und die Asphalt dichtungsschicht wurde wie folgt festgelegt:

- Mischgutzusammensetzung (je 1000 m² pro Lage Dichtungsschicht und Tragschicht);
- Bindemittelgehalt (je 2500 m² pro Lage Dichtungsschicht und je 5000 m² Tragschicht);
- Mineralstoffe (bei jeder dritten Probe);
- Mischguttemperatur, Einbaudicke, Temperatur bei Verdichtungsende, eingesetzte Geräte, Ablauf des Einbaus, profilgerechte Lage, Verdichtungskontrolle und Nahtausbildung (laufend);

- Untersuchungen an Ausbaustücken / Bohrkernen falls erforderlich (je 3000 m² pro Lage Dichtungsschicht und 5000 m² Tragschicht).

4.2.3 Herstellung der Asphaltzwischenabdichtung

4.2.3.1 Mineralische Trag- und Dichtungsschicht

Vor dem Bau der 70 cm starken mineralischen Trag- und Dichtungsschicht (Ausgleichsschicht) wurde ein profilgerechtes Erdplanum angefertigt. Dazu wurden die vorhandenen Gasbrunnenköpfe gekürzt und in 2,0 m Tiefe an die am Gasdom befindlichen Leitungen angeschlossen. Der verbleibende Raum zwischen Brunnenkopf und bestehender Oberflächenabdichtung wurde mit dem beim Aushub angefallenen Erdmaterial wieder verfüllt und verdichtet. Das Planum wurde dachprofilartig ausgebildet, wobei die Dachprofile peripher auf die Hauptentwässerung zulaufen, die dem Längsgefälle folgt. Der Untergrund wurde einplaniert und abgewalzt, dabei waren für die Erstellung der Dachprofile, Massenbewegungen des vorhandenen Materials notwendig.



Bild 4.4: Einbau der mineralischen Trag- und Dichtungsschicht

Die mineralische Trag- und Dichtungsschicht wurde aus Geschiebemergel in zwei Lagen je 35 cm aufgebracht (vgl. Bild 4.4), wobei die untere Lage zur besseren Verzahnung 3 – 6 cm aufgerissen wurde. Bei einem geforderten Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 0,95$ zeigte das Material einen Durchlässigkeitsbeiwert $k \leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s und konnte für den Einbau freigegeben werden.

Neben der Einhaltung zum Verdichtungsgrad und Verformungsmodul wurde die Tragfähigkeit der mineralischen Dichtungsschicht auf einfache Weise geprüft. Entstanden bei der Überfahrt von beladenen Lkws Verdrückungen (vgl. Bild 4.5), war die Tragfähigkeit für den weiteren Einbau und die Verdichtung der Deponieasphaltragschicht nicht ausreichend.

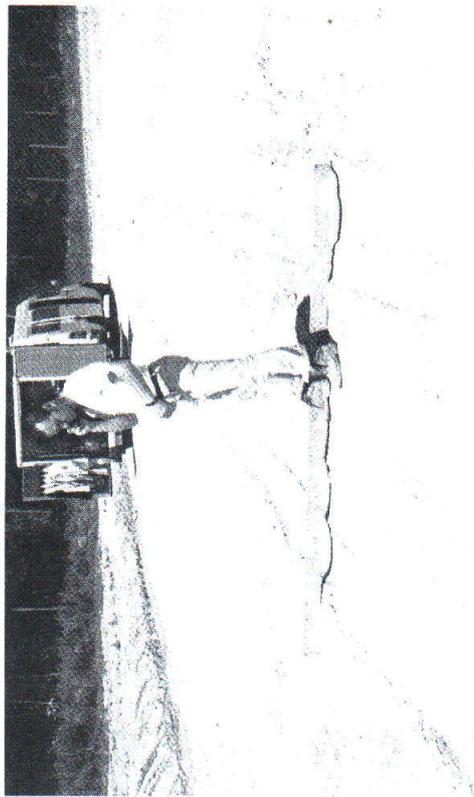


Bild 4.5: Verdrückungen nach einer Lkw-Überfahrt im Prüffeld 1

4.2.3.2 Deponieasphaltragschicht und Deponieasphaltdichtungsschicht

Über die mineralische Trag- und Dichtungsschicht wurde eine 10 cm starke Deponieasphaltragschicht und eine aus zwei Lagen (je 6 cm mächtig) bestehende Deponieasphaltdichtungsschicht angeordnet (Bild 4.6).

Anhand der Eignungsprüfung und der Probefelder wurden die Anforderungen an die Mischgutzusammensetzung vorgegeben, die wie die Tabellen 4.4 und 4.5 zeigen bei den Eigen- und Fremdüberwachungen im Rahmen der zulässigen Toleranzen (vgl. Tabelle 4.3) eingehalten wurden.

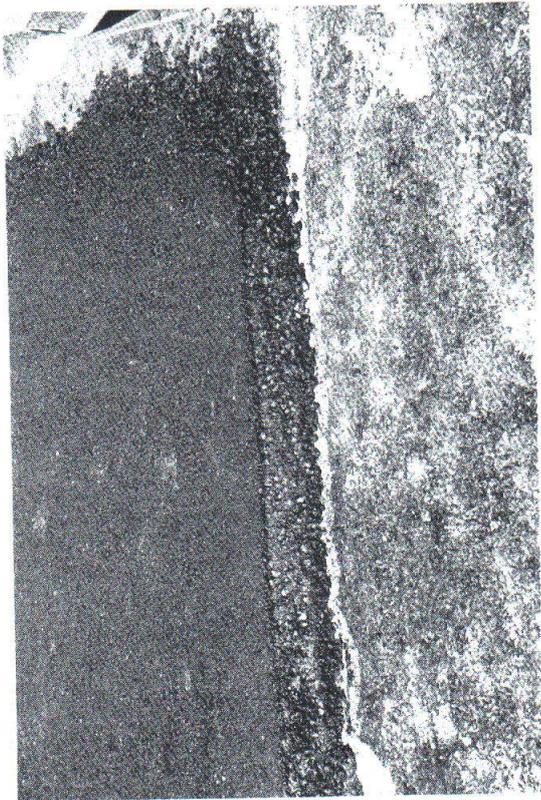


Bild 4.6: 1. Lage Deponieasphaltdichtungsschicht auf der Deponieasphaltragschicht

Bei der Überprüfung des Erweichungspunktes des rückgewonnenen Bindemittels wurden sowohl bei der Deponieasphaltragschicht als auch bei den beiden Lagen der Deponieasphaltdichtungsschicht keine Überbeanspruchung des Bindemittels durch Herstellung, Transport und Einbau des Mischguts festgestellt. Auch die jeweiligen Nahtausbildungen zwischen zwei Fertigerbahnen und die Oberflächenstruktur der Schichten wurden nach Augenschein für ordnungsgemäß befunden. Bei der Überprüfung der Dichtigkeit der Nähte mittels der Vakuumglocke wurden keine Mängel festgestellt.

Tabelle 4.4: Ergebnisse der Eigen- und Fremdüberwachung für die Deponiespalthittragschicht (DAT)

Eigenschaften	Anforderungen	DAT
Mineralstoffe [Masse-%] Splitt Sand Füller	57,8 31,1 11,1	53,3 bis 62,6 28,8 bis 35,2 10,0 bis 12,9
Bindemittelgehalt [Masse-%]	5,6	5,3 bis 5,9
Hohlraumgehalt aus Marshall-Probekörper [Vol.-%]	2,1	0,9 bis 2,5
Hohlraumgehalt aus Isotopenmessungen an der fertigen Schicht [Vol.-%]	≤ 5,0	≤ 5,0

Tabelle 4.5: Ergebnisse der Eigen- und Fremdüberwachung für die Deponiespalthittragschicht (DAD)

Eigenschaften	Anforderungen	DAD	
		1. Lage	2. Lage
Mineralstoffe [Masse-%] Splitt Sand Füller	49,1 38,2 12,7	43,3 bis 57,9 32,2 bis 42,5 9,9 bis 15,3	44,0 bis 50,2 33,1 bis 43,4 11,0 bis 14,8
Bindemittelgehalt [Masse-%]	6,8	6,2 bis 7,3	6,7 bis 7,3
Hohlraumgehalt aus Marshall-Probekörper [Vol.-%]	1,6	0,9 bis 2,0	1,1 bis 2,1
Hohlraumgehalt aus Isotopenmessungen an der fertigen Schicht [Vol.-%]	≤ 3,0	≤ 3,0 (Einzelwert bei 3,1)	0,0 bis 2,2

4.2.3.3 Derzeitiger Ausführungsstand

Die Asphaltzwischenabdichtung wurde 1998 fertiggestellt. Auf dem ersten Teilbereich, der durch eine Gußasphaltsperrwand im Tiefpunkt und durch Betonfertigteile bis zum Hochpunkt getrennt wurden, wird bereits Hausmüll aufgetragen (Bild 4.7). Die Trennung des Verfüllabschnitts von der übrigen Fläche wurde vorgesehen, um das auf der freien Fläche anfallende

Niederschlagswasser und das kontaminierte Sickerwasser gesondert behandeln zu können. Entsprechend wurde nur der zur Verfüllung genutzte Bereich mit einer Dränageschicht versehen und an die Sickerwasserleitung angeschlossen.

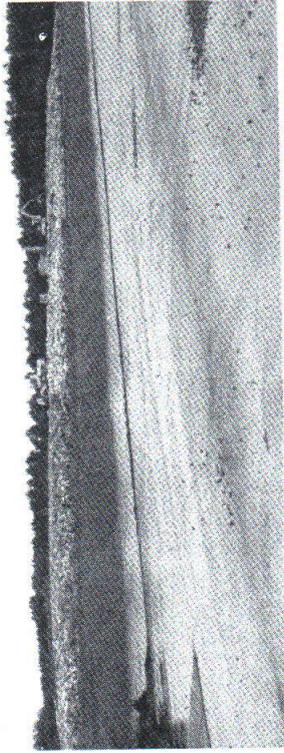


Bild 4.7: Verfüllung des ersten Teilbereichs mit Hausmüll

Weitere Ausführungshinweise siehe auch *Kempfert (1998)* und *Berner/Koberstein (1998)*.

4.3 Hinweise und Erfahrungen bei der Herstellung der Asphaltabdichtung

Nachfolgend sind einige Hinweise und Erfahrungen aus der Baumaßnahme zusammengestellt, *Berner/Koberstein (1998)*.

Die vorbereitenden Maßnahmen wurden im März begonnen. Die Arbeiten in kontaminierten Bereichen auf der Deponie, insbesondere das Herstellen des Arbeitsplans erforderlich einen Sicherheits- und Alarmplan gemäß ZH 1/183 der TBG. Die sehr nasse Jahreszeit von April bis Juli führte zunächst zu erheblichen Verzögerungen im Bauablauf.

Die überwiegend trockenen und warmen Monate August bis Oktober waren eine wesentliche Voraussetzung für eine weitgehend störungsfreie Bauausführung. Zeitweise wurde dafür im Zwei-Schichtbetrieb gearbeitet. Positiv für die zügige Abwicklung erwies sich auch die Nähe

der Asphaltmischanlage in rd. 25 km Entfernung, die über die Asphaltbauzeit fast ausschließlich für die Deponiebaumaßnahme freigestellt war. Zur Ausführung der Trag- und Dichtungsschichten wurden die im Straßenbau üblichen Gerätschaften verwendet. Da es keine steilen Böschungen gab, wurden keine besonderen Anforderungen für Steileinbau gestellt.

Ein Problemfeld entstand in der Ausbildung der bindigen mineralischen Dichtungsschicht als Auflager für die Asphalttragschicht. Obwohl ein gut verdichtbares, tragfähiges und gleichzeitig sehr gering durchlässiges Erdmaterial (gemischtkörniger Boden) möglichst nahe am optimalen Wassergehalt eingebaut wurde, führten nasse Stellen und frischer Müll als Auflager immer wieder zu Problemen bei der Einhaltung der Tragfähigkeitsanforderungen an die mineralische Trag- und Dichtungsschicht. Bei stark verminderter Tragfähigkeit mit tiefen Einsenkungen und Spurrillenbildung bei LKW-Überfahrt wurde deshalb stellenweise und kleinteilig ein Austausch Müll (bis zu 1 m Tiefe) gegen Tragschichtmaterial vorgenommen. Generell zeigte sich jedoch, dass 70 cm als mineralische Dichtungs- und Tragschicht ausreichen, wenn nicht gerade frischer Müll als Auflager ansteht. In Bereichen, wo sich bei einer LKW-Überfahrt keine Einsenkungen und Spurrillen zeigten, so dass ein ordnungsgemäßer Asphalt-einbau zu erwarten war, wurde trotz gemessenen Tragfähigkeiten von $E_{v2} = 20\text{-}30 \text{ MN/m}^2$ auf einen Bodenaustausch verzichtet. Ebenfalls wurde auf die strikte Einhaltung eines Einbauwassergehaltes auf der nassen Seite der Proctorkurve verzichtet, um die Tragfähigkeit zu sichern.

Die Prüfung der Tragfähigkeit durch LKW-Überfahrt erwies sich als pragmatische und preiswerte, flächendeckende Kontrollmöglichkeit mit eindeutiger Korrelation zu den Prüfergebnissen aus Plattendruckversuchen. Die ausreichende Verdichtbarkeit der Asphalttrag- und -dichtungsschicht trotz geringer Tragfähigkeit der mineralischen Trag- und Dichtungsschicht wurde in Probefeldern nachgewiesen.

Das Problem der Dampfblasenbildung beim Heißeinbau des Asphaltmischgutes auf der mineralischen Abdichtungs- und Tragschicht entfiel wegen der günstigen Eigenschaften des weitgestuften gemischtkörnigen Bodens und seiner beim Asphaltbau gut abgetrockneten Oberfläche. Die Verdichtungsanforderungen an den Asphalt konnten (trotz teilweise Unterschreitung der geforderten Auflagersteifigkeit des Verformungsmoduls $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$) durchgehend eingehalten werden.

Aufgrund der Problematik des Sickerrohrauflagers bei Asphaltabdichtungen wurden hier abweichend von Bild 2.4 gemäß Bild 4.8 und 4.9 die Rohre in einer zusätzlich über dem Asphalt angeordneten mineralischen Dichtungsschicht verlegt.

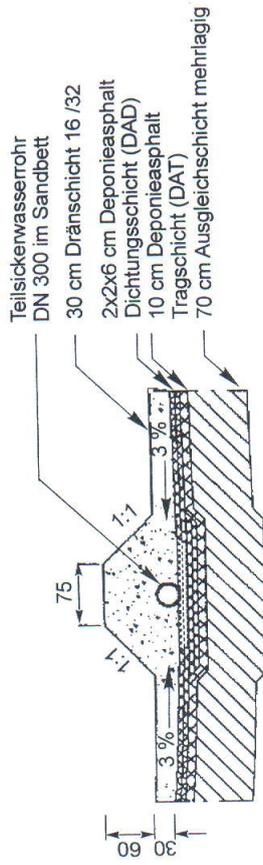


Bild 4.8: Schema der Asphaltzwischenabdichtung mit Sickerrohr

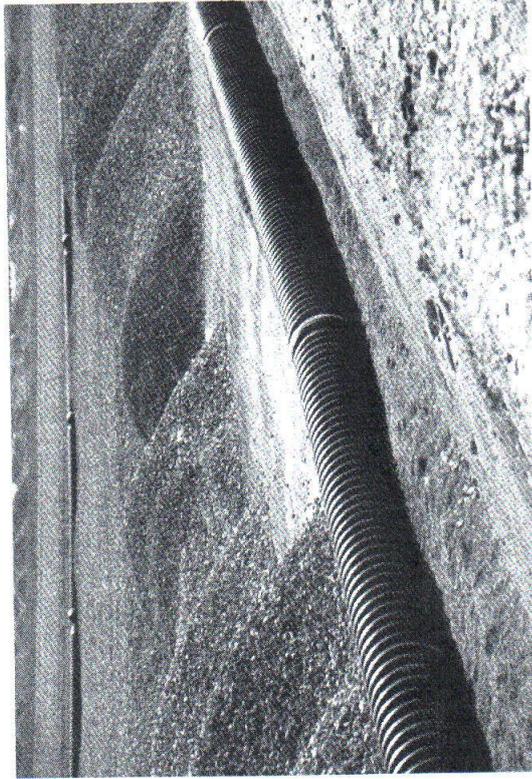


Bild 4.9: Ausführung nach Bild 4.8

Die äußerst kostengünstige Ausführung der Zwischenabdichtung von rd. DM 73,40 netto je m^2 wurde zum einen durch regionale Vorteile (natürliches Vorkommen von geeignetem mineralischen Dichtungsmaterial) sowie die hier zugelassene und als technisch ausreichend wirksam anzusehende Herstellung der DAT mit Recyclingmaterial bewirkt.

5 Literaturverzeichnis

- Arand, W. / Haas, H. / Steinhoff, G. (1992):* Eignung von Asphalten als Baustoff für Basisabdichtungen von Deponien. Schlussbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 7959, TU Braunschweig
- Arand, W. / Haas, H. / Steinhoff, G. (1997):* Eignung von Asphalten als Baustoff für Basisabdichtungen von Deponien, Teil 2. Schlussbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 10225, TU Braunschweig
- Arand, W. / Haas, H. / Steinhoff, G. (1992):* Zur Herstellbarkeit, Beständigkeit und Wirksamkeit von Deponiebasisabdichtungen aus Asphalt. Bitumen Heft 4
- Arand, W. / Haas, H. / Steinhoff, G. (1992):* Zur Herstellbarkeit, Beständigkeit und Wirksamkeit von Deponie-Basisabdichtungen aus Asphalt. STRABAG Schriftenreihe Nr. 47: Deponietechnik, Verfahren zum Deponiebau
- August, H. (1994):* Abdichtungssysteme mit Asphalt. BAM: Forschungsbericht 201 „Deponieabdichtungssysteme; Statusbericht“
- August, H. (1995):* Gleichwertigkeitsbetrachtungen an Basisabdichtungsvarianten; Einige Richtigstellungen und Anmerkungen zum Beitrag in Müll und Abfall 10/94. Müll und Abfall Heft 1
- Berner, U. / Koberstein, J. (1998):* Erfahrungen beim Bau einer Asphaltzwischenabdichtung. 69 Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft: Zeitgemäße Deponietechnik, Erich Schmidt Verlag
- Demmert, St. / Steffen, H. / Asmus, D. (1994):* Gleichwertigkeitsbetrachtungen an Basisabdichtungsvarianten. Müll und Abfall Heft 10
- DIBt (1995):* „Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DIBt (1996):* „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: Deponieasphalt für Deponieabdichtungen der Deponiekategorie II“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DIBt (1996):* „Merkblatt: Herstellung, Lagerung, Transport und Einbau von Deponieasphalt“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DIBt (1996):* „Merkblatt: Qualitätssicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien, Teil 1: Grundsätzliche Bestimmungen für die Qualitätssicherung bei Herstellung und Einbau von Deponieasphalt“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- DIBt (1996):* „Merkblatt: Qualitätssicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien, Teil 2: Durchführung der projektbezogenen Eignungsprüfung von Deponieasphalt“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt (1996): „Merkblatt: Qualitätssicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien, Teil 3: Qualitätssicherung bei der Herstellung des Deponieasphalts im Mischwerk“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

DIBt (1996): „Merkblatt: Qualitätssicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien, Teil 4: Qualitätssicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien“, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

GDA-Empfehlungen (1997): Geotechnik der Deponien und Altlasten. 3. Auflage, Verlag Ernst & Sohn

DIWK (1992): Asphaltabdichtungen für Talsperren und Speicherbecken Merkblatt 223. Bonn

DIWK (1996): Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise Merkblatt 237. Bonn

Egloffstein, Th. / Burkhardt, G. (1996): Die mineralische Trag- und Dichtungsschicht als stabiles und dichtes Auflager für die Deponieabdichtung in Asphaltbauweise. In: 12. Nürnberger Deponieseminar: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, Heft 75, LGA-Grundbauinstitut

Egloffstein, Th. / Burkhardt, G. (1995): Asphaltabdichtungen im Vergleich mit anderen Abdichtungsmaterialien. Kontakt & Studium, Band 488, expert Verlag, Hrsg. Technische Akademie Esslingen

FGSV (1998): Merkblatt für das Herstellen von Nähten und Anschlüssen in Verkehrsflächen aus Asphalt. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln

FGSV (1998): Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln

FGSV (1998): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (ZTV Asphalt – SIB 94) mit Änderungen und Ergänzungen. Köln

FGSV (1997): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTVE – SIB 94). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln

FGSV (1995): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTVT – SIB 95). Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Köln

Haas, H. (1995): Abschließender Kommentar zur Stellungnahme von H. August zu dem in Bitumen 1/95 veröffentlichten Aufsatz Deponieabdichtungssysteme mit Asphalt – Anmerkungen zum Forschungsbericht 201 der Bundesanstalt für Materialforschung und Materialprüfung, Bitumen, Heft 3

- Haas, H. / Btkar, R. (1973): Untersuchungen über den Einfluss der Dichte auf die Wasserdurchlässigkeit von Asphaltbetonen. Strabag-Schriftenreihe 9. Folge, Heft 1
- Haas, H. (1992): Zur Verformbarkeit von Dichtungsbelägen aus Asphalt. Bitumen Heft 4
- Hämmerle, E. (1996): Erfahrungen bei der Herstellung einer Asphaltabdichtung. 12. Nürnberger Deponieseminar: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, Heft 75, LGA-Grundbauinstitut
- Herold, C. (1996): Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Asphalt zur Basisabdichtung von Deponien. Sonderdruck aus Asphalt, Heft 8
- Herold, C. (1996): Bauaufsichtliche Zulassung für alternative Dichtungselemente in Deponieabdichtungssystemen. 12. Nürnberger Deponieseminar: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, Heft 75, LGA-Grundbauinstitut
- Hessische Landesanstalt für Umwelt (1998): Alternative Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien. Heft 248
- Hösel, G. / Schenkel, W./Schnurer, H. (1996): Müllhandbuch. Band 4, Erich-Schmidt Verlag
- Kempfert + Partner GmbH (1998): Ausführungsunterlagen und Abnahmebericht für das Projekt Kreismülldeponie Konstanz-Dorfweier, Zwischendichtung in Asphaltbauweise. (unveröffentl.)
- Ryser, W. / Textor, S. (1995): Planungs- und Ausführungsgrundlagen in der Schweiz. Kontakt & Studium, Band 488, expert Verlag, Hrsg. Technische Akademie Esslingen
- Schellenberg, K. / Maurer, W. (1992): Asphaltabdichtung in Deponien – Hausmülldeponie Oberndorf-Bochingen. Bitumen Heft 1
- Schellenberg, K. (1995): Erfahrungen mit dem Einsatz einer Asphaltabdichtung in der Deponie Bochingen. Kontakt & Studium, Band 488, expert Verlag, Hrsg. Technische Akademie Esslingen
- Schellenberg, K. (1998): Oberflächenabdichtungen aus Asphalt. 69. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft: Zeitgemäße Deponietechnik, Erich Schmidt Verlag
- Schönian, E. (1991): Asphaltbeton – Dichtungen im Deponiebau. Müll und Abfall Heft 1
- Schönian, E. (1991): Asphaltbeton – Dichtungen im Deponiebau, Ergänzungen zum Aufsatz 1/91. Müll und Abfall Heft 3
- Steffen, H. et al. (1993): Gutachten über die Eignung von Asphalt für die Herstellung von Deponieabdichtungen. Im Auftrag des Deutschen Asphaltinstituts, Projekt – Nr. 9001 (unveröffentl.)

- Steffen, H. (1995): Gleichwertigkeit von Oberflächenabdichtungen aus Asphaltbeton. 37. Schriftenreihe angewandte Geologie Karlsruhe
- Steinhoff, G. (1995): Beständigkeit und Wirksamkeit von Asphaltabdichtungen. Kontakt & Studium, Band 488, expert Verlag, Hrsg. Technische Akademie Esslingen
- Stockmeyer, M. R. / Müller, E. R. (1997): Praktische Erfahrungen mit Asphaltabdichtungen in der Schweiz, In: 13. Nürnberger Deponieseminar: Geotechnische Fragen beim Bau neuer und bei der Sicherung alter Deponien, Heft 76, LGA-Grundbauinstitut
- Zitscher, F.-F. / Zitscher, M. (1996): Das DVWK-Merkblatt 237/1996: Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise, 12. Nürnberger Deponieseminar: Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien, Heft 75, LGA-Grundbauinstitut
- ZTV bit-S/B 84 (1984): Zusätzliche technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau bituminöser Fahrbahndecken; Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn