

Bestandsaufnahme und Ertüchtigung der eIMD Prael/Sprendlingen, Rheinland-Pfalz

Stefan Melchior, melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg

Rolf Schicketanz, Ingenieurbüro Schicketanz, Aachen

Werner Friedrich, IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut mbH, Hannover

Said Lahham, Rubel & Partner, Wörrstadt

1 Historie und Bestandsaufnahme der eIMD Prael (1966 – 2002)

1.1 Standort und Abfallablagerung (1966 – 1979)

Die ehemalige Industriemülldeponie (eIMD) Prael befindet sich ca. 250 m südwestlich des Ortsrandes von Sprendlingen, einer ca. 3600 Einwohner zählenden Gemeinde im Kreis Mainz-Bingen am Westrand von Rheinhessen. Sie liegt auf rund 140 m NN und ist in eine flachhügelige Landschaft eingebettet, die von Ackerbau und Weinbau geprägt wird.

Das Klima ist am Standort Sprendlingen feucht-gemäßigt und zeichnet sich infolge der Lage im Lee der westlich und nördlich gelegenen Mittelgebirge Hunsrück und Taunus durch hohe Sonnenscheindauer, insgesamt geringe Luftfeuchte, hohe mittlere Jahrestemperaturen und für Deutschland sehr geringe mittlere Jahresniederschläge von rund 500 mm/a aus.

Die Abfallablagerung erfolgte in eine Lösslehmgrube der ehemaligen Ziegelei Schnell & Pfeil. Die Grube wurde für die Löss und Lösslehmgewinnung in einen flachen, nach Osten in Richtung zur Ortslage Sprendlingen geneigten Hang maximal 12 m tief eingeschnitten und später so weit mit Abfällen aufgefüllt, dass der höchste Punkt der Deponie nach der ersten Profilierung rund 5 m über dem Ursprungsgelände lag (Hangneigung rund 1 : 16).

Von 1966 bis 1972 deponierte die Firma Erwin Prael mit Genehmigung des Landratsamts Bingen in der ehemaligen Ziegeleitongrube ca. 450.000 t Abfälle aus der chemischen Industrie (nach [1], u.a. Kunststoff-, Klebstoff-, Bitumen- und Harzrückstände, Teerschlämme, ölige Klärschlämme, Schädlingsbekämpfungsmittel, Farben, Lacke, Säuren). Von 1970 bis 1979 wurden außerdem ca. 250.000 t Bauschutt, Erdaushub und geringe Mengen an Hausmüll durch die Gemeinde Sprendlingen und private Anlieferer abgelagert. 1974 wurden außerdem widerrechtlich auch cyanidhaltige Härtesalze, Rückstände aus der HCH-Produktion, Lösungsmittel, Kresole, Trichlorphenole, Arzneimittelrückstände, Destillationsrückstände der organischen Chemie, PCB-haltige Abfälle, Schwermetalle und CKW abgekippt. Insgesamt wurden auf einer Fläche von 10 ha ca. 640.000 m³ Abfälle eingebaut, wovon 2/3 aus der Industrie stammten. Das Sickerwasser ist vor allem im westlichen, ca. 7 ha großen Industriemüllbereich hoch mit organischen Schadstoffen belastet. Aufgrund des hohen Sondermüllanteils ist die Bildung von klassischem Deponiegas relativ gering. Auffällig sind lösemittelhaltige Gase, die bei einigen Bohrungen und Schürfen angetroffen wurden. Setzungen spielen keine wesentliche Rolle.

Die eIMD Prael weist an ihrer Basis keine technische Barriere oder Sickerwasserfassung auf. Sie verfügt allerdings über eine sehr mächtige geologische Barriere, den Rupelton, der den unteren Grundwasserleiter als Aquitard schützt. Der Rupelton ist eine im gesamten Mainzer Becken vorhandene tertiäre Meeresablagerung, die im Deponiebereich Schichtdicken von 80 bis 100 m erreicht [1].

Im Spättertiär und im Pleistozän hat der Rupelton an der Oberfläche Umlagerungen erfahren und es wurden durch kleine Fließgewässer erosive Rinnenstrukturen in der Rupeltonoberfläche angelegt und z.T. mit sandig-kiesigen, bis zu 2,2 m mächtigen Terrassenablagerungen verfüllt. Diese Terrassenschotterrinnen und -linsen sind wasserführend und bilden aktuell den oberen Grundwasserleiter. Der Terrassenschotter und der nicht durch Sande und Kiese bedeckte Rupelton wurden im Periglazial durch 11 bis 12 m mächtige quartäre Lössschichten überdeckt, die ihrerseits z.T. durch Solifluktion umgelagert und später im Bereich der Deponie für die Ziegelherstellung abgebaut wurden.

Die aktuelle Vorflut bildet der Wiesbach, der im Osten der Deponie durch die Ortslage Sprendlingen fließt. In diese Richtung strömt auch das Grundwasser. Die Grundwasserströmung findet im Deponiebereich aufgrund der guten hydraulischen Durchlässigkeit vorrangig innerhalb der Terrassenablagerungen statt (vgl. hierzu [2]). Aufgrund der Topographie weist die Deponie im Grundwasser oberstrom ein relativ kleines Einzugsgebiet auf. Das Grundwasser ist im Abstrom der Deponie bereichsweise sehr stark mit organischen Schadstoffen belastet.

Zusammenfassungen zur Historie sowie Lagepläne können [1], [6] und [7] entnommen werden.

1.2 Erste Sanierung (1985/88 und 1994)

Die Fa. Prael entzog sich 1977 ihrer Sanierungs- und Rekultivierungsverpflichtungen durch Konkurs, so dass das Land Rheinland-Pfalz 1982 die Sanierungsverpflichtung der Altlast übernahm. Als erster Schritt wurden schon 1979/80 tonige Aushubmassen auf die Deponieoberfläche aufgebracht. Nachdem in den Folgejahren vermehrt Grundwasserkontaminationen in Sprendlinger Hausbrunnen auftraten, wurde nach umfangreichen Erkundungen in den Jahren 1985 bis 1988 ein Sanierungskonzept zur Einkapselung und hydraulischen Sicherung der Deponie aufgestellt und umgesetzt, das aus folgenden Teilmaßnahmen bestand:

- Oberflächenabdichtung zur Rückhaltung und Ableitung von jährlich ca. 10.000 m³ Niederschlagswasser:
 - Gras- /Krautvegetation mit einzelnen Gehölzinseln
 - Rekultivierungsschicht (ca. 0,8 m, an der Basis zusätzlich in Sand verlegte, geschlitzte Kunststoffdränrohre zur Entwässerung im Abstand von 10 m)
 - bentonitvergütete Lösslehm- und Tondichtung (ca. 0,3 m)
 - alter Tonaushub und bindige Böden als Auflager
- Dichtwände im Oberstrom zur Unterbindung des Grundwasserzustroms (rund 6.000 m³/a) und im Abstrom zur Verhinderung von Sickerwasseraustritten:
 - Umschließungslänge 1.062 m (mit einer Lücke im Nordwesten, da dort eine den Zu- und Abstrom verhindernde Schwelle im Rupelton vermutet wurde)

- Tiefe 6 bis 15 m, Wandstärke 0,6 m, planmäßige Einbindetiefe in den Rupelton 1,0 m, laut Genehmigung max. zulässige Wasserdurchlässigkeit 1×10^{-8} m/s
 - Zweiphasendichtwand aus Erdbeton im Nordosten und im Südwesten (Zementbindemittel „Solidur“, Natriumbentonit und tonhaltiges Steinmehl)
 - Einphasendichtwand aus Zement-Bentonit-Suspension mit eingestellter Kunststoffdichtungsbahn (PEHD, 2 mm) im westlichen Zustrom und im östlich-südöstlichen Abstrom (im Abstrom zusätzlich mit Fußplombe aus feststoffreicher Dichtwandmasse)
- Brunnen innerhalb der Deponie zur Entwässerung des Müllkörpers und zur Absenkung des Stauwasserspiegels innerhalb der Dichtwandumschließung unter den Grundwasserspiegel außerhalb
 - Versickerungsbrunnen und –rigolen außerhalb der Umschließung zur Grundwasseraufhöhung außerhalb der Umschließung

Über zwei Entnahmebrunnen, eine zusätzliche Rigole und einzelne Schächte wurden im Osten innerhalb der Dichtwandumschließung kontaminierte Wässer gefasst, zunächst in Tanklager geleitet und extern entsorgt. 1994 wurde die neu errichtete Deponiesickerwasserreinigungsanlage (DSRA) auf dem Deponiegelände in Betrieb genommen und 2002 verfahrenstechnisch erweitert. Ziel der Sickerwasserfassung im Deponiekörper war die Einstellung eines „inversen Gradienten“, so dass die Wasserströmung antreibende Druckgefälle von außen nach innen gerichtet wird und der konvektive Wasserfluss der Schadstoffdiffusion nach außen entgegen wirkt. Zur Kontrolle der Maßnahmen wurde ein umfangreiches Grundwassermessnetz eingerichtet.

Die Dokumentation der ersten Sanierung 1985 bis 1988 ist aus heutiger Sicht relativ spärlich. In [3] bis [6] wurde nach Abschluss der Baumaßnahmen über die Sanierung berichtet. [1] enthält eine Zusammenfassung aus heutiger Sicht.

1.3 Bestandsaufnahme (1997 – 2002)

Seit der ersten Sanierung 1985-88 wurde der Sanierungserfolg durch Messung der Wasserqualität und der Wasserstände innerhalb und außerhalb der Dichtwandumschließung überwacht. Ab 1992 zeigte sich dabei trotz Oberflächenabdichtung und Sickerwasserentnahme ein Ansteigen der Sickerwasserstände innerhalb der umschlossenen Deponie. Innerhalb der Deponie stand das Sickerwasser bereichsweise mehrere Meter über dem Grundwasser außerhalb der Umschließung. Parallel dazu wurden auch außerhalb der Umschließung zunehmende deponiebürtige Sickerwasserbelastungen festgestellt, so dass 1997 eine umfassende Bestandsaufnahme als Grundlage zur Ableitung des weiteren Handlungsbedarfs begonnen wurde, die die nachfolgend kurz zusammengefassten Ergebnisse hatte (siehe hierzu auch [1] und [9]).

1.3.1 Oberflächenabdichtung

Die 1985/86 hergestellte Oberflächenabdichtung wurde 1997/98 durch Sondierungen, 7 Schürfe und umfangreiche Bodenuntersuchungen in Feld und Labor sowie eine Vegetationsaufnahme überprüft. Es zeigte sich, dass die Dichtung durch Aus-

trocknung und Schrumpfrissbildung sowie durch das Eindringen von Pflanzenwurzeln und Regenwürmern sehr stark und irreversibel geschädigt war. In-Situ-Versuche ergaben, dass die Wasserdurchlässigkeit der Dichtung gegenüber dem Einbau um das bis zu 400fache zugenommen hat. Die Rekultivierungsschicht war als Schutz der Dichtung zu geringmächtig, bestand jedoch überwiegend aus gut geeigneten, hochwertigen Böden, die allerdings durch Befahren beim Verlegen der Dränstränge bereichsweise stark verdichtet und in ihrem Wasserspeichervermögen geschädigt worden waren. Die Dränstränge in der Rekultivierungsschicht waren auch im Winter bei hohen Bodenwassergehalten nahezu wirkungslos, so dass das überschüssige Niederschlagswasser vertikal in die Deponie sickerte und nicht seitlich abgeführt werden konnte.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Oberflächenabdichtung wurden in [7] und [8] detailliert publiziert. Dort sind weitere Literaturverweise zur Bestandsaufnahme enthalten.

1.3.2 Dichtwand

Um die Funktionstauglichkeit der seit 1986/87 bestehenden Dichtwand zu überprüfen, waren vom Büro Arcadis Consult GmbH im Jahr 2000 eine Reihe von hydraulischen Tests durchgeführt worden. Die Tests bestanden hauptsächlich aus Kurzpumpversuchen, in denen der Wasserspiegel innerhalb der Umschließung über die Dauer von bis zu 3 Stunden abgesenkt wurde, während der Wasserspiegel in außen liegenden Pegeln gleichzeitig auf mögliche Druckreaktionen beobachtet wurde. Außerdem wurden Absenk- oder Auffüllversuche in Dichtwandpegeln durchgeführt, die ehemals entweder durch den Einbau von Filterrohren in die noch nicht abgebundene Einphasenwand oder mittels Kernbohrungen in der Zweiphasenwand hergestellt worden waren. Darüber hinaus standen die Schlossverbindungen zwischen den eingestellten Kunststoffdichtungsbahnen als Dichtwandpegel zur Verfügung.

Die hydraulischen Tests lieferten an insgesamt 10 Stellen der bestehenden Dichtwand Hinweise auf Undichtigkeiten bzw. erhöhte Durchlässigkeiten [18;12]. Hierfür wurden folgende Ursachen vermutet [18]:

- Unterströmung der Dichtwand aufgrund einer fehlenden Einbindung in den Rupelton,
- Fugen zwischen den Lamellen bzw. Risse oder andere Fehlstellen in der Dichtwand,
- Zersetzung des Dichtwandmaterials.

Als Folge der Bestandsaufnahme wurde 2004 an dem Teil der alten Dichtwand, der für die Abdichtung der eIMD Prael auch zukünftig eine wesentliche Rolle spielt, eine ergänzende Schwachstellenanalyse durchgeführt. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die Dichtwand an den überprüften 5 Stellen ihre Funktion erfüllt [19].

1.3.3 Sickerwasserhaushalt

Nachdem erkannt worden war, dass der Sickerwasserspiegel innerhalb der Dichtwandumschließung deutlich anstieg und, von wenigen Bereichen abgesehen, z.T. mehrere Meter über dem Grundwasserspiegel außerhalb der Dichtwand lag, wurden

2001 und 2002 neue Entnahmebrunnen auf der Deponie hergestellt [10] und durch Pumpversuche in ihrer Wirksamkeit überprüft [11]. Auf der Grundlage der dabei gewonnenen Erkenntnisse zum Untergundaufbau und zu den Strömungsverhältnissen wurden aktualisierte geologische Schnitte erstellt, hydraulische Modellrechnungen durchgeführt, der Wasserhaushalt der Deponie neu bilanziert und Empfehlungen zum Betrieb der Sickerwasserfassungsanlage gegeben [12].

Die Untergundaufschlüsse ergaben ein sehr komplexes Bild. Die Oberfläche des Rupeltons liegt in 10 bis 16 m Tiefe unter Gelände und ist nach Nordosten in Richtung zum Wiesbach geneigt. Es zeigte sich, dass die für den Sickerwassertransport maßgeblichen Terrassenablagerungen innerhalb der Deponie in drei Höhengniveaus liegen und hydraulisch getrennt sind: Eine untere Terrasse liegt im Nordost- und Ostteil, eine obere Terrasse im äußersten Westen und Südwesten der Deponie. Dazwischen befindet sich der kleinräumig stark zergliederte Übergangsbereich der mittleren Terrasse. Zwischen den Terrassen fehlen die sandigen und kiesigen Ablagerungen. Das Wasser ist in den Terrassenablagerungen gespannt. Der Schadstoffeintrag in das Sickerwasser der Terrassenablagerungen erfolgt mit hoher Wahrscheinlichkeit vor allem über Fehlstellen des Lösslehms, an denen der abgelagerte Sonderabfall direkten Kontakt mit den Terrassenablagerungen hat. Durch die Entnahmebrunnen werden sehr unterschiedlich belastete Wässer gefasst. Die alten Brunnen förderten überwiegend mäßig belastete Sickerwässer aus dem Ostteil der Deponie. Insbesondere im stark belasteten Süden ist die hydrogeologische Situation sehr komplex, so dass die Entnahmebrunnen nur sehr kleine Einzugsgebiete erfassen.

Die Wasserhaushaltsberechnungen ergaben, dass jährlich rund 4.000 bis 6.500 m³ Sickerwasser gebildet wurden, von denen 100 bis 900 m³/a über die Dichtwände und die Dichtwandlücke abströmten. Um die weitere Schadstoffausbreitung zu reduzieren, wurde empfohlen, die Sickerwasserentnahme aus der Deponie gegenüber den bisherigen Jahresmengen von rund 5.500 bis 6.500 m³ deutlich zu steigern.

1.3.4 Ablagerungsinventar

Auf der Grundlage einer aktuellen Bestandaufnahme [9] wurde die Grundfläche der Deponie mit 103.250 m² ermittelt. Ein Ablagerungskataster existiert für die Deponie nicht. Quantitative Angaben über die auf der Deponie eingelagerten Abfälle liegen nicht vor. Durch eine ebenfalls im Rahmen der Bestandaufnahme [9] durchgeführten multitemporalen Luftbildauswertung konnten innerhalb der Deponie unterschiedliche Ablagerungsflächen für Abfälle definiert werden, Differenziert wird zwischen Flächen die eindeutig mit Abfällen belegt wurden (Typ A) und Flächen auf denen eventuell Abfälle eingelagert wurden (Typ B).

Bei den Flächen von Typ A und B konnte aufgrund der historischen Entwicklung der Deponie unterschiedliche Teilflächen (Typ A.1, Typ A.1a, etc.) unterschieden werden.

Eindeutig hervorzuheben war hier die Fläche A.1 auf der Industrieabfälle eingelagert wurden. Hierbei handelt es sich um ca. 450.000 t aus der chemischen Industrie [1] mit vorwiegend Kunststoff-, Klebstoff-, Bitumen-, Harzrückstände, Teerschlämme, ölige Teerschlämme, Substanzen aus Schädlingsbekämpfungsmitteln, Farben, Lacke und Säuren und zusätzlich viel Unbekanntes. Darüber hinaus wurden, wie im Jahr 1974 polizeilich ermittelt, widerrechtlich auch cyanidhaltige Härtesalze, Rückstände aus der HCH-Produktion, Lösungsmittel, Uresole, Plenole, Arzneimittlrückstände,

Destillationsrückstände aus der organischen Chemie, PCB-haltige Abfälle, Schwermetalle und CKW abgelagert.

Zwischen 1970 und 1979 wurden in einem weiteren Bereich (A.2, A.3) ca. 250.000 t Abfälle von Privaten und der Gemeinde Sprendlingen abgelagert, die überwiegend aus Bauschutt, Erdaushub und in geringen Mengen Hausmüll enthielten. Im Laufe der Sanierungsarbeiten zeigten sich jedoch auf Fläche A.2 auch Sonderabfallablagerungen in Teilbereichen.

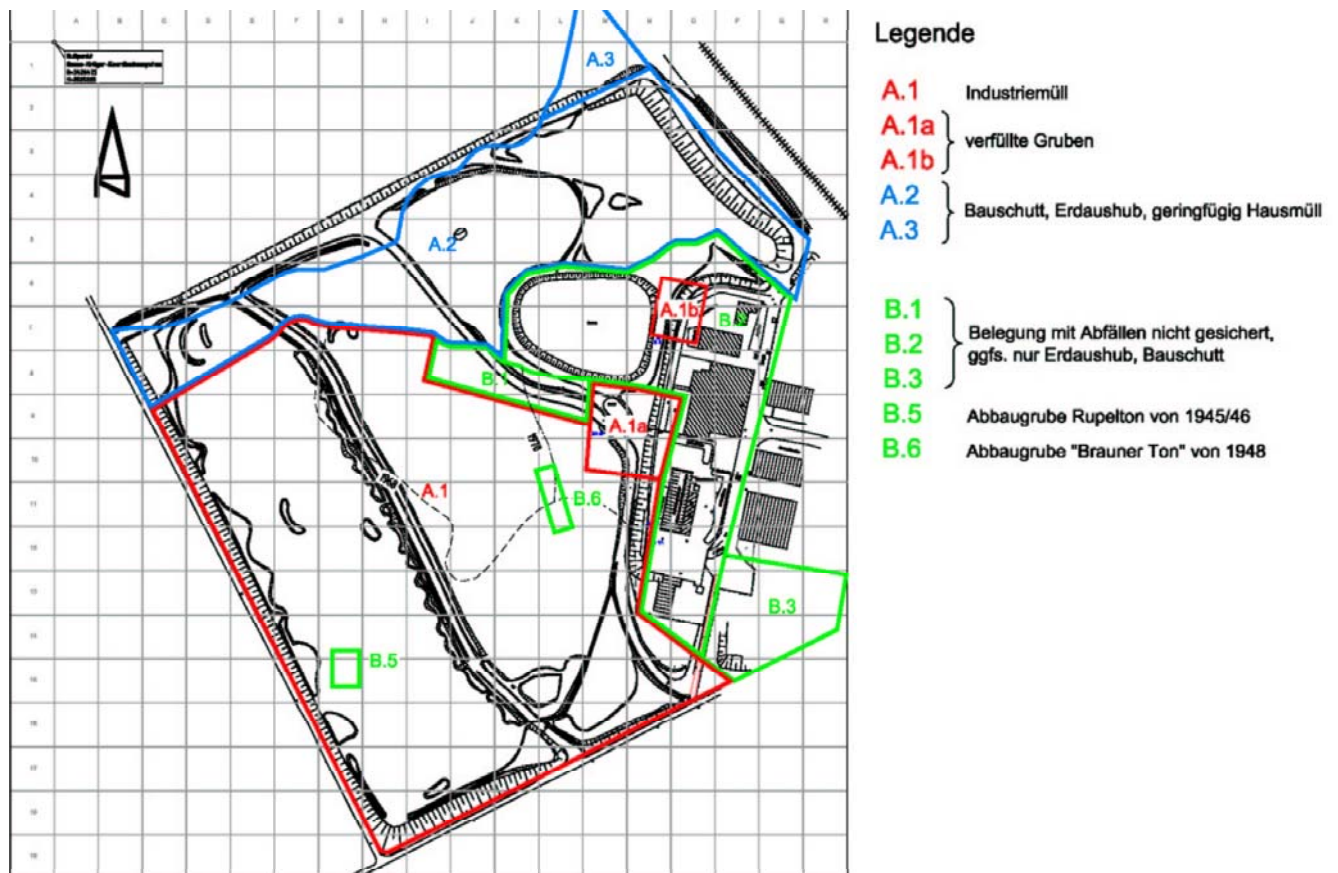


Abbildung 1.1 Ablagerungsbereiche eIMD Prael

Entsprechend den Angaben in [1, 9] beträgt das Gesamtvolumen der Ablagerung rund 640.000 m³. Davon entfallen ca. 520.000 m³ auf die Einlagerungsfläche A.1, ca. 120.000 m³ auf A.2 und rund 10.000 m³ auf die übrigen Teilflächen.

2 Ertüchtigung der Sanierung 2003 -2005

2.1 Sanierungsplan (Maßnahmen B1 bis B4)

Das Ergebnis der aktuellen Bestandsaufnahme [9] zu den Schadstoffemissionen belegte, dass Maßnahmen zur Ertüchtigung der Sicherung der Deponie notwendig sind. In einem Handlungskatalog wurde unterschieden zwischen baulichen und organisatorischen Maßnahmen.

Es wird hier ausschließlich auf die baulichen Maßnahmen, die als Maßnahmen B1 bis B4 benannt sind, eingegangen.

Maßnahme B1

Bau einer neuen Sickerwasserfassung und Absenkung des Sickerwasserspiegels in der Deponie, so dass entlang der Dichtwand ein Inversionsgradient vorliegt.

Umsetzung: April 2001 bis Februar 2002

Ziel: Absenkung des Sickerwasserspiegels in der Deponie auf Delta-Grundwasserniveau - 0,5 m

Wesentliche Bau- und Installationsleistungen:

- Abteufen von Vorbohrungen und Ausbau als Grundwassermessstellen / Kontrollpegel
- Abteufen von Brunnenbohrungen und Ausbau zu Entnahmebrunnen
- Bau eines eingehausten Tanklagers mit zwei Tanks (jeweils 100 m³ Volumen) zur Zwischenlagerung von schwach belastetem und stark belastetem Förderwasser sowie einer zentralen Steuereinheit (Register).
- Verlegung und Installation von Förderpumpen, Förderleitungen, Kabeln zur Datenübertragung und Stromversorgung, Mess- und Regeltechnik, Steuerwarte inkl. Datenerfassung und Visualisierung.
- Probetrieb, Pumpversuche

Maßnahme B2

Versiegelung der Oberfläche zwischen den Gebäuden im Osten der Deponie.

Umsetzung: April 2001 bis Mai 2002

Ziel: Reduzierung der Sickerwasserneubildung

Maßnahme B3

Neubau Oberflächenabdichtung (OAD) sowie Oberflächenentwässerung

Umsetzung: Sommer 2003 bis Sommer 2005

Ziel: Reduzierung der Sickerwasserneubildung

Maßnahme B4

Schließen der Dichtwandlücke im Norden sowie Reduzierung der Deponieflächen und Räumung einer Teilfläche der Deponie im Nordosten.

Umsetzung: Sommer 2003 bis Sommer 2005

Ziel: Reduzierung der Sickerwasserneubildung, Reduzierung der Deponiefläche, Schließen der Dichtwandlücke (hydraulische Bauweise), Umlagerung von Massen auf dem Hauptteil der Deponie.

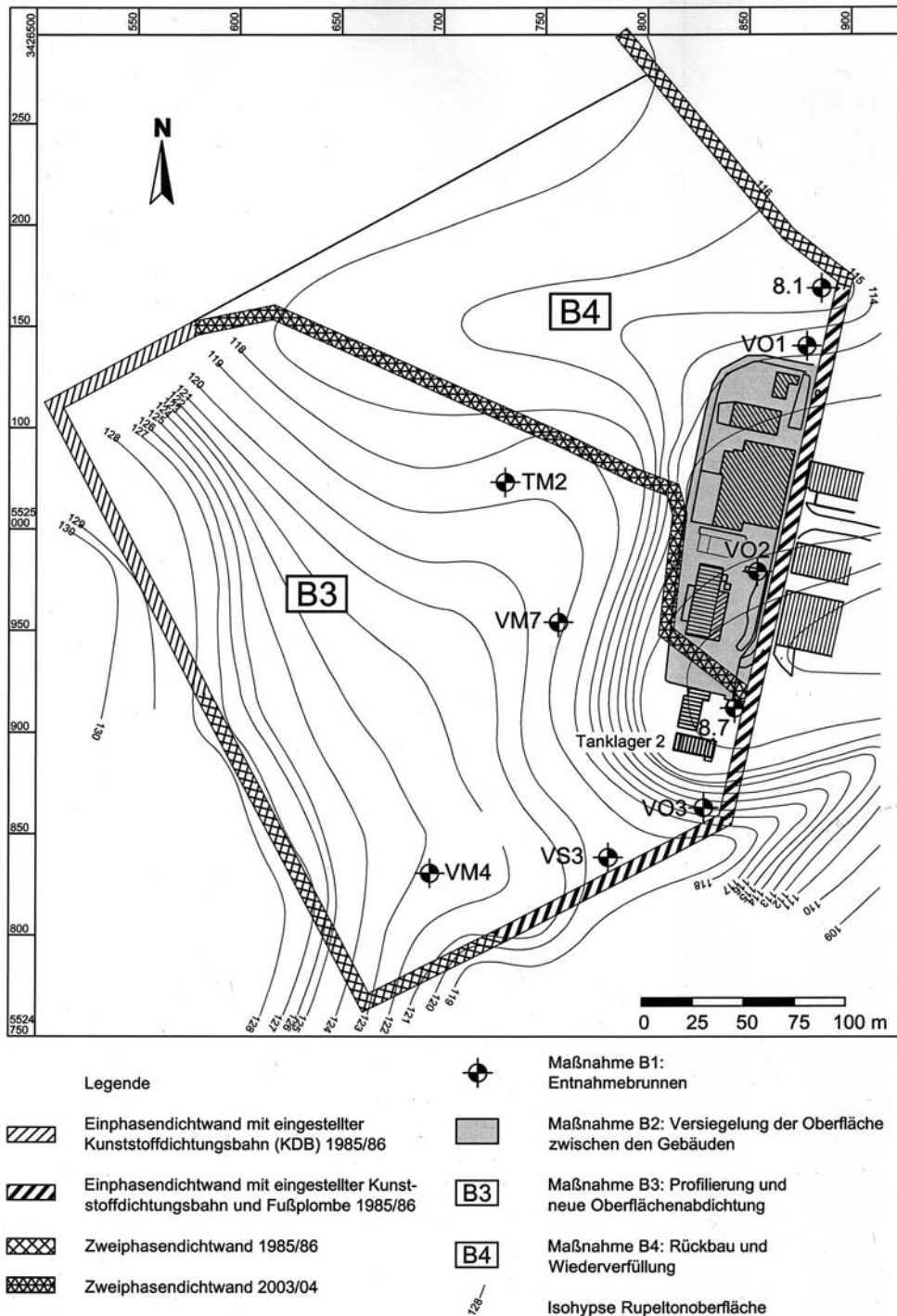


Abbildung 2.1 Lageplan der eIMD Prael

2.2 Projektbeteiligte

Die Projektbeteiligten bei Maßnahme B3 und B4 sind nachfolgende aufgestellt.

- Eigentümer der eIMD Prael, Sprendlingen
Land Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Ministerium für Umwelt und Forsten, Mainz
- Bauherr
Kreisverwaltung Mainz-Bingen, Ingelheim

- Fachbehörde / Behörde
Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz
Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz
Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle Wasser, Abfall, Boden, Mainz
Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Regionalstelle Gewerbeaufsicht, Mainz
- Projektmanagement
Kreisverwaltung Mainz-Bingen, Ingelheim
ARCARDIS Consult GmbH, Kaiserslautern
- Planungsbüros
Entwurfs- und Genehmigungsplanung der Oberflächenabdichtung
- Roth & Partner GmbH, Karlsruhe

Ausführungsplanung, Vorbereitung und Mitwirkung bei der Vergabe, Bauoberleitung, der Oberflächenabdichtung, Freiräumung, Dichtwandbau
- IGB Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg
- CDM Aman Infutec Consult AG & Co. KG, Bingen

Örtliche Bauüberwachung der Oberflächenabdichtung, Freiräumung, Dichtwandbau
- melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg
- AEW Plan GmbH, Köln
- Rubel & Partner, Wörrstadt

Fremdüberwachung Dichtwandbau
- IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut mbH

Fremdüberwachung Geokunststoffe
- Büro Schicketanz Beratender Ingenieur, VDI, ATV, Aachen

Fremdüberwachung Geotechnik, Rekultivierungsschicht
- melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, Hamburg

Bauvermessungsüberwachung der Oberflächenabdichtung, Freiräumung, Dichtwandbau
- Ingenieurbüro für Vermessungswesen Herbert Stahl, Mainz

Fremdüberwachung chemische Analytik
- ChemLab, Gesellschaft für Analytik und Umweltberatung mbH, Bensheim

Gewässerschutzbeauftragter gemäß WHG
- Rubel & Partner, Wörrstadt

SiGeKo gemäß RAB 30, Arbeits- und Umgebungsschutz in der Ausführung
- Rubel & Partner, Wörrstadt
- Bauausführende Firmen
Bau Reduzierung der Deponiefläche mit Flächenrecycling im Nordosten, Dichtwandbau, Oberflächenabdichtung, Oberflächenentwässerung
- ARGE Deponie Prael:

- Walter-Heilit Verkehrswegebau GmbH, Frankfurt am Main
- Brückner Grundbau, Dresden
- Heilit Umwelttechnik GmbH, Düsseldorf

2.3 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Aufgrund der angetroffenen Schadstoffe in Boden/Abfall, im Grund-, Schicht- und Sickerwasser und in der Bodenluft war es zum Schutz der Beschäftigten und der Anwohner während der Baumaßnahmen erforderlich, organisatorische und technische Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Diese Maßnahmen werden in einem Arbeits- und Emissionsschutzplan (A+E-Plan) incl. einer tätigkeitsbezogenen Gefährdungsabschätzung [18] sowie einem Sicherheits- und Gesundheitsplan (SiGePlan) festgelegt und mit der Gewerbeaufsicht abgestimmt.

Die wesentlichen technischen Schutzmaßnahmen aus [18] sind im folgenden beschrieben:

- Einrichtung Schwarzbereich mit Zugang über Fahrzeug- und Personenschleusen
- Einteilung des Schwarzbereiches in die Zonen I und II mit unterschiedlicher Schutzausrüstung
- Baubegleitende Gasmessungen (Stationäre Messgeräte, lokale Messgeräte, die dem Baufortschritt folgen, Messungen am Arbeitsplatz sowie mit PID)
- Taktplan für Profilierung des Abfallkörpers in Zone I
- Nur gekapselte (außenluftunabhängige) Baugeräte in Zone I
- Nur gekapselte Transportfahrzeuge im gesamten Schwarzbereich
- Klimatisierte Baugeräte in Zone II a und b
- Zwangsentlüftung (ex-geschützter Ventilator und Bewetterungslutte) der Arbeitsbereiche mit händischen Arbeiten in Schürfen und an Bohrlöchern (Brunnenherstellung)
- Zwangsbelüftung in Zone IIa beim Aushub für den Dichtwandbau, beim Bau der Sickerwasserdrainage und beim Bau der Dichtwand
- Im Schwarzbereich Tragen von Helm, Gehörschutz (bei Bedarf), Sicherheitsschuhen, Einweg-Schutzanzügen und chemikalien-beständigen Schutzhandschuhen obligatorisch. Bei den Einweg-Schutzanzügen sind im Regelfall staubdichte Schutzanzüge mit Kapuze einzusetzen. Die Kapuze war bei Staubverwehungen aufzusetzen. Wenn die Gefahr besteht, das die vor-Ort-Beschäftigten mit kontaminiertem Spritzwasser in Berührung kommen und bei Nassarbeiten waren spritzwasserfeste Einwegschutzanzüge zu tragen.
- Zusätzlich war ständig eine Halbmaske mit Atemfilter (Kombifilter ABEK2-P3) am Mann zu führen und bei Bedarf (Alarmsignale der Gasmessgeräte oder bei intensiven Gerüchen) zu tragen.
- Handarbeiten im Bereich der offenen Abfallflächen der Zone I waren mit außenluftunabhängiger Atemluftversorgung (Flaschen oder Anschluss an die Luftleitung) durchzuführen.
- Zur Abminderung der potentiellen Ausgasungsflächen waren die Oberflächen von angeschnittenen Industiemüllablagerungen (Abtragsbereiche in Zone I

sowie die Auftragsbereich mit Industriemüll in Zone I) mit einer bindigen Schicht abzudecken.

- Eine Umstellung der außenluftunabhängigen Atemluftversorgung auf gebläseunterstützte Vollmasken bzw. Halbmasken durfte erst nach mindestens 24 h Freimessung der Arbeitsbereiche in Zone I erfolgen (keine Gasalarmmeldung, keine starken Gerüche). Maschinelle Arbeiten in angrenzenden Bereichen (i. S. von Eingriffen in den Abfallkörper in Zone I) waren nur in einer Entfernung von mindestens 50 m und unter Beachtung der Windrichtung zulässig. Bei Eingriffen in den Abfallkörper durften sich auf der windabgewandten Seite keine Personen ohne außenluftunabhängiger Atemluftversorgung aufhalten.
- Zur Vermeidung von Staubverwehungen waren die offenen Abfallflächen abzuwalzen und falls erforderlich zu befeuchten. Die offenen Müllkörperflächen sind zu minimieren; sie dürfen maximal eine Flächengröße von 2.500 m² aufweisen.
- Um bei Unfällen oder im Haveriefall unter Vollschutz in einem Gefahrenbereich retten oder notwendige Reparaturarbeiten ausführen zu können, waren zwei umgebungs-luftunabhängige und chemikalienbeständige Vollschutzanzüge auf der Baustelle ständig vorzuhalten und im Bedarfsfall zu tragen.

Zusätzlich werden zahlreiche organisatorische Schutzmaßnahmen getroffen, wie z.B.:

- Kontinuierliche Überwachung der Arbeiten durch Arbeitsschutzkoordinatoren
- Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen
- Rettungsnotdienste und Rettungsketten
- Betriebsanweisungen und Unterweisung der Mitarbeiter / Überwacher auf der Grundlage der TRGS
- Freigelegte Abschnitte des Abfallkörpers (Bereiche ohne OAD) waren bei Industrie- oder Hausmüll und/oder Auftreten von Gerüchen arbeitstäglich jeweils zum Ende einer Arbeitsschicht mit bindigen Böden abzudecken und damit zu sichern.
- Personen durften sich freigelegten Abschnitten des Abfallkörpers (Bereiche ohne OAD) prinzipiell nur aus der Windrichtung her nähern. Zur Orientierung waren in ausreichender Anzahl Windrichtungsanzeiger aufgestellt.
- Maschinelle Arbeiten (i. S. von Eingriffen in den Abfallkörper in Zone I) und händische Arbeiten ohne außenluftunabhängige Atemluftversorgung (z.B. bei der Verlegung von Rohrleitungen usw.) waren räumlich voneinander zu trennen.
- Die gesamten Bautätigkeiten waren bezüglich freigesetzter Deponiegase messtechnisch zu überwachen. Dafür waren stationäre Gasmessstellen (SGM), lokale Gasmessstellen (LGM – Aufstellung bei Durchführung der maschinellen Arbeiten, sowie mobile Geräte (BGM-Aufstellung bei Durchführung der händischen Arbeiten) vorzusehen.
- Für die verschiedenen Tätigkeiten im Rahmen der Baumaßnahmen wurde eine tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung durchgeführt, aus der sich die erforderliche persönliche Arbeitsschutzausrüstung ergab.

2.4 Teilrückbau und Bodenmanagement

Die im Bereich der Fläche B4 (Maßnahme B4) liegenden Abfälle sollten ausgebaut bzw. rückgebaut und auf den Bereich der Fläche B3 (Maßnahme B3) verbracht werden. Die Abfälle sollten vornehmlich aus Hausmüll und mineralischem Material (Boden und Bauschutt) bestehen. Ausgangslage war, dass von einer rd. 0,5 m mächtigen mineralischen Dichtungsschicht (Lehmdichtung) und einer darüber angeordneten im Mittel ca. 1 m dicken Rekultivierungsschicht einschließlich Oberboden auszugehen war. Kenndaten der Flächenräumung waren:

- Größe der Fläche B4 ca. 28.000 m²
- Maximale Aushubtiefe ca. 7 m unter GOK
- Gesamtvolumen des geplanten Aushubs ca. 132.000 m³

davon

- Volumen alte OAD (mineralische Dichtungsschicht, Rekultivierungsschicht, Rekultivierungsboden jeweils mit Schadstoffbelastung $\leq Z 1.1$ nach LAGA) ca. 40.000 m³
- Volumen der Abfallablagerung (Boden mit Schadstoffbelastung $> Z 1.1$ nach LAGA oder mineralische Massen mit Bauschuttanteil $> 10\%$ oder Hausmüll) ca. 65.000 m³
- Volumen der Abfallablagerung (Schadstoffbelastung $\leq Z 1.1$ nach LAGA) ca. 23.000 m³
- Störstoffe ca. 4.000 m³

Die Maßnahmen zur Flächenräumung bzw. Rückbau gliedern sich in vorbereitende Arbeiten (z. B. Vegetationsbeseitigungen), die eigentliche Räumung / Teilräumung der Flächen incl. dem Bodenmanagement und deren Wiederverfüllung mit geeignetem, bei der Räumung separiertem Boden, unter folgenden Gesichtspunkten:

- a) Separierung umwelt- und geotechnisch definiertem Bodenmaterials für den Aufbau der neuen Oberflächenabdichtung (Maßnahme B 3)
- b) Umlagerung vorhandener Abfälle (LAGA $> Z 1.1$ und $> 10\%$ Fremdbestandteile) unterhalb KDB im Bereich der Maßnahme B 3
- c) Analytische Freimessung der freigeräumten Deponiesohle im gesamten Bereich der Teilfläche B4
- d) Wiederverwendung der Boden- und Restmassen (LAGA $\leq Z 1.1$ + max. 10 % Fremdbestandteile) zur Wiederverfüllung der Teilfläche B 4 nach analytischer Freimessung

Der Rückbau der alten OAD des Teilbereiches der Maßnahme B3 wurde analog zu o.g. Vorgehensweise ausgeführt.

Zur flächenhaften Zuordnung wurden vorrausschauend Erkundungsschürfe für einzelne Bearbeitungsflächen mit max. 2.500 m² ausgeführt.

Anhand der Schurfergebnisse, inkl. der geotechnischen und umwelttechnischen Untersuchungen und unter Berücksichtigung bautechnischer Zuordnungspunkte (z.B.

Entwässerung) wurden rasterweise (25 m x 25 m) Aushubtiefen für einzelne Schichten mit Zuordnung des weiteren Verwendungspfades festgelegt. Dabei wurden folgende Massenflüsse registriert:

- a) Oberboden der alten OAD wurde nach Zwischenlagerung als Oberboden für die neue OAD verwendet.
- b) Auffüllungen / Verunreinigungen des Oberbodens bzw. flächenhafte Einschlüsse (z.B. Asphalt, Bauschutt, Beton) innerhalb der Oberbodenschicht der alten OAD wurde als Abfall unter die KDB der neuen OAD umgelagert.
- c) Homogene Bereiche der ehemaligen Reku-Schicht bzw. der mineralischen Dichtung der alten OAD wurden zwischengelagert, teilweise konditioniert (getrocknet und gefräst) und als Unterboden in die neue OAD eingebaut.
- d) Homogene Bereiche der ehemalige Reku-Schicht bzw. der mineralischen Dichtung der alten OAD, die geotechnisch nicht für den Einbau als Unterboden geeignet waren, wurden zwischengelagert.
- e) Inhomogene bzw. mit Fremdbestandteilen bis zu max. 10 % verunreinigte Bereiche der alten Reku-Schicht bzw. der Dichtung der alten OAD wurden zwischengelagert und als Wiederverfüllmassen der Maßnahme B 4 zugeführt.
- f) Abfälle und Auffüllungsmaterial mit hohen Fremdstoffanteilen unterhalb der alten OAD wurden bis zum Zeitpunkt des Erreichens des maximalen Verfüllvolumens der Maßnahme B 3 unterhalb der KDB zur Profilierung verwendet.
- g) Nach Erreichen des maximalen Verfüllvolumens der Maßnahme B 3 wurde zum Ausgleich des Massenüberschusses aus dem Teilrückbau der Maßnahme B 4 eine sogenannte „Sandwichschicht“ für die Wiederverfüllung der Maßnahme B 4 definiert. Dieses „Sandwichmaterial“ beinhaltet Boden mit Fremdstoffanteilen bis zu 30 % und eine LAGA-Zuordnungsklasse bis Z 1.2.
- h) Störstoffe innerhalb der Abfallablagerung wurde separiert, nach Abfallarten sortiert und entsorgt oder z.B. im Falle von Beton zerkleinert und unterhalb der KDB in der Maßnahme B 3 zur Profilierung verwendet.

2.5 Neues Sicherungsbauwerk

2.5.1 Lage und Abmessungen

Um die rückgebaute Deponiefläche B 4 im Nordosten von dem verbleibenden Abfallkörper auf der südwestlichen Teilfläche B 3 zu trennen, wurde ein neues Sicherungsbauwerk errichtet. Es schließt an zwei Stellen an die bestehende Dichtwand an und bildet mit dieser eine vollständige Umschließung der Fläche B3 (Abb. 2.1).

Die Länge der neuen Dichtwand beträgt rund 380 m, die Dicke 0,6 m. Der Dichtwandkopf liegt am westlichen Anschluss an die Bestandswand bei 130 mNN. Er fällt auf den ersten 60 m kontinuierlich auf rund 125 mNN und anschließend bis zum Anschluss Ost auf ca. 121 mNN. Am Fuß bindet die Dichtwand mindestens 2,0 m in den als Basishorizont dienenden Rupelton ein. Hierfür waren Wandtiefen zwischen 7,1 m und 14,5 m erforderlich. Die Gesamtfläche des neuen Sicherungsbauwerks beträgt rund 3.800 m².

2.5.2 Herstellung des neuen Sicherungsbauwerks

Das neue Sicherungsbauwerk wurde als Schlitzwand im Zweiphasenverfahren hergestellt. Das Bauverfahren ist schematisch in der Abb. 2.2 dargestellt. Im ersten Arbeitsschritt wurde mit einem Schallengreifer ein 0,6 m breiter und in der Regel 3,4 m langer Schlitz im Baugrund ausgehoben. Um die Grabenwände gegen Einsturz zu sichern, war der Schlitz während der gesamten Aushubtätigkeit bis zur Oberkante mit einer Stützsuspension aus Wasser und Natriumbentonit gefüllt. Im zweiten Arbeitsschritt erfolgte der Einbau eines bis knapp über die Sohle reichenden Betonierrohres, durch das der Schlitz anschließend von unten nach oben mit einer Dichtmasse aufgefüllt wurde. Die dabei verdrängte Stützsuspension wurde gleichzeitig mit einer Tauchpumpe dicht unter dem Wandkopf abgezogen.

Mit den zwei Arbeitsschritten wurden in der Haupttrasse nacheinander insgesamt 124 Schlitzwandelemente (Lamellen) hergestellt. Die Reihenfolge entsprach dem Pilgerschrittverfahren, bei dem zunächst jedes zweite Element zur Ausführung kommt. Nachdem die hier eingebaute Dichtmasse soweit abgebunden war, dass sie einerseits eine ausreichende Standfestigkeit aufwies und andererseits mit dem Greifer noch ohne stärkere mechanische Beanspruchungen gelöst werden konnte, wurden die dazwischen liegenden Sekundärlamellen ausgehoben. Der Überschneid zu den bereits bestehenden Lamellen war für den Kopf der Wand zu mindestens 0,40 m festgelegt worden. Um Einschlüsse von Fremdmaterialien zwischen den einzelnen Betonierabschnitten zu vermeiden, wurden die Stirnseiten der angeschnittenen Primärlamellen unmittelbar vor dem Einbringen der Dichtmasse gereinigt, indem der Greifer mit geöffneten Schalen in dem Schlitz mehrfach auf und ab bewegt wurde.

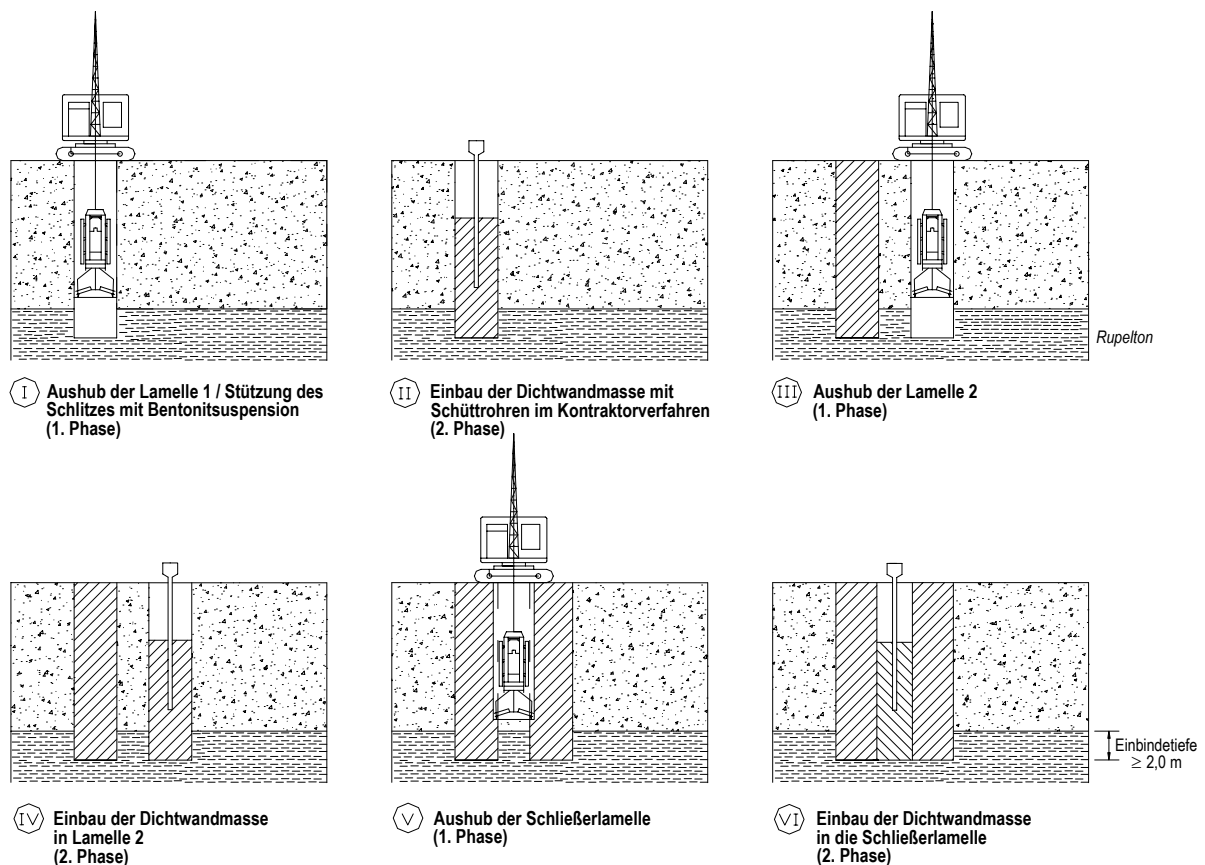


Abbildung 2.2 Herstellung des neuen Sicherungsbauwerks im Zweiphasenverfahren

2.5.3 Dichtmasse

Auf der Grundlage von laborativen Eignungsprüfungen, die insgesamt 5 Dichtmassen mit unterschiedlichen Zusammensetzungen umfassten, war für das neue Sicherungsbauwerk eine hauptsächlich aus Sand und Kies bestehende Dichtmasse mit dem folgenden Mischungsverhältnis ausgewählt worden:

440 kg	Wasser
280 kg	Bindemittel (Solidur 271, Dyckerhoff AG, Werk Neuwied)
40 kg	Bentonit (Ibeco B1, IKO Minerals GmbH)
250 kg	tonhaltiges Steinmehl (Dyckerhoff AG, Werk Göllheim)
555 kg	Sand (Körnung 0/2, gewaschen, K.H. Gaul GmbH u. Co. KG, Werk Rümelsheim)
555 kg	Kies (Körnung 2/8, gewaschen, K.H. Gaul GmbH u. Co. KG, Werk Rümelsheim).

Die Mischungszusammensetzung entspricht etwa dem Erdbeton, wie er bereits 1986/87 in einem Teil der Bestandwand eingebaut worden war. Die Dichte der im Labor frisch aufbereiteten Masse betrug $1,97 \text{ t/m}^3$. Das für die Verarbeitbarkeit wichtige Ausbreitmaß lag bei ca. 60 cm und damit in der Bandbreite, die von der DIN EN 1538 für Ortbetonschlitzwände mit 55 cm bis 62 cm empfohlen wird. Die einaxiale Druckfestigkeit wurde nach einer 7-tägigen Abbindezeit zu rund 3 N/mm^2 ermittelt. Nach 28 Tagen hatte sie ca. 7 N/mm^2 erreicht, was etwa einem Beton der Festigkeitsklasse B 5 entspricht. Der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert eines Prüfkörpers, der im frischen Zustand aus dem Erdbeton hergestellt und im Alter von 28 Tagen in eine Triaxialzelle eingebaut worden war, lag in der Größenordnung von $1 \times 10^{-11} \text{ m/s}$.

Ausschlaggebend für die Auswahl des Erdbetons waren insbesondere Lagerungsversuche, in denen abgebundene Proben über die Dauer von 3 Monaten verschiedenen projektbezogen zusammengesetzten Prüfflüssigkeiten ausgesetzt wurden. Während sämtliche überprüften Dichtmassen nach der Einlagerung in eine Phase aus leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen keine signifikanten Strukturveränderungen aufwiesen, führten ein hauptsächlich mit Sulfat, Magnesium und Ammonium angereichertes Sickerwasser sowie ein kohlen-saures Wasser bei einigen Proben zu einem ausgeprägten lösenden oder treibenden Angriff. Die Folge waren eine aufgeweichte Probenoberfläche oder Materialablösungen. An den Prüfkörpern des Erdbetons traten demgegenüber bis zum Abschluss der Lagerungsversuche keine erkennbaren Strukturveränderungen auf.

Aufgrund der laborativen Eignungsprüfungen war bekannt, dass die Verarbeitbarkeit des frischen Erdbetons in hohem Maße von der Dosierung der Mischungskomponenten und der Reihenfolge, in der die einzelnen Komponenten miteinander vermischt werden, abhängt. Deshalb waren zum Beginn der Baumaßnahme von vornherein Anmischversuche geplant, um die Baustellenmischanlage mit ihrer Dosier- und Mischtechnik auf die materialspezifischen Anforderungen abzustimmen. Nach einer Reihe von Fehlmischungen, die entweder einen zu dünnflüssigen und damit zur Entmischung neigenden oder einen zu zähflüssigen und deshalb nicht mehr einbau-

fähigen Erdbeton geliefert hatten, stand die Verfahrensweise fest. Die Aufbereitung des Erdbetons erfolgte demnach in zwei Schritten. Zuerst wurden Wasser, Steinmehl und Bindemittel miteinander vermischt. Die Komponenten wurde in einem Chargenmischer mit Hilfe einer hochoberigen Pumpe so lange im Kreislauf gefördert, bis eine homogene Suspension entstanden war. Bei der Wasserdosierung war zu berücksichtigen, dass sich die festgelegte Rezeptur auf trockene Materialien bezog, während der Sand 0/2 und der Kies 2/8 im erdfeuchten Zustand angeliefert und verarbeitet wurden. Die Menge des Anmachwassers musste dementsprechend gegenüber der Sollrezeptur reduziert werden. Im zweiten Schritt kam eine mobile Betonmischanlage zum Einsatz, die nacheinander mit Kies, Bentonit, Suspension und Sand beschickt wurde. Wegen der Restfeuchte in dem verarbeiteten Sand und Kies mussten deren Einwaagen in demselben Maß erhöht werden wie die Wasserzugabe zuvor verringert worden war.

2.5.4 Probekasten

Nach Abschluss der Mischversuche wurden Ende Oktober / Anfang November 2003 zunächst eine einzelne Kalibrierlamelle und anschließend ein Dichtwandprobekasten hergestellt, um die Eignung von Dichtmasse, Gerät und Personal im Feld nachzuweisen bzw. eine noch erforderliche Feinabstimmung der qualitätsbestimmenden Herstellparameter vorzunehmen. Der Kasten wies im Grundriss eine quadratische Form mit kreuzweise ausgebildeten Ecken auf. Die Achsabmessungen betragen 8,0 x 8,0 m. Die Wandtiefe lag durchschnittlich bei 8,5 m.

Eine der Kastenwände lag in der Trasse des neuen Sicherungsbauwerks und sollte später in dieses integriert werden, sofern die bestehenden Qualitätsanforderungen bereits im Probetrieb erfüllt werden konnten. Um den in diesem Fall erforderlichen Anschluss der Hauptwand an den Probekasten zu erleichtern, wurden an den beiden Enden der betreffenden Lamellen Abschalelemente angeordnet. Hierfür kamen I-Profile mit einer Steghöhe von 60 cm zum Einsatz, die nach Erreichen der Endtiefe quer in den suspensionsgefüllten Schlitz eingestellt wurden. Damit sich der spätere Anschlussbereich nicht mit Dichtmasse zusetzen konnte, wurde der Raum zwischen dem Steg und der Lamellenstirnseite vor dem Einbringen des Erdbetons mit Kies aufgefüllt. Ein weiteres Abschalelement wurde zwischen zwei Lamellen des Probekastens eingebaut. Hiermit sollte überprüft werden, ob sich das gewählte Verfahren möglicherweise ungünstig auf die Durchlässigkeit des Wandsystems auswirkt.

Die Ergebnisse der am Probekasten baubegleitend durchgeführten Material- und Ausführungsprüfungen erfüllten insgesamt die Anforderungen, die zuvor anhand der Ergebnisse aus der laborativen Eignungsprüfung sowie der maßgeblichen Normen und Richtlinien festgelegt worden waren. Insbesondere zeigte sich, dass der Erdbeton über die gesamte zum Einbau benötigte Zeit von ca. 2 Stunden ein Ausbreitmaß von mindestens 55 cm und somit eine gute Fließfähigkeit aufwies. Eine ausreichende Standfestigkeit, um den Überschnitt zwischen den Primär- und Sekundärlamellen vornehmen zu können, war nach ca. 20 Stunden erreicht. Genauso wichtig war der Zeitpunkt, bis zu dem der Übergriff spätestens abgeschlossen sein sollte, um eine übermäßige Beanspruchung des rasch erhärtenden Erdbetons mit der Gefahr von abdichtungstechnisch nachteiligen Rissbildungen ausschließen zu können. Um den Zeitpunkt einzugrenzen, war die Kalibrierlamelle einen Tag nach ihrer Fertigstellung am Kopf bis ca. 2 m unter Gelände freigelegt und mit dem Schlitzwandgreifer angeschnitten worden. Der Anschnittversuch wurde am folgenden Tag wiederholt. Dabei zeigte sich, dass der Greifer den Erdbeton auch nach 2 Tagen noch mit einem ver-

hältnismäßig geringen Kraftaufwand lösen konnte. Risse waren bei einer Begutachtung des neben dem Anschnitt liegenden Teils der Lamelle nicht festzustellen. Für den Probekasten war daraufhin ein maximales Überschnittalter von 3 Tagen festgelegt worden.

Von anderen Baumaßnahmen ist bekannt, dass die Systemdurchlässigkeit einer fertiggestellten Dichtwand z. T. deutlich höher ausfallen kann als die an Laborproben ermittelte Substanzdurchlässigkeit. Dies lässt sich dadurch erklären, dass an einer sachgerecht angefertigten Laborprobe allein die Materialeigenschaften für die Durchlässigkeit ausschlaggebend sind, während an der fertiggestellten Wand der Herstellungsprozess, wie zum Beispiel die Verdrängung der Stützsuspension durch den Erdbeeton, der Übergriff bereits abgebundener Primärlamellen oder der Einsatz von Abschalelementen, eine zusätzliche Rolle spielen können. Deshalb war von vornherein geplant, den Probekasten auch zur Ermittlung der Wanddurchlässigkeit zu nutzen. Mit dem hydraulischen Test wurde einen Monat nach Abschluss der Dichtwandarbeiten begonnen. Um den Zutritt von Niederschlagswasser zu unterbinden, musste der Probekasten zunächst an der Geländeoberfläche mit einer Baufolie abgedeckt werden, die außerhalb in einen Randgraben eingebunden wurde. Anschließend wurde der Wasserspiegel innerhalb des Probekastens abgesenkt. Die Wasserförderung lief 22 Tage, bevor sie aufgrund einer zugefrorenen Rohrleitung zum Erliegen kam. Obwohl der Beharrungszustand, in dem sich der Wasserstand in dem Probekasten sowie die Förderrate mit der Zeit nicht mehr ändern, entsprechend Abb. 2.3 zu diesem Zeitpunkt noch nicht erreicht war, wurde der Pumpbetrieb wegen der bereits verhältnismäßig langen Versuchsdauer anschließend nicht wieder aufgenommen.

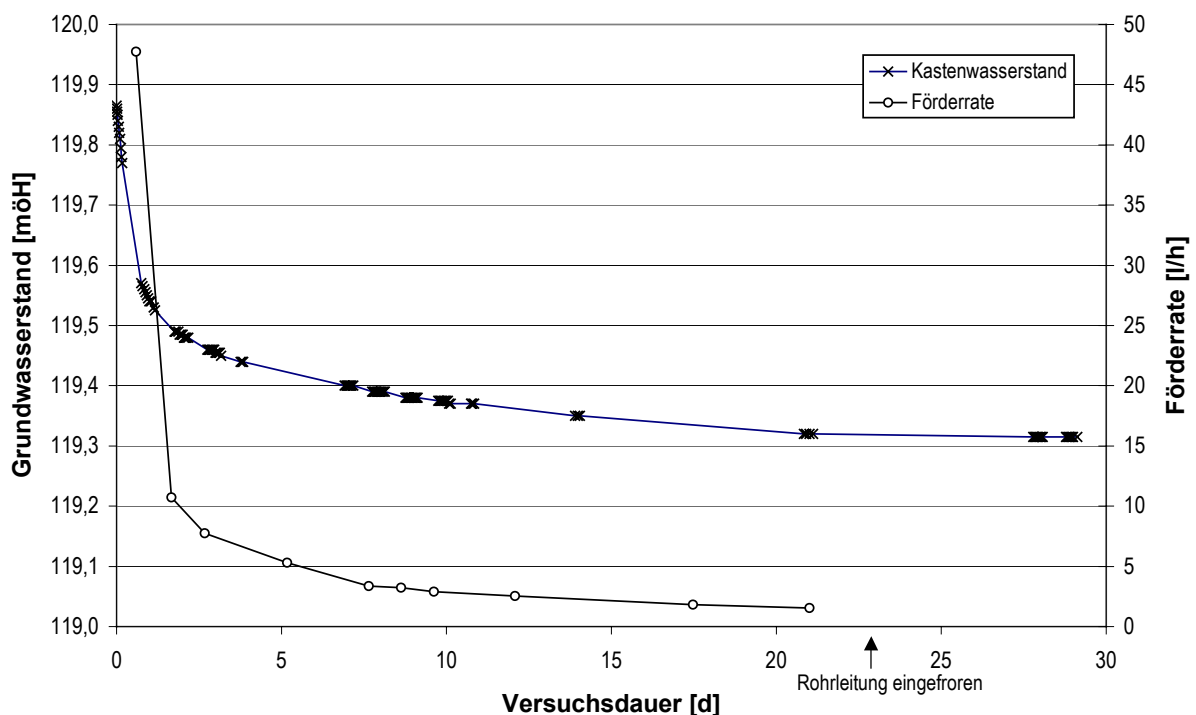


Abbildung 2.3 Verlauf von Förderrate und Kastenwasserspiegel während des Absenkversuchs

Die Förderrate lag zum Schluss des Absenkversuchs bei 1,57 l/h. Der Kastenwasserspiegel hatte sich bei 119,32 möH und damit im Mittel 1,61 m unter dem äußeren Druckwasserspiegel eingestellt. Für eine grobe rechnerische Abschätzung der Sys-

temdurchlässigkeit k_{Sys} wurde zunächst von einem quasi stationären Zustand ausgegangen. Mit den üblichen Berechnungsansätzen ergab sich hierfür eine Wanddurchlässigkeit von $6,0 \times 10^{-9}$ m/s. Dieser Wert lag über der entsprechenden Anforderung von $5,0 \times 10^{-9}$ m/s.

Bis zu dem vereinfachend zugrunde gelegten Beharrungszustand ist die Förderrate allerdings noch mehr oder weniger von der Wassermenge beeinflusst, die von den ursprünglich wassergesättigten Bodenporen oberhalb des abgesenkten Kastenwasserspiegels abgegeben wird. Insbesondere im geringdurchlässigen Baugrund, wie er im Bereich der Absenkung als Lösslehm ansteht, kann sich die Entwässerung des Porenraums über eine längere Zeit hinziehen. Während dieser Zeit ist die Förderrate im Vergleich zum quasi stationären Zustand um den Anteil des nachlaufenden Porenwassers erhöht. Dies ist bei der Auswertung der Förderrate entsprechend zu beachten, wenn die Wanddurchlässigkeit nicht zu hoch eingeschätzt werden soll. Im Fall des neuen Sicherungsbauwerks führte die rechnerische Berücksichtigung der nachlaufenden Porenentwässerung auf eine Systemdurchlässigkeit der Kastenwände von $3,8 \times 10^{-9}$ m/s. Die Anforderung von $k_{\text{Sys}} \leq 5,0 \times 10^{-9}$ m/s war somit erfüllt. Dass die Dichtwand insgesamt vergleichsweise dicht sein musste, war auch daran zu erkennen, dass die Wiederanstiegsgeschwindigkeit des Kastenwasserspiegels eine Woche nach Abbruch des Pumpetriebs bei konstantem Luftdruck deutlich unter 5 mm/d lag.

Die eingesetzte Dichtmasse und die am Probekasten eingesetzte Bautechnik wurden nach dem positiven Ergebnis des hydraulischen Tests für den Regelbau freigegeben. Die Zeitspanne für den Überschnitt zwischen Primär- und Sekundärlamellen wurde zwischen 1 bis 3 Tagen festgelegt. Für ältere Anschlüsse war der Einsatz von Abschalelementen vorgesehen.

2.5.5 Hauptmaßnahme

Die Dichtwandarbeiten wurden nach einer Winterpause Ende März 2005 wieder aufgenommen. Der Lückenschluss im neuen Sicherungsbauwerk erfolgte nach insgesamt 33 Arbeitstagen am 19.05.2004. Eine sorgfältige Ablaufplanung der Baufirma sorgte dafür, dass der Lamellenüberschnitt allgemein in die festgelegte Zeitspanne fiel und somit auf den Einsatz von Abschalelementen weitgehend verzichtet werden konnte.

Der Anschluss an die bestehende Dichtwand erfolgte entsprechend Abb. 2.4 mit Dichtwandblöcken. Um eine dichte Verbindung zu erreichen, kam auf Vorschlag der Baufirma ein Reinigungsschlitten zum Einsatz, der mit insgesamt 15 nebeneinander liegenden Schneiddüsen und zusätzlich mit einem horizontalen Winkelprofil ausgerüstet war. Mit dem Reinigungsschlitten war es möglich, Bodenreste, die beim Aushub des Dichtungsblocks an der Oberfläche der Bestandswand verblieben waren, entweder unter hohem Druck von mehr als 160 bar mit Bentonitsuspension abzustrahlen oder durch Auf- und Abbewegen abzuschaben.

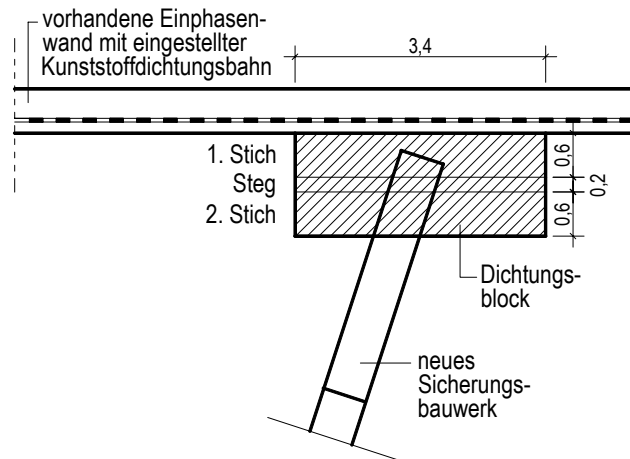


Abbildung 2.4 Anschluss des neuen Sicherungsbauwerks an die Bestandswand

Die Arbeiten an der Hauptwand wurden wie zuvor am Probekasten durch eine permanente Eigen- und Fremdprüfung überwacht. Die Kontrollen umfassten die Materialeigenschaften der angelieferten Mischungskomponenten, der Stützsuspension sowie des frischen und abgebandenen Erdbetons. Außerdem erfolgte eine baubegleitende Überwachung der Schlitzwandarbeiten, wobei die Einbindetiefe in den Rupelton, der Querschnitt zwischen den Lamellen und der Verfüllgrad des Schlitzes mit Dichtmasse im Vordergrund standen [20]. In der Regel lagen die Prüfergebnisse innerhalb der festgelegten Grenzen. Wenn die Anforderungen in Ausnahmefällen nicht erfüllt waren, wurde entweder kurzfristig nachgebessert oder die Abweichung war unter den gegebenen Umständen aus Sicht der Prüfer zu vertreten, ohne dass abdichtungstechnisch maßgebliche Qualitätseinbußen des fertiggestellten Bauwerks zu befürchten sind. Somit ist davon auszugehen, dass das neue Sicherungsbauwerk seine Aufgabe als hydraulische Barriere erfüllt. Dies wurde im September 2004 mit hydraulischen Tests, in denen der Druckwasserspiegel auf der einen Seite der Dichtwand entspannt und auf der anderen Seite auf mögliche Reaktionen beobachtet wurde, bestätigt [21].

2.6 Neue Oberflächenabdichtung

Nach dem Rückbau des Ostteils der Deponie verbleiben rund 7 ha, die mit der neuen Oberflächenabdichtung mit folgendem flächenhaftem Schichtaufbau (von oben nach unten, siehe Bild 2.6) gesichert werden:

- Bewuchs (Landschaftsrassen mit Gräsern und Wildkräutern, mittel- und langfristig als Option ein gestufter Gehölzbestand mit hohem Wasserverbrauch)
- Optimierte Rekultivierungsschicht (1,50 m aus 0,35 m Oberboden und 1,15 m Unterboden, gemäß [13] mit einem pflanzenverfügbaren Wasservorrat von > 200 mm)
- Geotextiler Flächenfilter (PP/PEHD, GRK3)
- Mineralische Entwässerungsschicht (0,2 m Kies 16/32)
- Geotextile Schutzlage (PP/PEHD, Flächengewicht $\geq 1.200 \text{ g/m}^2$)
- Kunststoffdichtungsbahn (2,5 mm PEHD)
- Dichtungsaufleger (0,1 m steinfreier Boden)

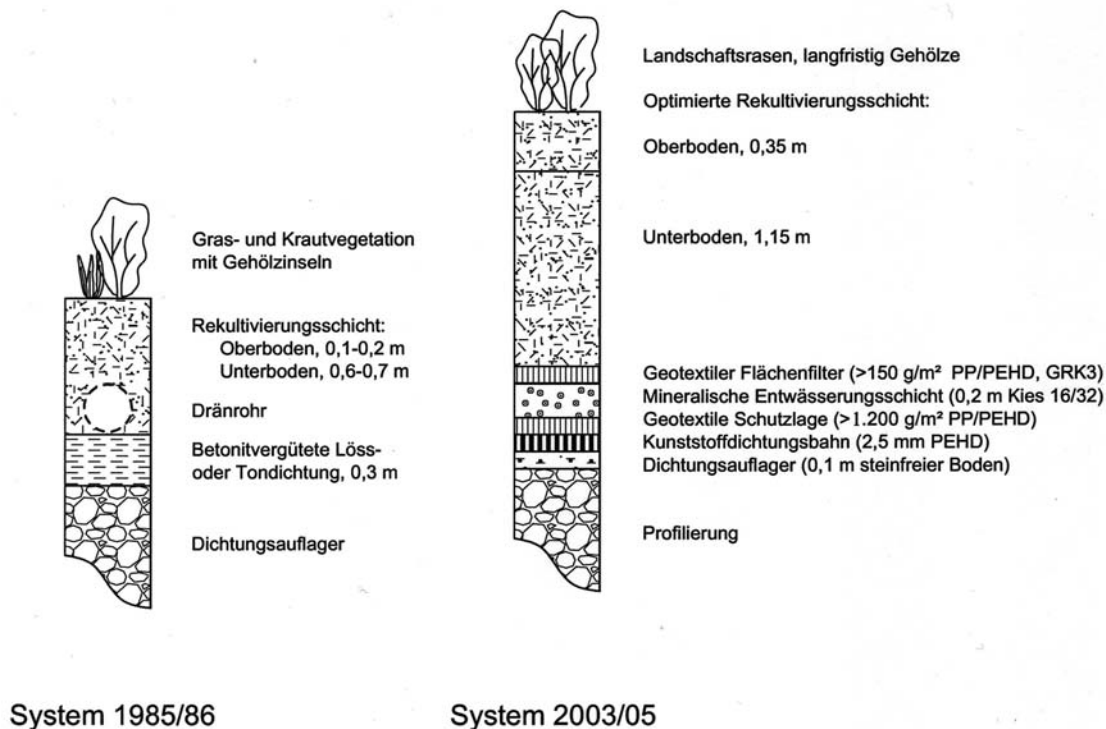


Abbildung 2.6 Schichtaufbau des alten und des neuen Oberflächenabdichtungssystems

Im Randbereich der neuen Oberflächenabdichtung wird der Abfluss aus der Entwässerungsschicht innerhalb der Dichtwandumschließung gefasst. Um hier im Falle von Imperfektionen im Dichtsystem eine zusätzliche Sicherheit vor einem Wasserzufluss in die Deponie zu erreichen, wird der Anschluss des Dichtungsaufagers an die vorhandene und an die neue Dichtwand durch ein dichtwirksames mineralisches Dichtungsauflager aus Trisoplast hergestellt.

2.6.1 Profilierung und Standsicherheit

Die Baumaßnahme B3 sah planungsgemäß eine Dichtungsfläche in einer Größe von rund 71.000 m² vor. Diese Dichtungsfläche besteht aus einem rund 51.000 m² großen Plateaubereich mit einer Neigung von etwa 1:10 sowie aus einer von Nord über Ost nach Süd umlaufenden Randböschung von rund 20.000 m² mit einer Neigung bis ca. 1:3 und einer Länge bis 32 m, die bereichsweise in einen ca. 2 m kurzen, 1:1,5 geneigten Bereich übergeht. Der Randabschluss überdeckt den Kopfbereich der vorhandenen Dichtwand bzw. schließt an den neu erstellten Dichtwandteil an.

Der Auftragnehmer hatte zu dieser Planungsgeometrie einen prüffähigen geotechnischen Standsicherheitsnachweis für den Bauzustand in Anlehnung an die GDA-Empfehlung E 2-7 unter Berücksichtigung der von ihm gewählten Bauverfahren und -gerätschaften vorzulegen und diesen durch ein anerkanntes Fachbüro prüfen zu lassen. Zu diesem Zweck waren projektbezogene Reibungsversuche (direkte Scherverversuche) nach GDA-Empfehlung E 3-8 bzw. E DIN EN ISO 12957-1 durch den Auftragnehmer durchzuführen, wobei der Empfehlung der GDA-Richtlinie E 3-8 zur sicheren Ermittlung charakteristischer Werte folgend, zwei unterschiedliche Prüfinstitutionen damit beauftragt wurden.

Die Standsicherheitsberechnungen wurden für den Auftragnehmer von der BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH + Co. KG in prüffähiger Form durchgeführt, die

geotechnische Prüfung erfolgte durch das Büro Geotechnik Ingenieure Witt-Jehle-Kriechbaum, Koblenz [16, 17].

Bei der Bemessung war die Forderung der GDA-Empfehlung E 2-7 mit $\tau_{\text{oben}}/\tau_{\text{unten}} < 1,1$ zu berücksichtigen; das bedeutet, dass an der Unterseite der Kunststoffdichtungsbahnen eine größere Schubspannung als an deren Oberseite übertragbar sein muss.

Nach dem geotechnischen Prüfbericht ergeben sich folgende Sicherheiten:

Standicherheit im Bauzustand nach DIN 4084		
	Sollwert	Istwert
Böschungfläche 1:3, befahren	$\eta \geq 1,2$	$\eta = 1,54^{*)}$
Teilböschung 1:1,5, erhöhte Dränschichtdicke		$\eta = 1,24^{*)}$
Plateaufläche 1:10, befahren; Entwässerungsschicht / 1. bzw. 2. Bodenschicht		$\eta = 1,33^{*)}, 1,37^{*)}, 1,43^{*)}$

*) Ergebnisse der geotechnischen Prüfung

Im Verlauf der Baumaßnahme konnten keine Rutschungen oder bedeutsame Verschiebungen festgestellt werden, so dass auch baupraktisch von einer ausreichenden Standicherheit ausgegangen werden kann.

Aus den Bemessungsannahmen und projektbezogenen Reibungsuntersuchungen ergab sich die Auswahl unterschiedlicher Oberflächenstrukturen der Kunststoffdichtungsbahn, Typ CARBOFOL PEHD 507, für den Plateau- und den Böschungsbe-
 reich:

- im Plateaubereich die Strukturkombination "Karo-Noppe/Organat" mit der Karo-Noppe-Seite zum Dichtungsaufleger
- im Böschungsbereich die Strukturkombination "Karo-Noppe/Megakron" mit der Megakron-Seite zum Dichtungsaufleger

2.6.2 Kunststoffdichtungsbahn einschließlich Dichtungsaufleger, Vliesstoffe, Rohrleitungen und Schachtbauwerke

Bei der Abdichtung der Oberfläche der Maßnahme B3 wurde als wesentliches Dichtungselement eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) eingebaut.

Als Auflager für die Kunststoffdichtungsbahn wurde ein Gemisch aus 1 : 1 „Brecht-sand“ und „Steinerde“ der Körnung 0/8 verwendet, das die Anforderungen der BAM-Zulassung an das Auflager für die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn erfüllen musste. Das Material war hinsichtlich der Schadstoffgehalte als Z 1.2 nach LAGA (1997) einzustufen. Im Mittel hatte das Material 20 % Ton und Schluff, 55 % Sand und 25 % Kies. Durch den gemischtkörnigen Aufbau war das Material wenig anfällig gegen Witterungseinflüsse und gut verdichtbar. Der Wassergehalt lag im Mittel bei 10,1 Gew.-%, die Trockendichte bei 1,939 g/cm³. Der Verdichtungsgrad lag im Mittel bei 97,0 % D_{Pr}. Die Einhaltung der Anforderungen an die Schichtdicke, Oberflächen-ebenheit und Trittfestigkeit war unproblematisch.

Zum Einsatz kam eine BAM-zugelassene Dichtungsbahn aus PEHD des Typs CARBOFOL PEHD 507 mit einer Mindestdicke von 2,5 mm der Firma NAUE GmbH + Co. KG mit den schon zuvor beschriebenen Oberflächenstrukturen.

Als dauerhafte Schutzlage gegen mögliche Punktaufasten aus der Flächenfilterkieslage wurde ein BAM-zugelassener Schutzvliesstoff vom Typ SECUTEX RZ 1331 (PP-Stapelfasern, mechanisch gebunden, Mindestflächengewicht $\geq 1.200 \text{ g/m}^2$) eingesetzt.

Vor dem arbeitstäglichen Einbau der Dichtungsbahnen wurde von den am Qualitätssicherungsprogramm Beteiligten die fertiggestellte Dichtungsauflagerfläche freigegeben. Die Verlegung, Schweißung und Prüfung der Dichtungsbahnen erfolgte durch den Verlegefachbetrieb NAUE Sealing GmbH + Co. KG, einem von der BAM- anerkannten Güteüberwachungsgemeinschaft AK GWS e.V. zertifizierten Unternehmen.

Zur Erreichung einer anforderungsgemäßen Planlage wurde die "Riegeltechnik" unter Nutzung des Tages-Temperaturgefälles angewandt, bei der die Dichtungsbahnen in den kühleren Nachmittagsstunden des Verlegetages durch "Riegel" (sandgefüllte "Bigbags" o.ä.) fixiert und nach Einbau der Schutzvlieslage nach ihrer Planlage noch in den Abendstunden bzw. in den Morgenstunden des Folgetages flächig mit dem Kiesmaterial der Entwässerungsschicht ballastiert wurden.

Als Trenn- und Filterschicht zwischen dem Flächenfilterkies 16/32 mm und dem aufliegenden Unterboden wurde ein mechanisch gebundener Trenn- und Filtervliesstoff des Typs SECUTEX R 171 GRK 3 Z mit einem Nennflächengewicht $\geq 150 \text{ m/m}^2$ verlegt.

Geliefert wurden insgesamt rund.

- 54.900 m² KDB, Struktur: "Karo-Noppe/Organat"
- 31.600 m² KDB, Struktur: "Karo-Noppe/Megakron"
- 88.160 m² Schutzvliesstoff RZ 1331
- 98.200 m² Trenn- und Filtervliesstoff 171 GRK 3 Z
- 6.500 m² Dränmatte R 201 WD 601 R 201

In diesen Mengen sind die Verschnitt- und Überlappungsflächen enthalten.

Die Kunststoffdichtungsbahnen wurden durch thermische Schweißung untereinander gefügt; zum Einsatz kam die Heizkeilschweißung (Kurzzeichen: HH) für die Überlappnähte mit Prüfkanal und die Warmgasextrusionsschweißung (Kurzzeichen: WE) für Auftragnähte nach der DVS-Richtlinie 2225-4. Die Schweißmaschinen entsprechen der DVS-Richtlinie 2225-3.

Gefertigt und geprüft wurden insgesamt rund 15.800 m Schweißnähte.

Auf der Grundlage der labormäßigen Stichprobenprüfung kann die Nahtfügefestigkeit wie folgt bewertet werden:

- 92,0 % der Stichproben weisen eine "gute Fügefestigkeit" auf,

- 5,7 % der Stichproben weisen eine noch "ausreichende Fügefestigkeit" mit geringfügigem partiellen Haftversagen (PH) bei einer Restnahtbreite um 15 mm auf,
- Aufschälen mit "nicht ausreichender Fügefestigkeit" trat vereinzelt in Teil-Nahtsäumen auf, die saniert wurden.

Maßstab für die Bewertung war zum einen die DVS-Richtlinie 2225-4 für äußere Beschaffenheit, Nahtgeometrie und Versagensart sowie die DVS-Richtlinie 2226-1 für die Nahtfestigkeit.

Die Schutz- und Filtervliesstoffe bestanden aus PP-Stapelfasern, deren Formmasse und Stabilisierung denen eines BAM-zugelassenen Produktes nach der BAM-Zulassungsrichtlinie "Schutzlagen" entsprach. Damit ist ihre anforderungsgemäße Langzeitbeständigkeit sicher gestellt. Die Dränmatten hingegen dienen nur als zeitlich begrenzte Dränungsschicht und wurden deshalb in Anlehnung an DIN EN 13252 (Anhang B3) für eine Nutzungsdauer bis zu 25 Jahren dimensioniert.

In die Baumaßnahme B 3 mit einbezogen war sowohl für anfallende Niederschlagswasser auf als auch für Sickerwasser unterhalb der Oberflächendichtung ein anspruchsvolles Sammlersystem aus (Sicker-)Rohren und Schächten.

Unterhalb der Oberflächenabdichtung wird das Sickerwasser aus dem Abfallkörper durch Sickerrohre d 250 mm mit den dazugehörigen 10 Kontroll- und 2 Pump-Schächten (Bezeichnung: KS bzw. PS) gefaßt.

Oberhalb der Dichtung wird das Oberflächenwasser innerhalb der Dichtwandum-schließung durch eine im Nahbereich der Dichtwände angeordnete umlaufende Dränageringleitung aus Sickerrohren d 250 mm aus PE 80 nach DIN 4266-1 gesammelt. In dieser Ringleitung sind 24 Fertigteilschächte (Bezeichnung: D) aus Stahlbeton nach DIN 4034/DIN EN 1917 angeordnet, die in je einem Bodenteil aus PEHD stehen, an die die Dichtungsbahnen angeschlossen wurden.

Das erfaßte Sickerwasser des Abfallkörpers wird durch 8 Brunnenschächte (Bezeichnung SB ff.) als Durchdringung durch die Dichtung gefördert und über Förderleitungen aus PEHD in die schon bestehenden (Sammel-)Tanklager 1 und 2 gepumpt. Diese Förderleitungen verlaufen doppelwandig über 6 Leitungskontrollschächte (Bezeichnung: LS), in denen die Förderarmaturen untergebracht sind.

Umfang Schachtbau			
Bezeichnung	Nennweite	Anzahl	Kennzeichnung (Bestandsplan)
Dränageschächte (Beton) mit PEHD-Bodenteil	DN 1000	24	"D"
Kontrollschächte	DN 1200 DN 1500	10	"KS"
Pumpschächte	DN 2000	2	"PS"
Brunnenschächte	DN 1500	8	"SB, VM, VO, TM, VS"
Leitungskontrollschächte	DN 1500	6	"LS"

Die Schachtzylinder waren aus PEHD-Wickelprofilen nach DIN 16961 gefertigt, der Formstoff entsprach der Leistungsklasse PE 80 (DIN EN 12162). Der Formstoff der Sicker- und Vollrohrleitungen aus PEHD entsprach ebenfalls der Leistungsklasse PE 80. Maße und Wanddicken sind konform mit den Normanforderungen DIN 8074/8075 und DIN 4266-1.

Als Besonderheit im Schacht- und Rohrleitungsbau sei noch angemerkt, daß die aus Temperaturdifferenzen (angenommen: $\Delta T = 40 \text{ K}$) sich ergebenden Zwängungskräfte der Hüllrohre durch Schachtmantelverstärkungen als Festpunkte aufgenommen wurden.

Umfang Rohrleitungsbau		
Bezeichnung	Nennweite	Gesamtlänge
Oberflächenwasser-Dränagerohre	DA 250 x 22,7 mm	ca. 1.150 m
Sickerwasser-Dränagerohre	DA 250 x 22,7 mm	ca. 450 m
Hüllrohre	DA 250 x 14,2 mm DA 125 x 7,1 mm	ca. 650 m
Förderleitungen	DA 63 x 5,8 mm	ca. 1.400 m
Schachteinbauten	im Wesentlichen DA 63 x 5,8 mm	k. A.

Zu den Schachtkonstruktionen, verkleideten Stahlbetonfundamenten, Formteilen, Festpunkten und Rohrleitungen lagen prüffähige Standsicherheitsnachweise des Schachtherstellers vor, die durch das Institut für Statik der LGA Bautechnik GmbH geprüft wurden. Insgesamt wurden 43 statische Einzelbemessungen und 14 Prüfberichte vorgelegt.

2.6.3 Dichtungsaufleger Randabschluss

Das neue Oberflächenabdichtungssystem schließt randlich an die Dichtwand an, im Norden, Westen und Süden an die alte Dichtwand, im Osten an die neue Wand. In der Planung wurde entschieden, dass die Kunststoffdichtungsbahn samt Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht nicht über die Dichtwand hinaus nach außen geführt werden sollte, sondern dass der Randabschluss der Kunststoffdichtungsbahn samt Randgraben für den Abfluss aus der Entwässerungsschicht deponieseitig an der Dichtwand erfolgen sollte. Bei der Ausführung war daher das Dichtungssystem wasserdicht an die Dichtwand anzuschließen.

Zu diesem Zweck wurde das ansonsten in der Fläche wasserdurchlässige Dichtungsauflegermaterial gegen das polymervergütete Sand-Bentonitgemisch Trisoplast ersetzt, so dass die Abdichtung in diesem kritischen Bereich durch ein kombiniertes Abdichtungssystem erfolgt.

Die Herstellung des Randabschlusses mit Trisoplast gestaltete sich aus verschiedenen Gründen schwierig, wobei die Probleme weniger den Materialeigenschaften des Materials als den projektspezifischen Randbedingungen und dem Umgang mit dem Material geschuldet waren:

- Der Kopf der alten Dichtwand war stark ausgetrocknet und spröde. Mechanische Einwirkungen bei der Verdichtung des Dichtungsauflegers aus Trisoplast

mussten daher auf ein Minimum begrenzt werden. Die Verdichtung beim Einbau erfolgte daher durch leichte handgeführte Rüttelplatten (Trockendichte im Mittel $1,483 \text{ g/cm}^3$, Verdichtungsgrad $85 \% D_{Pr}$). Gegenüber anderen mineralischen Dichtungsmaterialien hat Trisoplast hier den Vorteil, dass nur eine geringe Verdichtung erforderlich ist, um die Dichtwirkung des Materials zu entfalten.

- Die Geometrie des Randabschlusses war auch für das sehr gut formbare Trisoplast sehr anspruchsvoll. Es bedurfte einer intensiven Einarbeitung der Baufirma, einer gezielten Einstellung des Wassergehalts im Material (im Mittel 10 Gew.-%) und einer Anpassung des Profils bis es gelang, das Dichtungsaufleger gleichmäßig, trittfest und rissfrei zu verdichten und die Anforderungen an die Oberfläche für die Verlegung der KDB zu erfüllen.
- Der Bauablauf bei der Herstellung der Oberflächenabdichtung wurde durch die ausführende Firma so gestaltet, dass große Flächen bereits abgedichtet und mit Kies belegt wurden, bevor der Randabschluss mit Trisoplast und KDB hergestellt wurde. Das hatte häufig die Folge, dass Oberflächenwasser auf die fertiggestellte Trisoplast-Dichtung im Randabschluss floss, so dass die Oberfläche aufweichte und rückgebaut werden musste.
- Vereinzelt musste Trisoplast-Mischgut vor dem Einbau zurückgewiesen werden, da es entweder mit Zement verunreinigt oder klumpig angeliefert wurde. Bis auf wenige Ausnahmen stimmte die Rezeptur (Bentonitgehalt im Mittel 11,9 Gew.-%).
- Große Mengen an Mischgut mussten verworfen werden, da das Material auf der Baustelle nicht fachgerecht zwischengelagert worden war (Vernässung durch Niederschlagswasser oder seitlich zufließendes Oberflächenwasser, Vermischung mit Fremdbestandteilen, Austrocknung nach sehr langer Liegezeit bzw. fehlender Folienabdeckung).
- Die Einhaltung des projektspezifisch maximal zulässigen Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes von $1 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ war unproblematisch, der Mittelwert der gesättigten Wasserdurchlässigkeit lag bei $3,0 \times 10^{-11} \text{ m/s}$.

Insgesamt erfolgte die Ausbildung des Randabschlusses vertragsgemäß und fachgerecht. Allerdings war hierfür ein sehr großer Qualitätssicherungs- und Qualitätslenkungsaufwand notwendig.

2.6.4 Entwässerungsschicht

Auf der geotextilen Schutzlage der Kunststoffdichtungsbahn wurde die mineralische Entwässerungsschicht in einer Dicke von 0,2 m aus einem natürlichen Kies, Rundkorn 16/32, hergestellt. Die Anforderung an die Wasserdurchlässigkeit betrug $1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ (Laborversuch), um die 100 bis 150 m lange und mit 1 : 10 geneigte Ostböschung entwässern zu können und auch langfristig ausreichende Reserven im Porenraum gegenüber Alterungsprozessen wie z.B. Inkrustationen aufzuweisen. Tatsächlich wurde im Mittel eine Durchlässigkeit von $1,6 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ gemessen. Der Kies wurde aus dem Oberrheintal geliefert. Das Korn war vorwiegend geschlossen und glatt mit rund 10 % schlecht geformten Anteilen. Der Kornzertrümmerungsversuch nach GDA E 3-12 ergab eine Unterkornbildung von 8,8 %. Der Kalkgehalt betrug im Mittel 6,9 %, das Material war frei von organischer Substanz und Schadstoffen.

Die Anlieferungen wurden hinsichtlich der Kornverteilung untersucht. Bei den ersten Lieferungen lag das Unterkorn < 16 mm häufig mit knapp unter 20 % unzulässig hoch, wobei Einzelwerte bis 34 % auftraten. Ursächlich waren hierbei offenbar Entmischungsvorgänge beim Schifftransport. Nachdem dieser Mangel abgestellt worden war, lag der Unterkornanteil immer zwischen 8,1 und 13,8 %.

Der Kies wurde mit Langarmbaggern eingebaut, die entweder am Böschungsfuß außerhalb der abzudichtenden Fläche oder auf den temporären Baustraßen der Rekultivierungsschicht fuhren. Vereinzelt fuhren für die Bagger auch auf Fahrdämmen, in denen der Kies überhöht eingebaut worden war und die am Ende der Überschüttung eines Baufeldes in der Fläche verteilt wurden. In diesem Fall musste sehr sorgfältig darauf geachtet, dass mit den Baggerketten keine Fremdbestandteile in den Kies eingetragen wurden.

Im Probefeld und beim Einbau wurde neben der Schichtmächtigkeit vor allem die Kornstabilität des Materials durch Beprobung und Nasssiebung nach Überfahrten mit den Baggern überprüft. Das Material hat sich als kornstabil bewährt, die Überwachungsdaten ergaben nach Einbau tolerable Erhöhungen des Unterkornanteils infolge der Befahrungen. Die Sandgehalte und die Gehalte an Ton und Schluff wurden im Mittel mit nur 0,3 % bzw. 0,4 % bestimmt. Die Entwässerungsschicht wurde nach ihrem Einbau abschnittsweise mit dem geotextilen Flächenfilter bedeckt, um sie vor dem Eintrag von Staub und Fremdboden zu schützen und um nach Einbau des Unterbodens den Eintrag von Feinboden infolge Suffosion aus der Rekultivierungsschicht zu verhindern.

Bei der Ausführung mussten Flächen der Entwässerungsschicht nach Herstellung nur dann wieder ausgebaut und neu hergestellt werden, wenn längere Zeit offen liegende Anschlussbereiche von Baufeldern unzureichend geschützt und durch Fremdboden verunreinigt worden waren.

2.6.5 Optimierte Rekultivierungsschicht

Da der Standort der Deponie Prael durch geringe Jahresniederschläge und eine hohe potentielle Verdunstung gekennzeichnet ist und sowohl in der alten Abdeckung der Deponie als auch in der Umgebung Lössböden mit einem hohen Wasserspeichervermögen verfügbar sind, sind die Voraussetzungen gegeben, dass die Rekultivierungsschicht im Zusammenwirken mit einem stark wasserverbrauchenden Bewuchs so aufgebaut werden kann, dass im Jahresverlauf möglichst wenig Wasser zum Dichtsystem absickert. Eine auf dieses Ziel hin optimierte Rekultivierungsschicht kann langfristig zur Sicherung der Altlast beitragen, da sie auch für den Fall, dass die Kunststoffdichtungsbahn nach vielen Jahrzehnten durch Alterungsprozesse in ihrer Wirkung eingeschränkt sein sollte, möglichst wenig Wasser in den Altlastkörper versickern und dort Schadstoffe mobilisieren lässt.

Das Sanierungskonzept sah folglich vor, die Rekultivierungsschicht mit insgesamt 1,5 m Schichtdicke (0,35 m Oberboden und 1,15 m Unterboden) mächtiger aufzubauen als es die Mindestanforderungen im Deponierecht vorsehen und an die Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser (nutzbare Feldkapazität, nFK) die Mindestanforderung 200 mm zu stellen. Die optimierte Rekultivierungsschicht sollte aus den Böden der alten Abdeckung aufgebaut werden, die auf 10 ha beräumt, zwischengelagert und auf der neuen, 7 ha großen Fläche wieder eingebaut werden sollten. Da aus der Bestandsaufnahme der alten Oberflächendichtung bekannt war, dass die

alte Rekultivierungsschicht bereichsweise durch starke Verdichtung in ihrer nFK geschädigt war, war vorgesehen, die Böden bei der Flächenräumung anzusprechen und bei Bedarf ggf. aufzubereiten (Gefügelockerung bei stark verdichtetem, festem Bodenzustand bzw. Trocknung bei weichen Böden). Die Wirkung der durch die Bau-firma zu wählenden Aufbereitungstechnik sollte mit ausreichendem zeitlichen Vorlauf vor dem großflächigen Einbau in Schüttversuchen überprüft werden. Da die Masse der aus der alten Rekultivierungsschicht gewonnenen Böden nicht ausreichte, wurde zusätzlich auch Lieferboden in die neue Rekultivierungsschicht eingebaut.

Die folgenden wesentlichen Anforderungen sollten Unter- und Oberboden der neuen Oberflächenabdichtung erfüllen:

- Korngrößenverteilung: $\leq 20\%$ Ton, $\geq 50\%$ Schluff, $\leq 25\%$ Kies
- Trockendichte ρ_d : $\leq 1,65 \text{ g/cm}^3$
- Verdichtungsgrad: $\leq 92\%$ D_{Pr} bei $w \ll w_{Pr}$
- Konsistenzzahl I_c : $> 0,75$
- nutzbare Feldkapazität nFK: $\geq 16 \text{ mm/dm}$
- Luftkapazität LK: $\geq 8 \text{ mm/dm}$
- Ungesättigte Wasserdurchlässigkeit k_u : $1 \times 10^{-7} \leq k_u \leq 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
- Humusgehalt Unterboden $\leq 2\%$
- Humusgehalt Oberboden 4 bis 8 %
- Schadstoffgehalte nach LAGA: Z0

Bei der Räumung der Rekultivierungsschicht aus der alten Oberflächenabdichtung wurden die Böden in über 160 Baggerschürfen im Raster 25 m x 25 m (Maßnahme B4) und 50 m x 50 m (Maßnahme B3) erkundet, angesprochen und gemäß ihren Eigenschaften in die in Tabelle 2.6.5-1 angegebenen Klassen separiert.

Tabelle 2.6.5-1 Separierung und Verwendung der Böden aus der alten Rekultivierungsschicht

Herkunft	Eigenschaften	Verwendungszweck (Kürzel)
Oberboden	ohne Störstoffe und Bauschutt. Bodenart, Humusgehalt und Konsistenz anforderungsgerecht	Einbau als Oberboden in neuer Rekultivierungsschicht (OB)
Oberboden	$> 10\%$ Bauschutt, Störstoffe, nicht anforderungsgerechte Bodeneigenschaften	Wiederverfüllung B4 (WV)
Unterboden	Lösslehm, $I_c > 0,75$, keine Überverdichtung, nicht grobstückig, Bodeneigenschaften anforderungsgerecht	Einbau als Unterboden in neuer Rekultivierungsschicht ohne Bodenaufbereitung (UB)
Unterboden	Lösslehm, $I_c > 0,75$, überverdichtet mit verhärteten grobstückigen Klumpen, Bodeneigenschaften ansonsten anforderungsgerecht	Aufbereitung durch Gefügezerkleinerung und Einbau als Unterboden in neuer Rekultivierungsschicht (UB-A1)
Unterboden	Lösslehm, $I_c \leq 0,75$, Bodeneigenschaften ansonsten anforderungsgerecht	Aufbereitung durch Trocknung und ggf. Gefügeverbesserung und Einbau als Unterboden in neuer Rekultivierungsschicht (UB-A2)
Unterboden	$> 10\%$ Bauschutt, Störstoffe, nicht anforderungsgerechte Bodeneigenschaften	Wiederverfüllung B4 (WV)

Die bei der Räumung der alten Abdeckung aufgenommenen Böden wurden zum Teil direkt in die neue Rekultivierungsschicht (Material UB) eingebaut oder zur Wiederverfüllung im Rahmen der Maßnahme B4 genutzt (WV). Der größte Teil der bei der Flächenräumung gewonnenen Rekultivierungsböden wurde allerdings in Bodenmieten auf dem Gelände zwischengelagert. Während die Halden für die Wiederverfüllung recht hoch aufgeschüttet und verdichtet werden konnten, musste mit den anderen Böden unterschiedlich sorgsam umgegangen werden, damit sie in ihren Eigenschaften durch die Zwischenlagerung nicht mehr als unvermeidbar verschlechtert wurden. Je nach den Ausgangseigenschaften und dem Verwendungszweck der Materialien wurden sie vor Vernässung durch Kunststofffolien geschützt und die Höhe der Halden zur Vermeidung einer Verdichtung durch überhöhte Auflast begrenzt.

Da die Flächenräumung im Herbst 2003 noch nicht abgeschlossen war, wurden die nach dem sehr trockenen Sommer 2003 noch nicht aus der alten Rekultivierungsschicht ausgebauten und in Halden zwischengelagerten Böden im Rahmen der Wintersicherung der Baustelle 2003/04 mit Folien abgeplant, um ihre für die Bearbeitung günstige halb feste Konsistenz zu erhalten. Die Konsistenzzahl lag dadurch beim Einbau im Mittel bei 1,32.

Die Auswirkung der Aufbereitungs- und Einbautechnik auf die Bodeneigenschaften der neuen Rekultivierungsschicht wurde im Probefeld und in vier Schüttversuchen geprüft. Tabelle 2.6.5-2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

Tabelle 2.6.5-2 Erprobung der Aufbereitungs- und Einbautechnik der Böden der Rekultivierungsschicht (zu den Kürzeln der Bodenherkunft siehe Tab. 2.6.5-1)

Versuch	Bodenherkunft und -aufbereitung	mittlere Luftkapazität [mm/dm]	nutzbare Feldkapazität [mm/dm]
Probefeld	UB, keine Aufbereitung	14,8	21,1
Schüttversuch 1	UB-A1, Aufbereitung durch Fräse	19,2	13,9
Schüttversuch 2	Boden des AG (natürlich gewachsener Löss vom ehemaligen Grubenrand), ohne Aufbereitung	21,1	15,2
Schüttversuch 3A	UB-A1 aus Halde B3, Aufbereitung durch Fräse	20,8	15,4
Schüttversuch 3B	UB-A1 aus Halde B3, Aufbereitung durch dünnlagiges Abschieben mit Raupenschild,	19,8	14,9
Schüttversuch 4	Lieferboden Grube Barth	17,3	26,9

Der Unterboden wurde unabhängig von der Herkunft und der Aufbereitung des Materials immer in einer Lage mit dem Langarmbagger in seiner Gesamtstärke eingebaut. Die Verdichtungsgrade waren entsprechend gering. Im Material, das aus der alten Abdeckung stammte, betragen sie im Mittel 71,7 % D_{Pr} , beim Lieferboden wurden 79,7 % D_{Pr} bestimmt (die Prüfungen sind hierzu zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung noch nicht abgeschlossen). Das hatte zur Folge, dass im Zuge der ersten Be-

feuchtung und Durchsickerung des Bodens mit einer erheblichen Sackung von ca. 25 % zu rechnen war.

Es zeigte sich in den Schüttversuchen, dass die Luftkapazität immer bei weitem ausreichend war. Die nutzbare Feldkapazität war jedoch in den aufbereiteten Böden UB-A1 auch nach Aufbereitung deutlich niedriger als im Material UB. Hinzu kam, dass die Ergebnisse zur nFK im Probefeld an Material mit sehr guter Korngrößenverteilung, unter sehr günstigen Witterungsverhältnissen und bei optimaler Konsistenz erzielt wurden. Angesichts der in der Fläche zu erwartenden Schwankungen in Bodenart und Konsistenz konnte nicht erwartet werden, dass überall vergleichbar gute Werte erzielt werden konnten. Um die zu erwartenden Sackungen und Qualitätseinbußen aufgrund von Materialschwankungen im Vorwege auszugleichen, wurde beschlossen, den Unterboden mit einer Überhöhung von 20 cm in einer Schütthöhe von 1,35 m einzubauen.

Der Einbau mit dem Langarmbagger erfolgte von Baustraßen aus. Zum Teil lagen die Baustraßen im Bereich der späteren Wartungswege, so dass Verdichtungen in den Baustraßen unkritisch waren und daher hier von vornherein Boden mit für den Einbau in der Fläche zu weicher Konsistenz eingebaut wurde (Material UB-A2). Die Baustraßen im Bereich der späteren Wartungswege reichten jedoch nicht aus, um die Gesamtfläche mit dem Langarmbagger zu erreichen, so dass zusätzliche temporäre Baustraßen erforderlich waren. Dort wurde Material UB, UB-A1 oder Lieferboden eingebaut und beim Rückbau mit dem Bagger wieder aufgenommen, gelockert und erneut eingebaut. Da die temporären Baustraßen z.T. rund 1,5 Jahre bestanden, musste die Lockerung der Baustraßen intensiv überwacht und zum Teil auch Boden, der zu stark verdichtet und unbrauchbar geworden war, rückgebaut und durch geeignetes Material ersetzt werden.

Da aufgrund der Beimengung von Bauschutt und Störstoffen nicht der gesamte Boden der alten Abdeckung in die neue Rekultivierungsschicht eingebaut werden konnte und wegen der Sackungsüberhöhung sowie des Teilrückbaus der temporären Baustraßen reichten die Massen der alten Abdeckung nicht aus und es musste zusätzlicher Lieferboden für die optimierte Rekultivierungsschicht zugekauft werden. Die Lieferböden wurden am Herkunftsort begutachtet sowie durch Laboruntersuchungen und Schüttversuche auf ihre Eignung geprüft. Für den Unterboden wurde Löss geliefert, der aus den östlich von Sprendlingen auf der Oberhilbersheimer Hochfläche gelegenen Gruben der Firmen Barth und Gaul stammte. Aus diesen Gruben stammte auch der 1985/86 in die alte Abdeckung eingebaute Löss. Oberboden wurde aus den nordwestlich an die eIMD Prael grenzenden Fläche, die für eine gewerbliche Nutzung vorbereitet wurden, zugekauft.

Insgesamt kamen in der optimierten Rekultivierungsschicht hinsichtlich ihrer bodenhydrologischen Kennwerte ausschließlich hochwertige, sehr schluffreiche Böden zum Einsatz (≥ 75 % Ton- und Schluff). Die Böden wurden bei Erfordernis zur Gefügebesserung gezielt aufbereitet und unter Berücksichtigung ihrer Konsistenz bodenschonend eingebaut. Der lockere Einbau mit einer Sackungsreserve bietet bodenhydrologisch sehr gute Voraussetzungen für einen stark wasserverbrauchenden Gehölzbestand, der die Absickerung von Wasser zur Dichtung langfristig minimiert.

Aufgrund des hohen Schluff- und Tongehalts sind die Böden mechanisch empfindlich, so dass ein Einbau mit Kettenfahrzeugen die Gefahr bergen würde, dass das gute Wasserspeichervermögen und die Luftkapazität der Böden geschädigt würde,

wie es in der alten Abdeckung der Fall gewesen war. Außerdem könnte durch was-
serstauende Zwischenlagen die Böschungsstabilität gefährdet werden. Im Winter
2004/05 konnte erstmals großflächig beobachtet werden, wie die noch nicht in allen
Bereichen hergestellte neue Rekultivierungsschicht sich bei Starkregen verhält. Trotz
der erheblichen Niederschläge wurde auch auf der steilen Nordostböschung (1:3)
keinerlei Erosion festgestellt und der gesamte Niederschlag schadlos vom Boden
aufgenommen. Nur auf den noch nicht rückgebauten temporären Baustraßen sam-
melte sich Niederschlagswasser und floss oberflächlich ab, nicht ohne entsprechende
Erosionsschäden zu verursachen. Auch hinsichtlich der Böschungsstabilität hat sich
der lockere, bodenschonende Einbau der Rekultivierungsschicht bisher sehr be-
währt. Es wäre an diesem gut dokumentierten Beispiel fachtechnisch interessant, die
weitere Bodenreifung zu beobachten und messend zu dokumentieren.

3 Zusammenfassendes Fazit

Die ehemalige Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Rheinhessen musste
aufgrund der von ihr ausgehenden akuten Gefährdung des Grundwassers nach ihrer
ersten Sanierung in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts in den Jahren 2003
bis 2005 ein zweites Mal saniert werden. Im wesentlichen hatte sich die erste minera-
lische Oberflächenabdichtung als nicht ausreichend wirksam und beständig heraus-
gestellt, da seinerzeit auf wichtige Komponenten (Kunststoffdichtungsbahn, Entwäs-
serungsschicht) verzichtet worden war.

Durch die zweite Sanierung wurden folgende Ziele erreicht:

- Verkleinerung der Fläche von 10 auf 7 ha durch Teilrückbau
- Vervollständigung der Umschließung durch einen neuen Dichtwandabschnitt
- Bau einer neuen Oberflächenabdichtung auf der verbleibenden Fläche

Die Begrünung des neuen Oberflächenabdichtungssystems und die Vorbereitung der
durch den Rückbau gewonnenen Teilfläche für die Folgenutzung sind noch nicht ab-
geschlossen.

Wie erfolgreich die neuen Sicherungsbauwerke Oberflächenabdichtung und Dicht-
wand im Zusammenwirken mit den verbliebenen alten Sicherungselementen alte
Dichtwand und Sickerwasserfassung die Ausbreitung von schadstoffbelasteten Wäs-
sern zukünftig verhindern, wird die Überwachung der sanierten eIMD Prael im Rah-
men der Nachsorge zeigen.

Die Ausführung der zweiten Sanierung war ausgesprochen komplex. Auf engem
Raum mussten unter sehr anspruchsvollen Anforderungen an den Arbeits- und Ge-
undheitsschutz ein umfangreiches Massen-, Entsorgungs- und Bauwassermana-
gement, die fachgerechte Herstellung aufwändiger Sicherungsbauwerke und der
Weiterbetrieb der Sickerwasserfassung koordiniert und durchgeführt werden. Trotz
umfangreicher Erkundungen im Vorwege der Sanierung mussten der Arbeitsschutz
und die Massenströme der Böden während der Sanierung mehrfach an die Realitä-
ten angepasst werden. Beides verursachte Mehrkosten und Zeitverzug.

Die Herstellung der neuen Sicherungsbauwerke wurde durch die örtliche Bauüber-
wachung und die beteiligten Fremdüberwacher begleitet und in ihrer Qualität gesi-
chert. Die Autoren des vorliegenden Beitrags bedanken sich für die Zusammenarbeit
bei der Sanierung beim Bauherrn (Land Rheinland-Pfalz, vertreten durch das Minis-

terium für Umwelt und Forsten, die Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, die Kreisverwaltung Mainz-Bingen und die beteiligten Fachbehörden), bei der Projektsteuerung (Arcadis Consult GmbH), bei der Bauoberleitung (Planungsgemeinschaft IGB/CDM), den Fremdüberwachern Vermessung und Chemie (Büro Stahl und Chemlab), der ausführenden Baufirma (Arge Brückner/Walter-Heillit) und ihren Eigenüberwachern. Die Bürger Sprendlingens haben die Sanierung mit Interesse verfolgt und können mit dem Ergebnis hoffentlich zufrieden sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Land Rheinland-Pfalz, Ministerium für Umwelt und Forsten (Hrsg.) (2003): Ehemalige Industriemülldeponie Prael, Sprendlingen. Erneuerung und Optimierung der Sicherungsbauwerke. Eigenverlag, 46 S.
- [2] Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz (1984): Die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der ehemaligen Industriemülldeponie Prael, Sprendlingen. Gutachten vom 21.01.1984
- [3] Schmitt, G.-P. & H. Krampen (1987): Stufen und Modellkonzept der Sanierung der Sonderabfalldeponie Sprendlingen. In: Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Erfahrungen bei der Sanierung der Sonderabfalldeponien Gerolsheim und Sprendlingen. Symposium am 16.02.1987. Eigenverlag, S. 89-102
- [4] Schmitt, G.-P. (1987): Erfahrungen mit der mineralisch-wässrigen Oberflächenabdichtung in Einfachbauweise bei der Sanierung der Sonderabfalldeponie Sprendlingen. In: Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Erfahrungen bei der Sanierung der Sonderabfalldeponien Gerolsheim und Sprendlingen. Symposium am 16.02.1987. Eigenverlag, S. 9-24
- [5] Witt, K.-J. & W. Beck (1987): Dichtwände, Dichtwandmaterialien; vergleichsweiser Bau einer Zweiphasenwand und einer Wand mit eingehängter Kunststoffdichtungsbahn am Beispiel der Sonderabfalldeponie Sprendlingen. In: Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Erfahrungen bei der Sanierung der Sonderabfalldeponien Gerolsheim und Sprendlingen. Symposium am 16.02.1987. Eigenverlag, S. 51-61
- [6] Mergen, H. & G.-P. Schmitt (1988): Sanierung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen. In: Franzius, V. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung.
- [7] Maier-Harth, U. & S. Melchior (2001): Überprüfung der Wirksamkeit der 10 Jahre alten mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. In: Maier-Harth, U. (Hrsg.): Oberflächenabdichtung und Rekultivierung von Deponien. 4. Deponieseminar des Geologischen Landesamts Rheinland-Pfalz am 28.03.2001 in Mainz. Eigenverlag, S. 121-182
- [8] Maier-Harth, U. & S. Melchior (2002): Überprüfung der Wirksamkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung der ehemaligen Industriemülldeponie Prael in Sprendlingen, Kreis Mainz-Bingen. In: Ramke, H.-G. et al. (Hrsg.): Austrocknungsverhalten mineralischer Abdichtungsschichten in Deponie-Oberflächenabdichtungssystemen. Status-Workshop. Höxteraner Berichte zu angewandten Umweltwissenschaften., Bd. 3, S. 239-252
- [9] Arcadis Asal (2001): Bestandsaufnahme zur Altlastensituation Industriemülldeponie Prael. Gutachten für die Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Neustadt/Weinstraße vom 18.01.2001. Kaiserslautern, 108 S., 3 Anlagen, 16 Pläne mit einer Fortschreibung der Pläne in 2 Teilen am 11.10.2001
- [10] Planungsgemeinschaft IGB / Rubel & Partner (2001): Objektdokumentation zum Bau der Sickerwasserfassung. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen.

- [11] Planungsgemeinschaft melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft / IGB / Rubel & Partner (2002): Sicherung eIMD Prael, Sprendlingen. Maßnahme B1 Sickerwasserfassung. Ergebnisse der Pumpversuche. Schlussbericht. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen, 66 S., 10 Anlagen
- [12] Planungsgemeinschaft melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft / Rubel & Partner (2002): Sicherung eIMD Prael, Sprendlingen. Maßnahme B1 Sickerwasserfassung. Hydrologie und Hydrogeologie. Auswertung vorhandener Unterlagen und Durchführung hydraulischer Modellrechnungen. Schlussbericht. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen, 121 S., 10 Anlagen
- [13] Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH (2002): Sanierung eIMD Prael, Sprendlingen. Sanierungsplan nach BBodSchG. Maßnahmen B3 und B4. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen, 79 S., 9 Anlagen, 21 Pläne
- [14] Land Rheinland-Pfalz, Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd (2003): Vollzug des Bodenschutzrechts und des LAbfWAG TI.5 (Altlasten) - Genehmigung von geplanten Sanierungsmaßnahmen: Fortführung der Sanierung der ehemaligen Industiemülldeponie Prael in Sprendlingen. Bescheid vom 03.03.2003. Neustadt/Weinstraße, 22 S.
- [15] Planungsgemeinschaft IGB / CDM (2003): Ertüchtigung der Sicherung eIMD Prael, Sprendlingen. Oberflächenabdichtung, Sicherungsbauwerk, Flächenräumung (Maßnahmen B3 und B4). Ausführungsplanung bestehend aus Baubeschreibung (BB), Technischen Vorbemerkungen (TV) und Leistungsverzeichnis (LV) samt Plänen. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen. Hamburg und Bingen. 80 S. BB, 126 S. TV, 293 S. LV, diverse Pläne zu 9 Losen.
- [16] BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH + Co. KG (2003): Vorbemessung zum Nachweis der Standsicherheit, Einbau und Endzustand vom 14.08.2003 und Nachweis der Standsicherheit, Einbau und Endzustand vom 09.10.2003. mit Ergänzungsschreiben vom 21.10.2003. Lemförde
- [17] Geotechnik Ingenieure Witt-Jehle-Kriechbaum (2003): Geotechnischer Prüfbericht: Standsicherheitsnachweis - Oberflächenabdichtung - Einbau und Endzustand. Bericht Nr. 021 - 465 mit Ergänzungsschreiben vom 15.10.2003. Koblenz
- [18] Arcadis Consult GmbH (2002): Ertüchtigung der Sicherungselemente auf der eIMD Prael, Sprendlingen. Aktualisierung der Bestandsaufnahme. Im Auftrag der Struktur- und Genehmigungsbehörde Süd, Neustadt/Weinstraße. 140 S., 9 Anlagen, 23 Pläne
- [19] IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut mbH (2005): Fortsetzung der Sanierung der ehemaligen Industiemülldeponie (eIMD) Prael, Sprendlingen. Ergänzende Untersuchungen zur Funktionstauglichkeit der bestehenden Dichtwand. Abschlussbericht. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen, 86 S., 124 Anlagen
- [20] IGH Ingenieurgesellschaft Grundbauinstitut mbH (2004): Fortsetzung der Sanierung der ehemaligen Industiemülldeponie (eIMD) Prael, Sprendlingen. Sicherungsbauwerk. Dokumentation der Fremdüberwachung. Im Auftrag des Landes Rheinland-Pfalz, Kreisverwaltung Mainz-Bingen, 74 S., 37 Anlagen
- [21] André Voutta Grundwasserhydraulik (2004): Ertüchtigung der Deponie Prael, Sprendlingen. Durchführung von sieben Pumpversuchen im Anschluss an die Fertigstellung eines neuen Dichtwandabschnittes. Messbericht und Auswertung. 11 S., 8 Anlagen