

Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten

- Teil 1: Arbeitshilfe zur Vorbereitung und Durchführung von
Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten**
- Teil 2: Dokumentation durchgeführter Sicherungsmaßnahmen**

Im Auftrag des Landesumweltamtes Landes Nordrhein-Westfalen
Essen, 1997

Im Rahmen der Anhörung haben folgende Personen Hinweise und Anregungen zum Inhalt der Arbeitshilfe gegeben:

Herr Benkenstein, Bezirksregierung Köln
Herr Blum, Staatliches Umweltamt Köln
Herr Meyer, Staatliches Umweltamt Minden
Frau Najork, Staatliches Umweltamt Krefeld
Fr. Dr. Nienhaus, Landesumweltamt NRW
Herr Toennes, Stadt Wuppertal
Herr Werner, EUV Eigenbetriebe der Stadt Castrop-Rauxel
Herr Willershausen, Bezirksregierung Düsseldorf

Impressum:

Herausgeber: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)
Wallneyer Str 6 • D-45133 Essen • Tel. (02 01) 79 95-0

**Projektleitung und
Gesamtreaktion:** Dipl.-Ing. Michael Odensaß
Dipl.-Ing. Stefan Schroers
Landesumweltamt NRW

Erarbeitung: Dipl.-Ing. Angela Kleinken
TAUW Umwelt GmbH, Richard-Löchel-Str. 9, 47441 Moers

Schutzgebühr: 35,00 DM (zzgl. MWSt., Porto und Versandkosten)

Schriftenvertrieb: Gemeinnützige Werkstätten Neuss, Am Krausenbaum 11
41464 Neuss, Telefax (0 21 31) 4 28 60

Umschlaggestaltung: Werbeagentur Scharke GmbH, Düsseldorf

ISSN: 1432-3575 (hervorgegangen aus ISSN 0944-4637:
Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten)

Druck: Landwirtschaftsverlag GmbH, Hülsebrockstr. 2, 48168 Münster

Informationsdienste: Umweltdaten aus NRW, Fachinformationen, Schriften- und Kartenverzeichnisse
des LUA NRW etc. im Word Wide Web Internet „<http://www.lua.nrw.de>“

Gedruckt auf 100% Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Sicherungsmaßnahmen kommt - allein oder in Kombination mit anderen Verfahren - eine immer größer werdende Bedeutung bei der Altlastensanierung zu. Diese Bedeutung ergibt sich vor allem deshalb, weil vom Sanierungspflichtigen häufig aus Gründen der Verhältnismäßigkeit keine weitergehenden Dekontaminationsmaßnahmen verlangt werden können, wenn die Gefahrenabwehr auch durch Sicherungsmaßnahmen gewährleistet werden kann. Auch unter Kosten-Wirksamkeits-Gesichtspunkten stellen Sicherungsmaßnahmen in vielen Fällen die vorzugswürdige Lösung dar. In manchen Fällen sind Dekontaminationsverfahren technisch auch nicht einsetzbar.

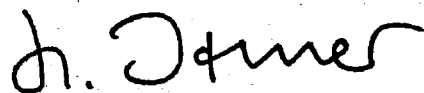
In Nordrhein-Westfalen wurden bis Ende 1995 nach der vom Landesumweltamt geführten Statistik bei ca. einem Drittel von ca. 700 betrachteten Fällen Sicherungsmaßnahmen durchgeführt. Nur selten sind in diesen Fällen bisher nachvollziehbare Dokumentationen von Altlasten-Sanierungsmaßnahmen mit allen standortspezifischen Randbedingungen und einer Offenlegung der Entscheidungsprozesse, Vorgaben und konzeptionellen Überlegungen erfolgt. Die Erfahrungen bei der Festlegung von Sanierungsvorgaben, der Sanierungskonzeption, Detailplanung, Ausführung, Qualitätssicherung, organisatorischen Abwicklung, Nachsorge und Langzeitüberwachung können jedoch wertvolle Empfehlungen für zukünftige Maßnahmen darstellen.

Aus diesem Grunde hat das Landesumweltamt durchgeführte Sicherungsmaßnahmen auswerten und eine Arbeitshilfe erstellen lassen. Mit dem nunmehr vorliegenden Abschlußbericht soll allen, die sich mit der Altlastensanierung befassen (kommunale oder private Auftraggeber, Gutachter, Sanierungsfirmen etc.), eine Hilfestellung bei der Konzeption, Planung, Ausführung und Nachsorge von Sicherungsmaßnahmen geboten werden. Der Bericht ist in zwei Teile gegliedert:

- eine Arbeitshilfe mit Empfehlungen zum Projektablauf, Praxishinweisen und einer Beschreibung der gängigen Sicherungsverfahren mit ihren Anwendungsmöglichkeiten sowie
- eine anonymisierte Dokumentation von Maßnahmen, die im Rahmen dieses Projektes ausgewertet wurden.

Als Einzelmaßnahmen wurden bewußt nicht nur mit überdurchschnittlichem Aufwand bearbeitete Modell- oder Großprojekte ausgewählt, sondern ein Querschnitt der in den letzten Jahren auf kommunaler Ebene mit den dort verfügbaren Mitteln realisierten Projekte.

Die Auswertung der einzelnen Sicherungsmaßnahmen hat u.a. eine sehr unterschiedliche einzelfallspezifische Vorgehensweise bei den verschiedenen Einzelfällen deutlich gemacht. Nicht immer wurden die Sanierungsziele bei Gefahrenabwehr und Gefahrenvorsorge im Zusammenhang mit einer Neunutzung und erforderliche Vorgaben genau genug definiert. Außerdem wurde deutlich, daß bzgl. der Qualitätssicherung bei der Sanierungsdurchführung z.T. Optimierungsbedarf besteht und die Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit der Sicherungsbauwerke nach der Ausführung oft nur in geringem Umfang überwacht werden. Entsprechende Empfehlungen zur künftigen Berücksichtigung dieser Aspekte werden in der vorliegenden Arbeitshilfe gegeben.



Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes
Nordrhein-Westfalen

Essen, im Juni 1997

Gesamtinhaltsübersicht

Teil 1: Arbeitshilfe zur Vorbereitung und Durchführung von Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten

1	Einleitung	14
2	Projektablauf bei Sanierungen unter Berücksichtigung behördlicher Entscheidungspunkte	15
3	Praxishinweise zur Bearbeitung von Sicherungsmaßnahmen	37
4	Beschreibung von Sicherungstechniken	98
	Literaturverzeichnis	155

Teil 2: Dokumentation durchgeführter Sicherungsmaßnahmen

I	Einleitung	173
II	Projekt 1	175
III	Projekt 2	192
IV	Projekt 3	212
V	Projekt 4	246
VI	Projekt 5	260
VII	Projekt 6	277
VIII	Projekt 7	299
IX	Projekt 8	325
X	Projekt 9	365
XI	Projekt 10	386

Teil 1:

Arbeitshilfe zur Vorbereitung und Durchführung von Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	14
2	Projektablauf bei Sanierungen unter Berücksichtigung behördlicher Entscheidungspunkte.....	15
2.1	Einleitung.....	15
2.2	Ausgangspunkte für eine Sanierung	15
2.2.1	Einführung.....	15
2.2.2	Gefährdungsabschätzung	19
2.3	Ablauf der Sanierungsuntersuchung	21
2.3.1	Sanierungsziele	23
2.3.2	Standortuntersuchungen	24
2.3.3	Machbarkeitsstudie	24
2.3.4	Sanierungskonzept (Planungskonzept).....	25
2.4	Ablauf der Sanierungsplanung	26
2.4.1	Sanierungsplan, Entwurfs- und Genehmigungsplanung.....	28
2.4.2	Ausführungsplanung.....	30
2.5	Ablauf der Ausführung von Sanierungen.....	30
2.6	Ablauf der Nachsorge.....	34
2.6.1	Technische Maßnahmen der Nachsorge	34
2.6.2	Langzeitüberwachung	36
3	Anforderungen an die Bearbeitung von Sicherungsmaßnahmen.....	37
3.1	Einleitung.....	37
3.2	Sanierungsuntersuchung.....	37
3.2.1	Sanierungsziele	37
3.2.2	Standortuntersuchung	40
3.2.3	Machbarkeitsstudie	46
3.2.3.1	Klärung der Aufgabenstellung	46
3.2.3.2	Kriterien und Auswahl.....	51

3.3	Sanierungsplanung.....	57
3.3.1	Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung.....	57
3.3.2	Oberflächensicherung	64
3.3.3	Dichtwände.....	69
3.3.4	Maßnahmen der Bodenumlagerung.....	75
3.3.5	Ausschreibung und Vergabe	77
3.4	Ausführung von Sicherungsmaßnahmen	85
3.5	Nachsorge	90
3.5.1	Langzeitüberwachung	90
3.5.2	Technische Nachsorge	96
4	Beschreibung von Sicherungstechniken	98
4.1	Einleitung.....	98
4.2	Oberflächensicherung.....	100
4.2.1	Oberflächenabdeckung.....	103
4.2.1.1	System	104
4.2.1.2	Anforderungen	104
4.2.1.3	Hinweise zur Planung und Auswahl	105
4.2.1.4	Bauausführung und Qualitätssicherung	107
4.2.2	Mineralische Abdichtung	108
4.2.2.1	System	108
4.2.2.2	Anforderungen	108
4.2.2.3	Hinweise zur Planung und Auswahl	109
4.2.2.4	Bauausführung und Qualitätssicherung	111
4.2.3	Kunststoffdichtungsbahn.....	112
4.2.3.1	System	112
4.2.3.2	Anforderungen	112
4.2.3.3	Hinweise zur Planung und Auswahl	113
4.2.3.4	Bauausführung und Qualitätssicherung	114
4.2.4	Kombinationsabdichtung	116
4.2.4.1	System	116
4.2.4.2	Anforderungen	116
4.2.4.3	Hinweise zur Planung und Auswahl	118
4.2.4.4	Bauausführung und Qualitätssicherung	119
4.2.5	Kapillarsperre	121

	11
4.2.5.1	System121
4.2.5.2	Anforderungen121
4.2.5.3	Hinweise zur Planung und Auswahl122
4.2.5.4	Bauausführung und Qualitätssicherung124
4.2.6	Asphaltbetonabdichtung124
4.2.6.1	System124
4.2.6.2	Anforderungen125
4.2.6.3	Hinweise zur Planung und Auswahl126
4.2.6.4	Bauausführung und Qualitätssicherung127
4.2.7	Bentonitmatte128
4.2.7.1	System128
4.2.7.2	Anforderungen129
4.2.7.3	Hinweise zur Planung und Auswahl132
4.2.7.4	Bauausführung und Qualitätssicherung134
4.3	Dichtwand135
4.3.1	System136
4.3.2	Anforderungen138
4.3.3	Hinweise zur Planung und Auswahl139
4.3.4	Bauausführung und Qualitätssicherung142
4.4	Immobilisierung144
4.4.1	System145
4.4.2	Anforderungen145
4.4.3	Hinweise zur Planung und Auswahl147
4.4.4	Bauausführung und Qualitätssicherung148
4.5	Hydraulische Maßnahmen149
4.5.1	System151
4.5.2	Anforderungen151
4.5.3	Hinweise zur Planung und Auswahl152
4.5.4	Bauausführung und Qualitätssicherung154
Literaturverzeichnis155	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf Altlastenuntersuchung und Sanierung	16
Abbildung 2: Ablauf der Sanierungsuntersuchung	22
Abbildung 3: Ablauf der Sanierungsplanung	27
Abbildung 4: Ablauf der Ausführung von Sanierungen.....	33
Abbildung 5: Ablauf der Nachsorge.....	35
Abbildung 6: Überblick Sicherungstechniken	99
Abbildung 7: Dichtwandsysteme und Erfahrungswerte	137
Abbildung 8: Ablauf der Qualitätssicherung bei der SAD Malsch.....	143

Verzeichnis der Checklisten

Checkliste 1:	Schadstoffinventar und Gefährdung.....	43
Checkliste 2:	Standortbeschreibung	45
Checkliste 3:	Vorgaben für die Machbarkeitsstudie	47
Checkliste 4:	Standortspezifische Randbedingungen für Oberflächensicherungen und Dichtwände.....	50
Checkliste 5:	Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung	63
Checkliste 6:	Sanierungsplanung Oberflächensicherung	68
Checkliste 7:	Sanierungsplanung Dichtwand	74
Checkliste 8:	Sanierungsplanung Bodenaushub	77
Checkliste 9:	Ausschreibung und Vergabe	84
Checkliste 10:	Organisation und Dokumentation der Bauausführung	89
Checkliste 11:	Langzeitüberwachung (Monitoring)	97

1 Einleitung

Mit der Arbeitshilfe soll die Bearbeitung von Sicherungsmaßnahmen von der Sanierungskonzeption, Sanierungsplanung bis zur Ausführung und Nachsorge unterstützt werden. Dabei ist auf eine praxisorientierte Darstellung des Verfahrensablaufs u.a. durch die Einbindung von Checklisten und Praxisbeispielen geachtet worden.

Die Praxisbeispiele stammen überwiegend aus der 'Dokumentation ausgeführter Projekte' (acht Projekte aus Nordrhein-Westfalen und zwei Projekte aus den Niederlanden), die im Rahmen des Gesamtprojektes erstellt wurde.

Die nachfolgende Arbeitshilfe gliedert sich in folgende Kapitel:

- Projektablauf von Sanierungen unter besonderer Berücksichtigung von behördlichen Entscheidungspunkten
- Anforderungen an die Bearbeitung von Sicherungsmaßnahmen
- Beschreibung von Sicherungstechniken

Die durch das Landesumweltamt NRW geführte Statistik auf der Grundlage der bei den Staatlichen Umweltämtern bekannten und von ihnen gemeldeten Sanierungsfälle zeigt die zunehmende Bedeutung von Oberflächensicherungen. Bis 1995 wurden danach ca. dreimal häufiger Oberflächensicherungsverfahren eingesetzt als die klassischen Bodenbehandlungstechniken.

2 Projektablauf bei Sanierungen unter Berücksichtigung behördlicher Entscheidungspunkte

2.1 Einleitung

Zielsetzung dieses Kapitels ist es, eine Einführung in das Thema Altlastensanierung und einen Überblick über den Projektablauf von Sanierungen zu geben. Dazu werden die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitsschritten und Projektphasen anhand von Flußdiagrammen deutlich gemacht. Die Entscheidungspunkte der zuständigen Behörde nach der Verordnung zur Regelung von Zuständigkeiten auf dem Gebiet des technischen Umweltschutzes (ZustVOtU) sind im Text hervorgehoben und in den Flußdiagrammen besonders berücksichtigt. Die rechtlichen Rahmenbedingungen durch das Gesetz zur Änderung des Landesabfallgesetzes NW vom 07. Februar 1995 sind in der Beschreibung des Projektablaufs berücksichtigt.

In dieser Arbeitshilfe werden die in Nordrhein-Westfalen üblichen Fachbegriffe benutzt. Die Begriffe werden in diesem Kapitel basierend auf den Veröffentlichungen des Landesumweltamtes (LUA, 1995), des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL, 1991 und 1993) und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA, 1993) definiert. Außerdem sind die Veröffentlichungen des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU, 1989 und 1995) berücksichtigt.

2.2 Ausgangspunkte für eine Sanierung

2.2.1 Einführung

Der Projektablauf bei der Behandlung von Altlasten kann in die Phasen Gefährdungsabschätzung, Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung, Sanierung sowie Nachsorge eingeteilt werden. Eine Übersicht gibt Abbildung 1.

Sanierungsmaßnahmen sind meist mit hohen Kosten verbunden. Um eine möglichst zügige, konfliktfreie Abwicklung zu gewährleisten, sollten im Rahmen der Projektbearbeitung in den wesentlichen Arbeitsphasen Abstimmungen zwischen den beteiligten Parteien, vom Ordnungspflichtigen über den eingeschalteten Gutachter bis zur zuständigen Behörde und Fachbehörde, stattfinden. Die rechtlich verbindliche Entscheidung zum weiteren Projektablauf trifft die zuständige Behörde. Die Aufgabe der Gutachter ist es, die notwendigen Ergebnisse, Unterlagen, Planungen und Vorschläge für eine Entscheidungsfindung zu liefern.

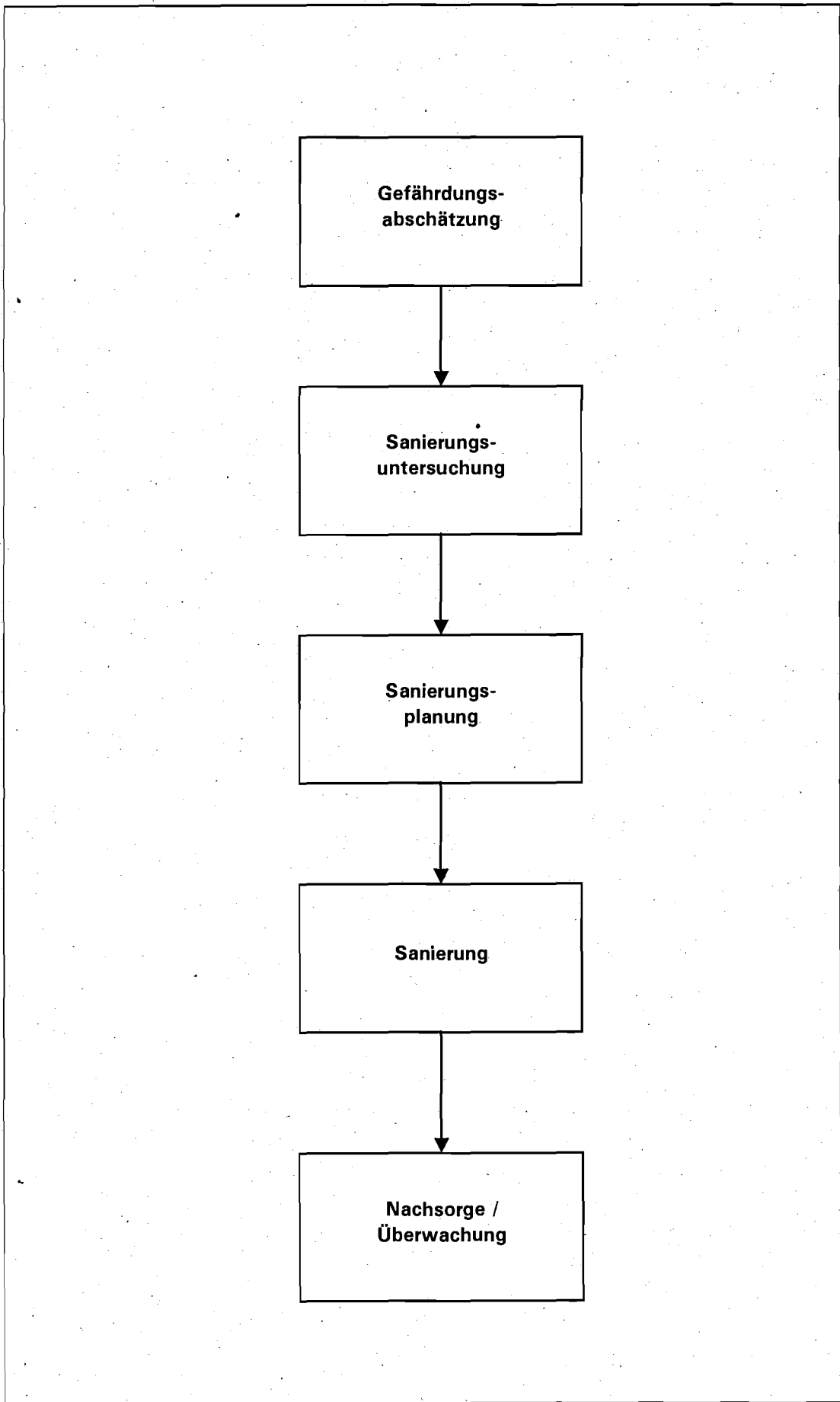


Abb. 1: Ablauf Altlastenuntersuchung und Sanierung

Die **rechtlichen Grundlagen** der behördlichen Entscheidung werden durch die §§ 28 bis 33, insbesondere §§ 31 und 31 a des Landesabfallgesetzes NW (LAbfG NW) in seiner letzten Änderung vom 07. Februar 1995 vorgegeben. Die behördlichen Zuständigkeiten sind in der Zuständigkeitsverordnung technischer Umweltschutz (ZustVOtU vom 02. Mai 1995) geregelt.

Nach der Neufassung der ZustVOtU sind die **zuständigen Behörden** für den überwiegenden Teil der Vollzugsaufgaben und damit für Entscheidungen im Altlastenbereich die Kreisordnungsbehörden. Ausnahmen bilden stillgelegte, ehemals von Kreisen oder kreisfreien Städten betriebene Abfallentsorgungsanlagen und landeseigene Grundstücke sowie Flächen im Bereich der Bergaufsicht. Hier liegen die Zuständigkeiten bei den Bezirksregierungen bzw. Bergämtern oder Landesoberbergamt (Erfassung). Die Nachforschungspflicht sowie die sonstigen Pflichten der Gemeinden als Träger der Bauleitplanung bleiben unberührt.

Für Deponien, die nach Inkrafttreten des AbfG (11.6.1972) stillgelegt worden sind, sind nach § 36 KrW-/AbfG darüberhinaus Maßnahmen durchzuführen, die geeignet sind, Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhindern (Gefahrenvorsorge).

Unter Kostengesichtspunkten kommt der Frage nach dem **Kostenträger** eine große Bedeutung zu. Die Inanspruchnahme des Ordnungspflichtigen für die Gefahrenabwehrmaßnahmen durch die zuständige Behörde muß unter dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit erfolgen. Die Rechte Dritter dürfen bei der Behandlung von Altlasten nicht in unzumutbarem Umfang beeinträchtigt werden. Dabei regelt das Ordnungsbehördengesetz (OBG) die Befugnisse der Ordnungsbehörden, Maßnahmen über ein Anhörungsverfahren, eine Ordnungsverfügung oder eine Ersatzvornahme mit eventueller Duldungsverfügung zu erzwingen. Grundlage der ordnungsrechtlichen Schritte können das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), das Kreislaufwirtschafts- und abfallgesetz (KrW-/AbfG) und besonders das Landesabfallgesetz NRW (LAbfG NW) sein. Kommunen sind sanierungspflichtig als frühere Betreiber von Deponien, Gaswerken u.ä. oder als Grundstückseigentümer.

Wenn es aus finanziellen oder rechtlichen Gründen nicht möglich ist, die Kosten für die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr, die Dekontaminations-, Sicherungs- oder Überwachungsmaßnahmen einem privaten Ordnungspflichtigen aufzuerlegen, hat die öffentliche Hand nach dem Gemeinlastprinzip die Kosten zu tragen. In diesem Zusammenhang soll hier auf einige **Förderungsmöglichkeiten** hingewiesen werden. Das Land Nordrhein-Westfalen beteiligt sich im Rahmen des Förderprogramms „Sanierung von Altlasten“ mit 80 % an der Gefährdungsabschätzung, Sanierungsuntersuchung und Sanierung von Altlasten. Zuwendungsempfänger sind

Kommunen, nicht Private. Bei jeder Bezirksregierung bestehen hierzu gesonderte Anmeldefristen. Mit den zugeteilten Landesgeldern werden die Maßnahmen in der Reihenfolge der Dringlichkeit im jeweiligen Regierungsbezirk gefördert. Bei Sanierungen nur im Zusammenhang mit kommunaler Planung für die Wiedernutzbarmachung von Industrie- und Gewerbebrachen werden keine Landesförderungen gewährt. Eine indirekte Förderung von Sanierungsmaßnahmen durch das Land ist im Rahmen der Wirtschaftsförderung, der Städtebauförderung (Förderrichtlinie Stadterneuerung) und des Grundstücksfondes NRW möglich. Hier können Antragsteller auch Private sein. Eine Finanzierung von Sanierungsmaßnahmen mit 80 %, z.T. auch von Sanierungsuntersuchungen, konnte bisher in Nordrhein-Westfalen außerdem durch den Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband (AAV) Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Lizenzmodells erfolgen. Hierdurch konnten Gefahrenabwehrmaßnahmen und Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung finanziert werden, wenn von der Kommune ein Ordnungspflichtiger nicht festgestellt werden konnte, dieser zur Durchführung der Maßnahmen finanziell nicht in der Lage war, oder wenn die zuständige Behörde auf dem Wege der Ersatzvornahme die Maßnahmen durchführt. Infolge der noch unklaren Rechtssituation des Lizenzmodells (Entscheidung vor dem Bundesverfassungsgericht steht noch aus) können seit 1996 vom AAV keine neuen Maßnahmen bezuschußt werden. Derzeit laufen Bemühungen, die Zahlungsfähigkeit des AAV durch freiwillige Leistungen der Industrie wiederherzustellen (Stand Anfang 1997).

Weitere Möglichkeiten ergeben sich aus den Förderprogrammen Europäischer Fond für Regionale Entwicklung (EFRE), Rückbau von militärischen Liegenschaften (KONVER) und Förderung von Ziel-2-Gebieten (RESIDER II, RECHAR II und Programm Ziel-2). Nähere Informationen hierzu können bei den Bezirksregierungen eingeholt werden.

Die bereits angesprochenen Ingenieur- und Gutachterleistungen zur Abwicklung der Maßnahmen von der Untersuchung bis zur Sanierung werden üblicherweise von Gutachtern oder Gutachterbüros in enger Abstimmung mit den Ordnungs- und Fachbehörden erbracht. Erste Anforderungen an die **Sachkunde** von Gutachtern, Untersuchungsstellen und Gutachten im Sinne §31a Abs. 3 LABfG NW sind in dem Band 11 der Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten (MESA) (LUA, 1995) konkretisiert. Zur Zeit wird ein Verfahren vorbereitet, nach dem die erforderliche Sachkunde und persönliche Eignung der Sachverständigen nachgewiesen und geprüft werden kann. Die Befugnisse als zuständige Behörde zur Festlegung der notwendigen Qualifikationen und Anforderungen an Gutachter liegen beim Landesumweltamt NRW.

Das von der LAWA erarbeitete Handbuch für Ingenieurverträge in der Wasserwirtschaft (HIV-Was) wurde in Nordrhein-Westfalen mit Runderlaß vom 18.06.1996 eingeführt (MURL 1996). Für die Beauftragung von Gefährdungsabschätzungen und Sanierungsuntersuchungen wird das Vertragsmuster des o.g. Materialienbandes 11 (LUA, 1995) empfohlen, wogegen bei Sanierungsmaßnahmen das o.g. Handbuch für Ingenieurverträge in der Wasserwirtschaft herangezogen werden sollte.

Die **Ausschreibung und Vergabe** aller altlastentypischen Leistungen hat entscheidenden Einfluß auf Kosten und Qualität von gutachterlichen und gewerblichen Arbeiten.

In Nordrhein-Westfalen hat sich die Trennung von Gutachterleistungen (als geistig-schöpferische Leistungen) und gewerblichen Leistungen bei allen öffentlichen Auftraggebern bewährt.

Gutachter- und Ingenieuleistungen sollten gemäß HIV-Was (MURL 1996) und HOAI freihändig vergeben werden. Hinsichtlich der Auswahl der in Betracht kommenden Gutachter / Ingenieure ist nur die jeweilige Sachkunde entscheidend. In den Fällen eines Auftragsvolumens größer dem Schwellenwert von 200.000 ECU müssen entsprechend der EU-Dienstleistungsrichtlinie auch solche Leistungen EU-weit behandelt werden. Bohr- und Laborleistungen im Rahmen von Gefährdungsabschätzungen und Sanierungsuntersuchungen sind als gewerbliche Leistungen im Regelfall einem Preiswettbewerb gemäß VOB und VOL zu unterziehen.

Regelungen zur gesonderten Vergabe von Gutachter- und gewerblichen Arbeiten im Rahmen von Untersuchungsmaßnahmen sind im Materialienband 11 (LUA 1995) gemacht. Hinsichtlich der Vergütung von Gutachterleistungen ist die jeweils gültige HOAI zugrunde zu legen. Einen zusätzlichen Vergütungsvorschlag mit den dazugehörigen detaillierten Leistungsbildern enthält der Vorschlag der AHO-Fachkommission (AHO 1996).

Die Vergabe aller gewerblichen Arbeiten bei Sanierungsmaßnahmen hat nach VOB und VOL im Rahmen eines Preiswettbewerbes zu erfolgen. Die Vergaberegelungen in den §§ 3 der VOB A und VOL A national und EU-weit, im Falle der Überschreitung der festgelegten Schwellenwerte, sind für alle öffentlichen Auftraggeber verbindlich. In Nordrhein-Westfalen existieren zusätzlich Regelungen des Finanzministeriums hinsichtlich des maximalen Auftragsumfangs in den Fällen einer freihändigen Vergabe und einer beschränkten Ausschreibung.

Eine Darstellung der Ausschreibungs- und Vergabepaxis bei Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen findet sich auch in WILLERSHAUSEN (1994) (s.a. Kap. 3.3).

2.2.2 Gefährdungsabschätzung

Als Grundlage für die Entscheidung über eine Altlastensanierung ist die Durchführung einer Gefährdungsabschätzung erforderlich. Eine Gefährdungsabschätzung kann notwendig sein

sowohl aufgrund der Auswertung der Daten aus der Erhebung von Altlastenverdachtsflächen und der ordnungsbehördlichen Entscheidung über die zu ergreifenden Maßnahmen (§ 29 ff LAbfG NW) als auch aufgrund des Verdachts einer Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung (Polizei- und Ordnungsrecht). Nach § 31 Abs.2 Satz 1 LAbfG NW kann die zuständige Behörde anordnen, daß die Verantwortlichen nach §§ 17 und 18 OBG bei hinreichendem Verdacht des Bestehens einer Altlast aufgrund konkreter Anhaltspunkte Untersuchungen zur Ermittlung von Art, Umfang und Ausmaß der Belastung der Altlast-Verdachtsfläche durchführen.

Gefährdungsabschätzung

Zusammenfassender Begriff für die Gesamtheit der Untersuchungen und Beurteilungen, die notwendig sind, um die Gefahrenlage bei der einzelnen Altlast-Verdachtsfläche abschließend zu klären. Die *Gefährdungsabschätzung* umfaßt alle im Einzelfall auf die Erfassung folgenden Maßnahmen bis zur abschließenden Gefahrenbeurteilung durch die zuständige Behörde (MURL, 1991).

Mit der Gefährdungsabschätzung erhält die Behörde eine fachliche Aussage als Grundlage für die Entscheidung, ob weiterer Handlungsbedarf besteht. Liegt ein Handlungsbedarf vor, hat die Anordnung von Sofortmaßnahmen oder die Durchführung weiterer Untersuchungen oder Maßnahmen zu erfolgen.

Wichtige Beurteilungshilfen zur Einschätzung der Gefahrenlage sind die Prüfwerte des Hygiene Instituts des Ruhrgebiets (Ewers und Viereck-Götte, 1994), die vorläufigen Prüfwerte der Altlasten-Kommission NRW (LWA, 1993), die Informationsschrift 'Altablagerungen und Altlasten' der LAGA (1991), der Runderlaß des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales Nordrhein-Westfalen 'Metalle auf Kinderspielflächen' (1990) und das 'Mindestuntersuchungsprogramm Kulturböden' der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung (LÖLF) Nordrhein-Westfalen (1990).

Eine ausführliche Erläuterung der Untersuchungs- und Bewertungsschritte im Rahmen der Gefährdungsabschätzung wird in den verschiedenen Arbeitsmaterialien u.a. des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (z.B. MURL, 1987; MURL, 1995a), des Kommunalverbandes Ruhrgebiet (KVR, 1989) und des Instituts für Landes- und Stadtentwicklungsforschung (ILS, 1994) sowie dem Band 11 der Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten (LUA, Mai 1995) gegeben. Nach eventuell notwendigen weiteren Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung (§ 31 Abs. 2 Satz 2 LAbfG NW) können in Abstimmung mit den Fachbehörden die notwendigen Maßnahmen zur Abwehr der von einer

Altlast für die öffentliche Sicherheit und Ordnung ausgehenden Gefahren angeordnet werden (§ 31 Abs. 3 LAbfG NW). Durch die Behörde werden Schutzziele festgelegt, die im Laufe der weiteren Projektbearbeitung konkretisiert werden können (s.a. Kap. 2.3.1).

Schutzziele

Schutzziele bezeichnen das Ausmaß der Risikominderung (Immissions-, Expositions-minderung), das im Einzelfall erreicht werden muß, um Gefahren von den jeweils betroffenen Schutzgütern abzuwenden. Der Form nach können *Schutzziele* als Zahlenwerte (Höchstwerte für die Konzentration von Schadstoffen) oder in verbaler Umschreibung angegeben werden. *Schutzziele* werden von der zuständigen Behörde i.d.R. im Rahmen der abschließenden Gefahrenbeurteilung bestimmt und ggf. aufgrund der Sanierungsuntersuchung weiter konkretisiert und abschließend festgelegt (MURL, 1991).

2.3 Ablauf der Sanierungsuntersuchung

Mit der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen auf Altlastenflächen soll sichergestellt werden, daß an dem Standort nach der Sanierung keine Gefahren mehr für Leben und Gesundheit des Menschen bestehen sowie keine Gefährdung für die Umwelt in Zusammenhang mit der vorhandenen oder geplanten Nutzung ausgeht (SRU, 1990). Abhängig von Art und Weise der Maßnahmen können Sanierungen in Dekontaminationsverfahren und Sicherungsverfahren unterteilt werden. Bei Sicherungsmaßnahmen wird eine Umweltgefährdung durch die Unterbrechung der Wirkungspfade verhindert, während Dekontaminationsverfahren durch eine Entfernung der Kontamination eine endgültige Gefahrenbeseitigung gewährleisten.

Die Sanierungsuntersuchung wird mit dem Ziel durchgeführt, Sanierungsverfahren oder Verfahrenskombinationen auszuarbeiten, die geeignet sind, die bestehenden Gefahren für die Schutzgüter abzuwehren.

Nach § 31 Abs. 4 Satz 1 LAbfG kann die zuständige Behörde verlangen, daß der Verantwortliche eine Sanierungsuntersuchung durchführt.

Sanierungsuntersuchung

Die *Sanierungsuntersuchung* umfaßt die Ermittlung der zweckmäßigen und verhältnismäßigen Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination zur Gefahrenabwehr oder zur Gefahrenvorsorge für eine vorhandene oder geplante Nutzung (LUA, 1995).

Der Ablauf der Sanierungsuntersuchung ist in Abbildung 2 dargestellt.

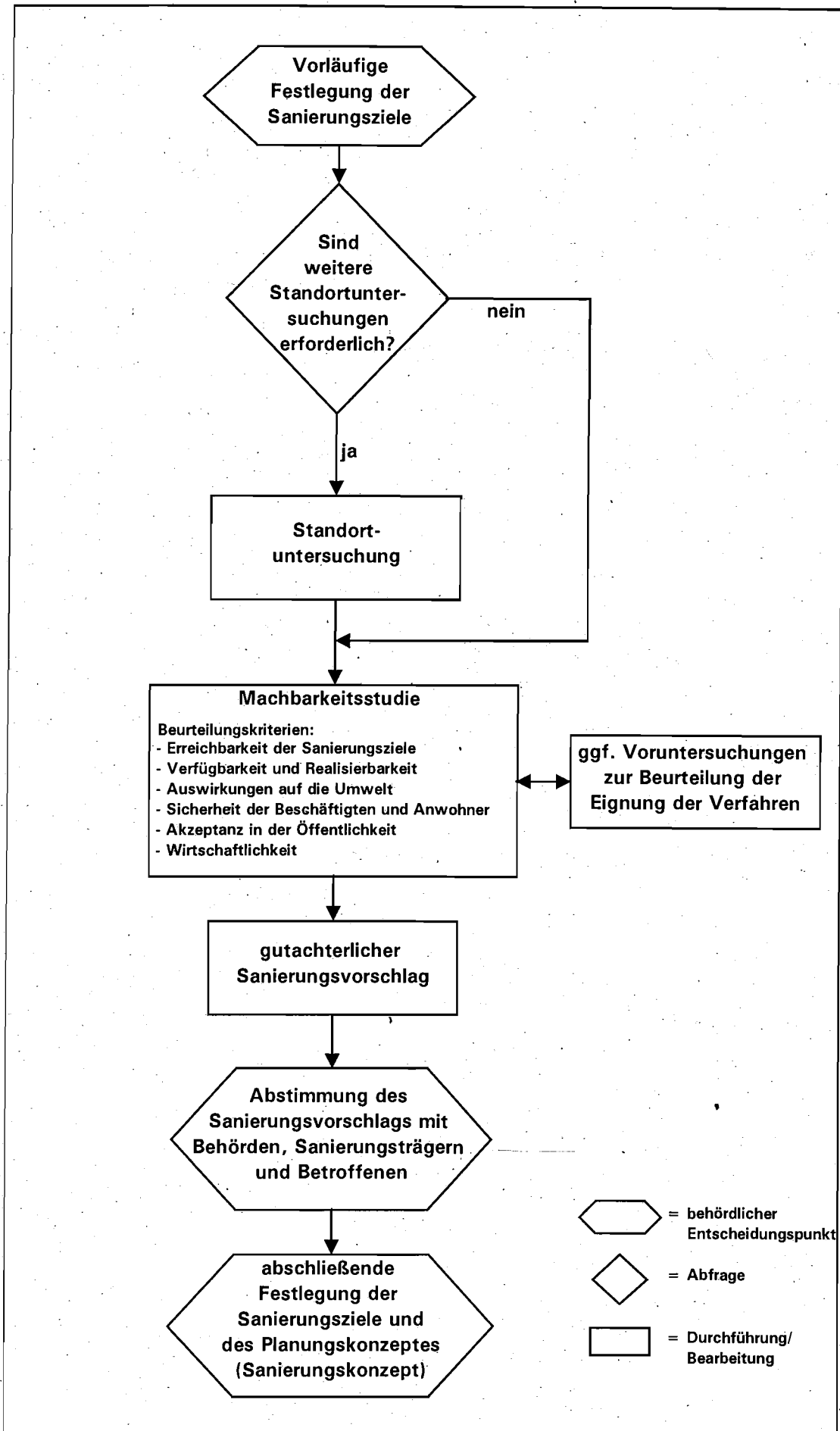


Abb. 2: Ablauf der Sanierungsuntersuchung

2.3.1 Sanierungsziele

Zu Beginn der Sanierungsuntersuchung werden vorläufige Sanierungsziele / Schutzziele formuliert, die im Verlauf der Sanierungsuntersuchung konkretisiert werden:

- Die Sanierungsziele werden durch die **zuständige Behörde** auf den Einzelfall bezogen festgelegt. Die Festlegung kann in Verbindung mit dem Sanierungskonzept erfolgen (s. Kap. 2.3.5). Eine fachliche Diskussion möglicher Sanierungsziele durch die beteiligten Behörden und den Gutachter unterstützt die Entscheidungsfindung der Behörde.

Sanierungsziele erfüllen mehrere Funktionen. Sie dokumentieren und begründen (nochmals) die Notwendigkeit der Sanierung, und formulieren die Anforderungen an sie.

Sanierungsziele

Auf den Einzelfall bezogene, von den Schutzziele abgeleitete, abschließend festgelegte Maßgaben für das Ergebnis von Sanierungsmaßnahmen (MURL, 1993).

Bei Sanierungen, die unter städtebaulichen Gesichtspunkten, z.B. Bebauungsplanung, geplant und durchgeführt werden, sind die *Sanierungsziele* auch unter dem Aspekt der Gefahrenvorsorge im Hinblick auf die künftige Nutzung zu formulieren (SRU, 1995).

Für eine Sanierung können im Lauf der Sanierungsuntersuchung qualitative und quantitative Sanierungsziele definiert werden. Qualitative Ziele beschreiben den Schutz der einzelnen Schutzgüter vor Gefahren, die von Kontaminationen ausgehen. Die qualitativen Ziele werden häufig durch quantitative Ziele ergänzt. Bei den quantitativen Zielen kann zwischen Handlungswerten und Sanierungszielwerten unterschieden werden. In Kapitel 3.2.1 werden verschiedene Beispiele für die Formulierung von Sanierungszielen gegeben und erläutert.

Handlungswerte / Eingreifwerte

Standortbezogene (Grenz-)Konzentrationen von Schadstoffen im jeweiligen Medium, bei deren Überschreitung Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden sollen. Konzentrationen, die unterhalb des *Handlungswertes* liegen, werden somit am Standort geduldet.

Sanierungszielwerte

(Grenz-)Konzentrationen von Schadstoffen, die nach einer Sanierung im jeweiligen Medium (Luft, Boden(-luft), (Grund-)Wasser) nicht mehr überschritten werden sollen (MURL, 1993).

2.3.2 Standortuntersuchungen

Für die Erstellung der Machbarkeitsstudie können weitere Standortuntersuchungen erforderlich werden. Durch die Standortuntersuchungen wird die Datenbasis für die Machbarkeitsstudie ergänzt. Art, Höhe und Umfang der vorhandenen Belastung sowie verschiedene relevante Nutzungen können es erforderlich machen, eine Einteilung in Sanierungszonen vorzunehmen.

Sanierungszonen

Unterteilung der Altlast in Teilbereiche unterschiedlicher Charakteristik (u.a. Schadstoffinventar, Untergrundverhältnisse, Nutzung), die ggf. mit unterschiedlichen Maßnahmen saniert werden können (LUA, 1995).

2.3.3 Machbarkeitsstudie

Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, die Durchführbarkeit von Sanierungsmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen einschließlich der erforderlichen Begleitmaßnahmen für den Einzelfall zu prüfen und zu bewerten.

Machbarkeitsstudie

Untersuchung, Vergleich und Bewertung von Sanierungsverfahren, Verfahrenskombinationen und Maßnahmen unter den Aspekten Erreichbarkeit der Sanierungsziele (Wirksamkeit), Verfügbarkeit und Realisierbarkeit, Auswirkungen auf die Umwelt, Sicherheit der Beschäftigten und Anwohner, Akzeptanz in der Öffentlichkeit, Wirtschaftlichkeit mit dem Ziel der Erarbeitung eines Sanierungsvorschlages (LUA, 1995).

Aufgrund der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie legt der Gutachter einen **Sanierungsvorschlag** vor. Wenn gleichwertige Sanierungsvarianten vorhanden sind oder wenn die Auswahl von noch nicht feststehenden Randbedingungen abhängt, können ggf. auch mehrere Alternativen vorgeschlagen werden.

- Die **zuständige Behörde** begleitet und bewertet die Machbarkeitsstudie im Hinblick auf:
 - die Erfüllung der Sanierungsziele,
 - die Einbeziehung aller geeigneter Verfahren,
 - die zur Beurteilung herangezogenen Kriterien und deren Gewichtung,
 - die Berücksichtigung aller Randbedingungen,
 - die Beurteilung der geeigneten Sanierungsvarianten und
 - die Berücksichtigung von Kosten und ggf. Kostenwirksamkeitsaspekten.

2.3.4 Sanierungskonzept (Planungskonzept)

Auf der Grundlage des gutachterlichen Sanierungsvorschlages entscheidet die zuständige Behörde über das für den Einzelfall geeignete und angemessene Sanierungskonzept, das zur Ausführung kommen soll.

Sanierungskonzept (Planungskonzept)

Das *Sanierungskonzept* stellt im Einzelfall die durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen dar, die auf der jeweiligen Altlast zur Sanierung eingesetzt werden. Das jeweilige *Sanierungskonzept* wird einzelfallbezogen erarbeitet, abgestimmt und dient als Grundlage für die Sanierung (SRU, 1990). Es umfaßt alle wesentlichen, für die Sanierung maßgebenden Gesichtspunkte.

- Die **zuständige Behörde** entscheidet über das Sanierungskonzept nach Abstimmung mit allen Beteiligten. Bei privaten Sanierungsträgern wird das Sanierungskonzept mit der zuständigen Behörde abgestimmt. Das Sanierungskonzept sollte insbesondere folgende entscheidungsrelevanten Inhalte umfassen:

- Sanierungsziele
- durchzuführende Sanierungsmaßnahmen, ggf. nach Sanierungszonen spezifiziert
- alle erforderlichen Begleitmaßnahmen (u.a. Aushub, Zwischenlagerung, Transport, Entsorgung etc.)
- Nachweis der Eignung der Sanierungsverfahren bzw. Verfahrenskombinationen
- Konzept zur Qualitätssicherung
- Anforderungen an das Arbeitsschutz- und Sicherheitskonzept
- Anwohnerschutz
- (Nutzungs-) Beschränkungen bei und nach der Sanierung
- Konzept zur Nachsorge und Langzeitüberwachung
- Kosten- und Zeitplan

2.4 Ablauf der Sanierungsplanung

Im Rahmen der Sanierungsplanung wird eine textliche und zeichnerische Darstellung aller Sanierungsmaßnahmen erarbeitet. Diese Darstellung wird vom Entwurf, ggf. als Genehmigungsplanung, bis hin zur Ausführungsplanung ausgearbeitet. Die Leistungen werden anschließend ausgeschrieben und vergeben. Der Ablauf der Sanierungsplanung ist in Abbildung 3 dargestellt.

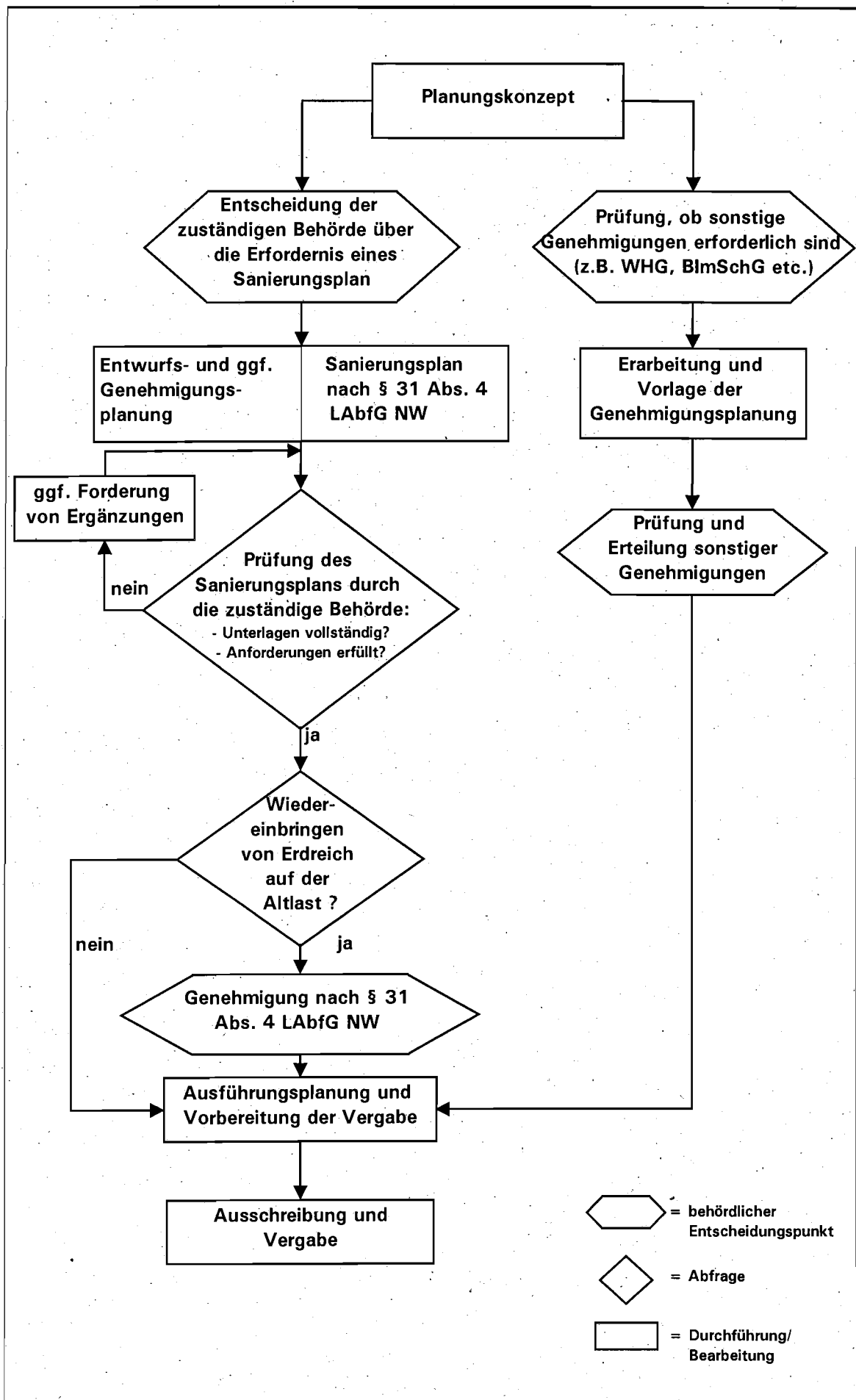


Abb. 3: Ablauf der Sanierungsplanun

2.4.1 Sanierungsplan, Entwurfs- und Genehmigungsplanung

Nach § 31 Abs. 4 LAbfG NW (letzte Änderung vom 07. Februar 1995) kann die zuständige Behörde (Bezirksregierung, Kreisordnungsbehörde oder Bergamt) von dem Sanierungspflichtigen die Erarbeitung eines Sanierungsplans fordern (s.a. MURL, 1995). Ein Sanierungsplan ist insbesondere dann empfehlenswert, wenn aufgenommenes Bodenmaterial in nicht unerheblichem Umfang im Bereich der Altlast wieder eingebracht werden soll oder ein komplexer Altlastensanierungsfall vorliegt (MURL, 1995).

Die **zuständige Behörde** kann zu ihrer Unterstützung Sachverständige einschalten, die Aufgaben nach § 31 a LAbfG NW wahrnehmen.

Dabei wird das Sanierungskonzept unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen, der einschlägigen Rechtsvorschriften und unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung fachlich Beteiligter zum Sanierungsplan ausgearbeitet.

Der Sanierungsplan soll die in Kap. 3.3.1 dargestellten Inhalte umfassen. Die Inhalte des Sanierungsplans entsprechen den Inhalten der Entwurfsplanung und falls genehmigungsbedürftig der Genehmigungsplanung in Anlehnung an die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI, 1996).

Die Höhe der Vergütung der Ingenieur- und Gutachterleistungen kann auf Grundlage der Objektliste für Ingenieurbauwerke und Verkehrsanlagen (§ 54) und der Leistungsphasen (§ 55) nach HOAI ermittelt werden. Leistungen, die nicht den Leistungsphasen zuzuordnen sind, können nach Zeitaufwand gemäß § 6 HOAI vergütet werden. Folgende Leistungen sind z.B. nicht oder nur zum Teil in den in § 55 dargestellten Grundleistungen enthalten:

- Nachweis der Eignung
- Arbeits- und Immissionsschutzkonzept
- Qualitätssicherungsplan für die Bauausführung
- Nachsorgekonzept
- Öffentlichkeitsarbeit: die Teilnahme an Erläuterungs- oder Erörterungsterminen mit Bürgern und politischen Gremien sind in den Grundleistungen in beschränktem Umfang enthalten (bis zu 5 Termine für das gesamte Leistungsbild). Der Öffentlichkeitsarbeit kann im Einzelfall eine größere Bedeutung zukommen, wenn z.B. im Zusammenhang mit der Sanierung eine Änderung eines Bebauungsplans durchgeführt werden muß. Zusätzliche Termine können nach § 6 HOAI abgerechnet werden.
- Kostenermittlung entsprechend der EG-Baukoordinationsrichtlinie
- Sicherheitsplanung entsprechend der Richtlinie ZH 1/183 der TBG

- Koordinatorentätigkeit beim Einsatz mehrerer Fachingenieure oder zur Überwachung der finanziellen und zeitlichen Bauabwicklung

Zusätzlich können Entwurfs- und Genehmigungsunterlagen für Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden, die durch andere Rechtsvorschriften (wie z.B. BImSchG, WHG oder BauGB) geregelt werden. Insofern wurden in der Praxis Sanierungspläne häufiger auch unabhängig von den Leistungsstufen der HOAI nach Pauschalkosten abgerechnet. In § 52 Abs. 9 HOAI heißt es: „Das Honorar für Leistungen bei Deponien für unbelasteten Erdaushub, beim Ausräumen oder bei hydraulischer Sanierung von Altablagerungen und bei kontaminierten Standorten, (...) kann frei vereinbart werden.“

Der Sanierungsplan ist der Behörde zur Prüfung vorzulegen.

- Die **zuständige Behörde** prüft den Sanierungsplan und kann Ergänzungen verlangen. Die Ausarbeitung des Sanierungsplans muß so detailliert sein, daß die zuständige Behörde ihren Prüfpflichten nachkommen und Beteiligungsnotwendigkeiten sowie ggf. bestehende Zulassungserlaubnisse nach anderen Rechtsgebieten sicher erkennen kann (z.B. WHG, BImSchG, BauBG, BBergG) (MURL, 1995).
- Findet eine Umlagerung von Bodenmaterial im Bereich der Altlast bei der Sanierung statt, bedarf der Sanierungsplan einer Genehmigung durch die **zuständige Behörde** (§ 31 Abs. 4 LAbfG NW). Näheres ist in einem Erlaß über den Sanierungsplan geregelt (MURL 1995).

Unabhängig von der Notwendigkeit der Erstellung eines Sanierungsplans müssen für die Ausführung einer Sanierung die in Kap. 3.3.1 genannten Inhalte dargestellt werden. Entwurfs- und Genehmigungsplanung werden dabei häufig gemeinsam erarbeitet.

Entwurfsplanung

Durcharbeiten des Sanierungskonzepts (Planungskonzept) unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen und unter Verwendung der Beiträge anderer an der Planung Beteiligter zum Entwurf, entsprechend der Leistungsphase *Entwurfsplanung* der HOAI (HOAI, 1996).

Genehmigungsplanung

Erarbeiten und Einreichen der Unterlagen für Genehmigungen nach den einschlägigen Rechtsvorschriften, entsprechend der Leistungsphase *Genehmigungsplanung* der HOAI (HOAI, 1996).

2.4.2 Ausführungsplanung

Auf der Grundlage der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bzw. des Sanierungsplans wird die Ausführungsplanung ausgearbeitet. Sie beinhaltet Ergänzungen zur Entwurfs- und Genehmigungsplanung, die sich aufgrund der behördlicherseits ausgesprochenen Genehmigungen bzw. aus den Auflagen zur Genehmigung ergeben und stellt insbesondere auch alle für die Ausführung erforderlichen Details dar.

Ausführungsplanung

Durcharbeiten der Entwurfs- und Genehmigungsplanung bzw. des Sanierungsplanes bis zur ausführungsfähigen Lösung entsprechend der Leistungsphase *Ausführungsplanung* der HOAI (HOAI, 1996).

Darauf aufbauend werden die Ausschreibungsunterlagen erstellt. Sie umfassen neben dem Leistungsverzeichnis eine Beschreibung des Standortes, der angetroffenen Kontaminationen und ihrer möglichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Die erforderlichen Arbeits- und Immissionsschutzmaßnahmen werden im Leistungsverzeichnis beschrieben (zum Arbeitsschutz bei Arbeiten auf Altlasten s.a. BURMEIER et al., 1990)(s.a. Kap. 3.3.5). Die entsprechenden Arbeitsschutzmaßnahmen sind mit den zuständigen Behörden (Staatliche Ämter für Arbeitsschutz) und den Berufsgenossenschaften abzustimmen.

Mängel in der Bauausführung, die sich auf die Wirksamkeit auswirken, können sich möglicherweise erst nach Zeiten zeigen, die die Gewährleistungsfristen bei weitem überschreiten. Daher ist eine umfassende Qualitätssicherung (s.a. Kap. 3.3.1) bei der Ausführung sinnvoll und notwendig.

Bei der Qualitätssicherung kann zwischen der Eigenüberwachung durch die ausführende Firma, der Fremdüberwachung durch einen unabhängigen Sachverständigen (Bestimmung im Einvernehmen mit dem Auftraggeber und der Genehmigungsbehörde) und der behördlichen Überwachung unterschieden werden.

2.5 Ablauf der Ausführung von Sanierungen

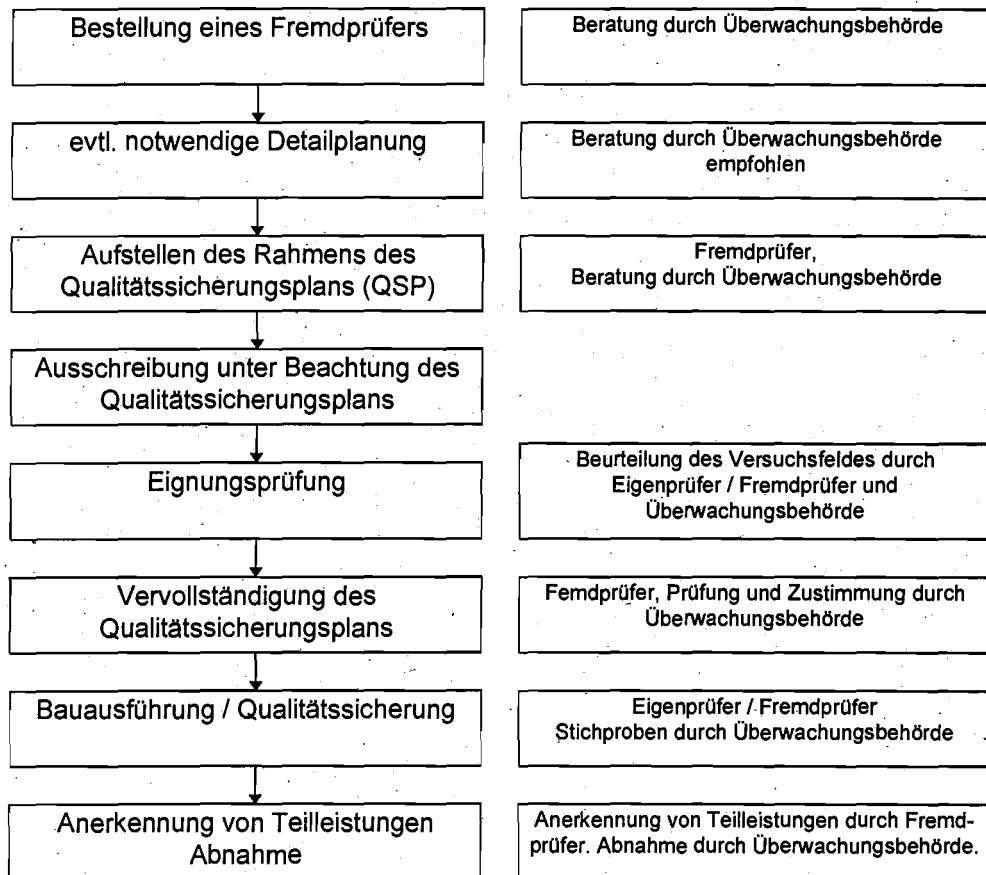
Nach Beauftragung der ausgeschriebenen Leistungen und Abstimmung der beauftragten Firmen zur Bauausführung kann die Sanierung erfolgen. Einen Überblick über Arbeitsschritte im Zusammenhang mit der Sanierung gibt die Abbildung 4. Die Überwachung von Arbeitsschutz

und Sicherheit werden durch den Auftraggeber bzw. seinen Bauleiter wahrgenommen oder entsprechend den Richtlinien der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG) durch einen Koordinator (TBG ZH 1/183). Die Überwachung der ordnungsgemäßen Ausführung obliegt der Eigen- und Fremdprüfung. Die behördliche Überwachung kann durch regelmäßige Besuche der Baustelle, die Teilnahme an den Baubesprechungen und die Plausibilitätskontrolle der durch Eigen- und Fremdprüfer vorgelegten Zwischen- und Endberichte erfolgen.

Ob die Sanierungsziele mit den Sanierungsmaßnahmen erreicht werden, prüft und befindet die zuständige Behörde. Sie kann in diesem Zusammenhang ggf. zusätzliche Maßnahmen vorschreiben.

- Die **zuständige Behörde** führt i.d.R. im Rahmen der Qualitätssicherung baubegleitend eine behördliche Überwachung der Arbeiten durch.
- Der **Auftraggeber** (Behörde oder sonstiger Sanierungsträger) nimmt die ausgeführten Bauleistungen ab bzw. legt die auszuführenden Nachbesserungen fest.
- Die **zuständige Behörde** kann im Einzelfall aufgrund des Sanierungsverlaufs auf Basis der gesetzlichen Bestimmungen ggf. an den Sanierungsplan oder die Genehmigungen ergänzende Anforderungen stellen.
- Die **zuständige Behörde** prüft die Zwischen- und Endberichte der Eigen- und Fremdprüfung und entscheidet, ob die Sanierung erfolgreich ausgeführt wurde.

Nachfolgend wird beispielhaft für die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen der Ablauf der Detailplanung und Bauphase eines mineralischen Abdichtungssystems dargestellt, nach LWA-Richtlinie Nr. 18 (LWA 1993) :



Wenn alle Sanierungsarbeiten durchgeführt sind und die an sie gestellten Anforderungen eingehalten wurden, kann die Sanierung als abgeschlossen angesehen werden. Anschließend werden insbesondere bei Sicherungsmaßnahmen die Arbeitsschritte Nachsorge / Langzeitüberwachung erforderlich werden.

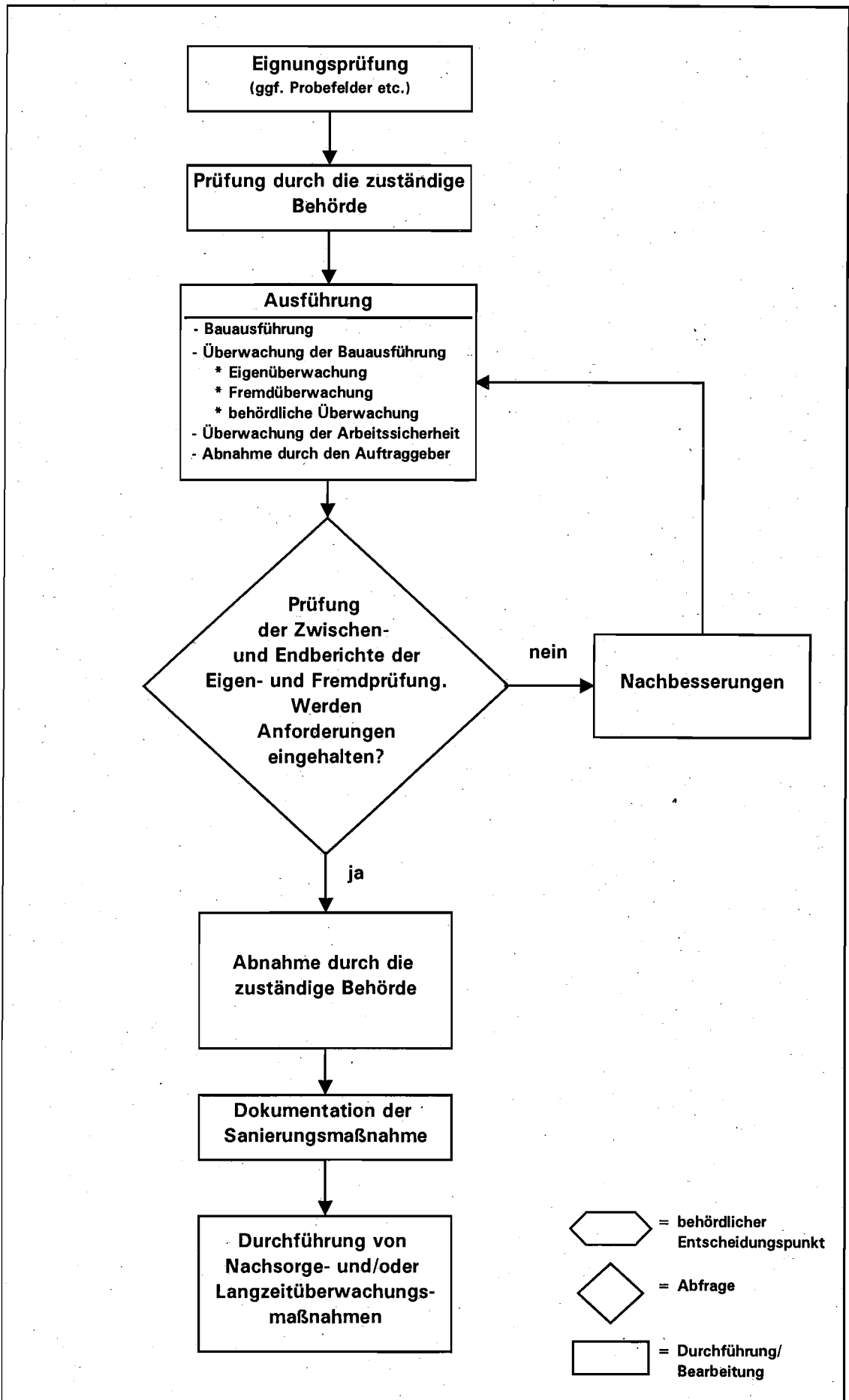


Abb. 4: Ablauf der Ausführung von Sanierungen

2.6 Ablauf der Nachsorge

Ziel der Nachsorge ist es, nach der (Bau-)Ausführung der Sanierungsmaßnahmen den Erfolg der Maßnahmen langfristig zu kontrollieren (Überwachung), den ordnungsgemäßen Betrieb bzw. die Funktion/Wirksamkeit vorhandener Anlagen bzw. Einrichtungen (z.B. Oberflächenabdichtungen oder Dränagen zur Fassung, Ableitung, ggf. Behandlung von versickerndem Niederschlagswasser, Oberflächenwasser, Grundwasser, Bodenluft, Gas) zu gewährleisten und zu überwachen und ggf. technische Maßnahmen einzuleiten, um eine erneut eintretende Gefahrenlage abzuwehren. Dazu werden Meßstellen für Grundwasser, Sickerwasser, Oberflächenwasser, Bodenluft/Gas beprobt, ggf. Anlagen zur Behandlung der genannten Medien betrieben und überwacht sowie Reparaturmaßnahmen zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Anlagen vorgenommen.

Nachsorge- und Überwachungsmaßnahmen stellen einen integralen Bestandteil von Sicherungsmaßnahmen dar, um deren tatsächliche Wirksamkeit und die Dauerhaftigkeit der Wirksamkeit zu kontrollieren und ggf. weitergehende Maßnahmen einzuleiten. Je geringer dabei die Erfahrungen mit den Sicherungssystemen sind, umso höhere Anforderungen müssen an Qualität und Intensität der Nachsorge/Überwachung gestellt werden. Eine Berücksichtigung der Nachsorge/Überwachung bei der Sanierungsplanung sollte schon im Genehmigungs- bzw. Sanierungsbescheid rechtsverbindlich festgeschrieben werden. Bei bereits abgeschlossenen Sicherungsmaßnahmen sollten Einträge im Baulastenverzeichnis oder auch der Verbleib der Flächen im Verdachtsflächenkataster erfolgen. Die Bildung von Rückstellungen für Nachsorge- und Überwachungsmaßnahmen sollte zur allgemeinen Praxis werden.

Die Nachsorge-/Überwachungsmaßnahmen sind fortschreitend zu dokumentieren und gutachterlich zu bewerten, um ihre Verhältnismäßigkeit zu gewährleisten.

Das in der Sanierungsplanung aufgestellte Konzept der Nachsorge (s. Sanierungsplan, Kap.2.4.1) wird nach Abschluß der Bauausführung überprüft und angepaßt. Der Ablauf der Nachsorge ist in Abbildung 5 dargestellt (s.a. Kap. 3.5).

2.6.1 Technische Maßnahmen der Nachsorge

Die technischen Maßnahmen der Nachsorge umfassen alle Bau- und Wartungsarbeiten sowie den Betrieb von Fassungs- und Behandlungsanlagen, die im Anschluß an eine Sanierungsmaßnahme notwendig werden. Fassungs- und Behandlungsanlagen für (Boden-)Luft, Gas und (Grund-)Wasser, die im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen erstellt werden werden, müssen oft langfristig weiterbetrieben werden. Eine Trennung zwischen Sanierungsmaßnahme und Nachsorge kann dabei nicht immer klar gezogen werden.

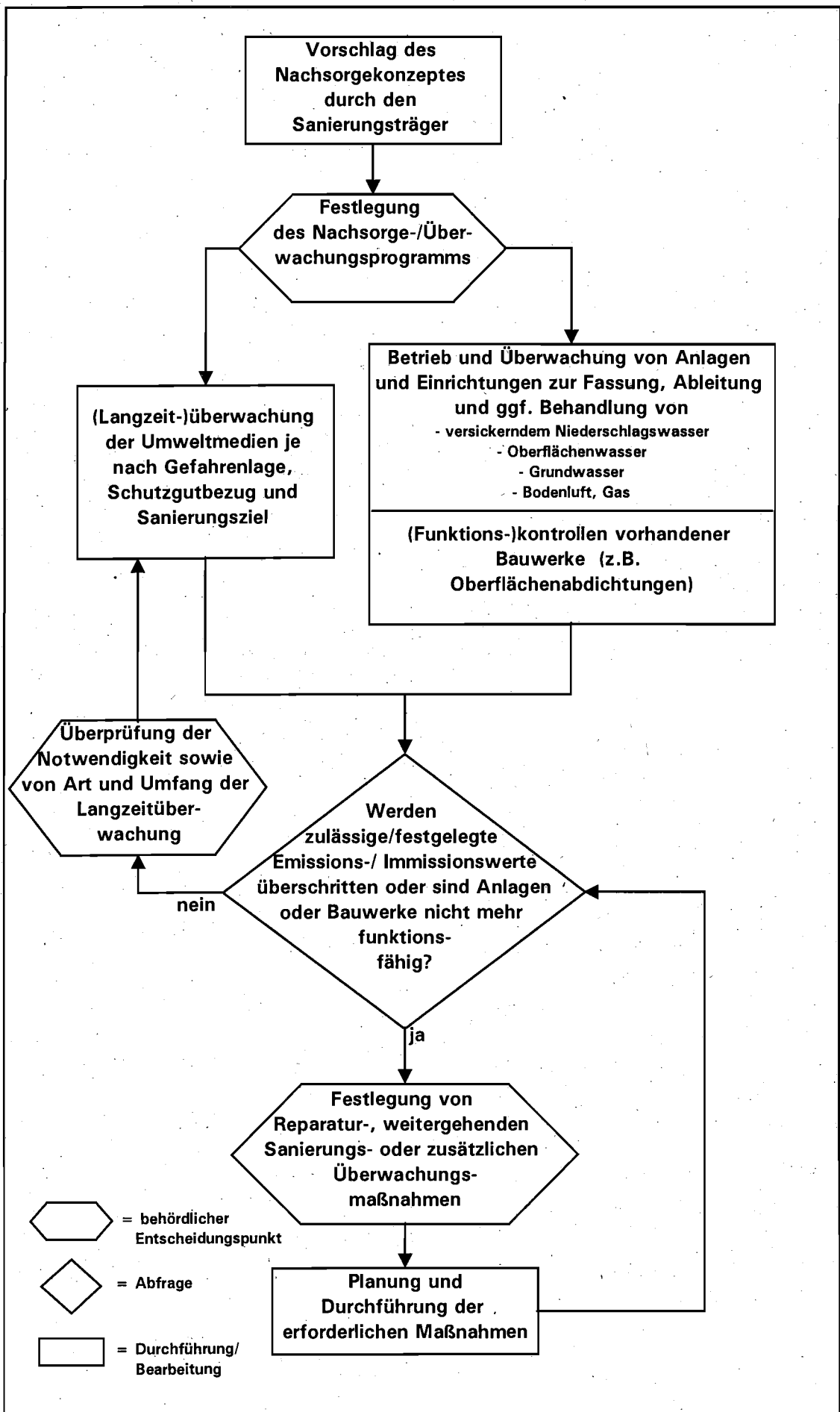


Abb. 5: Ablauf der Nachsorge

- Die **zuständige Behörde** legt die technischen Maßnahmen der Nachsorge fest.
- Die **zuständige Behörde** prüft die ordnungsgemäße Ausführung der technischen Maßnahmen der Nachsorge.

2.6.2 Langzeitüberwachung

Häufig ist bei den sanierten Altlasten, in jedem Fall bei allen gesicherten Altlasten eine Überwachung der Umweltmedien im Hinblick auf die betroffenen Schutzgüter durchzuführen. Dementsprechend wird die Unterbrechung der relevanten Gefährdungspfade und die Funktionstüchtigkeit von Anlagen und Sicherungssystemen überprüft. Die inhaltliche Konzeption der Langzeitüberwachung ist in Kapitel 3.5 ausgeführt.

- Die **zuständige Behörde** entscheidet nach Vorlage des Langzeitüberwachungskonzepts durch den Sanierungsträger über Art und Umfang der Langzeitüberwachung. Sie legt die Anzahl und Lage der Meßstellen, die zu prüfenden Medien, die Häufigkeit der Kontrollen oder Messungen und den Parameterumfang fest. Die Behörde wird bei ihren Aufgaben durch den Gutachter unterstützt, der ihr einen Vorschlag für die Langzeitüberwachung unterbreitet.
- Die **zuständige Behörde** entscheidet anhand der Ergebnisse der Langzeitüberwachung ob und, falls erforderlich, welche Maßnahmen einzuleiten sind, wie z.B. Reparaturen oder Sofortmaßnahmen oder weitergehende Sicherungs- bzw. Dekontaminationsmaßnahmen.

Nach § 31 Abs.5 LAbfG NW kann die zuständige Behörde anordnen, daß Altlastverdachtsflächen und Altlasten der Überwachung unterliegen. Die Verantwortlichen können analog § 25 Abs. 1 LAbfG zu Maßnahmen der Selbstüberwachung verpflichtet werden.

3 Anforderungen an die Bearbeitung von Sicherungsmaßnahmen

3.1 Einleitung

Anhand der Anforderungen und Hinweise in Kapitel 3 kann eine Projektkontrolle für die Phasen Sanierungsuntersuchung, Sanierungsplanung, Ausführung von Sicherungsmaßnahmen und Nachsorge vorgenommen werden. Die Entscheidungspunkte für die zuständigen Behörden innerhalb der einzelnen Projektphasen sind in Kapitel 2 dargestellt. Die Behörde führt an diesen Punkten eine Projektkontrolle durch und steuert mit ihren Entscheidungen den weiteren Projektverlauf. In Kapitel 3 wird anhand von Checklisten, Praxisbeispielen und Erläuterungen ein strukturierter Überblick über die notwendigen Informationen zur Entscheidungsfindung gegeben. Die Sachbearbeiter/innen können so projektbezogen überprüfen,

- ob zu den Entscheidungspunkten Informationen vorliegen,
- ob diese Informationen für den Einzelfall notwendig sind und
- welche Informationen noch erhoben werden müssen.

Die Checklisten sollten daher nicht nur mit 'ja' oder 'nein' beantwortet werden, sondern dazu genutzt werden, Bemerkungen anzufügen. Eine Erläuterung und Beschreibung der verschiedenen Techniken zur Durchführung von Sicherungsmaßnahmen erfolgt in Kapitel 4.

3.2 Sanierungsuntersuchung

3.2.1 Sanierungsziele

Eine klare Definition der Sanierungsziele stellt die Basis für die Erstellung der Machbarkeitsstudie dar. Die Sanierungsziele werden immer standortspezifisch in Abhängigkeit von der Kontamination, der von ihr ausgehenden Gefährdung der Schutzgüter sowie der bestehenden und geplanten Nutzung formuliert.

Auf dem Kenntnisstand der Gefährdungsabschätzung können nur **vorläufige Sanierungsziele** als Vorgabe für die Durchführung der Machbarkeitsstudie formuliert werden. Mit der Durchführung der Standortuntersuchungen (Kap. 3.2.2) und der Erarbeitung der Machbarkeitsstudie (Kap.

3.2.3) müssen die Sanierungsziele schrittweise konkretisiert werden. In der Praxis erfolgt die Formulierung der Sanierungsziele unterschiedlich detailliert. Es liegt im Ermessen des Verantwortlichen, einen Detaillierungsgrad in Abhängigkeit von den standortspezifischen Gegebenheiten und der Komplexität des Projektes vorzugeben. Soweit Konzentrationsanforderungen aufgestellt sind, sollten diese in Form von Handlungswerten und Sanierungszielwerten festgelegt werden.

Bei Altlasten mit einer klaren Problemstellung reicht eine direkte Abstimmung der Behörde mit dem Gutachter zur Festlegung der Sanierungsziele oft aus. Bei größeren Projekten hat sich die Einrichtung von Arbeitskreisen bewährt. An den Arbeitskreisen sind die involvierten Behörden, Gutachter und der Auftraggeber beteiligt. Durch den Arbeitskreis werden alle Beteiligten zu einem frühen Zeitpunkt in das Projekt eingebunden. Auf der Basis fachlicher Diskussionen kann so ein Konsens erarbeitet werden.

Im folgenden sind 3 Praxisbeispiele für die Formulierung von Sanierungszielen aufgeführt:

Praxisbeispiel *Für eine Altablagerung mit landwirtschaftlicher Nutzung (Milchwirtschaft): Schadstoffausträge in das Grundwasser und eine mögliche Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette sollen verhindert werden.*

Praxisbeispiel *Für eine geschlossene, abgedeckte Hausmülldeponie: Die Neubildung von Deponiesickerwasser soll verhindert bzw. reduziert werden und ein Austrag von Schadstoffen aus der Deponie unterbunden werden. Sickerwasser- und Grundwasserhaushalt sollen voneinander getrennt werden.*

Praxisbeispiel *Für ein ehemaliges Zechen- und Kokereigelände, das zukünftig gewerblich genutzt werden soll: In einem 'Arbeitskreis Altlasten' wurden die Ziele der Sanierung von den Beteiligten (Projektsteuerer, Gutachter, Behördenvertreter, Vertreter der IBA Emscher Park) diskutiert. Die im Arbeitskreis festgelegten Ziele wurden vom Gutachter in der Machbarkeitsstudie und im Sanierungskonzept schriftlich niedergelegt. Im Zusammenhang mit dem Bauleitplanverfahren für die Altlastenfläche legte die Kommune diese als Sanierungsziele fest (das Sanierungskonzept ist Bestandteil des Bebauungsplans). Folgende Sanierungsziele wurden im Einzelnen formuliert:*

- 1) Der Schadstoffaustrag aus nicht ausreichend abgedeckten bzw. befestigten Flächen über Staubverwehungen soll verhindert werden. Der Direktkontakt soll wirksam unterbunden werden.
- 2) Der Kokereibereich weist aufgrund einer Anreicherung mit leichtflüchtigen Schadstoffen im Boden ein Gefahrenpotential über den Bodenluftpfad auf. Dieser Bereich ist entsprechend der Nutzung wirksam zu sichern, um eine Gefährdung des Menschen auszuschließen.
- 3) Bereiche, in denen eine starke Belastung durch mobilisierbare Schadstoffe festgestellt wurde, sind im Hinblick auf eine mögliche Schadstoffverlagerung gegen Zutritt von Niederschlagswasser zu sichern, so daß eine Migration von Schadstoffen in das Grundwasser unterbunden wird.
- 4) Die Kompatibilität der Altlastensicherung/-sanierung mit den Maßnahmen zur Baureifmachung ist notwendig.
- 5) Der Aushub, Transport und die Entsorgung von belastetem Bodenmaterial ist im Sinne der Abfallvermeidung zu minimieren. Im Bereich der Kokerei sollte Bodenaushub nach Möglichkeit vermieden werden.
- 6) Anfallender Bodenaushub ist entsprechend seines Kontaminationsgrades zu entsorgen.
- 7) Die Sanierung ist in dem vorgesehenen Zeitraum zu verwirklichen.
- 8) Handlungswerte (standortspezifisch und einzelfallbezogen) sind:

Element / Parameter	Kategorie 1 [mg/kg TS]	Kategorie 2 [mg/kg TS]	Kategorie 3 [mg/kg TS]
PAK (EPA)	< 20	20 - 200	> 200
Benzo-a-pyren	< 1	1 - 10	> 10
BTX	< 7	7 - 70	> 70
Cadmium	< 2	2 - 5	> 5
Quecksilber	< 2	2 - 10	> 10
Blei	< 300	300 - 1.000	> 1.000
Zink	< 500	500 - 3.000	> 3.000
Kupfer	< 100	100 - 500	> 500
Chrom	< 100	100 - 500	> 500
Nickel	< 100	100 - 500	> 500
Arsen	< 40	> 40	
PCB	< 1	1 - 10	> 10

Kategorie 1: Es sind keine Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich; (zur Gefahrenvorsorge sollte die Fläche durch eine Oberflächenabdeckung gesichert werden).

Kategorie 2: Im Hinblick auf die gewerbliche Nutzung ist eine Oberflächenabdichtung (ohne Gasdrainage) erforderlich.

Kategorie 3: Im Hinblick auf die gewerbliche Nutzung ist eine Oberflächenabdichtung mit Gasdrainage erforderlich.

Anhand der Beispiele wird deutlich, daß Sanierungsziele in der Praxis sehr unterschiedlich detailliert formuliert werden. Bei den beiden ersten Beispielen wurden die **vorläufigen Sanierungsziele** nicht weiter konkretisiert. Dagegen wurden beim dritten Praxisbeispiel neben der verbalen, sehr genauen Umschreibung der Sanierungsziele auch **Handlungswerte** angegeben, die einzelne **Sanierungszonen** abgrenzbar machen.

3.2.2 Standortuntersuchung

Für die Erstellung der Machbarkeitsstudie muß eine ausreichende Informationsbasis zur Verfügung stehen. Der weitere Untersuchungsbedarf, der über die bereits durchgeführten Standortuntersuchungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung hinausgeht, kann anhand der Checkliste 1 'Schadstoffinventar und Fahrentatbestände' und anhand der Checkliste 2 'Standortbeschreibung' geprüft und festgelegt werden. Durch die Bearbeitung der Checklisten wird eine Bestandsaufnahme durchgeführt, so daß der Umfang der weiterführender Standortuntersuchungen festgelegt werden kann.

Nach der Durchführung, Aus- und Bewertung der Standortuntersuchungen sollte eine Überprüfung der Gefahrenlage unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung vorgenommen werden. Die Überprüfung der Gefahrenlage sollte im Hinblick auf mögliche zusätzlich betroffene Schutzgüter, zusätzlich durchzuführende Sofortmaßnahmen und im Hinblick auf die Formulierung von Sanierungszielen, erfolgen (s.a. Kap. 3.2.1).

Checkliste 1: Schadstoffinventar und Fahrentatbestände

Auf der Grundlage der **ehemaligen Nutzungen** können Aussagen über zu erwartende zusätzliche Kontaminationen, z.B. infolge von Kriegsschäden, Auffüllungen oder Betriebsstörungen, abgeleitet werden. Für die Sanierungsuntersuchung sollte überprüft werden, ob alle

Informationsquellen genutzt wurden, ob allen Hinweisen nachgegangen wurde und ob ggf. neue Hinweise vorliegen, die noch nicht berücksichtigt sind.

Es ist zu überprüfen, ob die **Abgrenzung der Kontamination im Boden und im Grundwasser** ausreichend ist. Dabei sollte auch auf mögliche Schwierigkeiten im Hinblick auf die Ausführung von Sanierungsmaßnahmen geachtet werden. Im Stadtbereich mit dichter Bebauung müssen Altlasten gut abgegrenzt werden, um die einzusetzenden Bauverfahren abstimmen zu können und die erforderlichen Immissionsschutzmaßnahmen vorzusehen. Anhand der Eingrenzung erfolgt eine Abschätzung der kontaminierten Massen, die gereinigt oder entsorgt, sowie der Flächen, die gesichert werden müssen. Die Massenabschätzung sollte generell ausreichende Sicherheiten beinhalten. Zur Vereinfachung der weiteren Planungen, z.B. bei der Aufstellung von Sanierungsszenarien in der Machbarkeitsstudie, ist eine Aufteilung in Sanierungszonen sinnvoll. Die Altlastenfläche wird dabei z.B. in bezug auf Schadstoffinventar, Konzentration und Mobilisierbarkeit der Schadstoffe in Teilflächen unterteilt, auf denen ggf. verschiedene Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Bei der Festlegung des Untersuchungsumfangs ist zu beachten, daß Lücken bei der Sanierungsuntersuchung in der Bauausführung zu erheblichen, kaum kalkulierbaren Kostensteigerungen führen können. Auch bei dem folgenden Praxisbeispiel führte eine Kostenbegrenzung in der Sanierungsuntersuchung zu unerwarteten, massiven Kostensteigerungen bei der Ausführung.

Praxisbeispiel *Zur weiteren Erkundung und Abgrenzung einer Altablagerung wurden im groben Raster Rammkernsondierungen niedergebracht und Bodenluftuntersuchungen durchgeführt. Bei der Durchführung der Sanierung wurde festgestellt, daß die Altablagerung 15 - 20 % größer ist als erwartet. Daraus resultierte eine Baufeldvergrößerung, die zu erhöhten Materialkosten, höheren Kosten für die Baustelleneinrichtung und zu einer Bauzeitverlängerung (die Baufirmen sind nach VOB u.a. berechtigt, Mehr- und Minderleistungen gesondert abzurechnen) führte.*

Für die genaue Abgrenzung der Altablagerung wäre eine Untersuchung der Randbereiche in engem Sondierabstand erforderlich gewesen. Zum Zweck der Abgrenzung reicht eine Bodenansprache meist aus, so daß nicht in jedem Fall Kosten für chemische Analysen entstehen. Wird keine genaue Abgrenzung vorgenommen, sollte die Kalkulation der Baukosten Reserven für ggf. zusätzliche Kosten enthalten.

Die Aussagen über mögliche **Ausbreitungspfade** müssen vollständig sein, um die Sanierungsziele (s. Kap. 3.2.1) formulieren zu können bzw. die Sanierung entsprechend zu planen. Außerdem sollte die **Mobilität** der am Standort vorhandenen Schadstoffe beurteilt werden. Anhand von Elutionsversuchen und Feststoffuntersuchungen können Aussagen über die Bindungsformen und die Mobilisierbarkeit der Schadstoffverbindungen unter verschiedenen Milieubedingungen abgeleitet werden. Auf der Basis dieser Informationen kann in der Machbarkeitsstudie eine angemessene Sanierungsmaßnahme entwickelt werden, wie das folgende Praxisbeispiel zeigt.

Praxisbeispiel *Zur Beurteilung des Elutionsverhaltens und der Mobilisierbarkeit von Schadstoffverbindungen im Bereich einer Auffüllung mit Bergematerial (aus dem Erzbergbau) wurden Feststoffuntersuchungen, Elutionsversuche nach DEV S4 und sequentielle Extraktionen durchgeführt. Es wurde eine Verfügbarkeit der in hoher Konzentration im Feststoff analysierten Schadstoffe Zink, Blei, Cadmium und Nickel festgestellt. Diese Elemente besitzen eine erhöhte Wasserlöslichkeit, so daß es zu einer Verlagerung über den Grundwasserpfad kommen kann. Aufgrund der Ergebnisse wurde für den genannten Bereich eine Oberflächenabdichtung geplant und ausgeführt.*

Im Hinblick auf eine mögliche Veränderung der Schadstoffausbreitung und der Gefahrensituation müssen die vorgenannten Aspekte unter dem Faktor **Zeit** überprüft werden. Möglicherweise ist die Zeitspanne zwischen Gefährdungsabschätzung und Sanierungsuntersuchung so groß, daß eine Änderung der Schadstoffausbreitung und Gefahrensituation eingetreten ist bzw. nicht ausgeschlossen werden kann oder neue Beurteilungsgrundlagen vorliegen.

Abschließend wird die Bestandsaufnahme im Hinblick auf akute und latent vorhandene **Gefahrenatbestände** für die bestehende und/oder geplante Nutzung und die daraus abzuleitenden Maßnahmen (Sofort- und Sanierungsmaßnahmen) beurteilt.

Checkliste 1: Schadstoffinventar und Gefahrentatbestände

Schadstoffinventar und Gefahrentatbestände		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Ehemalige Nutzung	Auswertung topographischer Karten und sonstigem Kartenmaterial		
	Auswertung von Luftbildern		
	Auswertung von Archivunterlagen / Genehmigungsunterlagen (Stadt/Unternehmen/Staatsarchive)		
	Befragung von Mitarbeitern und Anwohnern		
Boden / Bodenluft	Schadstoffkombinationen		
	Schadstoffkonzentrationen		
	horizontale Eingrenzung, organoleptisch		
	horizontale Eingrenzung, analytisch		
	vertikale Eingrenzung, organoleptisch		
	vertikale Eingrenzung, analytisch		
	Kontaminationen bei Gebäuden		
	Kontamination unter Gebäuden		
	Kontaminationen bei Straßen		
	Kontamination unter Straßen		
	Kontaminationen bei Kabeln, Leitungen, Kanalisationseinrichtungen		
	Hintergrundbelastung in der Umgebung		
Grundwasser / Wasser	Schadstoffkombinationen		
	Schadstoffkonzentrationen		
	horizontale Eingrenzung		
	vertikale Eingrenzung		
	Schadstoff in Phase oder in Lösung		
	→ Treibschicht auf dem Grundwasser		
	→ auf der Sohle des Grundwasserleiters		
	→ dispergiert oder gelöst im Grundwasserleiter		
	Hintergrundbelastung (z.B. Referenzbrunnen) Belastungen des Grundwasseranstroms		
Ausbreitungspfade	Boden → Mensch		
	Boden → Sachgüter		
	Boden → Pflanze / Tier → Mensch		
	Boden → Grundwasser (→ Mensch)		
	Oberflächengewässer → Mensch		
	Boden → Luft → Mensch		
Mobilität	Bindungsformen (schwer- oder leichtlöslich)		
	Pflanzenverfügbarkeit		
	Eluierbarkeit		
	Nachlieferung aus Schadstoffquellen		
Zeit	Wahrscheinlichkeit der künftigen Kontaminationsverlagerung		
	Kontaminationsverlagerung festgestellt		
Gefahrentatbestand	Betroffene Schutzgüter / Nutzungen		
	Anforderungen an Sofortmaßnahmen		
	Anforderungen an Sanierung		

Checkliste 2: Standortbeschreibung

Die Eignung verschiedener Sicherungstechniken hängt maßgeblich von den spezifischen Standorteigenschaften ab. U.a. durch den **Boden** und die **Hydrogeologie** werden wichtige Kriterien für die Auswahl von Sicherungsverfahren vorgegeben. Der Boden muß in seinem Aufbau, den wichtigsten Kenngrößen und den bodenmechanischen Eigenschaften bekannt sein. Anhand der **Bodencharakteristik** kann z.B. die Durchlässigkeit des vorhandenen Bodens beurteilt werden. Bei bindigen Böden kann der Boden evtl. in Verbindung mit einer Bentonitzugabe als Dichtungsmaterial eingesetzt werden (s. Kap. 4.2).

Bei Sicherungsverfahren wird häufiger parallel eine Grundwassersicherung oder -sanierung eingesetzt (s.a. Kap. 4.5). Für die Dimensionierung und Kostenabschätzung werden die **charakteristischen Grundwasserparameter** benötigt. Hohe Eisenkonzentrationen, die bei dem Entwurf der Grundwasserreinigungsanlage nicht berücksichtigt werden, können z.B. zu einer Verockerung von Leitungen und Füllkörpern von Stripanlagen führen. Die Ermittlung aller für die Sanierung relevanten Grundwasserparameter ist deshalb für eine realistische Kostenabschätzung und Anlagenplanung erforderlich.

Die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters ist i.d.R. aus hydrogeologischen Karten zu entnehmen. Sie kann auch durch Pumpversuche ermittelt werden. Durch eine mehrfache Beprobung und Untersuchung des Grundwassers über die Zeitdauer des Pumpversuchs hinweg, sind auch Aussagen über die Mobilisierbarkeit von Schadstoffen möglich. Bei dem folgenden Beispiel wurden zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwerts (k_f -Wert) und der Mobilisierbarkeit von Schadstoffen durch das Grundwasser Pumpversuche durchgeführt. Damit wurde die fachliche Grundlage für die Entscheidung über eine hydraulische Sanierung geschaffen.

Praxisbeispiel *Auf einem Altstandort mit kokereispezifischen Belastungen wurde ein Kurzpumpversuch (Bestimmung der förderbaren Wassermenge) und ein Pumpversuch über 2 x 48 h bei konstanter Förderung von 2,9 m³/h durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß es sich um einen schlechten, wenig wasserwegsamem Grundwasserleiter handelt. Der hohe Anteil an feinkörnigem Sediment, die große Kornoberfläche und die geringe effektive Porosität bzw. die sehr geringe Gesteinsdurchlässigkeit hatten eine geringe Verfügbarkeit der Schadstoffe zur Folge. Nur leichtlösliche mono- und bicyclische Aromaten und in geringem Umfang auch die polycyclischen Aromaten (PAK) mit 3- und 4-Ringen waren hydraulisch mobilisierbar. Eine Dekontamination des Kluftgrundwasserleiters im Hinblick auf die wenig verfügbaren Schadstoffe war daher nicht möglich.*

Checkliste 2: Standortbeschreibung

Standortbeschreibung		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Standort	heutige Nutzung / ggf. künftige Nutzung		
	angrenzende Nutzungen		
	Geländehöhen in m ü. NN		
	Relief		
	→ ebene Fläche		
	→ Hanglage (Länge und Neigung von Böschungen)		
Boden	Aufschüttung / Auffüllung (Art)		
	gewachsener Boden (Bodenprofil, Bodenart)		
	Gehalt an organischer Substanz		
	Bestimmung der Tonfraktion		
	Bodenkenngößen (Korngrößenverteilung, Durchlässigkeit, natürlicher Wassergehalt, Lagerungsdichte, Porosität, Quellfähigkeit)		
	Durchlässigkeit der ungesättigten Bodenzone		
	→ Ableitung aus den Bodenkenngößen		
	→ Bodenluft-Absaugversuche		
	Hindernisse im Boden (Findlinge, Fundamente etc.)		
Bodencharakteristik	Bodenmechanische Eigenschaften (Proctordichte, Scherparameter, Setzungsempfindlichkeit des Bodens)		
Hydrogeologie	Beschreibung der Grundwasserstockwerke, Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit, Flurabstände		
	Meßstellen / Brunnen in der Umgebung (Anstrom, Abstrom)		
	Lage der Grundwasser-Spiegelhöhen in m ü. NN		
	k_f -Werte der Grundwasserleiter		
	→ Kartenauswertung		
	→ Laborversuche		
	→ Feldversuch: Pumpversuche, Auffüllversuche		
	k_f -Werte der Grundwasserstauer		
	→ Kartenauswertung		
	→ Laborversuche		
→ Feldversuche			
Grundwassercharakteristik	Angaben zu Störstoffen bei der Grundwasserreinigung (Konzentrationen von Eisen, Mangan, Calcium, BSB/CSB, pH-Wert etc.)		
Oberflächen-gewässer	Vorfluter		
	stehende Gewässer		
sonstige Randbedingungen	tiefliegende Fundamente		
	Aufschüttungen / Verfüllungen		
	Ver- und Entsorgungsleitungen (öffentlich)		
	Ver- und Entsorgungsleitungen (nicht öffentlich)		
	Kampfmittel / Blindgänger		

Bei der Planung und Durchführung von Pumpversuchen ist zu beachten, daß sie erlaubnispflichtig sind und eine Reinigung oder Entsorgung des aufgepumpten, kontaminierten Wassers gewährleistet sein muß. Andere Grundwasserentnahmen im Umfeld einer Sanierungsmaßnahme müssen für die Sanierungsuntersuchung recherchiert und planerisch berücksichtigt werden.

Bei bestimmten anderen **Randbedingungen** des Standortes, wie z.B. dem Vorhandensein von tiefliegenden Fundamenten, Ver- und Entsorgungsleitungen oder Hinweisen auf Blindgänger, kann mit Schwierigkeiten bei bautechnischen Maßnahmen gerechnet werden. Diese sind planerisch entsprechend zu berücksichtigen.

3.2.3 Machbarkeitsstudie

In der Machbarkeitsstudie soll unter der Vielzahl möglicher Sanierungsverfahren und ihrer Kombinationen die vorzugswürdige herausgearbeitet werden, mit der die Sanierungsziele zu erreichen sind (SRU, 1990). Wichtige Beurteilungskriterien sind in Kapitel 3.2.3.2 dargestellt.

3.2.3.1 Klärung der Aufgabenstellung

Anhand der Checkliste 3 'Vorgaben für die Machbarkeitsstudie' und Checkliste 4 'Standortspezifische Randbedingungen für Oberflächensicherungen und Dichtwände' werden die wesentlichen Punkte zur Klärung der Aufgabenstellung und der Randbedingungen für die Machbarkeitsstudie erfaßt.

Checkliste 3: Vorgaben für die Machbarkeitsstudie

Vor der Erstellung der Machbarkeitsstudie sind grundsätzlich die Aufgabenstellung und die Vorgaben zu klären. Hier ist z.B. zu überprüfen, ob die **Sanierungsziele** klar formuliert sind und ob Handlungswerte oder Sanierungszielwerte für alle betroffenen Medien aufgestellt worden sind. Die Zielvorstellungen sollten auf Aktualität, technische Durchführbarkeit und Durchführbarkeit im vorgegebenen Zeitrahmen überprüft werden.

Durch eine Zusammenstellung von **Vereinbarungen** mit Behörden, Betroffenen oder dem Eigentümer, die im Rahmen der Sanierungsuntersuchung und -planung zu berücksichtigen sind, kann die Machbarkeitsstudie vereinfacht bzw. effektiver durchgeführt werden. Für die Entwicklung von teilflächenbezogenen Sanierungsvarianten kann es sinnvoll sein, Sanierungszonen anzugeben.

Checkliste 3: Vorgaben für die Machbarkeitsstudie

Vorgaben für die Machbarkeitsstudie		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Sanierungsziele	allgemeine Beschreibung der Sanierungsziele		
	→ Handlungs- und Sanierungszielwerte für den Boden		
	→ Handlungs- und Sanierungszielwerte für das Grundwasser		
	→ Handlungs- und Sanierungszielwerte für die Bodenluft		
	→ Aktualität der Sanierungsziele (bei Verzögerungen im Projektablauf)		
	→ Zeitraum für die Verwirklichung der Sanierungsziele		
	→ technische und zeitliche Durchführbarkeit der Ziele		
Vereinbarungen	besondere Vereinbarungen mit Behörden		
	besondere Vereinbarungen mit Eigentümern		
	besondere Vereinbarungen mit Betroffenen		
Sanierungszonen	Festlegung der Sanierungszonen nach folgenden Kriterien:		
	→ Art, Schwere und Verteilung der Kontaminationen		
	→ relevante Gefährdungspfade		
	→ Baugrundverhältnisse und künftige Baulasten		
Nutzung	Art und Empfindlichkeit der bestehenden und geplanten Nutzungen		
angrenzende Nutzung	Bebauung		
	Setzungsempfindlichkeit		
	Immissionsempfindlichkeit (Staub, Geruch, Lärm) bei Abrißmaßnahmen		
	Immissionsempfindlichkeit (Staub, Geruch, Lärm) bei Sanierungsmaßnahmen		
Erschließung	Zugänglichkeit / innere Erschließung		
Dekontamination	zu bewertende Verfahren		
	→ thermische Verfahren		
	→ Wasch- und Extraktionsverfahren		
	→ biologische Verfahren		
	→ aktive pneumatische Verfahren		
	→ aktive hydraulische Verfahren		
	→ Bodenaushub/Umlagerung		
	→ weitere Verfahren: _____		
Sicherung	zu bewertende Verfahren		
	→ Einschließungsverfahren (Oberflächensicherung/ Dichtwände)		
	→ passive pneumatische Verfahren		
	→ passive hydraulische Verfahren		
	→ Immobilisierung		
	→ weitere Verfahren: _____		

Praxisbeispiel Bei der Anordnung der Nutzungen auf einem ehemaligen Zechen- und Kokereigelände wurden der Belastungsgrad der Teilbereiche und die Sensibilität der Nutzung berücksichtigt. Folgende Nutzungen / Sanierungszonen wurden für die Machbarkeitsstudie definiert:

- gemischte Bauflächen (§ 7 BauNVO)
- Grünfläche
- Gewerbe
- Baumschule

Für die Erarbeitung einer nutzungsorientierten Sanierung sind die Art und die Empfindlichkeit der bestehenden und geplanten **Nutzung** der Fläche anzugeben. Außerdem sollten die bautechnischen Randbedingungen und die zu beachtende Immissionsempfindlichkeit der **angrenzenden Nutzung** sowie die **Erschließung** geklärt werden.

Mit dem Gutachter, der die Machbarkeitsstudie erstellt, sollte eine Vorauswahl der zu untersuchenden Techniken aus den Sanierungsgruppen **Dekontamination** und **Sicherung** getroffen werden. Die Vorauswahl kann unter Verwendung folgender Kriterien getroffen werden (LUA, 1995):

- schadstoff- und bodenspezifische Eignung
- wirkungspfadspezifische Eignung der Verfahren
- offensichtliche Ausschlußkriterien
- Eignung von Verfahrenskombinationen.

Die Checkliste 3 dient hier zugleich der Überprüfung, ob zu allen Verfahren Basisinformationen (Literatur, Firmenprospekte etc.) vorliegen, die für eine Vorauswahl benötigt werden. In der Checkliste sind im wesentlichen etablierte Sanierungsverfahren aufgeführt. Neue Sanierungstechniken sollten jedoch nicht unberücksichtigt bleiben.

Bei der Vorauswahl von Sanierungsverfahren sind verschiedene Randbedingungen zu beachten, die im folgenden für **Oberflächensicherungen** und **Dichtwände** dargestellt sind.

Checkliste 4: Standortspezifische Randbedingungen für Oberflächensicherungen und Dichtwände

Bei der Auswahl einer **Oberflächensicherung** ist u.a.: auf die vorhandene oder geplante Bebauung des Geländes, eine Begrenzung der Geländeaufhöhung und die Eigenschaften des anstehenden Bodens zu achten. Die möglichen Beanspruchungen und Anforderungen, die von

dem Sicherungssystem bzw. seiner Elemente erfüllt werden müssen, sind zu klären. Hinweise dazu finden sich in Kap. 4.2, in dem die verschiedenen Oberflächensicherungssysteme beschrieben sind.

Bei der Untersuchung der Machbarkeit von **Dichtwänden** kommt der Trassenführung besondere Bedeutung zu. Hier können sich vielfältige bautechnische Probleme ergeben. Bei natürlichen (z.B. Findlinge) oder künstlichen Hindernissen (z.B. Fundamente) im Untergrund sind Schwierigkeiten beim Rammen von Dichtwandsegmenten oder der Schlitzherstellung mittels Greifer oder Fräse zu erwarten.

Praxisbeispiel *Zur Sanierung eines Altstandortes mit einer Bodenverunreinigung durch PAK wurde die Machbarkeit von Dichtwänden geprüft. In der Machbarkeitsstudie wurde u.a. festgestellt, daß beim Einsatz einer gerammten Spundwand die im Untergrund vorhandenen Fundamentreste entlang der Dichtwandtrasse entfernt werden müssen, um die Spundwandsegmente ohne Beschädigungen vertikal einbringen zu können.*

Bei einer Trassenführung nahe bestehender Gebäude sind die statischen und dynamischen Belastungen während der Bauphase zu berücksichtigen. Weitere Hinweise, die zur Planung und Auswahl von Dichtwänden relevant sind, werden in Kap. 4.3 gegeben.

Checkliste 4: Standortspezifische Randbedingungen für Oberflächensicherungen und Dichtwände

Standortspezifische Randbedingungen für Oberflächensicherungen und Dichtwände		Information vorhanden ?	Information erforderlich?
Oberflächensicherung	vorhandene/geplante Bebauung auf dem Gelände		
	erwartete Lasteinwirkungen / Auflasten		
	Begrenzung einer Geländeaufhöhung		
	Bodenmechanische Eigenschaften des anstehenden Bodens / der zu sichernden Flächen (z.B. Setzungsempfindlichkeit)		
	Bewuchs / Bepflanzung		
	mögliche Beanspruchungen des Sicherungssystems durch die Kontamination		
Dichtwand	bestehende Bebauung innerhalb der Trasse		
	geplante Bebauung innerhalb der Trasse		
	bestehende Bebauung außerhalb des Trassenbereichs		
	geplante Bebauung außerhalb des Trassenbereichs		
	erdstatistischer Einfluß auf die Dichtwand		
	hydraulisches Gefälle (unterschiedliche Wasserstände innerhalb und außerhalb des Dichtwandkastens)		
	Art, Tiefenlage und Mächtigkeit von Grundwasserleiter und Grundwasserstauer		
	Eigenschaften des anstehenden Bodens		
	→ Setzungsempfindlichkeit		
	→ Durchlässigkeit (z.B. Injizierbarkeit)		
	→ chemische Eigenschaften (z.B. Huminsäuregehalt)		
	→ Strukturstabilität (rammfähig, rüttelfähig)		
	Prüfung umliegender Bausubstanz im Hinblick auf mögliche Schädigungen durch Sanierungsmaßnahmen (z.B. Setzungen durch Grundwasserspiegelabsenkung)		
	Wahrscheinlichkeit von Hindernissen im Untergrund		
	Zusammensetzung der Prüfflüssigkeit zur Beurteilung der Eignung von Dichtwandmaterialien		
	mögliche Beanspruchungen des Sicherungssystems durch die Kontamination		

3.2.3.2 Kriterien und Auswahl

Die Qualität einer Machbarkeitsstudie hängt im wesentlichen davon ab, ob alle relevanten Kriterien zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen bzw. Sanierungsszenarien herangezogen wurden. Folgende Kriterien sollten bei einer umfassenden Beurteilung mindestens berücksichtigt werden (LUA, 1995):

- Erreichbarkeit der Sanierungsziele (Wirksamkeit)
 - schadstoff- und bodenspezifische Eignung, z.B. räumliche, stoffliche und zeitliche Wirksamkeit von Sicherungssystemen
 - Flexibilität der Verfahren bei den vorliegenden Standortgegebenheiten
 - Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolgs

- Verfügbarkeit und Realisierbarkeit
 - Entwicklungsstand der Technologie: Modell-, Pilot- oder Full scale-Maßstab
 - Betriebssicherheit
 - Zeit: Sanierungsdauer
Verfügbarkeit bezüglich Lieferzeiten, Kapazitäten etc.
Genehmigungszeitraum
 - Infrastruktur- und Flächenbedarf
 - Überwachbarkeit der Sanierungsmaßnahmen
 - Nutzungseinschränkungen während und nach der Sanierung

- Auswirkungen auf die Umwelt
 - Emissionen
 - Energie- und Stoffeinsatz
 - Veränderung der Bodeneigenschaften / Bodenfunktionen
 - Eingriffe in den Grundwasserhaushalt
 - Abfall- bzw. Reststoffmengen, Entsorgung und Verwertung

- Sicherheit der Beschäftigten und Anwohner
 - Risiken beim Aufnehmen von Bodenmaterial
 - Risiken bei der Durchführung der eigentlichen Sanierungsmaßnahmen
 - Risiken bei Begleitmaßnahmen (An- und Abtransport, Gefahrguttransporte, Zwischenlagerung / Bereitstellung)

- notwendige Schutzmaßnahmen

- Akzeptanz in der Öffentlichkeit
 - Akzeptanz der unmittelbar und mittelbar Betroffenen
 - Akzeptanz des / der Eigentümer
 - Akzeptanz der Träger öffentlicher Belange

- Wirtschaftlichkeit
 - Kosten der Sanierungsmaßnahmen
 - Kosten für Entsorgung und Verwertung
 - Kosten für Arbeits- und Immissionsschutz
 - Kosten für Sanierungsplanung, Projektleitung und -steuerung
(z.B. in Anlehnung an § 55 HOAI)
 - Kosten der Bauüberwachung (Qualitätssicherung der Bauausführung und Überwachung von Arbeitsschutz und Sicherheit)
 - Kosten der Nachsorge (Langzeitüberwachung und technische Maßnahmen der Nachsorge)
 - Kosten für Öffentlichkeitsarbeit
 - Kostenwirksamkeit

Bei der Durchführung der Machbarkeitsstudie ist i.d.R. die Entwicklung von Sanierungsszenarien erforderlich. Darin sind alle erforderlichen Einzelmaßnahmen und Begleitmaßnahmen zusammenzustellen. Es muß darauf geachtet werden, daß alle Maßnahmenalternativen (Sanierungsszenarien) unter den definierten Kriterien betrachtet werden. Wenn einzelne Verfahren nicht weiter untersucht werden, sollte diese Entscheidung detailliert begründet werden. Um den Auswahlprozeß zu erleichtern, gleichzeitig jedoch transparent zu erhalten, können Entscheidungsmatrices eingesetzt werden (s. z.B. DVWK, 1991).

Die Endauswahl einer Sanierungsmaßnahme ist auf der Grundlage eines Kostenvergleichs, ggf. einer **Kostenwirksamkeitsbetrachtung** zu treffen. Dabei werden geeignete Sanierungsmaßnahmen den zugehörigen Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Wirksamkeit gegenübergestellt und verglichen. Anhand der Kostenvergleichsrechnung bzw. Kostenwirksamkeitsbetrachtung wird eine Rangfolge von Sanierungsmaßnahmen bzw. -szenarien erstellt. Diese Rangfolge sollte im Rahmen des gutachterlichen Sanierungsvorschlages ausführlich begründet werden. Im folgenden Praxisbeispiel werden die wesentlichen Ergebnisse

einer Machbarkeitsstudie für die Sanierung eines Zechen- und Kokereistandortes verkürzt vorgestellt.

Praxisbeispiel *Die einzelnen Sanierungsverfahren wurden im Hinblick auf die Sanierungszonen 1, 2 und 3 bewertet.*

Sanierungszone 1: starke, tiefreichende (> 30 m) Verunreinigungen durch kokereispezifische Schadstoffe; Wirkungspfade Boden, Bodenluft und Grundwasser.

Sanierungszone 2: starke Verunreinigung durch Schwermetalle; Wirkungspfade Boden und Grundwasser.

Sanierungszone 3: geringe bis mäßige Verunreinigungen durch organische und anorganische Schadstoffe; Wirkungspfad Boden.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie sind in der folgenden Tabelle (folgende Seite) zusammengestellt.

Das Beispiel zeigt, daß eine tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse bzw. gutachterlichen Aussagen zu den betrachteten Sanierungsverfahren einen guten Überblick über die Vollständigkeit der Machbarkeitsstudie und die mehr oder minder konsequente Anwendung der Kriterien gibt. Es zeigt außerdem, daß in eine Betrachtung der Wirksamkeit von Sanierungsverfahren die Beanspruchungen durch die jeweilige Nutzung, z.B. durch Verkehrs- und Baulasten einbezogen werden muß. Die aufgrund ihrer Setzungsempfindlichkeit nur eingeschränkt geeigneten Oberflächenabdichtungen wurden für den Sanierungsvorschlag durch Maßnahmen zur Baugrundverbesserung ergänzt. Die Oberflächenabdichtung wurde gegenüber ungleichmäßigen Setzungen geschützt, so daß ihre Wirksamkeit dadurch nicht beeinträchtigt ist.

Verfahren	Wirksamkeit	Zeitbedarf	Betriebssicherung Arbeitsschutz	Überwachbarkeit u. Nachsorge	Akzeptanz	Kosten
Bodenaustausch	technische Wirksamkeit für 2 u. 3 gegeben, nicht für 1 (Tiefe > 30 m)	über Maschineneinsatz steuerbar	entsprechend TBG-Richtlinien	begleitende Bodenuntersuchungen	k.A.	wirtschaftlich für 1 nicht machbar
gesicherte Umlagerung / Entsorgung	nicht für 3 wegen Verschlechterungsverbot	hoch, für Genehmigungsverfahren zur gesicherten Umlagerung				Entsorgungskosten
Oberflächenabdichtung: mineralische Dichtung	Dichtungsschicht 0,7 m mächtig, $k_f 1 \times 10^{-10}$ m/s; Wirksamkeit für 2 gegeben	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Oberflächenabdichtung: Kunststoffdichtungsbahn	Verformungsgefahr durch Setzungen insb. bei Bau- u. Verkehrsflächen, Integration einer Gasdrainage möglich Wirksamkeit für 1 gegeben	kurzer Bauablauf	ohne besondere Vorgaben	Funktionsfähigkeit entsprechend geltenden Richtlinien prüfen, Nachsorge nicht erforderlich	erreichbar, da es ein in der Praxis erprobtes Verfahren ist	k.A.
Abdeckung	unterbindet Direktkontakt und Staubflug; Wirksamkeit für 3 gegeben	steuerbar	ohne besondere Vorgaben	jederzeit überprüfbar	Konsens zw. Gutachter u. Behörden gegeben	wirtschaftlich
vertikale Abdichtung	im Bereich 1 nur dann wirksam, wenn die Wand in eine undurchlässige Schicht einbindet; absolute Undurchlässigkeit gegenüber Wasser und organischen Substanzen nicht gewährleistet	sehr zeitaufwendig	Wird als unverhältnismäßig angesehen, da eine horizontale Schadstoffausbreitung nicht festgestellt wurde.			nicht abschätzbar
Basisabdichtung	technisch und wirtschaftlich im Bereich 1 nicht machbar					
hydraulische Maßnahme, passiv	technisch mit vertretbaren Kosten im Bereich 1 nicht machbar					
hydraulische Maßnahme, aktiv	keine vollständige Verfügbarkeit von Schadstoffen im Bereich 1	Eine hydraulische Sicherung ist z.Z. nicht notwendig, da eine horizontale Verlagerung über den Grundwasserpfad durch Standortuntersuchungen ausgeschlossen werden konnte.				
Immobilisierung in situ / on site	Vorversuche im Hinblick auf sekundäre Kontaminationen durch freierwerdende Injektionsstoffe u. Langzeitverhalten	hoch, infolge Vorversuche; Abstimmung mit Behörden erforderlich; Störkörper im Boden behindern Bauablauf	von besonderer Bedeutung, Hinweis auf zusätzl. Kosten für die Nachsorge	Nachsorge möglich, schwer kalkulierbar, Überwachbarkeit nur im on-site-Verfahren gegeben	fraglich	400 DM/t, wird aus wirtschaftlichen Gründen für 1 kritisch bewertet; anwendbar auf 2 u. 3
Zusammenfassung der Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie für die Sanierungszonen 1 bis 3						

Zur technischen Erprobung einzelner Sanierungsvarianten und Beurteilung der grundsätzlichen Eignung ist es u.U. notwendig, **Vorversuche** durchzuführen. Diese Vorversuche können parallel oder im Anschluß an die Machbarkeitsstudie erfolgen. Für die Machbarkeitsstudie können z.B. folgende Versuche in Abhängigkeit von der einzelnen Fallgestaltung durchgeführt werden:

- Pumpversuche, z.B. Überprüfung von hydraulischen Verfahren
- bodenmechanische Versuche (vertikale und horizontale Sicherung)
- Versuche zur Qualitätsbeurteilung von Ton zur mineralischen Abdichtung
- erste orientierende Eignungsversuche mit Dichtwandmassen
- Vorversuche zur Immobilisierung
- Vorversuche mit belastetem Boden zur Beurteilung von Dekontaminationstechniken
- Pilotversuche zur Behandlung von verunreinigtem Grundwasser.

Im folgenden Praxisbeispiel wurde die Qualität des anstehenden Bodens im Labor untersucht, um die Eignung einer Bodenvergütung zur Abdichtung einer Altablagerung zu prüfen.

Praxisbeispiel *Auf der zu sichernden Fläche steht ein Lößlehm als Boden an. Im Gegensatz zu Ton zeichnet sich dieser durch einen kleineren Plastizitätsbereich aus, so daß bei Wassergehaltsschwankungen im Material eine Bearbeitung sehr schnell nicht mehr möglich ist. Folgende Bodenuntersuchungen wurden im Labor durchgeführt:*

- *Korngrößenverteilung und Homogenität des Materials*
- *Proctordichte*
- *Durchlässigkeit (Triaxialzelle)*

Im Rahmen der Versuche stellte sich heraus, daß zur Gewährleistung der Durchlässigkeitsanforderungen eine Zugabe von 3 % Bentonit erforderlich ist. Außerdem wurde festgestellt, daß auch mit Verdichtungsgraden von $D_{Pr} = 92\%$ die geforderte Dichtigkeit von $k_f < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ erzielt wird.

Bei Überprüfung der Eignung von Dichtwandmassen kann die Vorauswahl durch einen Vergleich mit anderen Projekten, Herstellerangaben und neue Entwicklungen in der Forschung erfolgen. Diese Angaben müssen auf Aktualität der Untersuchungen und Übertragbarkeit auf die gegebene Situation überprüft werden. Für weitere Versuche kann dann auf die vorausgewählten Dichtwandmassen-Mischungen zurückgegriffen werden. Umfangreichere Untersuchungen sind

bei aggressiven Sickerwässern notwendig. Im folgenden Praxisbeispiel wurde eine Vorauswahl von Dichtwandmassenmaterial für die Einschließung einer Hausmülldeponie getroffen.

Praxisbeispiel *Bei der Vorauswahl der Dichtwandmassen wurde auf Laborergebnisse von Herstellern und auf Laborergebnisse von Versuchen zurückgegriffen, die für eine andere Hausmülldeponie durchgeführt worden sind. Aufgrund dieser Vorauswahl brauchten nur noch drei Dichtwandrezepturen in einem Versuchsfeld getestet werden.*

Bei der grundsätzlichen Beurteilung der Eignung von Kunststoffdichtungsbahnen kann auf die Angaben und Zertifikate der Hersteller zurückgegriffen werden. Bei Asphaltbetonabdichtungen können zum Teil die Erfahrungen im Straßen- und Wasserbau genutzt werden (s.a. Kap. 4.2.6).

Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie ausgewählten Sanierungsmaßnahmen werden durch den Gutachter in einem Sanierungsvorschlag formuliert. Die zuständige Behörde legt nach Abstimmung mit allen Beteiligten das durchzuführende Sanierungskonzept (Planungskonzept) fest bzw. stimmt ihm zu (s.a. Kap. 2). Das folgende Praxisbeispiel zeigt, daß im Einzelfall Sanierungsvorschlag und Sanierungskonzept völlig unterschiedlich aussehen können.

Praxisbeispiel *Aufgrund der Machbarkeitsstudie wurden durch den Gutachter folgende Sanierungsvarianten vorgeschlagen:*

- *mikrobiologische on-site-Sanierung*
- *Deponierung*
- *Bodenwäsche (mit wässriger Waschflüssigkeit)*

Die mikrobiologische on-site-Sanierung wurde besonders favorisiert.

Unter Abwägung der Belange anderer und der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen wurde durch die Behörde festgelegt, daß eine Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtung ausgeführt werden soll.

Die Behörde hat damit die berechtigten Einwände des Sanierungspflichtigen berücksichtigt. Dieser hätte bei einer Entscheidung für die on-site-Sanierung neben den (anteiligen) Sanierungskosten auch den Verlust von Pachteinnahmen tragen müssen, da die Fläche anderweitig nicht mehr nutzbar gewesen wäre.

3.3 Sanierungsplanung

3.3.1 Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung

Auf der Basis der mit dem im Sanierungskonzept getroffenen Entscheidung für eine Sicherungsmaßnahme oder eine Kombination von verschiedenen Sicherungsmaßnahmen wird dieses in der Sanierungsplanung ausgearbeitet. Die Sanierungsplanung besteht i.d.R. aus der Entwurfs-, ggf. Genehmigungs- und Ausführungsplanung sowie der Ausschreibung und Vergabe. Entwurfs- und Genehmigungsplanung sind Bestandteil des Sanierungsplans nach § 31 Abs. 4 LAbfG NW (s.a. Kap. 2.4).

Im Gesamtentwurf werden die Sanierungsarbeiten und begleitenden Maßnahmen, d.h. Kernleistungen (z.B. Oberflächenabdichtung), Zusatzleistungen (z.B. Ingenieurkosten, Nachsorge, Öffentlichkeitsarbeit) und sonstige Leistungen (z.B. Abbrucharbeiten, Bodenmanagement und Entsorgung, Arbeits- und Immissionsschutz) dargestellt. Die im Einzelfall erforderlichen zusätzlichen Anträge für Genehmigungen werden basierend auf dem Inhalt des Sanierungsplans (ggf. parallel) erarbeitet und den jeweils zuständigen Behörden zur Prüfung vorgelegt.

Nach geltendem Recht in NRW besitzt der Sanierungsplan keine Konzentrationswirkung, d.h. andere erforderliche Zulassungen (z.B. Genehmigung nach BImSchG oder wasserrechtliche Erlaubnis nach WHG) sind gesondert einzuholen. Ein nach dem künftigen BBodSchG vorgesehener Sanierungsplan wird dagegen andere die Sanierung betreffende behördliche Entscheidungen mit einschließen, wenn sie im Einvernehmen mit allen dafür zuständigen Behörden erlassen wurden.

Die anschließende Ausführungsplanung wird an die behördlichen Anforderungen (Auflagen und Bedingungen) angepaßt. Der Entwurf mit allen für die Ausführung erforderlichen Einzelangaben wird darin bis zur ausführungsfähigen Lösung weiter ausgearbeitet. Aufbauend auf die Ausführungsplanung werden die Leistungsbeschreibung und das Leistungsverzeichnis für die Ausschreibung erstellt.

Der Sanierungsplan umfaßt folgende Inhalte, die darzustellen und zu erläutern sind (s.a. MURL, 1995):

- Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen und Bewertungen (Gefährdungsabschätzung, Sanierungsuntersuchung, Sanierungskonzept)

- Erläuterung und zeichnerische Darstellung der Sanierungsmaßnahmen und Nachweis der Eignung
 - räumliche Abgrenzung der Fläche, für die der Plan gilt ('Sanierungsplanbereich')
 - Elemente und Bauablauf der Sanierung
 - Erdarbeiten, u.a. Bodenaushub, Separierung, Wiedereinbau, Bodenumlagerungen von belastetem und unbelastetem Boden im Sanierungsplanbereich (s.a. Checkliste 8)
 - Abbrucharbeiten
 - Arbeits- und Immissionsschutzmaßnahmen
 - Zwischenlagerung (s.a. Checkliste 8)
 - Reststoffentsorgung beim Betrieb von Anlagen
 - Ablagerung von Boden/Abfällen auf Deponien
 - grundsätzliche Angaben zur Behandlung in on/off-site-Anlagen und zu In-situ-Maßnahmen
 - fachspezifische Berechnungen zu on-site und off-site-Boden(luft)- oder Grundwasserbehandlungsanlagen und zu in-situ-Maßnahmen (z.B. Bodenluftabsaugung)
 - Technische Ausgestaltung der Sicherungselemente und der begleitenden Maßnahmen
 - Oberflächen- und Vertikalabdichtungen
 - Oberflächenabdeckung
 - Basisabdichtung
 - begleitende passive pneumatische, hydraulische oder sonstige Maßnahmen (z.B. Baufeldentwässerung)
 - Zwischen- bzw. Bereitstellungslager
 - Nachweis der Eignung für Sanierungselemente im Hinblick auf das Erreichen des Sanierungsziels
 - Darstellung der bei der Planung berücksichtigten Belange sowie sonstiger Planungen und Randbedingungen
 - Hinweise zu weiteren Zulassungserfordernissen (z.B. Genehmigung nach BImSchG oder wasserrechtliche Erlaubnis nach WHG)
- Qualitätssicherungskonzept für sanierungsbegleitende Untersuchungen
 - Qualitätssicherung der Bauausführung

- Untersuchungen der Baustoffe und Bauteile im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung
- Probennahme und Analytik im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung der Sanierungsdurchführung im Hinblick auf:
 - Arbeits- und Immissionsschutz
 - Bodenmanagement
 - Bodenluft- und/oder Grundwasserbehandlungsanlagen
- Konzept der Nachsorge, d.h. der technischen Maßnahmen der Nachsorge und der Langzeitüberwachung (s.a. Kap. 3.5) analog Selbstüberwachung nach § 31 Abs. 5 Satz 2 i.V.m. § 25 Abs. 1 LAbfG.
- Kostenberechnung und Kostenplan
 - Kostenermittlung sowie ggf. Ermittlung und Begründung der zuwendungsfähigen Kosten
 - ggf. Finanzierungsplan
- Zeitplan und Bauzeitenplan

Anhand der Checkliste 5 kann die Vollständigkeit der Sanierungsplanung im Hinblick auf die Bauüberwachung im Rahmen der Qualitätssicherung, die Arbeitssicherheit, die Konzeption der Nachsorge, die Kosten- und Zeitplanung und die Ausschreibung der Leistungen überprüft werden.

Checkliste 5: Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung

Bestandteil der **Qualitätssicherung** ist einerseits der Einsatz von eignungsgeprüften bzw. zertifizierten Materialien und andererseits die Überwachung der ordnungsgemäßen Errichtung von Sicherungsbauwerken oder des Betriebs von Anlagen. Durch den Einsatz von eignungsgeprüften bzw. zertifizierten Materialien wird sichergestellt, daß von einer gleichbleibenden Qualität des eingesetzten Materials ausgegangen werden kann. Die Qualitätsanforderungen und der Überwachungsumfang (Eingangskontrollen) müssen im Qualitätssicherungsplan als Bestandteil des Sanierungsplans beschrieben werden. Inhaltliche Empfehlungen zum Qualitätssicherungsplan werden in Kapitel 4 gegeben.

Die planmäßige Errichtung von Sicherungsbauwerken bzw. der Betrieb von Anlagen wird durch die Eigen-, Fremd- und die behördliche Überwachung in bezug auf die Einhaltung der vorab gestellten Anforderungen überwacht:

- Eigenüberwachung durch das ausführende Bauunternehmen, Eigenuntersuchungen
- Fremdüberwachung durch einen unabhängigen Sachverständigen (Bestimmung im Einvernehmen mit dem Auftraggeber und der Genehmigungsbehörde)
- behördliche Überwachung Prüfung der Berichte des Fremdüberwachers, Plausibilitätskontrolle, ggf. stichprobenartige Überprüfung, Teilnahme an Baubesprechungen

Die Maßnahmen der Eigenüberwachung müssen in den Ausschreibungsunterlagen spezifiziert werden. Bestandteil einer Qualitätssicherung ist auch die namentliche Benennung des Verantwortlichen der Eigenüberwachung. Die Bestimmung eines unabhängigen Ingenieurbüros oder Instituts für die Fremdprüfung erfolgt im Einvernehmen zwischen Sanierungsträger und der zuständigen Behörde. Die zuständige Behörde kann auch, falls erforderlich, die Einschaltung einer Fremdprüfung zu ihrer Unterstützung veranlassen (s.a. Kap. 2.4). Die behördliche Überwachung beschränkt sich i.a. auf die Überwachung der Eigen- und Fremdprüfung, stichprobenartige Überprüfungen auf der Baustelle und die Teilnahme an Baubesprechungen. In der Praxis zeigt sich zunehmend, daß der Fremdprüfer von den bauausführenden Firmen in die Maßnahmen der Eigenüberwachung und sogar in eigentliche Aufgaben der Fachbauleitung hineingezogen wird. Sinn und Nutzen des mehrgliedrigen Qualitätssicherungssystems werden dabei aufgeweicht.

Insgesamt empfiehlt sich, in jedem Fall die Überprüfung der angelieferten Materialien (visuell, analytisch), der hergestellten Mischungen (z.B. Dichtwandmassen als Suspension und im ausgehärteten Zustand) und der Bauleistungen (z.B. Einbauwerte der mineralischen Dichtung) durchzuführen. Hinweise zu Art und Umfang der Qualitätssicherung bei der Herstellung der verschiedenen Sicherungselemente werden in Kapitel 4 gegeben.

Nach Abschluß der Ausführungsarbeiten sollte die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems durch eine Systemprüfung kontrolliert werden. Alle Arbeiten, die im Rahmen der Qualitätssicherung durchgeführt worden sind, und die ermittelten Ergebnisse sollten in einer Dokumentation der Sanierung zusammenfassend dargestellt werden (z.B. in einem Abschlußbericht des Fremdprüfers).

Der Umfang der durchzuführenden Qualitätssicherung wird vor Beginn der Bauausführung für den Einzelfall entsprechend der Komplexität der Maßnahme und des Schwierigkeitsgrades der angewendeten Technik mit der zuständigen Behörde festgelegt. Die Verteilung der

Zuständigkeiten auf der Baustelle müssen eindeutig sein. In den GDA-Empfehlungen (1993) werden Grundsätze zur Qualitätssicherung und zum Qualitätssicherungsplan (GDA, E5) gegeben. Im Qualitätssicherungsplan sollen dementsprechend folgende Festlegungen für das konkrete Bauprojekt getroffen werden:

- Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Eigen- und Fremdprüfer
- Herstellungsbeschreibung des Sicherungssystems mit Angabe der zu überprüfenden Vorgänge und der zu ermittelnden Kenngrößen
- Art und Anzahl der Qualitätsprüfungen an den angelieferten Baustoffen (Eingangsprüfung), bei ihrer Verarbeitung (Verarbeitungsprüfung) und am fertigen Bauteil (Abnahmeprüfung).

Bei der Planung der Qualitätssicherung sollte von einem eher größeren Kontrollumfang ausgegangen werden. Während der Baumaßnahme kann ggf. in Abhängigkeit von der fachlichen Qualität der ausführenden Firma und des angelieferten Materials eine Anpassung des Untersuchungsumfanges in Abstimmung mit dem Fremdprüfer und der zuständigen Behörde vorgenommen werden.

Zu den Aufgaben der **allgemeinen Bauüberwachung**, auf die hier nicht näher eingegangen wird, gehören u.a. Kontrollen zur bautechnischen Beweissicherung, wie z.B. regelmäßige Vermessungsarbeiten, um Schäden an der angrenzenden Bebauung festzustellen. Ein häufiges Schadensbild sind Risse in der Bausubstanz, die z.B. auf Setzungen durch Grundwasserabsenkungen zurückgeführt werden können.

Für einen sicheren Betrieb auf der Baustelle ist eine eindeutige Festlegung und Kontrolle der Zuständigkeit für die **Arbeitssicherheit** notwendig. Der Auftraggeber stellt hierzu einen Sicherheitsplan auf, der Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen und damit des Vertrages mit dem Auftragnehmer ist. Für seine Umsetzung ist der Auftragnehmer verantwortlich. Die Einhaltung der Arbeitssicherheitsvorschriften wird durch beide Vertragspartner kontrolliert. Bei der Erstellung des Sicherheitsplans sollten die Anforderungen der Richtlinie 'Arbeiten in kontaminierten Bereichen' (ZH 1/183) beachtet werden, die von der Tiefbau-Berufsgenossenschaft aufgestellt worden ist. Auf der Basis der chemisch-physikalischen und toxischen Eigenschaften der auftretenden Stoffe, der Konzentrationen im Boden, der Bodenluft und/oder im Grundwasser sowie des Expositionsrisikos werden die erforderlichen Maßnahmen in Abstimmung mit den zuständigen Staatlichen Ämtern für Arbeitsschutz und Berufsgenossenschaften im Hinblick auf eine Minimierung der Risiken und Einhaltung der

gesetzlichen Anforderungen festgelegt (s.a. Bartels-Langweige et al., 1989). Die Maßnahmen sind in einer arbeits- oder baustellenbezogenen Betriebsanweisung zusammenzufassen. Wenn in kontaminierten Bereichen mehrere Unternehmer tätig sind, hat der Bauherr (Auftraggeber) gemäß ZH 1/183 schriftlich eine verantwortliche Person als Koordinator zu bestellen. Durch den Koordinator soll eine mögliche gegenseitige Gefährdung vermieden werden sowie die Koordination und eine lückenlose sicherheitstechnische Überwachung der verschiedenen Arbeiten erfolgen. Zu den Aufgaben des Koordinators gehören (nach ZH 1/183) z.B.

- Aufstellen einer arbeits- oder baustellenbezogenen Betriebsanweisung
- Einweisen der Versicherten in die jeweiligen Gefährdungen der Arbeits- oder Baustelle
- Überwachen der in der Betriebsanweisung festgelegten Forderungen
- Veranlassen erforderlicher Gefahrstoffuntersuchungen und -messungen sowie Bewerten der Ergebnisse
- Terminieren von Einzelgewerken und Bewerten ihrer Auswirkungen aufeinander hinsichtlich möglicher Gefahren.

Die Beschreibung des Konzeptes zur **Nachsorge** ist ein weiterer wichtiger Bestandteil der Sanierungsplanung. Für eine realistische Abschätzung der Gesamthöhe der Projektkosten muß der erwartete Umfang der Nachsorge aufgenommen werden. Bei den Nachsorgeaktivitäten (Überwachung von Anlagen, Beprobung von Meßstellen etc.) sind dann später die Maßgaben der Genehmigungsplanung zu berücksichtigen.

Für die **Kostenermittlung** sind die Kosten sämtlicher Leistungen im Zusammenhang mit der Sanierung zu berücksichtigen. Neben den eigentlichen Kernleistungen sind dies die sonstigen Leistungen (z.B. Ingenieurkosten) sowie Zusatzleistungen (z.B. Bodenmanagement und Entsorgung). Außerdem sind die voraussichtlichen Betriebs- und Wartungskosten aus der Nachsorge zu ermitteln und einzuplanen. Im Einzelfall (z.B. bei Sickerwasserbehandlungsanlagen bei großen Sonderabfalldeponien) können diese Positionen jährlich hohe Beträge ausmachen.

Kosten- und Zeitplanung sind in einem engen Zusammenhang zu sehen, da eine Verlängerung der Bauzeit, soweit sie nicht auf ein Verschulden des Auftragnehmers zurückzuführen ist, zu einer Erhöhung der Kosten führt. Außerdem sollte bei jeder Sanierungsmaßnahme ein Budget für unvorhergesehene Schwierigkeiten eingeplant werden. Bei der Zeitplanung der Baumaßnahme sollte die eigentliche Bauausführung soweit möglich in eine witterungsgünstige Jahreszeit gelegt werden, um Behinderungen im Bauablauf und Qualitätseinbußen zu vermeiden.

Checkliste 5: Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung

Grundsätzliche Aspekte der Sanierungsplanung		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Qualitätssicherung/ Bauüberwachung	Qualitätssicherung		
	→ Einsatz eignungsgeprüfter bzw. zertifizierter Materialien		
	→ Überwachung durch Eigen-, Fremd- und behördliche Überwachung		
	Qualitätssicherungsplan		
	→ Anforderungen an die Baumaterialien und an die Ausführung		
	→ Art und Umfang der Kontrollen (Eingangskontrollen, visuelle, mechanische und elektronische Kontrollen, Probenahmen etc.)		
	→ Ermittlung von Kennwerten		
	→ Aufteilung der Aufgaben von Eigen- und Fremdüberwachung		
	→ Auskoffering: Probenahmekonzept (vor Beginn, während und nach der Auskoffering), Parameter (entsprechend der Kontamination)		
	Art der Systemprüfung (Pumpversuch etc.)		
	allgemeine Bauüberwachung (bautechnische Beweissicherung)		
	Festlegung des Berichtswesens (Häufigkeit, Form)		
	Arbeitsicherheit	Zuständigkeit/Koordinator	
arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen			
Arbeitsschutz- und Sicherheitsplan			
Betriebsanweisung			
Überprüfung der Gefahrenlage (infolge der Kontamination)			
Konzept zur Nachsorge	Nutzungsbeschränkungen (z.B. Bebauungsplan)		
	Ende der Gewährleistung		
	technische Lebensdauer der verwendeten Materialien / Bauwerke		
	Langzeitüberwachung (Art, Anzahl und Lage der Meßstellen, weitere Kontrollen, Zuständigkeit)		
	→ Zeitintervall angegeben und ausreichend		
	→ Zeitintervall mit der Fachbehörde abgestimmt		
	Technische Maßnahmen der Nachsorge		
	→ Zuständigkeiten		
	→ Fassung und Behandlung von Grundwasser, Deponiegas etc.		
	→ Wartung/Wartungsabstand		
→ grundsätzliche Möglichkeiten für Instandsetzungsmaßnahmen			
Umfang der gutachterlichen Begleitung			
Kostenermittlung und Zeitplanung	Kosten- und Zeitplan der Gesamtmaßnahme		
	Kosten und Ausführungszeitraum je Los		
	→ Kernleistungen		
	→ sonstige Leistungen		
	→ Zusatzleistungen		
	Kosten für Unvorhergesehenes		
	Kosten und Zeitraum für die Nachsorge		
Genehmigungen	Baurecht		
	→ BauO NW		
	Wasserrecht		
	→ WHG		
	→ kommunale Abwassersatzungen für Einleitungen in den Kanal		
	Abfallrecht		
	→ AbfG		
→ LAbfG NW			

Abhängig von den geplanten Sicherungsmaßnahmen im Einzelfall sind vor der Ausführung verschiedene **Genehmigungen** einzuholen. Nach § 2 BauO NW fallen sowohl Dichtwände als auch Aufschüttungen und Abgrabungen unter den Begriff der baulichen Anlagen und bedürfen somit einer Baugenehmigung. Bei kleineren Maßnahmen ist zu überprüfen, ob sie unter die genehmigungsfreien Vorhaben und Anlagen nach den §§ 65 und 66 BauO NW fallen.

Ist im Rahmen der Sicherungsmaßnahmen mit einer Wasserentnahme zu rechnen, sind wasserrechtliche Genehmigungen für die Entnahme von Grundwasser und für die Wiedereinleitung (Direkteinleitung in den Grundwasserleiter oder einen Vorfluter sowie Indirekteinleitung, d.h. in die Kanalisation) einzuholen. Für eine Grundwasserentnahme ist grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis nach § 7 WHG erforderlich. Die Direkteinleitung in einen Vorfluter oder das Grundwasser stellt ebenfalls eine erlaubnispflichtige Gewässernutzung im Sinne der §§ 2 und 3 WHG dar. Die Erlaubnis muß den Besorgnisgrundsatz nach § 34 Abs. 1 für das Grundwasser und das Wohl der Allgemeinheit nach § 6 WHG berücksichtigen. Für eine Einleitung in die Kanalisation sind die zunächst kommunalen Abwassersatzungen maßgebend. Die zuständigen Behörden treffen auf deren Grundlage i.d.R. einzelfallspezifische Entscheidungen.

Sind für die Erstellung der Oberflächensicherung oder der Dichtwand Auskofferungsarbeiten notwendig, kann Bodenaushub anfallen, der entsorgt werden muß. Wird das entnommene Erdreich im Bereich derselben Altlast wieder eingebracht, d.h. auf dem Standort umgelagert, ist eine Genehmigung nach § 31 Abs. 4 Satz 4 LAbfG NW notwendig. Weitere abfallrechtliche Zulassungsverfahren für das Wiedereinbringen vor Ort sind i.d.R. nicht erforderlich. Für den Transport und die ordnungsgemäße Entsorgung kontaminierten Bodenaushubs außerhalb des Standortes müssen die Transportgenehmigung (nach § 49 Abs. 1 KrW-/AbfG und nach Transportgenehmigungsverordnung) und der Verwertungs- bzw. Beseitigungsnachweis (nach § 41 ff. KrW-/AbfG und nach Nachweisverordnung) vorliegen. Bei einer Verwertung außerhalb der Altlast sollten als Orientierung die Anforderungen der Technischen Regeln der LAGA für die Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen herangezogen werden (LAGA, 1994).

3.3.2 Oberflächensicherungen

Bei der Ausarbeitung des Oberflächensicherungssystems sind verschiedene Kriterien zu beachten. Die Vollständigkeit der Planungsunterlagen kann anhand von Checkliste 6 'Sanierungsplanung Oberflächensicherung' überprüft werden. Eine Beschreibung der verschiedenen Oberflächensicherungstechniken erfolgt in Kapitel 4.2.

Checkliste 6: Sanierungsplanung Oberflächensicherung

Die **Allgemeinen Angaben zur Standortsituation** bilden den Ausgangspunkt für die Planung. Die genaue Lage und Ausdehnung der zu sichernden Fläche sind festzulegen. Dabei sollte anhand der vorliegenden Gutachten kontrolliert werden, ob alle kontaminierten Bereiche erfaßt sind. Bei Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen müssen i.d.R. Nutzungsbeschränkungen festgelegt werden. Um z.B. eine Beschädigung von mineralischen Dichtungen zu verhindern, sollte der Standort nicht mit tiefwurzelnden Pflanzen bepflanzt werden oder eine Wurzelsperre (z.B. Kunststoffdichtungsbahn) eingesetzt werden. Außerdem ist die Durchführung tiefer Grabungsarbeiten zu untersagen. Darüber hinaus ist die genaue Lage aller Kabel und Ver- und Entsorgungsleitungen oberhalb und unterhalb der Abdichtung anzugeben, da sich bei einer Durchdringung der Abdichtung Schwierigkeiten und potentielle Schwachstellen ergeben können.

Für jede Schicht des definierten **Systems** zur Oberflächensicherung müssen Angaben über Mächtigkeit, Gefälle und über Kenngrößen des einzusetzenden Materials vorhanden sein. Je nach Oberflächensicherung sind unterschiedliche Kenngrößen zur Beurteilung von Bedeutung (s. a. Kapitel 4.2). So hängt z.B. die erreichbare Wasserdichtigkeit der mineralischen Abdichtung stark vom Verdichtungsgrad, dem Einbauwassergehalt und dem Luftporenanteil ab. Die Bentonitmatte wird im Gegensatz zur mineralischen Abdichtung trocken eingebaut. Die Verlegeanleitungen der Hersteller sind zu beachten (s.a. Kap. 4.2.7). Beim Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen ist z.B. insbesondere darauf zu achten, daß keine mechanischen Beschädigungen durch scharfkantige Gegenstände im Untergrund auftreten können. Bei der Kapillarsperre z.B. müssen definierte Luftporenanteil und -größe eingehalten werden. Anhand von Sieblinien kann beurteilt werden, ob das einzusetzende Material die Anforderungen an die Luftporenverteilung erfüllt (s.a. Kap. 4.2.5).

Mineralische Abdichtungen, Kunststoffdichtungsbahnen, Asphaltbeton- und Kombinationsabdichtungen sind vielfach praxiserprobte Oberflächensicherungssysteme. Für Bentonitmatten zur Oberflächensicherung liegen zur Zeit insbesondere noch keine gesicherten Erfahrungen zur Sicherheit gegenüber Austrocknung vor. Für die Oberflächenabdichtung mittels Kapillarsperre sind die genauen Einsatzgrenzen für eine gesicherte Dichtwirkung noch in der Diskussion. Bei der Auswahl des geeigneten Systems sollte auch der mögliche Einsatz alternativer Systeme anhand des jeweils aktuellen Kenntnisstandes geprüft werden.

Wird ein gasdichtes Oberflächensicherungssystem (z.B. Kunststoffdichtungsbahn, Kombinations- oder Asphaltbetonabdichtung) erstellt, ist je nach Art der Kontamination (leichtflüchtige Schadstoffe) eine Gasdrainage vorzusehen. In Abhängigkeit von der Art der Nutzung wird die Oberflächensicherung durch eine Rekultivierungsschicht oder eine Befestigungsschicht abgeschlossen. Beim Aufbringen der Flächendrainage und der Rekultivierungsschicht ist zu berücksichtigen, daß die Abdichtungsschicht mit Ausnahme der Asphaltbetonabdichtung nicht direkt befahren werden darf bzw. ggf. im vor-Kopf-Verfahren gearbeitet werden muß.

Bei der Beurteilung der **Dichtigkeit** eines Oberflächensicherungssystems ist sowohl auf die Wasser- und ggf. Gasdichtigkeit als auch auf mögliche Beeinträchtigungen durch Verformungen und Setzungen zu achten. Im Bereich von Durchdringungen für Leitungen und Kabel kann es ebenso wie im Anschlußbereich einzelner Dichtungsbahnen untereinander zu erhöhten Durchlässigkeiten kommen. Diese potentiellen Schwachstellen sollten bei der Detailplanung und Qualitätssicherung verstärkt beachtet werden (s.a. Kap. 4.2).

Von großer Bedeutung für die einwandfreie Herstellung einer Oberflächensicherung ist die richtige Ausbildung des Planums. Das Planum muß z.B. eine ausreichende **Tragfähigkeit**, Ebenheit und Lagegenauigkeit aufweisen. Außerdem dürfen bei den Systemen mit Geokunststoffen oberflächlich keine scharfkantigen Steine o.ä. aufliegen. Bei der Beurteilung der Tragfähigkeit des gesamten Oberflächensicherungssystems ist neben dem Bauzustand auch die Folgenutzung zu berücksichtigen. So ist z.B. eine mineralische Abdichtung für eine Bebauung i.a. nicht geeignet (s.a. Kap. 4.2.2).

Zur Beurteilung der **Langzeitbeständigkeit** ist die Empfindlichkeit gegen Witterungsschwankungen (z.B. Frost-Tau-Zyklen, Verdunstung) und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien (z.B. Gaskondensate) von Bedeutung. Untersuchungen auf Testfeldern der Deponie Georgswerder haben gezeigt, daß die Langzeitbeständigkeit bindiger mineralischer Dichtungen vor allem durch Austrocknung und Ausbildung von Haarrissen gefährdet wird. Bei der Planung einer Oberflächensicherung ist deshalb unbedingt auf einen ausreichenden Schutz vor Austrocknung, z.B. durch ausreichende Überdeckung oder Anordnung von Kunststoffdichtungsbahnen zu achten. Fehlstellen mit erhöhter Wasserdurchlässigkeit in einer mineralischen Abdichtungsschicht können außerdem durch Durchwurzelung und Kleintierbefall entstehen. Bei der Bepflanzung einer Oberflächenabdichtung ist daher darauf zu achten, daß möglichst Flachwurzler verwendet werden, deren Wurzeln nicht bis in die eigentliche Abdichtung reichen. Andererseits können sich auch tiefwurzelnende Pflanzen im Zuge der natürlichen Sukzession

ansiedeln. Weiterhin können Kolmations- und Suffosionsvorgänge sowie Wind- und Wassererosion über einen längeren Zeitraum die Dichtfunktion einer Oberflächenabdichtung herabsetzen.

Für die **Standsicherheit** ist vor allem die Böschungsneigung von Bedeutung. Sind steilere Böschungen (ab ca. 1 : 2,5 bis 1 : 3) zu sichern, sind abhängig vom Oberflächensicherungssystem spezielle Anforderungen zu stellen, z.B. Verwendung von Material mit höherem Reibungsbeiwert oder Einsatz spezieller Elemente (z.B. Geogitter) (s.a. Kap. 4.2). Insbesondere für Deponie-Oberflächenabdichtungen, aber auch bei anderen Sicherungsbauwerken entsprechender Fallgestaltung sind erforderliche Setzungs- und Standsicherheitsberechnungen durchzuführen.

Damit die **Herstellung** der Oberflächensicherung reibungslos durchgeführt werden kann, sollten Materialbeschaffung und Geräteaufwand schon in der Planung berücksichtigt werden. Je nach Oberflächenabdichtungssystem müssen bei der Bauausführung auch die Witterungsverhältnisse berücksichtigt werden. Für die meisten Systeme gilt, daß die Verlegung bei frostfreier und trockener Witterung erfolgen sollte. Systemspezifische Hinweise zur Herstellbarkeit und Baustellenrobustheit sind in Kapitel 4.2 zusammengestellt.

Checkliste 6: Sanierungsplanung Oberflächensicherung

Sanierungsplanung Oberflächensicherung		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Allgemeine Angaben	Lage und Fläche		
	→ zu sichernde Fläche		
	→ Fläche ohne Sicherungsbedarf		
	Nutzungsbeschränkung nach der Oberflächensicherung (z.B. Verzicht auf Keller)		
	Führung von Kabeln/ Ver- und Entsorgungsleitungen, ggf. Rohren durch die Oberflächensicherung		
System	Übersicht Systemaufbau (Abb.)		
	Schichten		
	→ Anzahl		
	→ Mächtigkeit		
	→ Gefälle, Böschungslänge		
	→ Materialkenngrößen (z.B. Durchlässigkeitsbeiwert, Zusammensetzung, Luftporenanteil, Wassergehalt, Sieblinien, Profilierung)		
	Schichtenabfolge (von oben nach unten)		
	→ Rekultivierungsschicht/Abdeckung		
	→ Entwässerungsschicht (Oberflächenwasser)		
	→ Abdichtung		
	→ Gasdrainage		
	ggf. Aufbau Kapillarsperre		
	zusätzliche Schichten		
	→ Geotextilien		
→ Signalschicht (oberhalb der Abdichtung)			
→ Wurzelsperre			
→ Befestigungsschicht (z.B. Bitumen)			
Dichtigkeit	gegenüber Wasser		
	gegenüber Gas		
	Setzungen/Verformungen		
	potentielle Schwachstellen		
	→ Durchdringung von Leitungen und Kabeln		
	→ Anschluß einzelner Dichtungsbahnen untereinander		
Tragfähigkeit	Ausbildung und Anforderungen an das Planum		
	Systembelastung während der Bauphase und infolge anschließender Nutzung		
Langzeitbeständigkeit	Temperaturempfindlichkeit/Gefahr der Austrocknung		
	Empfindlichkeit gegenüber chemischer Beanspruchung		
	Empfindlichkeit gegenüber biologischer Beanspruchung (Durchwurzelung von Pflanzen/ Tiere)		
	Wasser- und Winderosion		
	Suffosion/Kolmation		
Standsicherheit	Böschungeneigung		
Herstellbarkeit/ Baustellenrobustheit	Materialbeschaffung		
	Geräteaufwand		
	Handhabbarkeit der Dichtungselemente		
	Witterungsempfindlichkeit bei der Herstellung		

3.3.3 Dichtwände

Für die Sanierungsplanung von Dichtwänden sind eine Reihe von Angaben und Informationen als Entscheidungsgrundlage notwendig. Um eine standortspezifische Beurteilung und Anpassung vornehmen zu können, sollten Angaben zu den in Checkliste 7 'Sanierungsplanung Dichtwand' zusammengefaßten Kriterien vorliegen (s.a. Kap. 4.3.).

Checkliste 7: Sanierungsplanung Dichtwand

Unabhängig von der Art der Dichtwand, die an einem Standort errichtet werden soll, sind im ersten Schritt **allgemeine Angaben** zur Dichtwand und zur standortspezifischen Situation zusammenzustellen. Ein wichtiger Aspekt ist die Überprüfung der Lage der Dichtwandtrasse. Die Einschließung sollte so ausgeführt werden, daß das gesamte kontaminierte Erdreich und/oder Grundwasser tatsächlich isoliert wird. Bei einer unvollständigen Einschließung, d.h. kontaminiertes Erdreich und/oder Grundwasser liegt teilweise außerhalb des von der Dichtwand umschlossenen Bereichs, besteht die Gefahr einer weiteren Schadstoffausbreitung. Es ist im Einzelfall zu entscheiden, ob dies tolerierbar ist. Falls eine vollständige Einschließung der Kontamination durch die Anpassung der Dichtwandtrasse nicht realisiert werden kann, sind evtl. zusätzliche Maßnahmen (z.B. Auskoffnung, hydraulische Maßnahmen) notwendig. Als Entscheidungshilfe kann hier eine Simulation der Grundwasserströmung durchgeführt werden. Mit Hilfe der Simulation können verschiedene Szenarien zur Lage der Dichtwand und damit zur Änderung der Grundwasserströmung infolge des neuen Hindernisses sowie erforderlicher hydraulische Maßnahmen gerechnet werden. In dem folgenden Praxisbeispiel mußten verschiedene Systeme eingesetzt werden, um eine vollständige Einschließung der Kontamination zu erreichen.

Praxisbeispiel *Zur Sicherung eines Altstandortes mit Bodenverunreinigungen durch PAK wurde eine Spundwand zur vertikalen Abdichtung ausgewählt. Ein Teil der kontaminierten Fläche war bereits überbaut. Eine Umspundung des gesamten Gebäudes war nicht möglich, da der notwendige Sicherheitsabstand zum Gebäude (Standicherheit) aus Platzgründen nicht eingehalten werden konnte. Um den Spundwandkasten zu schließen, wurde unterhalb des Gebäudes eine Hochdruckinjektion mit einer Zementsuspension durchgeführt.*

Damit die Dichtwand ihre Funktion erfüllt, muß die Einbindung in eine geringdurchlässige Bodenschicht sichergestellt werden. Bei der Sanierungsplanung ist darauf zu achten, daß in Abhängigkeit vom k_f - Wert der geringdurchlässigen Schicht eine ausreichende Einbindetiefe eingeplant wird.

Beim Einsatz von Dichtwänden ist zu prüfen, in welchem Umfang hydraulische Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Hydraulische Maßnahmen können durch eine Gefährdung des Grundwassers außerhalb der Dichtwand oder ggf. in tieferen grundwasserführenden Schichten (d.h. unterhalb der abdichtenden Schicht) notwendig werden. Ursachen einer langfristigen Kontaminationsverlagerung in den tieferen Grundwasserleiter können z.B. Stofftransportvorgänge durch Konvektion (infolge eines hydraulischen Gradienten) oder Diffusion (infolge eines Konzentrationsgefälles) vom kontaminierten oberen Grundwasserstockwerk zum unteren Grundwasserstockwerk, Infiltration oder geologische Fenster sein. Bei der geringdurchlässigen, abdichtenden Schicht ist zu prüfen, ob Schadstoffe durch Sorption in diese Schicht verlagert werden können. Eine Konvektionsströmung durch die Dichtwand nach außen kann verhindert werden, indem der Grundwasserstand innerhalb der Einschließung so gesenkt wird, daß der hydraulische Gradient zum Dichtwandkasten hin gerichtet ist. Für das im Rahmen von hydraulischen Maßnahmen geförderte verunreinigte Grundwasser muß i.d.R. eine Grundwasserreinigung geplant und der Verbleib (z.B. Infiltration, Einleitung) geregelt werden. Bei dem folgenden Praxisbeispiel einer Deponie bestand das Problem, daß sich auch im Sohlbereich durchlässige geologische Ablagerungen befanden, die abgedichtet werden mußten.

Praxisbeispiel *In einer ehemaligen Tongrube wurde eine Deponie eingerichtet. Es wurde festgestellt, daß oberflächennahes Grundwasser über quartäre Schichten der Deponie zufließt. An der Deponiesohle wurden die tonigen Ablagerungen z.T. durch kiesige unterlagert, über die eine Verbindung zum Grundwasserleiter besteht. Bei der Sanierungsplanung wurden zwei Möglichkeiten für die Einbindung der Dichtwand untersucht:*

- a) *Nur die quartären Schichten werden durch eine Dichtwand abgedichtet. Die wasserdurchlässigen Ablagerungen im Sohlbereich werden durch ein gesondertes Verfahren z.B. Injektionsverfahren abgedichtet.*
- b) *Die vertikale Abdichtung wird in einem Verfahrensgang hergestellt. Die Deponieflanken werden durch eine Schlitzwand in den Sohlbereich hinein abgedichtet.*

Da der Dichtwandbau, insbesondere die Einbindetiefe, besser kontrolliert werden kann als eine Injektion und um eine doppelte Baustelleneinrichtung zu vermeiden, wurde Variante b durchgeführt.

Die Lage von Kabeln und Leitungen muß hinsichtlich eventueller Beschädigungsrisiken vor Beginn von Auskofferungsarbeiten oder der Einbringung der Dichtwand bekannt sein. Für die Kreuzung von Kabeln und Leitungen mit der Dichtwand müssen Detaillösungen in der Sanierungsplanung beschrieben sein. Es sollte evtl. auch in Erwägung gezogen werden, einen Sammelleitungsgraben anzulegen, so daß zukünftige Arbeiten an Kabeln und Leitungen ohne weitere Sicherheitsvorkehrungen und ohne anschließende Reparatur des Sicherungssystems ausgeführt werden können. Auch die Lage von Hochspannungsleitungen muß im Hinblick auf eventuelle Schwierigkeiten bei der Bauausführung bereits in der Planungsphase Berücksichtigung finden.

Dichtwandsysteme unterscheidet man nach den drei Herstellungsverfahren in Aushub des anstehenden Bodens, Verdrängung des anstehenden Bodens und Verringerung der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens. Die Abdichtungsmaterialien, die im wesentlichen verwendet werden, können in Dichtwandmassen und membranartige Dichtelemente unterteilt werden (s.a. Kap. 4.3). In der Praxis werden am häufigsten Bentonit-/Zement-Wände (Dichtwandmassen) und Stahl-Spundwände (membranartiges Dichtelement) eingesetzt. Für die Auswahl eines geeigneten Dichtwandsystems ist einerseits die Herstellbarkeit unter bautechnischen Aspekten und andererseits die Systemdurchlässigkeit zu beurteilen. Hinsichtlich der k_f -Werte werden Anforderungen an die verschiedenen Komponenten in die Sanierungsplanung aufgenommen. Die Dichtigkeit muß langfristig gewährleistet sein. Der Zeitraum, für den die Dichtigkeit voraussichtlich gegeben ist, gehört somit zu den wichtigsten Planungs- und Dimensionierungskriterien, die beachtet werden müssen. Um die Dichtigkeit des gesamten Systems sicherzustellen, müssen die einzelnen Dichtwandsegmente über ihre volle Länge lückenlos aneinander anschließen. Für den Bauablauf müssen zur Qualitätssicherung die Anforderungen an den Einbringvorgang (z.B. maximal zulässige Abweichung von der Lotrechten) festgelegt werden.

Beim Einsatz einer Stahl-Spundwand wird die Durchlässigkeit insbesondere von der Dichtigkeit der Schlösser zwischen den einzelnen Spundwand-Bohlen bestimmt. Verfahren zur Schloßabdichtung sind u.a.:

- Kunststoff-Profile in den Spundwand-Schlössern
- Bentonit-Umhüllung oder Bentonit-Injektion der Schlösser.

Bei der Verwendung von Kunststoff-Profilen als Schloßdichtung ist eine mögliche chemische Alterung des Abdichtungsmaterials durch Verunreinigungen im Erdreich oder im Grundwasser (z.B. durch Lösungsmittel) zu beachten. Für die Umhüllung oder Injektion von Spundwandschlössern ist die chemische Beständigkeit des Injektionmittels nachzuweisen. Bei aggressiven Sickerwässern ist außerdem die Beständigkeit des Stahls gegenüber dem Medium zu überprüfen.

Bei Dichtwänden auf Basis einer Bentonit-Zement-Suspension muß die Zusammensetzung der zu verwendenden Dichtwandmassen und die an sie gestellten Anforderungen beschrieben werden. Durch Eignungsversuche muß nachgewiesen werden, daß die Materialien gegen die im Einzelfall auftretenden chemischen Einflüssen beständig sind. Vor Beginn der Ausführung sollten Probelamellen hergestellt werden. Die Zusammensetzung muß während der Ausführung im Rahmen der Qualitätssicherung regelmäßig kontrolliert werden.

Bei Kombinationsdichtwänden, bei denen zwei Dichtelemente kombiniert werden, sind an alle Dichtelemente die o.g. Anforderungen zu stellen.

Für Schlitzwände insbesondere größerer Tiefe sind die erforderliche Wanddicke und die Zusammensetzung der Dichtwandsuspensionen sorgfältig zu ermitteln. Die innere und äußere Standsicherheit des Schlitzes muß gewährleistet sein (Nachweis entsprechend DIN 4126). Bei der Dimensionierung der Wand sind mögliche Belastungen zu berücksichtigen. Belastungen können z.B. durch Auskofferungsarbeiten (innerhalb oder außerhalb des von der Dichtwand umschlossenen Bereichs) oder Bauaktivitäten innerhalb dieses Bereichs bzw. auf der Dichtwand selbst auftreten. Bei der Dimensionierung der Dichtwand muß angegeben werden, wie hoch die Lasteinwirkung ist, die die Wand (auch längerfristig) aufnehmen kann. Außerdem sind das Überschnittmaß der Lamellen und die maximal zulässige Abweichung von der Lotrechten sowie die hierzu geplanten Kontrollverfahren anzugeben.

Unabhängig von der Art der Dichtwand, die eingesetzt werden soll, ist es von sehr großer Bedeutung, ob Teile der Dichtwand bei unzureichender Funktionstüchtigkeit z.B. infolge fehlerhafter Ausführung, Beschädigungen oder schlechter Planung auf relativ einfache Weise erneuert bzw. instandgesetzt werden können. Bei lokal begrenzten Leckagen kann in oder vor der Wand injiziert werden. Bei Schlitzwänden kann in der Wand eine neue Dichtwand hergestellt werden. Bei jeder Dichtwand kann außerdem eine Vorsatzwand oder Vorsatzkasten erstellt

werden (s.a. Beine et al., 1994). Die entsprechenden Ausbesserungsmöglichkeiten sollten schon in der Planungsphase berücksichtigt werden (s.a. Kap. 4.3.4).

Bei der Herstellung von Dichtwänden können **Rest- oder Abfallstoffe** anfallen. In der Sanierungsplanung sind die möglichen Entsorgungswege bzw. Recyclingmöglichkeiten zu klären. So fällt z.B. bei der Herstellung von Schlitzwänden mit Greiferaushub oder Aushub mit Fräse Bodenaushub an. Wenn der Bodenaushub nicht kontaminiert ist, sollte eine Verwertung auf dem Standort geprüft werden. Bei einer Zwei-Phasen-Dichtwand muß die Entsorgung des Abwassers aus der Suspensionsaufbereitung und des mit Suspension vermischten Aushubs berücksichtigt werden.

I.d.R. wird der von der Dichtwand umschlossene Bereich durch eine Oberflächenabdichtung gesichert, um die Versickerung von Niederschlagswasser zu minimieren. Je nach Fallgestaltung und Bauablauf wird dies vor, während oder nach dem Dichtwandbau erfolgen.

Checkliste 7: Sanierungsplanung Dichtwand

Sanierungsplanung Dichtwand		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Allgemeine Angaben	Dichtwandtrasse		
	→ Trassenführung		
	→ vollständige Umschließung/Teilumschließung		
	→ nicht eingeschlossene Kontaminationsbereiche		
	Modellierung der Grundwasserströmung		
	Einbindung in geringdurchlässige horizontale Bodenschicht		
	→ k_f -Wert der geringdurchlässigen Bodenschicht		
	Erfordernis hydraulischer Maßnahmen		
	→ tiefere Grundwasserschichten (vertikal)		
	→ Grundwasser außerhalb der Dichtwand (horizontal)		
	→ erforderliche Brunnen und Pumpenkenndaten / Brunnenstandorte		
	→ Kontamination des Grundwassers/Reinigung/Verbleib		
	Führung von Kabeln und Leitungen/Sonderbauwerke		
	Nutzungsbeschränkungen für den umschlossenen Bereich		
	statischer Nachweis aller vorhandenen und geplanten Lasten auf die Dichtwand		
System	Übersicht Systemaufbau		
	Bautechnische Umsetzung (Tiefe, Untergrund, Emissionen)		
	Dichtwandmassen		
	→ Zusammensetzung der Suspension		
	→ Durchlässigkeit, Dicke, Lamellenbreite, Einbindetiefe		
	→ Beständigkeit der Suspension gegenüber der vorhandenen Kontamination		
	→ Eignungsnachweis		
	→ System und Bauverfahren (z.B. Greifer/Fräse)		
	→ zulässige Abweichung von der Lotrechten und Kontrolle der Vertikalität		
	→ Überschnittmaß der Lamellen		
	→ Abweichung von der Lotrechten		
	→ Möglichkeiten zur Reparatur		
	membranartiges Dichtelement		
	→ Art (KDB/Spundwand/Glas)		
	→ Durchlässigkeit, Dicke, Lamellenbreite, Einbindetiefe		
	→ Art des Schlosses und der Schloßdichtung		
	→ Beständigkeit des Dichtelementes und der Schloßdichtung gegenüber der vorhandenen Kontamination		
	→ Bauverfahren (Greifer / Fräse)		
	→ Kontrolle der Vertikalität bzw. der Schloßführung		
	Anfallende Rest- oder Abfallstoffe	Konsistenz und Kontamination	
Recyclingmöglichkeiten			
Entsorgungsweg			

3.3.4 Maßnahmen der Bodenumlagerung

Bei der Erstellung von Oberflächensicherungen oder Dichtwänden kann es u.U. notwendig sein, Auskofferungsarbeiten für Bodenaushub durchzuführen. Checkliste 8 'Sanierungsplanung Bodenaushub' enthält die wichtigsten Punkte, die bei der Planung dieser Maßnahme zu beachten sind.

Checkliste 8: Sanierungsplanung Bodenumlagerung

Wie schon bei der Oberflächensicherung sind auch hier die **allgemeinen Angaben** über Lage, Fläche und Volumen sowie die Führung von Kabeln und Leitungen Ausgangspunkt der Planung.

Bei Aushubarbeiten in grundwassergesättigten Bereichen, ggf. auch im Grundwasserschwankungsbereich, ist der Betrieb einer **Wasserhaltung** notwendig. In der Sanierungsplanung muß beschrieben werden, ob das geförderte Wasser kontaminiert ist und mit welchen Schadstoffen und Schadstoffkonzentrationen zu rechnen ist. Falls das Wasser gereinigt werden muß, ist eine Grundwasserreinigungsanlage unter Berücksichtigung der im Grundwasser vorhandenen Schad- und Störstoffe zu dimensionieren. Außerdem muß der Verbleib des (gereinigten) Wassers (Abwasser- oder Regenwasserkanalisation, Vorfluter, Infiltration) planerisch beschrieben werden.

Bei Bodenaushubarbeiten muß die Sicherung und ggf. der Verbau der **Baugruben** berücksichtigt werden. Soll die Baugrube nach Abschluß der Arbeiten mit Material von außerhalb der Fläche wieder verfüllt werden, müssen die Anforderungen an das Verfüllmaterial definiert werden. Die Anforderungen werden z.B. unter Berücksichtigung der Anforderungen der LAGA an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln - (LAGA, 1994) sowie entsprechend den kommunalen Wiederverwertungskonzepten formuliert.

Praxisbeispiel *Auf einem ehemaligen Zechen- und Kokereistandort wurden zur Sanierung der Fläche umfangreiche Bodenaushubmaßnahmen durchgeführt. Stark kontaminiertes Material wurde einer thermischen Reinigung zugeführt und Material geringerer Belastung auf der Fläche wieder eingebaut. Zum Schutz des Grundwassers wurden durch einen sanierungsbegleitenden Arbeitskreis (mit Behördenbeteiligung) folgende wasserwirtschaftliche Anforderungen an den Wiedereinbau des Bodenmaterials festgesetzt:*

Parameter	Wiedereinbau im Grundwasserschwankungsbereich	Wiedereinbau oberhalb des Grundwasserschwankungsbereichs
	Konzentrationen im Feststoff [mg/kg]	
PAK (EPA)	< 10	< 50
Cyanid ges.	< 5	< 50
KW (IR)	< 50	< 500
EOX	< 0,5	< 8
Blei	< 100	< 300
Cadmium	< 2	< 5
Quecksilber	< 2	< 5
Arsen	< 20	< 50
Zink	< 100	< 200
	Konzentration im Eluat [mg/l]	
Chlorid	< 10	< 30
Sulfat	< 50	< 1.000
Phenolindex	< 0,02	< 0,1
Chrom VI	< 0,05	< 0,1

Wird entnommenes Erdreich im Bereich derselben Altlast im Rahmen der Gesamtsanierung wieder eingebracht, sind zur Beurteilung die Handlungs- oder Sanierungszielwerte für die Sanierungsmaßnahme maßgebend und nicht die Anforderungen der LAGA an die Verwertung von mineralischen Reststoffen. Auf die in Kap. 3.3.1 näher erläuterten Genehmigungsanforderungen nach LAbfG wird hingewiesen.

Für Auskofferungsarbeiten in kontaminierten Bereichen und den Transport von kontaminiertem Boden sind die Anforderungen an den Arbeits- und Emissionsschutz zu überprüfen (s.a. Checkliste 5). Werden z.B. bei Auskofferungsarbeiten Schadstoffdämpfe, die schwerer als Luft sind (z.B. Trichlorethen), freigesetzt, muß berücksichtigt werden, daß sich diese an windarmen Tagen an der Baugrubensohle anreichern können. Eventuelle Gefahren sind in der Betriebsanweisung zu berücksichtigen und Schutzmaßnahmen zu formulieren (z.B. Einschalten von Gebläsen, Anlegen von Atemschutz). Ist auf dem Gelände aufgrund der ehemaligen Nutzung mit leicht zerstörbaren Behältnissen oder mit Substanzen zu rechnen, bei deren Zusammenbringen toxische Verbindungen entstehen, ist das Bodenmaterial schichtweise abzutragen (Bartels-Langweige, Hirschberger, 1989). Um Emissionen beim Laden zu vermeiden, kann die Einrichtung von überdachten, geschützten oder eingehausten Beladepätzen notwendig sein.

Bei der Separierung kontaminierten **Aushubmaterials** in nicht oder geringer kontaminierten Materialien können ggf. in der Sanierungsuntersuchung festgesetzte Handlungswerte Anwendung finden (s.a. Kap. 3.2.1). Für die Zwischenlagerung von kontaminiertem Boden sind entsprechende Flächen auszuweisen und zu sichern (Oberflächenabdichtung, Einhausung) bzw. Containerstellplätze in entsprechendem Umfang vorzusehen. Durch chemische Analysen

an Proben aus der Baugrubensohle und den Baugrubenwandungen wird überprüft, ob das kontaminierte Material plangerecht vollständig entfernt wurde. Die Schadstoffgehalte der separierten Materialien sind ebenfalls zu bestimmen, um eine mögliche Verwertung zu prüfen bzw. den Entsorgungsweg festlegen zu können. In der Sanierungsplanung sind die Aushubmassen zu quantifizieren und die Verwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten darzustellen.

Checkliste 8: Sanierungsplanung Bodenumlagerung

Sanierungsplanung Bodenumlagerung		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Allgemeine Angaben	Lage, Fläche, Volumen		
	Führung von Kabeln und Leitungen		
Wasserhaltung	Verunreinigungen des Wassers		
	Verbleib von gereinigtem / unbelastetem Wasser		
	Erfordernis einer Reinigung		
Baugruben	Baugrubensicherung		
	Arbeits- und Emissionsschutz		
	Anforderungen an das Material zur Auffüllung von Baugruben		
Aushubmaterial	Genehmigungserfordernis Sanierungsplan nach LAfBG		
	Schadstoffinventar		
	→ Handlungswerte		
	→ Separierung von belastetem / unbelastetem Material		
	Zwischenlagerung / Bereitstellung		
	→ gesicherte Fläche (Oberflächenabdichtung, Einhausung)		
	→ Container		
	Verbleib / Behandlung		
	→ gesicherte Umlagerung		
	→ Entsorgungsweg		
→ Verwertung, z.B. Wiedereinbau von gereinigtem Material			

3.3.5 Ausschreibung und Vergabe

Im Zusammenhang mit der Durchführung einer Sanierung sind Ingenieur- und Gutachterleistungen sowie gewerbliche Leistungen erforderlich. Die Vergabe der Ingenieur- und Gutachterleistungen erfolgt i.d.R. auf der Grundlage der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) als geistig-schöpferische Leistung freihändig. Demgegenüber sind alle gewerblichen Arbeiten einem Preiswettbewerb nach VOB und VOL zu unterziehen.

Gutachterliche und gewerbliche Leistungen sollten nicht gemeinsam, d.h. nicht an einen Anbieter vergeben werden, da hierzu unterschiedliche Vertragsordnungen und -strukturen vorliegen, unterschiedliche Gewährleistungsfristen gegeben sind (nach BGB 5 Jahre, nach VOB 2 Jahre) und eine Vermischung zu Interessenskonflikten führen kann, die u.U. eine nicht vertragsgemäße Leistungserbringung zur Folge haben.

Checkliste 9: Ausschreibung von Sicherungsmaßnahmen

Für die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen ist zunächst die Art der Ausschreibung festzulegen (s.a. Kap. 2.4.2). Bei der Sanierung von Altlasten handelt es sich um Bauleistungen, die i.d.R. nur von einem beschränkten Kreis von Unternehmen ausgeführt werden können, besonders wenn außergewöhnliche Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit erforderlich sind (VOB A § 3 Nr. 3 (2)). In diesem Fall kann eine beschränkte Ausschreibung nach öffentlichem Teilnahmewettbewerb gewählt werden. Bei der Auswahl der Bauunternehmer für die Anfrage und Vergabe sollte auf die Erfahrungen der Unternehmen mit Altlastensanierungen und Projekten der entsprechenden Größenordnung geachtet werden. Bei besonderen Problemen sollten vor Angebotsabgabe separate Ortstermine mit den einzelnen Anbietern durchgeführt werden, um spätere Diskussionen über Nachforderungen wegen unzureichender Beschreibung der möglichen Erschwernisse in der Ausschreibung zu vermeiden.

Die Ausschreibungsunterlagen setzen sich aus der Leistungsbeschreibung und dem Leistungsverzeichnis zusammen. Der Auftraggeber hat in der **Leistungsbeschreibung** nach VOB A § 9 die Leistungen und diese beeinflussende Umstände 'eindeutig und so erschöpfend zu beschreiben, daß alle Bewerber die Beschreibung im gleichen Sinne verstehen müssen und ihre Preise sicher und ohne umfangreiche Vorarbeiten berechnen können'. Außerdem darf dem Auftragnehmer nach § 9 (2) 'kein ungewöhnliches Wagnis aufgebürdet werden für Umstände und Ereignisse, auf die er keinen Einfluß hat und deren Einwirkung auf die Preise und Fristen er nicht im voraus schätzen kann'. Gerade bei der Sanierung von Altlasten ist es für den Auftraggeber schwierig, diesen Verpflichtungen gerecht zu werden. In diesem Zusammenhang wird nochmals auf die Notwendigkeit einer sorgfältig durchgeführten Gefährdungsabschätzung und Sanierungsuntersuchung hingewiesen.

Die Leistungsbeschreibung wird auf der Grundlage der ATV, 'Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen', der VOB C erstellt. Nachfolgend sind einige wichtige Bestandteile der Leistungsbeschreibung aufgeführt :

➤ Örtlichkeit

Die Beschreibung der Örtlichkeit und die Bereitstellung aktueller Planunterlagen haben durch den Auftraggeber zu erfolgen.

➤ Verunreinigungen

Der Auftraggeber hat hier u.a. die Art, Konzentration und Verteilung der im Boden, Bodenluft und im Grundwasser vorhandenen Schadstoffe, ihre Mobilität, Reaktionsfähigkeit und Toxizität für den Menschen darzustellen.

➤ Bodenverhältnisse

Die Beschreibung des Baugrundes und seiner Tragfähigkeit erfolgen durch den Auftraggeber.

➤ Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Hindernisse

Der Auftragnehmer muß durch den Auftraggeber über die im Bereich der Baustelle bekannten und vermuteten Hindernisse (Bauwerksreste, Fundamente, Kanäle) informiert werden. Der Auftragnehmer hat den Verlauf von erdverlegten Leitungen zu ermitteln, und die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen festzulegen und durchzuführen. Wenn die Lage vorhandener Leitungen vor Ausführung der Arbeiten nicht angegeben werden kann, sind diese zu erkunden. Die muß als besondere Leistung (VOB C, DIN 18300) in der Leistungsbeschreibung festgelegt werden.

➤ Energie- und Wasserversorgung

Für den Sanierungsbetrieb sind Strom-, Frisch- und Abwasseranschlüsse incl. Zähler bereitzustellen. Diese werden entweder bauseits gestellt oder durch den Auftragnehmer erstellt. Die Festlegung muß in der Ausschreibung erfolgen. In der Praxis empfiehlt es sich, die Erstellung der Anschlüsse, soweit noch nicht vorhanden, dem Auftragnehmer zu überlassen. Die Bereitstellung geeigneter Planunterlagen ist hierzu erforderlich.

➤ Ableitung von Baustellenwasser

Die evtl. notwendige Behandlung und der Verbleib des anfallenden Baustellenwassers sind in der Ausschreibung anzugeben. Die Anforderungen aus den wasserrechtlichen Genehmigungen oder aufgrund der bestehenden Ortssatzung sind Bestandteil der Ausschreibung.

➤ Sanierungsmaßnahmen

Die geplanten Sanierungsmaßnahmen und ihr zeitlicher Ablauf sind ausführlich zu beschreiben. Der Auftragnehmer hat hierzu einen detaillierten Bauablauf- und Betriebsplan zu erarbeiten. Es kann außerdem festgelegt werden, daß der Auftragnehmer statische Berechnungen und Ausführungszeichnungen anzufertigen sowie die ggf. erforderlichen Genehmigungen einzuholen hat.

➤ Baustoffe

Die Anforderungen an Art, Güte und Umweltverträglichkeit der Stoffe und Bauteile sollten durch den Auftraggeber definiert werden.

➤ Boden- und Abfallmanagement

In der Ausschreibung sollte festgelegt werden, durch wen (Auftraggeber oder Auftragnehmer) die Koordination und Genehmigung der Boden- und Abfallentsorgung erfolgt und unter welchen Vorgaben diese durchzuführen ist (z.B. einem kommunalen Abfallwirtschaftskonzept entsprechend). Alternativ dazu kann in der Ausschreibung festgelegt werden, daß Bodenaushub an den Auftragnehmer übergeht. Er wird damit zugleich verpflichtet, für eine ordnungsgemäße Entsorgung bzw. Verwertung zu sorgen.

➤ Überwachung

In der Regel wird der Sanierungsverlauf durch den Auftragnehmer (Eigenüberwachung) und durch den Auftraggeber (i.d.R. durch einen Fremdprüfer) überwacht. Der Auftragnehmer sollte über die Einschaltung eines Fremdprüfers informiert werden.

➤ Begleitanalytik

Die analytische Überwachung der Sanierung (Ermittlung der Nullsituation, Deklarationsanalytik etc.) kann gemeinsam mit der Ausschreibung der Bauleistungen erfolgen. In diesem Fall sind neben dem vorgesehenen Analysenumfang, der Probenart und -anzahl, der maximalen Zeitdauer bis zum Vorliegen der Ergebnisse auch die Anforderungen an das Analytiklabor zu benennen, z.B. Akkreditierung und Sitz im Umkreis von 50 km zum Standort.

➤ Arbeits- und Emissionsschutzmaßnahmen

Bei der Sanierung von Altlasten werden i.d.R. Arbeits- und Emissionsschutzmaßnahmen notwendig. Für ihre Ausschreibung kann auf die Musterausschreibungstexte des Fachausschusses Tiefbau, Sachgebiet 'Arbeiten in kontaminierten Bereichen, Altlastensanierung', bei der Tiefbau-Berufsgenossenschaft zurückgegriffen werden (TBG, 1995).

➤ Ausführungsfristen

Um eine Überschreitung des zeitlichen Rahmens möglichst zu vermeiden, kann eine Vertragsstrafe in ausreichender Höhe in die Ausschreibungsunterlagen aufgenommen werden.

➤ Versicherung

Der Auftragnehmer muß vor Baubeginn das Bestehen einer Haftpflichtversicherung in Höhe von mindestens 1 Mio. DM für Sachschäden und 2 Mio. DM für Personenschäden nachweisen. Für die Arbeit von Subunternehmer muß ebenfalls eine entsprechende Haftpflicht vorhanden sein.

➤ Verjährungsfrist der Gewährleistungsansprüche

Es kann festgelegt werden, daß abweichend von VOB B § 13 (4) für bereits abgenommene Teilleistungen (Abnahme nach § 12 (2)) gilt, daß die Verjährungsfrist mit dem Tag der Abnahme der gesamten Leistung beginnt.

➤ Weitere Bedingungen

Hierunter sollten neben den generell zu beachtenden Gesetzgebungen spezielle Vorschriften, Technische Regeln, Richtlinien, Normen und Merkblätter aufgeführt werden. Sie sind in Abhängigkeit vom Einzelfall zusammenzustellen. Es ist außerdem empfehlenswert festzulegen, daß die Ausführung von Arbeiten oder Teilleistungen durch einen Subunternehmer der Zustimmung durch den Auftraggeber bedarf. Von finanziell großer Bedeutung ist eine Zusatzregelung zu Mehr- und Minderleistungen. Hier kann z.B. festgelegt werden, daß bei einem Rahmen von $\pm 10\%$ kein neuer Preis vereinbart wird.

➤ Genehmigungen

Gemäß VOB B § 4 hat der Auftraggeber die erforderlichen Genehmigungen und Erlaubnisse herbeizuführen. Die Genehmigungsplanung zählt als Ingenieurleistung zum

Leistungsbild Objektplanung (HOAI §55). Vor einer Ausschreibung sollten i.d.R. die erforderlichen Genehmigungen vorliegen.

Die Leistungsbeschreibung erfolgt grundsätzlich nach den Erfordernissen des Einzelfalls (s.a. VOB). Dies bedeutet, daß Leistungsbeschreibungen aus bereits durchgeführten Sanierungen nicht ohne weiteres übernommen werden sollten. Vielmehr ist im einzelnen zu prüfen, welche Angaben, Festlegungen und (zusätzliche) vertragliche Regelungen für die geplante Sanierung erforderlich sind. Die Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis wird auf der Grundlage der genannten Vertragswerke erarbeitet. Eine zusätzliche Hilfestellung bilden die 'Arbeitshilfen zur Beauftragung von Planern, Gutachtern und Firmen mit der Sanierung von Altlasten', die im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt wurden (Diederichs, Breitenborn und Rüller, 1992 und 1996).

Aufbauend auf die Leistungsbeschreibung ist ein detailliertes **Leistungsverzeichnis** zu erstellen, das z.B. in folgende Titel untergliedert werden kann:

- Titel 1: Technische Bearbeitung
- Titel 2: Baustelleneinrichtung
- Titel 3: Arbeits- und Emissionsschutzeinrichtungen
- Titel 4: Besonderer Arbeitsschutz
- Titel 5: Herrichten des Baufeldes
- Titel 6: Abbrucharbeiten
- Titel 7: Entsorgung
- Titel 8: Erdarbeiten
- Titel 9: Bodenbehandlung und -entsorgung
- Titel 10: Herstellung der Sicherungsbauwerke einschl. Entwässerung und Entgasung
- Titel 11: Sondier- und Bohrarbeiten
- Titel 12: Wasserhaltungsarbeiten
- Titel 13: Probenahme und Analytik
- Titel 14: Stundenlohnarbeit
- Titel 15: Stillstandszeiten
- Titel 16: Bauzeitenverlängerung

Für die Kostenkalkulation sollten ausreichend Eventual- und Alternativpositionen abgefragt werden.

Praxisbeispiel *Die Sanierungskosten für einen ehemaligen Kokereistandort wurden maßgeblich durch die durchzuführenden Erdarbeiten bestimmt. Der Bauherr nahm mehrere Alternativpositionen in die Ausschreibung auf, um die aktuellen Preise für Boden und Recyclingmaterialien etc. zu erheben. Bei der Vergabe wurde durch den Bauherrn die günstigste Alternativposition für die Ausführung festgelegt.*

Da das Antreffen bisher nicht bekannter verunreinigter Bereiche bei einer Altlastensanierung nicht völlig ausgeschlossen werden kann, sollten Auskofferungsarbeiten in kontaminierten Bereichen grundsätzlich als Eventualposition angefragt werden. Den Bauunternehmern sollte außerdem die Möglichkeit gegeben werden, zusätzlich Alternativpositionen anzubieten bzw. Alternativangebote gleichwertiger Lösungen zu machen.

Die **Vergabe** von Bauleistungen unterliegt den Bedingungen der VOB A. Fristgerecht eingereichte und rechtskräftig unterzeichnete Angebote werden einer rechnerischen, technischen und wirtschaftlichen Prüfung unterzogen. An der Prüfung können Sachverständige mitwirken, die jedoch weder unmittelbar noch mittelbar an der betreffenden Vergabe beteiligt sein dürfen (VOB A §§ 7 und 23). Angebote, die Änderungsvorschläge und Nebenangebote beinhalten, werden nach VOB A § 25 in die Wertung einbezogen, wenn dies vom Auftraggeber bei der Bekanntmachung oder in den Vergabeunterlagen zugelassen wurde. Für die Erteilung des Zuschlags ist nicht allein ein niedriger Angebotspreis entscheidend. Nach VOB A § 25 (3) soll der Zuschlag auf das Angebot erteilt werden, das unter Berücksichtigung technischer, wirtschaftlicher, ggf. gestalterischer und funktionsbedingter Gesichtspunkte als das annehmbarste erscheint.

Checkliste 9: Ausschreibung und Vergabe

Ausschreibung und Vergabe		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Ausschreibung	Art der Ausschreibung		
	→ öffentliche Ausschreibung		
	→ beschränkte Ausschreibung		
	→ freihändige Vergabe		
	Erfahrungen der Bauunternehmer mit Altlastensanierungen		
	Zulassung von Änderungsvorschlägen und Nebenangeboten		
Leistungsbeschreibung	Örtlichkeit		
	Verunreinigung (Schadstoffinventar und Gefährdung)		
	Bodenverhältnisse		
	Hindernisse auf der Baustelle, Ver- und Entsorgungseinrichtungen		
	Energie- und Wasserversorgung		
	Ableitung von Baustellenwasser		
	Sanierungsmaßnahmen		
	Baustoffe		
	Boden- und Abfallmanagement		
	Überwachung		
	Begleitanalytik		
	Arbeits- und Emissionsschutzmaßnahmen		
	Ausführungsfristen		
	Versicherung		
	Verjährungsfrist der Gewährleistung		
weitere Bedingungen			
spezifische Erfordernisse des Einzelfalls			
Leistungsverzeichnis	Titel		
	→ Berücksichtigung von Eventualpositionen		
	→ Berücksichtigung von Alternativpositionen		
	Genehmigungsplanung i.d.R. durch den Auftraggeber		
	erforderliche Zulassungen liegen vor		
Vergabe	Eröffnungstermin		
	Zuschlagsfrist		
	Prüfungskriterien		
	Bewertungsübersicht/Preisspiegel		
	Begründung für Zuschlagserteilung		

3.4 Ausführung von Sicherungsmaßnahmen

Für die Bauausführung einer Sanierungsmaßnahme muß einerseits eine eindeutige Organisationsstruktur festgelegt werden und andererseits der technische Bauablauf geregelt sein. Als grundsätzliches Regelwerk steht die Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB) mit dem Teil B 'Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen' und dem Teil C 'Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen' zur Verfügung. Bei der Auftragsvergabe wird die VOB i.d.R. als Ergänzung zum BGB als Vertragsgrundlage festgeschrieben. In der Checkliste 10 'Organisation und Dokumentation der Bauausführung' werden Hinweise gegeben, auf welche Aspekte geachtet werden sollte. Technische Hinweise zur Bauausführung der verschiedenen Sicherungstechniken sind in Kapitel 4 zusammengestellt.

Checkliste 10: Organisation und Dokumentation der Bauausführung

Die Aufgaben und Verantwortlichkeiten aller Beteiligten müssen vor dem Baubeginn eindeutig definiert werden. Dadurch wird Klarheit darüber geschaffen, wer für welche Bereiche Ansprechpartner ist, Entscheidungen treffen muß und zur Verantwortung gezogen werden kann. Die Verteilung der Funktionen kann in einem Organigramm übersichtlich dargestellt werden. Die **Organisation** auf einer Baustelle ist durch das Verhältnis zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer charakterisiert. Der **Auftraggeber** kann einen Vertreter zur Projektleitung benennen, der seine Aufgaben wahrnimmt. Diese Funktion wird i.d.R. durch Ingenieurbüros mit entsprechender Sachkunde und Erfahrung wahrgenommen. Für komplexe Teilaufgaben kann eine eigene Fachbauleitung ernannt werden. **Auftragnehmer** ist die bauausführende Firma. Bei Altlastenprojekten wird die Ausführung aller durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen oft durch eine Firma (Generalunternehmer) oder eine Arbeitsgemeinschaft angeboten. Der Auftragnehmer ist dann für die Koordination der weiteren Arbeiten im Rahmen seiner Aufgaben verantwortlich. Die Aufgaben von Auftraggeber und Auftragnehmer werden in der VOB B § 4 festgelegt. Die wichtigsten Aspekte im Verhältnis Auftraggeber zu Auftragnehmer sind nachfolgend dargestellt.

Auftraggeber (Bauherr/Projektleitung):

- Der Auftraggeber hat für die Aufrechterhaltung der allgemeinen Ordnung auf der Baustelle zu sorgen und das Zusammenwirken der verschiedenen Unternehmer zu regeln (§ 4.1).

- Er hat die erforderlichen öffentlich-rechtlichen Genehmigungen und Erlaubnisse - z.B. nach dem Baurecht, dem Straßenverkehrsrecht, dem Wasserrecht, dem Gewerberecht - herbeizuführen (§ 4.1).
- Der Auftraggeber hat das Recht, die vertragsgemäße Ausführung der Leistung zu überwachen (§ 4.2).
- Der Auftraggeber ist befugt, Anordnungen zu treffen, die zur vertragsgemäßen Ausführung der Leistung notwendig sind (§ 4.3). Hält der Auftragnehmer die Anordnungen des Auftraggebers für unberechtigt oder unzweckmäßig, so hat er seine Bedenken geltend zu machen, die Anordnung jedoch auf Verlangen auszuführen, wenn nicht gesetzliche oder behördliche Bestimmungen entgegenstehen. Wenn dadurch eine ungerechtfertigte Erschwerung verursacht wird, hat der Auftraggeber die Mehrkosten zu tragen (§ 4.4).

Auftragnehmer:

- Der Auftragnehmer hat die Leistungen unter eigener Verantwortung nach dem Vertrag auszuführen. Dabei hat er die anerkannten Regeln der Technik und die gesetzlichen und behördlichen Bestimmungen zu beachten. Es ist seine Sache, die Ausführung seiner vertraglichen Leistungen zu leiten und für Ordnung auf der Baustelle zu sorgen (§ 4.1).
- Er ist für die Erfüllung der gesetzlichen, behördlichen und berufsgenossenschaftlichen Verpflichtungen gegenüber seinen Arbeitnehmern verantwortlich. Es ist ausschließlich seine Aufgabe, die Vereinbarungen und Maßnahmen zu treffen, die sein Verhältnis mit den Arbeitnehmern regelt (§ 4.2). Damit ist er für die Umsetzung der Arbeitssicherheit verantwortlich.
- Hat der Auftragnehmer Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung, gegen die Güte der vom Auftraggeber gelieferten Stoffe oder Bauteile oder gegen die Leistungen anderer Unternehmer, so hat er sie dem Auftraggeber unverzüglich mitzuteilen; der Auftraggeber bleibt jedoch für seine Angaben, Anordnungen oder Lieferungen verantwortlich (§ 4.3).

Die regelmäßigen Baubesprechungen sind unter Anwesenheit aller Beteiligten durchzuführen. Wird die Maßnahme durch eine Fremdüberwachung (s. Qualitätssicherung, Kap. 3.3) begleitet, sollte diese von Anfang an immer an den Baubesprechungen teilnehmen.

Die Einhaltung der im Leistungsverzeichnis vorgeschriebenen **Maßnahmen zur Arbeitssicherheit**, der Unfallverhütungsvorschriften, der allgemein anerkannten sicherheits-

technischen und arbeitsmedizinischen Regeln und ggf. die Beachtung der Betriebsanweisungen sind regelmäßig zu überprüfen. Die Anforderungen bzgl. der Arbeitshygiene (Schwarz-Weiß-Zone, Stiefelwaschplatz, etc.) sollten besonders beachtet werden. Der Auftraggeber kann ggf. einen Koordinator benennen (s.a. Kap. 3.3), der die Arbeiten sicherheitstechnisch überwacht und koordiniert. Die Eigenverantwortung des Unternehmers in seinem jeweiligen Zuständigkeitsbereich bleibt jedoch unberührt. Der Auftragnehmer ist für die Umsetzung der erforderlichen Schutzmaßnahmen zuständig. Er trägt die alleinige Verantwortung für die Durchführung von Arbeitsschutzmaßnahmen seiner Arbeitnehmer. Die Berufsgenossenschaft und die Gewerbeaufsichtsämter kontrollieren die Einhaltung der Arbeitsschutzmaßnahmen auf der Baustelle.

Anhand der Berichte der Eigen- und Fremdprüfung kann kontrolliert werden, ob die Sicherungsmaßnahmen plangerecht ausgeführt wurden und den an sie gestellten Anforderungen entsprechen. Sie bilden damit eine wichtige Grundlage für die Teil- und Endabnahme von Bauwerken.

Wenn die Bauausführung abgeschlossen ist, wird die Maßnahme durch den Bauunternehmer an den Auftraggeber übergeben. Mit der **Abnahme** gemäß VOB (VOB B § 12) geht die Gefahr auf den Auftraggeber über. Die Verjährungsfrist für die Gewährleistung beginnt mit dem Zeitpunkt der Abnahme (s.a. Kap. 3.3.5). Die Prüfung des realisierten Projekts erfolgt aufgrund der Berichte der Bauüberwachung, der Teilabnahmen sowie einer Begehung. Dabei wird die Erfüllung der verlangten Leistungen und Anforderungen kontrolliert. Bei der Abnahmebegehung müssen der Auftraggeber und der Auftragnehmer anwesend sein. Die Abnahme wird in einem Protokoll beschrieben, in dem auf jeden Fall folgende Punkte festgehalten werden:

- das Datum der Geländebegehung,
- die Anwesenden bei der Abnahme,
- ggf. festgestellte Mängel des Bauwerks bzw. der Maßnahme,
- Gewährleistungszeitraum,
- Wartungsaufwand und
- die (Nicht-)abnahme des Bauwerks bzw. der Maßnahme.

Die zuständige Behörde entscheidet, ob die Sanierung erfolgreich durchgeführt wurde oder ob Nachbesserungen notwendig sind. Die Qualitätsbeurteilung der Sanierungsleistungen durch die Bauüberwachung (Eigen- und Fremdprüfung sowie behördliche Überwachung) bilden die

Grundlage der behördlichen Entscheidung. Über die Durchführung der Sanierungsarbeiten sollte ein **Abschlußbericht (Dokumentation)** erstellt werden. In diesem Bericht sollten die nachstehenden Punkte beschrieben sein:

- die Sanierungsziele, die vor Beginn der Arbeiten festgelegt wurden, und eine Bewertung, ob diese Ziele erreicht wurden (Entscheidung der zuständigen Behörde)
- durchgeführte Sanierungsarbeiten
- Sanierungsablauf auf der Baustelle (Schwierigkeiten, besondere Vorkommnisse)
- Bodenmanagement, d.h. Bodenaushub, Zwischenlagerung, Transport, Behandlung, Wiedereinbau oder andere Verwertung und Entsorgung von Reststoffen
- Bauüberwachungen einschließlich der durchgeführten Beprobung, Ergebnisse und Ergebnisbewertungen
- Nachweis der Funktionsfähigkeit
- geplante und entstandene Kosten
- Konzept für die Nachsorge
- Abweichungen von der Sanierungsplanung im Hinblick auf:
 - Aufbau des Systems
 - Anforderungen aus dem Qualitätssicherungsplan
 - Bodenmanagement
 - Funktionsfähigkeit
 - Kosten
- evtl. Nutzungseinschränkungen für geplante Neunutzungen.

Checkliste 10: Organisation und Dokumentation der Bauausführung

Organisation und Dokumentation der Bauausführung		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Organisation	Auftraggeber		
	→ Aufgaben und Kompetenzen der Projektleitung oder Oberbauleitung		
	→ Fachbauleitung		
	→ Aufgaben und Verantwortung der Projekt- und ggf. weiteren Bauleitungen		
	Auftragnehmer		
	→ örtliche Bauleitung (Generalunternehmer, ARGE etc.)		
	→ Aufgaben und Verantwortung der Bauunternehmer		
	Bauüberwachung / Qualitätssicherung		
	→ Eigen-, Fremd-, behördliche Überwachung		
	→ Aufgabengebiet und Verantwortungsbereich		
	Organogramm		
	Baubesprechungen		
	Arbeitssicherheit	Benennung und Zuständigkeit des Arbeitsschutzbeauftragten / Koordinator	
Durchführung der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen			
Anmeldung der Maßnahme bei der Berufsgenossenschaft und der Gewerbeaufsicht			
Überprüfung der Gefahrenlage (infolge der Kontamination)			
Einweisung der Arbeitnehmer in die jeweiligen Gefährdungen			
Einhaltung des Arbeitssicherheitsplans			
Einhaltung der Betriebsanweisungen			
Einhaltung der Unfallverhütungsvorschriften			
Überwachung der Arbeiten in kontaminierten Bereichen			
→ Koordination von Einzelgewerken			
→ Probenahme und analytische Kontrolle			
Qualitätssicherung Bauüberwachung (laut QSP)	(Teil-)Berichterstattung der Eigen- und Fremdüberwachung		
	Ergebnisse der Materialprüfungen		
	Ergebnisse der Bauüberwachungen		
	→ Einhaltung des Probenahmeumfangs		
	→ Einhaltung der Anforderungen		
	→ Einhaltung der Handlungswerte		
	→ Durchführung und Ergebnis von Systemprüfungen		
Ergebnisse der bautechnischen Beweissicherung			
Abnahme	Anwesenheit von: - Bauherr / Projektleiter - Bauausführung / Bauunternehmer		
	Protokoll von Teil- und Endabnahme / Feststellung von Mängeln		
Abschlussbericht / Dokumentation	Zusammenfassende Beschreibung der Altlasten- und Gefahrensituation vor der Sanierung		
	Beschreibung der Sanierungsziele		
	durchgeführte Sanierungsarbeiten und Sanierungsablauf		
	Bodenmanagement		
	Sanierungserfolge / Defizite		
	Zeitablauf		
	Kosten		
	Nachweis der Funktionsfähigkeit		
	Bauüberwachungen / Qualitätssicherung / Funktionsprüfungen		
	Abweichungen von der Sanierungsplanung		
	Nutzungseinschränkungen für geplante Neunutzungen		

3.5 Nachsorge

Nach Abschluß der Bauausführung beginnt die Nachsorge. Sie besteht aus der Langzeitüberwachung und technischen Maßnahmen. Das Konzept zur Nachsorge aus der Sanierungsplanung wird nach Abschluß der Baumaßnahmen überprüft, ggf. unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse überarbeitet und durch die zuständige Behörde festgelegt (§ 31 Abs. 5 und 7 LAbfG NW). Das **Konzept zur Nachsorge** sollte neben der Art und Häufigkeit der durchzuführenden Überwachungen auch Angaben zur technischen Lebensdauer der einzelnen Sicherungselemente sowie eine Beschreibung der grundsätzlichen Möglichkeiten zur Reparatur einzelner Systemelemente enthalten. Wenn nach Abschluß einer Sanierung zukünftig auch technische Maßnahmen durchgeführt werden müssen, sind diese ebenfalls in dem Konzept zu beschreiben.

3.5.1 Langzeitüberwachung

Die Sicherung von Altlasten zielt darauf ab, durch eine Unterbrechung der Wirkungspfade die Ausbreitung von Schadstoffen bzw. Einwirkungen auf die Schutzgüter zu verhindern. Im Gegensatz zu Dekontaminationsverfahren wird bei der Sicherung die Kontamination nicht beseitigt, sondern verbleibt am Standort. Das Gefährdungspotential bleibt somit im Prinzip bestehen, so daß der Langzeitüberwachung eine besondere Bedeutung zukommt. Daher stuft der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen die Überwachung von Sicherungsmaßnahmen als unverzichtbar ein (SRU, 1990).

Altlastensicherungen müssen als befristet wirksame Systeme betrachtet werden, die in regelmäßigen Abständen auf ihre Funktionstüchtigkeit zu kontrollieren sind. Dabei kommen folgende Überwachungsmaßnahmen zum Einsatz:

- Monitoring der Umweltmedien
- Flächenbegehung (optische / organoleptische Kontrollen)
- Funktionskontrollen technischer Einrichtungen
- Bilanzierungen von Wasserhaushalt oder Schadstofffrachten
- Überwachung von repräsentativen Kontrollfeldern.

Ein auf den Standort abgestimmtes **Monitoring der Umweltmedien** ist i.d.R. bei allen gesicherten Standorten durchzuführen. Das Monitoring ist auf diejenigen Medien auszurichten, die durch den Bau der Sicherung vor einer Verunreinigung geschützt werden sollen. Dementsprechend werden die relevanten Gefährdungspfade überprüft. Neben dem Monitoring der Umweltmedien

sind die **Begehung der gesicherten Altlastenfläche** und die **Funktionskontrolle technischer Einrichtungen** in der Praxis üblich. Auf diese Überwachungsmaßnahmen wird in der Checkliste 11 'Langzeitüberwachung (Monitoring)' näher eingegangen.

Eine weitere Methode zur Langzeitüberwachung und Beurteilung von Sicherungsmaßnahmen ist die **Bilanzierung** von Wasserhaushalt oder Schadstofffrachten. Zur Beurteilung des Sanierungserfolgs bzw. der langfristigen Wirksamkeit von Sicherungssystemen erscheint die Betrachtung von tolerierbaren Schadstofffrachten als Emissionen geeignet. Sie kommt bislang jedoch noch wenig zum Einsatz. Zur Beurteilung von Oberflächenabdichtungen können Wasserhaushaltsbilanzierungen eingesetzt werden. Diese Möglichkeit bietet beispielsweise das HELP-Modell, ein rechnergestütztes Wasserhaushaltsmodell, das zur Simulation der Wasserhaushaltsgrößen von Deponien entwickelt wurde. Mit dem HELP-Modell (Hydrological Evaluation of Landfill Performance), das von der EPA (U.S. Environmental Protection Agency) entwickelt wurde, können die Wasserhaushaltsgrößen für die Schichten einer Oberflächenabdichtung, eines Deponiekörpers und einer Basisabdichtung modelliert werden. Bei der Bewertung der Modellierungsergebnisse sind die vereinfachenden Annahmen des Programms zu berücksichtigen (Hütter et al., 1993). Wasserhaushaltsberechnungen sind nach TA Abfall sowie TA Siedlungsabfall für Deponien vorgeschrieben. Diese Richtlinien gelten jedoch nicht für die Sicherung von Altlasten. Der Einsatz von Wasserhaushaltsberechnungen für eine Altlastensicherung sollte jedoch im Einzelfall geprüft werden.

Bei großen Sicherungsprojekten kann es von Vorteil sein, **Kontrollfelder** für die Oberflächenabdichtung anzulegen. Es ist darauf zu achten, daß die Oberflächenabdichtung im Kontrollfeld mit der Oberflächenabdichtung der gesicherten Fläche die gleichen Randbedingungen und Beanspruchungen aufweist. Im Kontrollfeld kann die Funktionstüchtigkeit der Oberflächenabdichtung (z.B. durch Freilegen oder Probenahme) ohne Beschädigung der eigentlichen Sicherung überprüft werden. Für das Kontrollfeld ist ebenfalls ein Überwachungskonzept aufzustellen.

Anhand von Checkliste 11 'Langzeitüberwachung (Monitoring)' können die wesentlichen Möglichkeiten, die zur Kontrolle einer gesicherten Altlast zur Verfügung stehen, im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im konkret vorliegenden Fall überprüft und beurteilt werden.

Checkliste 11: Langzeitüberwachung (Monitoring)

Der Kontrolle von **Grund- und Sickerwasser** kommt bei der Überprüfung der Funktion von Oberflächenabdichtungen und Dichtwänden eine große Bedeutung zu. Zur Beurteilung der Funktionstüchtigkeit müssen in regelmäßigen Abständen die Grundwasser- und Sickerwasserspiegelstände eingemessen sowie Proben entnommen und chemisch untersucht werden. Der Analysenumfang wird in Abhängigkeit von dem Schadstoffinventar der Altlast insbesondere der vorhandenen mobilen Schadstoffverbindungen festgelegt. Zur Beurteilung der Emissionssituation sollten im Anstrom und Abstrom einer Altlast, die durch eine Oberflächenabdichtung gesichert wurde, jeweils mindestens eine Meßstelle untersucht werden. Die Gesamtzahl der einzubeziehenden Meßstellen richtet sich nach der Größe der Fläche und den hydrologischen und hydrogeologischen Standortgegebenheiten. Bei einer gesicherten Umlagerung kann ein Grundwassermonitoring u.U. entfallen, wenn die Funktionstüchtigkeit der Basisabdichtung z.B. über eine darunter angeordnete Drainage überprüft werden kann. Bei der Überwachung einer hydraulischen Sicherung sind außerdem die anfallenden Wassermengen, ggf. die Reinigung des geförderten Wassers und sein Verbleib anzugeben. Die ordnungsgemäße Leistung einer Reinigungsanlage ist durch Beprobung des gereinigten Wassers im Anlagenablauf und ggf. der Abluft zu kontrollieren.

Eine Kontrolle der **Bodenluft** ist nur dann notwendig, wenn gasförmige Schadstoffe vorhanden sind. Ebenso wie bei der Grundwasserüberwachung sind die Anzahl und Lage der Bodenluftmeßstellen sowie die Meßintervalle in Abhängigkeit vom Einzelfall festzulegen. Der Parameterumfang der Bodenluftanalyse sollte den zu erwartenden leichtflüchtigen Spurenbestandteile und Gasen angepaßt sein.

Die **Flächenbegehung** oder **visuelle Kontrolle** einer gesicherten Altlast kann als Standard in der Überwachung angesehen werden. Sie bietet Hinweise auf eine Nichtbeachtung von Nutzungsbeschränkungen und eine Beschädigung der Sicherung z.B. durch Vandalismus und durch andere unerwartet eintretende Einflüsse auf das Sicherungssystem. Ein Versagen der Funktionstüchtigkeit des Entwässerungssystems von Oberflächenabdichtungen zeigt sich beispielsweise oft durch Vernässungen oder Wasseraustritte im Böschungsbereich. Bei einer Begehung sollte auch darauf geachtet werden, ob ein Abgleiten von Böschungen oder Setzungen und Verformungsschäden sichtbar sind. Der Bewuchs von Oberflächenabdichtungen ist auf seine Durchwurzelungstiefe zu überprüfen, um sicherzustellen, daß die Durchwurzelung nicht die Abdichtungsschicht erreicht. Tiefwurzeln Pflanzen sollten ggf. entfernt werden. Bei

Vorliegen von Deponiegas können Hinweise auf Undichtigkeiten im Oberflächenabdichtungssystem ggf. aus Schäden am Bewuchs infolge von Gasaustritten abgeleitet werden. Eine weitere, seltener durchgeführte jedoch empfehlenswerte Möglichkeit zur Kontrolle liegt in der Freilegung eines Teils des Sicherungssystems (Abschnitt der Dichtwand oder der Oberflächenabdichtung) zur visuellen Prüfung und zur Probenahme. Dies könnte z.B. alle 5 Jahre wiederholt werden, um Einbußen bei der Funktionsfähigkeit rechtzeitig erkennen zu können.

Sicherungsbauwerke besitzen verschiedene Einrichtungen und Elemente, die durch **Funktionskontrollen** regelmäßig überprüft und u.U. auch gewartet werden müssen (s.a. Kap. 3.5.2). Beispielhaft können Schwimmerschaltungen an Tanklagern oder an Pumpstationen zur Sickerwasserfassung (Bsp. Altablagerung oder Deponie), Meßwertschreiber z.B. zur Messung des Drainagewasseranfalls und Kontrollschächte (Drainagewasseranfall, Schlammfall, Gasanfall) genannt werden. Anhand der gemessenen Drainagewassermenge und einer Wasserhaushaltsberechnung kann auf die Funktionsfähigkeit des Oberflächenabdichtungssystems geschlossen werden. Die Durchlässigkeit einer Rohrdrainage kann z.B. mit Hilfe eines Tracerversuchs qualitativ geprüft werden. Am höchsten Punkt wird hierzu gefärbtes Wasser in die Drainage eingebracht und beobachtet, ob an in allen Kontrollpunkten ebenfalls gefärbtes Wasser auftritt. Für die Funktionskontrolle von Rohrdrainagen können außerdem Techniken eingesetzt werden, die in der Abwassertechnik entwickelt wurden (z.B. Kanalbefahrung). Diese Verfahren sind relativ kostenintensiv. Sie sollten nur bei Bedarf eingesetzt werden (z.B. wenn der Wasseranfall im Kontrollschacht stark vermindert ist).

Bei einer Kombination von einer Kunststoffdichtungsbahn oder einer Bentonitmatte mit einer Kapillarsperre kann letzere zur Funktionskontrolle der darüberliegenden Abdichtung genutzt werden. Bei Wasserundichtigkeit der Bentonitmatte oder der Kunststoffdichtungsbahn tritt Wasser in die Kapillarschicht und wird über diese abgeleitet. Der Wasseranfall in der Kapillarschicht muß hierfür gemessen werden (s.a. Kap. 4.2.5).

Die Ergebnisse des Überwachungskonzeptes werden in einer **Dokumentation** dargestellt. Die Bewertung der Ergebnisse aus der Langzeitüberwachung sollte im Hinblick auf die geforderten Sanierungsziele und die Funktionstüchtigkeit der Sicherungssysteme erfolgen. Die Basis der Bewertung bilden alle Ergebnisse aus Arbeiten auf oder um die gesicherte Altlast (z.B. Bau von Grundwassermeßstellen), Erkenntnisse aufgrund von Flächenbegehungen sowie die zum Standort bereits vorhandenen hydrologischen, hydrogeologischen und vermessungstechnischen Daten. Für die Langzeitüberwachung der Umweltmedien müssen nach Abschluß der Sicherungsarbeiten oftmals neue Meßstellen angelegt werden. Dies kann einmal erforderlich

werden, weil bei den Sanierungsarbeiten alte Meßstellen zerstört wurden oder aufgrund der Neunutzung nicht mehr zugänglich sind.

Anhand der Ergebnisse der Langzeitüberwachung wird außerdem die **Notwendigkeit von (weiteren) technischen Nachsorgemaßnahmen** (s.a. Kap. 3.5.2) beurteilt und das **Konzept zur Nachsorge** selbst überprüft und ggf. modifiziert. Unter Umständen kann aufgrund der vorliegenden Meßergebnisse der Langzeitüberwachung, einer geänderten Standortsituation oder einer geplanten Nutzungsänderung ein verstärkter oder verminderter Kontrollaufwand angemessen sein (Meßintervall, Anzahl und Lage der Meßstellen, Art der Messungen und Probenahmen, chemische Untersuchungsparameter). Im Hinblick auf eine Kostenreduzierung kann es zur Kontrolle von Emissionen ausreichend sein, z.B. die Analyse auf Leitparameter zu beschränken.

Praxisbeispiel Die Funktionstüchtigkeit der Einschließung (Oberflächenabdichtung und Dichtwand) einer Altablagerung (Sonderabfälle) wird über Grundwasser- und Deponiesickerwassermeßstellen überwacht. Die Grundwasser- und Deponiesickerwasserstände werden regelmäßig gemessen und das Wasser chemisch untersucht. Für die analytische Grundwasserüberwachung wurden zwei Analysepakete zusammengestellt, die im vierteljährlichen Abstand abwechselnd analysiert werden. Paket 1 umfaßt alle in dem vorliegenden Fall relevanten Parameter, während Paket 2 nur die wichtigsten Parameter beinhaltet. In der folgenden Tabelle sind die anorganischen Parameter von Paket 1 den Parametern von Paket 2 gegenübergestellt.

Anorganische Parameter	Paket 1	Paket 2 (Kurzanalyse)
Anionen	x	x
Fluorid	x	
Cyanid, ges.	x	
Phosphat	x	
Chlorid	x	x
Sulfat	x	x
Ammonium	x	x
Schwermetalle	x	x
Arsen	x	x
Blei	x	x
Cadmium	x	x
Chrom, ges.	x	x
Kupfer	x	x
Zink	x	
Nickel	x	x
Aluminium	x	
Mangan	x	
Magnesium	x	
Natrium	x	x
Kalium	x	x

Bei der Festlegung bzw. Überprüfung der Überwachungsintervalle sollte berücksichtigt werden, daß die Funktionstüchtigkeit eines Sicherungssystems mit zunehmendem Alter abnimmt. Das bedeutet, daß ein Rückgang von Schadstoffgehalten in den in die Überwachung einbezogenen Umweltmedien nicht zwangsläufig dazu führen darf, daß die Überwachung eingestellt wird. Die auf der Deponie Georgswerder durchgeführten Testfeld-Untersuchungen zeigten, daß sich durch die sommerliche Austrocknung der Rekultivierungsschicht und der Dichtungsschicht innerhalb weniger Jahre Haarrisse in der mineralischen Abdichtungsschicht bilden können. Diese haben eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit zur Folge (Melchior et al., 1994). Diese Untersuchungsergebnisse sollten bei der Überwachung von in vergleichbarer Art und Weise gesicherten Altlasten Beachtung finden und bei der Planung von künftigen Sicherungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Bei zunehmendem Alter des Sicherungssystems kann es erforderlich werden, die Beprobungsintervalle wieder zu verkürzen. Weiterhin ist z.B. eine Freilegung und Untersuchung der Abdichtung zur Beurteilung der Gefüge- und Durchlässigkeitsveränderungen empfehlenswert. Aus den genannten Problemen wird auch deutlich, daß für mögliche Instandsetzungsarbeiten an gesicherten Altlasten finanzielle Rücklagen gebildet werden sollten.

Anhand der Ergebnisse der Langzeitüberwachung sollte das Konzept zur Nachsorge ggf. durch einen Gutachter überarbeitet werden. Die Behörde entscheidet aufgrund § 31 Abs. 5 und Abs. 7 LAbfG NW über die Anordnung der Durchführung einer (weiteren) Überwachung. Dabei kann sie den Verantwortlichen zu Maßnahmen der Selbstüberwachung (analog § 25 Abs. 1 LAbfG) verpflichten.

3.5.2 Technische Nachsorge

Die Technische Nachsorge umfaßt alle Bau- und Wartungsarbeiten sowie den Betrieb von Fassungs- und Behandlungsanlagen, die im Anschluß an eine Sanierung notwendig werden. Fassungs- und Behandlungsanlagen für (Boden-) Luft, Gas und (Grund-) Wasser werden oftmals bereits während der Sanierungsmaßnahme in Betrieb genommen und nach Abschluß der Sanierungsarbeiten weiterbetrieben. Die Maßnahmen werden auf der Grundlage der Sanierungsplanung und/oder Langzeitüberwachung geplant und genehmigt bzw. durch die zuständige Behörde angeordnet. Die Fassungs- und Behandlungsanlagen werden durch ein Ingenieurbüro konzipiert und dimensioniert. Insbesondere kurz nach der Inbetriebnahme der Anlagen ist ihre Funktionstüchtigkeit in kürzeren Zeitabständen regelmäßig zu kontrollieren.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann die Betriebssteuerung optimiert werden. Die Anlagen müssen regelmäßig gewartet und die Einhaltung der Einlauf- und Ablauf- bzw. Abluftwerte regelmäßig überwacht werden. Diese Überwachungsmaßnahmen sind ergänzend zum Programm der (Langzeit-)überwachung der relevanten Umweltmedien nach Kap. 3.5.1 durchzuführen.

Wenn keine Genehmigungen (u.a. nach § 31.4 LAbfG, BImSchG oder WHG) vorliegen, sollten entsprechende Anordnungen nach § 31 Abs. 5 LAbfG durch die zuständige Behörde getroffen werden.

Langfristig betrachtet, muß auf gesicherten Flächen damit gerechnet werden, daß wiederholt Reparatur- und Wartungsarbeiten an Sicherungssystemen vorgenommen werden müssen. Dabei sind 'einfache' Arbeiten möglich, wie z.B. die Wiederherstellung einer durch Erosion beschädigten Rekultivierungsschicht auf abgedichteten Altlastenflächen, die Reinigung von Schächten oder das Durchspülen von Drainagen. Aber auch aufwendigere Arbeiten, wie z.B. die Ausbesserung eines Sicherungselements, z.B. einer Lamelle aus einer Dichtwand, die Injektion von Dichtungsmaterial an Fehlstellen oder das Überschweißen einer Kunststoffdichtungsbahn können anfallen.

Alle durchgeführten Arbeiten, die Ergebnisse der Langzeitüberwachung sowie alle daraus abgeleiteten Maßnahmen, wie z.B. die Fassung und Behandlung von Medien, Nachbesserungsarbeiten oder Reparaturarbeiten, sollten über den gesamten Überwachungszeitraum dokumentiert werden. Diese Dokumentation ist der zuständigen Behörde in regelmäßigen Abständen (z.B. 1 Jahr) zuzuleiten. Bei wesentlichen Auffälligkeiten sollten die Informationen ohne zeitlichen Verzug an die zuständige Behörde gemeldet werden.

Checkliste 11: Langzeitüberwachung (Monitoring)

Langzeitüberwachung (Monitoring)		Information vorhanden?	Information erforderlich?
Grundwasser / Sickerwasser	Meßstellen für Grund- und Sickerwasser		
	→ Anzahl und Lage der Meßpunkte		
	→ Meßintervall		
	→ Analysenumfang		
	→ Grund- und Sickerwasserspiegelstände		
	Grund- und Sickerwasserentnahmen		
	→ anfallende Mengen		
	→ Behandlungsart und Verbleib		
	→ Kontrolle der Reinigungsanlage (Analysenumfang und Untersuchungsintervall)		
Bodenluft	Messungsintervalle		
	Bodenluftpegel		
	→ Anzahl und Lage		
	→ Analysenumfang		
Flächenbegehung/ visuelle Kontrolle	Begehungsintervall		
	Erosionsschäden		
	Einhaltung der Nutzungsbeschränkungen		
	Vernässungen oder Austritte im Böschungsbereich von Oberflächenabdichtungen		
	Standsicherheit von Böschungen		
	→ Abgleiten der Böschung		
	Setzungen und Verformungsschäden		
	Bewuchs		
	→ Wurzeltiefe		
	→ Vorhandensein von Tiefwurzlern		
	→ Schäden am Bewuchs durch Gasaustritte		
Freilegen des Dichtungselements und Entnahme von Proben			
Funktionskontrolle technischer Einrichtungen	Grund- und Sickerwasserfassung		
	→ Durchflußmenge		
	→ Schwimmerschaltung etc.		
	Drainagen (Wasser/Gas)		
	→ Kontrolle von Schächten		
	→ Tracerversuch		
	→ Kanalbefahrung		
	→ Einsatz von Prüfgas		
weitere technische Einrichtungen			
Dokumentation	Überwachungskonzept		
	Überwachungszeitraum		
	durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse		
	Einhaltung der Sanierungsziele		
	Funktionsfähigkeit der Systeme (Drainagen, Dichtwirkung)		
	Funktionsfähigkeit / Leistung von Behandlungsanlagen		
	Mängel innerhalb der Gewährleistungsdauer		
	Notwendigkeit von Ausbesserungsarbeiten		
	Notwendigkeit zur Anpassung des Konzepts zur Nachsorge		

4 Beschreibung von Sicherungstechniken

4.1 Einleitung

Zielsetzung dieses Kapitels ist es, einen Überblick über die verschiedenen Techniken zu geben, die derzeit zur Sicherung von Altlasten zur Verfügung stehen. Eine systematische Darstellung der Techniken erleichtert einen Vergleich und ermöglicht damit eine Einschätzung, ob ein bestimmtes Sicherungssystem im Rahmen eines konkreten Projekts einsetzbar ist. Das Kapitel umfaßt die Beschreibung der Sicherungstechniken Oberflächensicherung, Dichtwände, Immobilisierung und hydraulische Maßnahmen (s.a. Abbildung 6). Die Beschreibung der Techniken ist schematisiert und in die nachfolgend aufgeführten Themenkomplexe gegliedert:

- System
- Anforderungen
- Hinweise zur Auswahl und Planung
- Bauausführung und Qualitätssicherung

In dem Unterkapitel „System“ wird eine allgemeine Funktionsbeschreibung der Sicherungstechniken gegeben. Im folgenden Abschnitt sind die Anforderungen aufgeführt, die an den Systemaufbau und das eingesetzte Material zu stellen sind, um eine Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten. Unter dem Punkt „Hinweise zur Auswahl und Planung“ werden die Systemeigenschaften anhand der Kriterien Dichtigkeit, Tragfähigkeit des Untergrundes/Unterbaus, Langzeitbeständigkeit, Standsicherheit und Herstellbarkeit/Baustellenrobustheit beurteilt. Um den Vergleich der einzelnen Techniken untereinander zu erleichtern, wurden i.d.R. pro Kriterium stets die gleichen Schlagwörter (durch Fettdruck im Text hervorgehoben) behandelt. Unter dem Themenkomplex „Bauausführung und Qualitätssicherung“ sind nur spezielle technikspezifische Punkte genannt. Allgemeine Aspekte, die für alle Techniken zutreffen, sind bereits in Kapitel 3 berücksichtigt worden.

Die bei der Einschließung von Altlasten verwendeten Techniken stammen überwiegend aus dem Deponiebau und aus dem Grundbau. Die Konzeption der Maßnahmen erfolgt beim Deponiebau unter der Prämisse der Gefahrenvorsorge. Es wird eine langfristige Sicherung mit geringem Kontrollaufwand am Dichtungssystem angestrebt. Beim Deponiebau ist eine Leitlinie des Entwurfs und der Planung das Multibarrieren-Konzept. Dieses besagt, daß verschiedene, voneinander unabhängige, geologische und technische Barrieren vorhanden sind, die auch einzeln eine ausreichende Schutzwirkung gewährleisten.

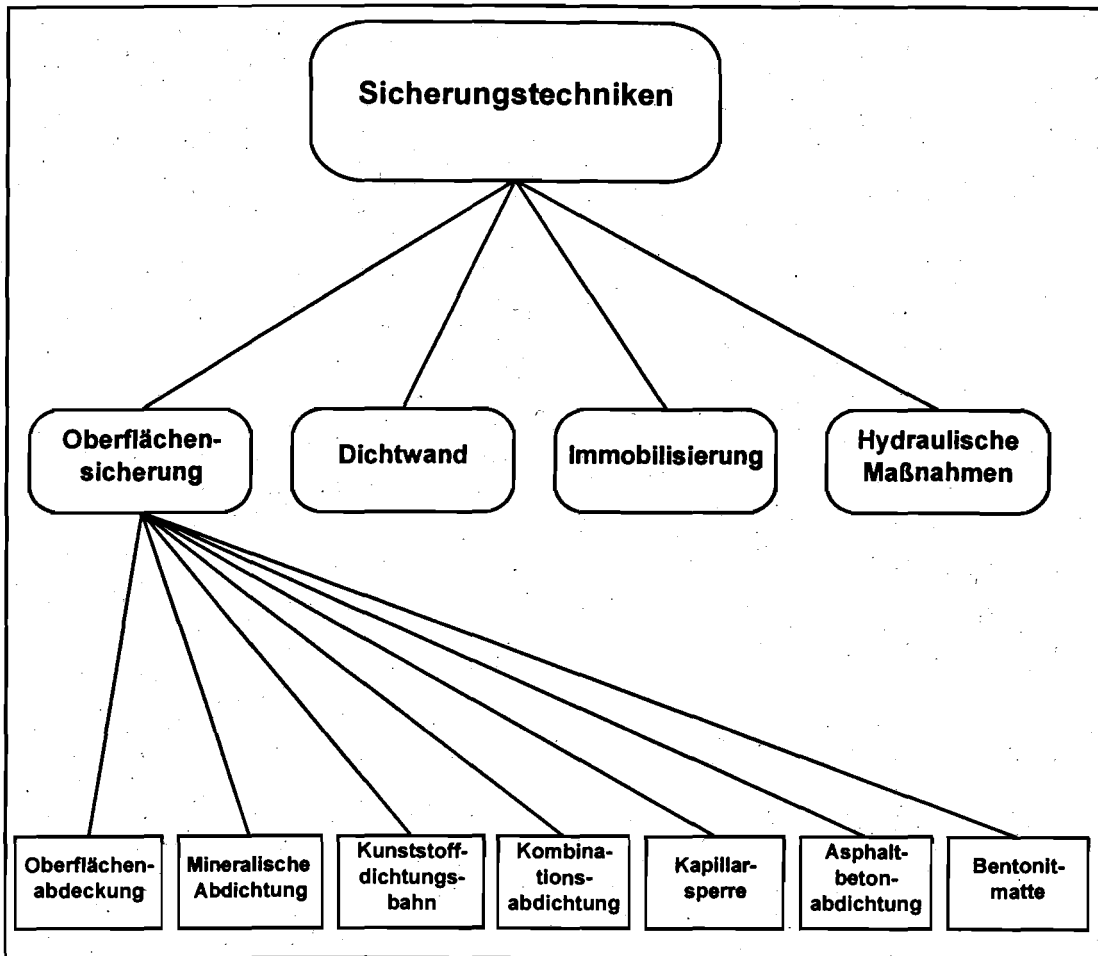


Abb. 6: Überblick Sicherungstechniken

Auf die Altlastenproblematik ist dieses Konzept so nicht übertragbar, auch wenn die Forderung nach langfristig wirksamen Systemen gestellt wird. Die Anforderungen an Sicherungsmaßnahmen beruhen bei Altlasten hier i.d.R. auf dem Prinzip der Abwehr bestehender oder möglicherweise entstehender Gefahren. Gefahrenvorsorgemaßnahmen sind dann erforderlich, wenn Altlasten wieder nutzbar gemacht werden und Gefahren zukünftig sicher ausgeschlossen werden sollen. Hierbei wird dem Aspekt der Gefahrenvorsorge auch dadurch Rechnung getragen, daß sensible Nutzungen weitgehend vermieden werden. Gefahrenabwehrmaßnahmen sollen dagegen bestehende Gefahren abwehren, d.h. nicht jede Art von Beeinträchtigungen von Umweltmedien verhindern.

Die Zielsetzung von Sicherungsmaßnahmen ist es, die Wirkungspfade der Schadstoffe zu unterbrechen, so daß der Schadstoffaustrag sowie die Einwirkungen auf das Schutzgut verhindert oder reduziert werden.

Das Sicherungssystem ist einzelfallbezogen in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortbedingungen (u.a. Gefährdungspotential, Ausbreitungsbedingungen, Wirkungspfade,

Nutzungen, Schutzgüter) zu beurteilen. Dabei ist der Stand der Technik zu berücksichtigen. Die für Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten gestellten Anforderungen an Systeme, Materialeigenschaften, Schichtstärken, Einbaubedingungen und Qualitätssicherung von Oberflächenabdichtungen sind einzelfallspezifisch zu begründen. Folgende Regelwerke und Veröffentlichungen können u.a. als Orientierung herangezogen werden:

- TA Abfall
- TA Siedlungsabfall
- LWA-Richtlinie Nr. 18
- BAM-Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen
- ZTVE StB 94, ZTVT StB 95, ZTV Asphalt 94
- folgende GDA-Empfehlungen:
 - E 2-4 : Oberflächenabdichtungssystem
 - E 2-7 : Gleitsicherheitsuntersuchung der Abdichtungssysteme
 - E 2-9 : Grundsätze für die Anwendung von Geotextilien
 - E 2-13: Verformungsnachweis für mineralische Abdichtungsschichten
 - E 2-15: Systemdurchlässigkeit von mineralischen Abdichtungen
 - E 2-16: Setzungs- und Verformungsmessungen für Basisabdichtung, Abfallkörper und Oberflächenabdichtung
 - E 3-1 : Eignungsprüfung mineralischer Oberflächen- und Basisabdichtungen
 - E 3-2 : Eignungsprüfung mineralischer Dichtwandmassen
 - E 3-5 : Versuchsfelder für mineralische Basis- und Oberflächenabdichtungen
 - E 3-7 : Beurteilung der Erosions- und Suffosionsbeständigkeit von mineralischen Abdichtungsmaterialien
 - E 3-8 : Bestimmung des Scherverhaltens von kombinierten Abdichtungsschichten
 - E 3-9 : Eignungsprüfung von Geotextilien
 - E 3-12: Eignungsprüfung von mineralischen Entwässerungsschichten
 - E 4-1 : Herstellen von Dichtwänden
 - E 5-1 : Grundsätze zur Qualitätssicherung
 - E 5-2 : Qualitätssicherung für mineralische Oberflächen- und Basisabdichtungsschichten
 - E 5-3 : Qualitätssicherung für vertikale Dichtwände
 - E 5-5 : Qualitätssicherung für Geotextilien

4.2 Oberflächensicherung

Oberflächensicherungen können in Oberflächenabdeckungen und Oberflächenabdichtungen unterschieden werden.

Die grundlegenden Anforderungen, die eine Oberflächenabdichtung zu erfüllen hat, sind:

- Ableiten des Oberflächenwassers
- Vermeiden von Oberflächenwasserzutritt
- ggf. Fassen von Gasen und Verhinderung von Gasaustritten

Um die Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten, muß das eingesetzte System möglichst setzungsunempfindlich sowie stand-, erosions- und frostsicher sein. Es sollte außerdem sichergestellt werden, daß das Dichtungssystem kontrollierbar und reparierbar bzw. erneuerbar ist. Der Aufbau einer Oberflächenabdichtung kann sich i.d.R. aus den Schichten

Überdeckung/Deckschicht, Flächendränage, ggf. Geotextilien, (mehrlagige) Dichtungsschicht(en), ggf. Gasdränage und ggf. Ausgleichsschicht zusammensetzen.

Die Überdeckung soll die Dichtung gegen Wind- und Wassererosion, Austrocknung sowie vor Wurzel- und Frosteinwirkung schützen. Die Flächendränage soll ein sicheres Abführen des Niederschlagswassers ermöglichen. Die Abdichtungsschichten sollen den Eintritt von Niederschlagswasser und einen unkontrollierten Austritt von Gas minimieren. Die ggf. erforderliche Gasdränageschicht dient der Sammlung auftretender Gase. Die darunter vorzusehende Ausgleichsschicht soll als Auflager der darüber liegenden Schichten dienen.

Bei der Wirksamkeit von Abdichtungssystemen spielt die Rekultivierungsschicht/Deckschicht und ihre Bepflanzung zusammen mit der Entwässerungsschicht eine wesentliche Rolle. Damit wird

- die Menge des infiltrierten Niederschlagswassers, das auf die Abdichtungsoberfläche einwirkt, minimiert,
- die Abdichtung vor Frost und großen Temperaturschwankungen geschützt,
- klimabedingte Austrocknung und Befeuchtung in der Rekultivierungsschicht, die zu Wassergehaltsveränderungen in der mineralischen Dichtung führen können, gedämpft und eine ggf. kritische Wassergehaltsunterschreitung ausgeschlossen
- den Pflanzen ein ausreichender Wurzelraum zur Verfügung gestellt, der sie auch in trockenen Perioden ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt und somit verhindert, daß Wurzeln in die Dichtungsschicht einwachsen und dort zu zusätzlichem Wasserentzug führen.

Im Zusammenhang mit den Anforderungen an eine Sicherheit gegenüber Austrocknung und Durchwurzelung kann nach gegenwärtigem Kenntnisstand bei mineralischen Abdichtungen und Bentonitmatten davon ausgegangen werden, daß die Mächtigkeit der Überdeckung von 1 m (nach TASI) eher ein Mindestmaß darstellt und je nach den Einzelfallbedingungen (insbesondere Klima, Material und Bepflanzung) größere Schichtdicken (1,50 m oder mehr) erforderlich werden können.

Oberflächenabdeckungen haben im Gegensatz zu den Oberflächenabdichtungen keine oder nur eine begrenzte Dichtfunktion gegenüber Niederschlagswassereintritt oder Gasaustritt. Die Neubildung von Sickerwasser wird bei Oberflächenabdeckungen nur reduziert, nicht verhindert.

Sowohl Oberflächenabdichtungssysteme als auch Oberflächenabdichtungen und -abdeckungen sind einer Reihe von physikalischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen ausgesetzt. Abhängig vom eingesetzten Oberflächensicherungssystem können folgende Beanspruchungen die Funktionstüchtigkeit beeinflussen:

Physikalische Beanspruchungen:

- Statische Belastung aus unveränderlichen und veränderlichen Lasten (während der Herstellung der Abdichtung und nach der Fertigstellung im Rahmen der Folgenutzung)
- Witterungseinflüsse (Verdunstung, Frost-Tau-Zyklen, UV-Strahlung etc.)
- Gefügeänderungen durch hydraulische Beanspruchungen mit Gefahr der Erosion, Suffosion und Kolmation
- Bewegungen des Untergrundes (Tektonik, Bergbaueinflüsse, Grundwasserabsenkungen)

Chemische Beanspruchungen:

- Niederschlag (pH-Wert)
- Gaskondensat
- Kontakt mit Schadstoffen
- Sickerwasser im Böschungsbereich

Biologische Beanspruchungen:

- Höhere pflanzliche und tierische Organismen (Kleintierbefall, Durchwurzelung)
- Mikroorganismen
- Bioturbation, z.B. Verlagerung tieferliegender Schadstoffe in oberflächennahe Schichten durch Regenwürmer

Bei der Altlastensanierung gibt es keine speziellen Vorschriften zu den Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme. Neben der mineralischen Abdichtung und der Kunststoffdichtungsbahn sowie der Kombinationsabdichtung stehen als weitere Dichtungssysteme die Kapillarsperre, die Asphaltbetonabdichtung und die Bentonitmatte zur Verfügung. Die Sicherungssysteme sind immer einzelfallbezogen festzulegen. Bei der Altlastensicherung ist zunächst zwischen Gefahrenabwehr (Anforderungen nach (Sonder-)Ordnungsrecht) und Gefahrenvorsorge im Hinblick auf künftige Nutzungen (nach BauGB) zu unterscheiden. Die Festlegung eines Systems ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen anhand der betroffenen Wirkungspfade und Schutzgüter vorzunehmen. Dabei muß sowohl die Notwendigkeit der einzelnen Schichten als auch die Auswahl eines Oberflächenabdichtungsmaterials anhand der standortspezifischen Situation einzelfallspezifisch begründet werden.

TA Abfall und TA Siedlungsabfall gelten für Altlastensicherungen nicht, da sie nur für nach Inkrafttreten dieser Regelwerke stillgelegte Anlagen gelten. Die Oberflächenabdichtungssysteme nach TA Siedlungsabfall und TA Abfall sind Forderungen, die von dem Grundsatz der Gefahrenvorsorge ausgehen. Die Technischen Anleitungen definieren u.a. die Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme von Siedlungsabfall- und Sonderabfalldeponien. In den

Regelwerken werden keine Anforderungen an die Wirkungen der Systeme gestellt. TA Siedlungsabfall und TA Abfall können bei der Altlastensicherung nur als Orientierung herangezogen werden. Die Regelwerke erlauben neben der vorgeschlagenen mineralischen Abdichtung (s. Kap. 4.2.2) und Kombinationsdichtung (s. Kap. 4.2.4) die Verwendung alternativer Dichtungsmaterialien, wenn eine 'Gleichwertigkeit' zur Regelabdichtung nachgewiesen wurde.

Im Grundsatzpapier des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt, 1995) werden Anforderungen an Deponieabdichtungen formuliert, die unabhängig von dem jeweiligen konstruktiven Aufbau und der stofflichen Zusammensetzung einer Dichtung gelten.

4.2.1 Oberflächenabdeckung

Die Oberflächenabdeckung dient in der Regel primär der Vermeidung

- des Direktkontaktes und der oralen Aufnahme
- von Staubverwehungen über die Luft, d.h. eine Gefährdung durch inhalative Aufnahme und eine Belastung angrenzender Flächen und Nutzungen durch schadstoffhaltige Stäube und
- ggf. dem Transfer von Schadstoffen in Pflanzen

Im Einzelfall erfolgt der Einsatz auch mit dem Ziel der Reduzierung (nicht der vollständigen Verhinderung) der Niederschlagswasserneubildung.

Die Oberflächenabdeckung verfügt nur über eine begrenzte Dichtfunktion gegenüber Niederschlagswassereintritt oder Gasaustritt. Ihre Anwendung ist daher auf Altlast-Flächen beschränkt, von denen keine Gefährdung für das Grundwasser ausgeht und bei denen eine Gefährdung der (Atem-)Luft bzw. der Gesundheit von Menschen durch gasförmige Schadstoffverbindungen auszuschließen ist bzw. von denen keine Gefährdung für das Grundwasser ausgeht und eine begrenzte Sickerwasserneubildung toleriert werden kann.

Bei Oberflächenabdeckungen mit dem Ziel einer Sickerwasserreduzierung ist im Rahmen der Sanierungsuntersuchung abzuwägen, wie groß das noch im Abfallkörper vorhandene mobile und mobilisierbare Schadstoffinventar ist. Da hier i.d.R. Einzelfallentscheidungen getroffen werden, ist eine sorgfältige Prüfung dieser Fragestellung erforderlich.

Neben den fachlichen Anforderungen sind auch die Kosten und Aspekte der Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme zu berücksichtigen. Danach kann es im Einzelfall angezeigt und auch sinnvoll sein, anstelle einer mineralischen Abdichtung eine einfacher ausgebildete Abdeckung mit ausreichender Mächtigkeit mit entsprechendem Oberflächengefälle und anschließender Bepflanzung aufzubringen.

Eine „vollständige“ Trockenlegung des Deponiekörpers kann einen gewünschten Abbauprozess im Deponiekörper verhindern. Daher kann es in solchen Fällen sinnvoll sein, eine Abdeckung einer Abdichtung vorzuziehen.

4.2.1.1 System

Oberflächenabdeckungen sind nicht in Richtlinien oder Empfehlungen beschrieben. Ihr Aufbau wird in Abhängigkeit vom Einzelfall geplant. In der Praxis wird häufig eine Oberflächenabdeckung mit kulturfähigem Boden eingesetzt, die bepflanzt werden kann. Ergänzend dazu können in Abhängigkeit von der Nutzung Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen durch die zuständige Behörde festgesetzt werden. Neben kulturfähigem Boden können auch andere Materialien, z.B. geprüftes und für die Verwendung zugelassenes Recycling-Material eingesetzt werden.

Bei ingenieurmäßig geplanten Oberflächenabdeckungen mit dem Ziel einer Verminderung der Niederschlagswasserversickerung sind zusätzlich insbesondere die Wasserspeicherkapazität, die Art der Bepflanzung und das Gefälle auf die Randbedingungen des Einzelfalls abzustimmen. Anforderungen dazu werden unter 4.2.1.2 aufgeführt.

Um in bestimmten Einzelfällen die Eignung von Abdeckungen nachzuweisen, sollten im Vorfeld der Planungen entsprechende Wasserhaushaltsbetrachtungen (z.B. Einsatz des HELP-Modells) durchgeführt werden.

4.2.1.2 Anforderungen

Oberflächenabdeckungen sollten folgende grundlegende Anforderungen erfüllen:

- Durch die Mächtigkeit der Abdeckungsschicht sollte ein ausreichender Sicherheitsabstand zur Oberfläche der Altlast gewährleistet sein. Die Mächtigkeit ergibt sich aus der Art der Nutzung der Fläche. Bei einer Überdeckung mit Kulturboden zur landwirtschaftlichen Nutzung sollte eine Mindestmächtigkeit von 1 m gewählt werden. Bei Haus- und Kleingärten wird eine Mindestabdeckung von 60cm empfohlen (MURL, 1995a). Als Schutz vor oraler und inhalativer Aufnahme, z.B. auf Kinderspielplätzen und Grünflächen, ist eine Überdeckung von mindestens 35 cm ausreichend. Bei Kinderspielplätzen sollte unter der Abdeckung eine Grabesperre (z.B. Geotextil) angeordnet werden.
- Eine Beschädigung bzw. ein Entfernen der Oberflächenabdeckung muß (für die Nutzer der Fläche) erkennbar sein, z.B. durch eine Signalschicht zwischen Abdeckungsschicht und kontaminiertem Untergrund.

- Der Aufbau und die Mächtigkeit der Abdeckung ist den zu erwartenden Beanspruchungen durch die Nutzung anzupassen.
- Das Abdeckmaterial sollte keine umweltgefährlichen Stoffe enthalten.
- Eine chemische Reaktion des Abdeckmaterials mit Schadstoffen des zu sichernden Bereichs sollte ausgeschlossen sein.

Bei Oberflächenabdeckungen mit dem Ziel einer Sickerwasserreduzierung kommen folgende grundlegende Anforderungen hinzu:

- Der Abdeckboden (unter der Oberboden-/Mutterbodenschicht) muß über eine hohe Wasserspeicherkapazität (Feldkapazität) verfügen.
Stark lehmige Sande sowie schluffig-sandige Lehme sind die hierfür günstigsten Bodenarten, da sie mit 18 bis 20 l/m² pro 10 cm Schichtstärke die höchste nutzbare Feldkapazität aufweisen, gut durchwurzelbar sind und durch Lehmkomponenten auch eine nachhaltige Nährstoffversorgung gewährleisten. Ggf. sind Entgasungsmöglichkeiten (z.B. Gasfenster) vorzusehen.
- Bepflanzungen mit einer Vegetation von möglichst hoher Evapotranspiration (Gesamtverdunstungsrate, setzt sich zusammen aus Bodenverdunstung, Interzeptionsverdunstung und Transpiration). Bei der Wahl der Pflanzen sind neben dem reinen Verdunstungsfaktor einzelner Arten auch landschaftsökologische Aspekte zu beachten.
- Herstellung eines möglichst hohen Oberflächengefälles (Sonneneinstrahlung bei der Hangneigung berücksichtigen), um bei Wassersättigung und starken Niederschlägen der Oberflächenabfluß zu erhöhen.
- Im Einzelfall (je nach Schichtaufbau) können Dränagen vorgesehen werden, deren nachlassende Leistung (z.B. durch Setzungen etc.) durch die infolge der zunehmenden Vegetationsdichte steigende Verdunstungsrate teilweise kompensiert werden kann.

4.2.1.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Bei der Auswahl und Planung von Oberflächenabdeckungen sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

Dichtigkeit:

- Bei der Oberflächenabdeckung ist nur eine begrenzte **Wasser- und Gasdichtigkeit** gefordert.

Hinweise zur begrenzten Dichtfunktion in Abhängigkeit von Klima, Relief, Boden und Vegetation können der spezielle Fachliteratur entnommen werden (z.B. Brechtel, 1984). Bezüglich der Materialeignung ist noch ein Untersuchungs- bzw. Forschungsbedarf gegeben. Der Einsatz von Test-/Versuchsfeldern zur Beurteilung der Wirksamkeit ist daher dringend zu empfehlen.

Setzungsempfindlichkeit:

- Setzungen haben keinen Einfluß auf die Funktionstüchtigkeit mit Ausnahme der Dichtigkeit gegenüber Sickerwasser und Gas/Bodenluft.

Potentielle Schwachstellen:

- Da keine definierten Dichtigkeiten gefordert sind, sind Durchdringungen für Leitungen und Rohre i.d.R. keine **potentiellen Schwachstellen**.

Anforderungen an den Untergrund:

- Die Anforderungen an das **Planum** sollten abhängig von der Nutzung formuliert werden. Bei Verkehrsbelastungen sollten die Angaben in der ZTVE-StB zum E-Modul und der Proctordichte herangezogen werden.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung.

Langzeitbeständigkeit:

- Die Funktion einer Oberflächenabdeckung hängt i.d.R. vom Erhalt der Abdeckungsmächtigkeit ab, so daß **Suffosions- und Kolmationsvorgänge** im allgemeinen zu keiner Funktionsverminderung führen. An geeigneten Flächen kann es zu Beschädigungen der Oberflächenabdeckung durch **Erosion** kommen. Durch Begrünung kann die Erosion verhindert werden.
- **Keine Temperaturempfindlichkeit.**
- I.d.R. wird die Oberflächenabdeckung in bezug auf ihre geforderte Funktion (Verhinderung von Direktkontakt und Staubaustrag) durch **chemische Beanspruchungen** nicht beeinträchtigt.
- Wird die Oberflächenabdeckung bepflanzt, kann eine Durchwurzelung des kulturfähigen Bodens bis in den kontaminierten Bereich nicht ganz ausgeschlossen werden.
- Die Aktivität von Bodentieren (z.B. Regenwürmer, Maulwürfe, Mäuse, Kaninchen etc.) kann dazu führen, daß belastetes Bodenmaterial an die Oberfläche der Abdeckung gelangt (**Bioturbation**). Die an die Oberfläche ver-

frachtete Bodenmenge wird für Regenwürmer auf Grünlandstandorten mit 0,5 bis 12 kg/m² jährlich angegeben (Scheffer/Schachtschabel, 1992). Für eine Quantifizierung in bezug auf abgedeckte Altlasten besteht noch Forschungsbedarf.

Standsicherheit:

- Die **Böschungsneigung** und der Reibungswinkel des Abdeckmaterials müssen aufeinander abgestimmt sein, damit es nicht zum Abgleiten von Bodenschichten kommt.

4.2.1.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Je nach eingesetztem Abdeckmaterial ist die Herstellung von der Witterung abhängig. Der Wassergehalt bei bindigem Material kann z.B. durch Niederschläge so verändert werden, daß die Verarbeitung eingeschränkt wird. Bei trockener Witterung sollten während der Bauphase und danach (bis zur Begrünung) Staubverwehungen des Abdeckmaterials verhindert werden.

Eine starke Verdichtung der Abdeckung sollte vermieden werden, um eine Begrünung nicht zu erschweren und eine Erosionsgefährdung zu verhindern.

Stark geneigte Böschungen sollten ggf. durch Geogitter, Rollrasen etc. gesichert werden.

Sollen die Flächen anschließend begrünt bzw. bepflanzt werden, wird die Bauausführung von Oberflächenabdeckungen oft an Landschaftsbauunternehmen vergeben. Diese Unternehmen sind i.d.R. nicht mit dem Arbeiten auf Altlasten vertraut. Aus diesem Grund sollte der Gutachter bei Aufnahme der Arbeiten auf der Baustelle anwesend sein und die Einweisung des Personals überwachen.

Bei Planungen einer Abdeckung mit dem Ziel einer Erhöhung der Verdunstung ist eine enge Abstimmung zwischen Landschaftsbauer, Erdbauer und ggf. Geologen erforderlich.

Zur Qualitätssicherung der Bauausführung sollte das angelieferte Material organoleptisch und analytisch überprüft werden (Eingangskontrolle) sowie die Mächtigkeit der fertiggestellten Oberflächenabdeckung kontrolliert werden. Der Überwachungsumfang ist in Abhängigkeit von der Größe und Art der Sicherungsmaßnahme festzulegen.

4.2.2 Mineralische Abdichtung

4.2.2.1 System

Als mineralische Abdichtungsmaterialien werden vorrangig Tone bzw. tonige Schluffe eingesetzt. Neben naturbelassenen Böden werden auch solche verwendet, die aus unterschiedlichen

Komponenten natürlicher Böden mit oder ohne Zuschlagstoffe hergestellt werden (Burkhardt, Egloffstein, 1994). Mit diesen Materialien sind mit gezielter Verdichtungsarbeit geringe Wasserdurchlässigkeiten erreichbar. In vielen Fällen ist die mineralische Abdichtung ein Element eines komplexen Abdichtungssystems. Die TA Siedlungsabfall und die TA Abfall schlagen die mineralische Abdichtung als Bestandteil des Oberflächenabdichtungssystems von Deponien, ggf. auch als Kombinationsdichtung (s. Kap. 4.2.4) in Verbindung mit Kunststoffdichtungsbahnen sowie aufliegender Schutzschicht (z.B. Geotextilien) vor. Das Abdichtungssystem mit einer mineralischen Dichtung wird mit einer Niederschlagswasserdrainage und einer Rekultivierungsschicht ausgeführt. Ohne diese Komponenten wäre die Austrocknungsgefahr größer und die Standsicherheit nicht gegeben.

4.2.2.2 Anforderungen

Technische Anforderungen an mineralische Oberflächenabdichtungssysteme sind in verschiedenen Regelwerken, Vorschriften und Richtlinien aus oder in Anlehnung an den Deponiebau formuliert. Relevante Regelwerke sind hier die TA Abfall (1991) und die TA Siedlungsabfall (1993). Darüber hinaus gelten in NRW für mineralische Deponieabdichtungen die ergänzenden Anforderungen entsprechend der LWA Richtlinie Nr. 18 (LWA, 1993). Weitere Anforderungen an die mineralische Abdichtung und den Untergrund werden z.B. in den Empfehlungen des Arbeitskreises 'Geotechnik der Deponien und Altlasten' (GDA Empfehlungen, 1993) und durch die 'Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau' (ZTVE-StB, 1994) gegeben.

Die wichtigsten Anforderungen sind in den folgenden Richtlinien und Veröffentlichungen zusammengefaßt:

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an den Untergrund 	ZTVE-StB 94, LWA-Richtlinie Nr. 18, Kap. 4.1
<ul style="list-style-type: none"> • Planungsanforderungen an das Schichtsystem und Anforderungen an die Materialkennwerte der mineralischen Dichtung 	TA Abfall Nr. 9.4.1.1 , 9.4.1.4 u. Anhang E, TASI Nr. 10.4.1.1 u. 10.4.1.4, LWA-Richtlinie Nr. 18, Kap. 5.3, GDA-Empfehlungen E 2-4, 2-7, 2-9, 2-13, 2-15, 2-16
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an die geotechnische Eignungsprüfung (Prüfverfahren) 	TA Abfall Anhang E, LWA-Richtlinie Nr. 18, Kap. 6, GDA-Empfehlungen E 3-1, 3-5, 3-7, 3-12
<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherung und Abnahme 	TA Abfall Nr. 9.4.1.2 u. Anhang E, TASI Nr. 10.4.1.2, LWA-Richtlinie Nr. 18, Kap. 8, GDA-Empfehlungen E 5-1 u 5-2

4.2.2.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Für die Auswahl und Planung einer Sicherungsmaßnahme sind die Systemeigenschaften von entscheidender Bedeutung. Anhand der folgenden Kriterien können die Systemeigenschaften und somit die Einsetzbarkeit der mineralischen Oberflächenabdichtung im Rahmen eines konkreten Projekts beurteilt werden:

Dichtigkeit:

- Die **Wasserdichtigkeit** der mineralischen Abdichtung wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert k_f , der Überstauhöhe und der Mächtigkeit der Abdichtungsschicht bestimmt. Die TA Abfall schreibt einen k_f -Wert von 5×10^{-10} m/s vor, die LWA-Richtlinie Nr. 18 einen k_f -Wert von 1×10^{-10} m/s. Mit Erlaß des MURL vom 10.01.1997 (Az. IV A2 - 824/5-32115/2) wird die Forderung nach dem niedrigeren Durchlässigkeitsbeiwert gem. LWA-Richtlinie für zulässig erklärt.
- Die **Gasdichtigkeit** hängt von dem Verdichtungsgrad und dem k_f -Wert der mineralischen Abdichtung ab.

Setzungsempfindlichkeit:

- Die mineralische Abdichtung ist relativ **setzungsempfindlich** gegenüber Setzungssprüngen, die zu Rissen führen können. Setzungen können durch das Eigengewicht einer Altablagerung, chemisch-biologische Abbauvorgänge oder infolge hydraulischer Maßnahmen verursacht werden. Auf einen Verformungsnachweis gemäß GDA-Empfehlungen kann verzichtet werden, wenn der zu erwartende Krümmungsradius der Abdichtung den Wert von $R = 200$ m nicht unterschreitet (LWA-Richtlinie Nr. 18).

Potentielle Schwachstellen:

- Die mineralische Abdichtung wird lagenweise aufgebracht. Innerhalb der einzelnen Lagen und an den Übergängen können **Fehlstellen** auftreten. Anschlüsse an Leitungen, Schächte etc. sind weitere **potentielle Schwachstellen**.

Anforderungen an den Untergrund:

- Das **Planum** sollte den Anforderungen der ZTVE-StB entsprechen.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung. Eine Bebauung der mineralischen Abdichtung ist nur mit geringen Flächenlasten und

Auflastunterschieden möglich. Eine Durchdringung der Abdichtung mit Ver- und Entsorgungsleitungen ist problematisch und sollte vermieden werden.

Langzeitbeständigkeit:

- **Erosions-, Suffosions- und Kolmationsvorgänge** können die Langzeitbeständigkeit beeinflussen.
- Die mineralische Abdichtung muß vor **Austrocknung** geschützt werden (z.B. KDB, Rekultivierungsschicht (u.a. wegen Frostgefährdung)). Trockenrisse schließen sich bei Wiederbefeuchtung nicht bzw. nicht vollständig (Schrumpfrisse). Das Austrocknungsverhalten ist auch abhängig vom Tonmineralbestand. Die mineralische Abdichtung ist ebenfalls vor **frostbedingten** Beschädigungen zu schützen.

Auf der Deponie Georgswerder wurde auf drei Testfeldern das Langzeitverhalten von bindigen mineralischen Oberflächenabdichtungen untersucht. In den ersten 20 Monaten war eine gute Dichtwirkung gegeben. Innerhalb der folgenden 4 Jahre nahm diese jedoch aufgrund von zwei trockenen Sommern extrem ab. Durch Wasserabgaben der Dichtungsschicht und anschließende Schrumpfungen entstanden Makroporen, die die Durchlässigkeit auf das 200 bis 500-fache der Anfangswerte erhöhten (Melchior et al., 1994). Aufgrund der Zusammensetzung des dort verwendeten mineralischen Dichtungsmaterials und der dort vorliegenden Randbedingungen sind diese Auswirkungen nicht zwangsläufig auf andere Fälle übertragbar.

- Gegenüber **chemischen Beanspruchungen** durch Gaskondensate, die in der Bodenluft von Altlasten und in Deponiegasen auftreten, ist eine hohe Beständigkeit gegeben.
- Bei einer mineralischen Abdichtung besteht mittel- und langfristig die Gefahr von Fehlstellenbildung infolge **Durchwurzelung** und **Kleintierbefall**. Dies kann selbst bei einer Überdeckung > 1 m und einer flachwurzelnden Bepflanzung nicht ausgeschlossen werden. Ggf. sind Wurzelsperren (z.B. KDB) im Systemaufbau vorzusehen. Diese Gefahr ist geringer als die Gefahr der Austrocknung.

Standicherheit:

- Böschungen sind i.A. bis zu einer **Neigung** von 1 : 2,5 bei geringen Böschungslängen standsicher.

- Die **Gleitsicherheit** in den Gleitfugen (Unterbau/Dichtung, Dichtung/KDB, Drainage/Dichtung, Drainage/Rekultivierung ggf. unter Berücksichtigung von Geotextilien) muß nachgewiesen werden.

4.2.2.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Hinweise zur Qualitätssicherung für mineralische Oberflächen- und Basisabdichtungen geben z.B. die LWA-Richtlinie Nr. 18 (LWA, 1993), Anhang E der TA Abfall oder die GDA-Empfehlungen E5-2 (GDA, 1993). Für die Bauausführung der mineralischen Dichtung sollte auf jeden Fall ein Qualitätssicherungsplan aufgestellt werden. In dem Qualitätssicherungsplan werden die Verantwortlichkeiten und Aufgaben bei der Bauüberwachung, die Herstellungsbeschreibung des Abdichtungssystems sowie Art und Umfang der Qualitätsprüfungen (Eingangs-, Verarbeitungs- und Abnahmeprüfung) festgelegt.

Eine ordnungsgemäße Herstellung der mineralischen Abdichtung gemäß TA Abfall (Anhang E) und LWA-Richtlinie Nr. 18 wird durch Eigen- und Fremdüberwachung kontrolliert. Bei einer Beauftragung entsprechend erfahrener Ingenieurbüros und Firmen kann i.d.R. von einem problemlosen Ablauf ausgegangen werden.

Die Herstellung der mineralischen Abdichtung sollte bei relativ trockenem Wetter und bei einem definierten Wassergehalt des Abdichtungsmaterials erfolgen. Um den vorgegebenen Verdichtungsgrad zu erreichen, muß auf die Einhaltung des im Qualitätssicherungsplans festgelegten Wassergehaltes geachtet werden. Die aufgebrachte Abdichtungsschicht muß vor Witterungseinflüssen (Austrocknung, Befeuchtung, Erosion) geschützt werden. Wenn die Überdeckungsschicht nicht sofort aufgebracht werden kann, müssen Zwischenabdeckungen (z.B. Folien) eingesetzt werden.

Der Einbau der mineralischen Abdichtungsschicht erfolgt lagenweise. Ein fehlerfreier Verbund der einzelnen Abdichtungslagen untereinander muß sichergestellt werden.

Die mineralische Dichtung ist empfindlich gegenüber dem Befahren mit schwerem Baugerät. In Abhängigkeit von Böschungsneigung und -länge sowie aus Arbeitsschutzgründen kann statt selbstfahrender Geräte der Einsatz seilgeführter Verdichtungsgeräte erforderlich sein (LWA, 1993).

Die Einrichtung von Versuchsfeldern ist i.d.R. erforderlich. Die Auswertung kann bei größeren Maßnahmen anhand der Empfehlungen der TA Abfall, Anhang E erfolgen. Anhand der Versuchsfelder können z.B. Aussagen über die erforderliche Verdichtungsmethode, Verdichtungsgeräte, Verdichtungsarbeit, Arbeitsgeschwindigkeit, Lagendicke und bodenphysikalische Anforderungen getroffen werden.

4.2.3 Kunststoffdichtungsbahn

4.2.3.1 System

Die Kunststoffdichtungsbahnen (KDB), die im wesentlichen im Deponiebau und in der Altlastensanierung verwendet werden, bestehen aus HDPE-Formmassen mit einer gängigen Dicke von 1,5 bis 3 mm. Zur Erzielung einer erhöhten UV-Stabilität wird der Formmasse bei der Fertigung Ruß zugesetzt. Die KDB hat eine hohe Chemikalienbeständigkeit. Die TA Siedlungsabfall und die TA Abfall schlagen für eine Kombinationsdichtung (s. Kap. 4.2.4) die KDB im Preßverbund mit der mineralischen Abdichtung vor.

Das Abdichtungssystem mit einer KDB wird i.d.R. mit einer Niederschlagswasserdrainage, einer Schutzschicht (z.B. Sandschicht oder Geotextilien) und einer Rekultivierungsschicht ausgeführt.

4.2.3.2 Anforderungen

Technische Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme mit Kunststoffdichtungsbahnen sind in verschiedenen Regelwerken, Vorschriften und Richtlinien aus oder in Anlehnung an den Deponiebau formuliert. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hat in einer Richtlinie (BAM, 1992) über die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen die Anforderungen an den Werkstoff, die Abmessungen, die Fertigung sowie physikalisch/mechanische Eigenschaften und die Verlegung geregelt (Müller, 1997). Weitere Regelwerke, in denen Anforderungen an die Kunststoffdichtungsbahnen formuliert werden, sind z.B. TA Abfall (1991), TA Siedlungsabfall (1993), die Empfehlungen des Arbeitskreises 'Geotechnik der Deponien und Altlasten' (GDA Empfehlungen, 1993) und die DVWK-Merkblätter 'Anwendung von Kunststoffdichtungsbahnen im Wasserbau und für den Grundwasserschutz' (DVWK, 225/1992). Außerdem werden für die Anforderungen an den Untergrund i.d.R. die 'Zusätzlichen Technischen Vorschriften und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau' (ZTVE-StB, 1994) herangezogen.

Die wichtigsten Anforderungen sind in den folgenden Richtlinien und Veröffentlichungen zusammengefaßt:

• Anforderungen an den Untergrund	ZTVE-StB 94
• Planungsanforderungen an das Schichtsystem und Anforderungen an die Materialien, Eigenschaften, Herstellung, von KDB'en	BAM-Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen, TA Abfall Nr. 9.4.1.1, 9.4.1.4 u. Anhang E TASI Nr. 10.4.1.1 u. 10.4.1.4 GDA-Empfehlungen E 2-4, 2-7, 2-9
• Anforderung an die Eignungsprüfung	BAM Richtlinie f. d. Z. v. KDB'en, TA Abfall-Nr.9.4.1.2 u. Anhang E, GDA-Empfehlungen E 3-8, 3-12
• Anforderungen an die Qualitätssicherung	BAM Richtlinie f. d. Z. v. KDB'en, TA Abfall Nr. 9.4.1.2 u. Anhang E TASI Nr. 10.4.1.2

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Schutzschichten (u. a. Aufbau, Eigenschaften, Eignungsprüfung, Qualitätssicherung, insbesondere für Geotextilien) 	BAM-Richtlinie „Anforderungen an die Schutzschicht für die Dichtungsbahnen in der Kombinationsabdichtung - Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten-“, GDA-Empfehlungen E 2-9, 3-9, 5-5
--	---

Zur Auswahl und Anwendung von Geotextilien hat außerdem die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) das 'Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus' (FGSV, 1994) herausgegeben.

4.2.3.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Für die Auswahl und Planung einer Sicherungsmaßnahme sind die Systemeigenschaften von entscheidender Bedeutung. Anhand der folgenden Kriterien können die Systemeigenschaften und somit die Einsetzbarkeit der KDB im Rahmen eines konkreten Projekts beurteilt werden.

Dichtigkeit:

- Die KDB ist **wasserdicht**.
- Die KDB ist **gasdicht** und besitzt eine hohe Chemikalienbeständigkeit.

Setzungsempfindlichkeit:

- Die KDB ist bedingt **setzungsunempfindlich**. Zugkräfte können bis zum Erreichen der Streckgrenze aufgenommen werden, danach kommt es zum Riß. Die Sicherheit von Schweißnähten ist bei mehraxialen Zugdehnungen von über 3 % nicht mehr gewährleistet.

Potentielle Schwachstellen:

- Die Ausbildung der Anschlüsse an Leitungen, Schächte etc. ist problematisch. Die Anschlüsse (Schweißnähte) bilden **potentielle Schwachstellen**.

Anforderungen an den Untergrund:

- Das **Planum** sollte den Anforderungen der ZTVE-StB entsprechen. Das Planum muß frei von scharfkantigen Gegenständen sein.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung. Eine Bebauung des Abdichtungssystems ist nur mit Einschränkungen möglich. Es ist darauf zu achten, daß nur geringe Flächenlasten und Auflastunterschiede entstehen. Wie das Projekt Gladbeck-Brauck gezeigt hat, kann die Tragfähigkeit des Gesamtsystems durch die Verwendung von Geogittern erhöht werden (Hogrebe et al., 1994).

Langzeitbeständigkeit:

- Abschließende Aussagen über die **Langzeitbeständigkeit** können noch nicht getroffen werden. Z.Zt. wird von einer Beständigkeit für einen Zeitraum zwischen 80 - 100 Jahren ausgegangen.
- **UV-Bestrahlung** und hohe **Temperaturen** verringern die Langzeitbeständigkeit. Bei Oberflächenabdichtungen mit einer ausreichenden Überdeckung ist dies jedoch nicht relevant.
- Gegenüber einer **chemischen Beanspruchung** durch Gaskondensate kann üblicherweise von einer ausreichenden Beständigkeit ausgegangen werden.
- Die KDB stellt eine sehr gute **Durchwurzelungssperre** dar und verhindert eine Beschädigung der unterliegenden Schichten durch **Nagetiere**. Die **Bepflanzung** und die **Mächtigkeit** der Rekultivierungsschicht müssen aufeinander abgestimmt werden.

Standicherheit:

- **Neigungen** von ca. 1 : 2,5 bis 1 : 3 sind i.d.R. beherrschbar (Burkhardt, Egloffstein, 1994). Steilere Böschungsneigungen sind evtl. durch den Einsatz von Geogittern erreichbar. Für diese Lösungen ist der statische Nachweis zu führen, daß die geforderte Böschungsneigung standsicher ausgeführt werden kann.
- Ein großes Problem bei Oberflächenabdichtungssystemen mit KDB ist die **Gleitsicherheit** in den Gleitfugen (Systemversagen). Eine Erhöhung der Gleitsicherheit kann durch den Einsatz entsprechend profilierter KDB erzielt werden.

4.2.3.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Das Verlegen und Schweißen der KDB muß durch qualifizierte Fachfirmen erfolgen. Mit der Ausführung sollten nur von der BAM zugelassene Hersteller und Verlegefirmen beauftragt werden. Vor Beginn der Baumaßnahme muß ein Verlegeplan mit folgenden Angaben aufgestellt werden (DVWK 225/1992):

- durchlaufende **Bezeichnung** der einzelnen Bahnen und Nähte zur Identifikation
- unterschiedliche **Kennzeichnung** von Werks- und Baustellennähten
- Angaben zur jeweiligen **Fügetechnik** und den dabei eingesetzten Geräten
- Angaben zur jeweiligen **Nahtgeometrie** und **Nahtausführung**
- Angaben zum **Schweißnahtanteil** der Werks- und Baustellennähte

- **Schnittdarstellung konstruktiver Einzelheiten, vor allem hinsichtlich des Einbindens der Kunststoffdichtungsbahnen bei geneigten Flächen und des Anbindens an Bauwerke.**

Die Schweißer sollten über gültige Prüfungszeugnisse gemäß der DVS-Richtlinie 2212, Teil 3 verfügen. Für die Ausführung und Überprüfung der Schweißarbeiten, sowie für die Anforderungen an die Schweißmaschinen und -geräte ist die DVS-Richtlinie 2225 zu beachten. Die Anforderungen, Hinweise zur Ausführung und die Qualitätssicherung sollten entsprechend der BAM-Richtlinie (BAM, 1992) durchgeführt werden. In der TA Abfall und TA Siedlungsabfall sind ebenfalls verschiedene Parameter festgelegt, die im Rahmen einer Qualitätsprüfung zu kontrollieren sind.

Die Qualitätsprüfung auf der Baustelle sollte die Anlieferung, die Verlegung und die Fügearbeiten umfassen. Im Rahmen der Anlieferung sind die Lieferprotokolle, stichprobenweise die Dicke der KDB, mechanische Beschädigungen der KDB und die Lagerungsverhältnisse auf der Baustelle zu prüfen. Beim Ausrollen der KDB ist auf die Bahndicke, Planlage, Kantengradheit und äußere Beschaffenheit zu achten. Diese Aspekte sind entsprechend der BAM-Zulassung zu prüfen.

Aufgrund der geringen Dicke ist die KDB anfällig gegenüber mechanischen Beschädigungen während der Bauphase. Das Planum muß deshalb frei von scharfkantigen Gegenständen sein. Zwischen KDB und Planum sollte zum Schutz eine Sandschicht vorgesehen werden. Zwischen KDB und Dränschicht ist zwingend ein Schutzvlies oder eine Sandschutzschicht aufzubringen. Bei Verwendung eines Schutzvlieses werden von der BAM zugelassene Vliese empfohlen. Die Aufbringung der Dränschicht auf die KDB muß im Vor-Kopf-Verfahren erfolgen.

Beschädigungen in der abgedichteten Fläche oder an Nahtstellen können mit KDB-Zuschnitten überschweißt werden.

Bei der Lagerung der KDB auf der Baustelle und nach dem Verlegen ist das Material vor UV-Bestrahlung und Witterungseinflüssen (extreme Temperaturen) zu schützen.

Die verlegten und verschweißten Bahnen sind gegen Abheben durch Wind zu sichern. Die Verlegung sollte bei trockener und frostfreier Witterung erfolgen. Die TA Abfall schreibt eine Mindesttemperatur für die Schweißarbeiten von +5° C vor. Die Fügearbeiten sind auf die Einhaltung der festgelegten Bedingungen (z.B. Fügedruck, Vorschubgeschwindigkeit, Temperatur, Witterung) sowie Homogenität und Breite der Schweißnaht zu überwachen. Weiterhin sollten stichprobenartig Probestücke aus der Schweißbahn herausgetrennt und auf Festigkeit und Dichtigkeit überprüft werden (TA Siedlungsabfall, 1993).

Eine Beanspruchung der KDB durch erhöhte Zugspannungen ist unzulässig und ist durch konstruktive Maßnahmen zu verhindern. Die lastverteilende Wirkung der Schutzschicht sollte so

groß sein, daß keine bleibenden Verformungen in der KDB entstehen. Langfristig zulässig sind Dehnungen bis zu 3 % (BAM, 1992). Sind keine Setzungen im Untergrund zu erwarten, können diese 3 % vollständig durch Auflasten ausgeschöpft werden.

4.2.4 Kombinationsabdichtung

4.2.4.1 System

Bei der Kombinationsabdichtung werden die Dichtungselemente der mineralischen Abdichtung (s. Kap. 4.2.2) mit der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) (s. Kap. 4.2.3) über einen Preßverbund miteinander kombiniert. Durch die Verbindung der zwei Dichtungselemente können die Nachteile eines einzelnen Elementes aufgehoben werden, so daß eine erhöhte Sicherheit für die Funktionsfähigkeit des Abdichtungssystems gegeben ist. Die TA Abfall (1991) und TA Siedlungsabfall (1993) schlagen diese oder eine gleichwertige Abdichtung als Regelabdichtung für Deponien der Klasse II und Deponien der TA Abfall (Sonderabfall) vor. Der Schichtaufbau und die Anforderungen für die Deponieklasse II ist folgendermaßen definiert:

Rekultivierungsschicht, Entwässerungsschicht, Schutzschicht, KDB, mineralische Abdichtung, Ausgleichsschicht ggf. Gasdrainage, Untergrund

Derzeit werden weitere Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Dichtungselemente (z.B. Bentonitmatte/KDB, Bentonitmatte/mineralische Dichtung, Kapillarsperre/mineralische Dichtung) erprobt. Die Praxiserfahrungen sind jedoch zur abschließenden Beurteilung noch nicht ausreichend. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) bearbeitet z.Zt. Anträge für die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nicht geregelter Bauprodukte von 'Bentonitmatten-Oberflächenabdichtungen' und 'Oberflächenabdichtungen mit vergüteten mineralischen Baustoffen' (Herold, 1994). Die Zulassung für Asphaltbeton-Basisabdichtungen ist bereits erteilt (Deutsches Asphaltinstitut (DAI), 1996).

4.2.4.2 Anforderungen

Für die Kombinationsdichtung gelten die schon in Kap. 4.2.2 und 4.2.3 formulierten Anforderungen und Grundlagen. Zur Vollständigkeit sind die technischen Anforderungen im folgenden noch einmal zusammengestellt.

Die wichtigsten Anforderungen sind in den folgenden Richtlinien und Veröffentlichungen zusammengefaßt:

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an den Untergrund 	ZTVE-StB 94, LWA-Richtl. Nr. 18, Kap. 4.1
<ul style="list-style-type: none"> • Planungsanforderungen an das Schichtsystem 	TA Abfall Nr. 9.4.1.1, 9.4.1.4 u. Anhang E, TASI Nr. 10.4.1.1 u. 10.4.1.4 GDA-Empfehlungen E 2-4, 2-7, 2-9, 2-13, 2-15, 2-16
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Materialien, Eigenschaften Herstellung, und Qualitätssicherung einer Kombinationsabdichtung 	TA Abfall Nr. 9.4.1.1, 9.4.1.4 u. Anhang E, TASI Nr. 10.4.1.1 u. 10.4.1.4 BAM-Richtl. f. d. Zul. von KDB'en LWA-Richtlinie Nr.18 GDA-Empfehlungen E 5-1 u. 5-2
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an die Eignungsprüfung 	TA Abfall Nr. 9.4.1.2 u. Anhang E, TASI Nr.10.4.1.2, GDA-Empfehlungen E 3-1, 3-5, 3-7, 3-8, 3-12
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Schutzschichten (u. a. Aufbau, Eigenschaften, Eignungsprüfung, Qualitätssicherung, insbes. für Geotextilien) 	BAM-Richtlinie „Anforderungen an die Schutzschicht für die Dichtungsbahnen in der Kombinationsabdichtung, -Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten-“, GDA-Empfehlungen E 2-9; 3-9, 5-5

Die konkreten technischen Anforderungen entsprechend der TA Siedlungsabfall für das Oberflächenabdichtungssystem der Deponieklasse II sind in der Tabelle 1 dargestellt. Die Anforderungen sollen hier nur als Beispiel dienen. Die Anforderungen der TA Siedlungsabfall sind nicht direkt auf Sicherungen von Altlastenflächen übertragbar (s. Kap. 4.1). Jede Altlast muß aufgrund ihrer Randbedingungen einzelfallspezifisch betrachtet und die durchzuführenden Maßnahmen den jeweiligen Anforderungen entsprechend festgelegt werden. Dabei sind die Anforderungen der TA Siedlungsabfall hinsichtlich Rekultivierungsschicht nach dem derzeitigen Diskussionsstand als Mindestanforderungen gegenüber Austrocknung anzusehen.

Tabelle 1: Anforderungen der TA Siedlungsabfall an das Oberflächenabdichtungssystem der Deponieklasse II

Oberflächenabdichtungssystem Deponieklasse II	wichtigste Anforderungen nach TA Siedlungsabfall
Rekultivierungsschicht	≥ 100 cm, Bewuchs soll vor Wasser- und Winderosion schützen, Sickerwassereintrag minimieren
Entwässerungsschicht	≥ 30 cm, k_f -Wert $\leq 1 \times 10^{-3}$ m/s, standsicher
Schutzschicht	meist geotextile Schutzlage
KDB	≥ 2,5 mm Anforderungen entsprechend der BAM-Richtlinie (BAM, 1992)
mineralische Abdichtung	≥ 50 cm, k_f -Wert $\leq 5 \times 10^{-9}$ m/s, $D_{pr} \geq 95$ %, Feinstkornanteil ≥ 20 %, Tonmineralgehalt ≥ 10 %
Ausgleichsschicht ggf. Gasdrainage	≥ 50 cm, homogen, nicht bindig, verdichtet

4.2.4.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Für die Auswahl und Planung einer Sicherungsmaßnahme sind die Systemeigenschaften von entscheidender Bedeutung. Anhand der folgenden Kriterien können die Systemeigenschaften und somit die Einsetzbarkeit der Kombinationsabdichtung im Rahmen eines konkreten Projekts beurteilt werden. Die Hinweise sind teilweise schon bei der mineralischen Abdichtung (Kap. 4.2.2) und der KDB (Kap. 4.2.3) behandelt worden.

Dichtigkeit:

- Die Kombinationsdichtung ist **wasser-** und **gasdicht**. Durch die KDB ist eine hohe Chemikalienbeständigkeit gegeben.

Setzungsempfindlichkeit:

- Die **Setzungsempfindlichkeit** des Gesamtsystems ist durch die Verbundwirkung etwas herabgesetzt.

Potentielle Schwachstellen:

- **Potentielle Schwachstellen** sind alle Fügestellen (Schweißnähte, Durchdringungen) der KDB, die jedoch durch entsprechend sorgfältiges Arbeiten minimiert werden können. Im Anschlußbereich muß auf einen guten Verbund zwischen den Dichtungselementen geachtet werden. Bei der mineralischen Abdichtung besteht die Gefahr, daß durch Schrumpfungsrissse Bereiche mit erhöhter Durchlässigkeit entstehen.

Anforderungen an den Untergrund:

- Die Tragfähigkeit des **Planums** ist abhängig von der Verdichtbarkeit. Im allgemeinen sollten die Anforderungen der ZTVE-StB eingehalten werden.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung. Eine Bebauung des Abdichtungssystems ist nur mit Einschränkungen möglich. Es ist darauf zu achten, daß nur geringe Flächenlasten und Auflastunterschiede entstehen. Eine Durchdringung der Abdichtung mit Ver- und Entsorgungsleitungen sollte vermieden werden.

Langzeitbeständigkeit:

- Für die KDB ist von einer Langzeitbeständigkeit für einen Zeitraum zwischen 80 - 100 Jahren auszugehen. Die mineralische Abdichtung ist durch den Schutz der

KDB nicht mehr anfällig für **Erosions-, Suffosions-, Kolmationsvorgänge** und **Austrocknung**.

- **UV-Bestrahlung** und hohe **Temperaturen** verringern die Langzeitbeständigkeit der KDB. Bei Oberflächenabdichtungen mit einer ausreichenden Überdeckung ist dies jedoch nicht relevant.

Bei der mineralischen Abdichtung besteht die Gefahr einer Austrocknung von unten, wenn eine aktive Entgasung der Altlast betrieben wird oder hohe Temperaturen entstehen. Dies ist bei Altlasten meist nicht der Fall. Eine Austrocknung von oben wird durch eine intakte KDB verhindert.

- Gegenüber Gaskondensaten kann von einer ausreichenden **chemischen Beständigkeit** beider Komponenten der Kombinationsdichtung ausgegangen werden.
- Die KDB stellt eine sehr gute **Durchwurzelungssperre** dar und verhindert eine Beschädigung der unterliegenden mineralischen Abdichtung durch **Nagetiere**. Die Bepflanzung und die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht müssen aufeinander abgestimmt werden. Dabei ist die TA Siedlungsabfall wegen der Austrocknungsgefahr als Mindestanforderung anzusehen.

Standsicherheit:

- Bei entsprechender Materialwahl sind **Neigungen** bis ca. 1 : 3 i.d.R. beherrschbar (Burkhardt, Egloffstein, 1994). Steilere Böschungsneigungen bis zu 1 : 2,5 sind durch den Einsatz von z.B. Materialien mit hoher Scherfestigkeit oder Geogittern erreichbar. Bei der Herstellung steiler Böschungen müssen hohe Anforderungen an die Qualitätssicherung gestellt werden.
- Ein großes Problem bei Oberflächenabdichtungssystemen mit KDB ist die **Gleitsicherheit** in den Gleitfugen (Systemversagen). Eine Erhöhung der Gleitsicherheit kann durch den Einsatz entsprechend profilierter KDB erzielt werden. Die Schichtfugen sollten weder vernässen noch austrocknen.

4.2.4.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Die ordnungsgemäße Herstellung der Kombinationsabdichtung sollte gemäß TA Abfall (Anhang E) und LWA-Richtlinie Nr. 18 durch Eigen- und Fremdüberwachung kontrolliert werden. Durch die Beauftragung entsprechend erfahrener Ingenieurbüros und Firmen kann ein problemloser Ablauf sichergestellt werden.

Hinweise zur Qualitätssicherung für mineralische Oberflächenabdichtungen geben z.B. die LWA-Richtlinie Nr. 18 (LWA, 1993), der Anhang E der TA Abfall oder die GDA-Empfehlungen E5-1 und E5-2 (GDA, 1993). Die KDB sollte entsprechend den Anforderungen, Hinweisen zur Ausführung und der Qualitätssicherung der BAM-Richtlinie (BAM, 1992) durchgeführt werden.

Für die Bauausführung der Kombinationsdichtung sollte auf jeden Fall ein Qualitätssicherungsplan aufgestellt werden. In dem Qualitätssicherungsplan werden die Verantwortlichkeiten und Aufgaben bei der Bauüberwachung festgelegt, die Herstellungsbeschreibung des Abdichtungssystems gegeben sowie Art und Umfang der Qualitätsprüfungen (Eingangs-, Verarbeitungs- und Abnahmeprüfung) geregelt. Der Verlegeplan für die Kunststoffdichtungsbahn ist zu beachten.

Aufgrund der geringen Dicke der KDB ist eine Beschädigung während der Bauphase leicht möglich. Die mineralische Abdichtung ist anfällig gegenüber Verformungen. Die mineralische Abdichtung und die KDB dürfen nicht unmittelbar befahren werden. Schutzschicht bzw. Vlies sind zwingend erforderlich. Die Dränageschicht darf nur im Vor-Kopf-Verfahren eingebaut werden.

Beschädigungen der KDB in der abgedichteten Fläche oder an Nahtstellen können mit KDB-Zuschnitten überschweißt werden.

Eine Beanspruchung der KDB durch Zugspannungen ist unzulässig und sollte durch konstruktive Maßnahmen verhindert werden (s. Kap. 4.2.3.3).

Der Einbau der mineralischen Abdichtungsschicht erfolgt lagenweise. Ein fehlerfreier Verbund der einzelnen Abdichtungslagen untereinander muß sichergestellt werden.

Bei der Lagerung der KDB auf der Baustelle und nach dem Verlegen ist die KDB vor UV-Strahlung und Witterungseinflüssen zu schützen. Die verlegten und geschweißten Bahnen sind gegen Abheben durch Wind zu sichern.

Die mineralische Abdichtung muß mit einem definierten Wassergehalt eingebaut werden. Eine Befeuchtung oder Austrocknung während der Lagerung, des Einbaus und vor der Abdeckung mit der KDB ist deshalb durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

Die Herstellung und Verlegung sollte bei trockener und frostfreier Witterung erfolgen. Bei der mineralischen Abdichtung muß eine Eislinsenbildung verhindert werden. Die TA Abfall schreibt eine Mindesttemperatur für die Schweißarbeiten an der KDB von + 5°C vor.

Da Kombinationsabdichtungen im Regelfall aus einer mineralischen Oberflächenabdichtung und einer Kunststoffdichtungsbahn bestehen, sind die Hinweise, die in Kap. 4.2.2 und 4.2.3 zur Bauausführung und Qualitätssicherung gegeben wurden, für dieses Abdichtungssystem ebenfalls zu beachten.

4.2.5 Kapillarsperre

4.2.5.1 System

Die Kapillarsperre ist ein neuartiges System zur Ableitung von Oberflächenwasser, das zur Zeit in großtechnischem Maßstab erprobt wird. Es handelt sich um kein Dichtungssystem im eigentlichen Sinne, da eine Gasdichtigkeit nicht gegeben ist und bei Wassersättigung Wasserdurchbrüche nicht ausgeschlossen werden können. Die Kapillarsperre nutzt das physikalische Phänomen aus, daß eine feine Sandschicht zuerst mit Niederschlagswasser weitgehend gesättigt wird, bevor Niederschlagswasser an eine darunterliegende grobkörnigere Schicht abgegeben wird. Die Wirkung der Kapillarsperre beruht auf dem deutlichen Porensprung zwischen einer grobkörnigen Schicht (Kapillarblock) und dem darüber liegenden Feinsand (Kapillarschicht). In den Kapillarporen des Feinsandes wird das Sickerwasser aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers und der Adhäsionskräfte zu den Sandkörnern gehalten, so daß kaum Wasser in die Grobsandschicht absickert. Dies erfolgt immer dann, wenn die Wasserleitfähigkeit der Kapillarschicht überschritten wird. Eine optimal bepflanzte Rekultivierungsschicht sorgt für eine weitgehend Evapotranspiration des eindringenden Niederschlagswassers und damit für eine gleichmäßigere Absickerung des überschüssigen Wassers in die Kapillarschicht (Hude, N. von der, et al., 1994). Das System wird i.d.R. mit einer anderen Dichtung kombiniert.

4.2.5.2 Anforderungen

Richtlinien oder Empfehlungen zu den Anforderungen, die eine Kapillarsperre erfüllen sollte, existieren noch nicht. Es sind genau definierte Materialanforderungen einzuhalten und aufwendige, sog. Rinnenversuche vor der Planung / Dimensionierung erforderlich. Folgende Punkte müssen bei der Auswahl der Materialien und der Dimensionierung der Kapillarsperre berücksichtigt werden:

- Schichtdicke, Gefälle und Böschungslänge sind so aufeinander abzustimmen, daß das eingesickerte Wasser in der Kapillarschicht fast vollständig lateral abgeführt wird und kaum in den Kapillarblock absickert.
- Um die Funktionstüchtigkeit einer Kapillarsperre zu gewährleisten, muß ein Mindestgefälle von 1 : 10 bis 1 : 5 gewährleistet sein (Melchior et al., 1996).
- Die Sieblinie der beiden verwendeten Sande muß möglichst steil sein und weit auseinander liegen.
- Die Einzelkörner des Materials sollten keine Eigenporosität besitzen.

- Das einzusetzende Material muß mechanisch beanspruchbar und witterungsbeständig sein.
- Beschränkung des Gehaltes an säurelöslichem Kalk, falls die Möglichkeit besteht, daß saure Sickerwässer, Gase oder Kondensate entstehen (z.B. im Bereich von Deponien).
- Der Feinsand für die Kapillarschicht sollte ausreichend wasserleitend sein ($k_f \geq 1 \times 10^{-4}$ m/s) (Melchior et al., 1996).
- Der Grobsand muß gegenüber dem Feinsand filterstabil sein, um eine Verstopfung der Poren des Kapillarblocks durch den Feinsand zu verhindern. Spezifische Materialversuche sind erforderlich.
- Ausreichend dicke Rekultivierungsschicht, so daß eine Bepflanzung ohne Durchwurzelung der Kapillarschicht möglich ist. Vliese sind zusätzlich erforderlich.

4.2.5.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Für die Auswahl und Planung einer Sicherungsmaßnahme sind die Systemeigenschaften von entscheidender Bedeutung. Anhand der folgenden Kriterien können die Systemeigenschaften und somit die Einsetzbarkeit der Kapillarsperre im Rahmen eines konkreten Projekts beurteilt werden.

Dichtigkeit:

- Eine **Wasserrestdurchlässigkeit** kann i.d.R. nicht angegeben werden, da bei Wassersättigung Wasserdurchbrüche nicht ausgeschlossen werden können. In großtechnischen Versuchen an einer Hausmülldeponie im Landkreis Marburg-Biedenkopf konnte hier eine Wasserrestdurchlässigkeit von $k_f < 1 \times 10^{-9}$ m/s nachgewiesen werden (Burkhardt, Egloffstein, 1994).
- Eine Kapillarsperre ist nicht **gasdicht**. Vollständige Gasdichtigkeit kann nur durch eine Erweiterung mit einem weiteren Dichtungselement (z.B. mit einer KDB, s. auch Kap. 4.2.3) erreicht werden. Außerdem besitzt die Kapillarsperre ein geringes Schadstoffrückhaltevermögen (dies ist bei der Oberflächenabdichtung von Altlasten jedoch meist nicht relevant).

Setzungsempfindlichkeit:

- Da für die Funktionstüchtigkeit der Kapillarsperre eine scharfe Trennlinie zwischen Grob- und Feinmaterial notwendig ist, ist das System relativ

setzungsempfindlich. Durch Setzungen kann der Porensprung zwischen Kapillarschicht und Kapillarblock aufgehoben werden, so daß es zu erhöhten Durchlässigkeiten kommen kann.

Potentielle Schwachstellen:

- Anschlüsse und Durchdringungen der Kapillarsperre sind **potentielle Schwachstellen**, an denen es leicht zu Wasserdurchbrüchen kommen kann. Die Funktion des Systems wird dann lokal stark herabgesetzt.

Anforderungen an den Untergrund:

- Ebenflächige Ausbildung des **Planums**.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung. Aufgrund der Setzungsempfindlichkeit der Kapillarsperre ist eine spätere Nutzung durch Bebauung i.d.R. nicht möglich.

Langzeitbeständigkeit:

- Da die Kapillarsperre noch in der Erprobungsphase ist, können über Alterungsvorgänge keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Langfristig können jedoch **Kolmations-, Erosions- und Suffosionsvorgänge**, mikrobielle Prozesse oder Durchwurzelung zu einer Veränderung des Porensystems und damit zur Herabsetzung der Funktionstüchtigkeit des Systems führen.
- Keine **Temperaturempfindlichkeit**. Da die Kapillarsperre unter wasserungesättigten Bedingungen funktioniert, ist sie nicht austrocknungsgefährdet.
- Die eingesetzten Materialien (Quarz) sind gegen die meisten Stoffe und Stoffgruppen **chemisch** beständig. Der Gehalt an säurelöslichem Kalk sollte begrenzt werden.
- Infolge von **Durchwurzelung** können Fehlstellen entstehen, d.h. die Bepflanzung und die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht müssen aufeinander abgestimmt werden.

Standsicherheit:

- **Neigungen** bis 1 : 2,5 sind in Abhängigkeit von der Böschungslänge standsicher.
- Ist die Eigenstandsicherheit der verwendeten Baustoffe gegeben, ist normalerweise auch die **Standsicherheit** des gesamten Systems gegeben.

4.2.5.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Für die Suche nach geeigneten Sanden ist die Vorgabe einer Sieblinie ausreichend. Die Einzelkörner des Materials sollten keine Eigenporosität besitzen, und das Material sollte mechanisch beanspruchbar und verwitterungsbeständig sein. Die Eignungsprüfung von Materialkombinationen muß in Versuchsrinnen durchgeführt werden. Danach ist für die Qualitätssicherung des Materials auf der Baustelle die Überprüfung der Sieblinie ausreichend (Eingangskontrolle) (Hude, N. von der Hude et al., 1994).

Der Einbau der Materialien ist witterungsunabhängig. Vor dem Schütten des Feinsandes sollte der Kapillarblock mit einer Glattmantelwalze leicht angedrückt werden. Es muß eine scharfe Trennfläche zwischen Kapillarschicht und Kapillarblock hergestellt werden. Der Einbau der Schichten muß gleichmäßig mächtig und geneigt erfolgen. Hier sind hohe Qualitätssicherungsanforderungen zu stellen. Durch stichpunktartige Kontrollen der Schichtdicke ist der vorschriftsmäßige Einbau zu überwachen. Der Einbau muß im Vor-Kopf-Verfahren erfolgen.

Am Hangfuß wird das lateral abfließende Wasser aus der Kapillarschicht gesammelt. In dem Graben mit Drainrohr, der zur Wasserfassung anzulegen ist, kann das Kapillarblockmaterial als Filter eingesetzt werden.

Da die Kapillarsperre empfindlich gegenüber Lasteinträgen durch Baugeräte ist, sollte eine ausreichende Schutzschicht als Überdeckung aufgetragen werden.

Das Prinzip der Kapillarsperre befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Ihre Systemwirksamkeit ist noch nicht allgemein anerkannt. Verschiedene Autoren empfehlen daher eine Kombination mit anderen Abdichtungssystemen (z.B. Odensaß et al., 1995). Ist dies der Fall, müssen bei der Bauausführung und der Qualitätssicherung die Einbaubedingungen und Anforderungen der zusätzlichen Elemente sowie die dadurch entstehende Belastung der Kapillarsperre berücksichtigt werden.

4.2.6 Asphaltbetonabdichtung

4.2.6.1 System

Bauweisen mit Asphaltbeton werden im Straßenbau sowie im Erd- und Wasserbau standardmäßig eingesetzt. Asphaltbeton besteht aus kornabgestuften Mineralgemischen und Bitumen, die unterschiedliche Funktionen erfüllen. Bei genügend dichter Lagerung stützen sich die miteinander verzahnten Mineralkörner gegenseitig ab, so daß sie Kräfte und Lasten aufnehmen

und weiterleiten können. Das Bindemittel Bitumen dient zunächst in flüssiger Form als Gleitmittel, das die Reibung der Mineralkörner untereinander aufhebt und somit eine bessere Verdichtung ermöglicht. Nach der Erhärtung verklebt der Bitumen die verdichteten Mineralkörner miteinander, so daß eine Auflockerung durch Krafteinwirkung verhindert wird. Die Stabilität des Asphaltbetons beruht jedoch nicht allein auf der Wirkung des Bindemittels, sondern auch auf der Reibung im Korngerüst. Damit sich eine Reibung entwickeln kann, muß ein Mindestporenraum im Asphaltbeton erhalten bleiben. Im Deponiebau kann Asphaltbeton bei Basisabdichtungen eingesetzt werden. Die Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für Asphaltbeton-Basisabdichtungen ist erteilt (Deutsches Asphaltinstitut (DAI), 1996). Bei der Altlastensanierung kommen Asphaltbeton-Bauweisen als Versiegelung sowie als Verkehrs- und Parkplatzflächen zum Einsatz. Je nach geplanter Nutzung und den dadurch entstehenden Lasten, entspricht der Aufbau des Abdichtungssystems in etwa dem im Straßenbau.

4.2.6.2 Anforderungen

Das DVWK-Merkblatt „Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise“ (DVWK 237, 1996) gibt Empfehlungen für Deponie-Basisabdichtungen in Asphaltbauweise (BRÄCKER, 1996). Die Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) (Deutsches Asphaltinstitut (DAI), 1996) bezieht sich ebenfalls nur auf Basisabdichtungen. Darin enthaltene Ausführungen können orientierend daher nur für Oberflächenabdichtungen herangezogen werden.

Zu beachten sind insbesondere u.a. die Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau (EAAW 83). Diese Empfehlungen sind insbesondere heranzuziehen für die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit und für Anforderungen an den Hohlraumgehalt (≤ 3 Vol.-%). Weiterhin können technische Vorschriften und Richtlinien aus dem Straßenbau als Beurteilungshilfe herangezogen werden.

Ist der Einsatz von Asphaltabdichtungen in nicht flächigen Bereichen (z.B. Dammbabdichtung) geplant, kann außerdem das DVWK-Merkblatt 'Asphaltabdichtungen für Talsperren und Speicherbecken' vom DVWK/DGEG-Arbeitsausschuß Asphaltbauweisen im Wasserbau (DVWK, 223/1992) herangezogen werden.

Für die einzelnen Bereiche bzw. Lagen der Asphaltbetonabdichtung sind folgende Regelwerke von Bedeutung:

• Mindestanforderungen an das Planum	ZTVE-StB 94
• Anforderungen an die Tragschichten bzw. die Frostschuttschicht	ZTVT-StB 95
• Anforderungen an Binderschichten und Deckschichten, Eignungsprüfung, Qualitätssicherung	ZTY Asphalt 94, TL Min-StB, TL PmB 89, TLG Asphalt 89, DIBt Merkblatt zur Qualitäts-sicherung bei Asphalt-Dichtungen für Deponien 96, Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau 1983 (EAAW 83)

4.2.6.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Im folgenden sind die wichtigsten Kriterien aufgeführt, die bei der Planung und Auswahl von Asphaltbeton zur Oberflächenabdichtung von Bedeutung sind.

Dichtigkeit:

- Eine Oberflächenabdichtung mit Asphaltbeton ist **wasserdicht**. Im Wasserbau sind k_f -Werte von 10^{-11} bis 10^{-12} m/s festgestellt worden.
- Asphaltbeton ist **gasdicht**.

Setzungsempfindlichkeit:

- Das Abdichtungssystem ist **setzungsempfindlich**, da Asphaltbeton schnell ablaufenden Scher- und Dehnungsbeanspruchungen nicht standhalten kann. Je nach Zusammensetzung des eingesetzten Materials kann der Asphaltbeton langsame Verformungen mehr oder weniger gut aufnehmen. Sind große Setzungen zu erwarten, müssen die Materialeigenschaften entsprechend festgelegt werden.

Potentielle Schwachstellen:

- Anschlüsse und Durchdringungen sind **potentielle Schwachstellen**.

Anforderungen an den Untergrund:

- Das **Planum** sollte verdichtet und danach ebenflächig ausgebildet werden. Es sollte den Anforderungen der ZTVE-StB entsprechen.
- Berücksichtigung der **Lastfälle** aus der Bauphase und der späteren Nutzung. Eine Abdichtung mit Asphaltbeton ist zur anschließenden Nutzung als Verkehrsfläche sehr gut geeignet. Die Bebauung einer reinen Asphaltbetonschicht ist nur bei geringen Flächenaufasten und Auflastunterschieden möglich. In Abhängigkeit von der Ausbildung des Unterbaus und der Tragschichten ist eine Bebauung mit größeren Flächenlasten möglich.

Langzeitbeständigkeit:

- Asphaltbeton ist unempfindlich gegen **Wind- und Wassererosion**.
- I.d.R. besteht keine **Temperaturempfindlichkeit**. Bei höheren Temperaturen kann jedoch die Resistenz gegen starke Säuren und Basen herabgesetzt werden. Der Widerstand kann durch den Einsatz eines härteren Bindemittels erhöht werden. Bituminöse Bindemittel altern durch Oxidation, die durch Licht und Wärme gefördert wird. Das Bindemittel versprödet und die Klebefähigkeit wird verringert, wodurch Risse und Splitterausbrüche entstehen können. Unter einer Rekultivierungsschicht kann der Alterungsprozeß fast vollständig verhindert werden.
- Asphaltbeton wird durch die **chemische Beanspruchung** durch Lösungen von organischen und anorganischen Salzen sowie durch saure und basische Wässer nicht beeinträchtigt. Viele organische Lösungsmittel und Verbindungen haben eine zerstörende bzw. lösende Wirkung (u.a. Benzol, Schwefelkohlenstoff, Methylenchlorid, Trichlorethylen, Tetrachlorkohlenstoff, Phenole, Anilin, Mineralöle) (Velske, 1993). Bei der Beurteilung der chemischen Beanspruchung ist die Art des Bindemittels (Bitumen oder Pech) zu berücksichtigen.
- Risse können an Stellen starker **Setzungsunterschiede** (Biegezugrisse) oder im **Nahtbereich** an starren Bauwerken (Zug- und Schubrisse) entstehen. Der Belag kann an diesen Stellen ausgewechselt werden.
- Asphaltbeton ist unempfindlich gegen **Durchwurzelung, Kleintierbefall und mikrobiologische Umwandlungsprozesse**.

Standicherheit:

- Standicherheit ist auch bei steilen Böschungen gegeben. Im Wasserbau sind **Neigungen** bis zu 1 : 1,2 ohne Standicherheitsprobleme ausgeführt worden (Arand, 1993).

4.2.6.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Da Asphaltbetonschichten zum Standard im Straßenbau zählen, kann eine Oberflächenabdichtung aus Asphaltbeton von jedem qualifizierten Straßenbauunternehmen erstellt werden. Die erforderlichen Geräte sind vorhanden und vielseitig einsetzbar. Durch die zahlreichen stationären Mischwerke ist die Materialbeschaffung problemlos. Die hochtechnisierten und computergesteuerten Mischanlagen mit integrierter Eigenüberwachung bieten eine große Sicherheit für eine gleichmäßige Materialzusammensetzung.

In der Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für Asphaltbeton-Basisabdichtungen (Deutsches Asphaltinstitut (DAI), 1996) wird auf das DIBt-Merkblatt „Qualitätssicherung bei Asphaltabdichtungen für Deponien“ (DIBt, 1996) verwiesen. Darin enthaltene Ausführungen können orientierend auch für Oberflächenabdichtungen herangezogen werden.

Eignungsprüfungen für Standardmischungen des Asphaltbetons werden in der Regel in den Mischwerken durchgeführt. Im Rahmen dieser Prüfung wird die Eignung der Einzelkomponenten und die des Gemisches nachgewiesen. Zusätzlich dazu liegen für den verwendeten Bitumen die Prüfungszeugnisse des Herstellers und für die Mineralstoffe die Zulassungen für den Straßenbau vor. Die DIN 1996 enthält eine Beschreibung der Prüfungen und der Ergebnisauswertung für bituminöse Massen im Straßenbau, die zur Qualitätssicherung eingesetzt werden sollte.

Es ist darauf zu achten, daß sich der Asphaltbeton während des Transports nicht entmischt und beim Einbau die notwendige Temperatur (sortenabhängig) besitzt. Der Einbau sollte bei trockener Witterung erfolgen. Die Lufttemperatur sollte über + 3°C liegen und die Unterlage schnee- und eisfrei sowie ohne geschlossenen Wasserfilm sein. Der Einbau und die Verdichtung müssen zügig erfolgen. Die Nähte der einzelnen Schichten/Lagen sind gegeneinander zu versetzen. Asphaltbeton ist während der Abkühlphase nicht belastbar. Nach der Abkühlung kann die Belastung entsprechend der Ausbildung des Unterbaus und der Tragschichten erfolgen.

4.2.7 Betonitmatte

4.2.7.1 System

Bentonitmatten sind Produkte, bei denen Bentonit in Mengen zwischen 4 000 und 6 000 g/m² zumeist in trockener, granulierter oder pulverisierter Form zwischen Geotextilien so verpackt ist, daß es als Bahnenware vorgelegt werden kann. Die dichtende Funktion wird durch den hochquellfähigen Bentonit übernommen, der durch die geotextilen Komponenten vor mechanischen Einwirkungen geschützt und in seiner flächigen Verteilung zusammengehalten wird. Bentonite haben aufgrund ihres Mineralbestandes in gequollenem Zustand äußerst geringe konvektive Durchlässigkeiten ($k_f < 1 \cdot 10^{-11}$ m/s) und können daher gleiche wirksame Dichtigkeit wie wesentlich dickere mineralische Dichtungsschichten aufweisen (Herold, 1997).

Zur Untersuchung der Praxistauglichkeit wurden u.a. auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder neben Testfeldern zur Untersuchung des Wasserhaushalts und der Wirksamkeit von Abdichtungssystemen mit bindigen mineralischen Dichtungen, mit Kombinationsdichtungen und

mit einer erweiterten Kapillarsperre auch mehrere Testfelder zur Untersuchung der Wirksamkeit von Bentonitmatten in Abstimmung mit den Herstellern angelegt. Die Bentonitmatten erhielten in den Testfeldern eine 45 cm starke Auflast aus Dränagematerial und Bodenüberschüttung (15 cm Entwässerungsschicht und 30 cm Rekultivierungsschicht) (Melchior, 1996). Gemessen wurden die Niederschläge, die Durchsickerung unterhalb der Bentonitmatten und in Abständen auch die im Bentonit entstehenden Wasserspannungen. Zwischenzeitlich erfolgten vier lokale Aufgrabungen. Auf Einzelheiten zu den Untersuchungsergebnissen auf den Testfeldern wird unter Kap. 4.2.7.2 eingegangen.

4.2.7.2 Anforderungen

Nach Landesbauordnung NRW erteilt das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für nicht geregelte Bauprodukte, wenn deren Verwendbarkeit nachgewiesen ist (§ 21 BauO NRW). Bentonitmatten sind nicht geregelte Bauprodukte. Von verschiedenen Herstellern von Bentonitmatten liegen seit längerem Anträge auf Gleichwertigkeit für DK I nach TASI vor (Stand Mai 1997). Die bauaufsichtliche Beurteilung der Eignung von Bentonitmatten erfolgt durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) unter Beteiligung des Sachverständigenausschusses (SVA) "Deponieabdichtungen mit mineralischen Baustoffen".

Zur Erteilung einer bauaufsichtlichen Zulassung sind generell Nachweise zu folgenden Punkten erforderlich (Herold, 1997):

- Dichtigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser
- mechanische Widerstandsfestigkeit (innere Scherfestigkeit, Verformungseigenschaften, hydraulische Widerstandsfähigkeit)
- Beständigkeit gegenüber Alterung geotextiler Komponenten, infiltriertem Niederschlagswasser, Mikroorganismen und Pilzen, Witterung, Wassergehaltsänderungen, Pflanzen und Tiere
- Herstellbarkeit
- sonstige Anforderungen
- Qualitätssicherung von Produktion und Verlegung.

Wesentliche Kriterien zur Beurteilung von Bentonitmatten im Rahmen des Zulassungsverfahrens sind (Herold, 1997):

- Widerstandsfähigkeit und Dichtigkeit unter Einbaubedingungen
- Auswirkungen der Überlappungsstöße auf das Dichtungsverhalten
- Beurteilung der inneren Scherfestigkeit bei Standsicherheitsnachweisen an Böschungen

- Alterungsbeständigkeit der geotextilen Komponenten
- Verhalten bei zyklischen Wassergehaltsänderungen
- Qualitätssicherung bei der Produktion und Verlegung

Da für Abdichtungssysteme von Altlasten keine speziellen einzelfallunabhängigen Anforderungen existieren, sollten insbesondere die für Deponien herangezogenen Beurteilungskriterien für die Bewertung der Eignung von Bentonitmatten bei Altlasten mit herangezogen werden.

Die bis Ende 1995 vorliegenden Ergebnisse der Feldversuche in Hamburg-Georgswerder entsprachen nicht dem bis dahin anzunehmenden Verhalten von Bentonitmatten bzgl. Dichtigkeit und veranlaßten das DIBt nach Beratungen in SVA, von einer unmittelbar bevorstehenden Erteilung einer Zulassung zunächst Abstand zu nehmen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind 1996 veröffentlicht worden (Melchior, 1996).

Zusammenfassend wurde folgendes festgestellt:

- Nach ca. ½ Jahr Durchwurzelungserscheinungen
- Im Winter 94/95 entsprach Dichtigkeit den Erwartungen (hohe Wirksamkeit)
- Im niederschlagsarmen Sommer 95 starke Austrocknung mit Rißbildung
- Ab August 95 deutliche Durchsickerungen nach Niederschlagsereignissen
- Im Winter 95/96 Durchgang von zeitweilig 18-40 % des Niederschlagswassers

Um über die genaueren Vorgänge und den großflächigen Zustand der Testfelder weitere Aufschlüsse zu erhalten, erfolgte auf Beschluß des SVA im Juni 1996 eine großflächige Aufgrabung der Testfelder. Die Aufgrabung war von einem umfangreichen Untersuchungsprogramm vor Ort und an den entnommenen Proben begleitet.

Zusammenfassend erbrachten die Untersuchungen folgende Ergebnisse (Herold, 1997):

- Unterschiedliche Wassergehalte (40-160 Gew.%) zum Ausgrabungszeitpunkt.
- Bei Wassergehalten unter ca. 100 Gew.% Gefügebildungen.
- Wurzeln vorwiegend entlang von wasserführenden Gefügerissen.
- Völlige Heilung stark ausgetrockneter und gerissener Bereiche und entsprechender Ausgangsdichtigkeiten schienen sich auch nach Quellung nicht einzustellen (Durchlässigkeiten lagen bis 2 Zehnerpotenzen höher als von unbeanspruchten Proben).
- Na-Bentonit wurde innerhalb kurzer Zeit zu Ca-Bentonit umgewandelt. (Abnahme der Wasseraufnahmefähigkeit und des Quellvermögens auf ca. 30- 40 % der Ursprungswerte).

- Andere Ursachen für die festgestellten Durchsickerungen konnten nicht festgestellt werden.

Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse war folgendes zu berücksichtigen (Herold, 1997):

- Die Randbedingungen der Versuche (Rekultivierungsschicht nur 30 cm, extrem trockener Sommer) waren äußerst ungünstig und charakterisieren nicht den Normalfall.
- Andere Untersuchungen unter günstigeren Bedingungen zeigen ein allerdings nicht quantifizierbares besseres Verhalten.

Die Untersuchungen von Georgswerder können daher für die Verwendung von Bentonitmatten nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Sie stellen jedoch z. Zt. die einzige Grundlage dar, auf der Fragen im Zusammenhang mit Wassergehaltsänderungen unter Feldbedingungen annähernd quantifizierbar beantwortet werden können.

Es ergeben sich folgende Schlußfolgerungen (Herold, 1997):

- Einlagig verlegte Bentonitmatten können unter ungünstigen Randbedingungen austrocknen mit Rißstrukturen im Bentonit (auch Überdeckungsmächtigkeiten von 1 m können dies nicht zuverlässig verhindern).
- Eine völlige Heilung einmal stark ausgetrockneter und gerissener Bereiche durch erneute Quellung ist nicht zu erwarten.
- Die Umwandlung von Na- zu Ca- Bentonit bewirkt eine Änderung der Wasserspannungs-/Wassergehaltscharakteristik und erhöht die Gefahr der Rißbildung.
- Bewertung des dauerhaften Rißschließungsvermögens in Abhängigkeit der Klimarandbedingungen ist z. Zt. nicht möglich.
- An den Überlappungsbereichen der Bentonitmatten auf der Deponie Georgswerder trocknet die untere Matte auch unter extrem schlechten Randbedingungen nicht aus. Nachweise anderer geeigneter Einbaubedingungen aus Feldversuchen liegen z.Zt. nicht vor.
- Oberflächenabdichtungssysteme können nur im Zusammenhang aller zugehörigen Systemelemente funktionieren (Auflager, Entwässerungsschicht, Überdeckung).
- Quantitative Aussagen über die erforderliche Dimensionierung der Überdeckung zur Verhinderung der Austrocknung können derzeit nicht gemacht werden.

Ende April 1997 wurden vom DIBt abschließende Empfehlungen für die Zulassung von Bentonitmatten als Deponieabdichtung für DK I gegeben (s. Kap. 4.2.7.3).

Die Zulassungen würden nicht unmittelbar für Altlasten gelten. Die für Deponien nach DK I geltenden Anforderungen sollten aber nach Auffassung des LUA neben den standortspezifischen Randbedingungen auch für Altlasten herangezogen werden.

4.2.7.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Die Systemeigenschaften und somit die Einsetzbarkeit der Bentonitmatte im Rahmen eines konkreten Einzelfalls können anhand der in der bauaufsichtlichen Zulassung genannten Anforderungen beurteilt werden. Nachfolgend werden einige generelle Aspekte aufgeführt:

Setzungsempfindlichkeit:

- Bentonitmatten sind relativ **setzungsunempfindlich** aufgrund der hohen biaxialen Dehnungsfähigkeit. Aufgrund der geringen Dicke besteht jedoch die Gefahr der Umlagerung des Bentonits und dann des Entstehens erhöhter Wasserdurchlässigkeiten.

Potentielle Schwachstellen:

- Die Anschlüsse der Bentonitmatten untereinander und an Leitungen, Schächte etc. sind **potentielle Schwachstellen**.

Anforderungen an den Untergrund:

- Das Planum muß trocken und eben sein und darf keine spitze und scharfkantige Oberfläche besitzen, d.h. es sollte z.B. aus einem Sandbett bestehen. Die ZTVE und die Verlegeanleitungen der Hersteller sind zu beachten.

Langzeitbeständigkeit:

- Im Laufe der Zeit können die einwertigen Na-Ionen bei entsprechendem Angebot an höherwertigen Kationen ausgetauscht werden, was zu einer Verringerung des Quellvermögens führt.
- Aufgrund der größeren Oberflächenanteile der feinen Kunststofffasern ist die Langzeitbeständigkeit der Materialien grundsätzlich kritischer zu betrachten als bei KDB's. Stabilisierend auf die Langzeitbeständigkeit wirkt sich die Einbettung der Kunststofffasern in den Bentonit aus. Die Stützkonstruktion aus Kunststoff kann langfristig ihre konstruktive Wirkung verlieren. Dies führt dazu, daß sich der Bentonit als das die Dichtigkeit bestimmende Element möglicherweise verlagert und die Dichtwirkung abnimmt.

- Die Temperaturbeständigkeit ist für Bentonit und das Trägermaterial getrennt zu betrachten. Höhere Temperaturen führen zu einer Wasserbewegung aus dem Bentonit in die darüberliegenden Schichten und die Atmosphäre und damit zur Austrocknung des Bentonits.

Standsicherheit:

- **Neigungen** bis 1 : 3 sind problemlos zu realisieren. Bei steileren Neigungen sollte ein Standsicherheitsnachweis geführt werden.
- Die Scherkraftübertragung zwischen den verschiedenen Elementen der Bentonitmatte ist ein wesentlicher Aspekt der Standsicherheit. Langzeitversuche stehen noch aus.

Dichtigkeit:

- Der aktuelle Kenntnisstand bzgl. der Dichtigkeit wurde in Kap. 4.2.7.2 ausführlich beschrieben. Es ist derzeit nicht möglich, auf der Basis von Feldversuchen oder langjährigen Erfahrungen die aufeinander abgestimmte Dimensionierung aller Systemelemente im Zusammenhang mit Bentonitmatten vorzunehmen. Die Parameter der die Bentonitmatte umgebenden Systemelemente, die maßgebenden Einfluß auf deren Austrocknung und damit die Dichtigkeit haben, können zwar benannt, aber allgemeingültige Angaben über die Einstellung dieser Parameter zur Verhinderung der Austrocknung der Dichtungsschicht können z. Zt. nur unpräzise gemacht werden. Andererseits existieren Rechenmodelle, mit denen der Wasserhaushalt und das Austrocknungsverhalten beschrieben werden können. Bemessungen danach sind jedoch noch nicht Stand der Technik. Basierend auf den vorliegenden Erkenntnissen wurden daher für die Zulassung von Bentonitmatten die notwendigen Randbedingungen so festgelegt, daß nach heutigem Kenntnisstand eine sichere Verwendung dieser Produkte gewährleistet ist.

Nach den Beratungen im Sachverständigenausschuß (SVA) ist vom DIBt für die Zulassung von Bentonitmatten für Abdichtungssysteme der Deponieklasse I ein abgestuftes Konzept vorgesehen, das der Entwicklung auf diesem Bereich Rechnung trägt. Aufgrund der Bedeutung auch für die Altlastensicherung soll an dieser Stelle darauf näher eingegangen werden. Das Konzept ist HEROLD (1997) entnommen. Es sieht im einzelnen folgende Möglichkeiten vor:

1. Zulassung von Bentonitmatten in zweilagiger Verlegung mit Mindestanforderungen an die Rekultivierungsschicht nach TASI.
2. Zulassung von modifizierten Bentonitmattenprodukten nach einer Beurteilung anhand eines noch in der Entwicklung befindlichen Standardaustrocknungsversuches.
3. Zulassung von Bentonitmatten unter bestimmten Systemrandbedingungen mit entsprechenden Nachweisen (Testfelder, Austrocknungsversuche etc.).
4. Zulassung von Bentonitmatten unter Berücksichtigung von Rißschließungsvorgängen nach Austrocknung anhand entsprechender Prüfverfahren, die z. Zt. noch nicht vorliegen.

Zusammenfassend ist bzgl. einer Verwendung von Bentonitmatten für die Sicherung von Altlasten festzustellen, daß neben einzelfallspezifischen Randbedingungen die in den bauaufsichtlichen Zulassungen auf Gleichwertigkeit für die Deponieklasse I nach TASI formulierten Anforderungen zu beachten sind.

4.2.7.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Die Verlegeanleitungen der Hersteller, die Bestandteil der bauaufsichtlichen Zulassung sind, müssen unbedingt beachtet werden.

Die Verlegung muß bei trockener und frostfreier Witterung erfolgen. Das Planum muß trocken sein. Bei Wasserzutritt während des Einbaus ist die Matte auszubauen ($w > 50\%$). Unverzüglich nach Verlegung muß die Bentonitmatte mit einer Mindestauflast überdeckt werden, da der Quellvorgang nur unter Auflast zulässig ist. Aufgrund der geringen Dicke ist eine Beschädigung während der Bauphase leicht möglich. Eine Befahrung mit Verlegegerät (dynamische Belastung) darf nur bei ausreichender Überdeckung erfolgen. Die zur Überdeckung verwendeten Schüttmaterialien müssen so beschaffen sein, daß Beschädigungen an der Bentonitmatte ausgeschlossen werden. Es muß ein Schutzvlies aus Sand oder Geotextil aufgebracht werden. Die Verlegung muß immer in Entwässerungsrichtung mit dachschindelartiger Überlappung in Fließrichtung erfolgen. Die Verbindung der Bentonitmatten untereinander kann auf unterschiedliche Arten (doppelseitige Haftbänder, Bentonitgel, Bentonitgranulat, Bitumenemulsionen) vorgenommen werden. Für die Herstellung von Anschlüssen und Durchdringungen liegen bisher keine standardisierten Verfahren vor. Die Vorgaben der Hersteller sind zu beachten. Ein Austrocknen der Bentonitmatten führt zu Undichtigkeiten und muß verhindert werden.

Vor Baubeginn muß von der ausführenden Firma ein Verlegeplan erstellt und mit dem Auftraggeber und/oder Fremdüberwachung abgestimmt werden. Ein Bestandsplan der Bauausführung dient der Dokumentation der verlegten Bentonitmatten. Die Anlegung eines

Probefeldes ist erforderlich, um einerseits die Eignung der Geräte und andererseits die Sachkunde der Firma zu überprüfen. In der arbeitstäglichen Dokumentation der Verlegearbeiten sollte u.a. auf den Zustand des Auflagers, das Datum, den genauen Verlegeort, die Rollen-Nr., die Probenahmestellen und die Witterungsbedingungen hingewiesen werden (Heyer, 1995).

4.3 Dichtwand

Dichtwände werden als vertikale Barrieren zur Einschließung von Altlasten hergestellt. Das Ziel von Dichtwänden ist die Verhinderung einer horizontalen Ausbreitung der Schadstoffe im Untergrund.

Durch eine Dichtwand wird sowohl verhindert, daß kontaminierte Sickerwässer aus der Altlast austreten können, als auch, daß eine Durchströmung der Altlast durch Grundwasser oder Schichtwasser erfolgt. Zur Verhinderung einer Migration gasförmiger Schadstoffe in der ungesättigten Bodenzone wird die Dichtwand in der Praxis nur sehr selten eingesetzt. Bei Dekontaminationsmaßnahmen dienen Dichtwände z.B. der räumlichen Begrenzung von hydraulischen Maßnahmen oder in-situ-Maßnahmen. Dichtwände werden i.d.R. in Kombination mit einer Oberflächenabdichtung oder hydraulischen Maßnahmen ausgeführt.

Nach Jessberger und Geil (1993a) sind Dichtwände folgenden Beanspruchungen ausgesetzt:

Physikalische Beanspruchungen:

- statische Belastungen (z.B. Erddruck) im Bauzustand und nach der Fertigstellung
- hydraulisches Gefälle durch unterschiedliche Wasserstände innerhalb und außerhalb des Dichtwandkastens
- Durchströmung mit Sickerwasser oder Grundwasser
- Erosion durch Sickerwasser- und Grundwasserströmung
- ungleiche Setzungen, z.B. infolge von tektonischen Bewegungen oder Bergbaueinwirkungen.

Chemische Beanspruchungen:

- Sickerwässer und flüssige Inhaltsstoffe der Altlast
- kontaminiertes Grundwasser
- gasförmige Schadstoffe.

Biologische Beanspruchungen:

- Biologische Beanspruchungen sind nicht relevant.

4.3.1 System

Für den Spezialtiefbau wurde eine Reihe von Dichtwänden entwickelt, die auch bei Sicherungsmaßnahmen von Altlasten angewendet werden können. Man unterscheidet dabei nach den drei Herstellungsverfahren:

■ Aushub des anstehenden Bodens und Einbau eines Abdichtungsmaterials

Schlitzwand:	Einphasen-Wand	Die eingebrachte Bentonit-Zement-Suspension verbleibt im Boden und härtet aus.
	Zweiphasen-Wand	Die anfänglich eingebrachte Bentonit-Stützsuspension wird durch die eigentliche Dichtwand-suspension ersetzt.
	Kombinations-dichtwand	I.d.R. eine Einphasen-Schlitzwand mit zusätzlichem Dichtungselement.
	überschnittene Bohrpfahlwand	Durch das Niederbringen von verrohrten Bohrungen, die sich überschneiden, und dem anschließenden Einbringen der Dichtwandmassen in die Bohrlöcher entsteht eine geschlossene Wand.



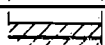
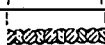
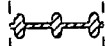



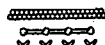
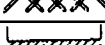
■ Verdrängung des anstehenden Bodens und Einbau eines Abdichtungsmaterials

Schmalwand
Spundwand
gerammte Schlitzwand.

■ Verringerung der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens

Injektionswand
Hochdruckinjektionswand
Gefrierwand.

In Abbildung 7 (Beine et al., 1994) werden die verschiedenen Dichtwandssysteme schematisch dargestellt. Als Kennwerte sind z.B. die erreichbaren Tiefen, üblichen Wanddicken und die im allgemeinen erzielbaren k_f -Werte angegeben. Auf die Herstellungsverfahren der verschiedenen Dichtwandssysteme wird nicht näher eingegangen. Es wird hier auf die entsprechende Literatur, z.B. GDA Empfehlungen, E-4 (GDA, 1993), ITVA-Fachauschuß (Beine et al., 1994), Fischer/Köchling (Fischer/Köchling, 1995) oder DVWK-Merkblatt 'Dichtungselemente im Wasserbau' (DVWK, 215/1990) verwiesen.

Prinzip	Dichtwand-system	Grundriß	Böden	Material	Tiefe (m)	Dicke (m)	k-Wert (m/s) mineral. Material
Aushub des anstehenden Bodens und Einbau eines Abdichtungsmaterials (s. 4.2)	Schlitzwand-Einphasen-Verfahren		bei Torf/Huminsäuren begrenzt anwendbar	Bentonit-Zement-Suspensionen mit/ ohne Füllstoff	ca. 35	0,5-1,5	$\leq 5 \times 10^{-10}$
	Schlitzwand-Zweiphasen-Verfahren		wie vor	Bentonit-Zement-Suspensionen Erdbeton	> 50	0,4-1,5	$\leq 1 \times 10^{-10}$
	Schlitzwand Kombinationsdichtung		wie vor	Bentonit-Zement-Suspensionen, Kunststoff-Dichtungsbahnen (z.B. PEHD)	ca. 35	> 0,6	wie oben
	überschnittene Bohrpfehlwand		keine Einschränkungen bei verrohrtem Bohrgut	Erdbeton	ca. 20	0,6-0,8	$\leq 1 \times 10^{-10}$
Verdrängung des anstehenden Bodens und Einbau eines Abdichtungsmaterials (s. 4.3)	Schmalwand			Bentonit-Zement-Suspensionen mit Füllstoff	ca. 25	0,07-0,20	$\leq 1 \times 10^{-10}$
	Spundwand		rammfähige bzw. rüttelfähige	Stahl	ca. 25	0,01-0,02	.1)
	gerammte Schlitzwand			Erdbeton	15-20	0,4	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Verringerung der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens (s. 4.4)	Injektionswand		in injizierbaren	Zement-, Ton-Zement-Suspensionen, Silikat-Gele	> 100 ²⁾	einstellbar	$\leq 1 \times 10^{-8}$
	Hochdruck-Injektionswand		auch in sehr feinkörnigen	Bentonit-Zement-Suspensionen mit/ohne Füllstoff	> 100 ²⁾	0,2-0,8	$\leq 1 \times 10^{-10}$
	Gefrierwand			flüssiger Stickstoff, Gefrieranlage	> 100 ²⁾	>0,8-1,0	-

1) Restsickermenge bei gedichtetem Schloß verriegelbar Schlitzwand
 2) im wesentlichen begrenzt durch den vertretbaren technischen Aufwand

Abb. 7: Dichtwandssysteme und Erfahrungswerte (ITVA, 1995)

In der Altlastensicherung sind bisher als vollständige Wand vor allem Dichtwände mit Aushub oder Verdrängung des anstehenden Bodens und Einbau eines Abdichtungsmaterials ausgeführt worden (Beine, 1994). Verfahren mit einer Verringerung der Durchlässigkeit werden i.d.R. nur als Teillösungen eingesetzt.

Als Abdichtungsmaterial stehen membranartige Dichtungselemente und Dichtungsmassen zur Verfügung. Bei den Dichtungsmassen unterscheidet man zwischen konventionellen mineralischen Dichtungsmassen und Fertigmischungen. Als membranartige Dichtung stehen die folgenden Elemente zur Verfügung (Beine, 1994):

- Stahlbohlen,
die zur Verbesserung der Beständigkeit beschichtet werden können
- Kunststoffdichtungsbahnen (i.a. aus HDPE)
die zur Verhinderung einer Diffusion mit einer Einlage, z.B. aus Aluminium, versehen werden können
- Glaselemente
bisher nur im Großversuch eingesetzt.

Die Zusammensetzung mineralischer Dichtwandmassen ist auf das Herstellungsverfahren und die Dichtungsanforderungen abzustimmen. Hauptbestandteile der Dichtungsmasse sind

Bentonit, hydraulische Bindemittel (z.B. Zement), Wasser, mineralische Füllstoffe (z.B. Steinhohl, Steinkohlenfilteraschen). Außerdem werden je nach Erfordernis Zusatzmittel, wie z.B. Erstarrungsverzögerer zugegeben. Neben den konventionellen Dichtwandmassen stehen auch Fertigmischungen zur Verfügung, die in der Praxis bereits erprobt wurden.

4.3.2 Anforderungen

Dichtwände müssen einerseits die bautechnischen Anforderungen erfüllen und andererseits den Anforderungen der Altlastensituation am Standort gerecht werden.

Für die Auswahl des geeigneten Herstellungsverfahrens und der Dimensionierung der Dichtwand sind die Tiefe der Dichtwand und die Untergrundverhältnisse (z.B. Bodenarten, Rammbarkeit, Grundwasserverhältnisse, Hindernisse, zukünftige mechanische Beanspruchungen) maßgebend. Die bautechnischen Nachweise sind unter Berücksichtigung der Lastfälle Bauzustand und Gebrauchszustand zu führen.

Die Anforderungen an die Dichtwand beziehen sich vor allem auf die Dichtigkeit, die Beständigkeit der Dichtungsmaterialien gegenüber dem Schadstoffinventar der Altlast und ein hohes Schadstoffrückhaltevermögen.

Die wichtigsten Anforderungen sind in den folgenden Empfehlungen zusammengefaßt:

<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an die Konstruktion und Ausführung (u. a. Standsicherheit) 	DIN 4126: Ortbeton-Schlitzwände; Konstruktion und Ausführung, 1986 ITVA-Arbeitshilfe 3/94 (Beine et al., 1994)
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an Schlitzwandtone (Stoffanforderungen) 	DIN 4127: Schlitzwandtone für stützende Flüssigkeiten; Anforderungen, Prüfverfahren, Lieferung, Güteüberwachung, 1986
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an die geotechnische Eignungsprüfung 	GDA-Empfehlungen E 3-2
<ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen an das Herstellungsverfahren 	GDA-Empfehlungen E 4-1
<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätssicherung 	GDA-Empfehlungen E 5-1 u. 5-3

Die grundsätzliche Eignung mineralischer Dichtwandmassen ist in jedem Einzelfall durch Eignungsprüfungen nachzuweisen. Sie sollen nur von speziell hierfür ausgerüsteten Prüfinstituten vorgenommen werden. In der Regel ist folgendes zu bestimmen (GDA, 1993):

- Zusammensetzung und Eigenschaften der Ausgangsstoffe
- Eigenschaften der frischen Dichtwandmasse
- Festigkeit und Spannungs-Verformungs-Verhalten der erhärteten Dichtwandmasse

- Durchlässigkeit der erhärteten Dichtwandmasse
- Dichte und Wassergehalt.

Bei dem Einsatz von Dichtwänden sollten Aussagen zur chemischen Beständigkeit der Dichtwandmaterialien gegenüber der im Einzelfall vorliegenden Kontamination getroffen werden.

4.3.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Auf die Auswahl des Dichtwandsystems haben die standortspezifischen Gegebenheiten einen maßgebenden Einfluß. Aus Abbildung 6 wird deutlich, daß die Bodenart (Rammfähigkeit) und die gewünschte Tiefe wichtige Kriterien für die bautechnische Umsetzung bilden. Weiteren Einfluß hat die Höhe des Grundwasserstandes. Falls die Trassenführung durch kontaminierte Bereiche verläuft, hängt die Menge kontaminierten Bodenaushubs (z.B. bei Schlitzwandverfahren mit Bodenaushub) von der erstellten Wanddicke ab.

Neben den standortspezifischen Eigenschaften kommen auch den systemabhängigen Eigenschaften bei der Auswahl und Planung große Bedeutung zu. Im folgenden werden die wichtigsten Kriterien dargestellt, anhand derer die Eignung eines Systems beurteilt werden kann. Einige der Aspekte sind auch in der Veröffentlichung des ITVA-Fachausschusses (Beine et al., 1994) dargestellt.

Dichtigkeit:

- Mineralische Dichtungsmaterialien weisen eine **spezifische Restdurchlässigkeit** auf. Diese kann sich unter dem Einfluß von Sickerwasser verändern. Außerdem beeinflussen die Temperatur und die Viskosität des umströmenden Mediums sowie die Aushärtungszeit die Restdurchlässigkeit.
Durch die Einbindung des Dichtwandfußes in eine geringdurchlässige Bodenschicht wird eine Umströmung der Dichtwand verhindert.
- Durch Dichtungsmassen kann eine konvektive und diffusive **Schadstoffbewegung** stattfinden. Die konvektiven Transportvorgänge können durch Pumpmaßnahmen innerhalb des Dichtwandkastens so gesteuert werden, daß sich ein hydraulisches Gefälle zum Dichtwandkasten hin ausbildet. Konvektion und Diffusion können fast vollständig durch zusätzliche membranartige Dichtungselemente unterbunden werden. So kann z.B. in eine KDB bei der Herstellung eine Aluminiumschicht integriert werden, die für schnell diffundierende Stoffgruppen eine zusätzliche Barriere darstellt.

- Um eine ausreichende Dichtigkeit auch bei **Setzungen** und **Verformungen** zu garantieren, ist in Gebieten, in denen mit tektonischen Bewegungen oder Bergsenkungen gerechnet werden muß, auf eine ausreichende Verformbarkeit des Dichtwandmaterials zu achten. Diese kann durch Kompressions- oder Triaxialversuche nachgewiesen werden.
- **Potentielle Schwachstellen** und Undichtigkeiten bilden bei allen Dichtwänden die Fugen. Eine sorgfältige Ausführung ist hier sowohl bei dem Anschluß mineralischer Dichtungslamellen als auch bei der Verbindung membranartiger Dichtungselemente zu gewährleisten. Typische Schwachstellen bei Schlitzwänden entstehen z.B. bei großem Versatz zwischen zwei Lamellen, wenn die Mindestdicke unterschritten wird oder das Überschnittmaß zu gering ist.

Langzeitbeständigkeit:

- Dichtwände werden im Wasserbau seit 50 Jahren eingesetzt. Rechnerische Ansätze weisen auch bei starker Betonaggressivität von Wässern eine **hohe Lebensdauer** der Dichtwände nach. Die häufig angesetzte Lebensdauer von mindestens 50 Jahren berücksichtigt den Stand der Technik und die Zeitdauer der Schadstoffausbreitung durch die Dichtwand (Geil, 1994).
- Die **Eignung** der Dichtwandmassen ist in der Regel gegeben, wenn die Anforderungen (s.o.) eingehalten sind.
- Die Langzeitbeständigkeit von Dichtwandmassen kann durch **Ausspülung** der bindemittel- und zementhaltigen Reaktionsprodukte reduziert werden. Die **Erosionssicherheit** kann über die einaxiale Druckfestigkeit bestimmt werden. Zusätzlich sollte die Filterstabilität der Dichtwandmasse nachgewiesen werden (Jessberger und Geil, 1993c).
- In jedem Einzelfall müssen Aussagen zur **chemischen Beständigkeit** der Abdichtungsmaterialien gegenüber dem erwarteten Schadstoffinventar getroffen werden. Bei aggressiven Sickerwässern sind evtl. Triaxialversuche mit erhöhten Gradienten durchzuführen.
- **Lokale Fehlstellen** können, falls sie festgestellt werden, ggf. durch Injektionen in oder vor der Wand behoben werden.
- Werden **undichte Wandabschnitte** festgestellt, können diese abhängig von der Art der Fehlstelle und dem Dichtwandsystem repariert werden. Bei Schlitzwänden kann eine Dichtwand innerhalb der zu reparierenden Dichtwand herge-

stellt werden. Dazu wird in die alte Wand ein neuer Schlitz mit geringerer Dicke gefräst und mit Dichtmaterial gefüllt. Bei allen Dichtwandssystemen ist die Herstellung einer Vorsatzwand vor dem reparaturbedürftigen Abschnitt möglich. Maßgebend für die Systemdichtigkeit ist die Fugendichtigkeit im Anschluß an die vorhandene Wand.

Standicherheit:

- Für den Bauzustand ist die **Standicherheit des Schlitzes** sicherzustellen. Die Dichtwandmassen müssen eine auf den Erddruck abgestimmte Dichte (üblich ca. 1,2 t/m³) haben. Bei der Anlieferung und beim Einbau muß das Material kontinuierlich auf seine Eigenschaften (z.B. Dichte, Auslaufzeit, Fließgrenze) kontrolliert werden (s. Bauausführung und Qualitätssicherung).
- Als **grundbautechnische Nachweise** im Gebrauchszustand müssen z.B. Sicherheit gegenüber Erddruck und hydraulischen Grundbruch nachgewiesen werden.
- Bei **vorhandener Bebauung** in unmittelbarer Nähe dürfen bei der Herstellung der Dichtwand keine großen Erschütterungen auftreten.

Herstellbarkeit/Baustellenrobustheit:

- Die Länge der Schlitzwandelemente richtet sich nach den vorhandenen Randbedingungen: Bodenkennwerte, Bodenschichtung, Grundwasserstand, Randbebauung und Verarbeitbarkeit der stützenden Flüssigkeit.
- Die Dichtwandlamellen müssen mit einer großen Lagegenauigkeit in vertikaler und horizontaler Richtung errichtet werden. Hier sind Steuerungs- und Kontrollmöglichkeiten vorzusehen. Die Maßgenauigkeit ist auch abhängig vom Baugerät für die Schlitzwandherstellung (z.B. Schlitzwandfräse < 0,5 %, Seilgreifer ca 1 % Abweichung von der Vertikalen). Die Leitwand muß ausreichend dimensioniert (mind. 1 m hoch) sein. Bei unzulässigen Abweichungen müssen die Lamellen durch geeignete Maßnahmen sofort korrigiert werden.
- Die dichte Einbindung in die geringdurchlässige Bodenschicht ist schwer kontrollierbar. Die genaue Tiefenlage dieser Schicht muß vor der Bauausführung durch Sondierungen bzw. Bohrungen detailliert erkundet werden. Für den Einzelfall sind praktikable vor-Ort Methoden zur Überprüfung der Einbindung zu erarbeiten. Je nach Herstellungsverfahren sind außerdem Rammprotokolle, Schichtenverzeichnisse oder Lamellenprotokolle zu führen.

- Es muß ein zügiger Baufortschritt angestrebt werden, um Qualitätseinbußen infolge planmäßiger und unplanmäßiger Unterbrechungen des Bauablaufs zu vermeiden. Um Schwierigkeiten beim Lamellenanschluß zu vermeiden, sind maximale Stillstandzeiten, die von den Aushärtungszeiten der eingesetzten Stütz- bzw. Dichtwandsuspensionen abhängen, zu berücksichtigen.
- Bei Dichtwänden aus mineralischen Dichtungsmassen ist eine Mindestdicke einzuhalten. Im Fugenbereich sollte deshalb der Versatz zwischen zwei Lamellen so reduziert werden, daß die Mindestdicke garantiert werden kann. In den GDA-Empfehlungen sind 60 cm vorgegeben.
- Bei dem Einsatz von Zweimassenverfahren (Stütz- und Dichtmasse) ist der vollständige Austausch der beiden Massen zu kontrollieren. Die Dichte der Dichtmasse kann z.B. kontinuierlich während des Füllens kontrolliert werden. Um die ordnungsgemäße Durchführung des Kontraktorverfahrens sicherzustellen, kann außerdem der jeweilige Lamellen-Füllstand kontrolliert und mit der Höhenlage der Austrittsöffnung des Verfüllgerätes verglichen werden (Kuntsche, 1995).
- Bei dem Einsatz von Injektionen zum Abdichten potentieller oder vorhandener Fehlstellen in inhomogenem Untergrund besteht die Möglichkeit einer unkontrollierten Verteilung des Materials.
- In sehr durchlässigem Untergrund kann es zu einem hohen Suspensionsverlust kommen.
- Der Flächenbedarf für Baustelleneinrichtung (im allgemeinen Mischstation mit Vorratssilos, Quellbecken für Bentonit, Unterkunft etc.) ist von den gewählten Verfahren, eingesetzten Materialien, Umfang und Größe der Baumaßnahme und Tiefe der Wand abhängig. Entlang der Dichtwandtrasse ist eine Baustraße von 8 bis 11 m Breite vorzusehen (Beine et al., 1994).
- Problematisch bei der Dichtwandherstellung sind kreuzende Leitungen. Diese sollten wenn möglich vermieden werden. Notfalls müssen hier Detaillösungen für Kreuzungsbauwerke erarbeitet werden. Leitungen können z.B. zusammengeführt und gemeinsam durch die Dichtwand geführt werden.

4.3.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Bei der Qualitätssicherung der Bauausführung ist zu berücksichtigen, daß die Funktionstüchtigkeit der fertiggestellten Abdichtung nur durch indirekte Kontrollen geprüft werden kann und Fehlstellen schwer zu lokalisieren sind.

Vor dem Beginn der Ausführung sollte deshalb ein Qualitätssicherungsplan (QSP) erstellt werden. In den GDA-Empfehlungen E-5 werden Hinweise für die Qualitätssicherung vertikaler Dichtwände gegeben. Diese Hinweise sollten als Grundlage für die Erstellung des QSP herangezogen werden. Vor der Festlegung des QSP für das konkrete Bauobjekt müssen die grundsätzlichen Anforderungen (z.B. zulässige Wasserdurchlässigkeit oder Mindestfestigkeit) definiert werden und die Eignung des Verfahrens im Labormaßstab nachgewiesen werden. Der projektbezogene QSP enthält die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Eigen- und Fremdprüfer, die Herstellungsbeschreibung des Abdichtungssystems sowie Art und Umfang der Qualitätsprüfungen der Eingangs-, Verarbeitungs- und Abnahmeprüfung. Bei der Qualitätssicherung für die Sonderabfalldeponie Malsch (Kuntsche, 1995) hat es sich als sinnvoll herausgestellt, den QSP dem Arbeitsablauf entsprechend in die drei Hauptabschnitte „Eingangskontrolle“, „Überwachung der Dichtwandarbeiten“ und „Laborversuche“ zu gliedern. Zur Standardisierung und Vereinfachung sollten für alle Kontrollen Checklisten und Formblätter entworfen werden. Außerdem empfiehlt sich, für jede Dichtwandlamelle ein Herstellungsprotokoll mit den wichtigsten Daten zu erstellen. Hierzu zählen z.B. Datum, Uhrzeit, festgestellte Schichtenfolge, Vertikalität, eingebrachte Suspensionsmenge, Anzahl und Bezeichnung von Rückstellproben und besondere Vorkommnisse. In Abbildung 8 wird ein Beispiel aus dem QSP der Sonderabfalldeponie (SAD) Malsch für den Ablauf der Qualitätssicherung gegeben.

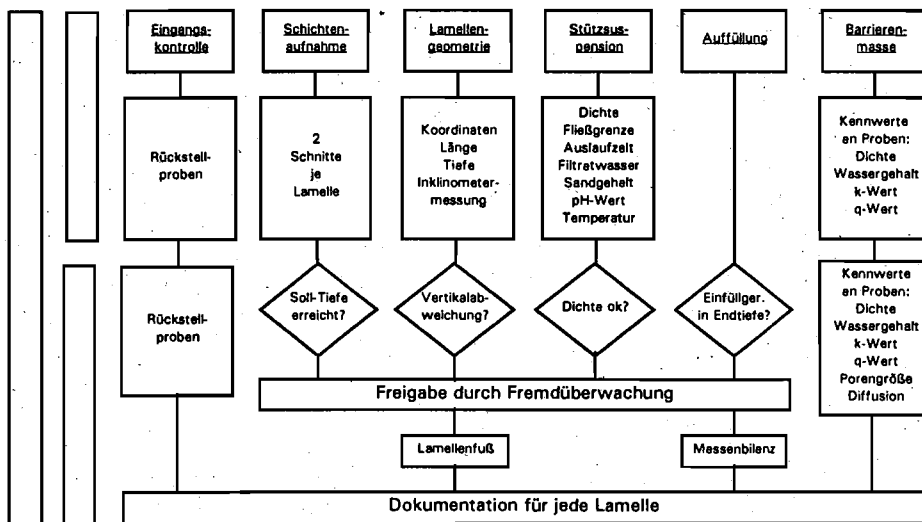


Abb.8: Ablauf der Qualitätssicherung bei der SAD Malsch (Kuntsche, 1995)

Vor Beginn der Ausführung sollte das Herstellungsverfahren an einer Probedichtwand oder wenn möglich an einem Dichtwandkasten erprobt werden. Probedichtwand und Dichtwandkasten dienen dazu, das ausgewählte Verfahren, Herstellungsprinzip, Misch- und

Einbaugeräte sowie Dichtwandmaterialien in-situ zu testen und ggf. an die örtlichen Verhältnisse anzupassen. Ein Meßstellensystem außerhalb und innerhalb des Probedichtwandkastens dient der Funktionsprüfung durch Absenken des Wasserspiegels innerhalb des Kastens. Die Reaktion der Meßstellen beim Wiederanstieg (Zeit) läßt Rückschlüsse auf die Dichtigkeit zu (Beine, 1994). Aus der Probedichtwand sollten Bohrkern für Durchlässigkeitsversuche entnommen werden. Bei den Bohrverfahren ist dabei zu beachten, daß keine Risse in der Dichtwand entstehen. Für weitere visuelle Prüfungen kann die Dichtwand (teilweise) wieder ausgegraben werden. Anhand der gewonnenen Ergebnisse ist der Qualitätssicherungsplan zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Nach Abschluß der Bauausführung wird eine Systemprüfung durchgeführt. Bei Dichtwänden erfolgt die Systemprüfung über Pumpversuche. Der Pumpversuch wird möglichst immer so ausgeführt, daß kontaminiertes Wasser nicht in unbelastete Bereiche verlagert wird. Das bedeutet, daß im Dichtwandkasten das hydraulische Gefälle nach innen gerichtet wird.

4.4 Immobilisierung

Durch eine Immobilisierung soll kontaminiertes Material so beeinflußt werden, daß Schadstoffemissionen in die Umwelt langfristig unterbunden werden oder unterhalb festgelegter Höchstwerte liegen. Eine Eliminierung oder Zerstörung der Schadstoffe findet dabei in der Regel nicht statt. Die bodenmechanischen Eigenschaften des Materials werden i.d.R. außerdem so verändert, daß es tragfähiger und leichter abzulagern ist.

Einsatzbereiche für Immobilisierungsverfahren im Rahmen der Altlastensicherung sind:

- Böden mit hohem Feinkornanteil
- Schlamm- oder staubförmige Abfälle
- Mischkontaminationen, vom Schadstoffinventar abhängig
- Wenig sensible Nutzungen (z.B. Gewerbegebiet)
- Verwertung des Immobilisierungsproduktes zur Baugrundverbesserung.

Immobilisierungsprodukte sollten grundsätzlich so konditioniert werden, daß sie folgenden Beanspruchungen standhalten können:

Physikalische Beanspruchungen:

- Statische Belastung aus unveränderlichen Lasten (nach Wiedereinbau aufgrund der Folgenutzung)

- Witterungseinflüsse (Frost-Tau-Zyklen).

Chemische Beanspruchungen:

- Niederschlag (pH-Wert)
- Auslaugung infolge intensiver Durchspülung (Konvektion) und Diffusion von Schadstoffen.

Biologische Beanspruchungen:

- Mikroorganismen (zu dieser Fragestellung besteht noch erheblicher Forschungsbedarf).

4.4.1 System

Zur Immobilisierung von Schadstoffen existieren folgende Verfahren:

- die mechanische Verfestigung durch den Einsatz von Bindemitteln, bei der die Durchlässigkeit herabgesetzt und die Löslichkeit der Schadstoffe gesenkt wird
- die Verglasung, bei der die Schadstoffe inertisiert werden (wegen der bei der Verglasung auftretenden Entgasungs- und Verbrennungsprozesse kann dieses Verfahren auch als thermische Behandlung gesehen werden (SRU, 1990))
- die Fixierung durch chemischen Einbau in Verbindungen bzw. Mineralneubildung und Chemisorption.

Die angebotenen Verfahren können grundsätzlich in Ex-situ-Verfahren (on site/off site) und In-situ-Verfahren unterteilt werden. Da In-situ-Verfahren (Injektionsverfahren), Verfahren zur chemischen Fixierung und Verglasung in der Praxis von sehr geringer bis keiner Bedeutung sind, wird im folgenden ausschließlich auf Verfestigungsverfahren eingegangen.

Bei der **Immobilisierung durch Verfestigung** wird dem kontaminierten Ausgangsmaterial ein Bindemittel zugemischt, um ein mechanisch stabiles Produkt zu erhalten. Die Schadstoffe werden dabei hauptsächlich durch physikalische Wirkungsmechanismen immobilisiert. Zusätzlich können jedoch auch chemische Bindungen zwischen Schadstoff und Additiv entstehen. Durch die Verfestigung wird die Staubbildung verringert und die Überführung von fließfähigen Stoffen in einen festen Aggregatzustand erreicht.

4.4.2 Anforderungen

Im Anhang H der TA Abfall (Teil 1) liegen für das Verfestigungsprodukt aus besonders überwachungsbedürftigen Abfällen genormte Prüfmethode und Prüfwerte vor. Sie gelten für die Ablagerung auf Sonderabfall- oder Übergangsdeponien, so daß bei einer Sicherung von

Altlasten geprüft werden muß, ob die gestellten Anforderungen ausreichen. Auch die Empfehlungen des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen zu Prüfverfahren und Richtwerten in bezug auf mechanische Stabilität und Auslaugverhalten beziehen sich auf Immobilisierungsprodukte aus Abfall (LWA-Materialien Nr. 1/94). Für verfestigte Böden können diese Anforderungen und Empfehlungen, insbesondere wenn eine Wiederverwertung geplant ist, als Mindeststandards angesehen werden. I.d.R. sind zusätzliche Sicherungsmaßnahmen (z.B. Oberflächenabdichtung) erforderlich.

Wird ein Wiedereinbau vor Ort oder eine Verwertung des Verfestigungsproduktes als Baumaterial angestrebt, ist die technische Regel 'Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall' (LAGA, 1994) zu berücksichtigen. Daneben kann als Orientierung die Richtlinie RAL-RG 501/2 'Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen' (1994) des Deutschen Instituts für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. dienen. Bei einer Verwendung im Straßenbau kommen technische Lieferbedingungen und Prüfvorschriften (z.B. technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB), Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB)) sowie Richtlinien (z.B. Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB)) aus diesem Bereich zum Tragen.

Grundsätzlich sollte das Immobilisierungsprodukt folgende Anforderungen erfüllen:

- Eine zusätzliche Belastung der Umwelt durch die eingesetzten Bindemittel und Additive ist auszuschließen.
- Die Eluierbarkeit bzw. Löslichkeit der Schadstoffe sollte entscheidend vermindert sein.
- Durch Verminderung der Porosität ist die Wasserdurchlässigkeit zu verringern.
- Die Druck-, Trag- und Lagerfestigkeit sollte nach der Verfestigung verbessert sein.
- Die mechanische Langzeitstabilität muß gewährleistet sein.
- Bei langfristig ablaufenden biochemischen Umsetzungs- bzw. Abbauprozessen muß eine Schadstofffreisetzung ausgeschlossen sein.
- Es muß sichergestellt sein, daß keine schädlichen Reaktionsprodukte bzw. Metabolite entstehen und abgegeben werden.

4.4.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Für den Einsatz der Immobilisierung sind vor allem die Eigenschaften des Immobilisierungsproduktes von entscheidender Bedeutung. Im folgenden sind die wichtigsten Kriterien zusammengefaßt, die bei der Auswahl und Planung von Verfestigungsverfahren relevant sind.

Dichtigkeit:

- Ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 10^{-10}$ m/s für die **Wasserdurchlässigkeit** ist erreichbar (DVWK, 1991). Die Durchlässigkeit, die an 28 Tagen alten Probekörpern in einer Triaxial-Zelle erreicht wird, sollte mindestens $k_f < 1 \times 10^{-8}$ m/s betragen (LWA-Materialien, 1/94).

Schadstoffeignung:

- Hydraulische Bindemittel eignen sich prinzipiell gut zur Immobilisierung von Schwermetallen, die in Kationenform vorliegen und unter alkalischen Bedingungen schwerlösliche Verbindungen bilden (ITVA, 1993).
- Leichtflüchtige Verbindungen eignen sich aufgrund der bei der Verfestigung entstehenden Hydratationswärme und damit verstärkten Ausgasungen nicht zur Behandlung durch Immobilisierungsverfahren.
- Die Verfestigung organischer Schadstoffe durch hydraulische Bindemittel und ggf. organische Additive sollte nur bei niedrigen Schadstoffgehalten in Erwägung gezogen werden (LfU Baden-Württemberg, 1994; LWA-Materialien 1/94).

Tragfähigkeit:

- Die einaxiale **Druckfestigkeit** sollte nach DIN 18136 bestimmt werden. Orientierungswerte sind für die Ablagerung $q_u \geq 1,0$ MN/m² (LWA-Materialien 1/94) und für den Wiedereinbau $q_u \geq 2,5$ MN/m² (ITVA, 1993).
- Das Immobilisierungsprodukt ist während der Herstellung **nicht belastbar**. Eine Nutzung sollte erst nach Aushärtung des Produkts erfolgen.
- Durch Wahl der Art und Menge des eingesetzten Bindemittels sowie des Einbauverfahrens kann das Immobilisierungsprodukt den erwarteten **Lastfällen** aus der späteren Nutzung angepaßt werden.

Langzeitbeständigkeit:

- Die Beständigkeit gegen **Wassererosion** wird durch die Zerfallsziffer nach Endell bestimmt. Sie sollte $z = 2$ % nicht überschreiten (LWA Materialien 1/94).

- Zur Überprüfung der **Temperaturunempfindlichkeit** können Frost-Tau-Wechselversuche nach DIN 52104 durchgeführt werden.
- Das **chemische Langzeitverhalten** sollte bei Brutto-Abfallmengen > 1.000 t/a mittels Auslaugversuchen in Triaxialzellen an unzerkleinerten Probekörpern nachgewiesen werden (LWA-Materialien 1/94).
- Die Löslichkeit der **immobilisierten Schadstoffe** ist mittels eines Elutionsversuchs nach DIN 38414-S4 (DEV S4) nachzuweisen. Zusätzlich sollte das Eluat eines zerkleinerten Probekörpers aus einem Triaxialzellen-Versuch untersucht werden (LWA-Materialien 1/94).
- Langfristig ablaufende biochemische Umsetzungs- und Umwandlungsprozesse durch **Mikroorganismen** sind von dem Schadstoffinventar und dem eingesetzten Bindemittel abhängig. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

Standsicherheit:

- Die zulässige **Böschungsneigung**, bei der die Standsicherheit gewährleistet ist, hängt von dem Bauverfahren und von der Einbauweise ab.

Herstellbarkeit:

- Verfestigungsverfahren können mit herkömmlicher Anlagentechnik der Bauindustrie durchgeführt werden.
- Die Qualität der Verfestigungsprodukte hängt im wesentlichen von einer guten Vermischung von Ausgangsmaterial und Bindemittel sowie einer gleichmäßigen und hohen Verdichtung beim Einbau ab.
- Die Verflüchtigung von Schadstoffen wird durch exotherme Reaktionen begünstigt. U.U. ist eine Einkapselung der Immobilisierungsanlage notwendig.
- Beim Einbau sind wasserstauende Horizonte in flächenhafter Ausdehnung sowie Gleit- bzw. Scherflächen zu vermeiden.
- Oberflächenwasser schon fertig verfestigter Bereiche kann ggf. als 'Anmachwasser' für die weitere Verfestigung eingesetzt werden.

4.4.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Vor Beginn der Immobilisierungsmaßnahme ist der Verbleib des entstehenden Verfestigungsproduktes abzuklären. Nach Möglichkeit sollte es am Standort wieder eingebaut werden.

Das ausgekofferte Material wird zunächst sortiert, homogenisiert und von Fremdstoffen (Schrott, Schlacke, Holz) befreit. Je nach Verfahren und Ausgangsmaterial werden

unterschiedliche Rezepturen von Bindemitteln, Additiven und Wasser dem kontaminierten Material über Dosiereinrichtungen zugesetzt. Vorhandene gering kontaminierte Wässer können ggf. als Anmachwasser eingesetzt und somit gleichzeitig behandelt werden. Nach intensiver Vermischung wird das umgesetzte Material in Lagen eingebaut und mit Erdbaugeräten verdichtet, um das Porenvolumen und damit die Durchlässigkeit zu verringern. Es wird ein monolithischer Körper angestrebt, dessen Endfestigkeit in der Regel nach 28 Tagen geprüft wird. Alternativ dazu können aus dem gemischten Material Formkörper hergestellt werden, die erst nach der Aushärtung wieder eingebaut werden (Süßkraut, 1994).

Bei allen vorgenannten Teilschritten kann es zum Kontakt der Beschäftigten mit dem kontaminierten Material und den Zusatzstoffen zur Immobilisierung kommen. An den Arbeitsschutz sind deshalb besondere Anforderungen zu stellen. Dabei sind eine Vielzahl von Vorschriften zu berücksichtigen (u.a. MAK, TRK, BAT, GefStoffV). Insbesondere ist hier auf die 'Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen' ZH 1/183 der Tiefbau-Berufsgenossenschaft hinzuweisen.

Es sollte eine Gütekontrolle mit Entnahme von Rückstellproben während des Mischvorgangs und des Einbaus durchgeführt werden. Nach bestimmten Fristen sollten Proben aus dem eingebauten Endprodukt von unabhängigen Sachverständigen untersucht werden. In einem Betriebstagebuch sollen für jede Charge des Verfestigungsproduktes der Zeitpunkt der Mischung, des Einbaus und die Einbauart festgehalten werden. Über Inhalt, Führung und Aufbewahrungsfristen informiert Nr. 5.4.3 der TA Abfall, Teil 1.

Bei Sicherungsmaßnahmen mit Wiedereinbau am Standort können Eignungsprüfung und Qualitätssicherung als Mindeststandard in Anlehnung an die TA Abfall und die LWA-Materialien 1/94 durchgeführt werden. Abhängig vom Einzelfall werden hier jedoch weitergehende Prüfungen empfohlen. Für organische Parameter müssen geeignete Prüfverfahren erst noch entwickelt werden. Da die Langzeitbeständigkeit von Immobilisierungsprodukten jedoch noch nicht hinreichend bekannt ist, sollten diese bei Wiedereinbau oder Verbleib auf dem Altstandort zusätzlich mit einer Oberflächenabdichtung oder durch Versiegelung gesichert werden.

4.5 Hydraulische Maßnahmen

Bei hydraulischen Maßnahmen wird häufig von (hydraulischer) Dekontamination gesprochen. Eine Abgrenzung zwischen Dekontamination und Sicherung ist gerade in diesem Bereich schwierig. Hydraulische Maßnahmen werden vereinzelt auch mit dem Ziel angewandt, das

Grundwasser nicht zu dekontaminieren, sondern eine Ausbreitung von Schadstoffen durch das Grundwasser zu verhindern. Die dafür eingesetzten Verfahren werden deshalb auch als hydraulische Sicherungsmaßnahmen bezeichnet. Auf die verschiedenen Grundwasserreinigungsverfahren wird hier nicht weiter eingegangen.

Bei der hydraulischen Sicherung wird verunreinigtes Grund- oder Sickerwasser dem Untergrund entnommen, um die Ausbreitung von Schadstoffen mit dem Grundwasser zu verhindern. Durch Abpumpen und/oder Einbringen von Wasser über Infiltrationsbrunnen kann die Grundwasserfließrichtung gezielt beeinflusst werden. Dadurch wird z.B. ein im Abstrombereich liegender Trinkwasserbrunnen vor einer Verunreinigung geschützt oder die Ausbreitung von kontaminiertem Deponiesickerwasser verhindert. Das entnommene kontaminierte Grundwasser muß gereinigt werden, bevor es in die Kanalisation oder in den Vorfluter eingeleitet oder ins Grundwasser infiltriert wird. Abhängig von der Art der Einleitung werden die Reinigungsendwerte festgelegt.

Durch die Kombination von Entnahme und Infiltration wird die Nettogrundwasserentnahme begrenzt und die Durchströmungsgeschwindigkeit erhöht. Eine Infiltration allein wirkt als hydraulische Sperre, die die Ablenkung einer Schadstofffahne von zu schützenden Grundwasserflächen ermöglicht (DVWK, 1991).

Hydraulische Techniken werden i.d.R. dann angewendet, wenn es sich um die Sicherung von weitflächigen und großvolumigen Grundwasserverunreinigungen handelt oder ein schnelles Eingreifen (z.B. nach Unfällen) erforderlich ist. Im allgemeinen sind sie im Lockergestein mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit am leistungsfähigsten. Durch die gleichzeitige Anwendung von Entnahme- und Infiltrationsbrunnen kann in geringer durchlässigem Untergrund der Spülprozeß beschleunigt werden. In klüftigem Untergrund ist eine hydraulische Sicherung nicht ausgeschlossen, jedoch weniger effizient und schlechter beherrschbar (DVWK, 1991).

Hydraulische Maßnahmen werden i.d.R. über längere Zeiträume (5 bis 10 Jahre und mehr) durchgeführt. Bei der Kostenwirksamkeitsbetrachtung (s. auch Kap. 3.2.3.2) sind die jährlichen Betriebs- und Überwachungskosten entsprechend zu berücksichtigen. Die Langzeitbeständigkeit ist bei der Auswahl der Bauteile ein entscheidendes Kriterium. Eine hydraulische Anlage ist im wesentlichen folgenden Beanspruchungen ausgesetzt:

Physikalische Beanspruchung:

- Witterungseinflüsse (Niederschlagsperioden etc.)
- Gefügeänderungen durch hydraulische Beanspruchungen mit Gefahr der Suffosion und Kolmation
- Bewegungen des Untergrunds (Tektonik, Bergbaueinflüsse).

Chemische Beanspruchungen:

- chemische Beanspruchung durch die im Grundwasser gelösten Schadstoffe.

4.5.1 System

Die hydraulische Sicherung kann mit folgenden Verfahrensweisen erreicht werden (DVWK, 1991):

- Entnahme von verunreinigtem Wasser in der gesättigten Zone
- Entnahme, Behandlung und Reinfiltration von gereinigtem Wasser
- Sicherung mit Drainage- und Sickergräben (auf oberflächennahe Verschmutzungen beschränkt)
- Beeinflussung der Ausbreitung einer Fahne durch Infiltration (Bildung einer hydraulischen Schranke)
- Infiltration in die ungesättigte Zone (Beschleunigung der natürlichen Auswaschung und Fassung des Sickerwassers im Absenktrichter eines abstromig gelegenen Entnahmebrunnens)
- Vertikale Anordnung von Entnahmen und Zugaben (getrennte Entnahme von Wasser aus dem oberen und dem unteren Aquiferbereich durch den gleichzeitigen Betrieb von mehreren Pumpen übereinander im gleichen Brunnen).

Außerdem kommt häufig eine Kombination von hydraulischen Maßnahmen und anderen Sicherungstechniken zum Einsatz. Folgende Verfahrenskombinationen können eingesetzt werden (DVWK, 1991):

- Hydraulische Maßnahmen kombiniert mit einer vollständigen Einschließung (Dichtwand)
- Hydraulische Maßnahmen kombiniert mit einer Teileinschließung
- Hydraulische Maßnahmen kombiniert mit einer Oberflächenabdichtung.

4.5.2 Anforderungen

Bei dem Einsatz einer hydraulischen Sicherung ist die genaue Kenntnis der am Standort gegebenen hydrogeologischen Verhältnisse sowie der Schadstoffverteilung und -bewegung im Untergrund von Bedeutung. Durch Voruntersuchungen wie der Ermittlung des Schichtaufbaus

des Bodens, der Art der Schadstoffe, Pumpversuche und Tracerversuche sollten die Standort- und Kontaminationsverhältnisse vertiefend erkundet werden.

Folgende Anforderungen müssen bei der Planung berücksichtigt werden:

- Die Schadstoffe müssen prinzipiell verfügbar sein, d.h. die Löslichkeit der Schadstoffe und die Adsorption an die Bodenmatrix müssen berücksichtigt werden.
- Eine richtige Dimensionierung und Positionierung der Brunnen (Anzahl, Lage, Reichweite, Verfilterung, Pumpenarten) muß gewährleistet sein. Hilfestellung können dabei rechnergestützte Auswertungen (Grundwassermodelle) geben.
- Die Maßnahme muß sicherstellen, daß keine Verschleppung der Schadstoffe in tiefere Grundwasserstockwerke erfolgt und eine Mobilisierung von Schadstoffen benachbarter Bereiche durch Erzeugung neuer Grundwasserströmungen verhindert wird (Fischer u. Köchling, 1995).
- Das geförderte, kontaminierte Grundwasser ist einer Behandlung zuzuführen.
- Die eingesetzten Anlagen und Bauteile sollten wartungsarm und leicht instandzusetzen sein.
- Je nach Schadstoffinventar und -konzentration müssen die eingesetzten Materialien chemikalienbeständig bzw. korrosionsfest sein.

4.5.3 Hinweise zur Auswahl und Planung

Grundsätzlich ist darauf zu achten, daß bei einer Wasserentnahme der Verbleib des geförderten bzw. gereinigten Wassers geklärt werden muß. Es gibt zur Zeit keine einheitlichen Grenzwerte für die Einleitung von gereinigtem Wasser in die Kanalisation, einen Vorfluter oder für die Infiltration in den Grundwasserleiter. Die Einleitungsgrenzwerte sind einzelfallbezogen festzulegen, wobei für die Einleitung in die Kanalisation i.d.R. die Ortssatzungen der betroffenen Kommunen heranzuziehen sind. Die Erlaubnis für die Direkteinleitung in einen Vorfluter ist i.d.R. je nach Menge bei der Unteren Wasserbehörde oder der Bezirksregierung einzuholen. Für die Infiltration in den Grundwasserleiter erteilt ebenfalls die Untere Wasserbehörde die Erlaubnis. Sie fordert hierzu meist eine Reinigung nach dem Stand der Technik.

Im folgenden sind die wichtigsten Kriterien dargestellt, die bei der Auswahl und Planung einer hydraulischen Sicherungsmaßnahme relevant sind:

Nutzung der zu sichernden Fläche:

- Eine **Nutzung** der Fläche kann bei verlässlicher Sanierungsprognose oft schon zu Beginn der hydraulischen Sicherungsmaßnahmen vertreten werden (Fischer u. Köchling, 1995).
- Durch die Grundwasserabsenkung kann es zu **Setzungsschäden** an Bauwerken kommen.
- Eine Grundwasserabsenkung kann zur negativen Beeinflussung bzw. **Austrocknung** von Ökosystemen führen.
- Die Entnahmebrunnen und geeigneten Meßstellen müssen zugänglich bleiben und können die Nutzung **einschränken**.

Herstellbarkeit/Betrieb der Anlage:

- Hydraulische Sicherungsmaßnahmen können in kurzer Zeit installiert werden. Die einzusetzende Verfahrenstechnik und der gerätetechnische Aufwand sind einzelfallabhängig. Bei der Ausführung der Anlagen kann auf bekannte und bewährte Bautechniken sowie auf die bekannten Wasserbehandlungstechniken aus der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung zurückgegriffen werden (Fischer u. Köchling, 1995).
- Der Anlagenstandort muß gut zugänglich sein und Platz für eventuelle Anlagenerweiterungen bieten.
- Eine Verlagerung von Partikeln im Untergrund (Kolmation) und chemische Prozesse (Verockerung) können zu einer Verstopfung des Porenraums führen. Geringere Fördermengen bzw. eine sinkende Effektivität der hydraulischen Maßnahme sind die Folge.
- Weitere Sanierungsmaßnahmen können meistens ohne großen Aufwand oder Behinderung durchgeführt werden.
- Durch die langfristige Verfahrensdauer (oft 5 bis 10 Jahre) ist ein hoher Wartungsaufwand gegeben.
- In Abhängigkeit von der Durchflußmenge, dem Schadstoffinventar, den Schadstoffkonzentrationen und den zu erreichenden Ablaufwerten treten hohe Betriebsmittelkosten (u.a. Energie, Aktivkohle, Chemikalien etc.) auf.

4.5.4 Bauausführung und Qualitätssicherung

Nach der Inbetriebnahme werden die Entnahme- und Infiltrationsmengen schrittweise bis auf die geplanten Werte hochgefahren. Vor und kurz nach der Inbetriebnahme müssen die Grundwasserstände in kurzen Zeitabständen gemessen und verglichen werden. Ergeben sich Abweichungen von den in der Entwurfsphase festgelegten Werten, muß eine Optimierung und Anpassung der Anlage vorgenommen werden. Nach der erneuten Inbetriebnahme werden die Grundwasserstände wiederum in kurzen Intervallen gemessen. Diese Vorgehensweise wird so lange wiederholt, bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hat.

Literaturverzeichnis

ABFALLGESETZ FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (Landesabfallgesetz - LAbfG -) vom 21. Juni 1988, zuletzt geändert durch Gesetz vom 7. Februar 1995.

AHO Ausschuß der Ingenieurverbände und Ingenieurkammern für die Honorarordnung e.V. (1996): Leistungs- und Honorarordnung Altlasten. Entwurf der AHO-Fachkommission „Kontaminierte und kontaminationsverdächtige Standorte - Altlasten“, Stand: März 1996.

ARAND, W. (1993): Deponiebasisabdichtungen aus Asphalt. Herstellbarkeit, Beständigkeit und Wirksamkeit. In: Baustoffrecycling 1/93.

BARTELS-LANGWEIGE, J., HIRSCHBERGER, H. (1989): Besonderheiten der Baubetriebsplanung und Verfahrenswahl bei der Umlagerung kontaminierter Böden. In: Sonderdruck Altlastensanierung der Tiefbau-Berufsgenossenschaft; Abruf-Nr. 780.2.

BAUORDNUNG FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (BauO NW) vom 7. März 1995.

BECKEFELD, P. (1993): Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten der Schadstoffeinbindung durch Verfestigung. In: Jessberger, H.L. (Hrsg.): Sicherung von Altlasten. Balkema Verlag, Rotterdam.

BEINE, R. A. (1994): Übersicht über ausgeführte vertikale Systeme und Beschreibung der qualitätsbestimmenden Parameter. In: Status-Seminar Sicherung von Altlasten, 5.-7.9.1994 in Hamburg, Abstracts, S.107-115.

BRÄCKER, W. (1996): Hinweise zum Einsatz von Asphalt als Baustoff in Deponieabdichtungen. Abfallwirtschafts-Fakten 2. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Oktober 1996).

BRECHTEL (1984): Beeinflussung des Wasserhaushaltes von Mülldeponien. Müll-Handbuch Nr. 4263.

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM) (Hrsg.) (1992): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen als Bestandteil einer Kom-

binationsdichtung für Siedlungs- und Sonderabfalldéponien sowie für Abdichtungen von Altlasten.

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND -PRÜFUNG (BAM) (Hrsg.) (1995): Anforderungen an die Schutzschicht für die Dichtungsbahnen in der Kombinationsabdichtung, Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten.

BURKHARDT, G., EGLOFFSTEIN, T. (1994): Ausführungsvarianten von Oberflächenabdichtungssystemen und Hinweise zu deren Auswahl. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Déponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 59-102.

BURMEIER, H., DRESCHMANN, P., EGERMANN, R., GANSE, J., RUMLER, R. (1990): Sicheres Arbeiten auf Altlasten. Graphoprint GmbH, Koblenz.

CZURDA, K.A. (1994): Mineralische Oberflächenabdichtungen. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Déponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 103-124.

DECKER, H. (Begr.), WEBER, K. (Hrsg.) (1992): Ratgeber für den Tiefbau, 4., bearb. und erw. Auflage, Werner-Verlag, Düsseldorf.

DEUTSCHES ASPHALTINSTITUT (DAI) (1996): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Déponieasphalt für Déponieabdichtungen der Déponieklasse II“. Veröffentlichung des DAI, August 1996.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU e.V (GDA) (Hrsg.) (1993) : Empfehlungen des Arbeitskreises 'Geotechnik der Déponien und Altlasten'. 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DIBt, 1995): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Déponieabdichtungssystemen. Ausgabe November 1995.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (DIBt, 1996): Merkblatt „Qualitätssicherung bei Asphaltabdichtungen für Déponien“. Ausgabe Juli 1996.

DEUTSCHER VERDINGUNGS-AUSSCHUSS FÜR LEISTUNGEN: Verdingungsordnung für Leistungen - ausgenommen Bauleistungen - (VOL) vom 3. August 1993.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG e.V. (1994): Aufbereitung zur Wiederverwendung von kontaminierten Böden und Bauteilen, Gütesicherung, RAL-RG 501/2.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Hrsg.) (1992): Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB), Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1991): Sanierungsverfahren für Grundwasserschadensfälle und Altlasten - Anwendbarkeit und Beurteilung, Heft 98, Verlag Paul Parey, Hamburg.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1990): Dichtungselemente im Wasserbau. Merkblätter 215, Verlag Paul Parey, Hamburg.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1992): Asphalt dichtungen für Talsperren und Speicherbecken. Merkblätter 223, Verlag Paul Parey, Hamburg.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1992): Anwendung von Kunststoffdichtungsbahnen im Wasserbau und für den Grundwasserschutz. Merkblätter 225, Verlag Paul Parey, Hamburg.

DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK) (1996): Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise. Merkblätter 237, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

DIEDERICHS, C.J., Rüller, G. (1992): Arbeitshilfen zur Beauftragung von Planern, Gutachtern und Firmen mit der Sanierung von Altlasten. DVP-Verlag, Wuppertal.

DIEDERICHS, C.J., Breitenborn, L., Rüller, G. (1996): Arbeitshilfen zur Beauftragung von Planern, Gutachtern und Firmen mit der Sanierung von Altlasten II. DVP-Verlag, Wuppertal.

DVS-RICHTLINIE 2212, Teil 3 (1991): Prüfen von Kunststoffschweißern, Prüfgruppe III, Bahnen im Erd- und Wasserbau (Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.).

DVS-RICHTLINIE 2225 (1991): Fügen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau (Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.).

EAAW 83: Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau. 4. Ausgabe 1983, 2. Auflage 1996, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, Eigenverlag.

EIKMANN, TH., KLOKE, A. (1993): Nutzungs- und schutzbezogene Orientierungswerte für (Schad-) Stoffe in Böden -Eikmann-Kloke-Werte-; 2. überarbeitete und erweiterte Fassung.

EWERS, U., VIERECK-GÖTTE, L. (1994): Ableitung und Begründung länderübergreifender nutzungs- und schutzbezogener Prüfwerte zur Beurteilung von Bodenverunreinigungen. Altlasten-Spektrum 3. Jg., H. 4, S. 222-230.

FISCHER, B., KÖCHLING, P. (1995): Praxisratgeber Altlastensanierung: Systematische Anleitung für eine Sanierung belasteter Flächen, Ordnungsnr. 8/4.2.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV) (1994): Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus.

GEIL, M. (1994): Auswahlkriterien für die Wahl eines Dichtwandverfahrens als Sicherungsmaßnahme für Altlasten. In: Jessberger, H. L. (Hrsg.): Sicherung von Altlasten, Balkema Verlag, Rotterdam, S. 37-45.

GÜNTHER, C. A. (1994): Oberflächenabdichtung mittels Kunststoffdichtungsbahnen. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 183-194.

HEERTEN, G., SAATHOFF, F., ALBERS, MAUBEUGE, K. v. (1994): Geosynthetische Tondichtungsbahnen als Oberflächenabdichtung. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 195-222.

HEROLD, C., (1994): Gleichwertigkeit von Oberflächenabdichtungssystemen nach TA-Siedlungsabfall und TA-Abfall. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 29-57.

HEROLD, C., (1997): Besondere Aspekte bei der Zulassung von Bentonitmatten für Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien der Deponiekategorie I. Vortragsmanuskript zum 13. Nürnberger Deponieseminar am 24./25. April 1997.

HEYER, D., BEER, N., ASCHERL, R. (1995): Die Bedeutung der Fremdüberwachung bei der Ausführung von Dichtungssystemen mit Bentonitmatten.

HOGREBE, CH., MEHRHOFF, D., HEIM-REDEKER, A. et al. (1994): Sanierungsplanung. In: BrachflächenRecycling 1. Jg., H. 3, S. 36-38.

HONORARORDNUNG FÜR ARCHITEKTEN UND INGENIEURE (HOAI) (1995): Verordnung über die Honorare für Leistungen der Architekten und der Ingenieure in der Fassung der 5. Änderungsverordnung, Werner-Verlag, Düsseldorf.

HÜTTER, M., REHLINGHAUS, B., ROTH, A., SCHERBECK, R., FLACKE, J. (1993): Wirkungsweise von Oberflächenabdeckungen und -abdichtungen. Studie an der Ruhr-Universität Bochum.

HUDE, N. VON DER, JELINEK, D., KÄMPF, M. (1994): Kapillarsperrensysteme für die Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 125-158.

HUDE, N. VON DER, KÄMPF, M., MONTENEGRO, H. (1995): Kapillarsperren, Stand der Forschung/Umsetzung in die Praxis. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten - Abdichtung oder Abdeckung? Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 37.

INSTITUT FÜR LANDES- UND STADTENTWICKLUNGSFORSCHUNG (ILS) (Hrsg.) (1994): Gewerbegebiete auf Flächen mit Bodenbelastungsverdacht, Bausteine für die Planungspraxis in Nordrhein-Westfalen. 2. unv. Auflage, Düsseldorf.

ITVA, FACHAUSSCHUß FA-H1 TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN (1995 a): Arbeitshilfe H1 -2 'Schadstoffeinbindung durch Verfestigung als Möglichkeit der Immobilisierung', ITVA, Berlin.

ITVA, FACHAUSSCHUß FA-H1 TECHNOLOGIEN UND VERFAHREN (1995 b): Arbeitshilfe H 1-4 'Sicherung durch vertikale Abdichtung', ITVA, Berlin.

JESSBERGER, H. L. & GEIL, M. (1993 a): Grundlegende Eigenschaften der mineralischen Baustoffe. In: Franzius/Stegmann/Wolf/Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung, Ordnungsnr. 5.3.1.1.

JESSBERGER, H. L. & GEIL, M. (1993 b): Eigenschaften und Anforderungen an mineralische Abdichtungsmaterialien bei Oberflächenabdichtungen. In: Franzius/Stegmann/Wolf/ Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung, Ordnungsnr. 5.3.2.02.

JESSBERGER, H. L. & GEIL, M. (1993 c): Eigenschaften und Anforderungen an Dichtwandmassen. In: Franzius/Stegmann/Wolf/Brandt (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung, Ordnungsnr. 5.3.3.02.

KOMMUNALVERBAND RUHRGEBIET (KVR) (Hrsg.) (1989): Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altstandorten; Arbeitshilfe für die Erhebung und Auswertung von Informationen über produktionstypische Bodenbelastungen auf stillgelegten Industrie- und Gewerbeflächen. Essen.

KUNTSCHKE, K. (1995): Geotechnische Qualitätssicherung im Deponiebau. In: Wasser und Boden, 47. Jg. H. 6, S. 91-95.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (Hrsg.) (1991): Informationsschrift Altablagerungen und Altlasten. 2., unveränderte Auflage, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1991.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA) (1994): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln. Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA). Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1994.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL (LAGA), LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA), LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT BODEN (LABO) (1993): Einheitliche Bewertungsgrundsätze zu vorhandenen Bodenverunreinigungen/Altlasten.

LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND FORSTPLANUNG NORDRHEIN-WESTFALEN (LÖLF) (1990): Mindestuntersuchungsprogramm Kulturboden zur Gefährdungsabschätzung von Altablagerungen und Altstandorten im Hinblick auf eine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (Hrsg.) (1987): Richtlinie über die Untersuchung und Bewertung von Abfällen, Teil 2. Entwurf vom Juni 1987.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (Hrsg.) (1989): Anwendbarkeit von Richt- und Grenzwerten aus Regelwerken anderer Anwendungsbereiche bei der Untersuchung und sachkundigen Beurteilung von Altablagerungen und Altstandorten; Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 2.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (1993): Altlasten-Kommission NRW: Vorläufige Prüfwerte zur Beurteilung von Gehalten an ausgewählten Schwermetallen, Arsen und Thallium im Oberboden von Altlast-Verdachtsflächen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (Hrsg.) (1993): Mineralische Deponieabdichtungen. Reihe Abfallwirtschaft NRW, Nr. 18.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (Hrsg.) (1993): Oberflächenabdichtung für Deponien. LWA-Materialien Nr. 4/93.

LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NRW (LWA) (Hrsg.) (1994): Beurteilung von Verfahren zur Verminderung der Mobilität von Schadstoffen in abzulagernden Abfällen. LWA-Materialien Nr. 1/94.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LfU) (1994): Handbuch Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten.

LANDESUMWELTAMT NRW (LUA) (1995): Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung; Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, Band 11.

LANDESUMWELTAMT NRW (LUA) (1995): Jahresbericht 1994

LASSL, M., BEINE, B., HOFFMANN, B. et al. (1993): Bewertung und Auswahl von Sanierungsverfahren unter Berücksichtigung kommunaler Rahmenbedingungen. Altlasten-Spektrum 2. Jg., H.4, S.199 - 206.

MELCHIOR, S., BERGER, U., VIELHABER, B. et al. (1994): Deponie Georgswerder. In: Status-Seminar Sicherung von Altlasten, 5. - 7.9.1994, Abstracts, S. 183-192.

MELCHIOR, S., VIELHABER, B., BERGER, K., MIEHLICH, G. (1994): Das Austrocknungsverhalten von mineralischen Oberflächenabdichtungen. In: Egloffstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 103-124.

MELCHIOR, S., STEINERT, B., BURGER, K., MIEHLICH, G., (1996): Kapillarsperren zur Oberflächenabdichtung von Deponien und Altlasten. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Landesentwicklung, Heft 1/1996.

MELCHIOR, S. (1996). Die Austrocknungsgefährdung von bindigen mineralischen Dichtungen und Bentonitmatten in der Oberflächenabdichtung - Ergebnisse von mehrjährigen in-situ-Versuchen und Aufgrabungen auf der Altdeponie Hamburg-Georgswerder-. In: Geologische Barriere, Basisabdichtung, Oberflächenabdichtung - Möglichkeiten zur standortbezogenen Optimierung. 3. Deponie-Seminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz am 30. Mai 1996. Selbstverlag, Mainz.

MINISTERIUM FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1990): Metalle auf Kinderspielplätzen, Runderlaß vom 10.8.1990.

MINISTERIUM FÜR BAUEN UND WOHNEN (1993): Verdingungsordnung für Bauleistungen (Ausgabe 1992). Rd.Erl. v. 15.3.1993 III A3-01082-1 MBl.NW 1993 S. 1128-1187.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) (Hrsg.) (1987): Die Verwendung von Karten und Luftbildern bei der Ermittlung von Altlasten; Ein Leitfaden für die praktische Arbeit, Teil I.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) (Hrsg.) (1991 u. 1993): Hinweise zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten; 2. Auflage, 1. bis 3. Lieferung.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) (1995): Erlaß zum Sanierungsplan nach § 31 Abs. 4 LAbfG vom 3.8.1995.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) (1995 a): Erlaß zu in NRW eingeführten Beurteilungshilfen vom 24. Oktober 1995.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT (MURL) (1996): Erlaß zur Einführung des Handbuchs für Ingenieurverträge in der Wasserwirtschaft (HIV-Was) vom 18.06.1996 (Mbl.NW 1996 S. 1000).

MÜLLER, W. (1994): Qualitätsbestimmende Parameter und Maßnahmen (Dichtigkeit, Verformbarkeit, Qualitätssicherung). Ergänzung zu: Status-Seminar Sicherung von Altlasten, 5. - 7.9.1994 in Hamburg, S.163-170.

MÜLLER, W. (1997): BAM-Zulassung für Kunststoffdichtungsbahnen und Schutzschichten. In: Müll und Abfall 2/97.

NETELER, TH. (1993): Strukturierte Bewertung und Auswahl von Sanierungsverfahren. Umweltinstitut Offenbach, Fachtagung am 02/03.09.1993: Altlastensanierung/Sicherung, Sanierung und Folgenutzung kontaminierter Flächen.

NIENHAUS, U. (1994): Kriterien für die Planung von standortangepaßten Oberflächenabdichtungen. In: Eglöfstein, Th., Burkhardt, G. (Hrsg.): Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien und Altlasten; Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 34, S. 343-358.

ODENSASS, M., SCHROERS, S., NIENHAUS, U. (1995): Kriterien für die Auswahl und den Einsatz von Oberflächenabdichtungen bei Altlasten. In: Altlasten-Spektrum 4. Jg., H. 3, S.129-136.

RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN, DEUTSCHER BUNDESTAG (SRU) (1990): Sondergutachten 'Altlasten', Unterrichtung durch die Bundesregierung (Drucksache 11/6191).

RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN, DEUTSCHER BUNDESTAG (SRU) (1995): Sondergutachten Altlasten II.

RG Min-StB 93: Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau, Ausgabe 1993.

RÜLLER, G. (1994): Leistungsbeschreibung und Kalkulation von Sanierungsmaßnahmen. In: Borries, H.-W., Pfaff-Schley, H. (Hrsg.): Altlastenbearbeitung, Ausschreibungs- und Vergabepraxis; Springer-Verlag, Berlin, S. 109- 119.

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch für Bodenkunde. Enke Verlag, Stuttgart.

SCHWARZ, J. (1994): Systematik für Informationsgrundlagen zur Bewertung von (Schad-) Stoffgehalten in Böden. Altlasten-Spektrum 3. Jg., H.3, S.139 - 143.

STIETZEL, H.J. & SCHÖTT, W. (1993): Der Förderschwerpunkt 'Modellhafte Sanierung von Altlasten' des Bundesministeriums für Forschung und Technologie. Altlasten-Spektrum 2. Jg. H.1, S.139 - 143.

SÜSSKRAUT, G. (1994): Übersicht über marktgängige Einbindeverfahren. In: Status-Seminar Sicherung von Altlasten, 5. - 7.9. 1994 in Hamburg, Abstracts, S.163-170.

TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR LAGERUNG, CHEMISCH/PHYSIKALISCHEN, BIOLOGISCHEN BEHANDLUNG, VERBRENNUNG UND ABLAGERUNG VON BESONDERS ÜBERWACHUNGSBEDÜRFTIGEN ABFÄLLEN (TA ABFALL) in der Fassung vom 1. April 1991.

TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR VERWERTUNG, BEHANDLUNG UND SONSTIGEN ENTSORGUNG VON SIEDLUNGSABFÄLLEN (TA SIEDLUNGSABFALL) in der Fassung vom 14. Mai 1993.

TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR REINHALTUNG DER LUFT (TA Luft) in der Fassung vom 27.2.1986.

TIEFBAU-BERUFGENOSSENSCHAFT (TBG) (1995): Musterausschreibungstexte für Leistungen zu Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Arbeiten im kontaminierten Bereich / Altlasten. Hrsg./Verlag: Tiefbau-Berufsgenossenschaft München.

TIEFBAU-BERUFGENOSSENSCHAFT (TBG) (1997): Richtlinie für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (ZH 1/183). Carl-Heymanns Verlag, Köln.

TLG Asphalt-StB 89: Technische Lieferbedingungen für Asphalt im Straßenbau, Teil Güteüberwachung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1989.

TL Min-StB 83: Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau, Ausgabe 1983, Ergänzungen 1986.

TL-PmB 89: Technische Lieferbedingungen für polymermodifizierte Bitumen in Asphaltsschichten im Heißeinbau, Teil 1: Gebrauchsfertige polymermodifizierte Bitumen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1991

TP Min-StB: Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau, Ausgabe 1982.

UMWELTAMT DES KREISES SOEST UNTER FEDERFÜHRUNG VON MATUSZCZYK, A. (1994): Altlasten in der kommunalen Verwaltungspraxis am Beispiel des Kreises Soest/ Westfalen. In: Hermanns, K., Walcha, H. (Hrsg.): Ökologische Altlasten in der kommunalen Praxis, Verlag W. Kohlhammer.

VELSKE, S. (1993): Straßenbautechnik. Werner-Ingenieur-Texte 54, 3., überarbeitete Auflage.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (1974): Maximale Immissions-Werte, VDI-Richtlinie 2310.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (1991): Lexikon Bauingenieurwesen. Düsseldorf.

VERORDNUNG ÜBER TRINKWASSER UND ÜBER WASSER FÜR LEBENSMITTELBETRIEBE (Trinkwasserverordnung - TrinkWV) in der Fassung vom 5.12.1990.

VERORDNUNG ZUR REGELUNG VON ZUSTÄNDIGKEITEN AUF DEM GEBIET DES TECHNISCHEN UMWELTSCHUTZES (ZustVOtU) vom 14. Juni 1994, zuletzt geändert durch die Verordnung vom 2. Mai 1995.

WASSERGESETZ FÜR DAS LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (Landeswassergesetz -LWG-) in der Fassung vom 25. Juni 1995.

WILLERSHAUSEN, K.-H. (1994): Ausschreibung und Vergabe von Untersuchungen, Begutachtungen und Sanierungsmaßnahmen bei der Wiederherstellung von Industrie- und Gewerbeflächen mit Altlasten. In: Borries, H.-W., Pfaff-Schley, H. (Hrsg.): Altlastenbearbeitung, Ausschreibungs- und Vergabepaxis; Springer-Verlag, Berlin, S. 69-77.

ZTVE-StB 94 (1994): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Erdarbeiten im Straßenbau. Hrsg./Verlag: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1994.

ZTVT-StB 95: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau. Hrsg./Verlag: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1995.

ZTV Asphalt 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt. Hrsg./Verlag: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, 1994.

Teil 2:

Dokumentation durchgeführter Sicherungsmaßnahmen

Inhaltsverzeichnis

I	Einleitung	173
II	Projekt 1	175
	0 Kurzdarstellung	175
	1 Standortbeschreibung	176
	2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung	177
	3 Sanierungsuntersuchung	179
	4 Detailplanung und Bauausführung	184
	5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring).....	191
III	Projekt 2	192
	0 Kurzdarstellung	192
	1 Standortbeschreibung	193
	2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung.....	194
	3 Sanierungsuntersuchung	196
	4 Detailplanung und Bauausführung.....	201
	5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring).....	211
IV	Projekt 3	212
	0 Kurzdarstellung	212
	1 Standortbeschreibung	213
	2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung.....	217

3	Sanierungsuntersuchung.....	221
4	Detailplanung und Bauausführung	236
5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)	245
V	Projekt 4	246
0	Kurzdarstellung.....	246
1	Standortbeschreibung.....	247
2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung	249
3	Sanierungsuntersuchung.....	250
4	Detailplanung und Bauausführung	254
5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)	259
VI	Projekt 5	260
0	Kurzdarstellung.....	260
1	Standortbeschreibung.....	261
2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung	263
3	Sanierungsuntersuchung.....	264
4	Detailplanung und Bauausführung	270
5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)	276
VII	Projekt 6	277
0	Kurzdarstellung.....	277
1	Standortbeschreibung.....	278
2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung	280
3	Sanierungsuntersuchung.....	280

		171
	4	Detailplanung und Bauausführung..... 289
	5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)..... 297
VIII	Projekt 7 299
	0	Kurzdarstellung..... 299
	1	Standortbeschreibung..... 300
	2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung..... 303
	3	Sanierungsuntersuchung..... 306
	4	Detailplanung und Bauausführung..... 313
	5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)..... 322
IX	Projekt 8 325
	0	Kurzdarstellung..... 325
	1	Standortbeschreibung..... 326
	2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung..... 327
	3	Sanierungsuntersuchung..... 332
	4	Detailplanung und Bauausführung..... 343
	5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)..... 358
X	Projekt 9 365
	0	Kurzdarstellung..... 365
	1	Standortbeschreibung..... 366
	2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung..... 367
	3	Sanierungsuntersuchung..... 368
	4	Detailplanung und Bauausführung..... 371

5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)	383
XI	Projekt 10	386
0	Kurzdarstellung	386
1	Standortbeschreibung	387
2	Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung	389
3	Sanierungsuntersuchung	391
4	Detailplanung und Bauausführung	396
5	Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)	405

I Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten“ wurden zwischen 1993 und 1995 Sicherungsmaßnahmen recherchiert. Von diesen Maßnahmen stammen acht aus Nordrhein-Westfalen. Außerdem wurden zwei Sicherungsmaßnahmen aus den Niederlanden ausgewertet, bei denen eine Kombinationsdichtwand zum Einsatz kam. Ziel der Recherche war es, den Projektablauf, die spezifischen Projektdaten und die an die Sicherungssysteme gestellten technischen Anforderungen aufzunehmen. Die bei der Altlastensanierung gewonnenen praktischen Erfahrungen wurden im Hinblick auf die Durchführung künftiger Sanierungen ausgewertet und haben Eingang in die Arbeitshilfe (Teil 1) gefunden.

Die Recherche durchgeführter Sicherungsmaßnahmen war auf die Mitwirkungsbereitschaft der jeweiligen Projektbearbeiter, die das Projekt durchgeführt oder fachlich begleitet hatten, angewiesen. Zu den durchgeführten Sicherungsmaßnahmen wurden vornehmlich Sachbearbeiter bei Behörden befragt und soweit wie möglich Einsicht in die vorhandenen Akten genommen. In einem Projekt wurde das Interview mit einem Mitarbeiter einer Entwicklungsgesellschaft geführt. Zum Thema Qualitätssicherung der Bauausführung wurde in einem Projekt zusätzlich ein Gespräch mit dem beteiligten Fremdprüfer geführt.

Eine Übersicht über die recherchierten Maßnahmen mit einer kurzen Beschreibung der eingesetzten Techniken gibt Tabelle 1. Bei den beiden niederländischen Sicherungsmaßnahmen handelt es sich um die Nummern 9 und 10. Bei den dokumentierten Altlastensanierungen handelt es sich um fünf Altstandorte, vier Altablagerungen und eine ehemalige Deponie. Insgesamt wurde bei sechs Projekten eine vertikale Sicherung durch Dichtwände erstellt. Bei allen recherchierten Projekten wurde eine Oberflächensicherung vorgenommen.

Projekt-Vr.	Typ	Beschreibung	horizontal	vertikal
1	AS	medizinische Versuche (Arsen)	Oberflächenabdichtung mit HDPE-Dichtungsbahn Abdeckung	Tonwand
2	AS	Gaswerk	Versiegelung durch Gebäude und Verkehrsflächen	Spundwand und Injektionswand
3	AS	Zeche und Kokerei	Oberflächenabdichtung mit HDPE-Dichtungsbahn (mit Bewehrung für Baulasten)	keine
4	AS	Betriebliches Bahngelände	Gesicherte Umlagerung: Basis- und Oberflächenabdichtung mit HDPE-Dichtungsbahn	keine
5	AA	Gewerbe- und Industrieabfälle	Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtung und Bentonitmatte	keine
6	AA	Hausmülldeponie	geplant	Schlitzwand mit Bodenaushub
7	AA	Sonderabfalldéponie	Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtung	Vertikale Abdichtung (nicht ausgewertet)
8	AS	Zeche und Kokerei	Gesicherte Umlagerung: - mineralische Basisabdichtung - Oberflächenabdichtung mit mineralischer Dichtung und HDPE-Dichtungsbahn	
9	AA	Industrieabfälle (HCH)	Oberflächenabdichtung mit HDPE-Dichtungsbahn	Schmalwand mit HDPE-Dichtungsbahn
10	AA	Hochofenschlacken	Versiegelung durch Verkehrsfläche	Schmalwand mit HDPE-Dichtungsbahn

Tabelle 1 : Übersicht der recherchierten Sicherungsmaßnahmen

Der Dokumentation jedes Einzelfalls ist eine Kurzdarstellung vorangestellt. Es folgt eine Beschreibung der Standortgegebenheiten. Anschließend wird der Einzelfall entsprechend den in der Arbeitshilfe (Teil 1) definierten Projektphasen beschrieben.

Projekt 1

Kurzdarstellung

Die Nachforschungen eines Heimatforschers ließen 1989 den Verdacht aufkommen, daß auf der Fläche mit giftigen Stoffen umgegangen worden war. Daraufhin wurde 1989 eine orientierende Untersuchung und 1990 eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Es wurde eine Bodenkontamination durch Arsen (bis 1.900 mg/kg) festgestellt.

Unter Berücksichtigung der baulichen Situation (Klosterhof u. -garten) und den Forderungen des Denkmalschutzes, eine Natursteinmauer zu erhalten, wurden 1991 folgende Sicherungselemente geplant:

- Oberflächenabdeckung gering belasteter Bereiche
- Oberflächenabdichtung höher belasteter Bereiche (Kunststoffdichtungsbahn aus HDPE)
- Dichtungswand (Tonwand).

Bei der Bauausführung der Sicherungsmaßnahmen zwischen 1992 und 1994 traten keine technischen Probleme auf. Verhandlungen zwischen den Sanierungspflichtigen über die Aufteilung der Kosten und Verhandlungen mit den Stadtwerken wegen der Verlegung einer Wasserleitung hatten zeitliche Verzögerungen zwischen den Bauabschnitten zur Folge.

1 Standortbeschreibung

Lage Die Fläche liegt in der Stadt X, innerhalb der geschlossenen Wohnbebauung

Größe Die Fläche hat eine Größe von 3.300 m².

Ehemalige Nutzung Das Gelände wurde um 1870 durch einen Industriellen bebaut (Wohnnutzung). Auf dem Grundstück wurden um die Jahrhundertwende medizinische Versuche mit Arsen zur Behandlung der Geschlechtskrankheit Syphilis durchgeführt. Nach Aussagen von Anwohnern wurden auf der Fläche Fässer mit Arsen gelagert. 1907 erwarb ein Orden die Villa und das Grundstück und nutzte sie für ein Schwesternaltenheim.

Eigentums-, Pacht- und Mietverhältnisse Das Untersuchungsgebiet ist Eigentum eines Ordens und der Stadt X.

Geologie/ Hydrogeologie Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut:

Quartär: Kulturboden aus Lehm bzw. Schluff, z.T. Auffüllungen aus Bauschutt (ca. 1,5 m mächtig);

Tertiär: verwitterter Tonstein (ca. 1,5 m mächtig); der unverwitterte Tonschiefer (Auflockerungszone) liegt in einer Tiefe von ~ 3 m unter GOK.

Grundwasser: der Flurabstand beträgt 8 bis 9 m;

Hydrologie Das Sickerwasser im Boden läuft der Hangneigung folgend ab (Hangwasser). Es fließt der hangabwärts gelegenen Drainage einer Turnhalle zu. Das Drainagewasser versickert in den Tonschiefer und wird damit dem Grundwasser zugeführt.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

Anlaß Nachforschungen eines Heimatforschers ließen den Verdacht aufkommen, daß auf der Fläche mit Arsen umgegangen wurde.

Gutachten Orientierende Untersuchung 1989
Gefährdungsabschätzung 1989

Untersuchungen Auf der Fläche wurden Rammkernsondierungen durchgeführt sowie Boden- und Eluatproben untersucht. Außerdem wurden Grundwasseruntersuchungen der Stadtwerke ausgewertet. Im Untersuchungsgebiet wurden Arsenkonzentrationen bis zu 1.900 mg/kg festgestellt. Das Arsen ist relativ gut eluierbar (ca. 10 %), so daß eine Verlagerung über den Sickerwasserpfad erfolgen kann. Die ermittelten Schadstoffkonzentrationen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Schadstoffkonzentrationen im Boden, Eluat und im Grundwasser

Medium	Parameter	Konzentrationen		
		von	bis	
Boden	Arsen	< 1 mg/kg	1.900 mg/kg	-
Boden	Arsen			440 mg/kg
Eluat (DEV-S4)	Arsen			4,6 mg/l
Grund- wasser	Arsen	n.n.	-	-

Gutachterliche

Bewertung

Es wurde festgestellt, daß aufgrund der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse eine Gefährdung durch Arsen für ein nahegelegenes Wasserwerk nicht zu befürchten ist. Es wurde

vermutet, daß kontaminiertes Sickerwasser in eine hangabwärts gelegene Drainage gelangt. Dieses Drainagewasser wird in den Ton-schiefer versickert. Zur abschließenden Beurteilung der Grundwasser-gefährdung waren daher weitere Untersuchungen erforderlich.

Aufgrund der hohen Arsengehalte im Boden und im Eluat konnte eine Aufnahme von Arsen durch Pflanzen nicht ausgeschlossen werden. Eine Sanierung war im Hinblick auf die bestehende Nutzung (Wohnen) und die geplante Nutzung (Wohnen und Gewerbe) erforderlich.

Aus Gründen der Vorsorge wurde die Nutzung des Gartens zur Eigenversorgung untersagt.

3 Sanierungsuntersuchung

<u>Sanierungspflichtiger</u>	Die Eigentümer, ein Orden und die Stadt X, sind sanierungspflichtig.
<u>Kostenträger</u>	Die Kosten der Sanierung tragen die Eigentümer. Die Sanierungsmaßnahmen werden nicht finanziell gefördert.
<u>Rechtlicher Rahmen der Sanierung</u>	Die Sanierung basiert auf einer freiwilligen Vereinbarung des Ordens, der Stadt und des Kreises.

3.1

Schutz- und Sanierungsziele

Die Schutz- und Sanierungsziele wurden durch den Gutachter formuliert. Auf der Basis der Gefährdungsabschätzung und der weiteren Standortuntersuchungen (Kap. 3.2) wurden der Schutz der Wohnnutzung und der Schutz des Grundwassers als allgemeines Ziel benannt. Auf der Grundlage des TVO-Grenzwertes für Arsen von 40 mg/l (TVO von 1986) und den Ergebnissen der Elutionsversuche wurden 50 mg/kg als tolerierbare Arsenkonzentration und 100 mg/kg Boden als Sanierungswert festgelegt. Der Kreis stimmte diesen Schutz- und Sanierungszielen zu.

3.2

Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen Es wurden weitere Rammkernsondierungen niedergebracht und Boden-, Eluat- und Drainagewasserproben auf Arsen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Ergebnis/

Empfehlungen

Aufgrund der hohen Arsenbelastung des Drainagewassers, das über Versickerung dem Grundwasser zugeführt wird, sowie der z.T. sehr hohen Arsengehalte im Eluat der Bodenproben ist eine Gefährdung des Grundwassers (gemäß Wasserhaushaltsgesetz) gegeben. Für die geplante Wohnnutzung besteht durch Ingestion (spielende Kinder) und über den Nahrungspfad eine Gefährdung. Eine akute Gefährdung für eine Grundwassernutzung (gemäß Ordnungsrecht) liegt nicht vor.

Tabelle 2: Schadstoffkonzentrationen im Boden, Eluat und im Drainagewasser

Medium	Parameter	Konzentrationen		
		von	bis	
Boden (südlicher Bereich, Bauabschnitt 1)	Arsen	50 mg/kg	100 mg/kg	-
Boden (nördlicher Bereich, Bauabschnitt 2 und 3)	Arsen	136 mg/kg ¹	1900 mg/kg	-
Eluat (DEV-S4)	Arsen	47 mg/l	4910 mg/l	-
Drainagewasser	Arsen			54 mg/l

3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren
 - Wasch- und Extraktionsverfahren
 - Biologische Verfahren
 - Aktive pneumatische Verfahren
 - Aktive hydraulische Verfahren
 - Sonstige Verfahren

- Sicherung:
 - Einschließungsverfahren
 - Passive pneumatische Verfahren
 - Passive hydraulische Verfahren
 - Immobilisierung
 - Umlagerung

- Null-Variante

Eine Übersicht des Variantenvergleichs geben die beiliegende Tabelle und Abbildung (schematische Darstellung der Sanierungsvarianten). Sowohl eine vollständige Dekontamination (Totalsanierung) als auch eine teilweise Dekontamination (Teilsanierung) kombiniert mit zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen sind zu teuer.

Eine Teilsanierung ohne Untergrundabdichtung oder eine Oberflächenabdichtung alleine reichen nicht aus, um das Grundwasser vor dem Zutritt arsenhaltiger Sickerwässer zu schützen. Lösung und Transport von Arsen können jedoch durch eine Dichtwand verhindert werden. In den geringer belasteten Bereichen reicht eine Abdeckung aus, um die geplante Nutzung (Wohnen und Gewerbe) zu ermöglichen.

3.4

Sanierungskonzept

Der Eintrag von kontaminiertem Hangwasser in den Grundwasserleiter soll unterbunden werden, indem eine Durchsickerung von Böden mit einem Arsengehalt von größer 100 mg/kg Boden verhindert wird. Hierzu ist eine Oberflächenabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen als horizontale Abdichtung und eine Dichtwand (1-Phasen-Schlitzwand) zur vertikalen Abschirmung des kontaminierten Bereiches vor zuströmendem Hangwasser vorgesehen. In den geringer belasteten Bereichen (50 mg/kg Boden) reicht eine Abdeckung zur Verhinderung von Ingestion (spielende Kinder) aus.

erforderlicheGenehmigungen

- nach § 10.2 Abfallgesetz
- nach Baurecht
- nach Wasserhaushaltsgesetz
- Einleitungsgenehmigung in die Kanalisation
- Ausnahme von der Baumschutzsatzung

Die Genehmigung des 3. Bauabschnitts verzögerte sich, da die Stadtwerke ihre Zustimmung zunächst nicht gaben. Der 3. Bauabschnitt konnte nach Verlegung einer Trinkwasserleitung durchgeführt werden.

Variantenvergleich

	Wohnnutzung	Grundwasserschutz	Entsorgung	Kosten DM	Bemerkung
Null-Variante	nicht möglich	keiner	keine	—	Flächen nicht nutzbar
Oberflächen- abdichtung	eingeschränkt	keiner	keine	113.250,-	aufgrund der eingeschränkten Nutzung und des fehlenden Grundwasserschutzes nicht empfehlenswert
Oberflächen- abdichtung mit Dichtwand	eingeschränkt	gewährleistet	keine	225.250,-	aufgrund der eingeschränkten Nutzung nicht empfehlenswert
Teilsanierung ohne Untergrund- abdichtung	uneingeschränkt möglich	keiner	Deponierung	556.000,-	kein Grundwasserschutz nicht empfehlenswert
			Bodenaufberei- tung (Wäsche, andere Verfahren)	437.750,-	kein Grundwasserschutz nicht empfehlenswert
Teilsanierung mit horizontalen und vertikalen- Dichtungsmaß- nahmen	uneingeschränkt möglich	gewährleistet	Deponierung	780.500,-	bedingt empfehlenswert, höhere Kosten als bei der Aufbereitung
			Bodenaufberei- tung (Wäsche, andere Verfahren)	662.250,-	empfehlenswert, Kostenschätzung muß abgesichert werden
Totalsanierung	uneingeschränkt möglich	gewährleistet	Deponierung	2.942.250,-	bedingt empfehlenswert, höhere Kosten als bei der Aufbereitung
			Bodenaufberei- tung (Wäsche, andere Verfahren)	2.407.250,-	empfehlenswert, Kostenschätzung muß abgesichert werden

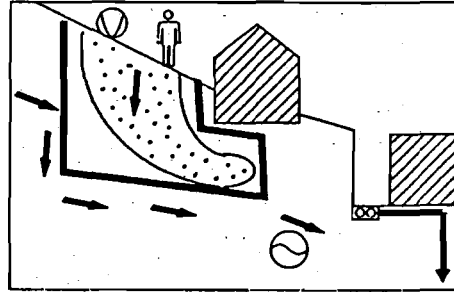
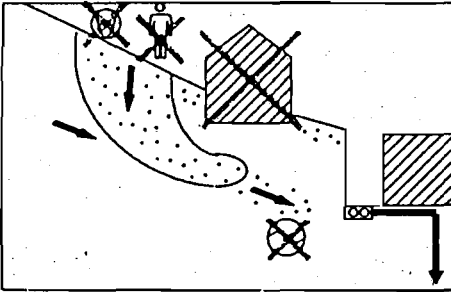
Schematische Darstellung der Sanierungsvarianten

Sanierungsmaßnahmen ohne Grundwasserschutz

Sanierungsmaßnahmen mit Grundwasserschutz

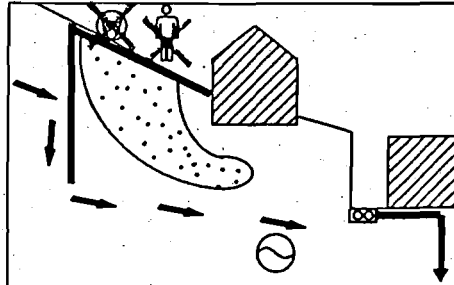
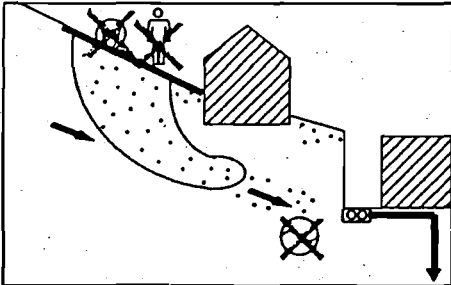
Nullvariante

Totalsanierung



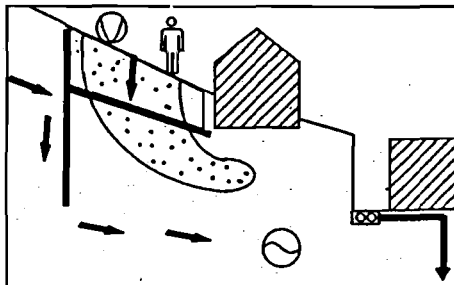
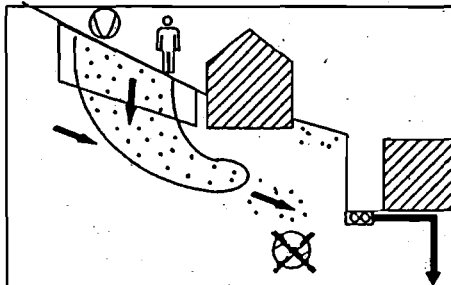
Oberflächenabdichtung

Oberflächenabdichtung und Dichtwand



Teilsanierung ohne Untergrundabdichtung

Teilsanierung mit horizontaler und vertikaler Dichtung



Kontaminationsherd



Nutzpflanzenanbau



empfindliche Nutzung
(Wohnnutzung, Kinder)



Gewerbenutzung



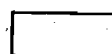
Grundwasserschutz



nicht möglich



Abdichtung



Bodenaushub bzw.
Überdeckung

3.5 Anforderungen der Behörden

Da sich auf dem Gelände eine alte Steinmauer befindet, die unter Denkmalschutz steht, wurde gefordert, die Bauhöhe der Oberflächenabdichtung möglichst gering zu halten. Die Kunststoffdichtungsbahnen der Oberflächenabdichtung sollten auf Forderung des Kreises mit einem Gefälle von mindestens 6 % und maximal 10 % verlegt werden. Das Sickerwasser aus der Entwässerungsschicht sollte einer Rigole zugeführt werden.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1 Technische Daten

Aufbau

Oberflächenabdeckung (rd. 691 m²)

Mächtigkeit	Schicht
0,2 m	Mutterboden
0,3 m	kulturf. Boden
	Altlast

Aufbau

Oberflächenabdichtung (rd. 876 m²)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
	Mutterboden	
	kulturf. Boden	$k_f 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
	Flächendrain	Drainrohre (Sammler): HDPE Drainmatten: PP
	Schutzschicht	Geotextil
	Kunststoffdichtungsbahn	HDPE Gefälle: min. 6 %, max. 10 %
	Planum Altlast	Sand

Aufbau

Dichtwand (abweichend vom Sanierungskonzept wurde eine Dichtwand aus Ton gebaut, s.a. Kap. 4.3)

Tonwand mit Bodenaushub	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	≥100 cm
Tiefe	mittlere Tiefe: 3,8 m max. Tiefe: 5 m
Fläche	ca. 340 m ²
Länge	90 m
Material	Ton: 'Iduna Hall' lagenweise verdichteter Einbau $k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s $D_{Pr} \geq 95$ % Luftporenanteil $n_a \leq 5$ %

4.2

Eignungsprüfungen und QualitätssicherungOberflächen-
abdichtung

Das einwandfreie Verlegen und Verschweißen der Kunststoffdichtungsbahnen wurde in einem Versuchsfeld kontrolliert. Die Schweißarbeiten wurden durch ein befähigtes Fachunternehmen durchgeführt. Die Dichtigkeit der Schweißnähte wurde mittels Druckprüfung kontrolliert (Messung des Druckabfalls) und die Arbeiten in Protokollen dokumentiert. Zur Überwachung der Verlege- und Schweißarbeiten war das zuständige Amt für Wasser und Abfall vor Ort. Dabei wurde festgestellt, daß die Baufirma aufgrund eines Mißverständnisses Recyclingmaterial zum Aufbau der Tragschicht eingesetzt hatte. Um eine Beschädigung der Kunststoffdichtungsbahn auszuschließen, wurde auf die Schicht aus Recyclingmaterial eine Sauberkeitsschicht aus Sand aufgetragen.

Dichtwand

Für den Bau der Tonwand wurde mineralisches Dichtungsmaterial aus der Unterbank der Grube 'Iduna Hall' bei Hünxe eingesetzt. Die Eignung des Materials für das Sanierungsvorhaben ging aus einer Eignungsprüfung von 1993 hervor, die im Auftrag der Grube durchgeführt wurde. Der Dichtwandbau wurde durch einen Fremdprüfer überwacht, auf eine Eigenprüfung wurde verzichtet.

Das angelieferte Tonmaterial wurde durch den Fremdprüfer stichprobenartig visuell kontrolliert und der Anlieferungswassergehalt des Tons bestimmt. Aus der Tonwand wurden insgesamt 15 ungestörte Proben entnommen und Sieb- und Schlämmanalysen sowie Durchlässigkeitsbestimmungen (Triaxialzelle) durchgeführt und die Konsistenzgrenzen, der Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust), Kalkgehalt, Feucht- und Trockendichte sowie der Luftporenanteil bestimmt. Vor Ort wurden die Einbindetiefe, der Einbau des Tonmaterials, der Wassergehalt und der erzielte Verdichtungsgrad überwacht.

3 von 15 Proben unterschritten mit $D_{Pr} = 94 \%$ geringfügig den geforderten Wert von 95 %. Die entsprechenden Bereiche wurden mit 4 weiteren Übergängen dynamisch nachverdichtet. Die erreichten K-Werte lagen mit $k_{max.} = 6,2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ und $k_{min.} = 3,8 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ deutlich unter dem geforderten Durchlässigkeitsbeiwert von $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$. Baubegleitend wurden Handschürfe angelegt. Die Tondichtung zeigte einen homogenen und trennflächenfreien Aufbau.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Sicherungsmaßnahme wurde in 3 Bauabschnitte unterteilt (s.a. beiliegende Abbildungen):

Bauabschnitt 1: Oberflächenabdeckung,

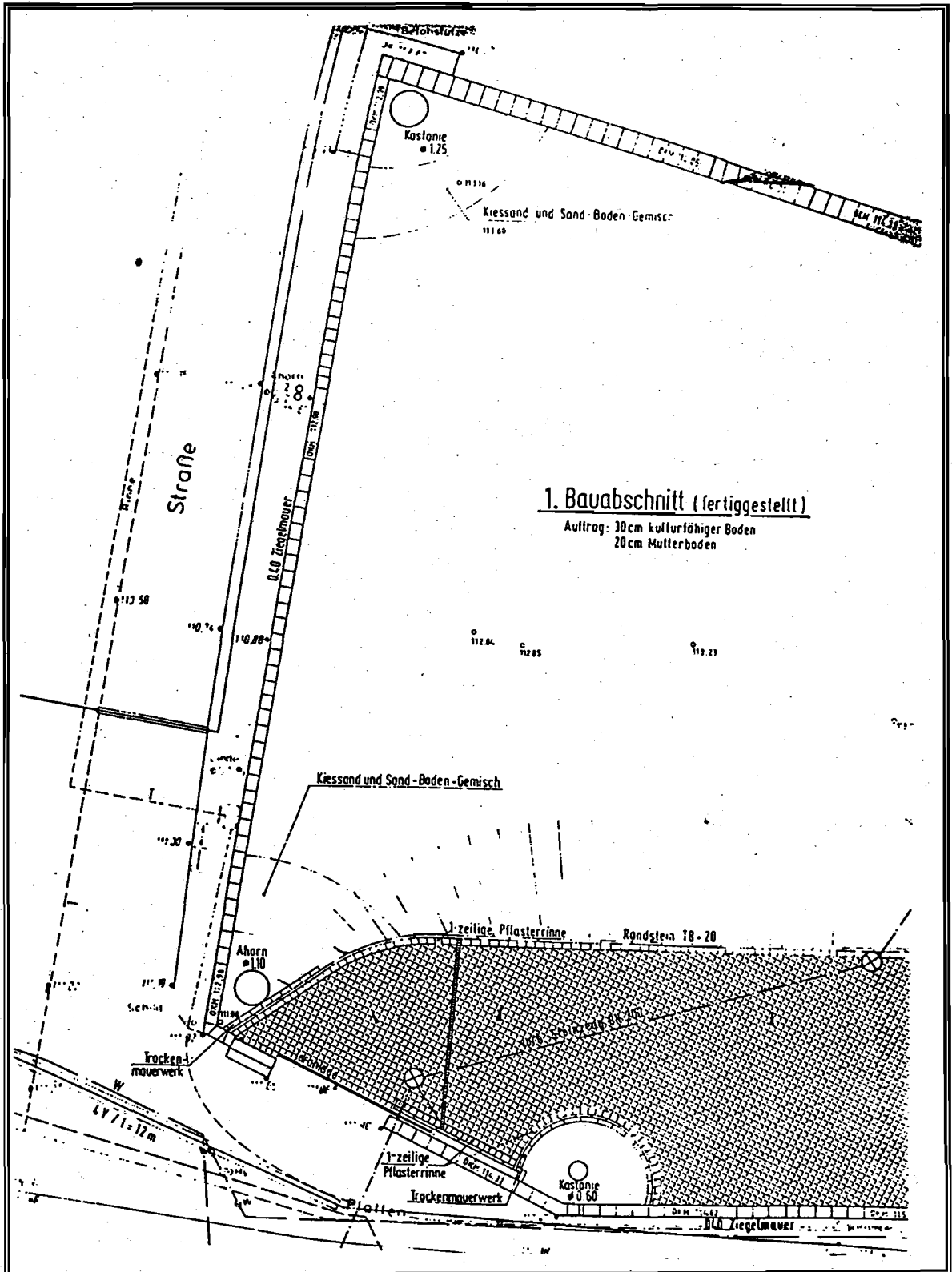
Bauabschnitt 2: Oberflächenabdichtung,

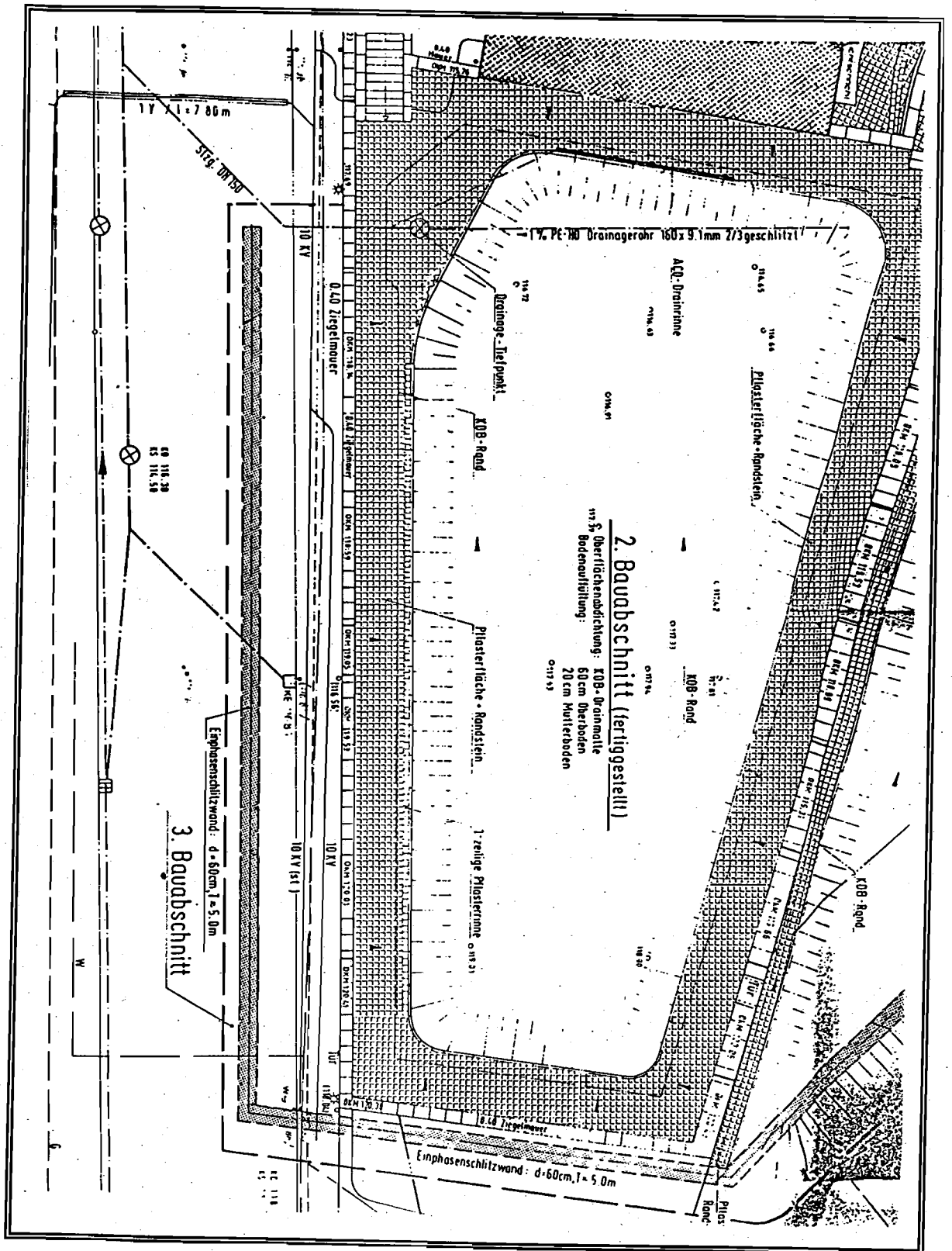
Bauabschnitt 3: Dichtwand und Oberflächenabdichtung.

Die Bauabschnitte 1, 2 und 3 wurden getrennt ausgeschrieben und vergeben. Dem Sanierungskonzept entsprechend wurde für den 3. Bauabschnitt eine 1-Phasen-Schlitzwand ausgeschrieben. Die abgegebenen Angebote überstiegen die geschätzten Kosten erheblich, da die Baustelleneinrichtung, insbesondere das Vorhalten der Mischanlage sehr teuer ist, so daß sich das Verfahren bei einer Dichtwandfläche von ca. 450 m^2 nicht rechnet. Die Spanne der Angebotspreise lag zwischen ca. 400.000 DM und 800.000 DM. Die von den Baufirmen abgegebenen Nebenangebote hielten den

Kostenrahmen von 350.000 DM. ein, so daß anstelle der 1-Phasen-Schlitzwand der Bau einer Tondichtwand vergeben wurde. Die geplante Tonwand wurde durch den Gutachter auf Gleichwertigkeit geprüft.

Lageplan





Lageplan

Sanierung

Alle Bauabschnitte wurden ohne technische oder organisatorische Schwierigkeiten oder zeitliche Verzögerungen durchgeführt. Insbesondere beim Verlegen und Verschweißen der Kunststoffdichtungsbahn war die Aufsichtsbehörde anwesend.

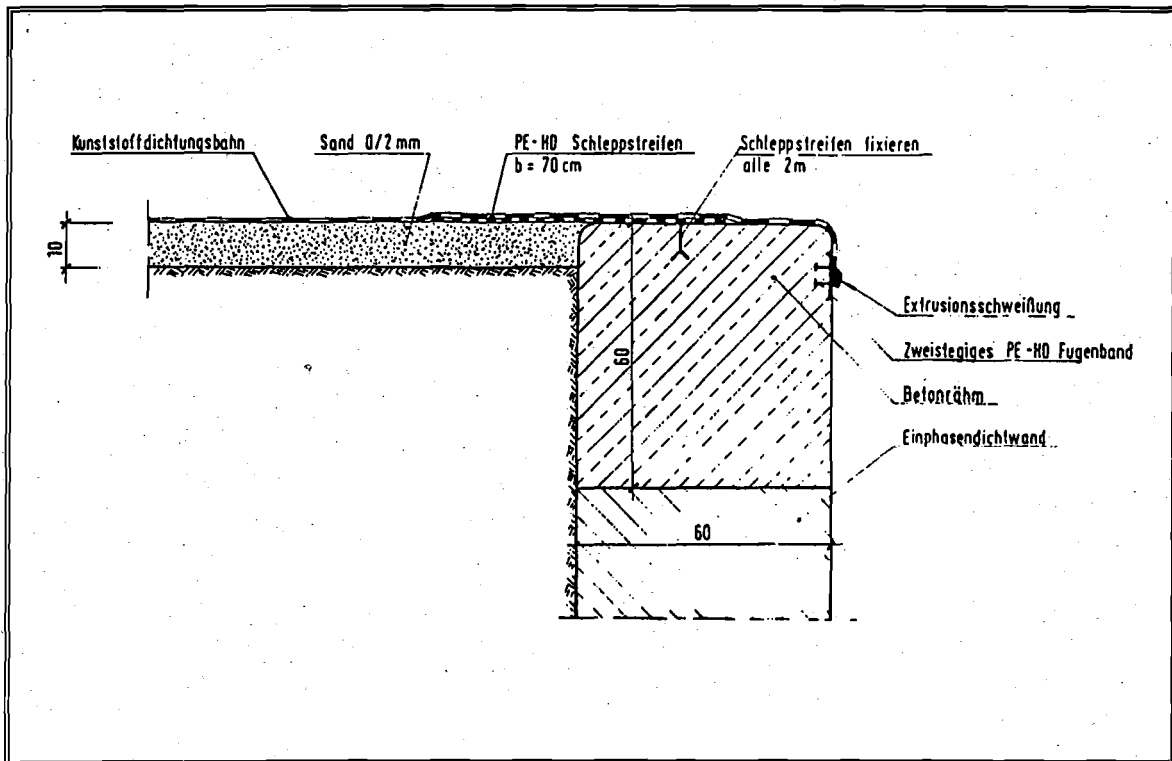
Entlang der denkmalgeschützten Mauer wurde eine Pflasterung ausgeführt. Damit wurden die Aufhöhung der GOK und der Erddruck auf die Mauer verringert. Zugleich wurde ein optisch besserer Übergang geschaffen.

Für eine fertige Dichtwandstärke von 1 m wurde ein 1,3 bis 1,4 m breiter Graben bis zur Oberfläche des Festgesteins ausgehoben. Der Ton wurde lagenweise à 20 cm eingebaut und in mehreren Übergängen verdichtet (Tandemwalze, 1,36 t). Parallel zum Toneinbau wurde der Gleitschienenverbau hochgezogen. Durch die Verdichtung wurde das Tonmaterial an die Grabenwand gepreßt. Die Arbeiten wurden in 4 Abschnitten à ca. 20 m durchgeführt. Der letzte Abschnitt der Oberflächenabdichtung, der außerhalb der Klostermauern liegt, wurde im 3. Bauabschnitt ausgeführt. Die Anbindung an die Dichtwand ist in der beiliegenden Abbildung dargestellt. Flächen mit Arsengehalten < 100 mg/kg und > 50 mg/kg Boden wurden abgedeckt. Zugleich wurde ein Übergang zu den abgedichteten Bereichen geschaffen.

Anfallende Reststoffe/Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	Bauschutt, Straßenabriß	105,05 t	Recycling
	Baumischabfälle	19,385 t	Deponie
	Asbestzement	2,24 t	Deponie
	steiniger Boden, nicht kontaminiert (Dichtwandbau)	480 m ³	Verwendung auf einer anderen Baustelle
flüssige Rückstände		keine	
sonstiges	Grünabfälle	7 Bäume, 386 m ² gerodet	Kompostierung

KDB - Anbindung an Dichtwandkopf



4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Arbeitsschutzmaßnahmen wurden entsprechend den Richtlinien der TBG ausgeschrieben. Im 1. Bauabschnitt waren keine Arbeitsschutzmaßnahmen erforderlich. Im 2. und 3. Bauabschnitt wurde eine Schwarz-Weiß-Anlage betrieben und Einwegschutzanzüge verwendet. Im 2. Bauabschnitt wurden Geräte mit Innenraumbelüftung benutzt und Vollschutzmasken (Asbest und Boden) getragen.

Angrenzende Nutzungen

Zum Schutz der angrenzenden Nutzungen wurde für den 2. Bauabschnitt ein Sichtschutzzaun und für den 3. Bauabschnitt ein Maschendrahtzaun errichtet.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Bauabschnitt	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
1	25 d	3-4/92	250.000 DM	250.000 DM
2	40 d	10-12/92	300.000 DM	300.000 DM
3	25 d	9-10/94*	300.000 - 350.000 DM	350.000 DM

* Langwierige Verhandlungen zwischen den Sanierungspflichtigen (Stadt und Orden) verzögerten den Beginn des 3. Bauabschnitts. Die Kosten des letzten Bauabschnitts tragen die Sanierungspflichtigen anteilig.

**5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und
Langzeitüberwachung (Monitoring)**

Zur Überwachung der gesicherten Altlast werden im jährlichen Abstand das Grundwasser und das Sickerwasser einer hangabwärts liegenden Drainage beprobt und auf die Parameter Arsen, pH, Leitfähigkeit und Temperatur untersucht. Die erste Beprobung wird Ende 1994 durchgeführt. Die Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Die Kosten der Langzeitüberwachung werden auf ca. 2.000 DM pro Jahr geschätzt. Aus Kostengründen werden die Langzeitüberwachungen im Kreisgebiet gemeinsam ausgeschrieben.

Projekt 2

Kurzdarstellung

Bei Untersuchungen in der Nachbarschaft zum Altstandort X wurden kokereispezifische Verunreinigungen in 1988 festgestellt. In der nachfolgenden Gefährdungsabschätzung (1991) wurde eine Kontamination durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle ermittelt. Es war geplant, die Fläche im Zuge eines Gebäudeanbaus zu überbauen. 1992 wurde ein Sanierungskonzept erarbeitet, das eine Dichtwand zur Sicherung der Altlast vorsah.

Für die Errichtung des Dichtwandkastens wurden 1992 folgende Maßnahmen geplant:

- Ausheben eines Rammgrabens und Entfernen alter Fundamente sowie Lockerungsbohrungen
- Einrammen von Spundwandsegmenten mit werkseitig gefertigter Schloßdichtung aus Polyurethan (System HOESCH),
- Injektion von Dichtwandmaterial unter einem bestehenden Gebäude, um den Spundwandkasten im Grundwasserabstrom zu schließen,
- Errichtung von zwei Grundwasserbrunnen, über die ggf. eine Grundwassersanierung erfolgen kann und
- Oberflächenversiegelung oberhalb des Spundwandkastens

Bei der Bauausführung 1992/93 traten Probleme auf, da die Restfundamentmassen und die Menge des Bodenaushubs unterschätzt wurden, mit denen auf der Baustelle umgegangen werden mußte. Rund 300 m³ Bodenaushub (kontaminiert) mußten auf der Baustelle zwischengelagert werden, bis eine Oberflächenversiegelung des Spundwandkastens im Sommer 1995 vorgenommen wurde. Bei der Errichtung der Spundwand traten keine Schwierigkeiten auf. Bei der Injektion von Dichtwandmaterial wurde mit zu hohem Druck gearbeitet, so daß sich der Boden des Gebäudes anhob.

1 Standortbeschreibung

Lage Die Fläche liegt im Stadtgebiet X. Sie grenzt an eine gesicherte Altab-lagerung und an ein Schulgelände an.

Größe Die untersuchte Fläche hat eine Größe von 6.000 m².

Ehemalige Nutzung Die Fläche wurde seit dem 15. Jahrhundert genutzt. Es befanden sich eine Kupferhütte (~1470), ein Erzhandel, eine Papiermühle (~1600), eine Gasfabrik (vor 1856) und ein Glaswerk (~1920) auf der Fläche (s.a. beiliegende Abbildung). Das Grundstück wurde 1969 durch die Gemeinde Y erworben, um ein Gebäude erweitern zu können. Zuletzt wurde die Fläche als Sportfläche und als Grünanlage genutzt.

Eigentums-,
Pacht- und
Mietverhältnisse Die Fläche gehört der Stadt X.

Geologie/
Hydrogeologie Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut:

- Anschüttung: Bauschutt, maximal 4,5 m, im Mittel 2,5 m mächtig;
- Quartär: feinsandige, teilweise Tallehmreste des Flusses Y, ca. 2,5 m mächtig, schluffig-feinsandige Kiese
- Tertiär: schluffige Feinsande ab ca. 5,0 m unter OKG
- Grundwasser: Das 1. Grundwasserstockwerk ist in den Schichten des Quartärs und z.T. des Tertiärs ausgebildet. Die Grundwasserfließrichtung ist nach E bis NE auf den Vorfluter gerichtet. Der Flurabstand liegt bei ca. 2,5 m.

Hydrologie

Der Altstandort liegt im Einzugsgebiet eines Wasserwerkes. Das Gelände wird von einem Wassergraben umflossen. Das Wasser des Grabens fließt dem Grundwasser zu.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung
--

Anlaß

Für die Erweiterung eines Gebäudes soll der Standort überbaut werden (Baugenehmigungsverfahren). Bei der Gefährdungsabschätzung einer benachbarten Fläche (Altablagerung) ist randlich eine Verunreinigung durch teerspezifische Stoffe festgestellt worden, die nicht der untersuchten Altablagerung zugeordnet werden konnten. Es wurde vermutet, daß die Kontamination dem Altstandort zuzurechnen ist, obwohl eine auf teerspezifische Schadstoffe hinweisende historische Nutzung zu diesem Zeitpunkt nicht bekannt war. Die Sonderordnungsbehörde erließ eine Verfügung zur Erstellung einer Gefährdungsabschätzung in 1988.

Gutachten

In der Zeit von September 1991 bis Januar 1992 wurde eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt (Auftraggeber Stadt X).

Untersuchungen

Auf der Fläche wurden Rammkernsondierungen niedergebracht, die z.T. zu Bodenluftmeßstellen ausgebaut wurden. Zur Überprüfung der Grundwassersituation wurden 2 Grundwassermeßstellen neu errichtet und gemeinsam mit 6 weiteren bestehenden Meßstellen beprobt.

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Schadstoffverunreinigungen, die im Boden, im Bodeneluat und im Grundwasser (Quartär) festgestellt wurden zusammengestellt. Das Volumen des teerölbelasteten Bereiches wurde auf ca. 2.100 m³ geschätzt.

Tabelle 1: Maximal nachgewiesene Schadstoffkonzentrationen im Feststoff, im Eluat und im Grundwasser.

Parameter	Konzentration im Feststoff	Konzentration im Eluat	Konzentration im Grundwasser (Quartär)
Pb	1790 mg/kg	die Schwermetalle sind schwer mobilisierbar	< 2 µg/l
Cd	3,8 mg/kg		< 0,2 µg/l
Cr ges.	87 mg/kg		< 2 µg/l
Hg	7,1 mg/kg		< 0,5 µg/l
Ni	438 mg/kg		< 2 µg/l
Zn	613 mg/kg		< 2 µg/l
PAK (EPA)	1.678,1 mg/kg	33,48 µg/l	4,69 µg/l
PAK (TVO)	231 mg/kg	9,8 µg/l	2 µg/l

Gutachterliche

Bewertung

Die Anschüttung ist durch teerölspezifische Stoffe und Schwermetalle stark belastet, während der gewachsene Boden nur in geringem Umfang kontaminiert ist. Von den festgestellten Schadstoffen sind die PAK leicht eluierbar. Ein Eintrag von PAK in das 1. Grundwasserstockwerk hat stattgefunden, das Wasserwerk ist jedoch nicht beeinträchtigt. Zum allgemeinen Schutz des Grundwassers ist eine Sanierung der Fläche erforderlich.

3 Sanierungsuntersuchung

<u>Sanierungspflichtiger</u>	Die Eigentümerin, d.h. die Stadt X ist sanierungspflichtig.
<u>Kostenträger</u>	Die Kosten der Sanierung werden von der Stadt X getragen. Die Maßnahme wird zu 50 % mit Landesmitteln gefördert.
<u>Rechtlicher Rahmen der Sanierung</u>	Die Sanierung der Fläche wurde im Baugenehmigungsverfahren für die Gebäudeerweiterung zur Auflage gemacht (Bedingung).

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

Ziel der Sanierung ist die Minimierung des PAK-Austrags über das Sicker- und Grundwasser. Dieses allgemeine Ziel wurde durch den Gutachter formuliert. Die Aufsichtsbehörden forderten ebenfalls eine Minimierung der Einträge in das Grundwasser. Als Orientierung ist $0,2 \mu\text{g/l}$ PAK (TVO) einzuhalten.

3.2 Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen Im Hinblick auf die Sanierung wurde der Verunreinigungsherd durch Rammkernsondierungen weiter eingegrenzt. Darüber hinaus wurden Bodenluftuntersuchungen durchgeführt und Schlauchkern- sowie Schrägbohrungen niedergebracht. Diese Untersuchungen dienten dazu, die Machbarkeit und Erforderlichkeit der im Sanierungskonzept dargestellten Varianten zu überprüfen. Die Nutzungsgeschichte wurde seitens des Sachbearbeiters der Stadt verifiziert (erneute Aktenrecherche und Auswertung von Unterlagen des Stadtarchivs).

Ergebnis/Empfehlungen

Nach den Bodenluftuntersuchungen kann eine Ausgasung von flüchtigen Schadstoffen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Da die belastete Fläche überbaut werden soll, sind Sicherungsvorkehrungen zu treffen, um eine mögliche Ansammlung von belasteter Luft im geplanten Gebäude vorsorglich zu verhindern. Die mit der Nutzungsänderung des Standortes verbundene Sicherungsmaßnahme (passive Gasdrainage mit Option der Aufrüstung zu aktiver Entgasung) wurde gutachterlich geplant, abgestimmt und im Rahmen der Hochbaumaßnahme durchgeführt. Die Hochbaumaßnahme ist im weiteren nicht dargestellt.

Durch die Schlauchkernbohrungen wurde der Untergrund bis zu einer Tiefe von 14 - 16 m erkundet. Die tertiären Schichten sind mit max. 2 mg/kg PAK (EPA) geringfügig belastet, so daß von einer erheblichen Verlagerung des Schadstoffs in das Tertiär nicht ausgegangen wird.

Die Kontamination ist zum Teil durch ein älteres Gebäude überbaut. Durch die weitere historische Recherche wurde u.a. deutlich, daß beim Bau in den 70er Jahren ein Teil des kontaminierten Bodens entfernt wurde. Durch Schrägbohrungen unter das Gebäude wurden die Ergebnisse der Recherche bestätigt. Die Kontamination nimmt eine Fläche von insgesamt netto ca. 630 m² und ein Volumen von ca. 1.240 m³ ein.

Beim Einsatz einer geramnten Spundwand zur Sicherung der Kontamination sollten Lockerungsbohrungen durchgeführt werden.

3.3**Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich (im Sanierungskonzept)**

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren in NL
 - Wasch- und Extraktionsverfahren

- Biologische Verfahren
- Aktive pneumatische Verfahren
- Aktive hydraulische Verfahren
- Sonstige Verfahren

- **Sicherung:**

- **Einschließungsverfahren**
- Passive pneumatische Verfahren
- **Passive hydraulische Verfahren**
- Immobilisierung
- Umlagerung

Die o.g. Verfahren wurden auf Plausibilität und Kosten hin geprüft. Der Variantenvergleich wurde im Sanierungskonzept durchgeführt, so daß die Kosten nur abgeschätzt werden konnten. Neben den technischen Verfahren wurde die Möglichkeit geprüft, den Altlastenbereich selbst frei von Gebäuden zu halten.

Dekontamination

- Eine thermische Entsorgung (in den Niederlanden) wurde seitens des StUA favorisiert, war jedoch zu teuer (1,7 bis 2,3 Mio DM). Desweiteren sprachen die beim Auskoffern, thermischer Behandlung und beim Transport zu erwartenden Emissionen gegen diese Lösung.
- Eine Bodenwäsche war aufgrund des hohen Anteils an Schluff im Bodenmaterial nicht geeignet.

Sicherung

Unter den Einschließungsverfahren wurden der Bau einer Bohrpfahlwand und einer Spundwand sowie die Hochdruckinjektion von Dichtwandmaterial betrachtet.

- Die Bohrpfahlwand wurde negativ bewertet, da aufgrund alter Fundamente im Untergrund, mit erheblichen Schwierigkeiten bei der Bauausführung zu rechnen war.
- Für den Bau einer Spundwand stellen die o.g. Fundamente ebenfalls ein Hindernis dar. Durch das Parallellegen von Spundwandtrasse und Installationskanal (Ver- und Entsorgung)

des geplanten Gebäudes konnte jedoch das Kosten-Nutzen-Verhältnis des Verfahrens verbessert werden.

- a) Spundwand mit einer Einbindetiefe von 6 m u. GOK kombiniert mit der Injektion von Dichtwandmaterial und einer Grundwasserreinigungsanlage (480.000,-- DM);
- b) Spundwand mit einer Einbindetiefe von 12 m u. GOK kombiniert mit der Injektion von Dichtwandmaterial (990.000 DM).

Eine Umspundung des gesamten bestehenden Gebäudes, bei einem Sicherheitsabstand von 3 m zum Gebäude (Standicherheit), war aufgrund der örtlichen Gegebenheiten möglich, aber nicht notwendig. Die zweite Variante (b) wurde aufgrund der hohen Kosten und nach Vorliegen der Ergebnisse aus Schlauchkernbohrungen mit anschließenden KD-Versuchen ausgeschlossen.

Die Ausführung einer Hochdruckinjektion von Dichtwandmaterial über die gesamte Trasse wurde als zu kostenintensiv bewertet. Unter einem bestehenden Gebäude ist die Hochdruckinjektion jedoch erforderlich, um den Spundwandkasten zu schließen.

Der Bau einer Spundwand bis 6 m u. GOK, ergänzt durch Hochdruckinjektion unter einem bestehenden Gebäude, wurde vorbehaltlich weiterer Untersuchungen (Kap. 3.2) durch den Gutachter empfohlen.

Eine Verschiebung des geplanten Schulgebäudes in unbelastete Bereiche wurde abgelehnt.

3.4

Sanierungskonzept

Im Behördengespräch (Umweltamt Stadt und StUA) wurde folgendes Sanierungskonzept festgelegt:

Zur Sicherung des Standortes soll eine Spundwand bis 8 m u. GOK eingebracht werden, die damit in gering durchlässige Schichten (k_f -Wert im Mittel $2,17 \times 10^{-10}$ m/s) einbindet. Die Dichtwandtiefe wurde aufgrund der weiteren Standortuntersuchungen (Kap. 3.2) festgelegt. Unter einem bestehenden Gebäude wird die vertikale Sicherung durch Injektion von Dichtwandmaterial verlängert, so daß der Spundwandkasten um den Verunreinigungsherd geschlossen wird.

Im Hinblick auf eine zukünftige Grundwassersanierung (veränderte Umweltqualitätsziele, Versagen des Sicherungssystems) werden im umschlossenen Bereich 2 Grundwasserentnahmebrunnen errichtet. Der Spundwandkasten erhält eine Oberflächenversiegelung.

erforderliche

Genehmigungen

Baugenehmigung für die Gebäudeerweiterung; darin wurde die Sanierung bzw. Sicherung der Altlast zur Auflage gemacht.

3.5

Anforderungen der Behörden

Seitens des StUA wurde die Einhaltung eines Orientierungswertes von 0,2 mg/l PAK (TVO) im Grundwasser und die Einbindung der Spundwand in eine geringdurchlässige Schicht (k_f -Wert in der Größenordnung 1×10^{-9} m/s) gefordert.

Der Detailplanung wurde seitens der Aufsichtsbehörden zugestimmt. Für die Erstellung des Sanierungskonzeptes, weitere Standortuntersuchungen, Baugrundgutachten sowie Beratung und Beschluß wurden 8 Monate benötigt.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1

Technische Daten

Aufbau

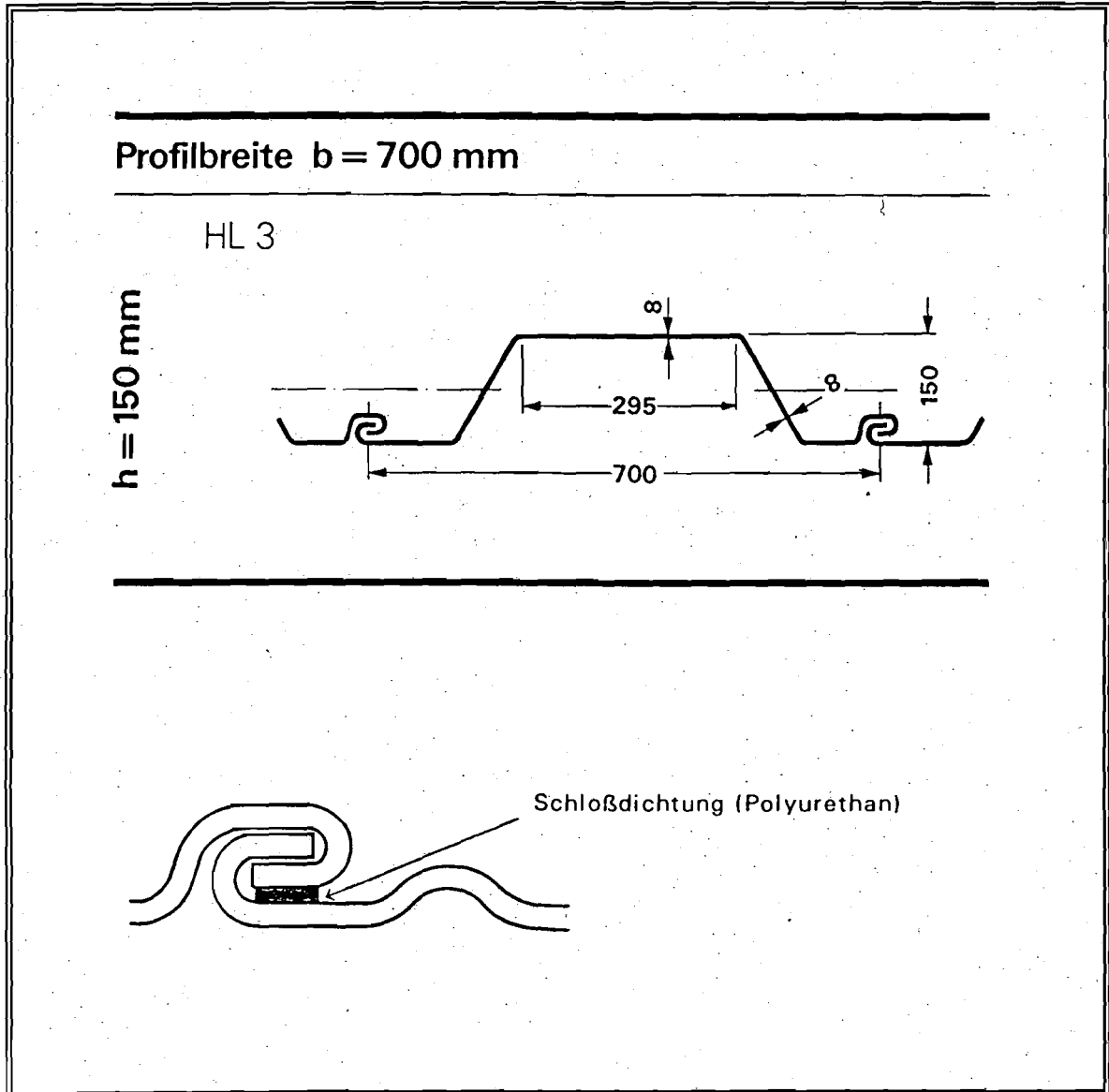
Dichtwand

Spundwand	Abmessung	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	8 mm	
Elementbreite	700 mm	Stahlprofile (Hoesch-Leichtprofil) Schloßdichtung mit System HOESCH (Polyurethandichtung)
Länge	117,85 m	
Tiefe	im Mittel 8 m	
Fläche	765 m ²	
Einbindetiefe in tertiäre Feinsande	min. 1 m	k_f i.M. $2,17 \times 10^{-10}$ m/s

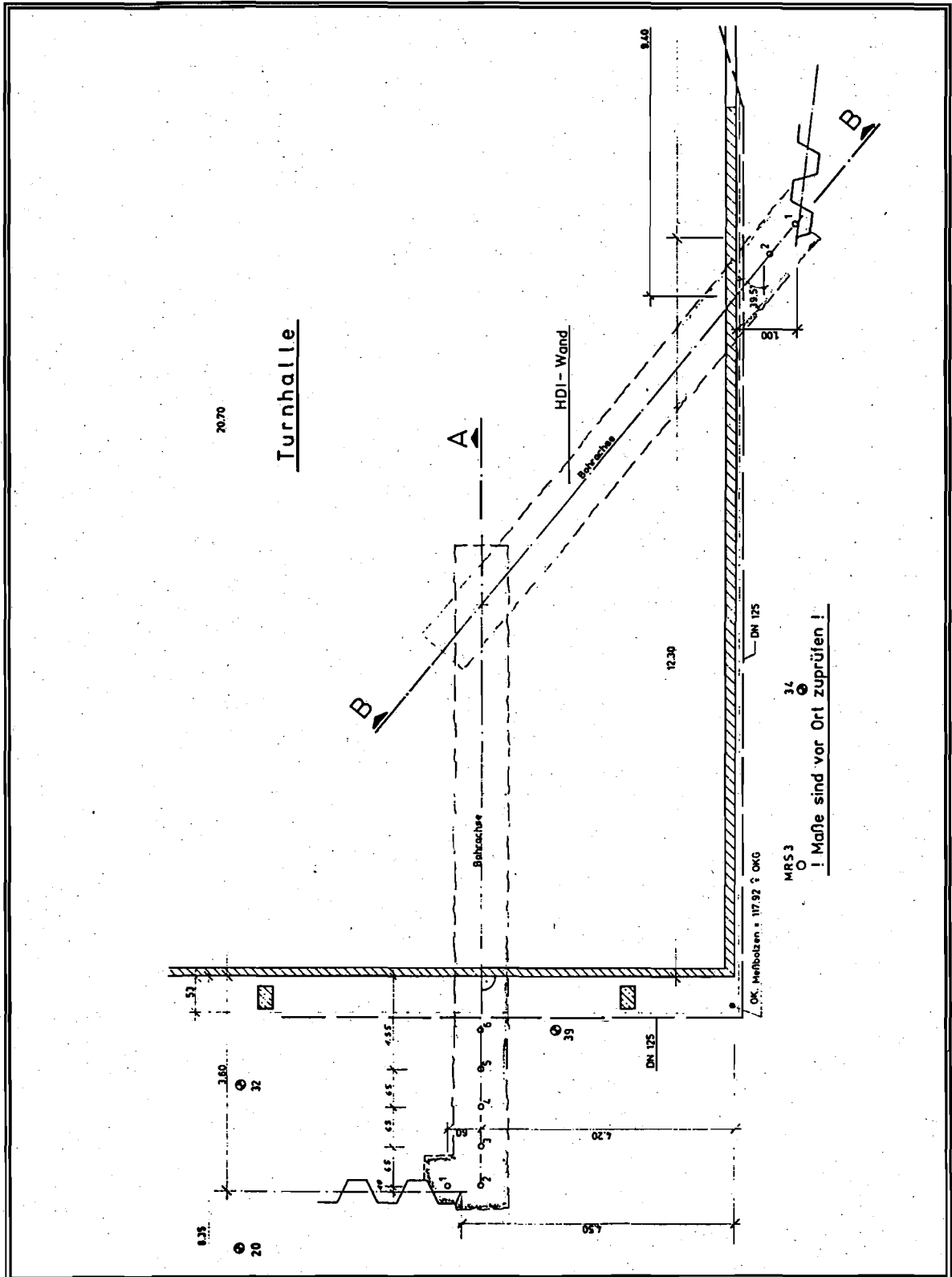
Hochdruckinjektionswand ohne Bodenaushub	Abmessung	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	0,9 m	hydraul. Bindemittel Zement (Typ HOZ35 LNW)
Länge	22,4 m	
Tiefe	im Mittel 8 m	
Fläche	133,5 m ²	
Einbindetiefe in tertiäre Feinsande	min. 1 m	k_f i.M. $2,17 \times 10^{-10}$ m/s

Stahlpundwand

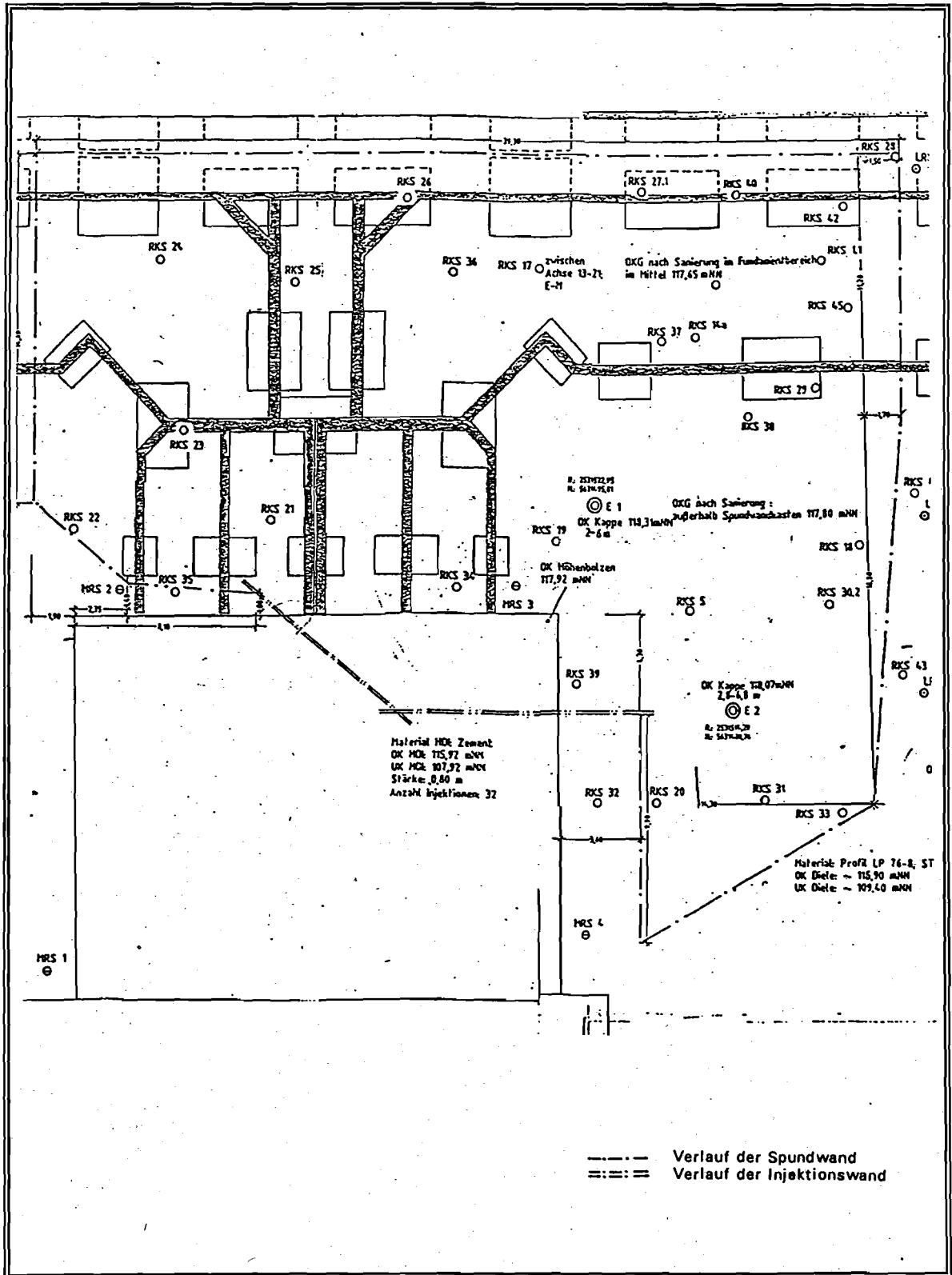
Hoesch - Leichtprofil und Schloß



Spundwand und Dichtwand (Hochdruckinjektion)



Dichtwandtrasse



4.2 Eignungsprüfung und Qualitätssicherung

Spundwand

Auf eine Eignungsprüfung des Stahls im Labor oder in einem Versuchsfeld wurde verzichtet. Die Qualitätssicherung wurde in Eigenüberwachung der ausführenden Firma ausgeführt (Rammprotokolle). Die örtliche Bauleitung des Ingenieurbüros und der Sachbearbeiter des Umweltamtes waren bis auf wenige Ausnahmen täglich vor Ort.

Hochdruckinjektion

Auf eine Eignungsprüfung wurde verzichtet, da die HDI nicht im kontaminierten Bereich eingesetzt wurde. Darüber hinaus konnte die bauausführende Firma belegen, daß das Verfahren und das Injektionsmaterial bei anderen PAK-Kontaminationen zur Sicherung erfolgreich eingesetzt worden ist. Die Qualitätssicherung wurde in Eigenüberwachung der ausführenden Firma ausgeführt. Die Firma überprüfte regelmäßig die Zusammensetzung des Injektionsmaterials. Die örtliche Bauleitung des Ingenieurbüros und der Sachbearbeiter des Umweltamtes waren bis auf wenige Ausnahmen täglich vor Ort.

Systemprüfung

Zur Kontrolle der Dichtheit des Dichtwandkastens ist ein Pumpversuch geplant. Der Dichtwandkasten wurde Anfang 1993 fertiggestellt. Zum Zeitpunkt der Projekterhebung, Ende 1994, war die Systemprüfung noch nicht durchgeführt.

4.3 Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Sicherungsmaßnahme wurde in zwei Lose unterteilt:

Los 1: Räum- und Schachtarbeiten; Spundwandbau

Los 2: Hochdruckinjektion unter einem Gebäude

Los 1 wurde öffentlich ausgeschrieben. Die ursprünglich geplante Dichtwandtrasse mußte aufgrund der Fundamentierungsplanung, die

für den Schulerweiterungsbau vorgelegt wurde, geändert werden. Die exakte Trasse der Spundwand wurde während der Bauausschreibung (Los 1) festgelegt. Für Los 2 wurde eine beschränkte Ausschreibung durchgeführt, zu der entsprechend renommierte Firmen aufgefordert wurden. Die Planung sah ursprünglich eine zeitliche Überschneidung in der Durchführung von Los 1 und 2 vor. Aus Gründen der Beweissicherung wurden die Lose nacheinander ausgeführt. Dies geschah auf Wunsch der Firma, durch die die Hochdruckinjektion vorgenommen wurde. Ein vereidigter Bausachverständiger war vorab seitens der Stadt eingeschaltet worden.

Räum- und Schachtarbeiten

Der Dichtwandtrasse folgend, wurde ein Graben bis max. 1,5 m Tiefe ausgehoben. Im Verlauf der Ausschichtungsarbeiten zur Entfernung der Fundamente stellte sich heraus, daß die Fundamente mit 2,5 bis 2,8 m wesentlich breiter waren, als in der Detailplanung angenommen. Die Aushubmassen wurden analytisch überprüft und nicht belastet entsorgt. Ein Teil der Aushubmassen wurde mit Ziegelbruch verschnitten auf der Fläche wieder eingebaut. Der Zuschlag war aufgrund des hohen Wassergehalts des Materials erforderlich. In der Regel konnte das Material auf eine Deponie der Klasse 2 abgefahren oder als Recyclingmaterial freigegeben werden. Stärker belastetes Material (insgesamt ~ 300 m³, entsprechend Deponieklasse 3) wurde ohne Sicherung zwischengelagert. Das Material sollte nach Baustelleneinrichtung des Hochbaus eingebaut und die Fläche anschließend versiegelt werden. Der Hochbau konnte jedoch nicht auf diese Planung abgestimmt werden, so daß sich die Sicherung des Materials verzögerte.

Die Abwicklung der Schachtarbeiten, das Sortieren und Beprobieren des Aushubmaterials sowie der Abtransport wurden durch die geringe zur Verfügung stehende Fläche und die größeren Mengen an Material (Fundamente), mit denen umgegangen werden mußte, erschwert.

Das Recycling von Bauschutt mußte aufgrund der größeren Mengen nachbeauftragt werden.

Spundwand

Die Rammarbeiten waren aufgrund grober Kiese (Quartär) teilweise schwierig. Zur Erleichterung der Rammarbeiten wurden z.T. Lockerungsbohrungen durchgeführt. Überwiegend wurde bis zur Tertiäroberfläche vorgeschachtet und nachfolgend gerammt (bedingt durch die vorhandenen Fabrikfundamente). Die Spundwandsegmente wurden bis zur Grabensohle eingerammt. Dies entspricht +1m gegenüber dem höchsten zu erwartenden Grundwasserstand. (Die Schlösser werden bei dem hier eingesetzten System nicht vor Ort abgedichtet, da sie eine werks-seitig hergestellte Dichtung (Polyurethan) des Rammschlösses besitzen.) Zwei Segmente wurden gezogen und neu eingerammt, da das Schloß beim ersten Rammvorgang nicht in der Führung blieb. Der Spundankasten hat eine Grundfläche von ca. 1120 m², davon sind ca. 720 m² überbaut und 400 m² mit einer Gußasphaltoberflächenversiegelung versehen.

Hochdruckinjektion

Nach dem Injektionsverfahren RODINJET I wurden die Injektionslanzen schräg in den Untergrund unter dem Gebäude eingeführt und die Zementsuspension unter Druck eingebracht. Durch die Veränderung des Einbringwinkels (s. Abbildung) wurde die Dichtwand von außen unter dem vorhandenen Gebäude aufgebaut. Überschüssiges Injektionsmaterial wurde über Rücklaufgräben gesammelt und nach Prüfung auf einer Deponie der Klasse 2 entsorgt. Diese Arbeiten fanden ebenfalls im nicht kontaminierten Bereich statt.

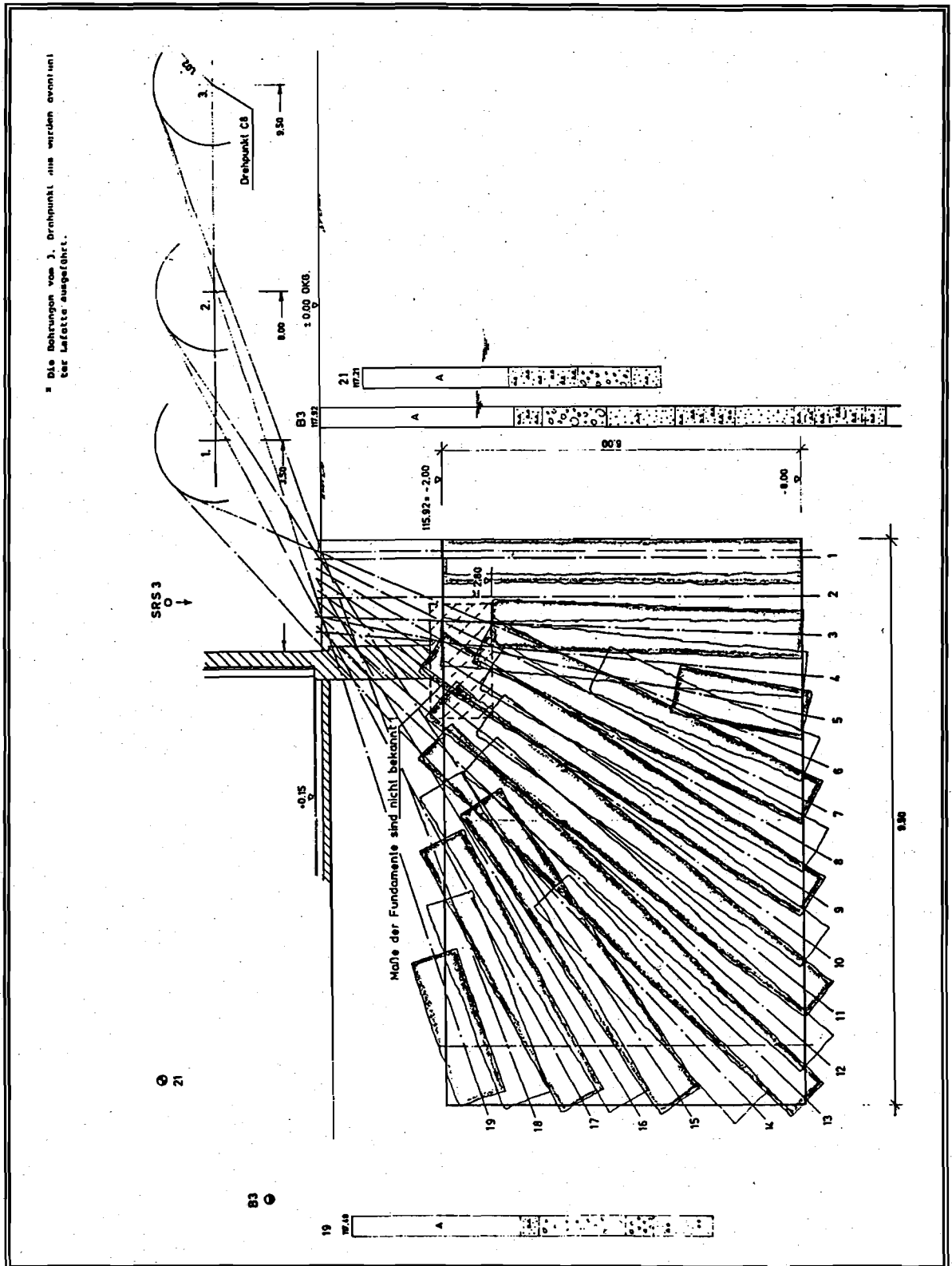
Bei der Herstellung der Injektionsdichtwand wurde punktuell zuviel Injektionsmaterial eingebracht, so daß sich der Boden des Gebäudes, unter dem die Injektion durchgeführt wurde, hob. Der entstandene Schaden ging zu Lasten des Auftragnehmers.

Anfallende Rest-
stoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	nicht kontaminierter Aushub	543 m ³	Deponie (Kl. 2) *
	Ziegelabbruch	256 m ³	Recycling
	kontaminierter Boden (Deponie Kl. 3) *	~ 300 m ³	Wiedereinbau unter Oberflächenversiegelung
flüssige Rückstände	Zementsuspension	376 t	Deponie (Kl. 2) *

* Deponieklasseneinteilung nach dem Entwurf einer Richtlinie über die Untersuchung und Beurteilung von Abfällen vom Juni 1987 (NRW)

Herstellung der Dichtwand (Hochdruckinjektion)



4.4 Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Arbeitsschutzmaßnahmen wurden entsprechend den Richtlinien der Tiefbau-Berufsgenossenschaft ausgeschrieben und die Bauleitung wurde durch den Auftraggeber aufgefordert, die Arbeitsschutzvorschriften einzuhalten. Arbeitsschutzmaßnahmen waren bei der Bauausführung nicht erforderlich. Eine Überprüfung durch Arbeitsplatzmessungen wurde nicht durchgeführt, da die Lage der Spund- und Dichtwand im nicht kontaminierten Bereich lag.

Angrenzende Nutzungen

Zum Schutz angrenzender Nutzungen wurde ein Bauzaun errichtet. Dieser Zaun wurde nach Abschluß von Los 2 an die Hochbaufirma verkauft, die das neue Schulgebäude errichtete. Das Baufeld war von außen komplett einsehbar.

4.5 Sanierungskosten und -dauer

Bauabschnitt	Dauer		Kosten netto	
	geplant	real	geplant	real
1: Schachtarbeiten und Spundwand	4 KW	7 KW	496.000,-- DM	452.000,-- DM
2: Hochdruckinjektion	5 KW	4 KW	161.000,-- DM	197.000,-- DM
3: Oberflächenversiegelung	8 KW	20 KW	139.000,- SM	123.000,- DM
4: Teilsanierung Ölschacht	---	2 KW (26 KW incl. therm. Entsorgung)	76.000,- DM	70.000,- DM

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)

Zur Überwachung der gesicherten Altlast ist geplant, die Grundwasserqualität in halbjährlichen Abständen zu überprüfen. Die Grundwasserproben werden auf die Parameter PAK (EPA), CKW, Schwermetalle und BTX untersucht. Die Grundwasserspiegelhöhen werden zur Kontrolle des hydraulischen Gefälles im vierteljährlichen Abstand eingemessen. 10 Meßstellen werden in die Überwachung einbezogen.

Die Messungen / Kontrollen wurden Anfang 1995 erstmalig durchgeführt seit Oktober 1992 fortgesetzt, nach dem die Oberflächenversiegelung oberhalb des Spundwandkastens (Gußasphalt) eingebracht worden war.

Das Ergebnis von 2 Grundwasserbeprobungsserien in 1996 war, daß außerhalb der Einspundung PAK nach TVO nicht bestimmbar sowie PAK nach EPA mit max. 0,38 µg/l festzustellen waren. Diese Werte liegen unterhalb des Sanierungszielwertes.

Projekt 3

Kurzdarstellung

Aufgrund der früheren Nutzung durch eine Zechen- und Kokereianlage bestand für die Fläche ein Altlastenverdacht. In den zwischen 1986 und 1992 durchgeführten Untersuchungen wurden Verunreinigungen durch kokereispezifische Stoffe und Schwermetalle festgestellt. Im Bereich der ehemaligen Kokerei hat die Verunreinigung im Festgestein eine Tiefe von mehr als 30 m erreicht. Im Grundwasser wurden ebenfalls Kontaminationen ermittelt.

Das Sanierungskonzept (1993) sieht eine Oberflächenabdichtung stark kontaminierter Flächen mit einem bewehrten Drain- und Dichtsystem vor, das im Rahmen dieses Projektes entwickelt und erstmalig eingesetzt wurde. Ein Teil der stark kontaminierten Flächen wird durch Straßen versiegelt und gering belastete Flächen werden mit Boden abgedeckt. Eine Reinigung des Klufftgrundwasserleiters war nicht möglich, da die Schadstoffe hydraulisch nicht mobilisierbar sind.

Das bewehrte Drain- und Dichtsystem besteht aus folgenden Elementen:

- Gründungspolster aus Granulat mit Geogitter (Bewehrung)
- Drainmatten
- Kunststoffdichtungsbahn (HDPE)
- Schutzvlies
- Stützpolster mit integrierter Gasdrainage und Geogitter (Bewehrung)
- Plänium.

Durch die Bewehrung des Systems ist eine Bebauung der Fläche möglich, ohne dabei in den kontaminierten Untergrund einzugreifen. Außerdem schützt die Bewehrung die Oberflächenabdichtung vor unzulässigen Lasteinträgen.

1 Standortbeschreibung

Lage

Die Fläche besteht aus den beiden Altstandorten:

- Zeche und Kokerei X und
- Holzplatz der Zeche und Kokerei Y.

Die Altstandorte liegen am Südwestrand des Stadtgebietes. Angrenzend an die o.g. Flächen befindet sich Wohnbebauung bzw. gemischte Bauflächen und Bergehalden (s.a. beiliegende Abbildung).

Größe

Die Fläche der Zeche und Kokerei X hat eine Größe von 25 ha und die Fläche des Holzplatzes (Zeche und Kokerei Y) von 10 ha.

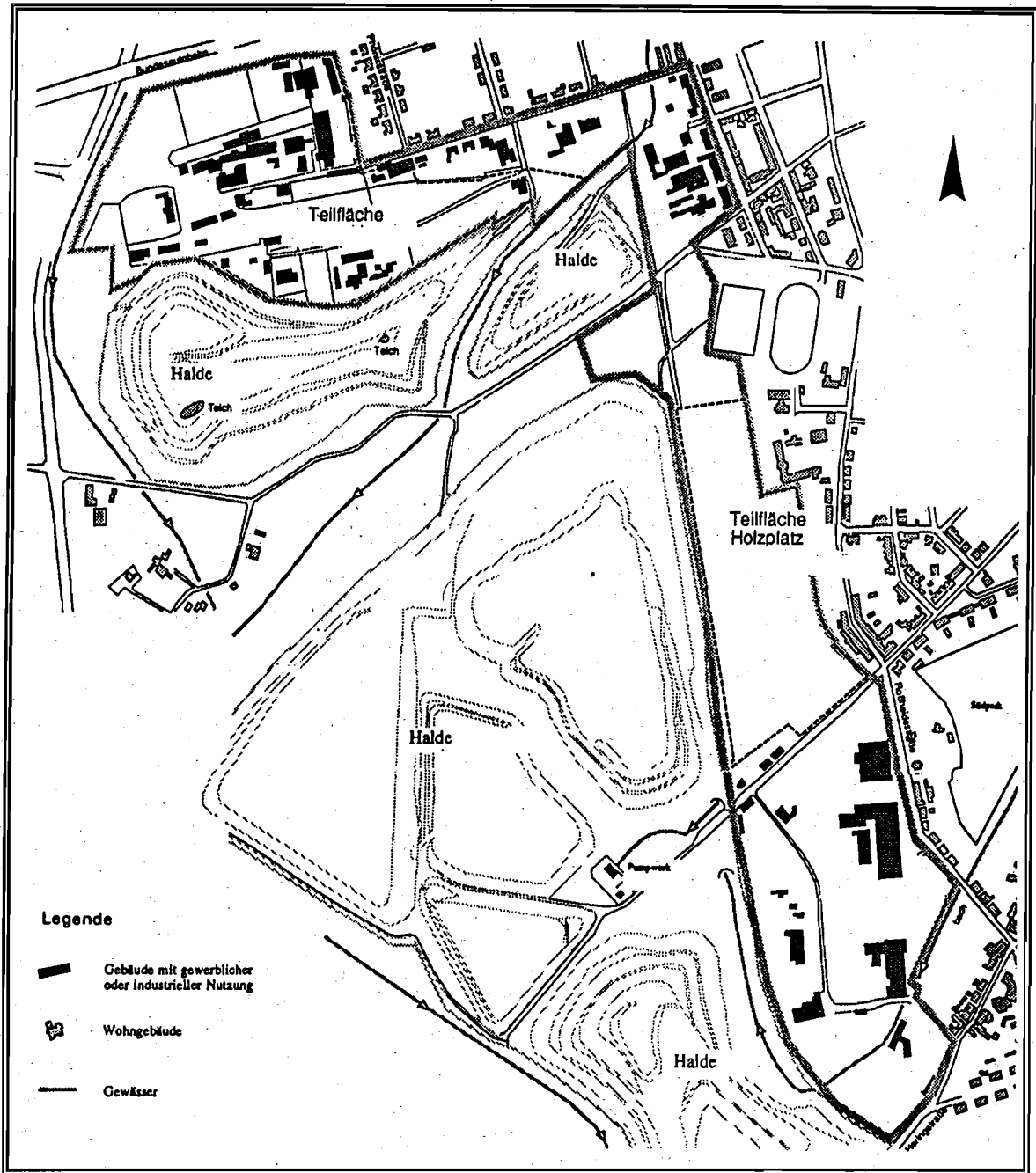
Ehemalige Nutzung

Der Standort X wurde von 1902 bis 1930 als Schachtanlage und von 1932 bis 1971 als Zentralförderanlage genutzt. Ab 1904 wurde auf dem Standort eine Kokerei mit Nebengewinnungsanlagen betrieben und 1911 eine Teerdestillation errichtet. Am Standort der ersten Kokerei wurde 1912 eine neue Anlage errichtet. 1930 wurde die Anlage stillgelegt und in den nachfolgenden zwei Jahren weitgehend abgebrochen. In den 50er Jahren wurde ein Blei-Zink-Erzgang erkundet und erschlossen. Dabei fiel taubes und erzhaltiges Gestein an, das auf einem Teil der Fläche angeschüttet wurde. Die Betriebs- und Tagesanlagen der Zeche wurden 1971 bis auf wenige Gebäude abgebrochen. Die Schächte wurden verfüllt und abgedeckt. Im Untersuchungsgebiet wurden zahlreiche Aufhaldungen, Verfüllungen und ungeordnete Ablagerungen vorgenommen, sowie Lager- und Holzplätze genutzt.

Im Zuge nachfolgender gewerblicher Nutzungen wurden Hallen und Schuppen auf der Fläche errichtet und ebenso wie die z.T. stehengebliebenen Zechengebäude genutzt. Ein Teil der Fläche lag brach.

Der Holzplatz gehört zum Betriebsgelände der ehemaligen Zeche Y, die südlich der Zeche und Kokerei X liegt. Der Holzplatz wurde zur Lagerung von Grubenholz genutzt. Es handelt sich um eine angeschüttete Fläche, die über einen Gleisanschluß mit dem Zechengelände verbunden war.

Lageplan



Mit der Stilllegung der Zeche 1967 wurde der Holzplatz nicht mehr betrieblich genutzt. Nachfolgend hat sich eine spontane Vegetation auf der Fläche entwickelt. Nur der nördliche Teil blieb weitgehend unbewachsen.

Eigentums-,
Pacht- und
Mietverhältnisse

Eigentümer der Fläche X sind die Firmen A,B und C.;

Pächter der Fläche sind die Firmen D, E und F.

Mieter sind die Firmen G, H und K.

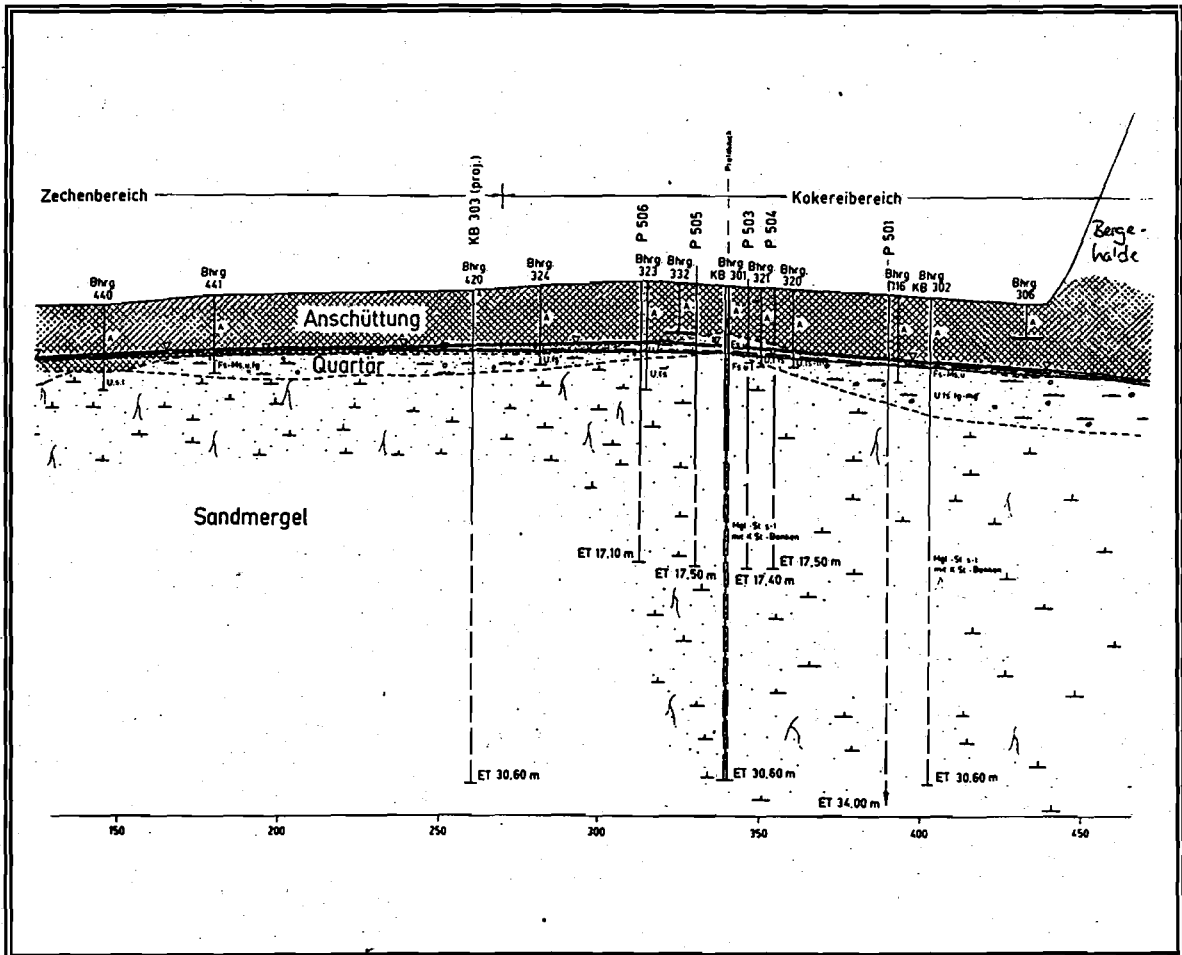
Eigentümer der Fläche Holzplatz ist die Firma A.

Geologie/
Hydrogeologie

Im Untersuchungsgebiet ist der Untergrund i.a. wie folgt aufgebaut (s.a. beiliegender geologischer Schnitt);

- Anschüttung: Bergematerial, Schlacken, Kohlereste, Ziegel- und Bauschutt, Bodenaushub (zwischen 0 und 9 m mächtig);
- Quartär: Ablagerungen, bestehend aus sandigen Schluffen, die nach unten zunehmend toniger werden (bis zu 5 m mächtig);
- Oberkreide: Sandmergel bis sandige Tonmergelgesteine mit harten Kalksandsteinbänken und/oder feste, überwiegend fein-sandige Tonmergelgesteine.
- Grundwasser: Die quartären Schichten sowie lokal auch die Anschüttung bilden das 1. Grundwasserstockwerk, das Porengrundwasser führt. Die Flurabstände liegen zwischen 3 m und 5 m. Die Schichten der Kreide bilden das 2. Grundwasserstockwerk, das Kluftgrundwasser, lokal auch Porenwasser führt. Die Trennung zwischen dem ersten und zweiten Stockwerk ist vermutlich nicht vollständig. Die Grundwasserfließrichtung des ersten und zweiten Grundwasserleiters ist nach Süd bis Südwest gerichtet.

Geologischer Schnitt N-S

Hydrologie

Das Gebiet liegt im Einzugsgebiet des Flusses X; es wird von verschiedenen Bächen entwässert. Alle Gewässer sind ausgebaut, begradigt und werden als Abwassersammler genutzt. Die Vorfluter beeinflussen neben einem Pumpwerk (Regulierung der Vorflut) die Fließrichtung des ersten Grundwasserstockwerks. In dem gesamten Gebiet haben Bergsenkungen stattgefunden.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

<u>Anlaß</u>	Überprüfung der Grundwasserqualität im Bereich des Altstandortes X durch die Untere Wasserbehörde Kreises.
<u>Gutachten</u>	<p>1986 - 1988 Gefährdungsabschätzung und Folgeuntersuchung für die Fläche X (im Auftrag des Kreises).</p> <p>1988, 1989 kleinräumige Boden-, Bodenluft-, und Grundwasseruntersuchungen (im Auftrag von ansässigen Unternehmern).</p> <p>1986 Gefährdungsabschätzung für die Fläche Y (im Auftrag des Kreises/).</p> <p>1991 Gefährdungsabschätzung für die Fläche ehemalige Zeche und Kokerei X.</p> <p>1991 Gefährdungsabschätzung für die Fläche Holzplatz Y.</p> <p>1991 Nachuntersuchungen zur Gefährdungsabschätzung (Zeche und Kokerei X und Holzplatz Y).</p>
<u>Besonderheiten</u>	Projektbegleitend wurde durch das Projektmanagement der Arbeitskreis Altlasten eingerichtet, an dem der Projektsteuerer, der Gutachter und Behördenvertreter (Ordnungsamt, Unt. Wasserbehörde, StUA) teilnahmen. Weitere Arbeitskreise wurden zu den Themen Bauleit-, Grün- und Verkehrsplanung eingerichtet.

2.1

Altstandort Zeche und Kokerei X

Untersuchungen

Im Bereich der ehemaligen Kokerei, Koksofenbatterien und Nebengewinnungsanlagen ist der Boden zum Teil durch Teeröle stark verunreinigt. Stellenweise treten freie Teeröle auf. In den Schichten der Oberkreide wurden Teeröle bis in Tiefen von ca. 30 m u. GOK gefunden. Dementsprechend wurde im Kokereibereich eine hohe Belastung durch PAK, Cyanide und BTX festgestellt. Im Zechengelände liegen lokal PAK-Konzentrationen vor, die den C-Prüfwert der sog. Hollandliste überschreiten. Im übrigen liegen die Gehalte an Polycyklen im Bereich des B-Prüfwertes. Die BTX-Konzentrationen unterschreiten deutlich den B-Prüfwert. Lokal erhöhte Cadmium-, Kupfer-, Quecksilber-, Blei- und Zinkkonzentrationen wurden auf der gesamten Fläche festgestellt. Maximale Schadstoffkonzentrationen im Boden sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Konzentrationen von BTX und Naphthalin in der Bodenluft überschreiten in einer Meßstelle (Kokereibereich) die Immissionsgrenzwerte (Raffinerierichtlinie (1975) und MIK_D VDI 2306), so daß eine Gefährdung des Menschen über den Bodenluftpfad nicht auszuschließen ist. Im Bereich der Schächte 3 und 4 liegen die Gehalte an Methan unter der Nachweisgrenze (0,001 %).

Im ehemaligen Kokereigelände ist das Grundwasser des ersten und zweiten Stockwerks durch PAK, BTX und andere kokereispezifische Inhaltsstoffe stark kontaminiert. Eine Ausbreitung von Teerölen erfolgt hauptsächlich in vertikaler Richtung. Im Grundwasserabstrom ist das erste Grundwasserstockwerk leicht verunreinigt. Das zweite Grundwasserstockwerk weist dagegen höhere Konzentrationen an PAK und BTX auf. Erhöhte AOX-Konzentrationen im Grundwasser wurden im Bereich der Bäche festgestellt. Das Grundwasser enthält Sulfat in erheblichen Konzentrationen, die im Abstrom der Halde ein Maximum erreichen. Schwermetalle wurden nur punktuell in erhöhten

Gehalten festgestellt. Eine Übersicht der Verunreinigungssituation des Grundwassers gibt Tabelle 2.

Tabelle 1

Maximale Konzentrationen im Boden

Stoff	Konzentration [mg/kg]
PAK (EPA)	> 10.000
Cyanide ges.	372
EOX	35
Cd	26
Cr	630
Cu	430
Hg	12
Pb	8.450
Zn	7.300
As	182
PCB	2

Tabelle 2

Maximale Konzentrationen im Grundwasser

Parameter/Stoff	1. Stockwerk Konzentration	2. Stockwerk Konzentration
1.) Kokereibereich		
pH	6,8	6,9
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	3.840	2.060
Phenolindex $\mu\text{g}/\text{l}$	800	60
Benzol $\mu\text{g}/\text{l}$	1	67
Σ BTX $\mu\text{g}/\text{l}$	2,1	101
Σ PAK (EPA) $\mu\text{g}/\text{l}$	111	562
Σ PAK (TVO) $\mu\text{g}/\text{l}$	11	27
Sulfat $\mu\text{g}/\text{l}$	1.580	377
2.) GW-Abstrom		
pH	7,4	6,6
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	6.320	4.870
Phenolindex $\mu\text{g}/\text{l}$	20	120
Benzol $\mu\text{g}/\text{l}$	1,5	89
Σ BTX $\mu\text{g}/\text{l}$	2,9	99
Σ PAK (EPA) $\mu\text{g}/\text{l}$	18	109
Σ PAK (TVO) $\mu\text{g}/\text{l}$	0,6	6,4
Sulfat mg/l	1.886	915

Gutachterliche

Bewertung

Eine akute Gefährdung der bestehenden Gewerbeansiedlung wurde ausgeschlossen, da die Bodenkontaminationen erst in einer Tiefe von 1 m u. GOK beginnen. Aufgrund der erheblichen Bodenkontaminationen können bei einer zukünftigen Nutzung des Areals Gefährdungen des Menschen und der Umwelt auftreten. Eingriffe in den Boden sind zu vermeiden. Das Grundwasser ist aufgrund seiner Belastung, insbesondere durch organische Inhaltsstoffe, nicht nutzbar.

Eine Sanierung ist im Hinblick auf die geplante Nutzung als Gewerbepark erforderlich. Es ist fraglich, inwieweit eine hydraulische Sanierung des Grundwassers möglich ist. In jedem Fall sollte das

Grundwasser weiter überwacht und in regelmäßigen Zeitabständen beprobt sowie chemisch untersucht werden.

2.2

Altstandort Holzplatz Y

Untersuchungen

Im südlichen Teil der Fläche wurde eine punktuelle, vertikal begrenzte Verunreinigung durch Teeröl im Boden festgestellt. Die PAK- und Phenol-Konzentrationen überschreiten hier deutlich den C-Prüfwert der sog. Hollandliste (s.a. Tabelle 3). Die BTX-Konzentration liegt über dem B-Prüfwert der sog. Hollandliste. Die übrige Fläche ist geringer belastet. Lokal wird der B-Prüfwert der Hollandliste für PAK überschritten. Die Phenolgehalte liegen generell über dem A-Prüfwert, punktuell auch über dem B-Wert. Die Konzentrationen verschiedener Metalle liegen i.a. im Bereich unbelasteter bis gering belasteter Böden. Nur lokal wurden erhöhte Blei-, Cadmium- und Zink-Gehalte festgestellt. Die Bodenluft enthält nur geringe Mengen an leicht flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen. In einer unterstromig gelegenen Grundwassermeßstelle wurden leicht erhöhte PAK-, Benzol-, AOX- und PCB-Gehalte im Grundwasser festgestellt. Eine nachteilige Veränderung des Grundwassers durch die auf dem Holzplatz abgelagerten Anschüttungsmaterialien ist nicht nachweisbar. Maximale Schadstoffkonzentrationen im Boden, die auf dem Holzplatz festgestellt wurden sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Maximale Konzentration im Boden
Untersuchungsgebiet Holzplatz Y

Stoff	Konzentration [mg/kg]
PAK (EPA)	9.320
BaP	48
Phenole	10
Cd	2
Zn	530

GutachterlicheBewertung

Der Bereich des Holzplatzes wurde in seiner Gesamtheit als leicht bis mäßig kontaminiert eingestuft. Die lokal erhöhten PAK- und Schwermetallkonzentrationen sowie die lokal begrenzte Teeröllinse stellen keine unmittelbare Gefährdung für Mensch und Umwelt dar. Eine Gefährdung für Mensch und Umwelt über den Bodenluftpfad sowie eine Gefährdung des Grundwassers durch die Fläche sind nicht erkennbar.

Eine Sanierung der Fläche im Hinblick auf die geplante Nutzung als Gewerbepark sollte aus Gründen der Vorsorge erfolgen.

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger Die Eigentümer der Flächen sind sanierungspflichtig.

Kostenträger Die Kosten der Sanierung werden durch die Eigentümer und die Stadt (Entwicklungsgesellschaft) getragen. Die Sanierungsmaßnahmen (ebenso wie die Erschließung und Grüngestaltung) werden zu rund 50 % durch das Förderprogramm Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

Rechtlicher Rahmen
der Sanierung

Zur Sanierung und Reaktivierung der Flächen wurde eine Entwicklungsgesellschaft gegründet.

3.1**Schutz- und Sanierungsziele**

Im AK Altlasten wurden die Ziele der Sanierung von den Beteiligten (Projektsteuerer, Gutachter, Behördenvertreter) diskutiert. Die Ziele wurden vom Gutachter in der Machbarkeitsstudie und im Sanierungskonzept schriftlich nieder-gelegt (s. beiliegender Auszug

aus dem Sanierungskonzept). Im Zuge des Bauleitplanverfahrens wurde den Sanierungszielen zugestimmt (das Sanierungskonzept ist Bestandteil des Bebauungsplans). Das Sanierungskonzept unterscheidet zwischen schwach bis mäßig kontaminierten und stark kontaminierten Bereichen sowie zwischen flächenhaften und lokalen Kontaminationen. Innerhalb der stark kontaminierten Bereiche wird zwischen Flächen mit und ohne Bodenluftbelastungen unterschieden. Die Konzentrationswerte für Einzelsubstanzen und Verbindungen wurden durch den Gutachter in Anlehnung an die Eikmann und Kloke-Werte, die sog. Hollandliste und den Spielplatzrunderlaß NW festgelegt und durch den AK Altlasten bestätigt (s. beiliegende Tabelle und Abbildungen).

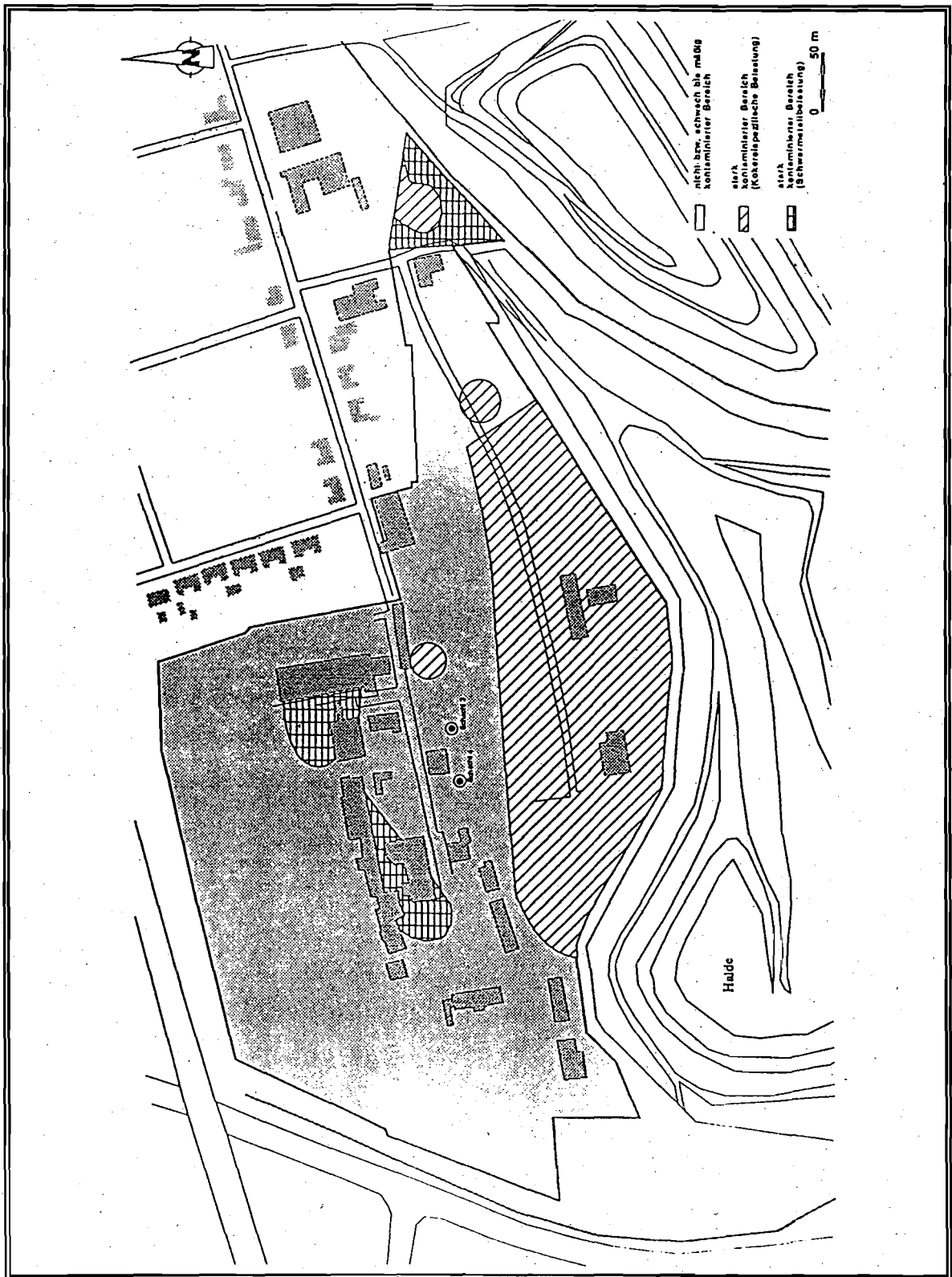
Sanierungsziele (für die bestehende und die geplante Nutzung)

1. Der Schadstoffaustrag aus nicht ausreichend abgedeckten bzw. befestigten Flächen über Staubverwehungen soll verhindert werden. Der Direktkontakt soll wirksam unterbunden werden.
2. Der Kokereibereich weist aufgrund einer Anreicherung mit leichtflüchtigen Schadstoffen im Boden ein Gefahrenpotential über den Bodenluftpfad auf. Dieser Bereich ist entsprechend der Nutzung wirksam zu sichern, um eine Gefährdung des Menschen auszuschließen.
3. Bereiche, in denen eine starke Belastung durch mobilisierbare Schadstoffe festgestellt wurde, sind im Hinblick auf eine mögliche Schadstoffverlagerung gegen Zutritt von Niederschlagswasser zu sichern, so daß eine Migration von Schadstoffen in das Grundwasser unterbunden wird.
4. Die Kompatibilität der Altlastensicherung /-sanierung mit den Maßnahmen zur Baureifmachung ist notwendig.
5. Der Aushub, Transport und die Entsorgung von belastetem Bodenmaterial ist im Sinne der Abfallvermeidung zu minimieren. Im Bereich der Kokerei sollte Bodenaushub nach Möglichkeit vermieden werden.
6. Anfallender Bodenaushub ist entsprechend seines Kontaminationsgrades zu entsorgen.
7. Die Sanierung ist in dem vorgesehenen Zeitraum bis Mitte 1993 zu verwirklichen.

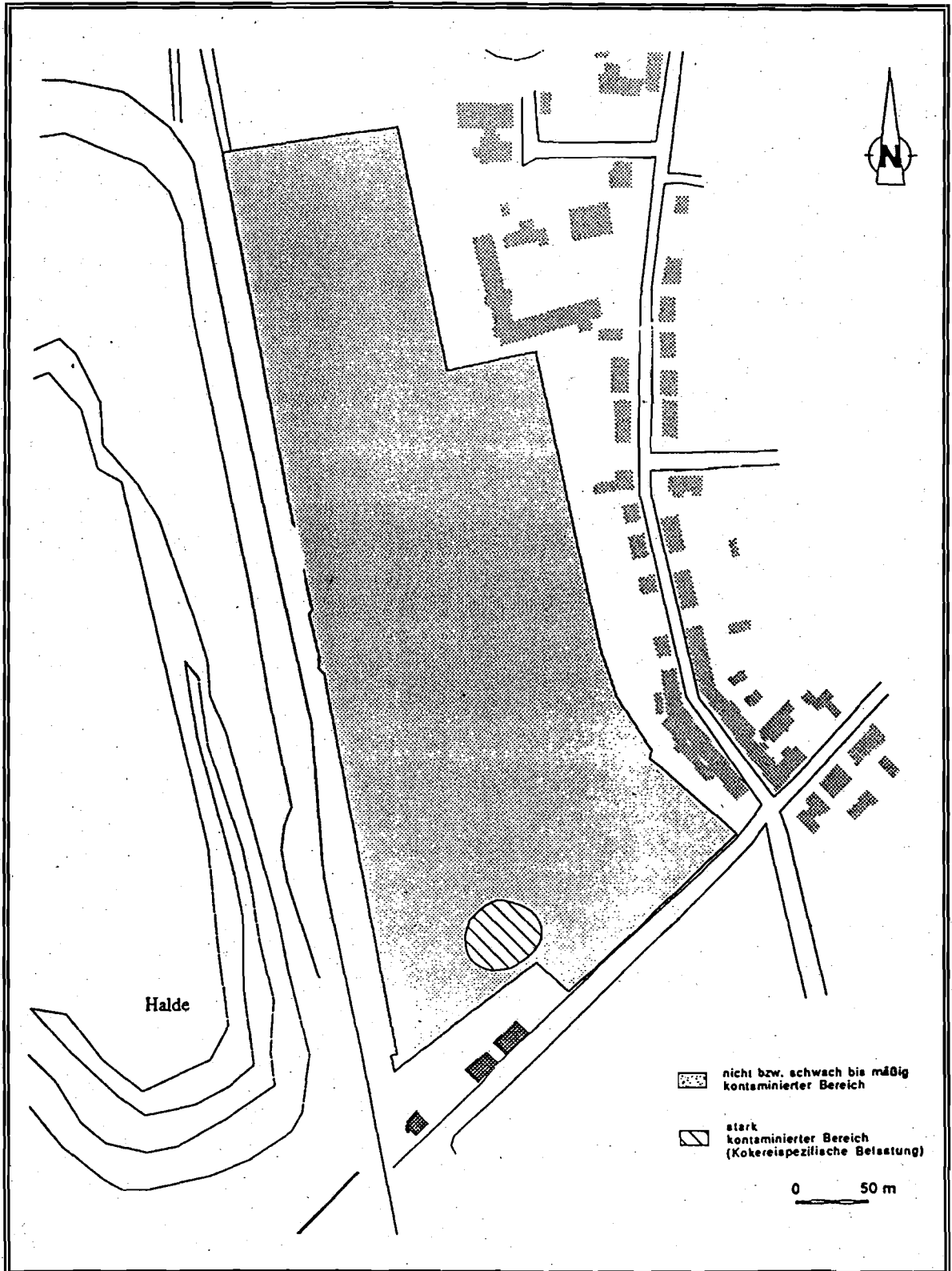
Handlungswerte

Element/Parameter	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3
kokereispezifische Parameter			
PAK gesamt mg/kg	bis 20	20 - 200	über 200
Benzo-a-pyren mg/kg	bis 1	1 - 10	über 10
BTX gesamt mg/kg	bis 7	7 - 70	über 70
Schwermetalle			
Cadmium mg/kg	bis 2	2 - 5	über 5
Quecksilber mg/kg	bis 2	2 - 10	über 10
Blei mg/kg	bis 300	300 - 1000	über 1000
Zink mg/kg	bis 500	500 - 3000	über 3000
Kupfer mg/kg	bis 100	100 - 500	über 500
Chrom mg/kg	bis 100	100 - 500	über 500
Nickel mg/kg	bis 100	100 - 500	über 500
Arsen mg/kg	bis 40	über 40	
sonstige Parameter			
PCB gesamt mg/kg	bis 1	1 - 10	über 10

Kontaminationsbereiche auf der Teilfläche Zeche und Kokerei



Kontaminationsbereiche auf der Teilfläche Holzplatz



3.2

Standortuntersuchungen und EmpfehlungenUntersuchungen

Weitere Erkundungen im Hinblick auf die Sanierung wurden 1992 durchgeführt. Es wurde die Mobilisierbarkeit (Eluat nach DEV-S4 und sequentielle Extraktion) von Schadstoffen insbesondere Schwermetallen u.a. im Bereich von Bergeablagerungen (Erz) untersucht und ein Pumpversuch durchgeführt. Außerdem wurden südöstlich des Kokereibereichs Rammkernsondierungen ausgeführt.

Ergebnis/Empfehlungen

- Mobilisierbarkeit:

Eine Wasserverfügbarkeit der in z.T. hoher Konzentration im Feststoff festgestellten Schadstoffe wurde nicht ermittelt. Allerdings überschreitet in allen Eluatuntersuchungen der Phenol-Index-Wert und vereinzelt auch andere Elemente den Schwellenwert der Deponieklasse 1.

Im Bereich der Erzablagerungen besitzen die Elemente Zink, Blei, Cadmium und Nickel aufgrund durchgeführter Extraktionsversuche und Grundwasseranalysen ein erhöhtes Kontaminationspotential, so daß es zu einer Verlagerung von Schwermetallen über den Sickerwasser- und Grundwasser-pfad kommen kann.

- Pumpversuch:

Es wurde ein Kurzpumpversuch (Bestimmung der förderbaren Wassermenge) und ein Pumpversuch über 2 x 48 h bei konstanter Förderung von 2,9 m³/h durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, daß es sich bei dem vorliegenden Mergel um einen schlechten, wenig wasserwegsamem Grundwasserleiter handelt. Der hohe Anteil an feinkörnigem Sediment, die große Kornoberfläche und die geringe effektive Porosität bzw. sehr geringe Gesteinsdurchlässigkeit haben eine geringe Verfügbarkeit der Schadstoffe zur Folge. Nur die leichtlöslichen Aromaten bzw. Naphthalin und in geringem Umfang auch die

3- und 4-Ring Aromaten sind hydraulisch mobilisierbar. Eine Dekontamination des Kluftgrundwasserleiters im Hinblick auf die wenig verfügbaren Schadstoffe ist nicht möglich.

Rammkernsondierungen:

Die südöstlich des Kokereibereiches festgestellte Grundwasserverunreinigung, insbesondere des 2. Stockwerks wurde auf eine lokale Bodenverunreinigung durch kokereispezifische Schadstoffe zurückgeführt, die durch 10 Rammkernsondierungen und organoleptische Ansprache des Bohrgutes erfaßt wurde.

Im Hinblick auf die zukünftige Nutzung des Standortes wurden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Kokereibereich: generell Versiegelung der Oberfläche, z.B. durch Asphalt, Oberflächenabdichtung im Bereich von Grünflächen, Gasdrainage im Bereich von Gebäuden;
- Zechenbereich und Holzplatz: Versiegelung des Bereiches mit Erzablagerungen, Versiegelung der übrigen stark belasteten Bereiche, mit Gasdrainage nur bei Vorkommen von leichtflüchtigen Schadstoffen (z.B. Bereich Teeröllinse auf dem Holzplatz); Abdeckung schwach bis mäßig belasteter Bereiche mit kulturfähigem Bodenmaterial soweit nicht durch Gebäude, Straßen etc. eine Staubverwehung verhindert wird;
- Grundsätzlich sollen alle Eingriffe in den Boden unterbleiben bzw. so gering wie möglich gehalten werden. Bei Baumaßnahmen sollte der Bodenaushub durch Baugrundverbesserungen minimiert werden. Anfallendes Bodenmaterial sollte durch einen Sachverständigen überprüft, entsorgt oder auf speziell ausgewiesene Flächen gesichert umgelagert werden.

- Kontaminierte Aushubmassen sollen nicht auf geringer belastete Flächen gesichert umgelagert werden.
- Bei allen Arbeiten sind die entsprechenden Arbeitsschutzmaßnahmen zu beachten.

Bereits nach Abschluß der Gefährdungsabschätzung wurden Verfahren zur Sicherung der Fläche von den Projektbeteiligten diskutiert. Hintergrund dieser Diskussion ist der Umstand, daß speziell die Fläche X neben der z.T. tiefgründigen Verunreinigung des Untergrundes aufgrund der im Boden verbliebenen Fundamente und nicht verfüllter Hohlräume einen nicht setzungs-freien Baugrund darstellt. Unter der Prämisse, daß eine Entsorgung von kontaminiertem Boden möglichst vermieden werden sollte, wurde frühzeitig die Idee eingebracht, den Baugrund zu bewehren. Durch den Einsatz von Geogittern sollten Zug und Druck, die von Bauwerkslasten auf den Untergrund ausgeübt werden, auf eine Fläche, die deutlich größer als die Fundament-fläche ist, verteilt und damit abgefangen werden. Daher wurde zeitlich parallel zur weiteren Standorterkundung ein Testfeld mit dem Ziel eingerichtet, das flächige Last-Setzungsverhalten eines mit Geokunststoffen (Geogittern) bewehrten Erdkörpers zu beobachten. Die aufgebrachte Belastung entsprach einer zweistöckigen Bebauung (s.a. Kap. 4.2).

3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Das Untersuchungsgebiet soll gewerblich genutzt werden. Aufgrund der inhomogenen Baugrundverhältnisse ist eine Bebauung ohne besondere gründungstechnische Maßnahmen bzw. ohne eine Vergütung des Baugrundes nicht möglich. Bei der Machbarkeitsstudie wurden daher Aspekte der Sicherung und Sanierung mit der infolge des schlechten Baugrundes notwendigen Baugrundverbesserung kombiniert. Folgende Sanierungsverfahren wurden betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren
 - Wasch- und Extraktionsverfahren
 - Biologische Verfahren
 - Aktive pneumatische Verfahren
 - Aktive hydraulische Verfahren
 - Sonstige Verfahren

- Sicherung:
 - Einschließungsverfahren
 - Passive pneumatische Verfahren
 - Passive hydraulische Verfahren
 - Immobilisierung
 - Umlagerung bzw. Entsorgung

Außerdem wurden folgende Verfahren der Baugrundverbesserung betrachtet:

- Verdichtungsverfahren,
- Bodenaustausch,
- Verfestigung,
- Bewehren,
- Sondergründungen.

Die Machbarkeitsstudie wurde anhand folgender Kriterien durchgeführt:

- Wirksamkeit des Verfahrens hinsichtlich der formulierten Schutz- und Sanierungsziele im technischen Sinne,
- Zeitbedarf,
- Betriebssicherheit und Arbeitsschutz,
- Überwachbarkeit (i.S. von Überprüfbarkeit des Sanierungserfolges) und Nachsorge,
- Akzeptanz bei Trägern öffentlicher Belange, bei Anwohnern und Nutzern sowie
- Kosten.

Anhand der vorgenannten Kriterien wurde im ersten Schritt ein Vergleich von Sanierungsverfahren durchgeführt und einzelne Varianten bewertet. Eine Übersicht der gutachterlichen Aussagen zu den betrachteten Verfahren ist in den Tabellen 4a und 4b zusammengestellt.

Tabelle 4a: Darstellung der gutachterlichen Aussagen zu Dekontaminationsverfahren

Verfahren	Wirksamkeit	Zeitbedarf	Betriebs-sicherung, Arbeits-schutz	Überwach-barkeit u. Nachsorge	Akzeptanz	Kosten
Biolog. Dekontami-nation	aufgrund hydrogeolog. Situation - geringe Durchlässigkeiten, Inhomogenitäten, Kontaminationstiefe - in situ nicht machbar (KA)	hoch	entsprechend TBG-Richtlinien	aufwendige Begleit- u. Kontrollmaß-nahmen	k.A.	k.A.
Thermische Dekontami-nation	nur für organ. Stoffe und wegen fehlender Kapazi-täten nur für begrenzte Volumina geeignet	genehmi-gungsrecht-liche Verzö-gerungen werden er-wartet	besondere Richtlinien, z.B. TBG-Richtlinien	Überwach-barkeit gege-ben, Nach-sorge nicht zu erwarten	wegen zu erwartender Emissionen fraglich	hohe Kosten, 500 DM/t, zzgl. Aushub, Transport, Arbeits-schutz
Chem.-physikal. Dekontami-nation	Extraktions- und Waschverfahren bei Schad-stoffgemischen proble-matisch, hier KA; für ZA u. HB möglich; Wirksamkeit ist nur bei grobkörnigem Material (< 20 bis 30 %) gege-ben, da sonst Reststoff-anteil zu groß, d.h., für Auffüllung anwendbar und für quartäre Schich-ten nicht.	Genehmi-gung zeit-intensiv	besondere Richtlinien, z.B. TBG-Richtlinien	k.A.	problema-tisch	500 DM/t incl. Aushub, Transport, Arbeits-schutz
<p>Machbarkeitsstudie: Übersicht des durchgeführten Variantenvergleichs k.A. = keine Aussage im Gutachten ZA: ehemalige Zeche A; KA: ehemalige Kokerei A HB: ehemaliger Holzplatz der Zeche und Kokerei B</p>						

Tabelle 4b: Darstellung der gutachterlichen Aussagen zu Sicherungsverfahren

Verfahren	Wirksamkeit	Zeitbedarf	Betriebs-sicherung, Arbeits-schutz	Überwach-barkeit u. Nachsorge	Akzeptanz	Kosten
Bodenaus-tausch: gesicherte Umlagerung / Entsorgung	technische Wirksamkeit für ZA u. HB gegeben, nicht für KA (Tiefe > 30 m) nicht für HB wegen Verschlechterungsverbot	Über Maschi-neneinsatz steuerbar hoch, für Genehmigungs-ver-fahren zur gesicherten Umlagerung	entsprechend TBG-Richt-linien	begleitende Bodenunter-suchungen	k.A.	wirtschaft-lich für KA nicht machbar Entsor-gungskosten
Oberflächen-abdichtung, mineralisch	Dichtungsschicht 0,7 m mächtig, $k_f = 1 \times 10^{-10}$ m/s für ZA gegeben	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Oberflächen-abdichtung, KDB	Verformungsgefahr durch Setzungen insb. bei Bau- u. Verkehrs-flächen, Integration einer Gasdrainage möglich; Wirksamkeit für KGM gegeben	kurzer Bauablauf	ohne besondere Vorgaben	Funktions-fähigkeit entsprechend geltenden Richtlinien prüfen, Nach-sorge nicht erforderlich	erreichbar, da in der Praxis er-probtes Ver-fahren	k.A.
Abdeckung	unterbindet Direktkontakt und Staubflug; Wirksamkeit für HB gegeben	steuerbar	ohne besondere Vorgaben	jederzeit überprüfbar	Konsens zw. Gutachter u. Behörden gegeben	wirtschaft-lich
vertikale Ab-dichtung	nur wirksam, wenn die Wand in undurchlässige Schicht einbindet; absolute Undurchlässig-keit gegenüber Wasser und organischen Substanzen nicht gewährleistet	sehr zeitauf-wendig	Wird als unverhältnismäßig angesehen, da eine horizontale Schadstoffausbreitung nicht festgestellt wurde.			nicht ab-schätzbar
Basisabdichtung	technisch und wirtschaftlich im Bereich KA nicht machbar					
hydraulische Maßnahme, passiv	technisch mit vertretbaren Kosten nicht machbar					
hydraulische Maßnahme, aktiv	keine vollständige Ver-fügbarkeit von Schad-stoffen	eine hydraulische Sicherung ist z.Z. nicht notwendig, da eine horizontale Verlagerung über den Grundwasserpfad durch Standortuntersuchungen ausgeschlossen werden konnte.				
Immobilisierung in situ / on site	Vorversuche im Hinblick auf sekundäre Kontaminationen durch freiwerdende Injektionsstoffe u. Langzeitverhalten	hoch, infolge Vorversuche, erforderliche Abstimmung mit Behörden; Störkörper im Boden behindern Bauablauf	von besonderer Bedeutung, Hinweis auf zusätzl. Kosten für die Nach-sorge	Nachsorge möglich, schwer kal-kulierbar, Überwach-barkeit nur im on site-Verfahren gegeben	fraglich	400 DM/t, wird aus wirtschaft-lichen Gründen für KA kritisch bewertet; an-wendbar auf ZA u. HB
Machbarkeitsstudie:	Übersicht des durchgeführter Variantenvergleichs k.A. = keine Aussage im Gutachten; ZA: ehemalige Zeche A; KA: ehemalige Kokerei A HB: ehemaliger Holzplatz der Zeche und Kokerei B					

Nachfolgend wurden verschiedene Baugrundverbesserungsmaßnahmen diskutiert. Die positiv bewerteten Verfahren zur Sanierung und zur Baugrundverbesserung wurden anschließend auf ihre Vereinbarkeit hin geprüft. In einer flächenbezogenen Beurteilung wurden für die vorab definierten Teilbereiche Kokerei A), Zeche A (ZA) und Holzplatz B (HB) die machbaren Sanierungs- und Baugrundverbesserungsmaßnahmen beschrieben. Die flächenbezogene Beurteilung unterscheidet zwischen den Nutzungsarten öffentliche Verkehrsfläche, private Verkehrsfläche (Hofbereiche), Hochbauten, Grün- und Sukzessionsflächen (s.a. Kap. 3.4).

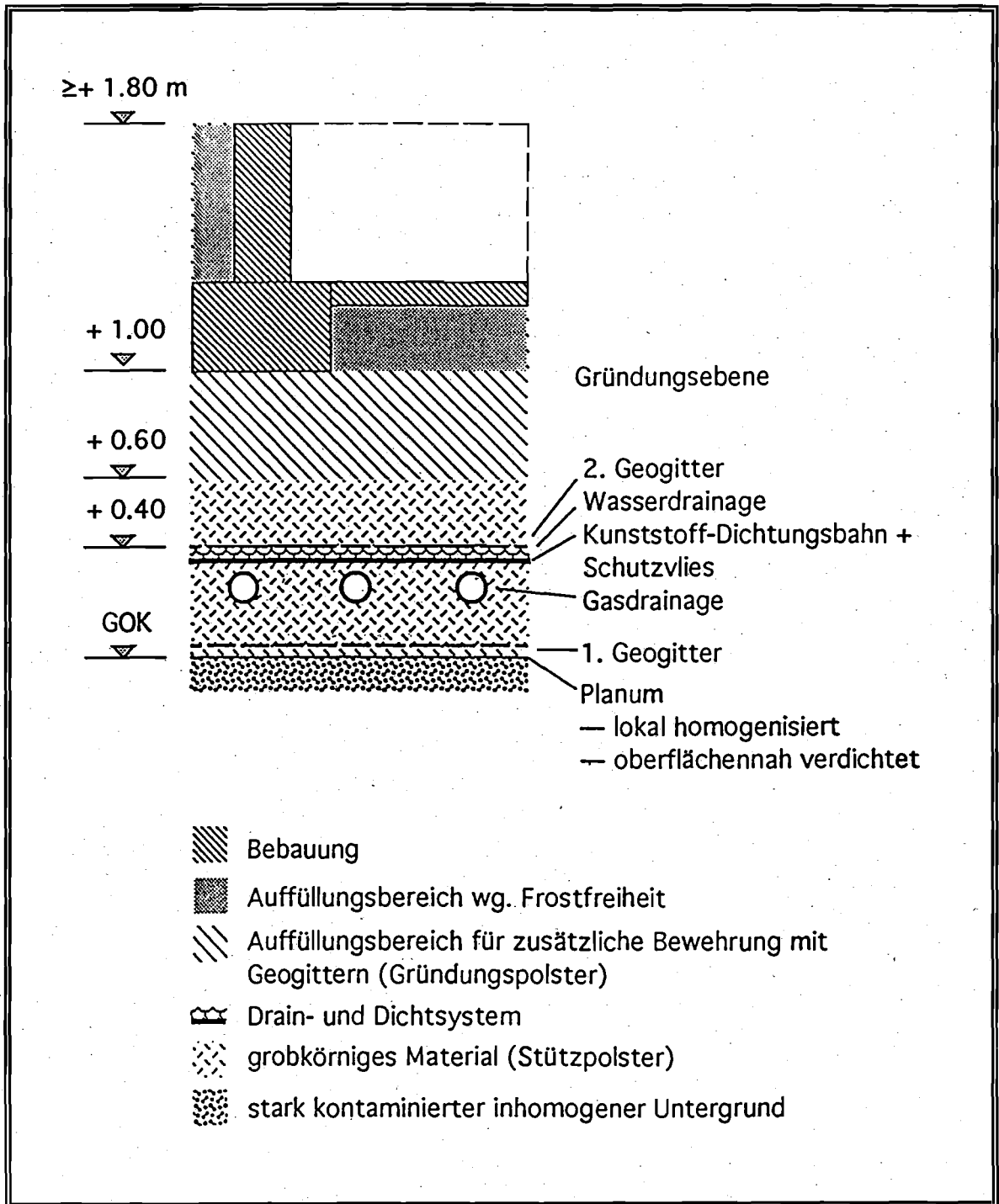
3.4

Sanierungskonzept

Anhand der geplanten Nutzungsart, der vorhandenen Kontaminationen, der Baugrundsituation und der Kombinierbarkeit von Sanierungs- und Baugrundverbesserungsverfahren wurden verschiedene Sanierungsmaßnahmen ausgewählt und in den Bebauungsplan aufgenommen. Außerdem wurden Anforderungen aufgestellt, die bei der Durchführung der Sanierungsmaßnahme beachtet werden müssen, und Nutzungseinschränkungen ausgesprochen. Im folgenden sind die ausgewählten Sicherungsmaßnahmen aufgeführt und die wesentlichen Regeln für die Sanierung zusammengestellt:

- Baulich genutzte Flächen in stark kontaminierten Bereichen: geokunststoffbewehrtes Gründungspolster mit integriertem Drain- und Dichtsystem sowie Gasdrainage; Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen (Regelprofil A, s. Abbildung);
- Baulich genutzte Flächen in schwach bis mäßig kontaminierten Bereichen: keine Sicherungsmaßnahmen aus Altlastensicht; z.T. geokunststoffbewehrtes Gründungspolster aufgrund der Baugrundsituation; bis zur Realisierung der Nutzung werden diese Bereiche abgedeckt;
- Öffentliche Verkehrsflächen in schwach bis mäßig und stark kontaminierten Bereichen: Versiegelung durch Verkehrsfläche gegeben, zur Baugrundverbesserung z.T. geokunststoffbewehrtes Gründungspolster;

**Sanierungskonzept Regelprofil A - Baulich genutzte Flächen
(stark kontaminierter Bereich)**



- Grünflächen in schwach bis mäßig kontaminierten Bereichen (Regelprofil F, s. Abbildung): Abdeckung mit mindestens 0,5 m kulturfähigem, unbelastetem Boden.
- Arbeiten und Maßnahmen auf Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (§ 9.5, Nr. 3 BauGB), müssen von Sachverständigen für Altlasten und Baugrund begleitet werden.
- Bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen sind die erforderlichen Vorbeugungs-, Sicherungs- und Überwachungsmaßnahmen entsprechend den geltenden Gesetzen, Regeln, Vorschriften und den Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen der Tiefbau-Berufsgenossenschaft zu beachten.
- Der Gesundheitszustand der in kontaminierten Bereichen arbeitenden Personen muß durch arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen überwacht werden.
- Anfallender Bodenaushub ist entsprechend seiner Kontamination ordnungsgemäß zu entsorgen.
- Grundwassermeßstellen sind bei Überplanung mit Baukörpern in Abstimmung mit den Behörden ggf. zu ersetzen.
- In stark kontaminierten Bereichen sind Betriebswohnungen grundsätzlich nicht zulässig, in schwach bis mäßig verunreinigten Bereichen sind Betriebswohnungen nur ohne Gartennutzung zulässig.

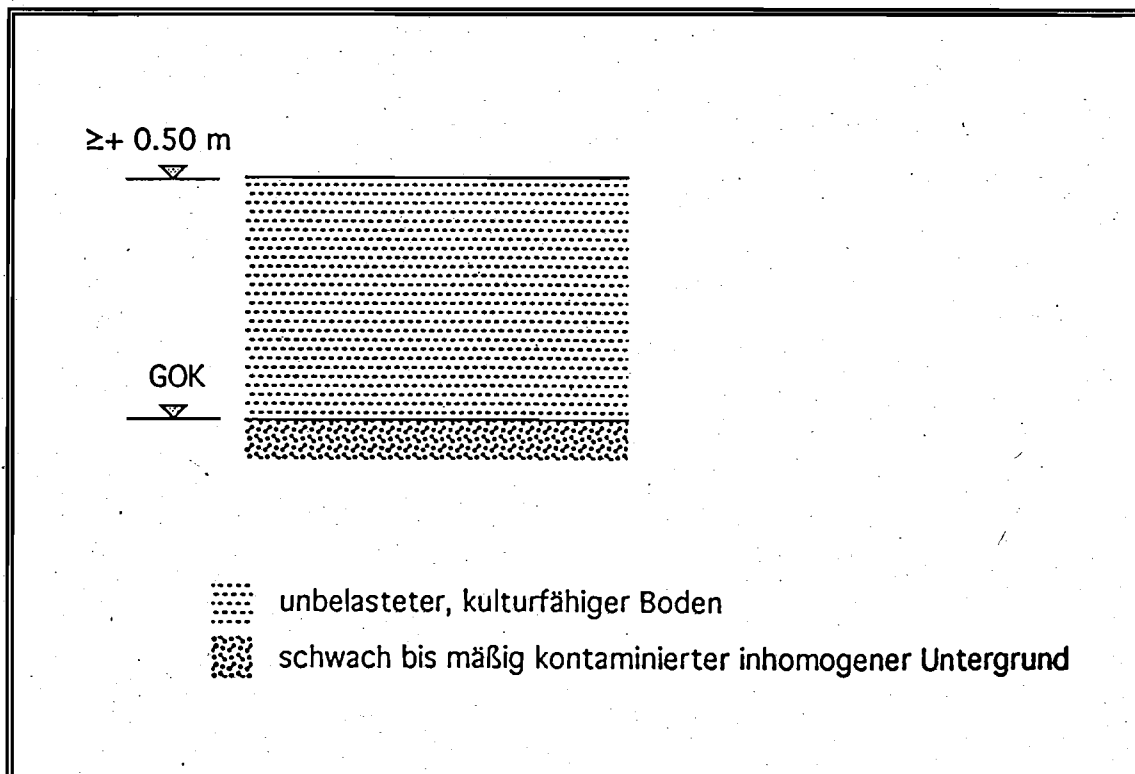
erforderliche

Genehmigungen

- Abrißgenehmigung für Gebäude (Baurecht)
- Ausnahme von der Baumschutzsatzung
- Ausnahmegenehmigung vom Landschaftsschutzgesetz
- Zustimmung im Einzelfall nach § 21.2 Landesbauordnung (BauO NW)
- Baugenehmigung

Sanierungskonzept Regelprofil F - Grünflächen

(schwach bis mäßig kontaminierter Bereich)



3.5

Anforderungen der Behörden

Anforderungen, die seitens der Behörden bestanden, wurden im AK Altlasten besprochen. So wurde seitens des StUA die Einhaltung eines k_f -Wertes von $\leq 5 \times 10^{-10}$ m/s für die Sicherung stark belasteter Bereiche gefordert.

Auf Anforderung des Ministeriums für Bauen und Wohnen NW (Nebenbestimmungen zur Genehmigung nach § 21.2 BauO NW) wurde für die Qualitätssicherung des bewehrten Drain- und Dichtsystems eine Fachbauleitung eingerichtet.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1 Technische Daten

Aufbau

Geokunststoffbewehrtes Gründungspolster mit integriertem Drain- und Dichtsystem ca. 34.000 m² (s.a. beiliegende Abbildung)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
0,8 m	Auffüllung	frostsichere Gründung
0,3 m	obere Tragschicht	Granulat und Geogitter
0,3 m	Entwässerung	Granulat (0,3 m) Drainrohre: PVC, Gefälle 5 % Drainmatten: PP, Gefälle 3 %
0,5 m	Kunststoffdichtungsbahn	HDPE Stärke $\geq 2,5$ mm max. Dehnung 0,25%
	Schutzvlies	Geotextil
	untere Tragschicht, mit integrierter Gasdrainage	passiv Drainrohre: HDPE Geogitter
	Planum	Verdichtungsgrad: $D_{Pr} = 97 \%$

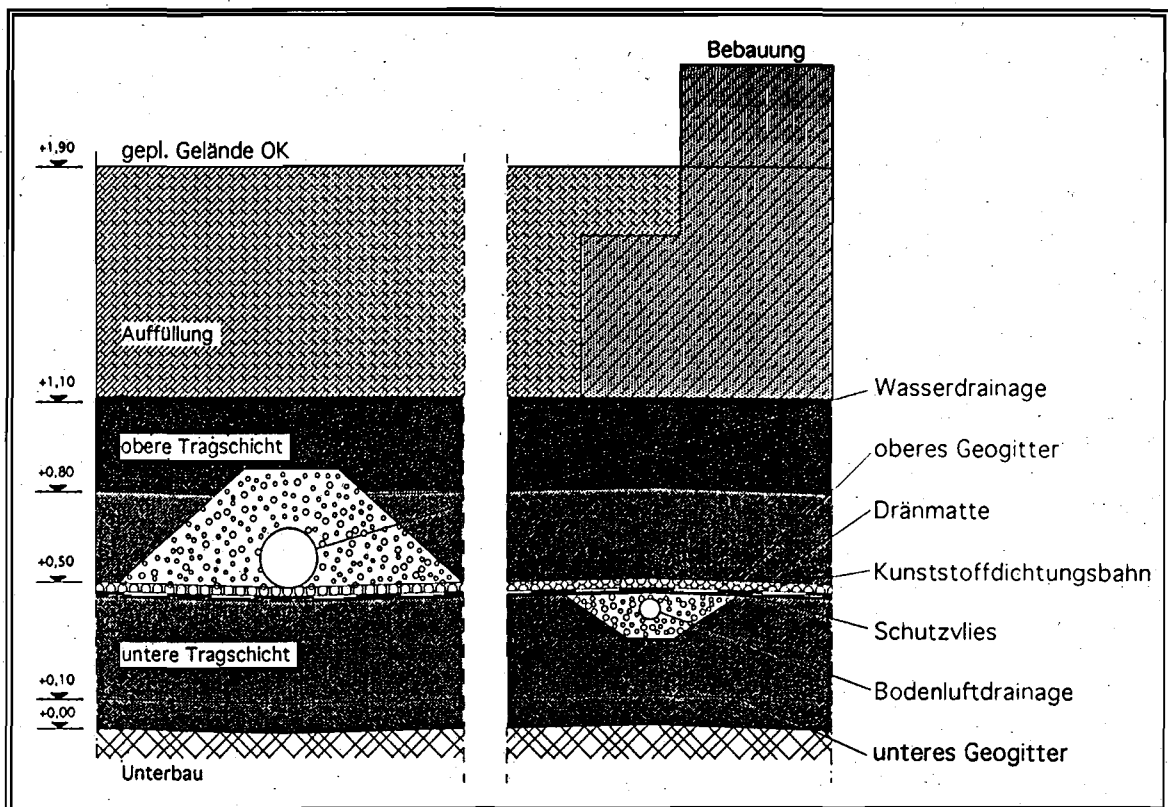
4.2

Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Testfeld

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (§ 21 Abs. 1 BauO NW) wurde ein Testfeld ingerichtet. Auf einer repräsentativen Fläche von 24 m x 19 m wurde das Tragverhalten des bewehrten Drain- und Dichtsystems untersucht. Auf das zur Hälfte bewehrte, zur anderen Hälfte unbewehrte Feld wurde eine Last aufgebracht, die einer zweistöckigen Bebauung entspricht. Für die Messung der Verformung und Setzung wurden auf 7 Ebenen Meßelemente eingebaut. Folgende Feld- und Labor-versuche bzw. Prüfungen wurden durchgeführt:

Aufbau des bewehrten Drain- und Dichtsystems



- visuelle Prüfung,
- Bestimmung der Dichte,
- Plattendruckversuch,
- Scherfestigkeit zwischen Boden und Geogittern und zwischen Kunststoffdichtungsbahn und Drainmatte,
- Wassergehalt des Einbaubodens und
- Kornverteilungen.

Die Verformung der Kunststoffdichtungsbahn lag im bewehrten Bereich bei 0,05 % (maximal zulässig 0,25 %), während das darüberliegende Geogitter stärker gedehnt wurde (1,75 %). Die Setzung der bewehrten Hälfte war mit 0,4 cm um ein Viertel kleiner als die der unbewehrten Hälfte. Der Aufbau des Testfeldes ist in der beiliegenden Abbildung dargestellt.

Aufgrund der Testfeldergebnisse und gutachtlicher Stellungnahmen zum bewehrten Drain- und Dichtsystem wurde durch das Ministerium für Bauen und Wohnen NW die Zustimmung im Einzelfall erteilt. (Das System ist patentrechtlich geschützt.)

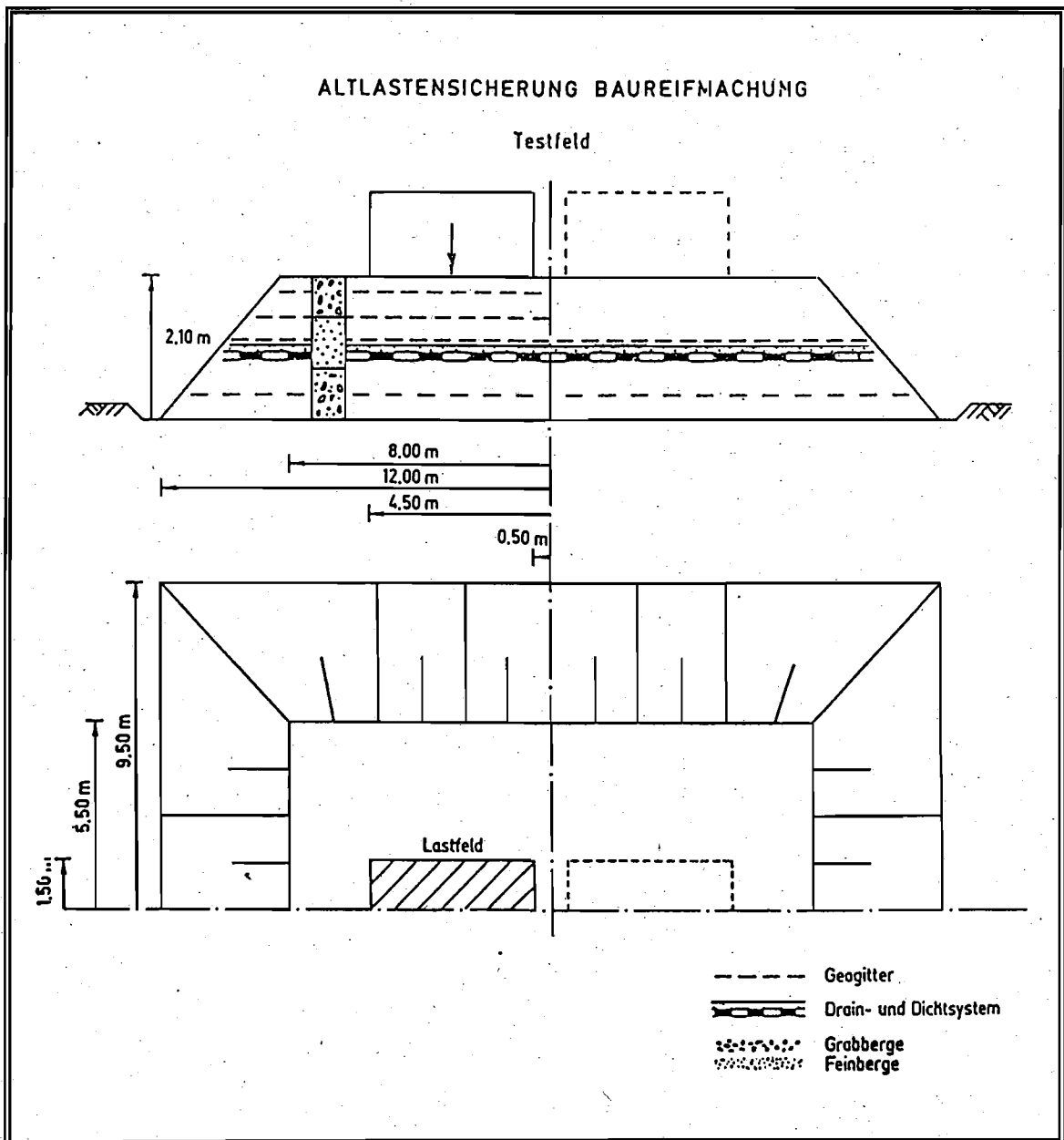
Versuchsfeld

Zur Qualitätssicherung des bewehrten Drain- und Dichtsystems wurde durch die Fachbauleitung (s.u.) ein Versuchsfeld angelegt, um die Anzahl der Walzenübergänge zu ermitteln, die für eine optimale Verdichtung der unteren Tragschicht erforderlich ist. Um den Energieeintrag beim Verdichtungsvorgang zu verbessern, wurde das Planum mit einer dünnen Feinsandschicht abgestreut. Die erzielte Lagerungsdichte wurde durch Sandersatzversuche und Proctorversuche überprüft. Zur Kalibrierung der Proctodichte und des Verformungsmoduls wurden zusätzlich zu diesen Versuchen Lastplattendruckversuche durchgeführt. Für das verwendete Granulat wurde bei einer Lagerungsdichte (D_{Pr}) von 105 % ein Verformungsmodul von $\geq 30 \text{ MN/m}^2$ ermittelt. Vor Ort wurde die Lagerungsdichte der unteren Tragschichten mit Sandersatzversuchen geprüft.

Fachbauleitung

Zur Überwachung der Bauausführung wurden folgende Fachbauleitungen eingerichtet:

- bewehrtes Drain- und Dichtsystem
- Bodengutachten,
- Hohlraumerkundung und
- Versiegelung des Regenrückhaltebeckens.

Aufbau Testfeld

Die Fachbauleitung für das bewehrte Drain- und Dichtsystem führte folgende Prüfungen durch:

- Prüfung der Neigung des Planums der unteren Tragschicht und der Gasdrainage (Nachweis für die ausreichende Neigung der Gas- und Sickerwasserdrainage),
- Durchlässigkeitsversuch am Material der Entwässerungsschicht,
- Prüfung der Schweißnähte der Kunststoffdichtungsbahnen,
- Prüfung des Verdichtungsgrades der unteren Tragschicht,
- stichprobenartige Überwachung des angelieferten Baumaterials durch Siebanalysen und
- visuelle Kontrolle der durchgeführten Arbeiten.

Fremdüberwachung

Bei der Erstellung des bewehrten Drain- und Dichtsystems wurden der Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen aus hochdichtem Polyethylen (HDPE) und von Geotextilien aus Polypropylen (PP) durch einen Fremdprüfer überwacht. Folgende Einzelprüfungen wurden vorgenommen:

- Bewertung der zum Einbau vorgesehenen Dichtungs-, Schutz- und Dränbahnen anhand von Eignungsprüfzeugnissen etc.,
- Überprüfung der personellen und gerätemäßigen Voraussetzungen der Verlegefirma,
- Überprüfung der ordnungsgemäßen Lagerung und Sicherung der Bahnen,
- Kontrolle der äußeren Beschaffenheit der Bahnen,
- visuelle Kontrolle der Bahnen und des Auflagers auf Ebenflächigkeit,
- Überprüfung der Schweißarbeiten (Randbedingungen, Schweiß- und Prüfprotokolle, ordnungsgemäße Fehlstellen-sanierung),
- Kontrolle der fachgerechten Verlegung und
- Festigkeitsuntersuchungen an Proben oder Probeschweißungen (Schälversuch).

Mangelhafte Nähte (Fehlstellen, z.B. durch Stromausfall) und durch hohe Außentemperaturen bedingte Wellen in der Kunststoffdichtungsbahn wurden saniert und erneut geprüft.

Aufgrund der Ergebnisse bestanden seitens der Fremdprüfung keine Bedenken gegen eine Bauabnahme.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Baumaßnahme wurde wie folgt gegliedert:

Bauabschnitt 1: Baufeldfreiräumung und Einebnung der Fläche

Bauabschnitt 2: Sanierung, Kanalbau, Straßenbau und Landschaftsbauarbeiten

Die Bauabschnitte wurden in jeweils 2 Lose unterteilt:

Los 1: Zechen und Kokereigelände A

Los 2: Holzplatz B

Die Leistungen wurden öffentlich ausgeschrieben. Da die gesamte Fläche im Zuge der Sanierung eine Erhöhung erfahren soll, stellt die Position Erdarbeiten einen erheblichen Kostenfaktor dar. Um die aktuellen Preise auf diesem Markt zu erheben, wurden in die Ausschreibung speziell unter dieser Position mehrere Alternativpositionen aufgenommen.

Vorabmaßnahme

Vor der Durchführung der eigentlichen Sicherungsmaßnahme wurde die Fläche von Abfällen sowie von Bewuchs befreit, Gebäude abgerissen und betonierte Flächen entfernt. Die Abfälle wurden auf der Fläche nach Stoffgruppen vorsortiert und zur weiteren Separation einer Fachfirma übergeben. In Zusammenhang mit dem Abbruch von Gebäuden wurden Behältnisse mit öligen Inhaltsstoffen, Öltanks und Ölabscheider fachgerecht entleert, gereinigt und demontiert. Der Bewuchs der Fläche wurde abschnittsweise geräumt und die freien Flächen mit angeliefertem unbelastetem Material überdeckt. Bereichsweise wurde die Fläche eingeebnet.

Sanierung

Vor Aufbau des Sicherungssystems wurde der Untergrund auf Hohlräume untersucht. Ausgehend von den Ergebnissen der

historischen Recherche wurden verrohrte Trockenbohrungen niedergebracht, jedoch keine größeren Hohlräume festgestellt. Für die Gasdrainage und das Entwässerungssystem wurde der Unterbau profiliert. Für die untere Tragschicht wurden Schlacken verwendet, die während des Bauablaufs stichprobenartig auf ihre Körnung von $d(80) \leq 19$ mm überprüft wurden. In die untere Tragschicht wurden Geogitter mit einer Überlappung von 30 cm und eine Gasdrainage im Kiesbett eingebaut. Der weitere Aufbau der Tragschicht erfolgte im Vor-Kopf-Verfahren. Nach der Erstellung des Feinplanums für das Drain- und Dichtungssystem wurde das Schutzvlies überlappend ausgelegt und geheftet. Auf dem Vlies wurden die Kunststoffdichtungsbahnen verlegt und verschweißt und die Drainmatte verlegt und geheftet. Die Verlegearbeiten für das Drain- und Dichtsystem erfolgten abschnittsweise, so daß die Geotextilien vor Witterungseinflüssen geschützt waren. Auf der Drainmatte wurde ein weiteres Geogitter überlappend verlegt und mittels Rödeldraht verbunden. Darauf wurde die Entwässerungsschicht aufgebaut (Granulat), die Sammler in einem Kiesbett verlegt und 30 cm tragfähiges Material aufgebracht.

Bei der Bauausführung traten witterungsbedingt Schwierigkeiten auf. Die Kunststoffdichtungsbahnen konnten bei durchgehend regnerischer Witterungslage nicht verlegt werden, so daß die Verlege- und Schweißarbeiten sich auf die trockenen Abschnitte konzentrierten. Die Arbeiten wurden durch 2 bis 3 Kolonnen durchgeführt, die durch den Fremdprüfer überwacht wurden.

Bei der Verlegung von Kanalrohren traten von Seiten der Bergehalde (A) mehrfach extreme Sickerwasserzuflüsse in die Kanalbaugruben auf.

Auf der Fläche blieben einzelne Gebäude bestehen, die auch während der Baumaßnahmen betrieblich genutzt wurden. Die auf der Fläche ansässigen Gewerbebetriebe mußten an das neue Versorgungsnetz angeschlossen werden. Bei den Anschlußarbeiten wurde kontaminierter Boden angetroffen, der entsorgt werden mußte. Mit

Kontaminationen war nach den Ergebnissen der Gefährdungsabschätzung in diesen Bereichen nicht gerechnet worden.

Anfallende Reststoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	bewehrter und unbewehrter Beton sowie Mauerwerk	11.200 m ³	Recycling, Wiederverwendung auf der Fläche
	Autowracks	12 Stück	extern
	Schiffswrack	1 Stück	extern
	stark kontaminierter Boden	250 m ³	Deponie
flüssige Rückstände	Öle und Farben	k.A.	Deponie
	Altbatterien aus Fahrzeugen	2.200 kg	extern
sonstiges	Grünabfälle	k.A.	Wiederverwendung auf der Fläche als Kompost im Bereich der Grünflächen

4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Einrichtungen des Arbeitsschutzes wurden entsprechend den Richtlinien der Tiefbau-Berufsgenossenschaft für Arbeiten in kontaminierten Bereichen vorgenommen. Hierzu zählen u.a. das Vorhalten und Betreiben einer Schwarz-Weiß-Anlage, persönliche Schutzkleidung, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen etc.. Durch den Koordinator Meßtechnik (s. ebenfalls o.g. Richtlinie) wurde die Arbeitssicherheit des Personals überwacht. Der Koordinator führte u.a. Arbeitsplatzmessungen durch und ordnete das Tragen von besonderer Schutzkleidung bei entsprechenden Arbeiten an.

Weitere Maßnahmen Den Richtlinien der TBG entsprechend wurde ein Bauzaun errichtet. Weitere Schutzmaßnahmen waren nicht erforderlich.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Zechen- und Kokereigelände A

Bauabschnitt	Dauer		Kosten in DM		
	geplant von bis	real von bis	geschätzt nach Gefähr- dungsab- schätzung	geplant, laut Ausschrei- bung	real
Vorabmaß- nahme	April - August 1993	April - November 1993	-	ca. 1,1 Mio	ca. 2,5 Mio
Sanierung	Juni - Dezember 1993	Juni 1993 - Mai 1994	18,5 Mio	6.750.000	7.400.000
Erschließung			7,2 Mio	2.680.000	4.450.000
Landschafts- bau			911.000	1.120.000	670.000

Eine erste vorsichtige Kostenschätzung wurde noch während der Durchführung der Gefährdungsabschätzung vorgenommen. Auf der Basis dieser Kostenschätzung wurden Mittel aus dem Förderprogramm Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) beantragt. Es ist eine deutliche Reduzierung der Sanierungskosten in der Bauausschreibung gegenüber der ersten Kostenschätzung für das Zechen- und Kokereigelände zu verzeichnen. Die Sanierungskosten verringerten sich, da die hydraulische Sanierung nicht erforderlich wurde (s.a. Kap. 3.2). Die realen Kosten für die Erschließung lagen im Vergleich zur Ausschreibung höher, da bei Bodenarbeiten zur Anschließung der Anlieger an die Ver- und Entsorgung kontaminierter Boden entnommen wurde, der entsorgt werden mußte.

Holzplatz B

Bauabschnitt	Dauer		Kosten in DM		
	geplant von bis	real von bis	geschätzt nach Gefähr- dungsab- schätzung	geplant, laut Ausschrei- bung	real
Vorabmaß- nahme	April - August 1993	April - November 1993	-	ca. 0,5 Mio	ca. 0,7 Mio
Sanierung Erschließung Landschafts- bau	Juni - Dezember 1993	Juni 1993 - Mai 1994	2,3 Mio 4,1 Mio 754.500	750.000 870.000 850.000	1.025.000 1.112.000 715.0

**5 Behandlung von kontaminierten Medien und
Langzeitüberwachung (Monitoring)**

Zur Überwachung der gesicherten Altlast werden im jährlichen Abstand an insgesamt 19 Grundwassermeßstellen im umliegenden Bereich (1. und 2. Grundwasserstockwerk) die Grundwasserhöhen eingemessen und die Grundwasserfließrichtung bestimmt. Den Empfehlungen des Gutachters entsprechend werden die Parameter BTX, Phenolindex, PAK (nach EPA), pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat und Ammonium ermittelt. Die Überwachung wird seit 1994 durchgeführt und ist vorläufig bis 1999 geplant. Erste Untersuchungsergebnisse sind nicht zugänglich.

Die Kosten der Grundwasserüberwachung belaufen sich pro Jahr auf ca. 25.000 DM.

Projekt 4

Kurzdarstellung

In Zusammenhang mit der Aufstellung eines Bebauungsplanes wurde 1986 auf der Fläche eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Dabei wurden in einem Bahndamm Belastungen durch Blei, Quecksilber und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe festgestellt.

Zur Sanierung der Altlast wurde das kontaminierte Material 1991 auf der Fläche in einen Lärmschutzwall gesichert umgelagert. Die Sicherungsmaßnahme konnte damit in die städtebauliche Planung eines Sportplatzes integriert werden. Die Kontaminationen wurden durch eine Basis- und Oberflächenabdichtung gesichert. Die Funktionstüchtigkeit des Systems kann über eine innenliegende Drainage und einen Kontrollschacht überwacht werden.

Die Baustelle wurde im August eingerichtet. Bei der Ausführungsplanung wurde nicht berücksichtigt, daß der Bewuchs von Flächen erst ab dem 01. Oktober entfernt werden darf (Landschaftsgesetz). Es kam zu einer Bauzeitverlängerung.

Bei der Bauausführung traten Schwierigkeiten auf. Nach anhaltenden Niederschlägen konnte der Untergrund nicht mehr befahren werden. Um den Baubetrieb aufrecht zu erhalten, wurden Panzermatten als provisorische Baustraße ausgelegt. Die Niederschläge verursachten hohe Grundwasserstände. Die Verkleidung eines Wasserauffangbeckens bekam durch die hohen Grundwasserstände Auftrieb. Dadurch verringerte sich das Beckenvolumen und es kam zu einem unkontrollierten Überlaufen des Beckens.

Der Kontrollschacht der Drainage wurde mit Kunststoffdichtungsbahnen abgedichtet. Da die Anschlüsse der Bahnen nicht vollständig abgedichtet wurden, kann Grundwasser in den Schacht eintreten. Aus diesem Grund ist eine Kontrolle der Funktionstüchtigkeit des Abdichtungssystems nicht ordnungsgemäß möglich.

1 Standortbeschreibung

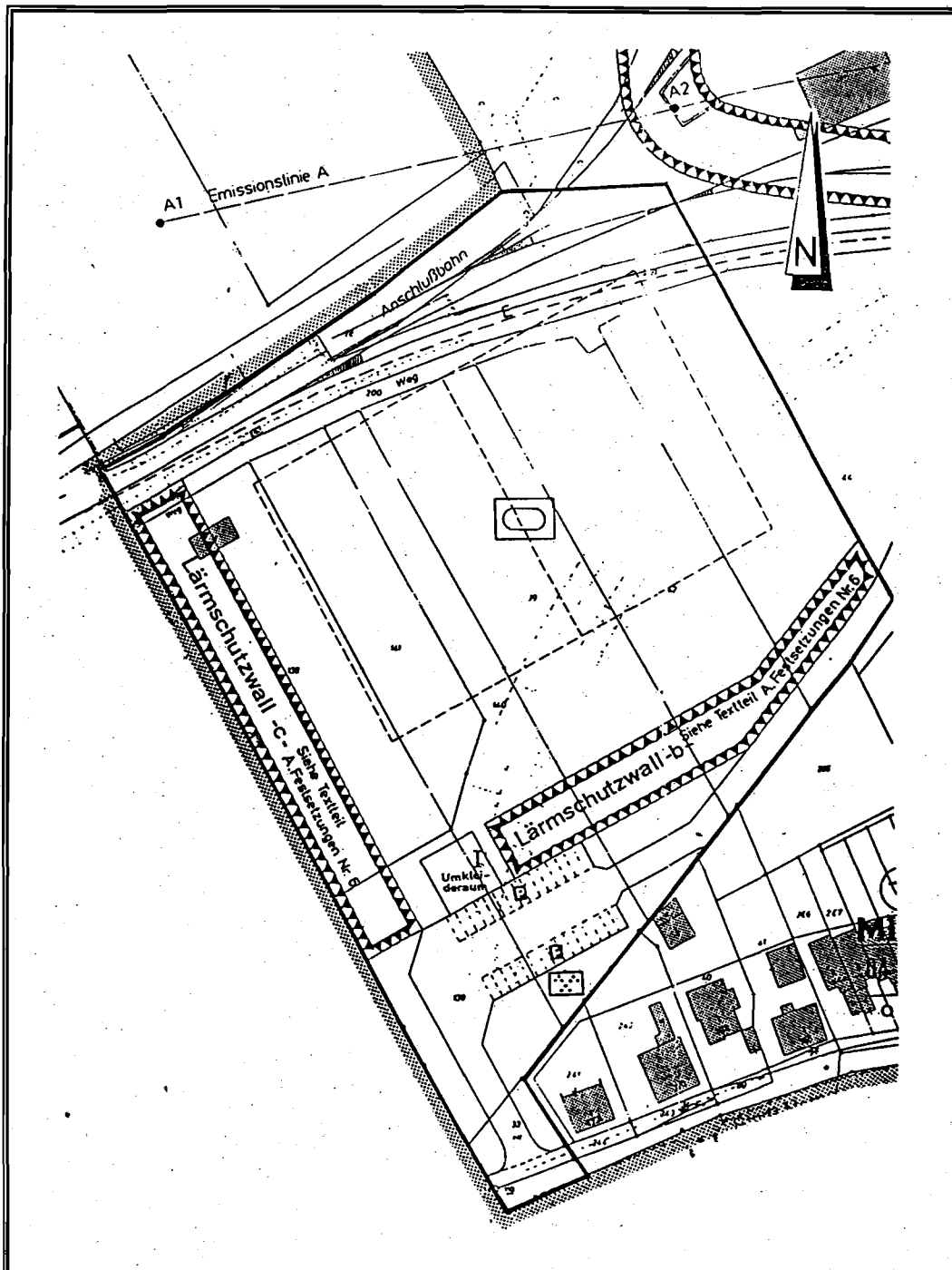
<u>Lage</u>	Das Gelände liegt am Stadtrand. Es grenzt an Wohnbebauung an (s.a. beiliegende Abbildung).
<u>Größe</u>	Die Fläche hat eine Größe von ca. 24 ha.
<u>Ehemalige Nutzung</u>	Die Fläche wurde für den An- und Abtransport von Gütern auf dem Schienenweg genutzt. Durch die Gleisanlage war eine Firma des Maschinenbaus, die von 1870 bis 1984 bestand, mit einer Zechen- und Kokereianlage verbunden. Nach Aufgabe der industriellen Nutzung lag die Fläche brach.
<u>Eigentums-, Pacht- und Mietverhältnisse</u>	Das Untersuchungsgebiet ist seit 1986 Eigentum der Landesentwicklungsgesellschaft NW.
<u>Geologie</u>	
<u>Hydrogeologie</u>	Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut:
Bahndamm:	Bergematerial, Schluff, Sand, Ziegelreste, Asche, Schotter, Granulat und Schlacke;
Quartär:	feinsandiger Schluff (Lößlehm), darunter folgt sandiger Schluff mit eingelagerten Sandlinsen;
Kreide:	Mergel ab 4 m Tiefe (unter Quartäroberkante);
Grundwasser:	Die in den Schluff eingelagerten Sandlinsen (Quartär) führen Grundwasser. Die Mächtigkeit und Ausdehnung dieser wasserführenden Zwischenschicht ist nicht bekannt. Das zweite Grundwasserstockwerk befindet sich in den Schichten der Kreide. Der Flurabstand des quartären Grundwassers beträgt 0,5 m bis 1 m (bezogen auf Quartäroberkante). Der Flurabstand

des zweiten Grundwasserstockwerks liegt bei ca. 12 m.

Hydrologie

Der gewachsene Boden (Lößlehm) verhindert eine rasche Versickerung von anfallendem Oberflächenwasser. Dadurch haben sich lokal sumpfige Bereiche ausgebildet. Das anfallende Oberflächenwasser fließt im übrigen der Hangneigung folgend nach N bzw. NW ab.

Lageplan



2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

- Anlaß Die Fläche wurde in Zusammenhang mit der Aufstellung eines Bebauungsplans untersucht, der für die Fläche eine Nutzung als Sportplatz mit Lärmschutzwällen vorsah.
- Gutachten Baugrundgutachten 1985
Gefährdungsabschätzung 1986
- Untersuchung Im Bereich des Bahndammes wurden Baggerschürfe durchgeführt und Bodenproben untersucht. Es wurde festgestellt, daß die Bahndammschotter örtlich in hohen Konzentrationen durch PAK verunreinigt sind. Es wurden maximale Konzentrationen von 7.000 mg PAK/kg Feststoff ermittelt. Das übrige Gelände ist nicht belastet.
- Gutachterliche
Bewertung Aufgrund der hohen Konzentrationen an PAK im Anschüttungsmaterial des Bahndammes kann eine Gefährdung der Bevölkerung (spielende Kinder) und ein langfristiger Schadstoffaustrag in das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden.

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger Der Eigentümer, die Landesentwicklungsgesellschaft NW, ist sanierungspflichtig.

Kostenträger Die Kosten der Sanierung trägt der Eigentümer.

Rechtlicher Rahmen der Sanierung Die Sanierung der Fläche wurde im Baugenehmigungsverfahren für den Sportplatz zur Auflage gemacht.

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

Durch die Sanierung sollen das Leben und die Gesundheit von Menschen und das Grundwasser vor schädlichen Einwirkungen geschützt werden.

3.2 Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen Im Bahndamm wurden Rammkernsondierungen niedergebracht. Das Probematerial wurde in der Originalsubstanz und im Eluat (DEV S4) untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der beiliegenden Tabelle zusammengestellt.

Ergebnis / Empfehlungen Der Bahndamm mit kontaminiertem Schotter hat eine Ausdehnung von rund 100 m Bahndammkörper und umfaßt ein Volumen von rund 4.000 m³ (s.a. beiliegende Abbildung). Die Schadstoffe Blei, Quecksilber und PAK besitzen eine erhöhte Wasserlöslichkeit. Die Gehalte an Arsen, Cadmium und Cyaniden waren im Eluat dagegen

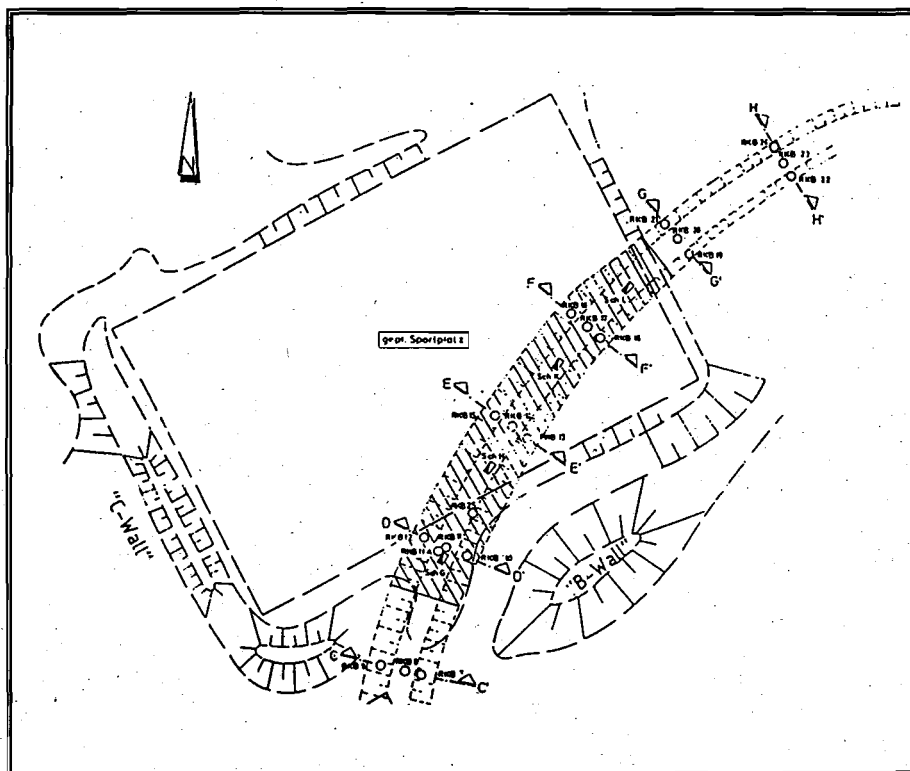
gering. Die Kontaminationen stellen über den direkten Kontakt und die orale Aufnahme eine Gefährdung für den Menschen dar. Durch ihre Eluierbarkeit besteht die Gefahr, daß das Grundwasser kontaminiert wird. Aus diesen Gründen ist ein Sanierungsbedarf gegeben.

Das kontaminierte Bahndammmaterial kann beim Bau der Lärmschutzwälle für den geplanten Sportplatz eingesetzt werden.

Schadstoffgehalte im Dammschüttmaterial

	Originalsubstanz		Eluat (DEV S4)	
	mg/kg		mg/l	
Arsen	5,9	- 35,9	< 0,002	- 0,005
Blei	13,3	- 870	0,02	- 1,45
Cadmium	< 0,2	- 2,6	< 0,002	- 0,005
Quecksilber	0,07	- 7,3	0,011	- 0,068
Cyanide (gesamt)	0,002	- 31,4	< 0,02	- 0,08
Summe PAK*	0,53	- 6906	< 0,0006	- 0,197
Naphthalin	0,2	- 6100	< 0,00005	- 0,029
Benzo(a)pyren	0,2	- 283	< 0,00005	- 0,005

Kontaminationsbereich



3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren
 - Wasch- und Extraktionsverfahren
 - Biologische Verfahren
 - Aktive pneumatische Verfahren
 - Aktive hydraulische Verfahren
 - Sonstige Verfahren

- Sicherung:
 - Einschließungsverfahren
 - Passive pneumatische Verfahren
 - Passive hydraulische Verfahren
 - Immobilisierung
 - Deponierung

Im Hinblick auf die organischen Verunreinigungen wurde eine thermische Reinigung bzw. Entsorgung erwogen. Dieser Weg wurde aus ökonomischen Gründen nicht weiter verfolgt. Eine Deponierung auf einer Deponie der Klasse 3 schied ebenfalls aus finanziellen Gründen aus. Eine durch Einkapselung gesicherte Umlagerung des kontaminierten Materials verhindert den direkten Kontakt, eine Verbreitung über den Luftpfad und die Auswaschung von Schadstoffen durch Niederschlagswasser. Diese Lösung erschien aufgrund der städtebaulichen Planung, die angrenzende Wohnbebauung durch Wälle gegenüber dem Lärm vom geplanten Sportplatz abzuschirmen, sinnvoll.

3.4 Sanierungskonzept

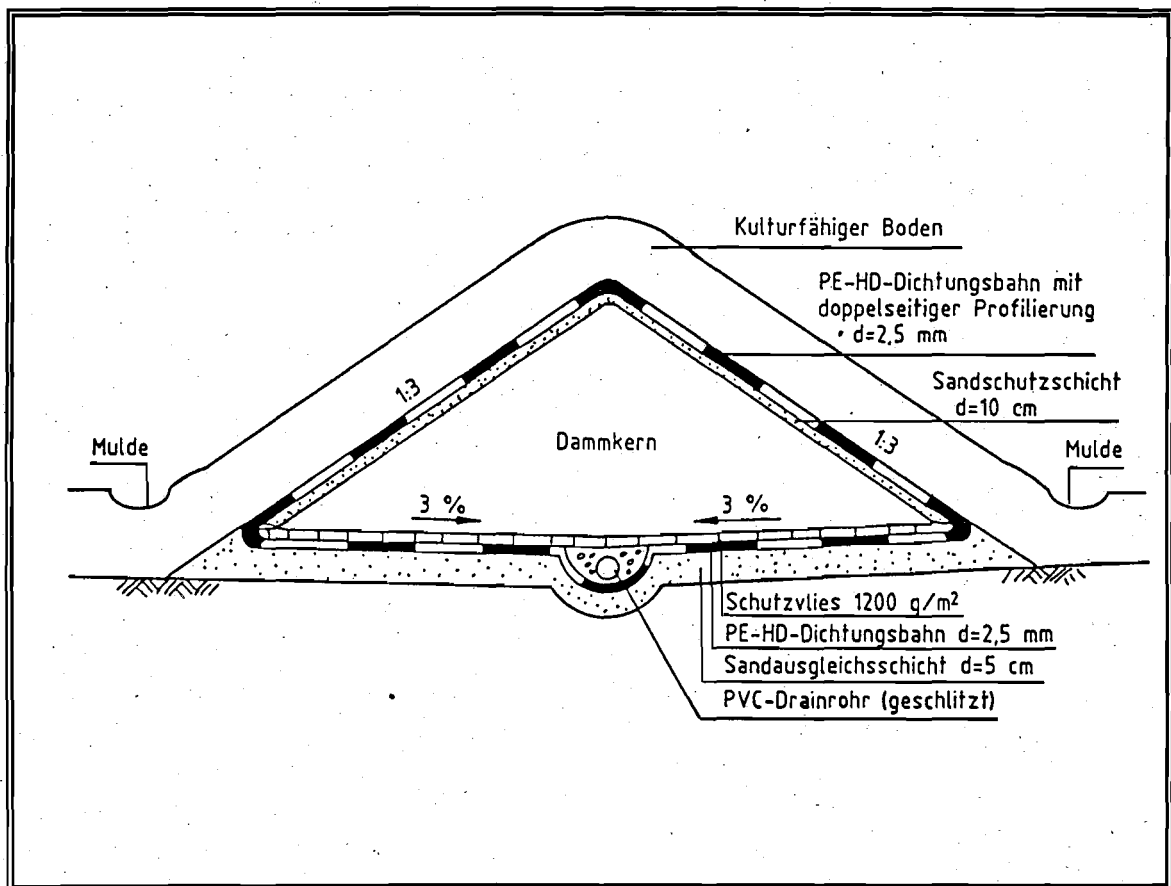
Das stark kontaminierte Bahndammmaterial wird in einen Lärmschutzwand eingebaut. Dieser wird durch eine Abdichtung nach allen Seiten (Basis- und Oberflächenabdichtung) gesichert. Das Abdichtungssystem ist in der beiliegenden Abbildung dargestellt.

erforderliche

Genehmigungen

- nach § 4.2 Abfallgesetz
- nach Wasserhaushaltsgesetz

Aufbau der Einkapselung (Prinzip)



3.5

Anforderungen der Behörden

Nach einem Behördengespräch mit der Bezirksregierung, dem StUA und der Stadt, wurde auf ein Genehmigungsverfahren nach § 7 Abfallgesetz verzichtet (Genehmigung nach § 4.2 AbfG).

Auf Anforderung der Unteren Abfallwirtschaftsbehörde wurde die innenliegende Sickerwasserdrainage von der Mitte in den Wallfuß verlegt, um für evtl. notwendige Wartungs- oder Reparaturarbeiten einen leichteren Zugriff zu gewährleisten. Seitens des StUA wurde die Durchführung von Lastplattendruckversuchen gefordert.

4 Detailplanung und Bauausführung
--

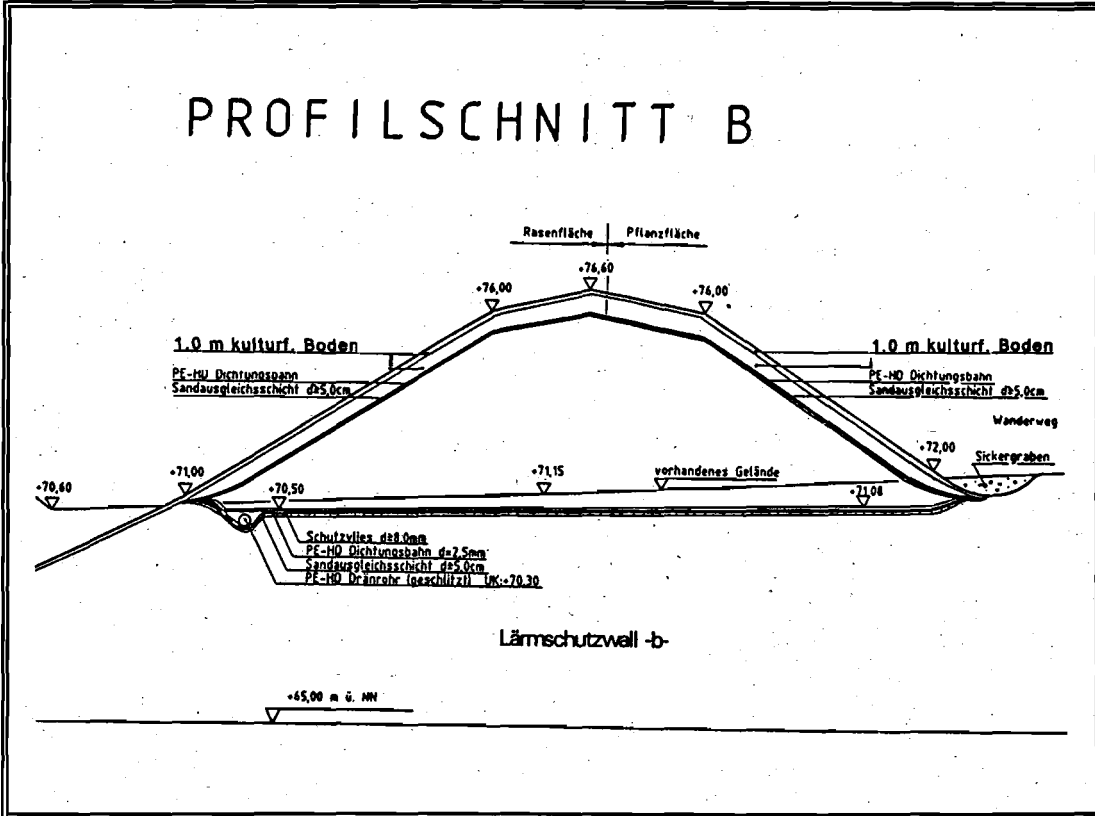
4.1

Technische DatenAufbau**Einkapselung**

(das Sicherungssystem ist in den beiliegenden Abbildungen im Detail dargestellt)

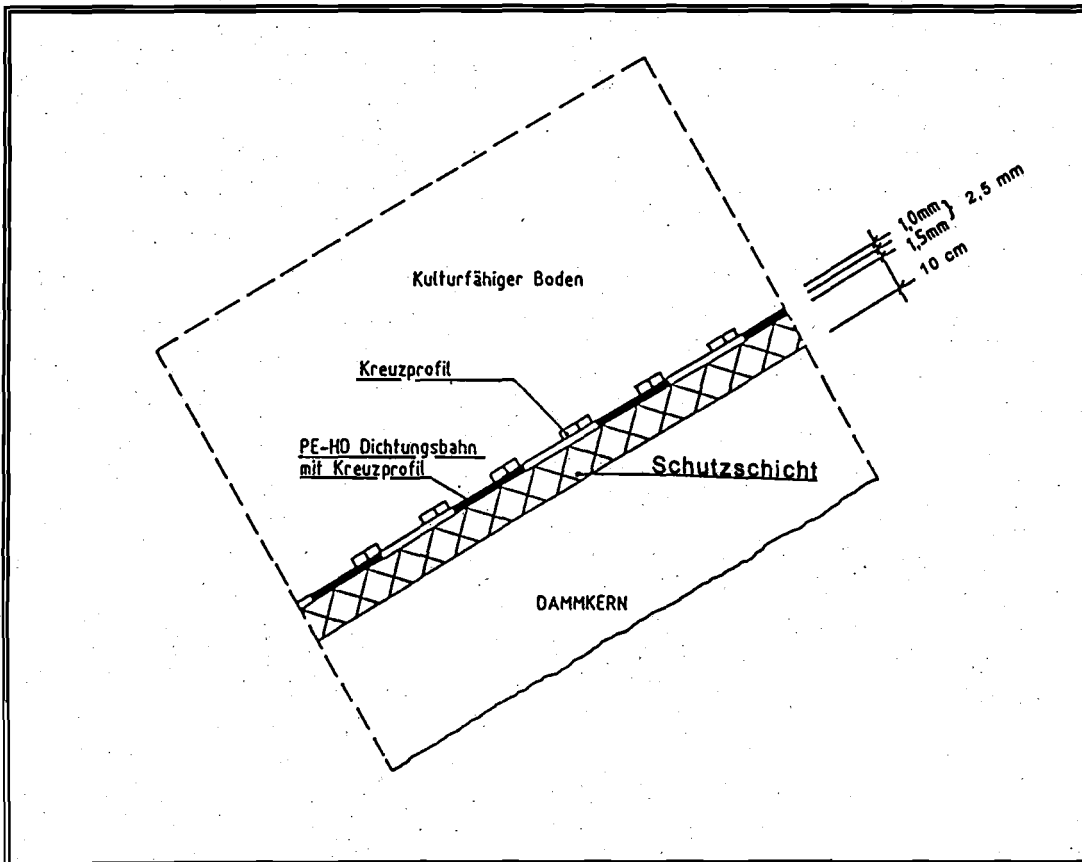
Abmessungen	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
	kulturfähiger Boden.	Steinfreiheit
2,5 mm	Abdichtung	HDPE Gefälle 1 : 3
0,1 m	Schutzschicht	Sand
Höhe max. 5,5 m Länge ca. 110 m Breite ca. 18 m	Dammkern	kontaminiertes Material lagenweise verdichtet $D_{Pr} = 97 \%$
	Sickerwasserdrainage	Geotextil PVC-Drainrohr (DN 150) im Kiesbett
≥ 8 mm	Schutzschicht	Vlies
2,5 mm	Basisabdichtung	HDPE, Gefälle 3 % (Grundfläche 2.000 m ²)
0,05 m	Ausgleichsschicht	Sand
	Untergrund	$E_{V2} = 45 \text{ MN/m}^2$ $E_{V2}/E_{V1} = 3$

Detailplanung der Einkapselung (Lärmschutzwall -b-)

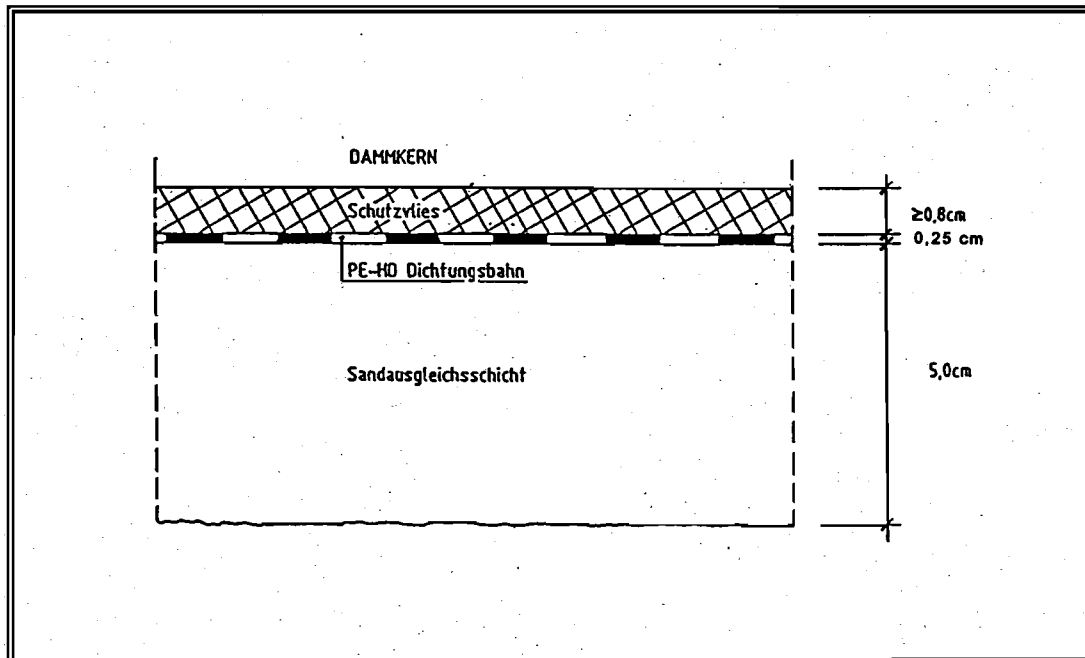


Oberflächenabdichtung mit HDPE-Dichtungsbahnen,

Detailskizze (unmaßstäblich)



Basisabdichtung, Detailskizze (unmaßstäblich)



4.2

Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Oberflächen- abdichtung

Die für die Basisabdichtung eingesetzten Dichtungsbahnen entsprechen den Richtlinien über Basisabdichtungen des LUA (vormals LWA) NW. Zur Qualitätssicherung wurde die Dichtigkeit der Schweißnähte mittels Druckprüfung kontrolliert (Messung des Druckabfalls). Für den Wall wurde eine Setzung von maximal 3,7 cm berechnet. Nach einer Begehung der Fläche durch das Amt für Wasser und Abfall der Stadt wurde auf die Lastplatten-Druckversuche im Planumbereich verzichtet. Stattdessen wurde festgelegt, daß im Bereich des Walls nach der Fertigstellung 3 einmeßbare Höhenpunkte zu installieren sind

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Mit der Durchführung der Arbeiten wurden Firmen mit entsprechender Erfahrung beauftragt. Die Arbeiten wurden als ein Bauabschnitt beschränkt ausgeschrieben.

Sanierung

Vor Beginn der Erdarbeiten mußte zunächst der Bewuchs entfernt werden. Dies ist aufgrund des geltenden Landschaftsschutzgesetzes im August nicht möglich, so daß die Arbeiten effektiv erst im Oktober aufgenommen werden konnten.

Nach Entfernen des Bewuchses wurden das Planum der Basisabdichtung vorbereitet und die Kunststoffdichtungsbahnen verlegt und verschweißt. Für das stärker kontaminierte Material wurde der Ablagerungsbereich wannenartig ausgebildet und die Kunststoffdichtungsbahn randlich hochgezogen. Zur Ableitung des Sickerwassers wurde ein Drainrohr im Kiesbett verlegt und der Drainagegraben mit einem Schutzvlies abgedeckt. Das Sickerwasserdrainrohr wurde an einen Kontrollschacht angeschlossen. Der Kontrollschacht und das Auffangbecken wurden mit HDPE-Bahnen ausgekleidet. Das Sickerwasser aus dem Kontrollschacht und das anfallende Baustellenwasser wurden in das Auffangbecken geleitet. Daran anschließend wurde das kontaminierte Material in Lagen à maximal 0,5 m Stärke verdichtet eingebaut ($D_{Pr} = 97 \%$). Die Dammflanken und -krone wurden mit Sand abgedeckt und doppelseitig profilierte Kunststoffdichtungsbahnen verlegt und verschweißt. Abschließend wurden die Dichtungsbahnen der Basis- und der Oberflächenabdichtung miteinander verschweißt und kulturfähiger Boden in einer Mächtigkeit von rund 1 m aufgebracht.

Auf der Baustelle waren keine Baustraßen angelegt worden. Aufgrund des geringen Flurabstandes von 0,5 bis 1,0 m konnte die Fläche nach Niederschlägen nicht bzw. nur schwer befahren werden. Zur Aufrechterhaltung des Baubetriebs mußte eine provisorische Baustraße mit Panzermatten ausgelegt werden.

Durch die Niederschläge stieg der Grundwasserspiegel an. Dadurch bekam die Verkleidung des Wasserauffangbeckens Auftrieb und das Beckenvolumen verringerte sich. Nach anhaltenden Niederschlägen reichte das Becken nicht mehr aus und lief über. Es mußte mehrfach ein Saugwagen zur Entlastung eingesetzt werden. Das abgesaugte

Sicker- und Baustellenwasser konnte (nach Vorliegen der Analysergebnisse) in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden.

Undichtigkeiten in der HDPE-Auskleidung des Kontrollschachtes führten dazu, daß Grundwasser in den Schacht eintreten kann und somit der Sickerwasseranfall aus dem Dammbereich nicht kontrolliert werden kann.

Nach Abschluß der Sanierungsmaßnahmen wurde das Auffangbeken zurückgebaut.

Anfallende Reststoffe/Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	-	-	-
flüssige Rückstände	Baustellenwasser, Sickerwasser	k.A.	Kanalisation
Sonstiges	Grünabfälle	k.A.	k.A.

4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Arbeitsschutzmaßnahmen wurden entsprechend den Richtlinien der TBG durchgeführt. Es wurde die Mindestschutzausrüstung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (Einweg-Schutzkleidung, chemikalienbeständige Schutzhandschuhe) eingesetzt. Die Ausgasungen des kontaminierten Materials wurden durch direktanzeigende Photoionisationsdetektoren (PID) überwacht. Bei Überschreitung der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK) für Naphthalin von 5 ppm, wurde das Tragen von erweiterter Schutzausrüstung (Atemschutzgerät mit Kombinationsfilter) angeordnet. Eine Überschreitung des Schwellenwertes wurde nur an einem Tag festgestellt.

AngrenzendeNutzungen

Im Bereich der angrenzenden Wohnbebauung wurden ebenfalls PID-Messungen vorgenommen. Die Meßergebnisse wurden behelfsweise anhand des MAK-Wertes beurteilt. Dieser wurde nicht überschritten.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Bauabschnitt	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
1	2 Monate	5 Monate August - Dezember 1991	950.000 DM	990.000 DM

**5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und
Langzeitüberwachung (Monitoring)**

Zur Überwachung der gesicherten Altlast wird der Damm auf Setzungen untersucht. Dazu wurden 3 einmeßbare Höhenpunkte eingerichtet, die jährlich eingemessen werden sollen.

Der Wasseranfall im Kontrollschacht wird einmal im Jahr visuell überprüft. Da über Undichtigkeiten Grundwasser in den Schacht eintritt, kann die aus der Innendrainage der Einkapselung stammende Sickerwassermenge nicht kontrolliert werden. Der Mangel wurde der LEG durch das Amt für Umweltschutz angezeigt.

Mit Stand November 1995 liegen der Unteren Abfallwirtschaftsbehörde und dem Amt für Umweltschutz noch keine Meßergebnisse vor. Die LEG wurde aufgefordert, über den Sachstand zu berichten.

Projekt 5

Kurzdarstellung

Aufgrund der Aussage eines Lastwagenfahrers kam 1987 der Verdacht auf, daß am Standort X industrielle Abfälle ungeordnet abgelagert worden sind. Die nachfolgenden Untersuchungen bestätigten den Verdacht. An dem Standort befanden sich eine Sandgrube und ein Hohlweg, die mit Bauschutt und industriellen Abfällen verfüllt und mit Boden abgedeckt worden sind. Die Fläche wurde danach landwirtschaftlich genutzt (Weidefläche). Es wurde eine Kontamination durch aromatische und halogenierte Kohlenwasserstoffe sowie Metalle festgestellt. Im Grundwasser wurden im wesentlichen Konzentrationen im Grenzwertbereich der TVO angetroffen.

1990 wurde ein Sanierungskonzept erarbeitet, das eine Oberflächenabdichtung als Sicherung der Fläche vorsah. Um eine Aufhöhung der Fläche zu vermeiden, wurde keine mineralische Abdichtung aufgebracht, sondern der anstehende Boden (Lößlehm) mit Bentonit vergütet und auf einen vorgegebenen k_f -Wert ($\leq 1 \times 10^{-9}$ m/s) verdichtet. Eine Grundwassersanierung war nicht erforderlich.

Die Oberflächenabdichtung besteht aus:

- Rekultivierungsschicht,
- Flächendrainage, Geotextil (Filterschicht),
- Geotextil (Trennschicht Dichtung/Drainage),
- vergütetem Oberboden und
- Bentonitmatte.

Bei der Bauausführung im Herbst/Winter 1993 traten Probleme auf. Die Vergütung des Oberbodens war bei den vorherrschenden feuchtkalten Witterungsverhältnissen nicht praktikabel. Bei hohem Wassergehalt des Bodens, konnte die geforderte Lagerungsdichte nur schwer bzw. nicht mehr erreicht werden. Aufgrund dieser Schwierigkeiten mußte das Sanierungskonzept während der Sanierung überarbeitet werden, um die Maßnahme ohne lange Baustillstände zum Abschluß zu bringen. Die neue Verfahrensweise wurde durch den Fremdprüfer vorgeschlagen und geprüft. Anstelle einer Bodenvergütung wurde im letzten Bauabschnitt eine mineralische Abdichtung aus Ton eingebaut, um die Oberflächenabdichtung fertigzustellen.

1 Standortbeschreibung

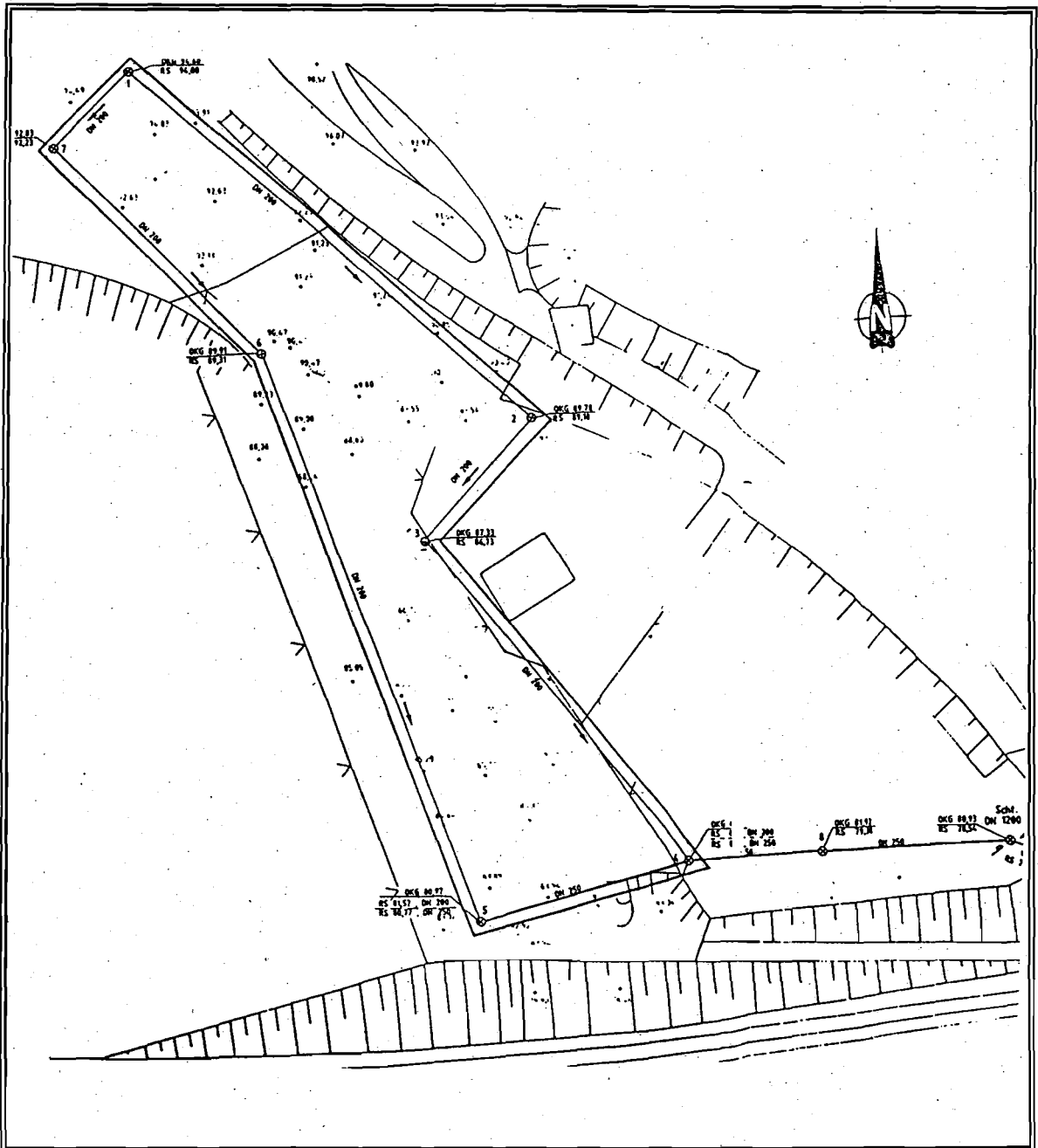
<u>Lage</u>	Gemarkung X, Flur a, Flurstücke b und c (anonymisierte Darstellung)								
<u>Größe</u>	Die Fläche hat eine Größe von 6.700 m ² .								
<u>Ehemalige Nutzung</u>	Es handelt sich um eine Sandgrube und einen Hohlweg, die mit industriellen Abfällen, Bauschutt, Bodenaushub u.a.m. verfüllt und mit Boden abgedeckt wurden. (Die Verfüllung hat im wesentlichen vor 1958 stattgefunden.) Die Fläche wurde danach als Viehweide (Milchwirtschaft) genutzt (s.a. beiliegende Abbildung).								
<u>Eigentums-, Pacht- und Mietverhältnisse</u>	Das Grundstück befindet sich im Besitz einer Erbengemeinschaft, die die Fläche an einen Bauern verpachtet hat.								
<u>Geologie/ Hydrogeologie</u>	Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut: <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="vertical-align: top;">Auffüllung:</td> <td>Die Auffüllung setzt sich i.a. aus Bodenaushub, Schluff, Sand, Kies, z.T. mit Bauschutt, Schlacke und Holz zusammen. Teilweise wurden schwarze, pastöse Massen mit Bodenaushub, Bauschutt und lokal auch Müll vorgefunden. Die Mächtigkeit der Auffüllung erreicht bis zu 10 m.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">Tertiär:</td> <td>Die tertiären Fein- bis Mittelsande (Oberoligozän) sind zum Teil schluffig und erreichen eine Mächtigkeit von ca. 55 m.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">Devon:</td> <td>Die devonischen Schichten (Flinzschiefer) sind oberflächennah intensiv tonig verwittert.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">Grundwasser:</td> <td>Das 1. Grundwasserstockwerk ist in den oligozänen Feinsanden ausgebildet. Der Flurabstand beträgt ca. 33 m. Die Schichten des Oberdevons bilden das 2. Grundwasserstockwerk (Kluftgrundwasserleiter). Die Grundwasserfließrichtung des 1.</td> </tr> </table>	Auffüllung:	Die Auffüllung setzt sich i.a. aus Bodenaushub, Schluff, Sand, Kies, z.T. mit Bauschutt, Schlacke und Holz zusammen. Teilweise wurden schwarze, pastöse Massen mit Bodenaushub, Bauschutt und lokal auch Müll vorgefunden. Die Mächtigkeit der Auffüllung erreicht bis zu 10 m.	Tertiär:	Die tertiären Fein- bis Mittelsande (Oberoligozän) sind zum Teil schluffig und erreichen eine Mächtigkeit von ca. 55 m.	Devon:	Die devonischen Schichten (Flinzschiefer) sind oberflächennah intensiv tonig verwittert.	Grundwasser:	Das 1. Grundwasserstockwerk ist in den oligozänen Feinsanden ausgebildet. Der Flurabstand beträgt ca. 33 m. Die Schichten des Oberdevons bilden das 2. Grundwasserstockwerk (Kluftgrundwasserleiter). Die Grundwasserfließrichtung des 1.
Auffüllung:	Die Auffüllung setzt sich i.a. aus Bodenaushub, Schluff, Sand, Kies, z.T. mit Bauschutt, Schlacke und Holz zusammen. Teilweise wurden schwarze, pastöse Massen mit Bodenaushub, Bauschutt und lokal auch Müll vorgefunden. Die Mächtigkeit der Auffüllung erreicht bis zu 10 m.								
Tertiär:	Die tertiären Fein- bis Mittelsande (Oberoligozän) sind zum Teil schluffig und erreichen eine Mächtigkeit von ca. 55 m.								
Devon:	Die devonischen Schichten (Flinzschiefer) sind oberflächennah intensiv tonig verwittert.								
Grundwasser:	Das 1. Grundwasserstockwerk ist in den oligozänen Feinsanden ausgebildet. Der Flurabstand beträgt ca. 33 m. Die Schichten des Oberdevons bilden das 2. Grundwasserstockwerk (Kluftgrundwasserleiter). Die Grundwasserfließrichtung des 1.								

Stockwerks ist nach Süden auf den Vorfluter Y gerichtet.

Hydrologie

In der Altablagerung wurde lokal Stauwasser angetroffen. Ein durchgehender Deponiesickerwasserspiegel wurde nicht beobachtet. Die Fläche liegt an einem stark geneigten Hang.

Lageplan



2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

Anlaß Die Aussagen eines Firmenmitarbeiters zum Verkippen von industriellen Abfällen bildeten den Anlaß für die Untersuchung der Fläche.

Gutachten Orientierende Untersuchung 1987
Gefährdungsabschätzung 1988

Untersuchungen Der Altablagerungskörper wurde durch Rammkernsondierungen erkundet. In der Regel setzt sich die Altablagerung vorwiegend aus Bauschutt und Bodenaushub (70 % - 80 %) und zu einem geringeren Teil aus Sonderabfällen, d.h. pastösen Massen (Bitumen, Teere, Öle, Fette, Farbreste, teilweise in Faßgebinden) zusammen. Das Grundwasser des 1. Stockwerks ist belastet. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse einiger Laboranalysen zusammengestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse der Boden- und Grundwasseruntersuchungen

Medium	Parameter	Konzentrationen	
		max.	mittel
Grundwasser	CSB	63,7 mg O ₂ /l	k.A.
Boden	Blei	2850 mg/kg	k.A.
"	Zink	12390 mg/kg	k.A.
"	BTX	5440 mg/kg	k.A.

Gutachterliche

Bewertung

Für den Bereich der Altablagerung ist mit einer Gefährdung durch Schwermetalle zu rechnen. Im Hinblick auf die landwirtschaftliche

Nutzung der Fläche wird eine Überprüfung nach LÖLF empfohlen. Für die Emissionspfade Boden und Wasser stellen die lokal sehr hohen Belastungen, insbesondere durch aromatische Kohlenwasserstoffe, ein erhebliches Gefährdungspotential dar. Eine Sanierung der Fläche ist erforderlich.

Bei weiteren Untersuchungen im Hinblick auf eine Sanierung sollen diese Gefährdungspotentiale verifiziert werden und die Grundwasserbelastung durch organische Stoffe mittels Screening identifiziert werden.

Die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche wurde aufgrund der oberflächennah vorhandenen Schadstoffnester durch die zuständige Behörde untersagt.

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger Der Kreis X ist sanierungspflichtig. Der Eigentümer (Erbengemeinschaft) ist ordnungsrechtlich nicht sanierungspflichtig.

Kostenträger Die Kosten der Sanierung tragen der Kreis X und der Eigentümer. Die Sanierungsmaßnahme wird mit Landesmitteln in Höhe von 45 % gefördert.

Rechtlicher Rahmen der Sanierung Für die Sanierung wurde ein öffentlich-rechtlicher Vertrag geschlossen.

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

Verhinderung weiterer Schadstoffausträge in das Grundwasser und Verhinderung einer möglichen Schadstoffanreicherung in der Nahrungskette (Milchwirtschaft). Die Ziele der Sanierung wurden zunächst durch den Kreis X und den Gutachter diskutiert. Der Kreis, die Bezirksregierung und das StUA stimmten den anschließend durch den Gutachter formulierten Sanierungszielen zu.

3.2 Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen

Zur weiteren Erkundung der abgelagerten Stoffe und zur Abgrenzung der Altablagerung wurden Rammkernsondierungen niedergebracht und Bodenluftuntersuchungen durchgeführt. Durch Schlauchkernbohrungen wurde die vertikale Schadstoffverteilung aufgenommen und über eine abstromig errichtete Grundwassermeßstelle der Schadstoffaustrag untersucht. Es wurde festgestellt, daß sich die Bodenkontamination in der Vertikalen und in der Horizontalen auf den Bereich der Auffüllung beschränkt.

Die Ergebnisse einiger Laboranalysen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Boden-, Bodenluft- und Grundwasseruntersuchung

Medium	Parameter	Konzentrationen	
		max.	mittel
Grundwasser (1. Stockwerk)	AOX	0,062 mg/l	
"	CKW	0,037 mg/l	
"	BTX	0,002 mg/l	
Boden	EOX	510 mg/kg	
"	KW-IR	8900 mg/kg	1500 mg/kg
"	Blei	510 mg/kg	
"	BTX	5383 mg/kg	
Bodenluft	CKW	0,93 µg/l	

Ergebnis/

Empfehlungen

Die organische Belastung des Bodens durch aromatische und halogenierte Kohlenwasserstoffe gefährdet das Grundwasser. Es handelt sich um mobile Schadstoffverbindungen, die auch im Abstrom der Altlast festgestellt wurden. Zur Verhinderung von weiteren Schadstoffausträgen ist eine Sanierung erforderlich.

Die Grundwasserbelastungen liegen im Grenzwertbereich der TVO (1990). In einer abstromig liegenden Grundwassermeßstelle wurde ein Schadstoffdurchbruch von CKW festgestellt. Die Notwendigkeit einer Grundwassersanierung ist nicht erkennbar.

3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Da die Altablagerung an einem steilen Hang liegt, sollten Geländeaufhöhungen nach Möglichkeit vermieden werden. Die Fläche sollte nach der Sicherung wieder als Viehweide genutzt werden können.

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren
 - Wasch- und Extraktionsverfahren
 - Biologische Verfahren
 - Aktive pneumatische Verfahren
 - Aktive hydraulische Verfahren
 - Sonstige Verfahren: Flotation

- Sicherung:
 - Einschließungsverfahren
 - Passive pneumatische Verfahren
 - Passive hydraulische Verfahren
 - Immobilisierung
 - Umlagerung: Ablagern auf einer Deponie

Kriterien

Die Verfahren wurden unter den Kriterien Wirksamkeit, anfallende Neben- und Endprodukte, Energiebedarf, schadstoffspezifische Eignung, Zeit- und Platzbedarf, erforderliche Genehmigungsverfahren, Anwendungssicherheit (praktische Erprobung) und Verhältnismäßigkeit, bzw. Wirtschaftlichkeit betrachtet.

Dekontamination

Die thermischen Verfahren wurden aufgrund des hohen Aufwands (Energie, Entsorgung von Reststoffen, etc.), z.T. fehlender großtechnischer Erfahrungen und wegen des komplizierten Genehmigungsverfahrens ausgeschlossen.

Bodenwaschverfahren, Flotation sowie die Möglichkeit einer mikrobiologischen in-situ Sanierung wurden wegen standortspezifischer Probleme, mangelnder Erprobung und Akzeptanzproblemen nicht weiter untersucht.

Sicherung

Eine Deponierung des Materials wurde aus umweltpolitischen Gründen ausgeschlossen. Unter den Einschließungsverfahren wurden die nachfolgend aufgeführten Varianten einer Oberflächenabdichtung betrachtet:

- a) Verbesserung des Oberbodens von einem k_f -Wert von 1×10^{-6} m/s auf 1×10^{-9} m/s, zusätzliche Abdichtung durch Bentonitmatte;
- b) mineralische Abdichtung gemäß Deponierichtlinie LWA (12/1987);
- c) Abdichtung gemäß TA-Abfall (Entwurf 11/1990):
Gesamtmächtigkeit $\geq 2,3$ m, mineralische Dichtung mit einem k_f -Wert von 1×10^{-10} m/s, $l=30$ (Nachweis im Laborversuch), Kunststoffdichtungsbahn;

zu a) Nachteil: - Durchführung umfangreicher Laborversuche (Eignungsuntersuchung der Oberbodenvergütung)

Vorteile: - kein zusätzlicher Massenauftrag
- keine zusätzliche Konditionierung des Planums
- Materialprüfung der mineralischen Dichtung entfällt
- geringe Geländeaufhöhung durch Bentonitmatte, Flächendrainage und Rekultivierungsschicht

zu b) Im Vergleich zu a) ist zusätzlich die Vorbereitung eines Planums und der fachgerechte Einbau der mineralischen Dichtungsschicht erforderlich. Das System führt zu einer größeren Geländeaufhöhung.

- zu c) Nachteile:
- massive Bodenbewegungen zur Geländeangleichung mit entsprechenden Standsicherheitsnachweisen
 - ausreichende Durchmischung von anstehendem Boden mit aufgetragenem Boden erforderlich, um Ausbildung von Schichtwasserhorizonten zu verhindern und ausreichende Standsicherheit auf der Scherfläche zu erreichen
 - Gefahr seitlich zutretenden Hangwassers
 - optimaler Sicherheitsstandard bei den örtlichen Gegebenheiten nur mit hohem Aufwand zu gewährleisten
 - unverhältnismäßig hohe Kosten
- Vorteil:
- hoher Sicherheitsstandard

3.4

Sanierungskonzept

Auf der Grundlage der Machbarkeitsstudie wurde durch die beteiligten Behörden Variante a) der Oberflächenabdichtung ausgewählt. Bei einer verhältnismäßig geringen Geländeaufhöhung von < 1 m wird durch die Kombination aus Oberbodenvergütung und Bentonitmatte eine Abdichtung geringer Durchlässigkeit erzielt (Bentonitmatte $k_f \leq 10^{-10}$ m/s, vergüteter Oberboden $k_f \leq 10^{-9}$ m/s). Gleichzeitig ist durch den Einsatz von Bentonitmatten aufgrund der einfachen Handhabung ein schneller Arbeitsfortschritt zu erzielen.

erforderliche

Genehmigungen

- nach Wasserhaushaltsgesetz
- nach Baurecht

- Einleitung des Drainagewassers in die Regenwasserkanalisation in Abstimmung mit der Stadt (max. 1,1 l/s)

3.5 Anforderungen der Behörden

In einem Behördengespräch, an dem das StUA, die Bezirksregierung und der Kreis teilnahmen, wurden folgende Anforderungen aufgestellt:

- Einhaltung eines k_f -Wertes von 1×10^{-9} m/s,
- Gefälle der Drainage min. 1,5 % und max. 6 %,
- Gefälle der Rekultivierungsschicht min. 3 % und
- die Fremdprüfung der ausgeführten Abdichtung auf Einhaltung der geforderten Werte.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1 Technische Daten

Aufbau Oberflächenabdichtung (vergüteter Oberboden und Bentonitmatte, 6.700 m²)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
	Rekultivierungsschicht	kulturfähiger Boden Gefälle min. 3 %
	Filterschicht	Geotextil
	Flächendrain	Drainmatten: PP Gefälle: min. 1,5 %, max. 6 % Sammler: HDPE
	Trennschicht	Geotextil
	Abdichtung	Bentonitmatte, $k_f 1 \times 10^{-10}$ m/s
	Abdichtung	örtlicher Boden (Schluff), vergütet mit Bentonit, 2-lagiger Einbau à 0,2 m, $k_f 1 \times 10^{-9}$ m/s (je Lage), $D_{Pr} \geq 95$ %
	Untergrund / Altablagerung	E_V [MN/m ²]: keine Vorgabe

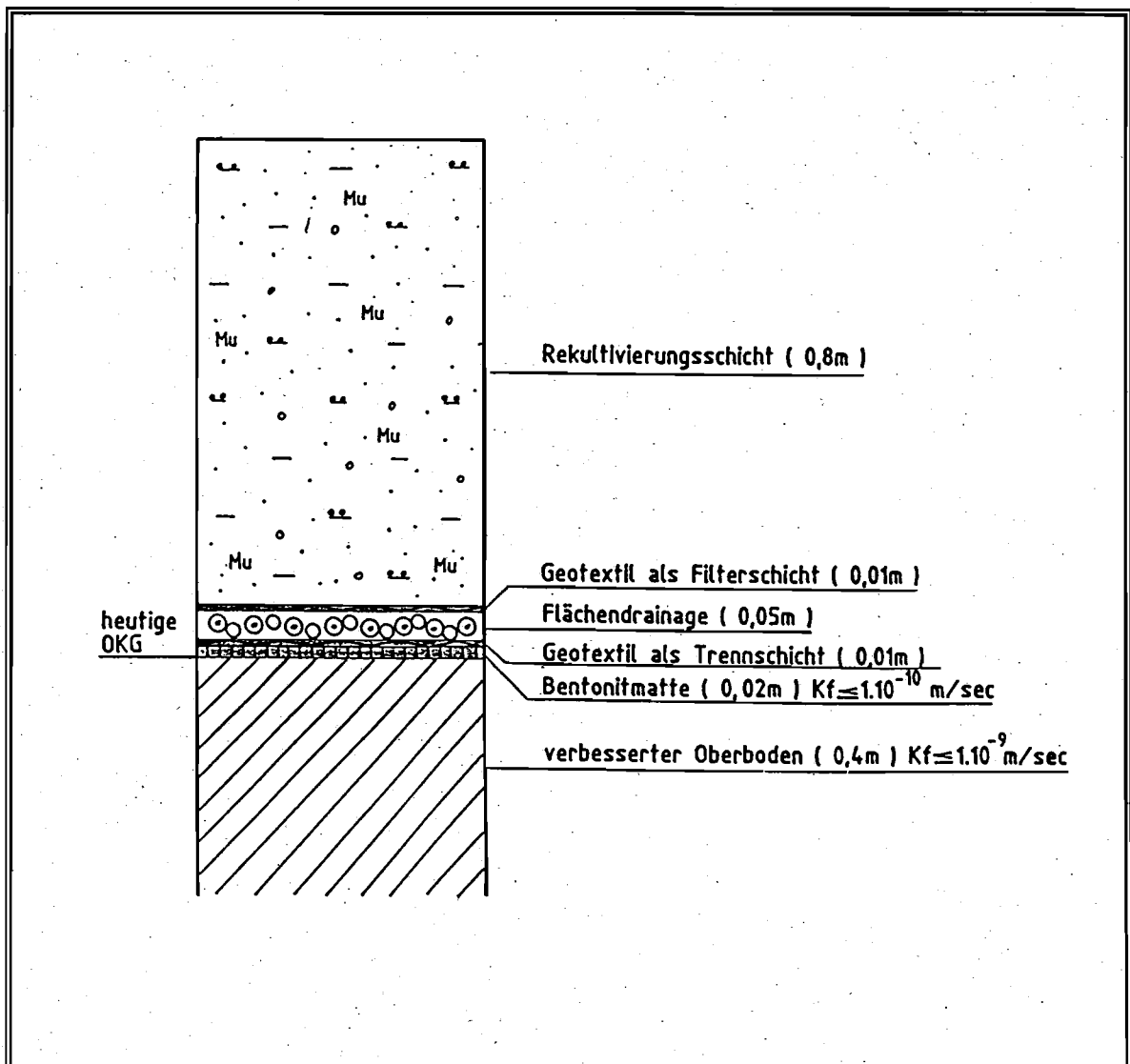
4.2 Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Eignungsprüfung

Die Eignung der Oberbodenvergütung zur Abdichtung der Altlast wurde in Laborversuchen geprüft. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Korngrößenverteilung und Homogenität des Materials,
- Proctordichte,
- Durchlässigkeit (Triaxialzelle).

Aufbau der Oberflächenabdichtung (M 1 : 10)



Da der anstehende Lößlehm im Gegensatz zu Ton nur einen kleinen Plastizitätsbereich hat, ist bei Wassergehaltsschwankungen im Material eine Bearbeitung sehr schnell nicht mehr möglich. Daher war die Zugabe von 3 % Bentonit erforderlich. Außerdem wurde festgestellt, daß auch mit Verdichtungsgraden von $D_{Pr} = 92 \%$ eine ausreichende Dichtigkeit von $K < 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ erzielt wird. Die K-Wert-Bestimmungen, die während der Bauausführung vorgenommen wurden, bestätigten dieses Ergebnis. Auftraggeber, Oberbauleitung und Fremdprüfer reduzierten daraufhin einvernehmlich die Anforderungen an den Verdichtungsgrad von 95 auf 92 % (s.a. Kap. 4.1).

Die Eignung der Bentonitmatte war den Herstellerangaben zufolge gegeben.

Versuchsfeld

Zur Beurteilung der Möglichkeiten des Geräteeinsatzes bei der Oberbodenverbesserung wurde ein Probefeld (ca. 400 m^2) eingerichtet. Das Probefeld wurde genutzt, um Werte zur Einbaudichte und zur Durchlässigkeit des anstehenden Oberbodens zu gewinnen (Probenahme im $50 \times 50 \text{ m}$ Raster). Außerdem wurde der Wassergehalt stichprobenartig geprüft. Das Geotextil und das Flächen-drain wurden visuell geprüft. Aufgrund von starken, anhaltenden Regenfällen war teilweise keine Bearbeitung möglich. Um einen Baufortschritt zu erreichen, wurde stellenweise Recycling-Material bis zu 2 m tief eingebaut. Dies betraf ausschließlich Stellen, die aufgrund ihrer weichen Konsistenz nicht verdichtet werden konnten.

Eigenüberwachung

Der Prüfumfang der Eigenüberwachung wurde durch den Fremdprüfer vorgegeben. Die Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung stimmten überein.

Fremdüberwachung

Zur Überwachung der Oberbodenvergütung wurde ein Fremdprüfer eingesetzt. Dieser war während der Durchführung der betreffenden Arbeiten vor Ort. Aus dem vergüteten und anschließend verdichteten Oberboden wurden Proben entnommen und in einem mobilen Labor vor Ort der Wassergehalt bestimmt. An Einzelproben wurden außerdem die

Größen Feucht- und Trockendichte, Verdichtungsgrad, Gesamtporenvolumen, Luftporenanteil, Korngrößenverteilung, Durchlässigkeit (Triaxialzelle) und die Proctordichte im Labor bestimmt. Die Anforderungen an die Dichtigkeit wurden in allen Proben erfüllt.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Maßnahme wurde nicht in Bauabschnitte unterteilt. Die Detailplanung sah die Einrichtung eines Versuchsfeldes und anschließend die Durchführung der Maßnahme auf der verbleibenden Fläche vor. Erst im Zuge der Baumaßnahme wurde eine Unterteilung in ein oberes Feld und ein unteres Feld vorgenommen. Diese Teilung erfolgte, nachdem die Oberbodenvergütung witterungsbedingt nicht mehr durchführbar war und auf der noch zu sichernden Restfläche ein anderes Verfahren (Einbau von Ton) eingesetzt wurde.

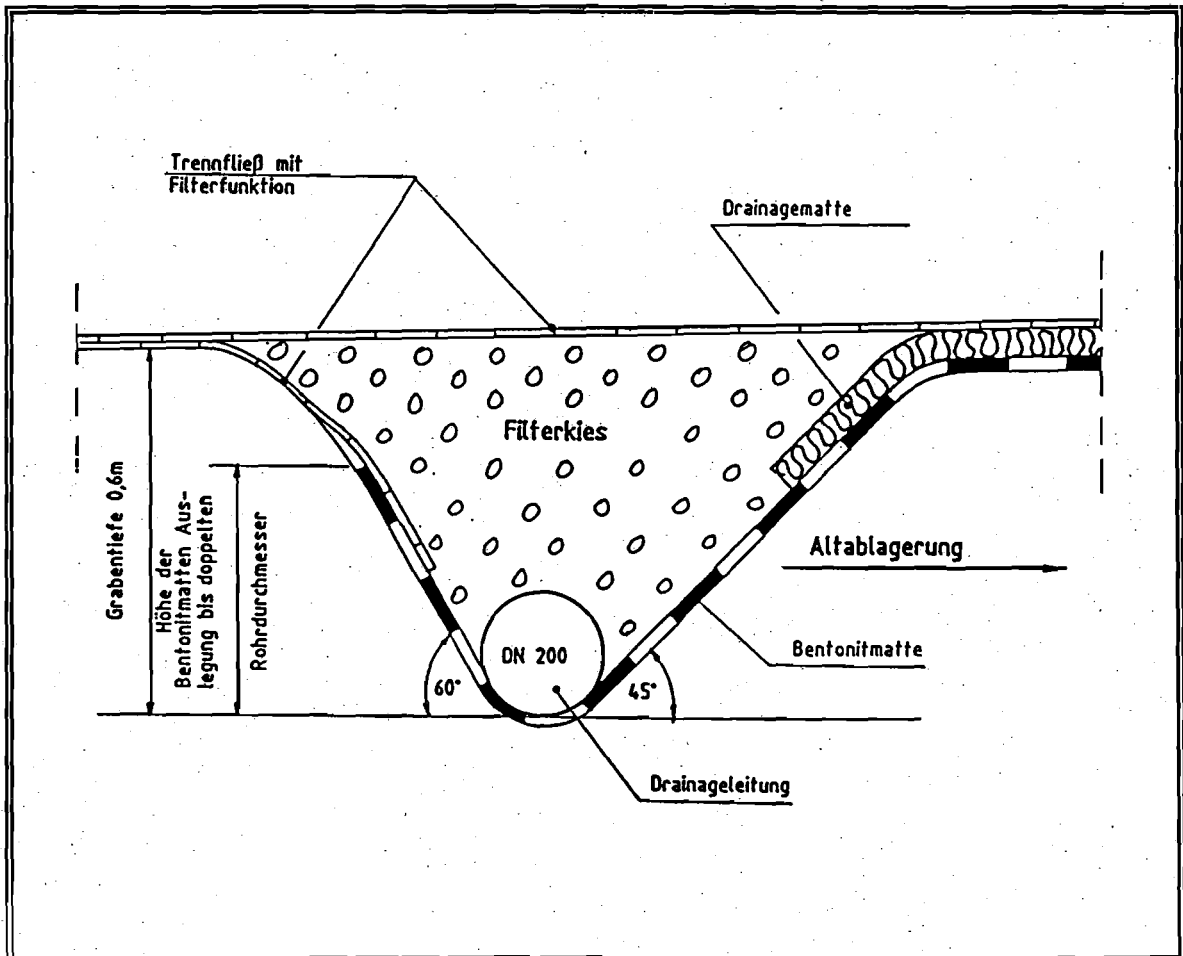
Sanierung

Für die Oberbodenvergütung wurden zunächst die oberen 40 cm abgefräst. Der Bentonit wurde in 2 Schichten eingebracht und der vergütete Oberboden in 2 Lagen verdichtet ($D_{pr} = 95 \%$ bzw. 92%). Nachfolgend wurde eine Bentonitmatte aufgebracht (Überlappung 30 cm, Verbindung mit Bentonitgel).

Zur Abführung von Niederschlagswasser wurde eine Flächendrainage aus Geotextil eingesetzt, die randlich an eine Rohrdrainage mit begehbaren Revisionschächten anbindet (s.a. beiliegende Abbildung). Bei der Bauausführung wurde festgestellt, daß die Höheneinmaße nicht korrekt waren, so daß die Kanalsohlen tiefergelegt werden mußten. Die damit verbundenen Mehrkosten wären allerdings in fast gleicher Höhe auch dann entstanden, wenn die korrekten Höheneinmaße bekannt gewesen wären. Beim Bau der Randdrainage wurde außerdem festgestellt, daß die Altablagerung größer ist, als nach den Ergebnissen der Erkundung anzunehmen war. Die Randdrainage wurde daraufhin verlegt. Damit war zugleich eine Baufeldvergrößerung um $15 \% - 20 \%$ (auf 6.700 m^2) verbunden.

Um die geforderte Proctordichte von 92 % (s.a. Kap. 4.2) einhalten zu können, wurde der Bentonitzuschlag von 3 % auf 5 % erhöht. Da die Witterung anhaltend feucht und kühl war, konnte die Fläche nicht ausreichend trocknen. Infolgedessen reichte auch die erhöhte Bentonitzugabe nicht mehr aus, um die geforderte Proctordichte zu erzielen. Auf Vorschlag und nach Prüfung des Fremdprüfers wurde im unteren Feld anstelle der Oberbodenvergütung, eine Tondichtung ('Iduna Hall') eingesetzt. Die Eignung des Tonmaterials war aufgrund einer Prüfung von 1993 gegeben, die im Auftrag der Grube durchgeführt wurde. Durch den Bau der Tondichtung konnten lange Baustillstände verhindert und die Maßnahme zum Abschluß gebracht werden.

Drainageleitung (Systemskizze)



Die Rekultivierungsschicht wurde im Vor-Kopf-Verfahren eingebaut. Zur Sicherung einer 45°-Böschung wurden Geogitter und Rollrasen eingesetzt.

Besonderheiten

Im Bereich einer Fernleitung (RMR-Druckleitung) mußten Hand-schachtungen durchgeführt werden, da die Lage der Leitung nicht genau bekannt war. Arbeiten im Bereich der Rohrleitung wurden mit leichtem Gerät oder von Hand vorgenommen (Mindestüber-deckung 60 cm, Sicherheitsabstand 5 m zur Leitung).

4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angren-zender Nutzungen

Es waren keine besonderen Maßnahmen erforderlich.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Bauabschnitt *	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
Gesamtfläche	25 Tage	53 Tage, Sept. - Dez. 1993 **	560.000 DM	1.390.000 DM
Versuchsfeld	keine Vorgabe	nicht ermittelt	10.000 DM	14.077 DM

* eine Unterteilung in Bauabschnitte wurde nicht vorgenommen;
s.a. Kap. 4.3

** die letzten Profilierungsarbeiten wurden im Frühjahr 1994
durchgeführt

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)

Zur Überwachung der gesicherten Altlast wird das Grundwasser im jährlichen Abstand beprobt und untersucht (Vollanalyse). Außerdem werden durch die zuständige Ordnungsbehörde die Kontrollschächte der Randdrainage einmal im Jahr begangen und der Wasser- und Schlammanfall kontrolliert. Die Ergebnisse der Langzeitüberwachung liegen noch nicht vor. Es wird erwartet, daß sich die Grundwassersituation im Laufe der kommenden Jahre verbessern wird.

Die Kosten der Langzeitüberwachung betragen voraussichtlich 4.500 bis 5.000 DM pro Jahr. Aus Kostengründen werden die Langzeitüberwachungen im Kreisgebiet gemeinsam ausgeschrieben.

Projekt 6

Kurzdarstellung

Zwischen 1974 und 1983 hat der Kreis X eine Tongrube zur Ablagerung von Hausmüll genutzt. Die Deponie wurde zur Zwischenrekultivierung abgedeckt. 1988 trat Deponiesickerwasser in eine Grundwasserdrainage ein. Die geologischen und hydrogeologischen Untersuchungen der Standortverhältnisse ergaben, daß die Deponie seitlich nicht vollständig von Tonschichten umschlossen ist.

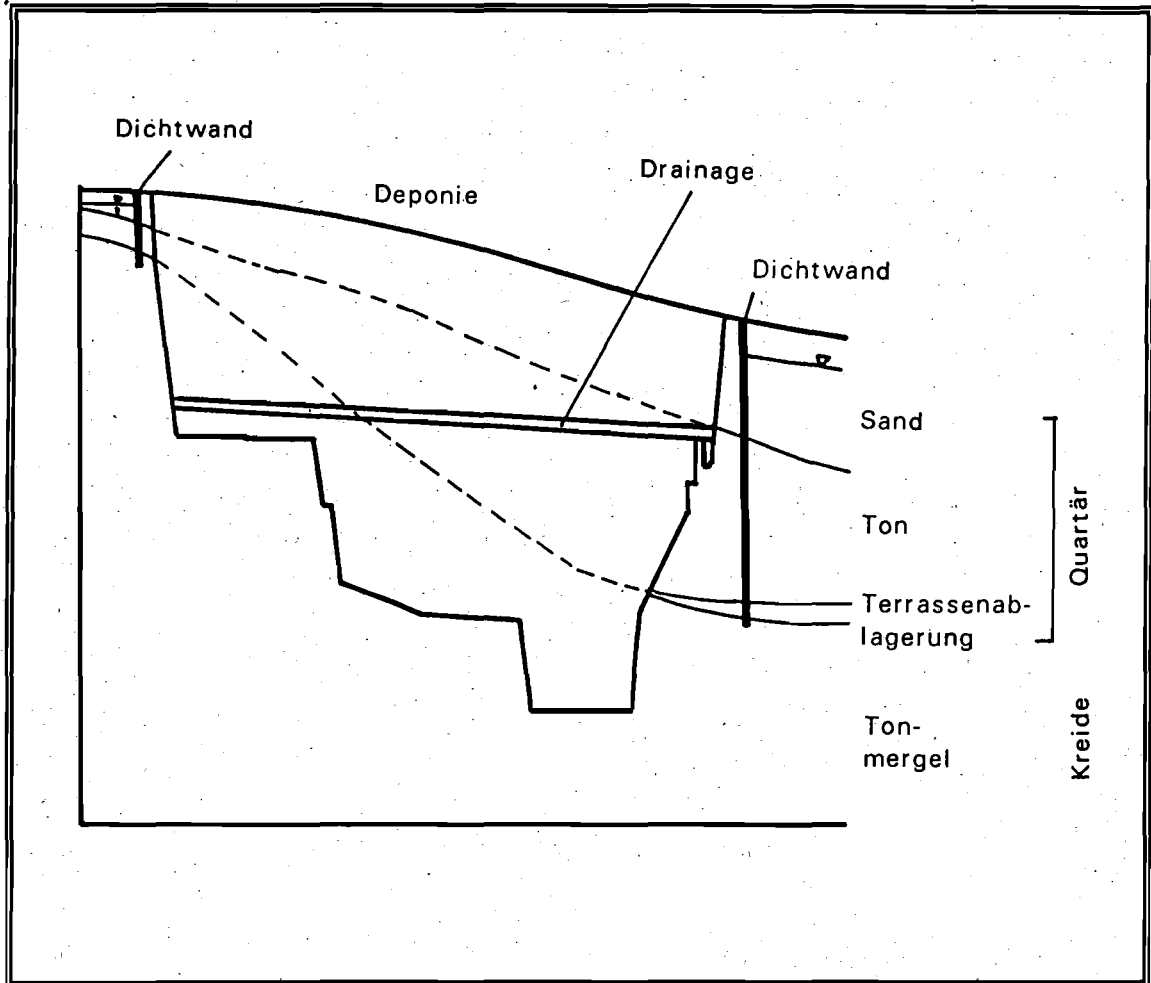
Zur Sanierung des Standortes wurden 1988 eine Dichtwand und eine Oberflächenabdichtung geplant. Letztere wird errichtet, sobald die Deponiegasbildung abgeklungen ist. Für die vertikale Abdichtung wurde eine Einphasen-Schlitzwand mit Bodenaushub in einer Wandstärke von mindestens 0,4 m geplant. Als Dichtwandmasse wurde eine Fertigmischung (DIWA-Mix K) eingesetzt. Zum Schutz des Dichtwandkopfes wurde ein Tonriegel hergestellt.

Bei der Bauausführung 1992 traten zu Beginn Schwierigkeiten auf. Im Bereich einer Auffüllung mit Fehlbrandchargen einer ehemaligen Ziegelei war der Suspensionsverlust so hoch, daß der Schlitz nicht beständig mit Dichtwandmasse gefüllt gehalten werden konnte. Durch den Einsatz einer feststoffreicheren Rezeptur konnten die Hohlräume gefüllt werden. In dem Bereich wurden anschließend die Dichtwandlamellen planmäßig im Mönchs-schrittverfahren ausgeführt. Bei der Erstellung des Tonriegels traten keine Schwierigkeiten auf.

1 Standortbeschreibung

- Größe Die Fläche hat eine Größe von ca. 6 ha.
- Ehemalige Nutzung Auf der Fläche wurde durch eine Ziegelei Ton abgebaut. Parallel zum weiteren Tonabbau wurde 1974 im nördlichen Teil der Grube eine Deponie durch den Kreis eingerichtet (Planfeststellungsbeschuß des Regierungspräsidenten). Nach Beendigung des Tonabbaus wurde die gesamte Grube mit Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfallstoffen verfüllt und 1983 die Deponie geschlossen, abgedeckt und begrünt (Zwischenrekultivierung). Im Zeitraum von 1974 bis 1983 wurden ca. 850.000 m³ Müll eingelagert. 1984 wurde durch die Ziegelindustrie eine Entgasungsanlage (Deponiegas) eingerichtet, die bis 1992 industriell genutzt wurde.
- Eigentums-,
Pacht- und
Mietverhältnisse Die Fläche befindet sich im Eigentum der Firma Y.
Der Pachtvertrag mit dem Kreis X endete 1983/84.
- Geologie/
Hydrogeologie Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut (s.a. beiliegende Abbildung):
- Anschüttung: feinsandige bis kiesige Sande, z.T. mit organischer Substanz und Ziegelresten in einer Mächtigkeit von ca. 3 m bis 3,6 m; bzw. quartäre Decksande.
- Quartär: Tonschichten, die insgesamt ca. 0,6 bis ca. 8 m mächtig sind. Darunter liegen tonige, schluffige und sandige Kiese (Terrassenablagerungen). Diese Schicht keilt aus und tangiert damit den südlichen Bereich der Grube.
- Kreide: Tonmergelgestein der Oberkreide.

Geologisches Profil



Grundwasser: Die quartären Decksande sind grundwasserleitend, während die unterlagernden Tone des Quartär und der Oberkreide grundwasserstauend wirken. Die unverwitterten Schichten der Oberkreide führen Kluftgrundwasser. Die wasserführenden Schichten stehen untereinander in hydraulischer Verbindung. Die großräumige Grundwasserfließrichtung ist nach Süden auf die Ems gerichtet (s.a. beiliegende Abbildung). Im südlichen Deponiebereich kehrt sich die Grundwasserfließrichtung um, so daß das Grundwasser in die Deponie eintritt. Aus den sandigen Deckschichten (Quartär) tritt von der Seite Wasser in die Deponie ein.

Hydrologie

Der Standort befindet sich im Bereich der Emsniederung. Der Flurabstand liegt zwischen 2 und 3 m.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung
--

Anlaß

Durch einen Schaden im Sickerwasserfassungssystem kam es zu einem Aufstau von Deponiesickerwasser. Das Sickerwasser gelangte in die Grundwasserdrainage, so daß dieses zu einem nahegelegenen Fluß ablaufende Wasser belastet wurde. Das Wasser wurde daraufhin ebenso wie das Deponiesickerwasser zur Kläranlage abgefahren. Aufgrund der spürbaren Erhöhung der Sickerwasserabfuhr gab der Kreis ein Gutachten zur Sanierung der Deponie X in Auftrag.

Gutachten

Gutachten zur Sanierung im Juni 1988

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger

Der Verursacher (Kreis X) ist sanierungspflichtig.

Kostenträger

Die Kosten der Sanierung werden vom Verursacher getragen. Die Maßnahme wird zu 45 % mit Landesmitteln gefördert.

Rechtlicher Rahmen
der Sanierung

Die Sanierung wurde durch Bezirksregierung angeordnet (Sanierungsanordnung).

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

Die Sanierung wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Neubildung von Deponiesickerwasser zu verhindern bzw. zu mindern und den Austrag von Schadstoffen aus der Deponie zu unterbinden. Hierzu sollte eine klare Trennung von Sickerwasser- und Grundwasserhaushalt erreicht werden. Die Ziele wurden im Einvernehmen mit dem Kreis und dem StUA durch den Gutachter formuliert.

3.2 Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen

Zur Erkundung der lokalen Geologie und Hydrogeologie, insbesondere auch unterhalb der Deponiesohle, wurden Bohrungen durchgeführt. Im Feld wurden Wasserdruckversuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit und Wiederanstiegsmessungen nach einem kurzfristigen Pumpversuch durchgeführt. Im Labor wurden die bodenmechanischen Kennwerte Wassergehalt, Dichte, Korngröße und Wasserdurchlässigkeit ermittelt. Die Grundwassermeßstellen wurden beprobt und der Chemismus des Grundwassers untersucht.

Ergebnis/

Empfehlungen

Die Basisfläche der Grubendeponie liegt ganz und die Böschungflächen liegen zum größten Teil in bindigen Bodenarten. Sowohl der quartäre als auch der kretazische Ton wirken aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeiten als Barrieren ($k_{\text{Fel}} = 2,5 \times 10^{-7}$ bis $1,1 \times 10^{-7}$ m/s). Im südlichen Deponiebereich ist die geologische Barriere durch die Terrassenablagerung ($k_{\text{Labor}} = 1,0 \times 10^{-4}$ m/s) unterbrochen. Im oberen Abschnitt der Deponieböschung ist ebenfalls keine natürliche Barriere vorhanden. Die anstehenden Decksande sind durchlässig und wasserführend ($k_{\text{Labor}} = 4 \times 10^{-3}$ m/s).

Die Sickerwasserneubildung setzt sich daher aus Grundwasser, das seitlich eindringt, und aus infiltrierendem Niederschlagswasser zusammen. Die Sickerwasserneubildungsrate betrug 1987 ungefähr

das 3,7-fache der Niederschlagsmenge. Insgesamt mußten rund 75.000 m³ zur Kläranlage abgefahren werden. Ein Schadstoffeintrag aus dem Deponiebereich in das Grundwasser konnte nicht festgestellt werden und ist nicht zu befürchten, solange die Sickerwasserabfuhr aufrecht erhalten wird:

3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

○ Dekontamination:

- Thermische Verfahren
- Wasch- und Extraktionsverfahren
- Biologische Verfahren
- Aktive pneumatische Verfahren
- Aktive hydraulische Verfahren
- Sonstige Verfahren

● Sicherung:

- Einschließungsverfahren
- Passive pneumatische Verfahren
- Passive hydraulische Verfahren
- Immobilisierung
- Umlagerung

Einschließung

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, eine vollständige oder eine unvollständige Einschließung durch die Kombination der Elemente Oberflächenabdichtung und vertikale Abdichtung zu erreichen. Bei einer unvollständigen Einschließung wird der Deponiekörper nur teilweise mit einer vertikalen Abdichtung umschlossen. In diesem Fall müßte im nördlichen Deponiebereich eine Grundwasserdrainage errichtet werden, um das zuströmende quartäre Grundwasser abzufangen. Da die unvollständige Einschließung mit einem höheren

Kontrollaufwand und der langfristigen Pflege der Drainage (Gefahr von Verockerung, Versinterung) verbunden ist, entschied man sich dazu, eine vollständige Einschließung zu konzipieren. Diese besteht aus den Elementen Oberflächenabdichtung und vertikale Abdichtung.

Oberflächen- abdichtung

Für die Oberflächenabdichtung wurden folgende grundsätzliche Forderungen aufgestellt: Fassung und Ableitung von Oberflächenwasser, abdichtende Wirkung gegen den Eintritt von Niederschlagswasser und den Austritt von Deponiegas sowie die Fassung und Ableitung von Gas.

Aus folgenden Gründen wurde kein ausführungsfähiger Aufbau für eine Oberflächenabdichtung erarbeitet:

- die Gasbildung war noch nicht abgeklungen,
- die Deponiegasnutzung war in Betrieb und
- weitere Deponiesetzungen waren zu erwarten.

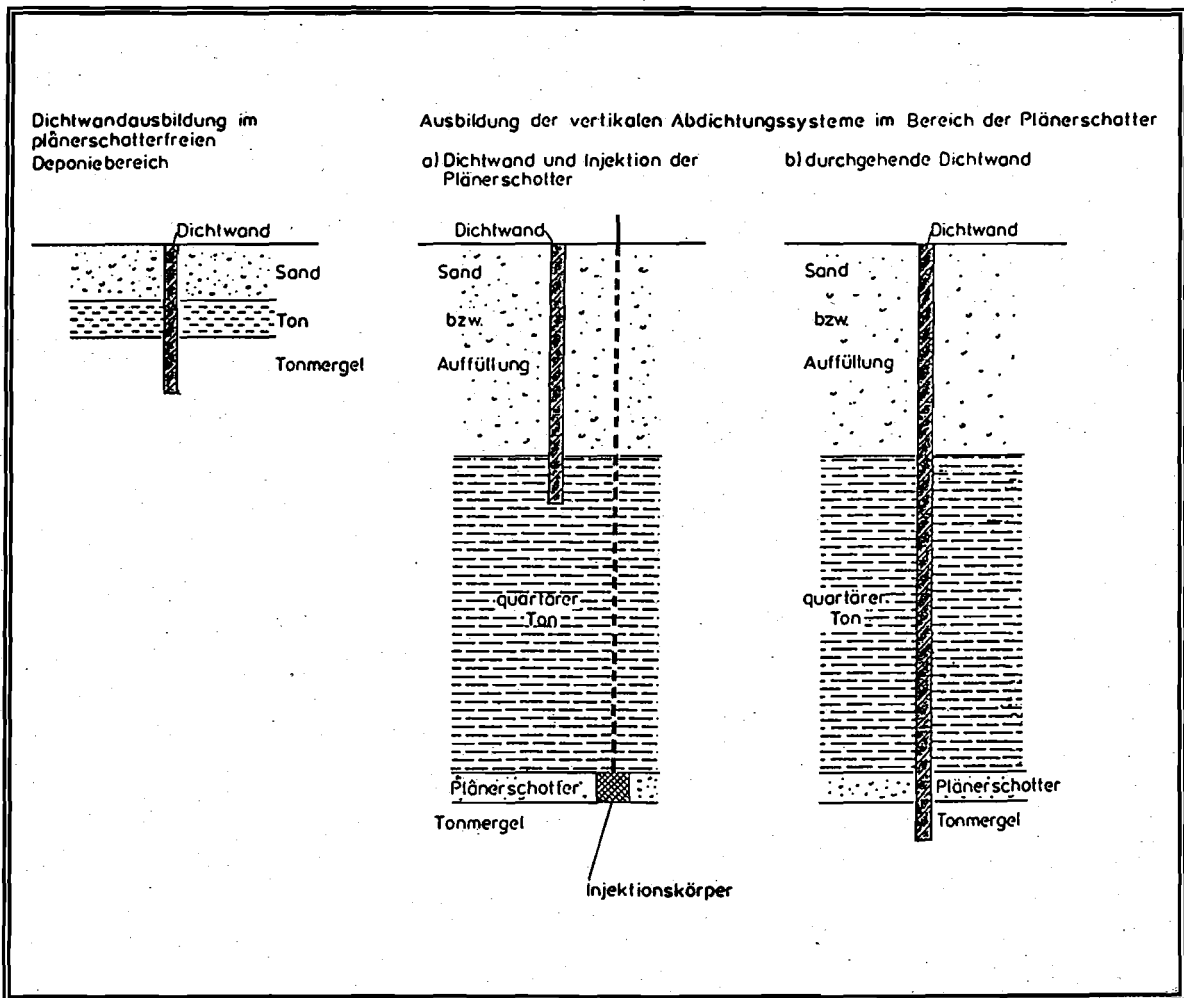
vertikale Abdichtung

Eine vertikale Abdichtung ist durch eine Dichtwand möglich, da in erreichbarer Tiefe (3 m bis 15 m u. GOK) geringdurchlässige geologische Schichten anstehen. Für die Einbindung der Dichtwand bestehen zwei Möglichkeiten (s.a. beiliegende Abbildung):

- a) Die Dichtwand wird in den quartären Ton eingebunden. Die im südlichen Deponiebereich zwischen quartärem und kretazischem Ton anstehenden, wasserdurchlässigen Terrassenablagerungen werden durch ein gesondertes Verfahren, z.B. Injektionsverfahren, abgedichtet.
- b) Die Dichtwand wird im nördlichen, westlichen und östlichen Bereich in den quartären Ton eingebunden. Am südlichen und südöstlichen Deponierand erfolgt die Einbindung in den Ton der Kreide, so daß die Terrassenablagerungen in einem Verfahrensgang abgedichtet werden.

Da der Dichtwandbau, insbesondere die Einbindetiefe, besser kontrolliert werden kann und eine doppelte Baustelleneinrichtung hier nicht erfolgen muß, wurde die Alternative b weiter verfolgt.

Variantenvergleich



Verfahren

Spundwand:

- geringer Geräteaufwand
- geringe Bauzeit
- aufwendige Dichtung der Schlösser erforderlich
- Anfälligkeit gegen Rammhindernisse, d.h. Abweichen von der Vertikalen und damit Schloßsprengung
- Gefahr der Korrosion im Wasser-Luft-Wechselbereich

Schmaldichtwand:

- geringe Wanddicken von 6 - 10 cm, dadurch anfällig gegen Abweichungen von der Senkrechten
- es fällt kein Bodenaushub an
- geringe Baukosten (ca. 80 DM/m²) und relativ schnell durchführbar
- aufgrund der geringeren Wandstärke ist der hydraulische Gradient 4 bis 6 mal so groß wie bei einer Schlitzwand
- preiswerte und relativ schnelle Errichtung möglich

Erdbeton-Rammprofilwand (Einrammen eines Profilkastens und Füllen mit Ortbeton):

- fabrikmäßige Mischung möglich
- gleichbleibend dicke Wände
- Kosten ca. 200 DM/m²

Schlitzwand (Einmassenverfahren):

- Vertikalität durch Leitwände sichergestellt
- Kosten ca. 100 DM/m²

Kombinationsdichtwand (Einmassenwand kombiniert mit Kunststoffdichtungsbahnen):

- Beständigkeit gegenüber aggressiven Wässern erhöht
- Kosten ca. 200 DM/m²

Jetwand (Injektion einer Zementsuspension):

- säulen- oder wandartige Körper mit einem Durchmesser von 0,2 m bis 2 m
- Kosten ca. 250 DM/m²

Aufgrund ihrer Eigenschaften kamen Spund- und Schmalwand nicht in Betracht. Die übrigen Verfahren wurden in ihrer Wirksamkeit als gleichwertig eingestuft, so daß unter finanziellen Gesichtspunkten die Ausführung einer Schlitzwand im Einmassenverfahren durch den Gutachter empfohlen wurde und die Zustimmung der Behörden und des Auftraggebers fand.

3.4

Sanierungskonzept

Im Behördengespräch wurde folgendes Sanierungskonzept festgelegt:

Die Deponie soll durch eine Dichtwand umschlossen werden, die in die gering durchlässigen Tone bzw. Tonmergelgesteine einbindet und im südlichen Bereich der Deponie die Schicht aus Terrassenablagerungen durchdringt (s.a. beiliegende Abbildung). Die Dichtwand bindet mindestens 1 m in die Tonschicht ein und hat eine Mindeststärke von 0,4 m. Der Dichtwandkopf wird durch einen Tonriegel geschützt, der zugleich den späteren Anschluß an die Oberflächenabdichtung gewährleistet. Die Oberflächenabdichtung soll zu einem späteren Zeitpunkt errichtet werden, wenn die Deponiegasbildung abgeklungen ist. Ergänzend zur vertikalen Umschließung sollen die Beschaffenheit des Grundwassers und die Veränderung der Grundwasserstände innerhalb und außerhalb der Deponie kontrolliert werden.

erforderliche Genehmigungen

Sanierungsanordnung (Mai 1991)

3.5

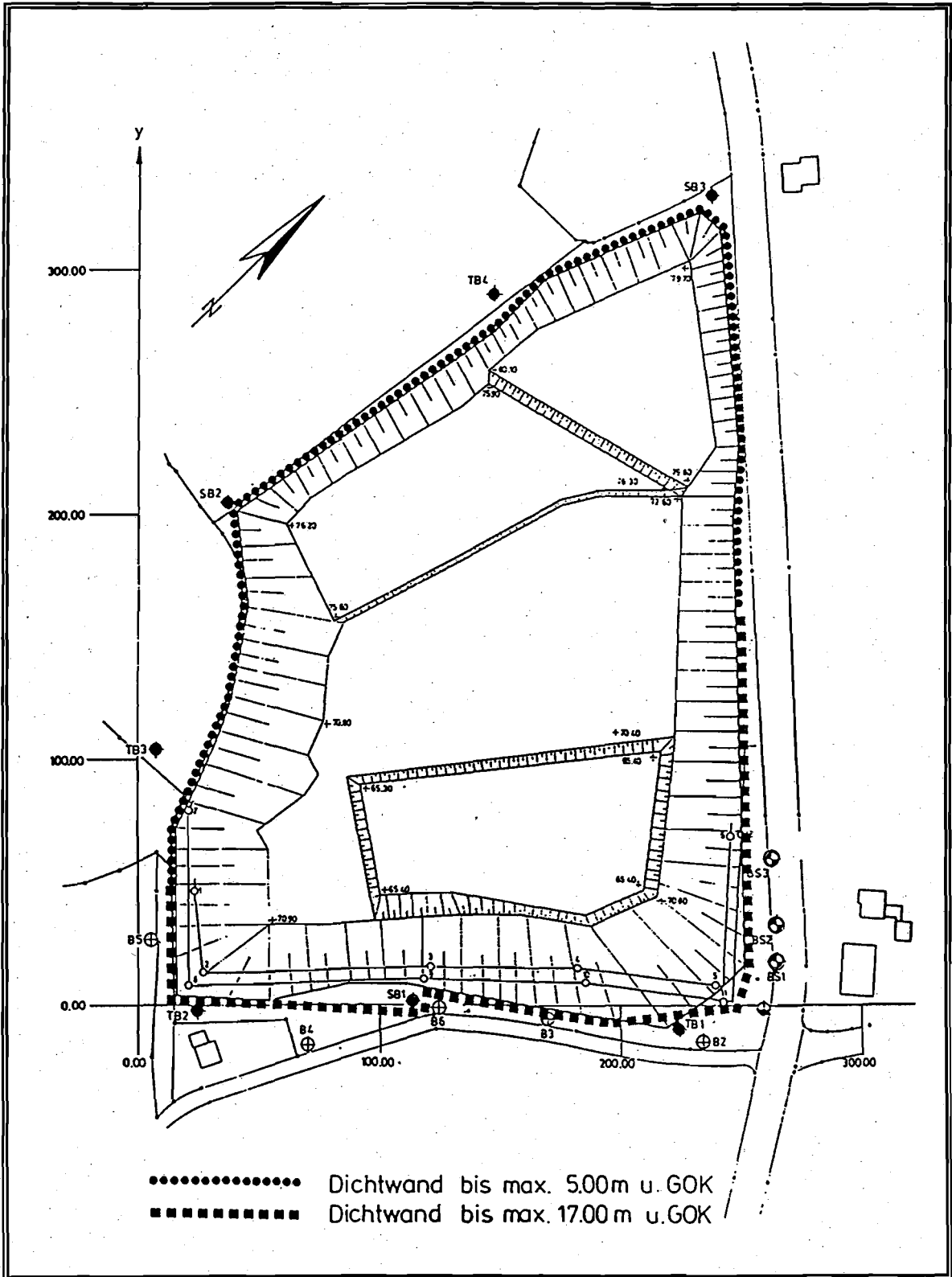
Anforderungen der Behörden

Die Anforderungen, die an die Sanierung gestellt wurden, sind in der Sanierungsanordnung (Mai 1991) niedergelegt. Darin wurden folgende Maßnahmen gefordert:

- Fremdüberwachung der Maßnahme (im Auftrag des StUA),

- erdstatischer Nachweis über die Lamellenlänge (Standheitsnachweis des mit stützender Flüssigkeit gefüllten Schlitzes),
- Klärung des ordnungsgemäßen Verbleibs des Aushubmaterials,
- Nullmessung der vorhandenen Grundwassermeßstellen vor Baubeginn,
- Durchführung von Eignungsprüfungen in Abstimmung mit dem zuständigen StUA und
- Einhaltung von $D_{Pr} = 95 \%$ und eines Durchlässigkeitsbeiwertes von 1×10^{-9} m/s.

Dichtwandtrasse



4 Detailplanung und Bauausführung

4.1

Technische Daten

Aufbau

Dichtwand (8.750 m²)

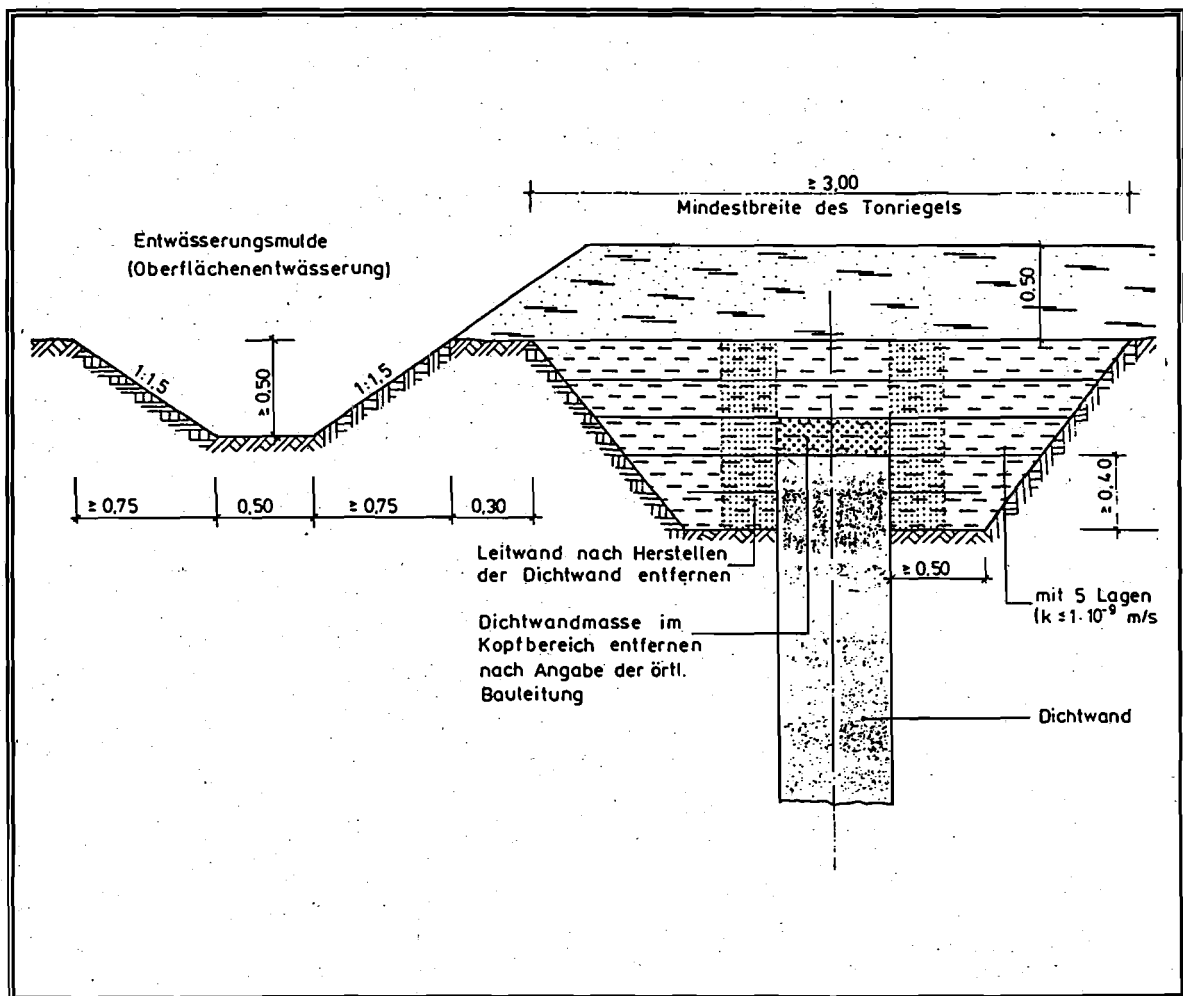
Einphasen-Schlitzwand mit Bodenaushub	Abmessung	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	0,6 m (Bau) min. 0,4 m	
Lamellenbreite	2,8 m	215 kg DIWA-Mix K 840 kg Wasser 235 kg Sand 0/1 $k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s (Bau) Minstdichte: $\rho \geq 1,25$ t/m ³ Einaxiale Druckfestigkeit: $q_u \geq 0,5$ MN/m ²
Länge	ca. 1.000 m	
Tiefe	min. 5 m im Mittel 8 m max. 17 m	
Einbindetiefe in den Tonmergel	≥ 1 m	$k_f \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s
Tonriegel	4 Lagen à 0,2 m	$k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s (Bau) $D_{Pr} \geq 95$ % Materialanforderungen : Feinstkornanteil ≥ 15 Gew.-%

4.2 Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Eignungsprüfung

Bei der Auswahl der Dichtwandmasse wurde auf die Laboreergebnisse von Versuchen zurückgegriffen, die vom Hersteller durchgeführt worden sind. Während des Baubetriebs wurden das Ausgangsmaterial, die frische Suspension und die erhärtende Dichtwandmasse geprüft.

Herstellung der Dichtwand und des Tonriegels



Für die Erstellung des Tonriegels wurde Material einer Tongrube eingesetzt. Der Ton wurde aufgrund der Homogenität des Vorkommens und seiner Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Konsistenzgrenzen, Wassergehalt, Gehalt an organischer Substanz, Kalkgehalt, Durchlässigkeitsbeiwert, Proctordichte, Steifemodul Scherfestigkeit) als geeignet eingestuft (der Ton einer örtlichen Grube erfüllte nicht die Anforderungen).

Versuchsfeld

In einem Versuchsfeld wurden drei Probelamellen ausgeführt, um die Eigenschaften der Dichtwandmassen sowie die technische Durchführbarkeit der Schlitzherstellung zu überprüfen. Es wurden drei Dichtwandrezepturen eingesetzt:

Rezeptur 1: 210 kg DIWA MIX K
 913 kg H₂O
 0 kg Sand

Rezeptur 2: 215 kg DIWA MIX K
 840 kg H₂O
 235 kg Sand 0/1

Rezeptur 3: 271 kg DIWA MIX N
 813 kg H₂O
 174 kg Sand 0/1

Die 3 Probelamellen wurden auf verschiedenen Tiefen beprobt und die suspensionsspezifischen Kennwerte Dichte, Marshzeit, Fließgrenze, Filtratwasserabgabe, Sandgehalt und Absetzmaß bestimmt. Aufgrund der an der frischen Suspension und an der erhärtenden Dichtwandmasse ermittelten Kennwerte legten Eigen- und Fremdprüfer, Gutachter (Planer) und das StUA die Mischrezeptur 2 für die Bauausführung fest.

Eigenüberwachung

Die bauausführende Firma (ARGE) beauftragte Ing.-Büros mit der Eigenüberwachung ihrer Arbeiten. Die durchzuführenden Prüfungen

waren im Ausschreibungstext vorgegeben. Folgende Proben wurden für die Prüfung der Dichtwand genommen:

- Ausgangsmaterial, 2 Proben je Silofahrzeug;
- frische Suspension, entnommen am Mischer bzw. Zulauf zum Dichtwandschlitz einmal arbeitstäglich;
- aus dem Dichtwandschlitz aus unterschiedlichen Tiefen (oben, mitte, unten);
- Entnahme von Rückstellproben aus dem Dichtwandschlitz für die Prüfung der erhärtenden Suspension nach 28 und nach 56 Tagen.

Zunächst war geplant, die Lamellen über die Schlitztiefe mit einer Inklinometersonde (Aufnahme der Koordinaten in senkrechter und horizontaler Richtung) auszumessen, um die Vertikalität nachzuweisen. In einer Baubesprechung (Bauleitung, Eigen- und Fremdprüfer, Gutachter, Kreis, StUA) wurde festgelegt, daß auf eine Inklinometermessung verzichtet werden kann. Es wurde davon ausgegangen, daß die Leitwände, die lage- und höhenmäßig eingemessen wurden, eine gute Führung bieten, so daß eine Kontrolle der Vertikalität mit der Wasserwaage (Anlegen am gespannten Zugseil des Greifers) ausreichend ist. Dadurch wurde durch den Auftragnehmer nachgewiesen, daß der seitliche Versatz zwischen 2 Lamellen nicht mehr als 20 cm beträgt. Die Ausführung jeder Lamelle wurde durch ein Protokoll dokumentiert (s. beiliegendes Bsp.).

Der Toneinbau (Dichtwandkopf) wurde durch Bestimmungen des Verdichtungsgrades, des Einbauwassergehalts und der Einbaudichten kontrolliert.

Fremdüberwachung

Durch den Fremdprüfer wurden der Mischvorgang, die frische Suspension und die erhärtete Dichtwandmasse nach 28 und nach 56 Tagen geprüft. Dabei wurden je 400 m² die frische Suspension und je 1.000 m² die erhärtete Dichtwandmasse kontrolliert. An letzterer wurden die einaxiale Druckfestigkeit und der Durchlässigkeitsbeiwert bestimmt. Die Durchlässigkeitsbeiwerte lagen zwischen $4,8 \times 10^{-10}$

und $< 1 \times 10^{-12}$ m/s gegenüber dem geforderten k-Wert von $\leq 1 \times 10^{-9}$ m/s. Die gestellten Anforderungen wurden eingehalten, so daß keine Nacharbeiten erforderlich waren.

Während der Erstellung des Tonriegels überwachte der Fremdprüfer die Aufbereitung des Tonmaterials und ermittelte die Kennwerte Wassergehalt, Dichte, Trockendichte, Verdichtungsgrad und Durchlässigkeitsbeiwert. Beim Einbau wurden k-Werte in der Größenordnung von 1×10^{-10} m/s (gefordert 1×10^{-9} m/s) und Verdichtungsgrade jeweils über 95 % erzielt. Alle Proben erfüllten damit die gestellten Anforderungen.

Systemprüfung

Die Funktionstüchtigkeit der Dichtwand wurde in insgesamt 4 Pumpversuchen à 9 Stunden geprüft. In die Funktionskontrolle wurden insgesamt 37 Beobachtungspegel (18 innen, 19 außen) und 20 Entnahmebrunnen (außerhalb des Dichtwandkastens) einbezogen. Die Meßstellen waren bei jedem Pumpversuch wie folgt angeordnet:

- 5 Beobachtungspegel auf der Innenseite im Abstand von ca. 2 m zur Dichtwand, parallel zur Wand aufgereiht,
- 5 (bzw. 4) Beobachtungspegel auf der Außenseite im Abstand von ca. 2 m zur Dichtwand, parallel zur Wand aufgereiht sowie
- auf der Außenseite 5 bzw. 4 Entnahmebrunnen im Abstand von ca. 5 m zur Dichtwand, parallel zur Wand aufgereiht.

Auf jeder Seite der Dichtwand wurde ein Pumpversuch durchgeführt. Die Beobachtungs- und Entnahmestellen wurden jeweils zu den Ecken der Dichtwand hin angeordnet. Die mittlere Entnahmemenge betrug $0,11 \text{ m}^3/\text{h}$ (das entspricht ca. $0,022 \text{ m}^3/\text{h}$ je Brunnen). Die erzielte Grundwasserspiegelabsenkung lag zwischen 0,2 und 1,5 m.

Bei allen 4 Pumpversuchen war innerhalb der Deponie keine Absenkung des Deponiesickerwasserspiegels meßbar. Die Ergebnisse der einzelnen Pumpversuche bestätigten die Funktionstüchtigkeit der

erstellten Dichtwand. Das aufgepumpte Grundwasser war nicht kontaminiert und wurde in den Vorfluter abgeleitet.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Baumaßnahme wurde öffentlich ausgeschrieben. Eine Teilung in Bauabschnitte und Lose wurde nicht vorgenommen.

Sanierung

Nach der Freiräumung des Baufeldes und dem Anlegen einer Baustraße (aus RCL-Material) parallel zur geplanten Dichtwandtrasse wurden im Versuchsfeld 3 Probelamellen eingerichtet. Parallel dazu wurden die Leitwände entlang der Dichtwandtrasse gesetzt. Bei Beginn der ersten Aushubarbeiten für die Dichtwand wurden Hohlräume im Untergrund festgestellt, die auf die Anschüttung von Fehlbrandchargen der Ziegelei zurückgehen. Die Suspensionsverluste waren so hoch, daß der Schlitz nicht ständig gefüllt gehalten werden konnte. Nach Abwägung der Alternativen Bodenaustausch oder Hohlraumverfüllung wurde letztere auf einer Strecke von ca. 200 m durchgeführt. Dazu wurde eine feststoffreichere Rezeptur (160 kg DIWA-Mix, 640 kg Wasser, 600 kg Sand) eingesetzt und insgesamt 10.000 m³ Suspension eingefüllt.

Die eigentliche Dichtwand wurde daran anschließend hergestellt (Mönchschritte). Das Bodenmaterial wurde in einer Breite von 2,8 m mit einem Schlitzwandgreifer ausgehoben und kontinuierlich durch Dichtwandsuspension ersetzt. Beim Ausheben der Segmente wurde ein Teil der bereits bestehenden Lamelle aufgearbeitet, so daß eine durchgehende Wand entstand (s. Abbildung). Da die Dichtwandmasse zur Endaushärtung mehr als 60 Tage benötigt, war die Anbindung der nächsten Lamelle auch nach einer Stillstandszeit, z.B. am Wochenende unproblematisch. Bei der Schlitzherstellung wurden in geringem Umfang auch Abfälle aufgegraben, die auf der Deponie eingebaut wurden. Die erste und die letzte Lamelle wurden vor Endaushärtung der ersten Lamelle verbunden, so daß keine

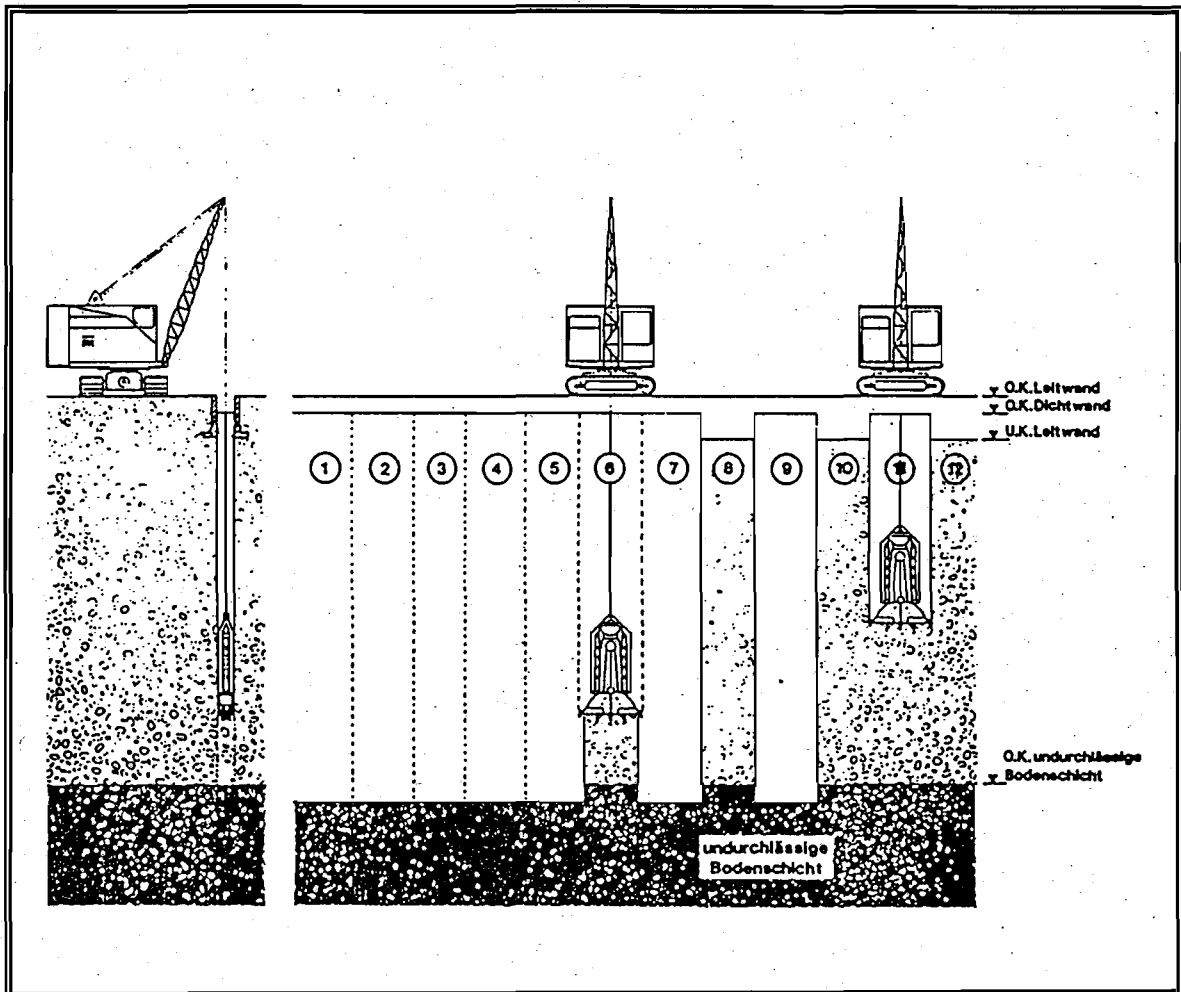
zusätzlichen Dichtungsmaßnahmen ergriffen werden mußten. Die Schlitzherstellung war innerhalb von 2 Monaten abgeschlossen. Zum Schutz des Dichtwandkopfes vor Austrocknung (Bildung von Schrumpfrissen) wurde der Kopf mit Bodenmaterial abgedeckt.

Nach Erhalt der positiven Laborergebnisse aus den Dichtwandprüfungen wurden die Leitwände entfernt, der Dichtwandkopf abgeschält und der Tonriegel erstellt. Das Tonmaterial wurde vorbehandelt (gefräst) und abgedeckt in Mieten auf der Baustelle vorgehalten. Die Tonlagen wurden mit einer 2,5 t- bzw. 6 t-Walze verdichtet eingebaut. Zum Abschluß wurde der Tonriegel mit Bodenmaterial abgedeckt.

Anfallende Reststoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	Boden und Dichtwand-suspension	5.500 - 6.000 m ³	Einbau auf der Deponie
flüssige Rückstände			

Schematische Darstellung der Herstellung von Dichtungsschlitzwänden im Einphasenverfahren



4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Arbeitsschutzmaßnahmen wurden entsprechend den Richtlinien der TBG ausgeschrieben. Altlastenspezifische Maßnahmen, wie z.B. das Vorhalten einer Schwarz-Weiß-Anlage etc. waren nicht erforderlich.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Bauabschnitt	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
Gesamt	k.A.	April - Okt. 1992	k.A.	5,8 Mio DM
Schlitzherstellung	k.A.	2 Monate	1,5 Mio	k.A.

(Die Endabrechnung bzw. Rechnungsprüfung durch die Bezirksregierung ist noch nicht erfolgt)

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)
--

5.1

Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge)

Während und nach der Bauausführung wurde die Fassung von Deponiesickerwasser weiterbetrieben. Pro Monat werden zwischen 2.000 und 4.000 m³ gefördert und über Tankwagen zur Kläranlage abgefahren. Die Fördermenge richtet sich nach den Belastungsgrenzen der zur Verfügung stehenden Kläranlagen. Die Errichtung einer Sickerwasserreinigungsanlage befindet sich daher in der Planung.

5.2

Langzeitüberwachung (Monitoring)

Die Funktionstüchtigkeit der Dichtwand wird durch monatliche Wasserspiegelmessungen innerhalb und außerhalb der Deponie an insgesamt 11 Meßstellen überwacht. Dabei wurde festgestellt, daß die Einstauhöhe des Deponiesickerwassers von 15,5 auf 9,4 m im Zeitraum Januar bis November 1994 abgenommen hat.

Im halbjährlichen Abstand wird das Grundwasser chemisch analysiert. Aus den Ergebnissen vom Herbst 1993 und Frühjahr 1994 geht hervor, daß die Grenzwerte der TVO für Nitrate, Nitrite, Ammonium, Chrom, Nickel, Kupfer, Cadmium, Quecksilber, Blei, Cyanide und Zink fast ausnahmslos eingehalten werden und die Belastung durch gelöste, biochemisch abbaubare Substanzen unter der Bestimmungsgrenze von 2 mg/l liegen.

Projekt 7 Kurzdarstellung

Aus der geschlossenen und rekultivierten Sondermülldeponie trat 1980 Deponiesickerwasser in einen Randgraben aus. Zur Sicherung des Deponiestandortes wurden eine vertikale Abdichtung, eine Drainage im Inneren der Deponie und ein Sickerwassertanklager gebaut sowie der Deponiesickerwasserspiegel abgesenkt. Im Zuge dieser ersten Sanierungsmaßnahmen konnte die alte Abdeckung nur provisorisch wieder hergestellt werden, so daß Niederschlagswasser eindringen konnte und die Deponiesickerwassermengen erheblich anstiegen. Der Kreis veranlaßte daraufhin 1993 die Planung und Ausführung einer qualifizierten Oberflächenabdichtung.

Die Oberflächenabdichtung ist aus folgenden Elementen aufgebaut:

- Rekultivierungsschicht
- Schutzschicht
- Entwässerungsschicht aus Granulat
- mineralische Abdichtung (Ton, 3 Lagen à 20 cm)
- Tragschicht (Recyclingmaterial)

Bei der Bauausführung 1993 traten keine Schwierigkeiten auf. Die Ausführung wurde durch Eigen- und Fremdprüfung überwacht.

1 Standortbeschreibung

Lage Der Standort liegt am Autobahnkreuz XY. In unmittelbarer Nachbarschaft befinden sich ein Freizeitgelände, eine Altablagerung und eine Deponie. Die Lage des Standortes ist in beiliegendem Lageplan dargestellt. Westlich der Fläche befinden sich zwei Wassergewinnungsanlagen.

Größe Die Fläche hat eine Größe von rund 46.000 m².

Ehemalige Nutzung Bereits vor 1892 wurde an dem Standort Ton abgebaut. Ab 1971 wurde die Fläche mit behördlicher Erlaubnis (wasserrechtliche Erlaubnis aufgrund der Stellungnahme des GLA) als Sondermülldeponie genutzt. Die Austonung der Grube wurde Anfang der 1970er Jahre erweitert und von 1973 bis 1976 ebenfalls mit Sondermüll gefüllt. Der Deponiekörper wurde 1976 abgedeckt und begrünt (Grünfläche).

Eigentums-,

Pacht- und

Mietverhältnisse

Eigentümer ist eine Privatperson. Die Fläche war bis zur Schließung der Deponie an die Deponiebetreiberin verpachtet.

Geologie/

Hydrogeologie

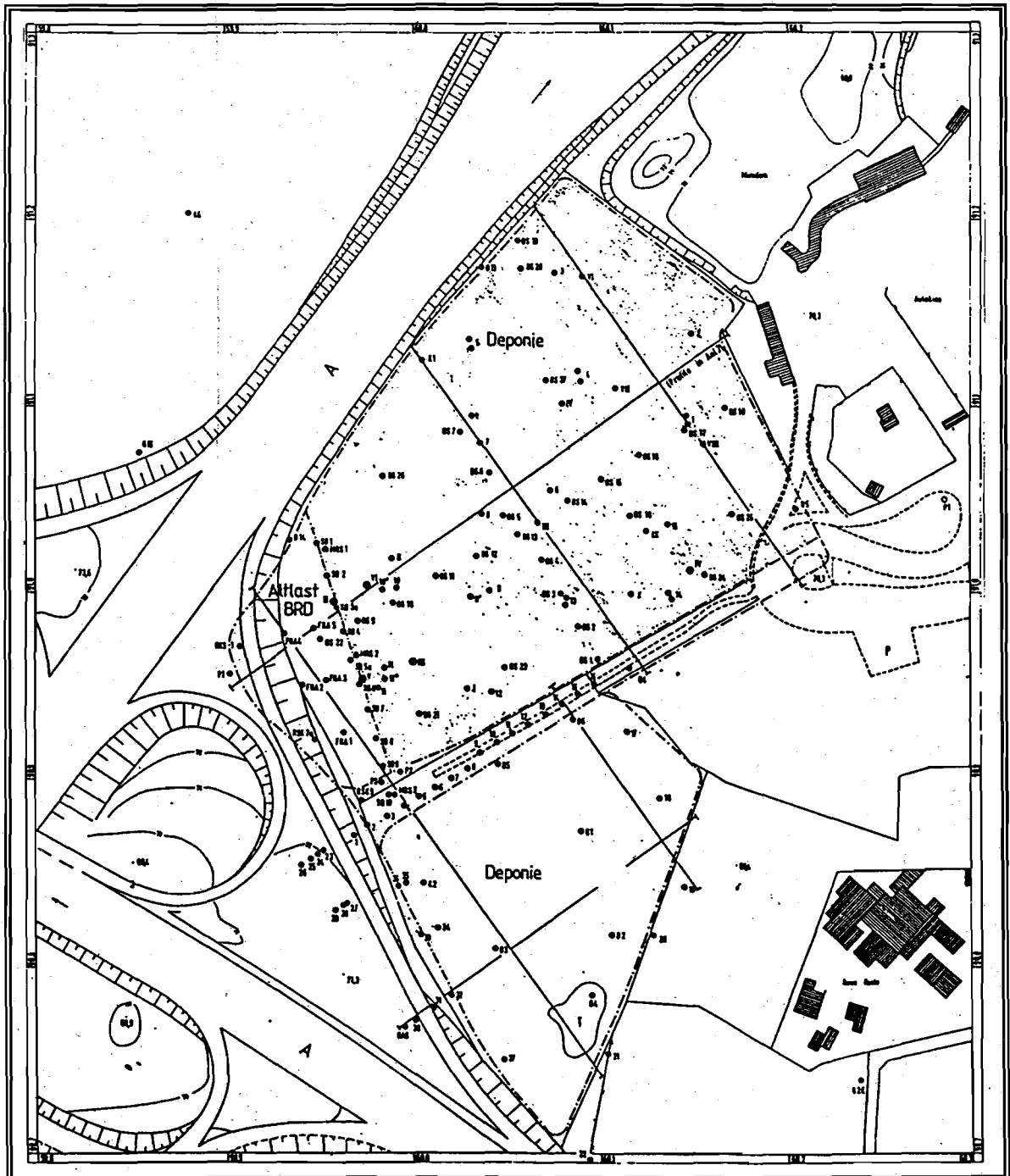
Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut (s.a. beiliegende Abbildung):

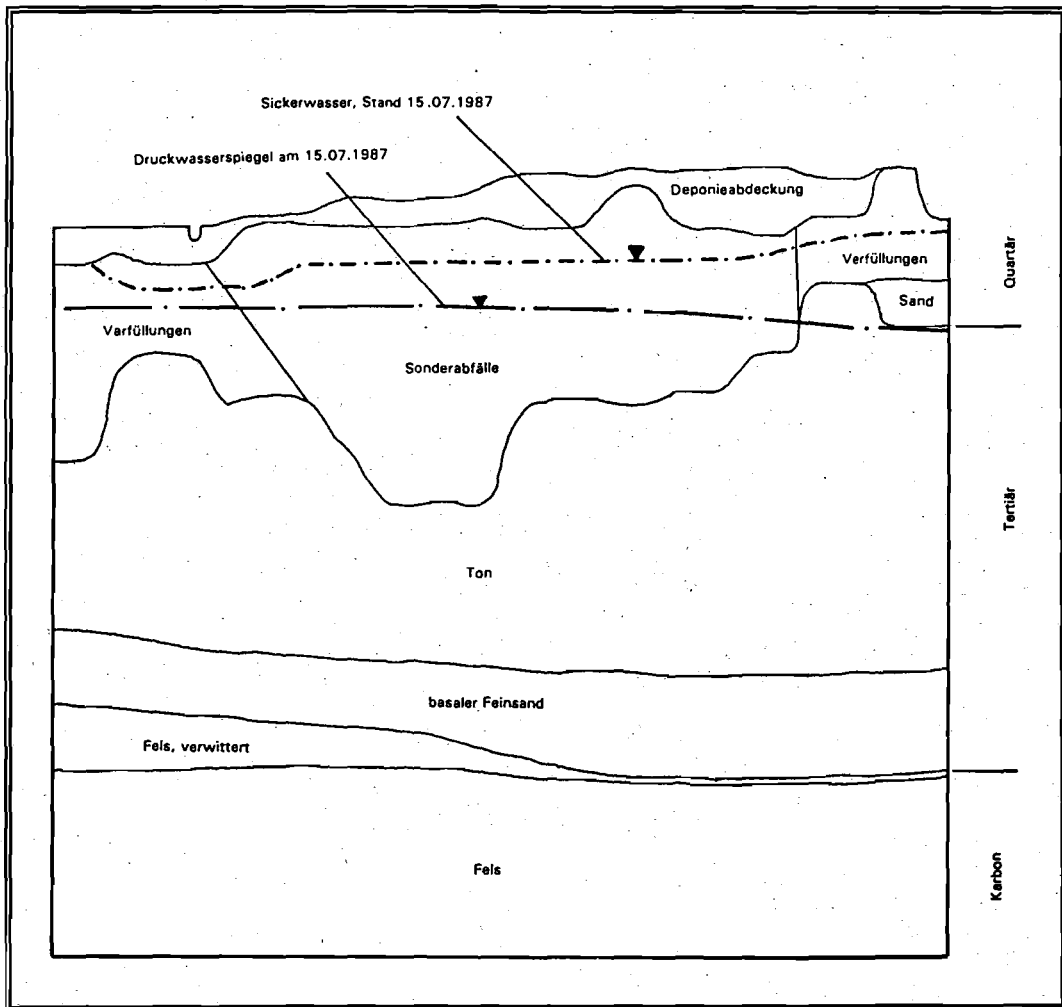
Quartär: Flugsande (Mittelsand) und Löß des Pleistozäns (0 Meter bis mehrere Meter mächtig);

Tertiär: Wechsellagerung von Tonen und Schluffen des Oligozäns, Einschaltung von Linsen und Schichten

aus Fein- bis Mittelsand; mit zunehmender Tiefe nimmt der Sandanteil zu (max. 20 m mächtig);
Karbon: Wechselfolge aus Tonschiefern, quarzitäen Sandsteinen und Grauwacken; die Oberfläche des Karbons ist z.T. tonig verwittert;

Lageplan



Geologischer Schnitt S - N; M 1 : 100, 1 : 500

Grundwasser:

Das 1. Grundwasserstockwerk liegt in den Schichten des Quartär. Der 2. Grundwasserleiter wird durch die sandig ausgeprägten Ratinger Schichten gebildet. Das Grundwasser ist gespannt (Potentialdifferenz ca. 3,5 bis 9 m). Im Deponiebereich liegt eine Wasserscheide. Der Grundwasserstrom ist nach NNW und nach SSE ausgerichtet. In den karbonischen Schichten liegt das 3. Grundwasserstockwerk (Kluftgrundwasser). Das Grundwasser des Karbons ist stark gespannt (Potentialdifferenz ca. 4 bis 11 m). Die Fließrichtung ist nach W bis WNW gerichtet.

Hydrologie

Der südöstlich gelegene (in 350 m) Bach X entwässert nach Süden. Nordwestlich des Standortes (500 m) liegt der Bach Y. Er entwässert nach Westen.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

Anlaß

1980 trat an der Westseite der Deponie übelriechendes Wasser in einen Entwässerungsgraben. Daraufhin wurden zunächst folgende Maßnahmen eingeleitet:

- Absenkung des Deponiewasserspiegels über 2 Sickerwasserbrunnen (ab 1981),
- Errichtung 2 weiterer Sickerwasserbrunnen (Betrieb ab Mitte 1983),
- Herstellung eines Drainageschlitzgrabens parallel zum bestehenden Deponierandgraben (1984/85).

Beim Bau des Drainageschlitzgrabens wurde festgestellt, daß auf der Westseite der Deponie keine Tonschichten (mehr) vorhanden sind, die den Deponiekörper in der Vertikalen begrenzen. In der Folge konnte Wasser in den Deponiekörper eintreten bzw. Sickerwasser aus der Deponie austreten.

Gutachten

Zwischen 1980 und 1987 wurden ca. 15 Gutachten erstellt, die sich inhaltlich mit dieser Deponie X oder angrenzenden Flächen befassen. Ziel der Untersuchungen war es u.a., die Auswirkungen auf die hydrochemische Situation des Grundwassers zu erfassen, die Ablagerungsflächen zu erkunden, abzugrenzen sowie die von ihnen ausgehende Gefährdung abzuschätzen.

Untersuchungen

Nach Auswertung der bereits durchgeführten Untersuchungen wurde 1986/87 die Umschließungssituation des Standortes erkundet. Hierzu wurden geophysikalische Messungen (Goelektrik), Aufschlußsondierungen und -bohrungen, Versickerungsversuche und Grundwasserspiegelmessungen durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß in der ehemaligen Tongrube im wesentlichen Teil ölverschmutzte

Erde und Betriebsmittel, feste ölverschmutzte Rückstände, Bleich-, Filter- und Schleiferde, Kunstharz-, Lösungsmittel, Düngemittel- und Filtrückstände sowie Salzschlacken aus der Aluminiumproduktion abgelagert wurden. Auf der Deponiewestseite reichte der Tonabbau bis unter die BAB, so daß hier die Tonschichten in einer Tiefe von ca. 4 m u. GOK anstehen. Am Südrand steht die Tonschicht in einer Tiefe von 2 bis 3 m an. Hier schließen sich Auffüllungen aus Bodenaushub und Bauschutt an die Deponie an. Im Osten stehen die tertiären Tonschichten in einer Tiefe von 0,3 bis 1,8 m Tiefe an, im Norden liegen sie auf 1 bis 2 m u. GOK. Die Durchlässigkeit der Tonschichten liegt zwischen $3,8 \times 10^{-6}$ m/s und 4×10^{-9} m/s. In einzelnen Bohrungen wurden Sandlinsen angetroffen, die z.T. durch die Deponie bzw. Deponiesickerwasser kontaminiert sind.

Die Deponiesohle liegt auf min. 9 m und max. 10 m u. GOK. An der Sohle stehen stark schluffige Tone und stark tonige Schluffe an, die durch Deponieinhaltsstoffe kontaminiert sind. Ihre Durchlässigkeit liegt bei $< 1 \times 10^{-9}$ m/s. Vermutlich ist die Tonschicht jedoch nur geringmächtig und nicht durchgängig vorhanden.

Der Deponiesickerwasserspiegel ist ebenso wie die Deponie selbst aufgewölbt. Da am Deponierand Deponat zum Teil an sandige Schichten grenzt, kann Deponiesickerwasser in das 1. Grundwasserstockwerk eintreten. Das Grundwasser in den sandigen Deckschichten ist deutlich durch Deponiesickerwasser kontaminiert, wie die in Tabelle 1 zusammengestellten Analysenergebnisse belegen. Das 2. Grundwasserstockwerk ist geringer belastet. Die festgestellten organischen Belastungen können nicht eindeutig der Deponie X zugeordnet werden, da sich in unmittelbarer Nähe weitere Schadstoffherde befinden, die vermutlich ebenfalls zu einer Verunreinigung des Grundwassers beitragen. Im Grundwasser des 2. und 3. Stockwerks wurden Zinkkonzentrationen analysiert, die über den B- und C-Richtwerten der sog. Hollandliste liegen. Diese Gehalte können auf das Ausbaumaterial zurückgeführt werden, daß beim Meßstellenbau verwendet wurde. Das 3. Grundwasserstockwerk weist im übrigen nur geringfügig erhöhte Gehalte einzelner Stoffe (oberhalb des A-Wertes der sog. Hollandliste) einzelner Stoffe auf.

Tabelle 1: Maximale Schadstoffkonzentrationen im Grundwassers

Parameter	1. Stockwerk	2. Stockwerk	Einheit
BTX	52,2	5	µg/l
PAK (TVO)	7,72	0,11	µg/l
KW (DIN 38409-H18)	2,1	0,29	mg/l
Phenolindex	90	<	µg/l
Na	782	41	mg/l
K	148	27	mg/l
Chlorid	820	72	mg/l
Sulfat	500	807	mg/l
Ammonium-N	11,8	1,06	mg/l
elektrische Leitfähigkeit	3.280	1.772	µS/cm

Die Deponieabdeckung besteht aus bindigen Böden (0,3 bis 2,5 m mächtig). Es handelt sich überwiegend um schwach tonige, sandige bis stark sandige Schluffe. Lokal wurde ein stark toniger Schluff angetroffen. Der Durchlässigkeitsbeiwert der Abdeckung liegt zwischen 1×10^{-5} m/s und 5×10^{-8} m/s. Der Deponiesickerwasserspiegel liegt mit rund 70 m ü. NN ca. 1 m und mehr über dem Grundwasserspiegel der näheren Umgebung.

Gutachterliche Bewertung

Die vorhandene Deponieabdeckung erfüllt nicht die technischen Anforderungen, die an eine Sondermülldeponie zu stellen sind. Da die Deponie, insbesondere im Westen und Süden, nicht durch eine Tonbarriere begrenzt wird, treten erhebliche Sickerwassermengen aus dem Deponiekörper in den umgebenden Untergrund ein. An der Deponiesohle ist vermutlich keine durchgehende Abdichtung vorhanden. Die Deponie stellt daher für die Umgebung einen Gefahren-

herd mit hohem Gefährdungspotential für das Oberflächenwasser und das Grundwasser dar. (Aus älteren Untersuchungen war bekannt, daß für die umliegenden Trinkwassergewinnungen keine Gefährdung besteht.) Zum Schutz des Grundwassers ist eine Sanierung erforderlich.

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger Der Verursacher, die Deponiebetreiberin, ist sanierungspflichtig.

Kostenträger Die Kosten werden vom Verursacher (Deponiebetreiber), dem Entsorgungsverband und dem Kreis getragen. Der Bau der Oberflächenabdichtung wird mit Landesmitteln in Höhe von 45 % gefördert.

Rechtlicher Rahmen der Sanierung 1992 wurde ein öffentlich-rechtlicher Vertrag zwischen den Kostenträgern geschlossen. Die Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen wurde per Ordnungsverfügung (AbfG) an den Verursacher erlassen.

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

Die Ergebnisse der Gutachten wurden in einem speziell eingerichteten Arbeitskreis diskutiert. An dem Arbeitskreis nahmen Vertreter der Bezirksregierung, des Landesumweltamtes, des Geologischen Landesamtes, des Staatlichen Umweltamtes und des Kreises teil. Die Beteiligten waren sich darüber einig, daß zum Schutz von Grund- und Oberflächenwasser ein Übertritt von Deponiesickerwasser in die Umgebung und die Neubildung von Deponiesickerwasser verhindert bzw. gemindert werden muß.

3.2**Standortuntersuchungen und Empfehlungen**Untersuchung

Durch den Gutachter des MURL wurden die bereits durchgeführten Untersuchungen ausgewertet und ein abgestufter Plan zur Sanierung des Standortes entwickelt. Dieser Plan wurde durch den Sanierungsbeirat (bestehend aus Betreiber, AAV und Kreis) und den planenden Gutachter modifiziert. Folgende Stufen waren danach vorgesehen:

Ergebnis/Empfehlungen

Stufe 1: Vertikale Abdichtung der Deponie bis in die tertiären Tonschichten, Errichtung einer Ringdrainage im Inneren der Deponie, Bau eines Sickerwassertanklagers, Absenkung des Deponiesickerwasserspiegels und Wiederherstellung der Oberflächenabdeckung (s.a. beiliegende Abbildung).

Stufe 2: Erweiterung der Ringdrainage durch zusätzliche Stränge und Oberflächenabdichtung.

Nach der Durchführung der ersten Stufe sollte der Deponiesickerwasserspiegel zunächst beobachtet werden. Erst wenn sichergestellt war, daß eine Erweiterung der Drainage nicht notwendig ist, sollte die Oberflächenabdichtung gebaut werden.

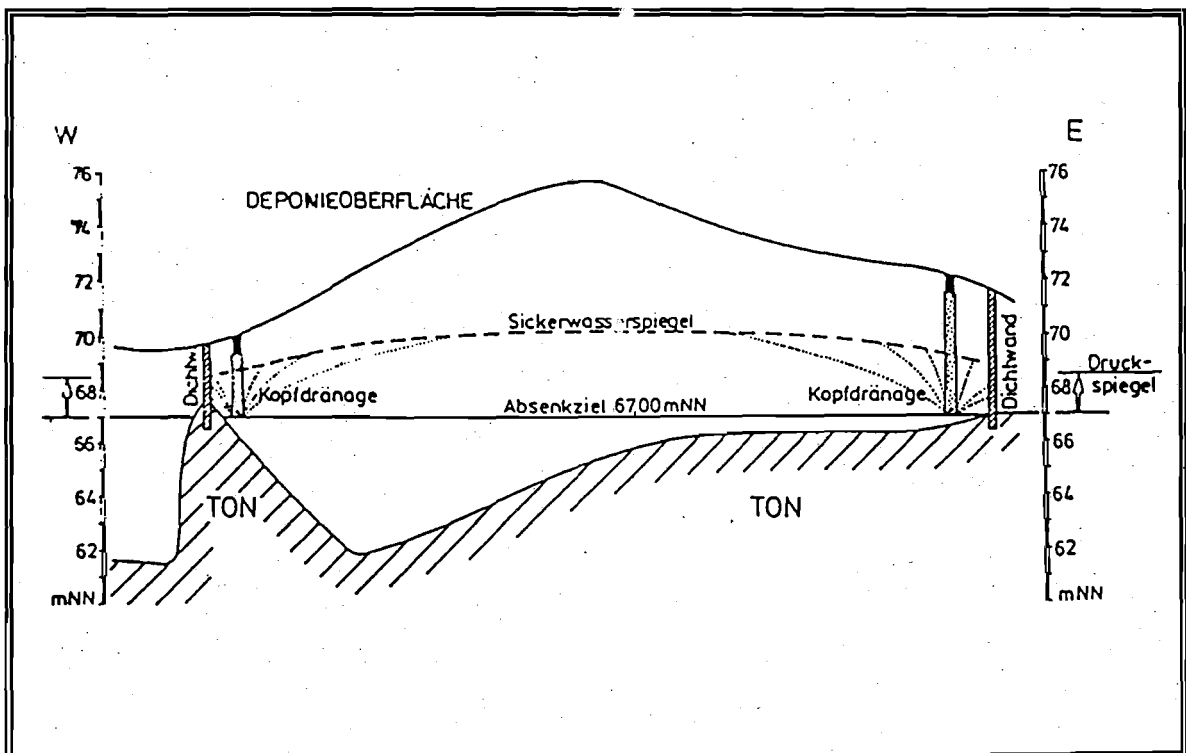
3.3**Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich**Ausgangssituation

Nach Erkundung der Dichtwandtrasse sollte im Zeitraum von Mai bis Oktober 1992 die erste Stufe durchgeführt werden. In diesem Zeitraum konnte jedoch nur die Dichtwand als 2-Phasen-Dichtwand und das Sickerwassertanklager als Zwischenbehälter fertiggestellt werden. Die Errichtung der Drainage wurde erst im Januar 1993 abgeschlossen. Das Wiederaufbringen und Verdichten des Abdeckmaterials war in den Wintermonaten aufgrund der nassen Witterung

nur provisorisch möglich. Darüber hinaus war für die geplante Wiederherstellung der Abdeckung in einer Mächtigkeit von mindestens 20 cm nicht genug Material vorhanden. Die erste Stufe wurde am 20. Februar 1993 abgeschlossen.

Das im Winter 1992/93 angefallene Sickerwasser wurde durch die Ringdrainage gefaßt und zur Reinigung in eine Kläranlage abgefahren. Die erheblich gestiegenen Sickerwassermengen und Entsorgungskosten führten zu einem Streit zwischen dem Kreis und der ausführenden Baufirma. Der Kreis forderte, daß der Auftragnehmer einen Teil der Kosten übernehmen solle. Der Auftragnehmer hingegen vertrat die Auffassung, daß die Bauzeitverlängerung, die letztlich zum erhöhten Sickerwasseranfall geführt hatte, nicht sein Verschulden sei und brachte die ihm entstandenen Kosten für den längeren Betrieb der Baustelle in Anrechnung. Die streitenden Parteien schlossen einen außergerichtlichen Vergleich, indem sie auf die gegenseitig erhobenen Forderungen verzichteten.

Sanierung, Elemente der 1. Stufe



Der Kreis veranlaßte 1993 die Planung und Ausführung einer Oberflächenabdichtung. Die weitere Darstellung konzentriert sich auf die Oberflächenabdichtung.

Variantenvergleich

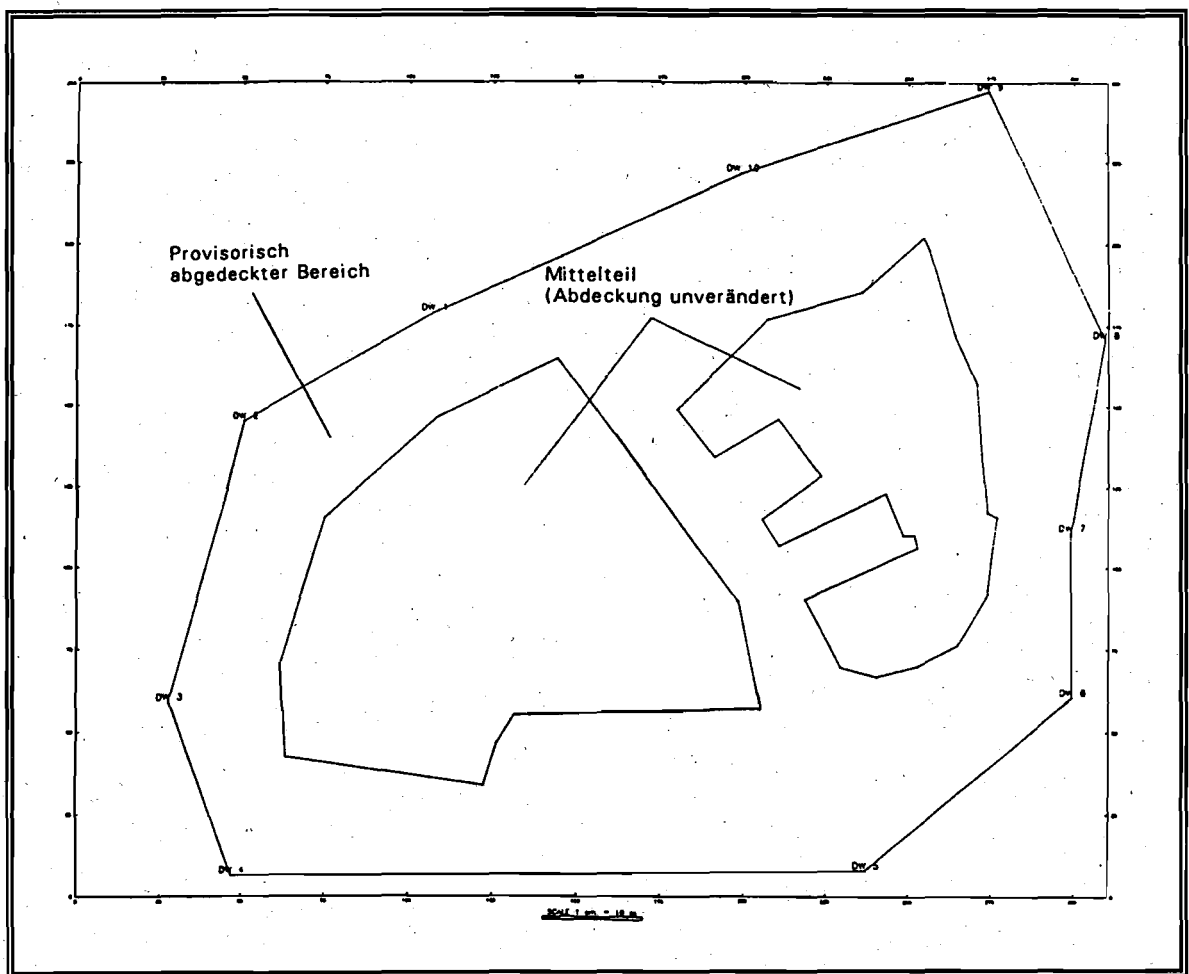
Folgende Varianten einer Oberflächenabdichtung wurden unter Kosten-Nutzen-Aspekten betrachtet:

	Aufbau	Stärke
Variante 1	Oberboden Tonabdichtung	20 cm 60 cm
Variante 2	Oberboden Geotextil Entwässerungsschicht Tonabdichtung	20 cm 30 cm 60 cm
Variante 3	Oberboden Drainmatte Bentofix-Dichtungsmatte Schutzschicht	50 cm
Variante 4	Oberboden Drainmatte Kunststoffdichtungsbahn Schutzschicht	50 cm

Die angeführten Varianten wurden zusätzlich danach unterschieden, ob nur die Bereiche abgedichtet werden sollen, die nach Errichtung der Ringdrainage provisorisch wieder abgedeckt worden sind, oder ob die gesamte Deponieoberfläche (Variante + Mittelteil) abgedichtet werden soll (s. beiliegender Plan). Die Kostenübersicht für die Varianten 1 bis 4 ist in der beiliegenden Abbildung dargestellt. Mit "Ist-Zustand" ist die provisorisch hergestellte Abdeckung gemeint und mit "Vertragszustand" die ursprünglich geplante Wiederherstellung der Abdeckung. Unter "Kosten 93" werden die Kosten für Herstellung, Vorhaltung, Bauleitung und Sickerwasserentsorgung zusammengefaßt. Mit jedem weiteren Jahr erhöhen sich die Kosten um den Betrag der Aufwendungen für die Sickerwasserentsorgung (d.h., "Kosten 93" + "Sickerwasser" = "Kosten 94").

Voraussetzung für alle Varianten ist die Verdichtung der Abdeckung, bzw. des Provisoriums, um eine befahrbare Oberfläche zu erhalten. Für den Fall, daß weitere Drainagestränge in der Deponie eingerichtet werden müssen, kann eine Tondichtung leichter repariert werden. Die in diesem Fall einzusetzenden Erdbaugeräte können auch für die Reparatur der Dichtung verwendet werden.

Deponieabdeckung nach Abschluß des 1. Bauabschnitts



Gegebenenfalls kann eine Tondichtung durch weitere Sicherungselemente aufgerüstet werden.

Aufgrund der durch den Gutachter durchgeführten Wasserhaushaltsberechnung fallen bei einer Abdichtung nach Variante 2 (incl. Abdichtung des Mittelteils), Kosten für die Entsorgung von Sickerwasser in Höhe von 55.000,- DM an. Für die Varianten 3 und 4 wurde diese Position gleich Null angenommen. Dagegen sind die Herstellungskosten für die Variante 2 deutlich geringer als die der Varianten 3 und 4.

3.4

Sanierungskonzept

Die gesamte Deponieoberfläche (incl. sog. Mittelteil) soll durch ein System, bestehend aus mineralischer Abdichtung, Drainage und Rekultivierungsschicht, abgedichtet werden. Zur Abdichtung der Deponie gegenüber Niederschlagswasser wurde die Variante 2 gewählt. Ausschlaggebend für die Entscheidung des Kreises war die Wiederherstellbarkeit der Tonabdichtung im Falle eines nochmaligen Eingriffs in den Deponiekörper (Erweiterung der Ringdrainage). Dabei wurde berücksichtigt, daß das System durch den Einbau von Kunststoffdichtungsbahnen erweitert werden kann. In zweiter Linie wurde diese Variante unter dem Gesichtspunkt Kosten ausgewählt.

erforderliche

Genehmigungen

- Baugenehmigung durch die Stadt
- Ordnungsverfügung nach Abfallgesetz durch den Kreis gegen den Verursacher
- Duldungsverfügung des Kreises gegen den Eigentümer.

3.5

Anforderungen der Behörden

Die Anforderungen an das mineralische Abdichtungssystem orientierten sich an der TA Abfall. Sie wurden in Absprache mit dem Kreis durch den Fremdprüfer in einem Qualitätssicherungsplan festgelegt. Die gestellten Anforderungen sind in Kap. 4.1 tabellarisch zusammengestellt.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1 Technische Daten

Aufbau

Oberflächenabdichtung (Fläche ca. 46.000 m², s.a. beiliegende Abbildung)

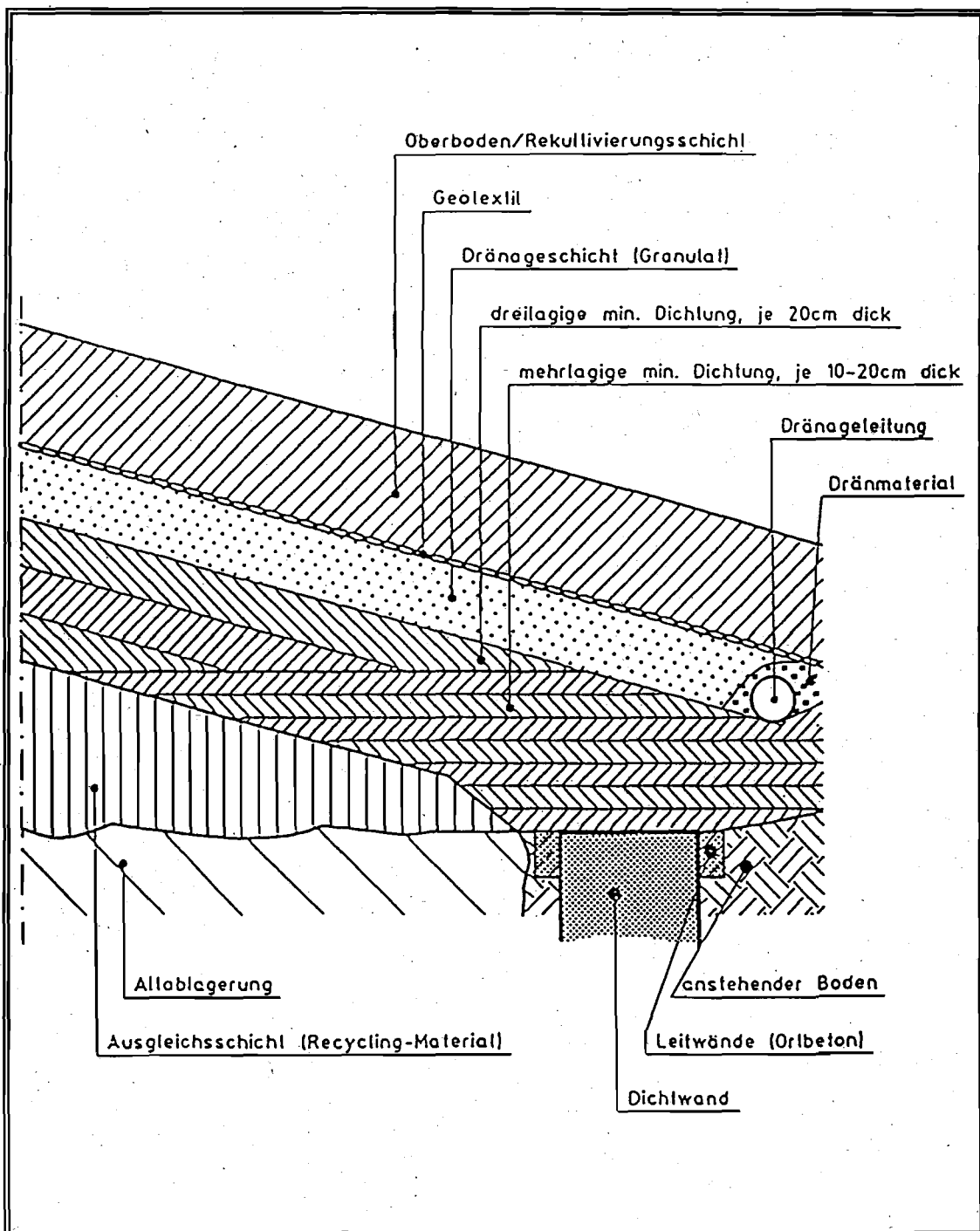
Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung/ Anforderungen
≥ 0,5 m	Rekultivierungsschicht	Oberboden
	Schutzschicht	Geotextil
≥ 0,3 m	Entwässerungsschicht	Flächenfilter aus Granulat, Anbindung an Ring- drainage, $k \geq 5 \times 10^{-4}$ m/s
≥ 0,6 m	mineralische Abdichtung	Ton 3 Lagen à 20 cm $D_{Pr} \geq 95$ % Materialanforderungen: Glühverlust $V_{Gl} < 10$ % Durchlässigkeit K $K \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s Luftporenanteil $n_a \leq 5$ % Wassergehalt $w \geq w_{opt.}$
≥ 0,3 m	Tragschicht	Recyclingmaterial Setzungsmaß der letzten Überfahrt ≤ 5 % Gefälle 0,5 % (im Zentrum) - 6 %
	Deponieabdeckung (alte u. provisorische)	

4.2 Eignungsprüfungen und Qualitätssicherung

Eignungsprüfung

Die Tone von zwei Gruben a und b wurden auf ihre Eignung untersucht. Für den Aufbau der mineralischen Abdichtung wurde Ton der Grube a eingesetzt.

Schematischer Aufbau der Oberflächenabdichtung im Bereich der Dichtwand



Qualitäts- sicherungsplan

Durch den Fremdprüfer wurde ein Qualitätssicherungsplan erarbeitet, der die Anforderungen an die Abdichtung (s. Kap. 4.1), die Probenahmedichte und die zu bestimmenden Parameter festlegte. Folgende Kontrollprüfungen waren vorgesehen:

Tragschicht: Identitätskontrolle je 2.000 m² angeliefertes Material,

Dichtung: Identitätskontrolle des angelieferten Materials, Bestimmung von Dichte, Wassergehalt und Verdichtungsgrad je 900 m², zusätzlich an jeder 3. Probe die Korngrößenverteilung sowie an jeder 5. Probe die Konsistenzgrenzen und die Durchlässigkeit,

Flächenfilter: Bestimmung der Kornverteilung mindestens alle 2.700 m².

Die Probeentnahme erfolgte zu 2/3 durch die Eigenprüfung und zu 1/3 durch die Fremdprüfung. In der Bauausführung wurde der Prüfumfang des Flächenfilters auf rund die Hälfte reduziert, da das Material eine gleichbleibende Kornverteilung aufwies.

Versuchsfeld

Die Herstellung der Tonabdichtung wurde in einem Versuchsfeld erprobt. Dabei wurde festgestellt, daß der Ton im Anlieferungszustand eingebaut werden kann. Die unverdichtete Lagenstärke betrug ca. 30 cm. Die Auftragsstärke konnte mit Hilfe von "Einbaulehren", d.h. entsprechend vorgeschrittenen Kanthölzern, kontrolliert werden. Die Verdichtung wurde durch mindestens 3 Übergänge mit einer Stampffußwalze (~18 t) erreicht. Die Verdichtung der dritten Lage erfolgte mittels Glattmantelwalze (~15 t) und mindestens 4 Verdichtungsübergängen.

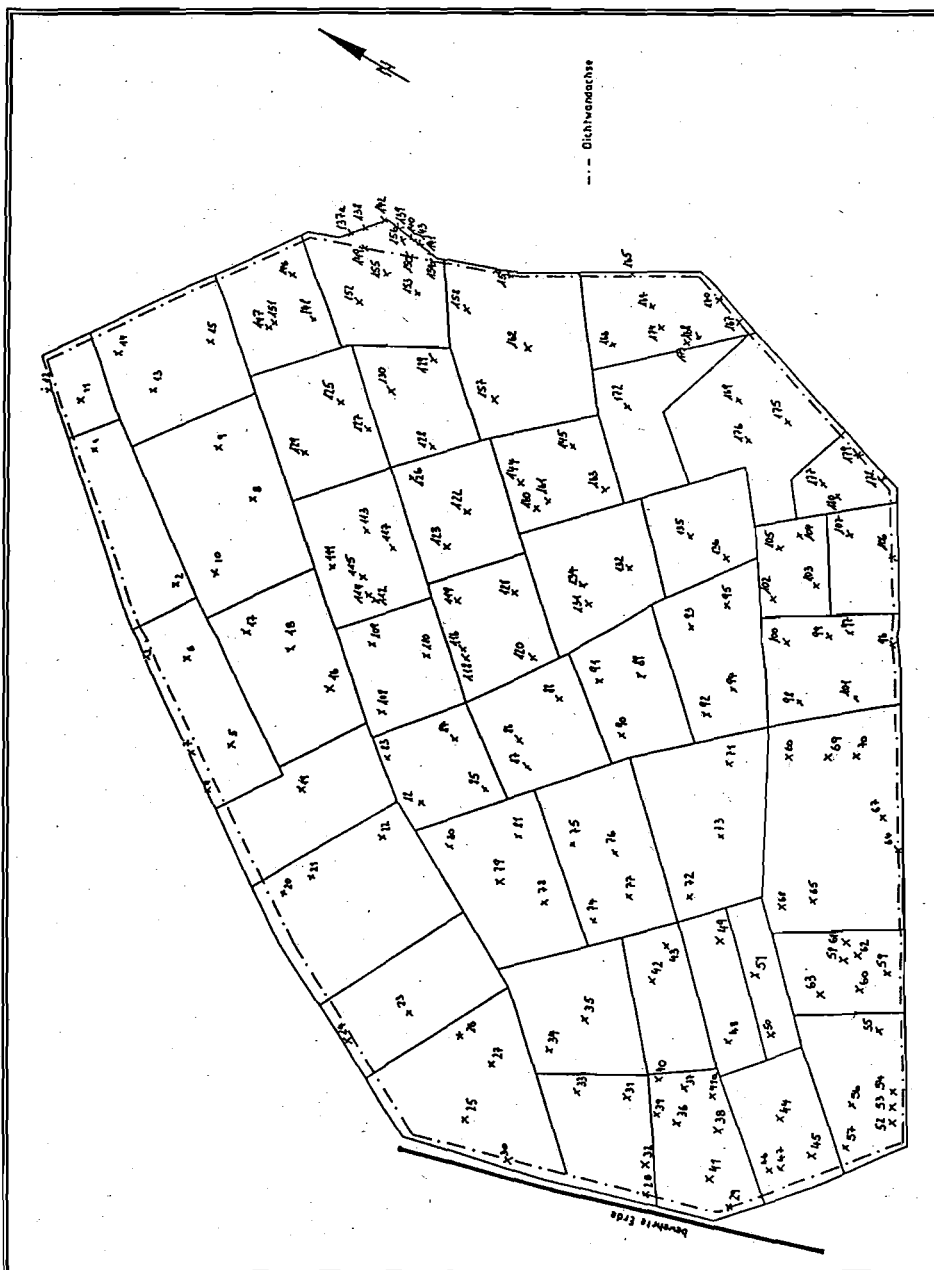
Eigenüberwachung

Die bauausführende Firma beauftragte ein Ing.-Büro mit der Eigenüberwachung ihrer Arbeiten. Die Qualitätsprüfung der Tragschicht in Form einer Identitätskontrolle erfolgte je 2.000 m². Das Abdichtungsmaterial wurde bei Anlieferung visuell auf Aggregatgröße und Homogenität hin geprüft und an Stichproben der Wassergehalt ermittelt. Aus den fertiggestellten Verdichtungslagen wurden aus jeder Lage einem Raster folgend Proben entnommen (s.a. beiliegende

Abbildung). Im Baustellenlabor wurden Dichte, Wassergehalt und Verdichtungsgrad bestimmt. Zusätzlich wurden die Korngrößenverteilung, die Konsistenzgrenzen und die Durchlässigkeit ermittelt. Sonderbereiche um Schächte, an Böschungen und am Dichtwandkopf wurden gesondert untersucht.

Die Überprüfung des Flächenfilters sollte laut Planung alle 2.700 m² durch die Ermittlung der Korngrößenverteilung erfolgen. Der Prüfumfang wurde auf ca. die Hälfte reduziert, da eine Siebung des Granulats im Werk erfolgte, so daß ein fast deckungsgleicher Verlauf der Kornverteilung gegeben war (s.a. beiliegende Abbildung).

Probeentnahmestellen der Eigenprüfung



Fremdüberwachung

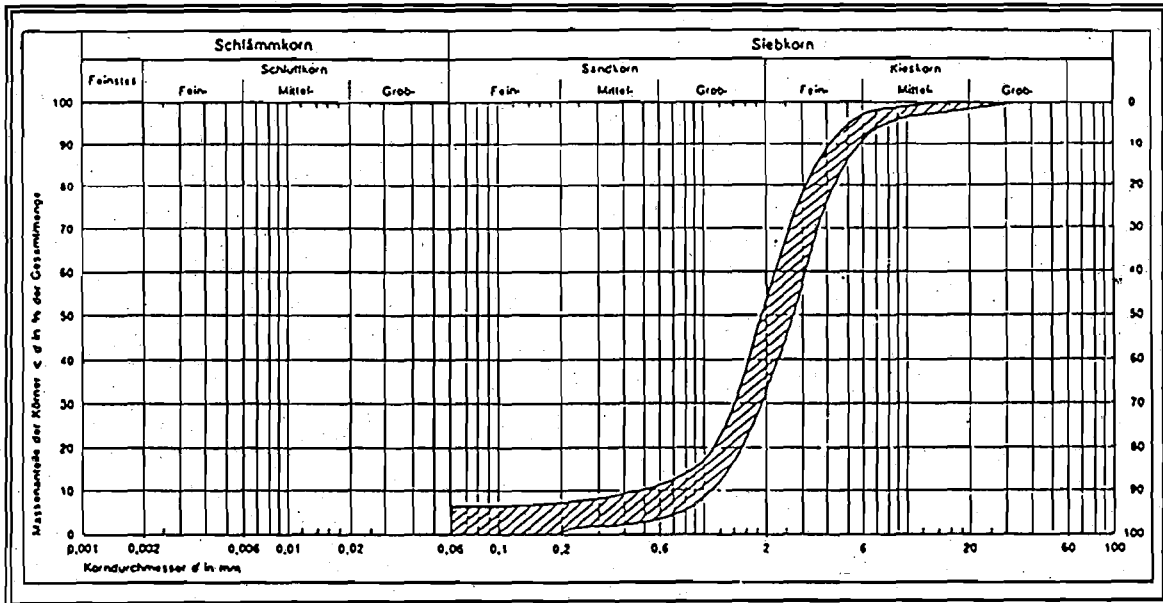
Die Erstellung des Versuchsfeldes wurde durch den Fremdprüfer gutachterlich begleitet.

Der Einbau des Tonmaterials wurde lagenweise kontrolliert. Im Tonmaterial vorhandene Tonsteine wurden bei der Profilierung der einzelnen Tonlagen entfernt. Einzelne Tonsteinaggregate wurden aus den verdichteten Lagen ausgegraben. Diese Bereiche wurden anschließend mit Tonmaterial verfüllt und verdichtet. Nach Fertigstellung einer Verdichtungslage erfolgte die Probenahme. Die Freigabe der Einbaulage erfolgte zunächst unter Vorbehalt, um einen zügigen Bauablauf zu gewährleisten. In einer Probe wurde der einzuhaltende K-Wert und der Luftporenanteil mit $k = 4,9 \times 10^{-10}$ m/s und $n_a = 8,5$ % nicht eingehalten, so daß dieser Bereich nachverdichtet werden mußte. Eine Überschreitung des Luftporenanteils wurde in einer weiteren Probe festgestellt. Dieser Wert wurde toleriert, da das betreffende Feld zum größten Teil außerhalb des Dichtwandbereiches lag und die Korndichte des Materials nicht gesondert ermittelt wurde. Die Mächtigkeit der Tonabdichtung wurde durch Aufmaßarbeiten und mittels Kontrollbohrungen geprüft. Dabei wurden Mächtigkeiten zwischen 0,6 m und $> 0,7$ m nachgewiesen.

Die durchgeführten Analysen sind in der beiliegenden Tabelle aufgeführt. Der Fremdprüfer wertete neben den eigenen auch die Ergebnisse der Eigenüberwachung aus. Danach lag der Luftporenanteil fast ausschließlich unter 5 % (2 Ausnahmen, s.o.). In zwei Proben wurde die geforderte Proctordichte mit 92,7 % und 94,7 % nicht eingehalten. Die zugehörigen K-Werte hielten mit $1,3 \times 10^{-11}$ m/s und $3,3 \times 10^{-11}$ m/s den geforderten Wert deutlich ein. Im Durchschnitt wurde ein K-Wert von $2,8 \times 10^{-11}$ m/s (Fremdprüfung) bzw. $7,7 \times 10^{-11}$ m/s (Eigenprüfung) erreicht (s.a. beiliegende Abbildung).

Für das Flächenfilter wurden nach BEYER & SCHWEIGER bei dichter Lagerung Durchlässigkeiten zwischen $k = 9,3 \times 10^{-3}$ m/s und $k = 1,7 \times 10^{-3}$ m/s berechnet.

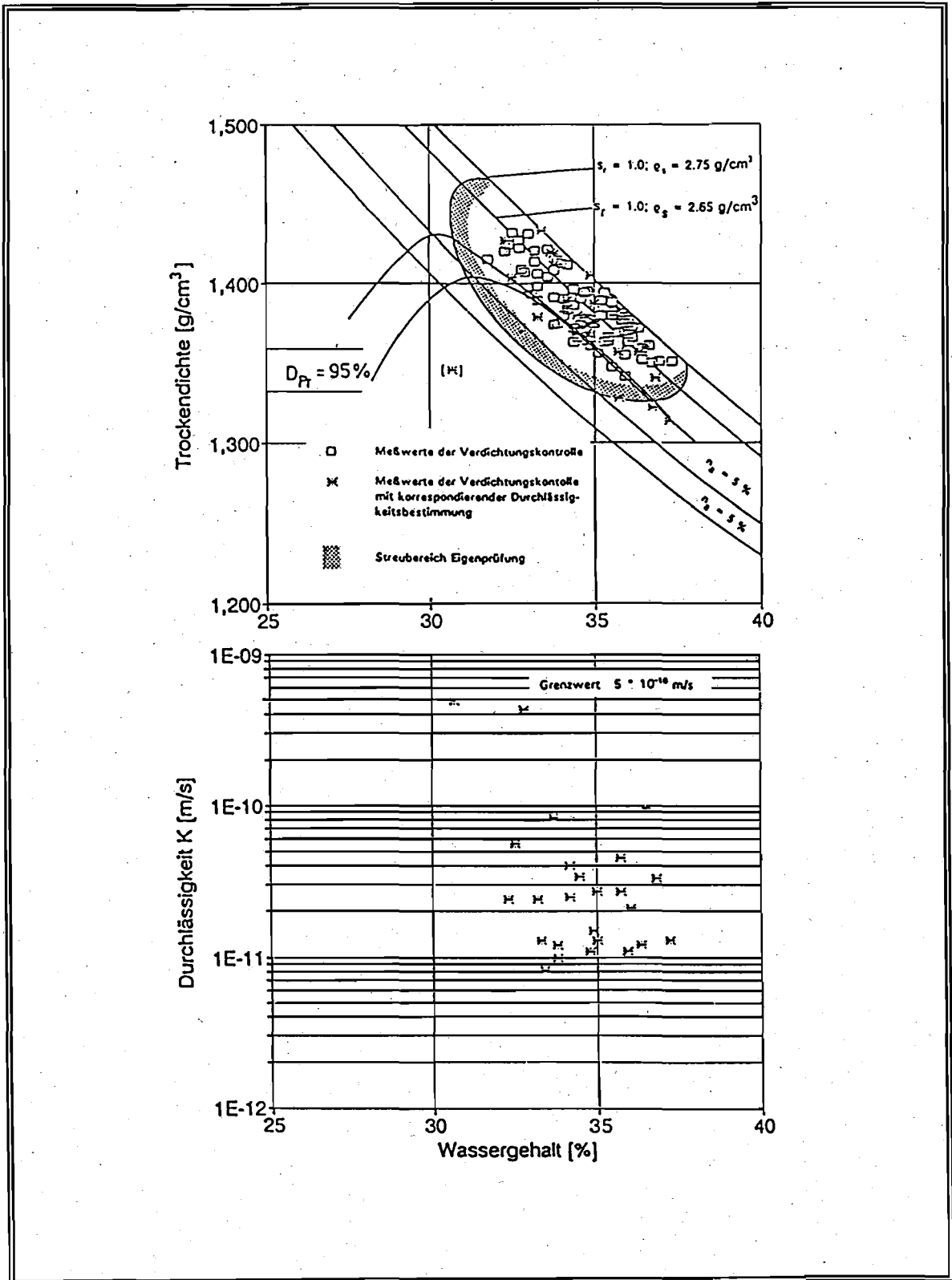
Kornverteilung des Drainagematerials



Laboruntersuchungen der Eigen- und Fremdprüfung

	Eigenprüfung	Fremdprüfung
Kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse	37	45
Feuchtdichte	180	111
Trockendichte und Verdichtungsgrad (Rechenwerte)	180	111
Wassergehalt	180	111
Fließgrenze	25	27
Ausrollgrenze	25	22
Glühverlust	3	1
Konsistenzzahl (Rechenwert)	25	22
Proctordichte im Standardversuch (ø 15 cm)	-	2
Durchlässigkeit in Triaxialzellen (Probendurchmesser 10 cm)	26	27

Verdichtungskennwerte und Durchlässigkeit



Aufgrund der positiven Prüfergebnisse wurde durch den Fremdprüfer die Abnahme der Oberflächenabdichtung ohne Vorbehalt empfohlen.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Aus Gründen der Gewährleistung wurde der Bau der Oberflächenabdichtung an die ARGE vergeben, die bereits die Dichtwand, die Kopfdrainage und das Sickerwassertanklager gebaut hatte. Die Erstellung der Oberflächenabdichtung wurde in einem Bauabschnitt ausgeführt.

Sanierung

Nach dem Einbau des Recyclingmaterials als Ausgleichsschicht wurde das Planum verdichtet. Für den Toneinbau wurde die Gesamtfläche in insgesamt 43 Baufelder mit Flächen von meist mehr als 1.000 m² unterteilt. Der angelieferte Ton wurde nach der Eigenprüfung direkt im Baufeld abgeladen. Nur bei Qualitätsabweichungen oder zu großen Mengen erfolgte eine Zwischenlagerung. Pro Tag wurde ein Feld fertiggestellt. Bei Anschluß des nächsten Feldes wurde der verdichtete Ton im Randbereich aufgenommen und mit neuem Tonmaterial vermischt und verdichtet. Durch Granulat (Planum) verunreinigter Ton wurde zuvor ausgesondert. Da aus der Drainageschicht der fertiggestellten Bereiche Niederschlagswasser austrat, mußten in dem zu bearbeitenden Baufeld auch durchnässte Bereiche ausgetauscht werden. Nach Freigabe der Tonoberfläche wurde der Flächenfilter vor Kopf (Raupe) oder in Riegelbauweise (Bagger) eingebaut und das Geotextil als Trennschicht zur auflagernden Rekultivierungsschicht verlegt.

Im Bereich von Schächten und bei der Erstellung des Dichtwandkopfes erfolgte der Toneinbau in reduzierter Lagenstärke und mit leichterem Verdichtungsgerät. Auf den Randböschungen der Deponie wurde das Verdichtungsgerät mittels Zugseil durch einen Hydraulikbagger gesichert.

Besonderheiten

Im Zuge der Errichtung der Oberflächenabdichtung für die Deponie X wurde eine Altablagerung, die beim Bau der Dichtwand gequert wurde, miteingekapselt. Hierzu wurde bis in eine Tiefe von 3 m in einem Graben lagenweise verdichtet Ton eingebaut. Die Tondichtwand bindet an die 2-Phasen-Dichtwand an, so daß seitlich eine vollständige Umschließung gegeben ist. Die Oberflächenabdichtung geht an dieser Stelle über die 2-Phasen-Dichtwand hinaus und bindet an die Tondichtwand an.

Anfallende Reststoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	-	-	-
flüssige Rückstände	Deponiesickerwasser	ca. 80 m ³ pro Woche	Kläranlage

4.4**Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen**

Bei der Erstellung der Oberflächenabdichtung waren keine besonderen Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen erforderlich.

4.5**Sanierungskosten und -dauer**

Bauabschnitt	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
Oberflächenabdichtung	k.A.	24.05.1993 - 29.11.1993	7,5 Mio DM	Abschlußrechnung lag noch nicht vor

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)

5.1 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge)

Das Deponiesickerwasser wird über eine Ringdrainage gefaßt, im Sickerwassertanklager gesammelt (Fassungsvermögen 100 m³) und zu einer Behandlungsanlage gebracht. Zur Zeit werden pro Woche 50 bis 100 m³ abgefahren. Bis Ende 1994 wurde das Deponiesickerwasser in einer physikalisch-chemischen Reinigungsanlage zur Behandlung von flüssigen und pastösen Sonderabfällen (Zulassung nach Abfallrecht) behandelt. Die Anlage wird zu Behandlungskosten von ca. 190 DM/m³ betrieben. Seit 1995 wird das Deponiesickerwasser in einer Betriebskläranlage eines Chemiekonzerns mit Sondergenehmigung der Bezirksregierung behandelt (Behandlungskosten ca. 80 DM/m³).

5.2 Langzeitüberwachung (Monitoring)

Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahmen sollen 14 neue Grundwassermeßstellen errichtet und in den quartären Schichten verfiltert werden. Das tertiäre Grundwassermeßstellennetz soll durch 11, das karbonische durch 3 neue Grundwasserbeobachtungsstellen (150 NW) ergänzt werden. In die Überwachung werden außerdem 4 bestehende Meßstellen, die im karbonischen Grundwasserleiter verfiltert sind, einbezogen. Es ist geplant, den Deponiesickerwasserspiegel über insgesamt 30 neue Beobachtungspegel (50 NW) zu kontrollieren.

Die Messung der Grundwasserstände soll i.d.R. in vierteljährlichen, die der Deponiesickerwasserstände in monatlichen Abständen erfolgen. Zur Überwachung des Grundwasserchemismus werden die Grundwassermeßstellen beprobt und chemisch untersucht. Die Analyse

soll im vierteljährlichen Wechsel eine Voll- und eine Kurzanalyse umfassen. Ab dem 2. Beobachtungsjahr sollen Vollanalysen im halbjährlichen Abstand durchgeführt werden. Es ist geplant, das Deponiesickerwasser ebenfalls im halbjährlichen Abstand zu analysieren. Die für die Grundwasser- und Sickerwasseruntersuchung aufgestellten Analysenumfänge sind auf der folgenden Seite wiedergegeben.

Eine mögliche Deponiesetzung wird im vierteljährlichen Abstand visuell kontrolliert. Außerdem wird die Deponiesickerwasserdrainage monatlich kontrolliert und jährlich gespült. Pumpen und Schwimmerschaltung des Sickerwassertanklagers werden im halbmonatlichen, bzw. halbwöchentlichen Abständen überprüft.

Die Grundwasserüberwachung des Standortes befindet sich in der Ausschreibung. Es wird mit Kosten in Höhe von 430.000,-- DM (incl. Meßstellenbau) bei einem Überwachungszeitraum von 2 Jahren gerechnet. Die Überwachung wird nach Ablauf dieser Zeit weitergeführt.

Erste Ergebnisse der Langzeitüberwachung liegen noch nicht vor.

Parameter der Langzeitüberwachung (Monitoring)

Parameter	Kurzanalyse des Grundwassers	Vollanalyse des Grundwassers	Analyse des Sickerwassers
Allgemeine Parameter:			
Farbe	x	x	x
Trübung	x	x	x
Geruch	x	x	x
Temperatur	x	x	x
pH-Wert	x	x	x
Leitfähigkeit	x	x	x
Anorganische Parameter:			
Anionen	x	x	x
Fluorid		x	x
Cyanid, ges.		x	x
Phosphat		x	x
Chlorid	x	x	x
Sulfat	x	x	x
Sulfid			x
Ammonium	x	x	x
Schwermetalle	x	x	x
Arsen	x	x	x
Blei	x	x	x
Cadmium	x	x	x
Chrom, ges.	x	x	x
Kupfer	x	x	x
Zink		x	x
Nickel	x	x	x
Aluminium		x	
Mangan		x	
Magnesium		x	x
Natrium	x	x	x
Kalium	x	x	
Calcium			x
Quecksilber			x
Nitrat			x
Nitrit			x
Stickstoff, organ. gebunden			x
Organische Parameter:			
KW nach DEV H18	x	x	x
Phenolindex	x	x	x
PAK nach TVO	x	x	x
BTEX	x	x	x
AOX	x	x	
LHKW	nur für d. tertiäre GW-Stockwerk im E' und SE' Deponiebereich	nur für d. tertiäre GW-Stockwerk im E' und SE' Deponiebereich	x
PCB			x

Projekt 8

Kurzdarstellung

Aufgrund der früheren Nutzung durch eine Zechen- und Kokereianlage bestand für die Fläche ein Altlastenverdacht. Bei den Untersuchungen zur Entlassung aus der Bergaufsicht und der zwischen 1990 und 1992 durchgeführten Gefährdungsabschätzung wurden Verunreinigungen durch kokereispezifische Stoffe und Schwermetalle festgestellt. Im Bereich der ehemaligen Kokerei und Teeröldestillation wurden flächenhafte Kontaminationen, auf der übrigen Fläche punktuelle Verunreinigungen angetroffen. Im Grundwasser wurden ebenfalls Verunreinigungen ermittelt.

Im Sanierungskonzept (1992) ist eine gesicherte Umlagerung und teilweise eine thermische Reinigung mit anschließendem Wiedereinbau von gereinigtem Material vorgesehen. Für die gesicherte Umlagerung wird ein Landschaftsbauwerk (Deponiebauwerk) mit Basisabdichtung und Oberflächenabdichtung errichtet. Zur Ausbildung einer Steilböschung wird eine Seite des Deponiebauwerks durch eine Spundwand gesichert.

Die Sicherungssysteme bestehen aus folgenden Elementen:

- | | | |
|------------------------------|---|----------------------------------|
| Oberflächenabdichtung | - | Rekultivierungsschicht |
| | | - Filterschicht |
| | | - Entwässerungsschicht |
| | | - Schutzvlies |
| | | - Kunststoffdichtungsbahn (HDPE) |
| | | - mineralische Abdichtung |
| | | - Ausgleichsschicht |
| Basisabdichtung | | - Schutzvlies |
| | | - Drainschicht |
| | | - mineralische Abdichtung |

Bei der Bauausführung traten Schwierigkeiten auf, da die Tiefe der Verunreinigung und damit das Volumen des umzulagernden kontaminierten Materials unterschätzt wurde. Bei der Bauausführung der Basis- und Oberflächenabdichtung kam es witterungsbedingt zu Problemen bei der Herstellung der mineralischen Abdichtungsschicht. Die Sanierungsmaßnahmen waren im März 1995 noch nicht abgeschlossen.

1 Standortbeschreibung

<u>Lage</u>	Der Altstandort liegt in unmittelbarer Nähe zur Innenstadt/City.
<u>Größe</u>	Die Fläche hat eine Größe von ca. 41 ha.
<u>Ehemalige Nutzung</u>	An dem Standort wurden 1866 zwei Schächte und 1870 eine Kokereianlage errichtet. Zur Herstellung einer ebenen Fläche (Ausgleich des natürlichen Gefälles) wurden Aufschüttungen vorgenommen. Die Kokerei und die Nebengewinnungsanlagen wurden bis in die 1940er Jahre erweitert und modernisiert. Während des 2. Weltkrieges wurde die Kokerei beschädigt. 1956 wurde eine neue Anlage errichtet. Ende 1983 erfolgte die Stilllegung der Zechen- und Kokereianlagen.
<u>Eigentums-, Pacht- und Mietverhältnisse</u>	Seit 1985 befindet sich die Fläche im Besitz der Landesentwicklungsgesellschaft NRW GmbH (LEG).
<u>Geologie/ Hydrogeologie</u>	Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut: Anschüttung: Bauschuttreste, Bergematerial, Schlacken und Aschenreste (zwischen 0 und 6,5 m mächtig);

- Quartär:** feinsandige Schluffe (Lößlehm) und sandig-kiesige Terrassenablagerungen (zwischen 1,5 m und 5,5 m mächtig);
- Kreide:** grauer Kalkmergel der Oberkreide (Emscher-Mergel), an der Kreideoberfläche tonig verwittert (ca. 200 m mächtig);
- Karbon:** Tonschiefer und Sandsteine des steinkohleflöz-führenden Karbons;
- Grundwasser:** Das erste Grundwasserstockwerk liegt in den Schichten des Quartär, das zweite in den Schichten der Kreide. Die Grundwasserfließrichtung ist in beiden Stockwerken nach Norden auf einen Bach gerichtet. Der Flurabstand liegt zwischen 2 und 4 m.

Hydrologie

Der Bach quert die Fläche im Nordwesten. Die Fließrichtung ist SE-NW gerichtet. Das Oberflächengewässer ist weitgehend verrohrt.

2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

Anlaß

Die Stadt plant die Wiedernutzung des Standortes als Dienstleistungs-, Landschafts- und Gewerbepark. Das Nutzungskonzept sieht im südöstlichen Teil des Geländes gemischte Bauflächen (BauNVO § 7, Kerngebiet), im Mittelteil Grünfläche und im Westteil eine gewerbliche Nutzung vor. Im äußersten Südwesten der Fläche (Bereich IV) soll eine Baumschule entstehen (s.a. beiliegende Abbildung).

Gutachten

1985 Untersuchung des Betriebsgeländes A auf Verunreinigungen des Untergrundes und des Grundwassers

1989 Multitemporale Karten- und Luftbildauswertung zur Erfassung kontaminationsverdächtiger Areale für das Betriebsgelände A.

1990 Gefährdungsabschätzung des Geländes der ehemaligen Zeche und Kokerei A

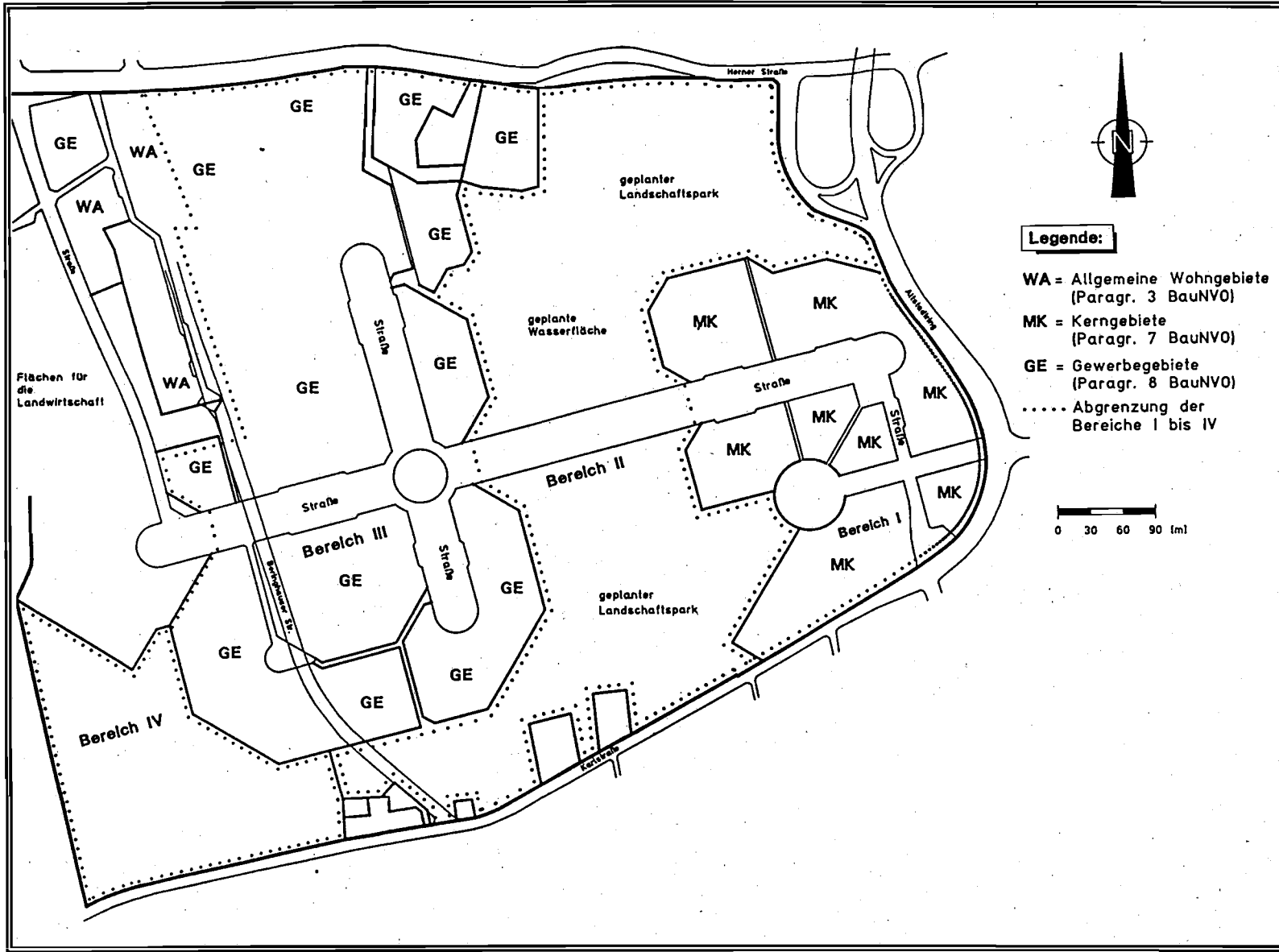
Besonderheiten

Projektbegleitend wurde der Arbeitskreis Altlasten (AK Altlasten) mit folgender Beteiligung eingerichtet:

- Auftraggeber (LEG),
- Projektmanagement,
- Gutachter,
- Bezirksregierung,
- Staatliches Umweltamt,
- Landesumweltamt,
- Kreis,
- Stadt,
- Bergamt,

Im AK Altlasten wurde das weitere Vorgehen im Projekt besprochen und fachliche Diskussionen geführt.

Nutzung (Aufteilung des Geländes in Teilbereiche)



Untersuchungen

Auf der Fläche wurden Boden-, Bodenluft- und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt und anhand der Hamburger Liste bewertet. Die Untersuchungsfläche wurde dem Nutzungskonzept entsprechend in 4 Bereiche untergliedert:

- Bereich I: gemischte Bauflächen
- Bereich II: Grünfläche
- Bereich III: Gewerbe
- Bereich IV: Baumschule

Bereich I ist durch organische Stoffe (PAK) und in geringerem Umfang durch Schwermetalle belastet.

Im Bereich II (ehemalige Nebengewinnungsanlagen) wurden erhebliche Verunreinigungen durch aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle, sowohl oberflächennah als auch bis in Tiefen von 4 m, festgestellt. Es handelt sich um flächenhafte Kontaminationen, die teilweise im Grundwasserschwankungsbereich liegen. Das Grundwasser ist in diesem Bereich durch PAK, BTX, Cyanide (ges.) und Ammonium belastet. Eine hydraulische Trennung der Grundwasserstockwerke ist vermutlich nicht durchgehend vorhanden.

Der Bereich III ist durch organische Parameter, wie Phenole und PAK in einer Tiefe von 1 bis 3 m unter GOK, punktuell stark belastet. Erhöhte Schwermetallgehalte wurden nur in den Proben einer Rammkernsondierung festgestellt.

Der Bereich IV (ehemalige Lagerfläche) ist nicht, bzw. mäßig belastet. Die festgestellten Gehalte bewegen sich im Bereich der Hintergrundkonzentrationen. Nur in 3 Rammkernsondierungen wurden erhöhte Konzentrationen an PAK (EPA) und BaP ermittelt.

In der Bodenluft wurden vereinzelt Schadstoffanreicherungen festgestellt. Maximale Konzentrationen, die im Boden, im Grundwasser und in der Bodenluft ermittelt wurden, sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Maximale Konzentrationen im Boden, in der Bodenluft und im Grundwasser

Medium	Parameter	max. Konzentration
Boden	BaP mg/kg	3.560
"	PAK (EPA) mg/kg	366.500
"	BTX ges. mg/kg	225,5
"	Phenole mg/kg	1.200
"	Naphthalin mg/kg	270.000
"	Blei mg/kg	4.120
"	Cadmium mg/kg	20,7
"	Quecksilber mg/kg	280
"	Chrom mg/kg	332
"	Kupfer mg/kg	2.000
"	Nickel mg/kg	98,9
"	Zink mg/kg	2.580
Bodenluft	BTX ges. mg/m ³	10,8
"	HKW mg/m ³	0,13
Grundwasser	NH ₄ mg/l	11,1
"	CN ges. mg/l	53,9
"	BTX ges. mg/l	22
"	Phenole mg/l	0,24
"	Naphthalin mg/l	2,6
"	PAK (EPA) mg/l	4,57

Gutachterliche

Bewertung

Aufgrund der z.T. erheblichen Verunreinigungen sind im Hinblick auf den Gefährdungspfad Boden, Staubverwehungen (Inhalation) und der direkte Kontakt mit Bodenmaterial (Aufnahme durch Verschlucken

und über Hautkontakt) zu unterbinden. Da die im Boden vorgefundenen Verunreinigungen auch im Grundwasser festgestellt wurden, kann eine Ausbreitung der Schadstoffe in Grundwasserfließrichtung und damit ein Schadstoffaustrag aus der Fläche nicht ausgeschlossen werden. Zum allgemeinen Schutz des Grundwassers soll ein Schadstoffaustrag aus dem Bereich der Fläche verhindert werden.

Ein Übertritt von Schadstoffen (Benzol) aus dem Grundwasser in die ungesättigte Bodenzone und eine damit verbundene Gefährdung der Bodenluft können nicht ausgeschlossen werden.

Von den vereinzelt Schadstoffanreicherungen in der Bodenluft geht aufgrund des ungehinderten Luftaustausches im Freien keine Gefahr aus. Eine stärkere Anreicherung gasförmiger Schadstoffe ist für geschlossene unterirdische Gebäude- und Anlagenteile (ehemalige Schächte, Kanaltrasse) zu befürchten. Dieses Gefährdungspotential ist auch bei neuen Gebäuden gegeben.

Eine Sanierung ist im Hinblick auf die geplante Nutzung als Dienstleistungs-, Landschafts- und Gewerbepark erforderlich.

3 Sanierungsuntersuchung

<u>Sanierungspflichtiger</u>	Der Eigentümer der Fläche, die LEG NRW, ist sanierungspflichtig.
<u>Kostenträger</u>	Der Eigentümer der Fläche trägt die Kosten der Sanierung. Die Sanierungsmaßnahme wird mit Landesmitteln und Fördermitteln der EU gefördert.

Rechtlicher Rahmen der Sanierung

Zwischen dem jetzigen Eigentümer der Fläche (LEG NRW) und dem früheren Eigentümer wurde ein privatrechtlicher Vertrag geschlossen. Die Veranlassung und Durchführung des Abschlußbetriebsplans (Bergrecht) und die damit verbundenen Kosten werden von der LEG getragen; der ist gegen Zahlung einer einmaligen Entschädigung von seinen bergrechtlichen Pflichten entbunden.

3.1

Schutz- und Sanierungsziele

Im AK Altlasten wurde über anzustrebende Schutz- und Sanierungsziele diskutiert. Aufgabe der Gutachter war es, die Diskussionsgrundlagen zu erarbeiten und das Ergebnis der Diskussion als für alle Beteiligten verbindliches Ergebnis festzuhalten.

Im Hinblick auf die Sanierung der Fläche wurden Handlungswerte und Wiedereinbaukriterien festgelegt. Handlungswerte sind Konzentrationen, bei deren Erreichen das Bodenmaterial entfernt und behandelt oder entsorgt werden muß. Unter Wiedereinbaukriterien sind Konzentrationen zu verstehen, bei deren Unterschreitung ein Wiedereinbau zugelassen werden kann. Die Wiedereinbaukriterien wurden je nach Flächennutzung unterschiedlich festgesetzt. Außerdem wurde zwischen grundwasserunbeeinflussten und grundwasserbeeinflussten Bereichen unterschieden. Die im vorliegenden Fall standortspezifisch angesetzten Handlungswerte und wasserwirtschaftliche Anforderungen an eine Wiederverwertung am Standort sind in den beiliegenden Tabellen dargestellt. Außerdem wurden Qualitätsanforderungen formuliert, die an thermisch gereinigtes Material zu stellen sind.

Handlungswerte/Wiedereinbaukriterien für die Bereiche I und III

Parameter	Originalsubstanz	Eluat
	mg/kg	mg/l
PAK (EPA)	100	0,003
BTX	7	0,03
Blei	300	0,5
Cadmium	5	0,05
Quecksilber	5	0,005
Arsen	50	0,1
Cyanid l.f.	10	0,1

Handlungswerte/Wiedereinbaukriterien für den Bereich II

Parameter	Originalsubstanz		
	oberhalb Grundwasser- schwankungsbereich	Grundwasserbereich Grundwasserschwankungsbereich	dauermd bespannte, offene, einfach abgedichtete Wasserflächen
	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
PAK (EPA)	200	100	50
Naphthalin	50	10	10
Phenole	1	1	1
BTX	7	7	7
Blei	300	300	300
Cadmium	5	5	5
Chrom	200	200	200
Quecksilber	5	5	5
Arsen	50	50	50
Cyanide l.f.	10	10	10

	Bodenklasse 1 Abdeckung 0 bis 0,5 m u. GOK, Wiederverfüllung im GW bzw. GW-Schwankungsbereich	Bodenklasse 2 Füllmaterial 0 - 0,5 m u. GOK bis 1 m über GW, Geländemodellierung
Feststoffe (mg/kg)		
PAK (EPA)	< 10	< 50
Cyanid ges.	< 5	< 50
KW (IR)	< 50	< 500
EOX	< 0,5	< 8
Blei	< 100	< 300
Cadmium	< 2	< 5
Quecksilber	< 2	< 5
Arsen	< 20	< 50
Zink	< 100	< 200
Eluat (DEV-S4)		
pH-Wert	6 - 9	6 - 12,5
Leitfähigkeit (mS/m)	< 50	< 250
Chlorid (mg/l)	< 10	< 30
Sulfat (mg/l)	< 50	< 1.000
Phenolindex (mg/l)	< 0,02	< 0,1
Chrom VI (mg/l)	< 0,05	< 0,1

Parameter	Originalsubstanz	Eluat
	mg/kg	mg/l
PAK (EPA)	≤ 100	≤ 0,003
BTX	≤ 7	≤ 0,03
Blei	≤ 300	≤ 0,5
Cadmium	≤ 5	≤ 0,05
Quecksilber	≤ 5	≤ 0,005
Arsen	≤ 50	≤ 0,1
Cyanid l.f.	< 10	< 0,1

Die Sanierungsmaßnahme wird unter folgender Zielsetzung durchgeführt:

- Schutz des Grundwassers vor einem Schadstoffeintrag aus dem Boden,
- Verhinderung von Staubemissionen und
- Vermeidung von Abfällen.

Für den Bebauungsplan wurden Nutzungsbeschränkungen bzw. Auflagen festgelegt. Die Errichtung von Kinderspielplätzen und das Anpflanzen von Nutzpflanzen, einschließlich Obstbäumen, werden nicht zugelassen. Außerdem ist die Errichtung von baulichen Anlagen nur in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden zulässig.

3.2

Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Untersuchungen

Im Hinblick auf die Sanierung wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt. Insbesondere wurde die Eluierbarkeit von PAK und Schwermetallen im Bereich I (geplante Grünfläche) untersucht, um standortspezifische Qualitätsanforderungen formulieren zu können (s.a. Kap. 3.1). Für die Untersuchung wurden drei Probengruppen (200, 500 und 1.000 mg PAK/kg Feststoff) gebildet und Eluate nach DEV-S4 hergestellt sowie die Konzentrationen im Feststoff bestimmt. Außerdem wurden Baggerschürfe durchgeführt.

Ergebnis/

Empfehlungen

Im Feststoff und im Eluat wurden die Parameter PAK, Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber, Cyanide (ges.) und BTX bestimmt. Unabhängig von der Probengruppe überschritten die Eluatwerte für PAK den Grenzwert der Deponieklasse 3. Dies trifft sowohl für die Summe der PAK nach EPA, als auch für die Summe der schwer löslichen PAK nach TVO zu. Die leichter löslichen PAK (z.B. Naphthalin) waren im Eluat nicht grundsätzlich gegenüber den schwerer löslichen angereichert. Es wurde vermutet, daß die gemessene Konzentration im Eluat durch kolloidal vorliegende Schadstoffanteile beeinflusst wird. Außerdem wurde an Proben mit feinkörniger Matrix eine stärkere PAK-Auslaugung festgestellt. Eine eindeutige Bewertung des

Auslaugverhaltens im Hinblick auf die Festlegung von Qualitätskriterien konnte nicht vorgenommen werden.

Die Eluatkonzentrationen der Parameter Cyanide (ges.) und Quecksilber überschritten in mehreren Proben (4 bzw. 3 Proben) den Grenzwert der Deponieklasse 2. In einer Zusatzuntersuchung wurde das Auslaugverhalten der Stoffe Quecksilber, Chrom, Blei und Arsen als gering bewertet, da in keiner Probe die Konzentration der Deponieklasse 2 (LWA-Richtlinienentwurf 1987) erreicht wurde.

Zur Aufnahme von Art und Aggregatzustand der Verunreinigungen wurden in hoch kontaminierten Bereichen (s.a. Kap. 2) Baggerschürfe durchgeführt. Es wurde Teer in nahezu fester Konsistenz und schwarz bzw. schwarzgraue Auffüllungs- bzw. Bodenbereiche aus Schluff und Feinsand angetroffen. Bei den Schurfarbeiten wurde festgestellt, daß die Verunreinigungen inhomogen verteilt sind und die Volumina deshalb nicht bzw. nur schwer abschätzbar sind. Die Ausdehnung des Teerbereichs wurde mit 1.000 m² bei ca. 0,5 m Mächtigkeit auf ca. 500 m³ angegeben.

Aufgrund der Eluatuntersuchung auf PAK wurden gutachterlicherseits folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Auskoffern der Kontaminationsschwerpunkte im Grundwasserschwankungsbereich und Wiedereinbau auf der Fläche unter Beachtung der aufgestellten Handlungswerte (s. 3.1) oder gesicherte Ablagerung in einem Erdbauwerk.
- Versiegelung (Oberflächenabdichtung) von großflächigen Kontaminationsbereichen, die nicht aus dem Boden entfernt werden.
- Abdeckung der verbleibenden Fläche mit mindestens 0,5 m unbelastetem Bodenmaterial sowie bei speziellem Bodenaufbau und Bepflanzung eine Reduzierung des Sickerwasser-anteils des Gesamtniederschlags.

Im Hinblick auf die erhöhten Cyanide (ges.)- und Quecksilbergehalte im Eluat wurde weiterer Abstimmungsbedarf mit den Behörden festgestellt.

Für die vorgefundenen Teerbereiche wurde eine thermische Behandlung empfohlen.

Pumpversuch

In Zusammenhang mit dem Auskoffern kontaminierter Bereiche, die im Grundwasserschwankungsbereich liegen, sind Maßnahmen der Grundwasserhaltung erforderlich. Für die Dimensionierung der Grundwasserentnahmeeinrichtungen und der Grundwasserreinigungsanlage wurde ein Pumpversuch durchgeführt. Dabei wurden k_f -Werte zwischen 2×10^{-5} m/s und 2×10^{-6} m/s für das 1. Grundwasserstockwerk ermittelt.

3.3

Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Die Vor- und Nachteile verschiedener Sanierungsverfahren, im Hinblick auf Leistungsfähigkeit, z.B. erreichbare Reinigungsleistung oder Abdichtungswirkung, die geforderte Durchführbarkeit in kurzer Zeit, Belastung der Umwelt und das Verhältnis von Kosten und Nutzen, wurden im AK Altlasten von den Beteiligten diskutiert.

Das Ergebnis der Diskussion im Arbeitskreis Altlasten ging in das Gutachten "Sanierungskonzept" und in den Sanierungsplan (Abschlußbetriebsplan nach Bergrecht) ein. Ausgehend von geschätzten 60.000-80.000 m³ zu behandelndem kontaminiertem Boden wurden folgende Verfahren betrachtet:

- Dekontamination:
 - Thermische Verfahren
 - Wasch- und Extraktionsverfahren
 - Biologische Verfahren
 - Aktive pneumatische Verfahren

- Aktive hydraulische Verfahren
- Sonstige Verfahren

- Sicherung:

- Einschließungsverfahren
- Passive pneumatische Verfahren
- Passive hydraulische Verfahren
- Immobilisierung
- Umlagerung: Einkapselung am Standort

Dekontamination

Eine thermische Reinigung wurde für geeignet gehalten. Der Wassergehalt beeinflusst den Energiebedarf wesentlich. Großtechnische Anlagen stehen nicht in NRW, jedoch in den Niederlanden zur Verfügung. Eine Dekontamination durch Bodenwäsche wird durch bindige Bodenbestandteile erschwert. Das Verfahren ist für starke Teerverunreinigungen und Teerkumpen nicht geeignet. Eine biologische Reinigung ist mit einem erheblichen Platzbedarf für Beete und Mieten und einem sehr hohen Zeitbedarf verbunden. Eine Behandlung in dynamischen Bioreaktoren wurde großtechnisch noch nicht erprobt.

Sicherung

Bei einer Immobilisation werden Schadstoffe durch das Untermischen von Zuschlagstoffen fest gebunden und weitgehend immobilisiert. Langzeitversuche zur Effektivität des Verfahrens liegen jedoch noch nicht vor. Bei einer Einkapselung wird der Austrag von Schadstoffen, bzw. der Zutritt von Niederschlags- und Grundwasser, durch ein Dichtungssystem verhindert. Sicherungstechniken sind aus dem Tief- und Deponiebau bekannt, so daß hier auf ausgereifte Standards zurückgegriffen werden kann und eine hohe Verfahrenssicherheit gegeben ist.

Die Dekontamination von 60.000-80.000 m³ würde die Realisierung des geplanten Gewerbeparks zeitlich (genehmigungsrechtlich) und finanziell in Frage stellen. Bei dem gegebenen Verteilungsmuster der Kontaminationen bot sich die Sicherung der Verunreinigungen in einem Landschaftsbauwerk am Standort an.

3.4**Sanierungskonzept**

Im Sanierungskonzept ist die Fläche in 4 Bereiche unterteilt, die den verschiedenen Nutzungen - gemischte Bauflächen (BauNVO § 7, Bereich I), Grünfläche (Bereich II), Gewerbe (Bereich III), Baumschule (Bereich IV) - entsprechen. Im wesentlichen werden die Verunreinigungen gesichert, gesichert umgelagert sowie teilweise thermisch gereinigt und wieder eingebaut.

1. Vorgehensweise auf der Fläche der geplanten gemischten Bauflächen (Bereich I):

- Herausnahme der punktuellen Verunreinigungen durch organische Stoffe ('hot spots') und thermische Behandlung. Wiedereinbau des gereinigten Materials auf der Fläche.
- Baureifmachung durch Herausnehmen des anstehenden Bodensubstrats, der Fundamente und Mauerwerkreste im Bereich der Anschüttung (bei Kontamination auch tiefer), Brechen auf eine Körnung von 0/200 mm und lagenweise verdichteter Einbau.
- Einrichtung eines Sortierlagers zur Zwischenlagerung von kontaminiertem Material, das nach Analyse wieder eingebaut oder thermisch gereinigt werden soll.
- Die Gefährdungspfade Staubverwehung und direkte Aufnahme werden durch eine Abdeckung bzw. Versiegelung, im Zusammenhang mit der Erschließung und Bebauung der Fläche, unterbunden.

2. Vorgehensweise auf der geplanten Grünfläche (Bereich II):

- Auskoffnung von verunreinigten Bodenpartien (ca. 60.000-80.000 m³), insbesondere aus dem grundwasserbeeinflussten Bereich und Einbau von unbelastetem Material. Errichten einer Basisabdichtung, Wiedereinbau des kontaminierten, zwischengelagerten Materials und Oberflächenabdichtung

mittels einer Kombinationsdichtung (mineralische Abdichtung und Kunststoffdichtungsbahn). Das kontaminierte Material wird damit in einem Landschaftsbauwerk gesichert.

- Der Wiedereinbau von kontaminiertem Material ist von der Art der Schadstoffe und ihrer Konzentration sowie von den bodenphysikalischen Eigenschaften des Materials abhängig.
- Abdeckung der gesamten Fläche mit unbelastetem Boden.

3. Vorgehensweise auf der geplanten Gewerbefläche (Bereich III):

- Auskoffern der lokalen Verunreinigungen und Einbau in das Landschaftsbauwerk (Bereich II).
- Die Gefährdungspfade Staubverwehung und direkte Aufnahme werden durch eine Abdeckung bzw. Versiegelung, im Zusammenhang mit der Erschließung und Bebauung der Fläche, unterbunden.

4. Vorgehensweise auf der Fläche der geplanten Baumschule (Bereich IV):

- Auskoffern der Anschüttung bis auf den gewachsenen Boden und Einbau in das Landschaftsbauwerk (Bereich II).
- U.U. Auftrag von kulturfähigem Boden, entsprechend den Vorgaben seitens des Garten- und Landschaftsbaus.

erforderliche

Genehmigungen

- Genehmigung nach § 7.2 AbfG: Für den Bereich I wurde eine Baureifmachung durchgeführt. Hierfür war die Genehmigung eines Sortierlagers erforderlich. Die Baureifmachung im Bereich I wurde seitens der Stadt A nicht als Sanierungsmaßnahme angesehen.
- Abschlußbetriebsplan (Bergrecht): Mit der Beantragung des Abschlußbetriebsplanes wurde ein Sanierungsplan vorgelegt, der die Bereiche II bis IV abhandelt. Der Bereich I wurde vorzeitig aus der Bergaufsicht entlassen und war nicht

Gegenstand des Sanierungsplanes (s.o.). Das Sortierlager wurde bergrechtlich weitergeführt.

- Wasserrechtliche Erlaubnis zur Entnahme von Grundwasser und Genehmigung zum Einleiten von gereinigtem Wasser in den Vorfluter.
- Wasserrechtliche Genehmigung zum Betrieb einer Wasseraufbereitungsanlage.
- Baugenehmigung nach § 60.3 BauO NW.

3.5

Anforderungen der Behörden

Die Behörden wurden durch den AK an der Erarbeitung des Sanierungskonzeptes bzw. des Sanierungsplanes beteiligt und in das Projekt eingebunden. Die Anforderungen, die an die Durchführung der Sanierung und an die Sicherungssysteme im Einzelnen zu stellen sind, wurden im Sanierungsplan beschrieben und dem Bergamt zur Genehmigung vorgelegt. Der Sanierungsplan wurde durch das Bergamt mit Nebenbestimmungen zugelassen. Folgende Nebenbestimmungen wurden ausgesprochen:

- Führen eines Betriebstagebuches für das Sortierlager
- kontinuierliche Dokumentation des Sanierungserfolges auf Teilflächenbasis
- Festlegung der Grundwasserüberwachung vor Fertigstellung des Landschaftsbauwerks etc.

Die technischen Anforderungen an die Sicherungsmaßnahmen sind in Kapitel 4.1 zusammengestellt.

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1

Technische Daten

Landschaftsbauwerk

Es handelt sich um ein Deponiebauwerk, bestehend aus Basisabdichtung, zu sicherndem kontaminiertem Material und Oberflächenabdichtung. Das Deponiebauwerk kann max. 76.850 m³ kontaminierten Boden aufnehmen. Für den Untergrund wurden max. 13 bis 14 cm Setzung berechnet, die durch die Basisabdichtung (mineralische Abdichtung) aufgenommen werden kann. Für die Oberflächenabdichtung wurden Setzungen von 2 bis 3 cm berechnet, die zum Böschungsfuß hin abklingen. Aus landschaftsgestalterischen Gründen wird das Landschaftsbauwerk im Mittelteil überhöht (mächtigere Rekultivierungsschicht). In diesem Bereich werden Setzungen von max. 6 cm erwartet.

Die Nordböschung des Landschaftsbauwerks soll aus landschaftsgestalterischen Gründen als Steilböschung ausgeführt werden. Zu diesem Zweck wird an der Nordseite eine Stahlspundwand eingebracht. Auf der Innenseite der Spundwand wird kontaminiertes, auf der Außenseite wird unbelastetes Bodenmaterial vorgeschüttet. Die Spundwand wird im Ablagerungskörper verankert. Um die Bildung einer klaffenden Fuge zwischen Spundwand und Basisabdichtung zu verhindern, wird ein Dichtungskeil aus Ton eingebracht.

Im Folgenden werden die technischen Daten folgender Bauwerke wiedergegeben:

- Oberflächenabdichtung,
- Basisabdichtung,
- Stahlspundwand und
- Abdichtung des Sortierlagers.

Aufbau

Oberflächenabdichtung (s.a. beiliegende Abbildung)

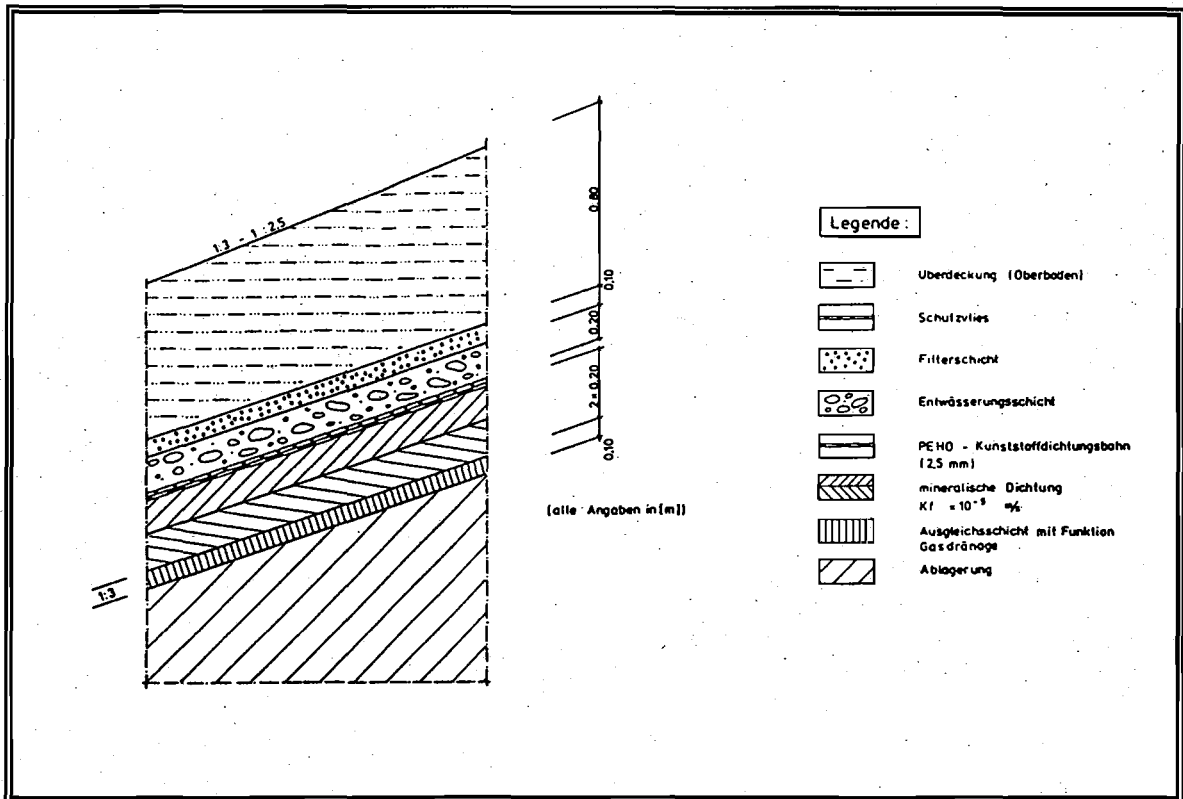
Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
> 80 cm	Rekultivierungsschicht	
10 cm	Filterschicht	
20 cm	Entwässerungsschicht	mineralischer Drainkörper Drainrohre
	Schutzvlies	Geotextil
2,5 mm	Kunststoff- dichtungsbahn	HDPE
2 x 20 cm	mineralische Abdichtung	Schluff, vergütet mit Bentonit
10 cm	Ausgleichsschicht, gasgängig	
	wiedereingebautes konta- miniertes Material	Verdichtungsgrad: k.A. Verformungsmodul: k.A.

Aufbau

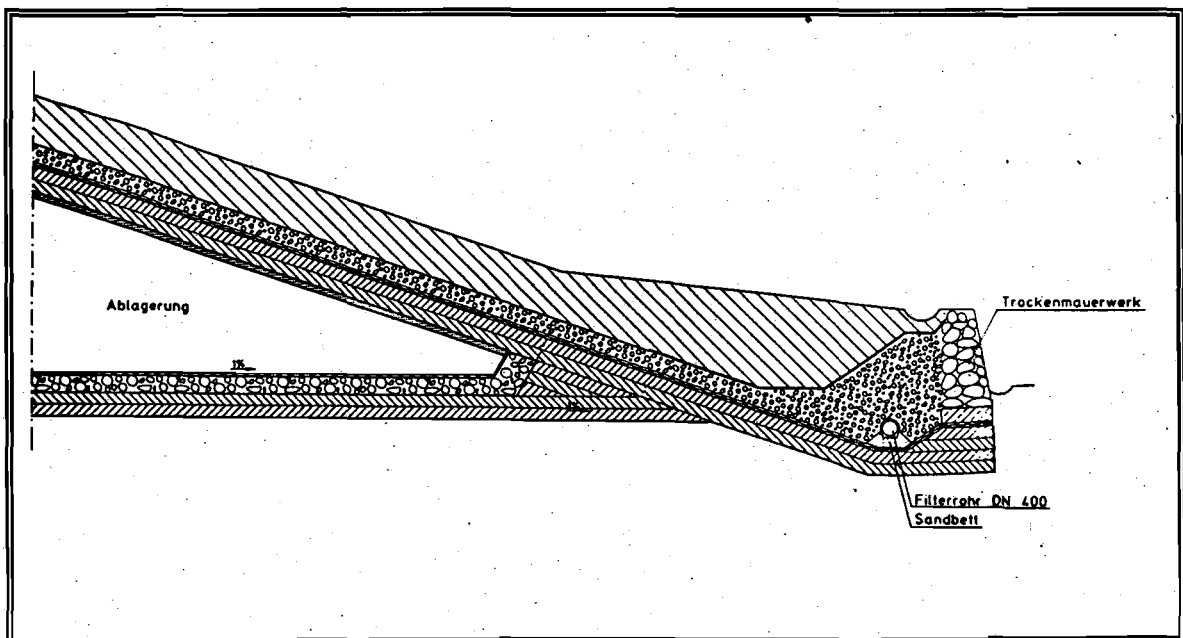
Basisabdichtung (s.a. beiliegende Abbildung)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
	Schutzvlies	Geotextil
30 cm	Drainschicht	Drainrohre: HDPE
≥ 2 x 20 cm	mineralische Abdichtung	Schluff, vergütet mit Bentonit, $k_f \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s (Bau) Gefälle 3 %
	Untergrund	Verdichtungsgrad: k.A. Verformungsmodul: EV = 45 MN/m ²

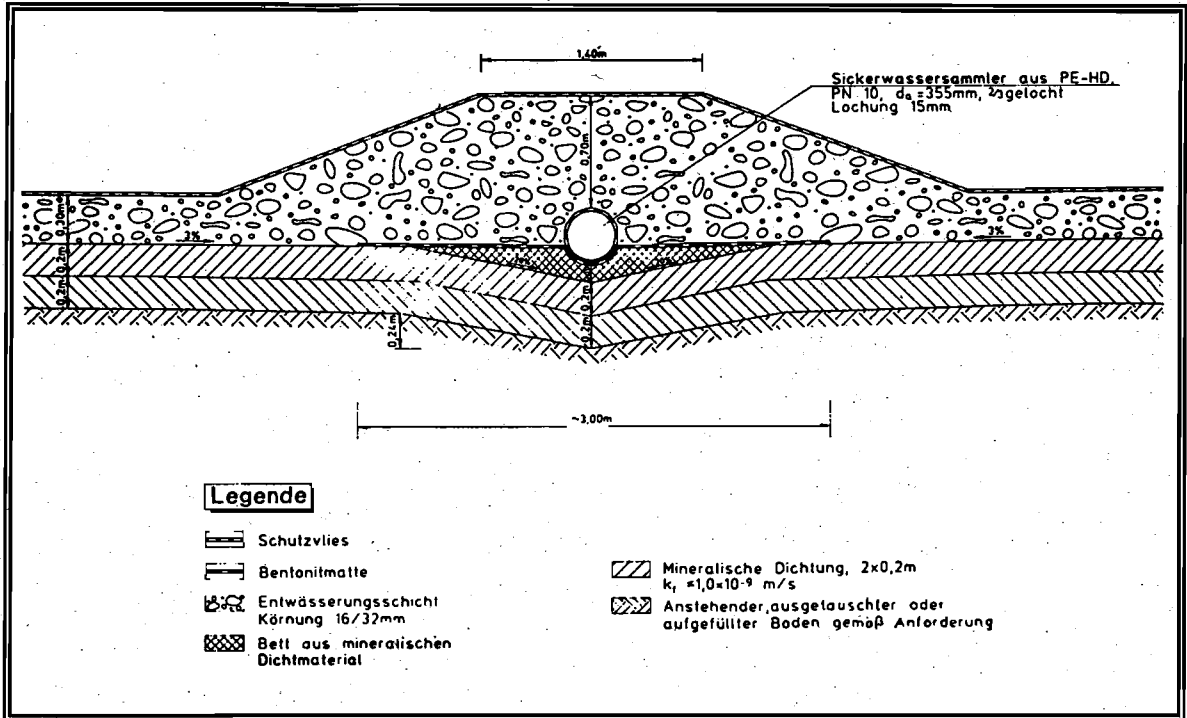
Oberflächenabdichtung (Regelaufbau)



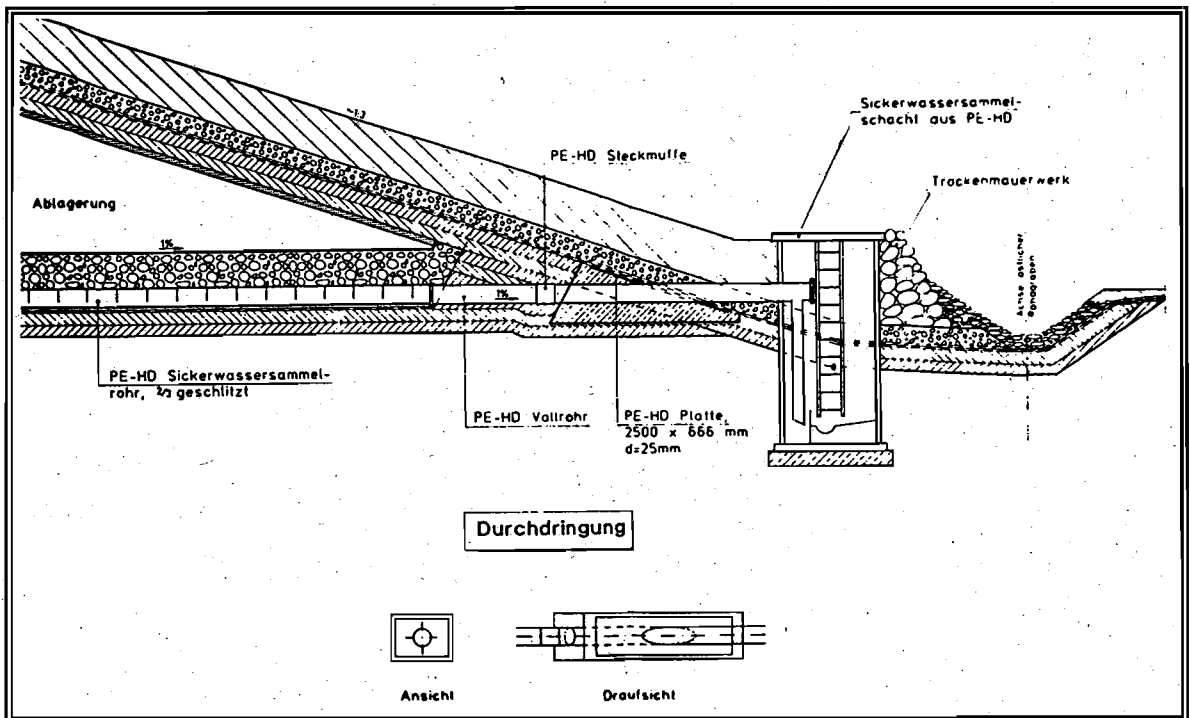
Sickerwasserableitung Oberflächenabdichtung



Basisabdichtung (Regelaufbau)



Sickerwasserableitung Basisabdichtung



Aufbau

Stahlspundwand

Spundwand	Abmessung	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	9,7 mm	
Elementbreite	600 mm	Stahl StSpS Profil LARSEN 603 Spundwandschlösser gedichtet (Material: k.A.)
Länge	18 m	
Höhe (freitragend)	1,55 m bzw. 2,55 m zu den Seiten, 12,55 m in der Mitte	
Verankerung	3 1/4 " l = 3 m l = 1,8 m k.A.	Rundstahlanker, Bau- stahl St 52-3, Anzahl 10, rückverankert im Ablagerungskörper, Ankerneigung $\alpha = 5^\circ$ Ankertafel LARSEN 603, Ankertafelgurt UU 300 Spundwandgurt UU 320
Fläche	k.A.	
vertikale Dränschicht	d = 0,1 m	auf der Innenseite der Spundwand Kies 0/16 mm
Einbindetiefe		4 m - 5,45 m

Aufbau

Abdichtung des Sortierlagers (Grundfläche 50 x 20 m = 1.000 m², Kapazität 662 m³, s.a. beiliegende Abbildung)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anforderungen
4 cm	Deckschicht	Bitumen 1 % Längsgefälle, 3 % zweiseitiges Quergefälle
10 cm	Tragschicht	Bitumen
min. 40 cm	Tragschicht / Entwässerungsschicht	Kies 0/32 mm, Sammler DN 150, PEHD
	Abdichtung	Bentonitmatte
2,5 mm	Kunststoffdichtungsbahn	HDPE
10 cm	Feinplanum	k.A.
	Untergrund	k.A.

4.2

Eignungsprüfungen und QualitätssicherungEignungsprüfung

Der Eignungsnachweis für die Beständigkeit der HDPE-Dichtung gegenüber BTX und HKW.

Versuchsfeld

Versuchsfeld entsprechend den GDA-Empfehlungen zur Prüfung des mineralischen Dichtungsmaterials und des Verdichtungsvorgangs sowie der Belastungen aus dem Baubetrieb.

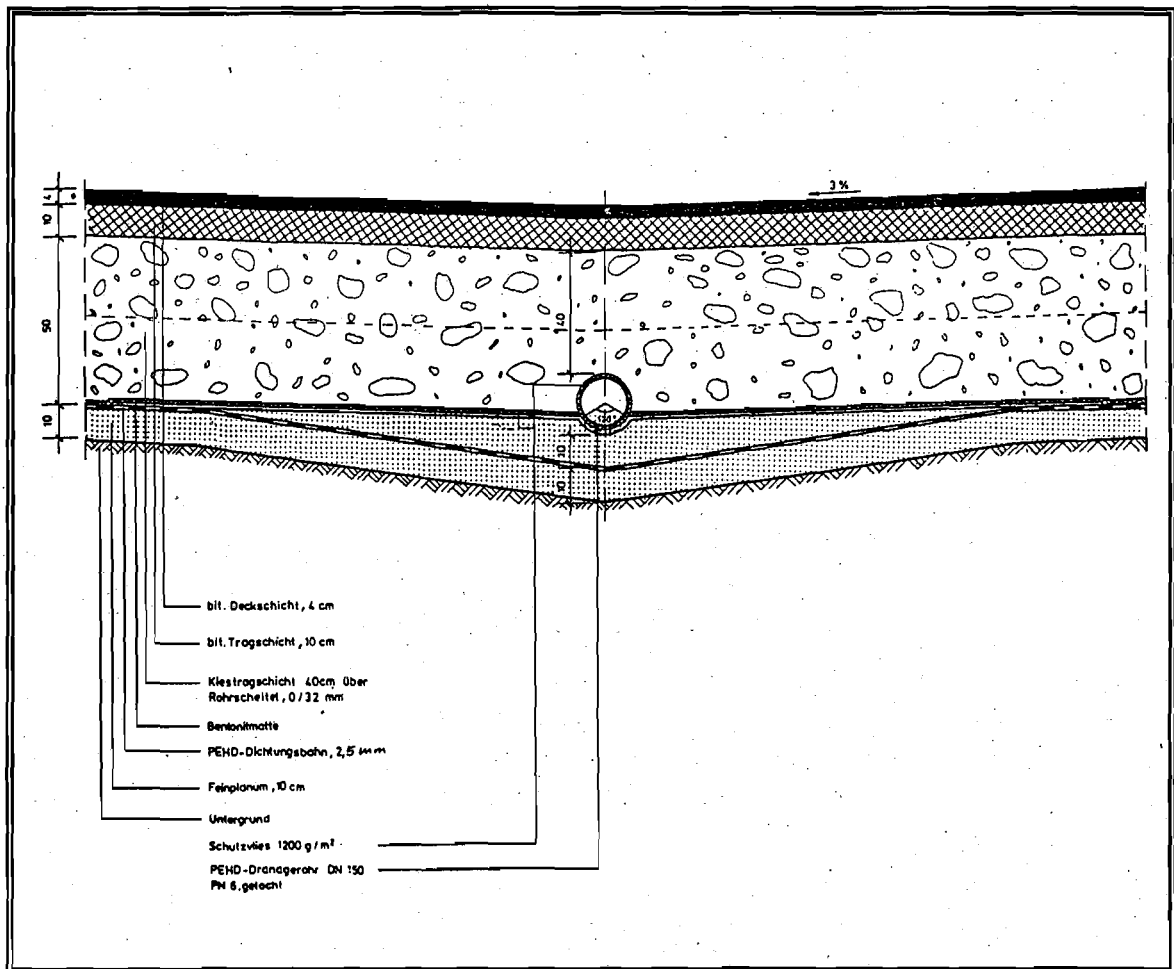
Qualitätssicherungsprogramm

Für das Sanierungsvorhaben wurde durch das planende Ingenieurbüro ein Qualitätssicherungsprogramm "Sanierungserfolg" aufgestellt. Das Programm besteht aus folgenden Teilen:

1. Bodenmanagement:

Es erfolgt auf der Grundlage der Handlungswerte (s.a. Kap. 3.1); die Aushubarbeiten werden durch einen Fachgutachter begleitet; Bodenmaterial, das mit mobilen Teerölen verunreinigt ist, wird vor Ort separiert (Container) und einer

Abdichtungssystem Sortierlager (Regelaufbau)



thermischen Entsorgung zugeführt (erwartet werden ca. 2.000 t/ 1.000 m³); das übrige kontaminierte Material wird (nach Entwässerung) im Landschaftsbauwerk abgelagert; nicht kontaminiertes Material wird seitlich der Aushubstelle gelagert und nach erfolgter Sanierung zur Wiederverfüllung verwendet.

2. Aushubsohlen und Böschungen:

Die Aushubsohlen und Böschungen sollen in nicht kontaminierten Bereichen liegen; Böschungen und Sohlen werden beprobt und gutachterlich beurteilt; die Fläche gilt als saniert, wenn die Handlungswerte unterschritten sind.

3. Qualitätsnachweis, Begleitscheinverfahren und Eingangskontrollen für Fremdmaterial

Qualitätsnachweis:

Für die Herstellung der Abdeckung und die landschaftliche Gestaltung der Fläche wurde ein Gesamtbedarf an unbelastetem Bodenmaterial von 200.000 m³ ermittelt. Im Grundwasserschwankungsbereich darf nur Bodenmaterial geogenen Ursprungs eingebaut werden; Bodenmaterial für die Abdeckung von Teilflächen muß geogenen Ursprungs sein und bindige Eigenschaften besitzen; für diese Verwendungsarten sind die wasserwirtschaftlichen Kriterien der Bodenklasse 1 einzuhalten (s.a. Kap. 3.1); oberhalb des Grundwasserschwankungsbereichs kann Bodenaushub, Bauschutt und Auffüllungsmaterial eingebaut werden; Recyclingmaterial, das der Güteüberwachung gemäß MURL-IV A3-953-26308 unterliegt, wird ebenfalls zugelassen; die verwendeten Stoffe müssen die Wiedereinbaukriterien der Bodenklasse 2 einhalten (s.a. Kap. 3.1). Für die analytische Überprüfung werden 3 Kontrollen je gleichartiger Materialcharge, mindestens jedoch alle 5.000 m³, gefordert; der Parameterumfang ist durch die Einbaukriterien vorgegeben; ein Teil des kontaminierten Materials wird thermisch behandelt. Für den Wiedereinbau wurden Mindestanforderungen formuliert (s.a. Kap. 3.1).

Begleitscheinverfahren / Eingangskontrollen:

Die Materialanlieferung wird intern überwacht; am Entnahme /Herkunftsort werden je Transportcharge Menge/Volumen, Analysennachweis, Kfz-Kennzeichen, Fahrzeugführer, Abfahrzeit und bei Anlieferung Ankunftszeit und organoleptische Ansprache festgehalten; bei organoleptischen Auffälligkeiten wird die Transportcharge zurückgewiesen.

4. Bauausführung:

Die Einhaltung der für das jeweilige Bauteil festgelegten Qualitätskriterien erfolgt durch Eigen- und Fremdprüfungen. Das Qualitätssicherungsprogramm legt die Verantwortlichkeiten der Bauüberwachung und die Art und Zahl der durchzuführenden

Kontrollen fest. In Tabelle 2 sind einige Qualitätsprüfungen zusammengestellt.

Tabelle 2: Qualitätsprüfungen

System	Kriterium	Anforderung	Versuch	Richtlinie/ Empfehlung
Basisabdichtung	Tragfähigkeit des Planums/ Untergrunds	$E_{v2} = 45$ MN/m ²	Lastplatten- druckversuch je 2.500 m ²	DIN 18 134
Basis- und Oberflächenabdichtung	Material/ Materialhandhabung	Eignung für mineralische Abdichtungen	Versuchsfeld, Prüfungen je 500, 1.000 und 2.000 m ² , entsprechend GDA	GDA-Empfehlungen

Dokumentation

Die Fläche wurde in Sanierungsquadrate unterteilt, um den Stand der Sanierungsarbeiten fortlaufend zu dokumentieren. Es wird zeichnerisch festgehalten, welche Bereiche ausgekoffert wurden und nach einer Bodenanalyse mit Material aus dem Sortierlager oder mit thermisch gereinigtem Boden wieder aufgefüllt wurden.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die gesamte Fläche wird im Rahmen von zwei getrennten Maßnahmen saniert:

- Baureifmachung (Bereich I, d.h. MK-Fläche, s.a. Kap. 2)
- Sanierung (Bereiche II bis IV)

Eine Unterteilung dieser Maßnahmen in Bauabschnitte wurde nicht vorgenommen.

Baureifmachung

Im Bereich I (ca. 7 ha) wurden die punktuellen Kontaminationen unter gutachterlicher Aufsicht entfernt. Im Sortierlager wurden die stark

kontaminierten Bodenpartien ausgesondert und nach analytischer Kontrolle einer thermischen Reinigung zugeführt. Das thermisch gereinigte Material wurden am Standort wieder eingebaut. Die Sanierungsarbeiten wurden gutachterlich begleitet und analytisch überwacht. Nach der Entfernung der Kontaminationen wurde der Boden bis in 2,5 m Tiefe aufgerissen, das Anschüttungsmaterial (u.a. Mauerwerkreste und Fundamente) gebrochen und verdichtet wieder eingebaut.

Sanierung

Die Sanierungsmaßnahme befindet sich in der Bauausführung. Zum Zeitpunkt der Projektrecherche, im November 1994, waren Schüttfeld 1 und 2 gefüllt.

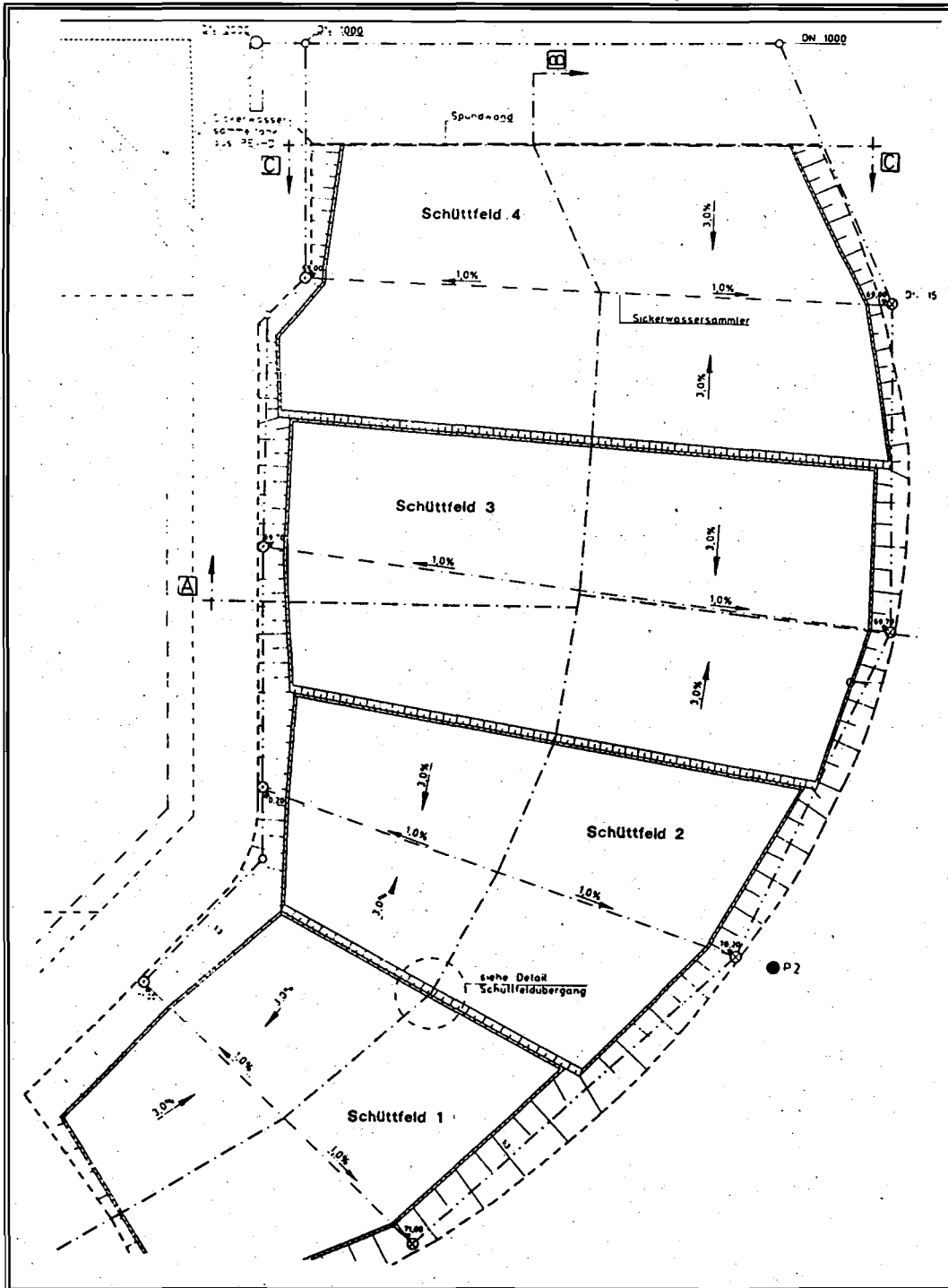
Das Landschaftsbauwerk wurde für den Bauablauf in 4 Schüttfelder gegliedert (s.a. beiliegende Abbildung). Dieser Aufteilung entsprechend werden Planum und Basisabdichtung abschnittsweise hergestellt. In 6 Sanierungsphasen werden die Verunreinigungen, die in der Gefährdungsabschätzung und den nachfolgenden Untersuchungen festgestellt wurden, ausgekoffert (s.a. Handlungswerte Kap. 3.1). In der ersten Sanierungsphase werden die Basisabdichtung und die Entwässerung des Schüttfeldes 1 hergestellt und nachfolgend die Verunreinigungen im Bereich von Schüttfeld 3 und 4 ausgekoffert und in Schüttfeld 1 bzw. 2 gesichert umgelagert. Damit kann auch im Bereich von Schüttfeld 3 und 4 das Planum vorbereitet und die Basisabdichtung gebaut werden. In den folgenden Sanierungsphasen werden zunächst die neue Trasse des Baches saniert und die Kontaminationen im Bereich der Gewerbefläche entfernt, um eine vorzeitige Entlassung dieser Bereiche aus der Bergaufsicht und die Durchführung der Erschließungsmaßnahmen zu ermöglichen. Nach der Füllung eines Schüttfeldes erfolgt die Herstellung der Oberflächenabdichtung.

Bei der Bauausführung wurden bislang folgende Erfahrungen gesammelt:

- Bei der Herstellung der Basisabdichtung wurde als mineralische Abdichtung reiner Ton verwendet. Bei der Vorhaltung des Tons

gab es bei trockener Witterung wegen ungenügender Abdeckung Schwierigkeiten. Der Ton trocknete teilweise stark aus und mußte für die Verarbeitung befeuchtet werden.

Landschaftsbauwerke, Schüttfelder 1 bis 4



- Für die Oberflächenabdichtung wurde ein Schluff-Bentonit-Gemisch verwendet. Die Mischung wurde vor Ort hergestellt, so daß keine Probleme mit der Vorhaltung auftraten. Aufgrund starker Regenfälle kam es teilweise zu Erosionsschäden an schon fertiggestellten Flächen, wenn diese nicht gesichert worden waren.
- Bei der analytischen Überprüfung ausgekoffelter Flächen wurde festgestellt, daß neben der Auffüllung auch der gewachsene Boden bei strikter Anwendung der Handlungswerte ausgekoffert werden muß. Mit der Umlagerung von kontaminiertem natürlichem Boden kam es zu Mengenproblemen im Bauablauf. Die Aufnahmefähigkeit des Schüttfeldes 2 war bereits erschöpft, während Schüttfeld 3 noch nicht für die Aufnahme von kontaminiertem Material vorbereitet war. Da aus hydrogeologischer Sicht die Erhaltung der hydraulischen Sperrschicht gefordert wurde und zugleich eine Gefährdung der geplanten Nutzung durch Kontaminationen in einer Tiefe von mehr als 4 m nicht erkennbar war, wurden die Auskofferungsarbeiten auf die quartären Lockergesteine beschränkt.
- In Zusammenhang mit den Kapazitätsproblemen der gesicherten Umlagerung wurden die Handlungswerte überprüft. Dabei wurde festgestellt, daß in einer Sanierungsfläche die Handlungswerte nur von einzelnen Parametern, namentlich Phenol und Naphthalin, überschritten werden. Zugleich wurde festgestellt, daß im Vergleich zwischen den Konzentrationen im Grundwasseranstrom und -abstrom der Fläche A im Abstrom keine höheren Phenol- oder Naphthalinwerte im Grundwasser festgestellt wurden. Vor diesem Hintergrund wurde der Entfernung hochbelasteter Bereiche Priorität eingeräumt, da von der Entfernung geringer belastetem Materials keine wesentliche Verbesserung der Grundwasserqualität zu erwarten ist. Diese Vorgehensweise wurde mit den beteiligten Behörden abgestimmt.

Baugruben

Das kontaminierte Bodenmaterial wird in geböschten Baugruben entnommen. Die Entnahme erfolgt abschnittsweise in Streifen, um die

Entnahmestelle und die damit verbundenen Emissionen möglichst gering zu halten. Das anfallende Grundwasser wird in Entwässerungsgräben abgefangen und einem Pumpensumpf zugeführt. Entwässerungsgräben und Pumpensumpf werden entsprechend dem Fortschritt des Bodenaushubes tiefergelegt. Es wird mit einem max. Wasseranfall von $Q_{\max.} = 5,64 \text{ m}^3/\text{h}$ gerechnet. Das anfallende Wasser wird in einer Aufbereitungsanlage behandelt. Baugruben (und Schüttfelder) werden durch Erddämme (0,2 m Höhe) gegen zufließendes Oberflächenwasser geschützt.

Sortierlager

Das Sortierlager wird bei der Sanierung zur offenen Entwässerung von kontaminiertem Bodenmaterial genutzt. Die Fläche ist durch eine Oberflächenabdichtung gesichert und durch ein Zelt gegen Niederschlagswasser geschützt. Nach den bisherigen Erfahrungen ist die Wasserabgabe des Materials sehr gering. Um die Anforderungen bzgl. Verdichtbarkeit und Setzungsbegrenzung einzuhalten, mußte das Material z.T. mit Kalk gemischt werden.

Wasseraufbereitung

Während des Baubetriebs (und nach Fertigstellung des Landschaftsbauwerks) fällt belastetes Wasser an. Es handelt sich um Baugrubenwasser, Filtratwasser aus der Bodenentwässerung sowie Regen- und Konsolidationswasser des Landschaftsbauwerks. Es wurde ein $Q_{\max.} = 16,62 \text{ m}^3/\text{h}$ berechnet. Das Wasser wird über eine zweistufige Aktivkohlefiltration mit vorgeschaltetem Sandfilter gereinigt (Investitionskosten ca. 300.000 DM). Die Anlage hat eine Leistung von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ und einen Wirkungsgrad von 99 %. Im Laufe von 8 Monaten wurden ca. 2.000 m^3 ($\varnothing 0,3 \text{ m}^3/\text{h}$) gereinigt. Die Anlage hält im Ablauf folgende, in der wasserrechtlichen Genehmigung festgelegten Werte ein:

- PAK < 75 $\mu\text{g}/\text{l}$
- Benzol < 5 $\mu\text{g}/\text{l}$
- Toluol < 50 $\mu\text{g}/\text{l}$
- Xylol < 50 $\mu\text{g}/\text{l}$
- sowie CKW, PCB und Schwermetalle unter der Nachweisgrenze.

Anfallende Rest-
stoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	kontaminierter Boden, vorwiegend Auffüllung (Baureifmachung)	2.500 t	thermische Reinigung und Wiedereinbau auf der Fläche
	kontaminierter Boden, vorwiegend Auffüllung (Sanierung)	380 t (bis März 1995)	thermische Reinigung und Wiedereinbau auf der Fläche
	kontaminierter Boden, vorwiegend Auffüllung (Sanierung)	k.A.	Einbau in das Landschaftsbauwerk
	beladene Aktivkohle (Sanierung)	20 t (bis März 1995)	Reaktivierung
flüssige Rückstände	kontaminiertes Wasser (Baureifmachung)	146,32 t	Abwasserbehandlung
	kontaminiertes Wasser (Sanierung)	2.000 m ³ (bis März 1995)	zweistufige Aktivkohlefiltration
sonstiges	Straßenaufbruch	1.325 t	Recyclinganlage
	Baustellenabfälle, Bau- und Abbruchholz, PVC- u. Gumiabfälle	35,7 t	Deponie

4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Die Maßnahmen des Arbeitsschutzes wurden, entsprechend den Richtlinien und in Absprache mit der TBG und dem Bergamt, im Sanierungsplan festgelegt. Da auf dem Gelände unterschiedliche Gefährdungen gegeben sind, wurden Sicherheitsbereiche festgelegt:

- A Bereiche, die der Unterstützung des Baubetriebs dienen (Lagerflächen, Baubüro etc.)
- B Bereiche, die der Reinigung bzw. Dekontamination des Personals und der Geräte dienen
- C Bereiche, in denen unmittelbar mit kontaminiertem Material umgegangen wird.

Die Bereiche B und C wurden zum Schwarzbereich zusammengefaßt und durch einen Bauzaun vom Bereich A, dem Weißbereich, getrennt. Für den Schwarzbereich ist das Tragen von Einweg-Schutzanzügen, das Mitführen eines außenluftabhängigen Atemfilters und das Tragen der persönlichen Schutzausrüstung vorgeschrieben.

Emissionsschutz

Folgende Maßnahmen wurden vorgesehen, um einen Austrag von kontaminiertem Material zu verhindern:

- Befeuchten der auszukoffernden Bereiche,
- Fassung von Grund- und Oberflächenwasser,
- Kontrolle des Umschlagvorgangs auf herabfallende verunreinigte Bodenmengen,
- definierte Fahrwege im Weißbereich,
- mobile Reifenwaschanlage am Übergang zwischen Schwarz- und Weißbereich,
- Transportfahrzeuge mit verschließbarer Ladefläche,
- Stiefelwaschplatz und
- Betrieb einer Schwarz-Weiß-Anlage.

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Maßnahme	Dauer		Kosten	
	geplant	real	geplant	real
Baureif- machung (Bereich 1)	k.A.	Juli 1991 - 1993	k.A.	10 Mio DM
Sanierung * (Bereich 2-4)	200 Werktage	seit Juni 1994 voraussichtlich 360 Werktage	20,3 Mio DM	voraussichtlich ca. 22 Mio DM.

* die Maßnahme befindet sich in der Bauausführung, reale Dauer und reale Kosten können daher nicht angegeben werden (Stand März 1995)

**5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und
Langzeitüberwachung (Monitoring)**

Das nachfolgend dargestellte Qualitätssicherungsprogramm „Langzeitüberwachung“ für das ehemalige Betriebsgelände wurde in Anlehnung an die in TA Siedlungsabfall, Kapitel 10.7.2 „Nachsorge“, geforderten Nachsorgemaßnahmen für Deponien aufgestellt. In Abstimmung zwischen Vertretern des Staatlichen Umweltamtes, der unteren Abfallbehörde und dem Ingenieurbüro wurde der genaue Umfang des Programmes festgelegt. Mit dem Programm wird der langfristige Sanierungserfolg kontrolliert und dokumentiert. Die im Rahmen der TA Siedlungsabfall geforderte Erfassung der Staub- und Lärmemissionen sowie die Ermittlung der Temperatur in der Deponiebasis sind zur Überwachung der Landschaftsbauwerke nicht erforderlich.

Für das Qualitätssicherungsprogramm des ehemaligen Betriebsgeländes wurde ein Überwachungsprogramm bestehend aus folgenden Einzelkomponenten festgelegt:

- Grundwasserüberwachung
- Setzungs- und Verformungsmessung
- Meteorologische Datenerfassung
- Oberflächenwasserüberwachung
- Sickerwasserüberwachung
- Ausgasungsüberwachung
- Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme

Als Kernpunkt der Überwachungsaufgaben ist die Erstellung einer jährlichen Erklärung zum Bauwerksverhalten anzusehen, in der die anfallenden Ergebnisse zusammengefaßt und beurteilt werden. Im Rahmen dieser Erklärung sind u. a. die vorhandenen Daten und Untersuchungen mit den tatsächlichen Verhältnissen zu vergleichen, die erforderlichen Hinweise zum weiteren Vorgehen den Fachbehörden mitzuteilen sowie eine Wasserbilanz auf der Grundlage des vorhandenen Datenmaterials zu erstellen. Die jährliche Erklärung ist als Hilfsmittel zu verstehen, um das Verhalten des Landschaftsbauwerkes prüfbar und damit bewertbar zu machen.

Die chemischen Grundwasseruntersuchungen zeigen für die organischen Parameter eine deutliche Abhängigkeit zwischen den Standorten ehemaliger Produktions- bzw. Nebengewinnungsanlagen und Verunreinigungen im Grundwasser. Von größeren Grundwasserkontaminationen betroffen waren insbesondere die Grundwassermeßstellen B 7 (Quartär und Kreide) und B 4 (Quartär und Kreide). Die Lage der Grundwassermeßstellen ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Tabelle 3 zeigt die maximal ermittelten Konzentrationen ausgewählter Parameter in den beprobten Grundwassermeßstellen:

Tab. 3: Zusammenstellung der Maximalwerte ausgewählter Parameter der chemischen Grundwasseruntersuchungen

Grundwasser- meßstellen		Parameter							
		elek. Leitf. µS/cm	Chlorid mg/l	Sulfat mg/l	Ammonium mg/l	Cyanid ges. mg/l	BTX ges. mg/l	Phenole mg/l	PAK (EPA) mg/l
B 1	K	2.900	170	1.070	10,6	0,51	0,0642	0,039	0,00642
B 1a	Q	2.400	221	1.340	19,3	n.n.	0,0129	0,018	0,00107
B 2	K	1.320	81	313	0,28	0,13	0,1616	0,031	0,0024
B 2a	Q	1.600	129	364	0,27	0,03	0,0017	0,008	0,0042
B 3	K	7.400	2.560	596	3,17	n.n.	0,0007	n.n.	0,0013
B 3a	Q	2.300	480	820	2,26	0,14	0,0033	n.n.	0,00375
B 4	K	3.720	118	2.000	8,2	1,34	0,0287	0,006	0,324
B 4b	K (30 m)	2.850	312	900	0,06	0,17	0,367	0,033	1,44563
B 4a	Q	2.510	55	1.787	1,63	1,25	0,442	0,01	0,2864
B 5	Q	3.300	199	1.398	0,81	1,07	0,0217	n.n.	0,00619
B 6	K	2.260	260	512	77	0,01	0,0758	0,01	0,06527
B 6a	Q	2.000	240	548	2,5	n.n.	0,0229	n.n.	0,00966
B 7	K	5.600	1.390	718	17,6	0,3	1,51	0,089	4,5703
B 7a	Q	2.140	102	854	12,5	53,9	40,4	0,052	5,776
B 8	K	2.940	78	1.440	1,54	0,31	0,00087	n.n.	0,00147
B 8a	Q	2.050	60	1.090	0,51	0,6	0,0046	n.n.	0,00161
B 9	Q	2.990	300	1.390	0,92	0,3	0,0061	n.n.	0,00162
B 10	Q	1.970	130	830	0,15	0,19	0,00713	n.n.	0,00157
B 11	Q	2.500	39	1.308	0,38	0,06	0,00102	n.n.	0,00167
B 12	Q	1.025	35	220	0,08	n.n.	0,00494	n.n.	0,0003
B 13	Q	9.300	2.656	760	0,19	n.n.	0,00781	0,007	0,00025
B 14	K	2.390	296	270	2,03	0,13	0,00451	n.n.	0,00364
B 14b	K (30 m)	2.390	294	1.720	2,26	0,12	0,00177	n.n.	0,01556
B 14a	Q	2.700	294	692	0,11	n.n.	0,0056	n.n.	0,00173
B 15	Q	1.420	70	283	0,23	n.n.	0,00394	n.n.	0,00214
B 16	Q	3.700	123	1.750	3,7	0,48	0,00046	n.n.	0,00157

Q = Quartär

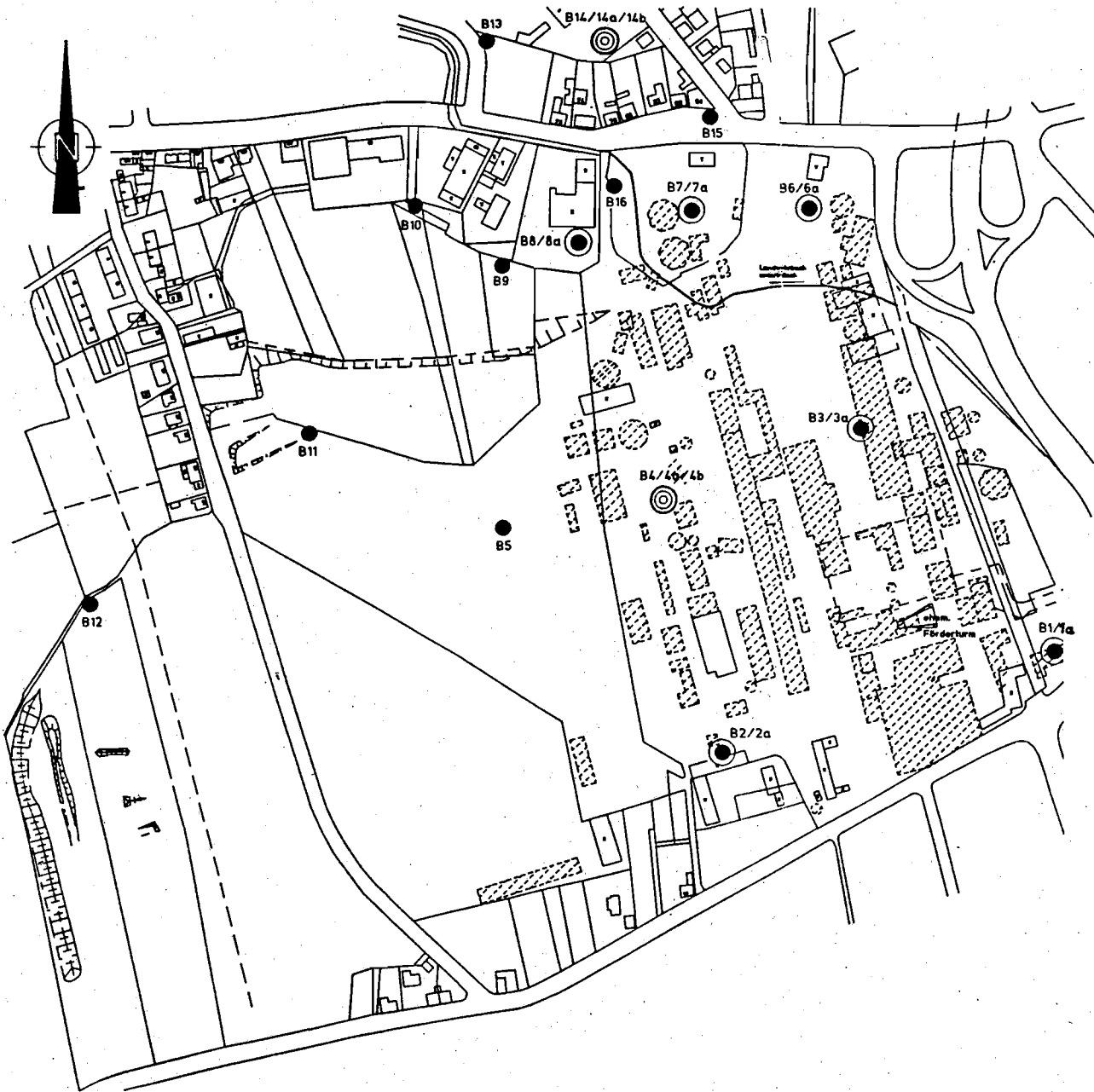
K = Kreide (Emscher - Mergel)

n.n. = < Bestimmungsgrenze





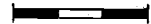
Die chemische Untersuchung an Grundwasserproben der Grundwassermeßstellen sowie die Messung der Grundwasserstände soll alle sechs Monate durchgeführt werden. Wenn sich über mindestens drei Beprobungsgänge keine nennenswerten Abweichungen bzw. Schwankungen ergeben, können die Beprobungsintervalle auf ein Jahr ausgedehnt werden. Nach jeder Untersuchung wird festgelegt, ob ggf. auch eine erneute Verkürzung der Intervalle möglich ist.

Nach dem ersten Beprobungsintervall wird geprüft, ob auf eine weitere Untersuchung von bereits vor Beginn der Sanierungsarbeiten auffälligen Pegeln verzichtet werden kann.

Nach einem Zeitraum von fünf Jahren wird, sofern keine unerwarteten Schadstoffausträge feststellbar sind, über eine weitere Reduzierung des Überwachungsaufwandes entschieden. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist dabei eine Reduzierung des untersuchten Parameterpaketes auf einige kokereispezifische Leitparameter sowie eine Konzentrierung auf relevante Grundwassermeßstellen, insbesondere im An- und Abstrom der Landschaftsbauwerke, anzustreben.



Legende:

-  Altanlage (nach GfD - Auswertung)
 -  Grundwasserdreifachpegel (Quartär/Emscher-Mergel, 15m + 30m)
 -  Grundwasserdoppelpegel (Quartär/Emscher-Mergel)
 -  Grundwassereinfachpegel (Quartär)
- 
0 30 60 90 (m)

**Lageplan
Grundwassermeßstellen**

Im Bereich der Spundwand und auf dem Landschaftsbauwerk werden je zwei Meßpunkte eingerichtet. Durch Einmessen dieser Punkte kann festgestellt werden, inwieweit eine Setzung im Bereich des Landschaftsbauwerkes bzw. eine Verformung der Spundwand stattfindet. Zu Beginn der Messung ist der Istzustand festzustellen. Die erste Nachmessung erfolgt nach einem Jahr. Werden hierbei keine nennenswerten Setzungen bzw. Verformungen festgestellt, ist eine weitere Messung nicht erforderlich.

Die meteorologische Datenerfassung sollte sich an die in der TA Siedlungsabfall vorgegebenen Untersuchungen zur Niederschlagsmenge, -intensität, Temperatur und Luftfeuchtigkeit orientieren. Bei der Erfassung der meteorologischen Daten können vorhandene Meßeinrichtungen im Umfeld des Geländes herangezogen werden.

Eine qualitative und quantitative Überwachung des von den Landschaftsbauwerken abfließenden Niederschlagswassers ist nicht vorgesehen. Während der vierteljährlichen Begehung ist jedoch darauf zu achten, ob Erosionsrinnen auftreten und ob ein gesicherter Oberflächenabfluß gewährleistet ist.

Für das aus den Ablagerungskörpern der Landschaftsbauwerke abgeführte Sickerwasser wird eine Erfassung der Sickerwassermenge und eine chemische Analyse zur Sickerwasserqualität vorgenommen. Die chemische Analyse wird dabei durch das Entsorgungsunternehmen im Zuge der Entsorgung vorgenommen. Als Überwachungsaufgabe unterliegt dem beauftragten Überwacher lediglich die ständige Kontrolle der Sickerwassermenge im Tank.

Die Kontrolle der Sickerwassersammeltanks soll in den ersten Wochen nach der Schlußabnahme der Landschaftsbauwerke ggf. täglich erfolgen. Der Sickerwasseranfall wird sich vom Zeitpunkt der Fertigstellung des Oberflächenabdichtungssystems an verringern. Es ist davon auszugehen, daß sich nach ca. 2 bis 3 Jahren die anfallende Sickerwassermenge auf Null reduziert. Mit dem Rückgang der Sickerwassermenge kann das Überwachungsintervall zwischen den Kontrollen auf ein Vierteljahr ausgeweitet werden. Diese Kontrollen werden dann im Rahmen der im vierteljährlich angesetzten Begehungen durchgeführt. Bei den Kontrollen ist der Wasserstand in den Sammeltanks zu messen und im Betriebstagebuch festzuhalten. Das Abpumpen des Sickerwassers wird bei Bedarf durch den Überwacher veranlaßt.

Die Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme wird durch eine vierteljährlich durchzuführende Begehung überwacht. Bei diesen Begehungen sind folgende Punkte zu überprüfen und in einem Betriebstagebuch zu dokumentieren:

- Sickerwassermenge
- Setzungen und Schäden im Bereich der Rekultivierungsschicht
- Kontrolle des Bewuchses dahingehend, ob hier tiefverwurzelnde Pflanzen wachsen
- Schäden und Ablagerungen im Bereich des Oberflächenwassersammelsystems einschl. Beurteilung des dazugehörenden Kanales
- Schäden an Schachtbauwerken des Sickerwassersammelsystems

Lärm- und Staubemissionen fallen grundsätzlich beim Betrieb des Landschaftsbauwerkes nicht an. Ein entsprechendes Überwachungsprogramm ist diesbezüglich nicht notwendig.

Mit der Durchführung des Überwachungsprogrammes wird ein Ingenieurbüro beauftragt, welches die erforderlichen Kontrollen durchführt, alle Ergebnisse der Überwachung in einem Betriebstagebuch dokumentiert sowie auftretende Störfälle anzeigt. Als Kernpunkt dieser Überwachungsaufgaben ist die Erstellung einer jährlichen Erklärung zum Bauwerksverhalten anzusehen, in der die anfallenden Ergebnisse zusammengefaßt und beurteilt werden. Teil dieses Berichtes ist auch die auf der Grundlage des vorhandenen Datenmaterials zu erstellende Wasserbilanz.

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind zusammenfassend alle Überwachungskomponenten und der vorgesehene Überwachungsrhythmus zusammengefaßt.

Tab 4: Zusammenstellung des Überwachungsprogrammes

Überwachungskomponente	Nach TA Siedlungsabfall		Betriebsphase*	Nachsorgephase				
	Betriebsphase	Nachsorgephase	—	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Grundwasserüberwachung								
a) Grundwasserstände	monatlich	halbjährlich	monatlich bis 1992	halbjährlich	halbjährlich	neu festlegen	wie festgelegt	wie festgelegt
b) Grundwasserbeschaffenheit	min. halbjährlich	halbjährlich	halbjährlich bis 1992	halbjährlich	halbjährlich	neu festlegen	wie festgelegt	wie festgelegt
Setzungs- und Verformungsmessung								
a) Setzungs- und Verformungsmessung des Deponiekörpers	jährlich	jährlich	entfällt	Istzustand feststellen	jährlich	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf
b) Höhenvermessung der Sickerrohre im Basisentwässerungssystem	jährlich	jährlich	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Meteorologische Datenerfassung								
Niederschlagsmenge, Niederschlagsintensität, Temperatur, Luftfeuchtigkeit	werktäglich	regelmäßig	entfällt	regelmäßig**	regelmäßig**	regelmäßig**	regelmäßig**	regelmäßig**
Erfassung Wassermengen und -qualitäten								
a) Mengen								
aa) Sickerwasser	werktäglich	regelmäßig	regelmäßig***	regelmäßig***	vierteljährlich	vierteljährlich	vierteljährlich	vierteljährlich
ab) Oberflächenwasser	werktäglich	regelmäßig	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
b) Qualität								
ba) Sickerwasser	monatlich	halbjährlich	regelmäßig	bei Abtransport	bei Abtransport	bei Abtransport	bei Abtransport	bei Abtransport
bb) Oberflächenwasser	monatlich	halbjährlich	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Erfassung von Gaskonzentrationen								
a) Gasemissionen	regelmäßig	regelmäßig	entfällt****	Istzustand	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf
b) Geruchsemissionen	regelmäßig	regelmäßig	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Erfassung von Staub- und Lärmemissionen	regelmäßig	regelmäßig	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Ermittlung der Temperatur in der Deponiebasis	jährlich	jährlich	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt
Funktionsfähigkeit der Sickerrohre durch Kamerabefahrung überprüfen	jährlich	jährlich	entfällt	Istzustand feststellen	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf
Funktionsfähigkeit der Deponieoberflächenabdichtung durch Begehung überprüfen	regelmäßig	regelmäßig	regelmäßig	vierteljährlich	vierteljährlich	vierteljährlich	vierteljährlich	vierteljährlich
Wasserbilanz	regelmäßig	regelmäßig	jährlich	jährlich	jährlich	jährlich	jährlich	jährlich

* vor bzw. während der Arbeiten zur Erstellung des Landschaftsbauwerkes

** auf der Grundlage bestehender Datenermittlung

*** Sickerwasseranfall angepaßt, mindestens vierteljährlich ggf. täglich

**** Während der Verfüllphase des Landschaftsbauwerkes I wurden keine Ausgasungsüberwachungen durchgeführt. Hier wurden im Rahmen der Sanierungsarbeiten Immissionsmessungen im Umfeld des ehem. Betriebsgeländes durchgeführt. Beim Bau des Landschaftsbauwerkes II ist entsprechend zu verfahren.

Projekt 9 (Niederlande)

Kurzdarstellung

Beim diesem Standort handelt es sich um eine Sandgrube, die zwischen 1950 und 1970 mit industriellen Abfällen aus der Lindan-Produktion (Gamma-Hexachlorcyclohexan) verfüllt wurde. Die Rückstände aus der Lindan-Produktion waren mit quecksilberhaltigen Abfällen vermischt worden, so daß eine Kontamination durch Hexachlorcyclohexane (HCH) und Quecksilber (Hg) vorhanden ist. Neben der Fläche sind in der Umgebung zahlreiche weitere Standorte durch HCH bzw. HCH und Hg belastet. Aus diesem Grund wurde die Sanierung des Standortes mit der Einrichtung eines Zwischenlagers für HCH / Hg-kontaminierte Materialien anderer Standorte verbunden.

Zur Sanierung der Altablagerung und zur Einrichtung eines HCH / Hg-Zwischenlagers wurden 1990 eine Kombinationsdichtwand, d.h. eine Bentonit-Zement-Dichtwand (Verdrängung, ohne Bodenaushub) mit eingehängten HDPE-Kunststoffdichtungsbahnen, und eine Oberflächenabdichtung des Zwischenlagers ausgeführt. Außerdem wird das hydraulische Gefälle zur Altablagerung hin aufrecht erhalten (hydraulische Sicherung).

Am diesem Standort wurde die Kombinationsdichtwand zum erstenmal in den Niederlanden gebaut. Das Durchdringen der Lehmschicht war auch mit schwerem Rammgerät schwierig. Mit einem Schneckenbohrgerät wurde deshalb z.T. vorgebohrt, um das Einbringen zu erleichtern. Die Tiefenlage der Trennschicht, in die die Dichtwand eingebracht wurde, war sehr unterschiedlich. Aus diesem Grund mußte die Dichtwand in größere Tiefen eingebracht werden als in der Planung angenommen.

Beim Bau der Oberflächenabdichtung traten in den Böschungsbereichen Gleitsicherheitsprobleme auf. Sie wurden durch die Verwendung doppelseitig profilierter Kunststoffdichtungsbahnen gelöst.

1 Standortbeschreibung

<u>Lage</u>	Die Fläche liegt etwa 4 km südlich der Stadt X (NL), mehr als 500 m von der nächstliegenden Wohnbebauung entfernt.
<u>Größe</u>	Die Fläche hat eine Größe von 30.000 m ² .
<u>Ehemalige Nutzung</u>	<p>Zwischen 1950 und 1970 wurden im betrachteten Gebiet Stoffe abgelagert, die bei der Produktion des Insektizids Lindan (Gamma-Hexachlorcyclohexan (HCH)) angefallen waren. Der HCH-Abfall wurde in Sand- und Tongruben ungeordnet abgelagert oder zur Geländeaufhöhung eingesetzt.</p> <p>Auch der Standort, eine ehemalige Sandgrube, ist neben Hausmüll und Bauschutt mit Industrieabfällen aus der Lindan-Produktion verfüllt worden. Bis 1980 wurde die Fläche landwirtschaftlich genutzt.</p>
<u>Eigentums-, Pacht- und Mietverhältnisse</u>	Das Gelände befindet sich im Eigentum des 'Dienst der Domeinen' (Amt für Staatsbesitz).
<u>Geologie/ Hydrogeologie</u>	<p>Im Untersuchungsgebiet ist der Boden i.a. wie folgt aufgebaut:</p> <p>Auffüllung: Haus- und Industriemüll sowie Bauschutt (im Mittel ca. 3,5 m mächtig).</p> <p>Quartär: Sandschicht bis zu 4 m mächtig. Die Schichten grenzen z.T. an die Auffüllung an. Darunter folgen Lehmschichten, die von sandige bis kiesige Schichten durchzogen sind (ca. 6 m mächtig).</p> <p>Tertiär: In einer Tiefe von ca. 10,5 m unter der natürlichen GOK steht tertiärer Ton an.</p>

Grundwasser: Die quartären Schichten bzw. die Auffüllung führen Grundwasser

Hydrologie

Der Flurabstand des Grundwassers liegt zwischen 0,9 m und 2 m u. GOK.

**2 Untersuchungen und Beurteilung im Rahmen der
Gefährdungsabschätzung**

Anlaß

Ein Mitarbeiter des Gesundheitsamtes stellte beim Kochen von Kartoffeln aus seinem Garten einen auffälligen Geruch fest. Die daraufhin durchgeführten chemischen Untersuchungen stellten eine Belastung des Gemüses durch Hexachlorcyclohexan (HCH) und Quecksilber (Hg) fest. Es wurde eine Verbindung zur HCH-Produktion und -Lagerung in Hengelo deutlich.

Gutachten

Ab 1980 orientierende Untersuchung
1985 Gefährdungsabschätzung

Untersuchung

Im Rahmen der Bestandsaufnahme ('Altlastenkataster') für das niederländische Interimsgesetz Bodensanierung (IBS) wurde der Standort untersucht. Dabei wurden Kontaminationen durch HCH, Quecksilber, Chlorbenzol sowie durch polyzyklische und aliphatische Kohlenwasserstoffe festgestellt. Das Grundwasser war ebenfalls betroffen. In Tabelle 1 sind die in der Altablagerung festgestellten Konzentrationen an HCH und Hg aufgeführt.

Tabelle 1: Schadstoffkonzentrationen am Standort Heideweg

Medium	Parameter	Konzentrationen [mg/kg]		
		von	bis	mittel
Abfall	HCH	1,9	4.300	k.A.
"	Hg	10,9	48	k.A.

GutachterlicheBewertung

Von der Altablagerung geht eine Gefahr für die Umwelt, insbesondere das Grundwasser und für die Gesundheit von Menschen aus. Eine Sanierung ist deshalb erforderlich.

Die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche wurde aufgrund der vorhandenen Verunreinigungen durch die zuständige Behörde untersagt.

3 Sanierungsuntersuchung

Sanierungspflichtiger

Die Provinz X ist sanierungspflichtig.

Kostenträger

Die Provinz X trägt die Kosten der Sanierung.

Rechtlicher Rahmen
der Sanierung

Das Interimgesetz Bodensanierung bildet den rechtlichen Rahmen der Sanierung.

3.1**Schutz- und Sanierungsziele**

Über die Wirkungspfade Boden (Verwehung/Inhalation und orale Aufnahme) und Grundwasser werden die menschliche Gesundheit und angrenzende landwirtschaftliche Nutzungen beeinträchtigt. Ziel einer Sanierung ist der Schutz dieser Güter. Sanierungszielwerte, die z.B. das Erreichen des A-Wertes der sog. Hollandliste vorschreiben, wurden nicht aufgestellt, da zum damaligen Zeitpunkt eine Dekontamination technisch nicht machbar war.

3.2**Standortuntersuchungen und Empfehlungen**Untersuchungen

1987 wurden weitere Standortuntersuchungen durchgeführt, um die Informationen über den Untergrund im Hinblick auf die Tiefenlage und die Eigenschaften des Tertiärs zu vervollständigen.

Ergebnis/Empfehlungen

Die tertiären Tonschichten unterhalb der Altlast stehen in einer Tiefe von 10 m unter der GOK an. Sie stellen eine natürliche Basisabdichtung für die Altablagerung dar. Der Durchlässigkeitsbeiwert liegt bei 1×10^{-9} m/s. Das Einbringen von Dichtwänden bis in diese Tiefen ist technisch gut durchführbar, so daß Dichtwände zur Sicherung grundsätzlich eingesetzt werden können.

3.3**Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich**

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

○ Dekontamination

- Thermische Verfahren
- Wasch- und Extraktionsverfahren
- Biologische Verfahren
- Aktive pneumatische Verfahren
- Aktive hydraulische Verfahren
- Sonstige Verfahren

● Sicherung

- Einschließungsverfahren
- Passive pneumatische Verfahren
- Passive hydraulische Verfahren
- Immobilisierung
- Umlagerung

Zum Zeitpunkt der Planung standen noch keine geeigneten Dekontaminationsverfahren zur Verfügung, so daß zur Sicherung keine Alternative gegeben war. Da eine Auskoffnung und Umlagerung des Materials erhebliche Kosten und hohe Sicherheitsrisiken mit sich bringen würde, kam nur eine Einkapselung der Altlast in Frage. Außerdem war bekannt, daß in weiterer Umgebung neben dem betrachteten Standort zahlreiche weitere Flächen mit HCH-/Hg-Kontaminationen vorhanden sind. Für die Auskoffnung dieser Flächen wurde ein Zwischenlager benötigt. Dieses Zwischenlager sollte auf der gesicherten Altablagerung eingerichtet werden. Sobald ein geeignetes Dekontaminationsverfahren zur Verfügung steht, sollen das Zwischenlager und die Altablagerung dekontaminiert werden.

Im Hinblick auf die geplante Nutzung als Zwischenlager wurde als Sicherungstechnik für die Altablagerung eine Kombination aus Oberflächenabdichtung, hydraulischer Sicherung und Dichtwand gewählt.

3.4

Sanierungskonzept

Ein Austrag von Schadstoffen über das Grundwasser soll durch das Erzeugen eines hydraulischen Gefälles zur Altablagerung hin unterbunden werden. Die hydraulische Sicherung der Fläche stellt nach Ansicht der Gutachter eine ausreichende Risikominderung dar. Zusätzlich wurde eine vertikale Einkapselung der Altablagerung mittels einer Kombinationsdichtwand (Bentonit-Zement-Dichtwand mit eingehängter Kunststoffdichtungsbahn) vorgesehen. Damit erreichte die Provinzregierung in der Bevölkerung eine größere Akzeptanz für die Einrichtung eines HCH-/Hg-Zwischenlagers auf der Altablagerung. Das Zwischenlager sollte durch eine Oberflächenabdichtung mit HDPE-Kunststoffdichtungsbahnen gesichert werden.

erforderlicheGenehmigungen

nach der niederländischen Gesetzgebung:

- nach dem Wasser-, Abfall- und Arbeitsrecht der Provinz
- nach dem Abwasser- und Baurecht der Gemeinde

4 Detailplanung und Bauausführung**4.1****Technische Daten**AufbauOberflächenabdichtung des Zwischenlagers (30.000 m²)

Mächtigkeit	Schicht	Beschreibung / Anmerkungen
0,4 m	Rekultivierungsschicht	Mutterboden verdichteter Einbau
k.A.	Entwässerungsschicht	Kunststoffdrainkörper Drainrohre
1,2 mm	Kunststoffdichtung	HDPE Gefälle in Böschungsbereichen 2:1
	Zwischenlagerung von kontaminiertem Material (ca. 125.000 m ³ in einem Zeitraum von 4 Jahren)	kontaminiertes Material von anderen HCH- u. Hg-kontaminierten Standorten
	Altablagerung	HCH, Hg, Bauschutt

Aufbau

Dichtwand

Kombinationsdichtwand ohne Bodenaushub	Beschreibung / Anforderungen
Dicke	12 cm
Tiefe	mittlere Tiefe: 7 m - 8,5 m max. Tiefe: 13 m
Fläche	ca. 8.000 m ²
Material	Bentonit-Zement-Gemisch Dichte: 1.600-1.700 kg/m ³ $k_f = 2 \times 10^{-9}$ m/s eingehängte HDPE-Dichtungsbahn Breite je Bahn: 2,13 m Dicke: 2 mm
Untergrund	Ton $k_f = 1 \times 10^{-9}$ m/s

4.2

Eignungsprüfungen und QualitätssicherungOberflächen-
abdichtung

Die Eignung, das Verlegen und Verschweißen der ausgewählten Kunststoffdichtungsbahn wurde nicht in einem Versuchsfeld erprobt. Bei der Ausführung gab es Schwierigkeiten, so daß 3 verschiedene Kunststoffdichtungsbahnen zum Einsatz (s.a. Kap. 4.3) kamen. Die Dichtigkeit der Schweißverbindungen zwischen den einzelnen HDPE-Bahnen wurde mittels Messungen des Druckabfalls in den Nähten überprüft.

Dichtwand

Für den Bau der vertikalen Dichtwand wurde eine Zement-Bentonit-Suspension verwendet. Die verwendete Suspension wurde regelmäßig beprobt und die Durchlässigkeit des Materials im Labor gemessen. Sie entsprach den gestellten Anforderungen.

In Laboruntersuchungen wurde die chemische Beständigkeit der Kunststoffdichtungsbahn nachgewiesen. Der Zuschnitt der Bahnen, die Schweißnähte der Schlösser und die Anbindung der metallischen Testdrähte (Verbindungskontrolle bei der Dichtwandherstellung) wurden im Werk hergestellt und überwacht. Die elektronische Kontrolle der Frau-Mann-Verbindung über metallische Testdrähte stellte sich in der Praxis als sehr fehleranfällig heraus. Daher wurde vor Ort eine einfache Methode entwickelt, bei der ein Testdraht auf mechanische Beanspruchung reagiert. Über den Einbau jedes Segments der Kunststoffdichtungsbahn wurde ein Protokoll erstellt, in dem u.a. die Dichtigkeitskontrolle der Schlösser, Beschädigungen und Probleme beim Einbringen festgehalten wurden (s.a. beiliegende Abbildung).

Systemprüfung

Nach Fertigstellung der vertikalen Dichtwand wurde ein Pumpversuch durchgeführt, um die Wasserdichtigkeit des Bauwerks zu überprüfen. Eine Absenkung des Grundwasserspiegels außerhalb der Dichtwand durch Abpumpen im umschlossenen Bereich wurde nicht festgestellt. Damit wurde die Funktionstüchtigkeit des Systems bestätigt.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die Sicherungsmaßnahme wurde in drei Bauabschnitte unterteilt:

Bauabschnitt 1: Sondierung der Dichtwandtrasse

Bauabschnitt 2: Dichtwand

Bauabschnitt 3: Oberflächenabdichtung

Sondierung der Dichtwandtrasse

In der ersten Bauphase wurde die Tiefenlage der tertiären Tonschicht entlang der Dichtwandtrasse erkundet. Dabei wurde festgestellt, daß die Tiefenlage des Tertiärs uneinheitlich ist und die Tertiäroberfläche z.T. erst in Tiefen größer 10 m (max. 13 m) ansteht. Um eine Einbindung der Dichtwand sicher gewährleisten zu können, wurde

beschlossen, die Dichtwand grundsätzlich 2 m tief in die Tonschichten einzubringen.

Dichtwand

Für die Errichtung der Kombinationsdichtwand wurden die Stahlprofile zur Herstellung des Schlitzes mittels Vibration bis in die Tonschicht eingebracht. Während des Ziehens des Stahlprofils (H-Profil) wurde die Bentonit-Zement-Suspension in den Schlitz eingebracht. Die Kunststoffdichtungsbahn wurde über ein Stahlprofil am Fuß einer Eindruckplatte befestigt und in den Schlitz eingeführt. Die Eindruckplatte löst sich beim Ziehen vom Stahlprofil. Die Kunststoffdichtungsbahn und das Stahlprofil verbleiben dabei im Schlitz (s.a. beiliegende Abbildungen). Die Schlösser wurden nach Einbau der HDPE-Segmente mit Wasser ausgespült und Bentonit-Zement-Suspension (Diwa-Mix) injiziert.

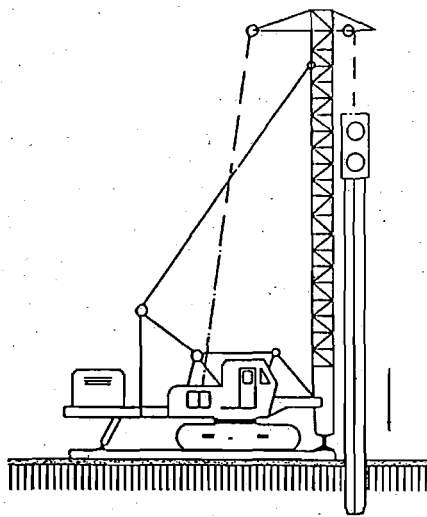
Bei der Bauausführung traten verschiedene Schwierigkeiten auf. Die Suspension wurde von einem Misch- und Vorratsbehälter über eine Leitung zum Schlitz geführt. Dabei entmischte sich die Suspension in der Leitung teilweise. Aus diesem Grund wurde zusätzlich ein Container aufgestellt. Die Suspension wurde aus der Leitung zunächst in den Container gefüllt, homogenisiert und in den Schlitz eingebracht.

Bei großen Tiefen (13 m) war das Einbringen der Stahlprofile mittels Vibration schwierig. Daraufhin wurden schwerere Rammwehre eingesetzt. An mehreren Stellen war die Mantelreibung beim Durchteufen der quartären Lehmschichten so hoch, daß auch auf diese Weise das Profil nicht eingebracht werden konnte. Ein Baufortschritt von bis zu 30 m pro Tag wurde nur durch Vorbohren mit einem Schneckenbohrgerät ($D = 200 \text{ mm}$) im Abstand von 0,6 m erreicht.

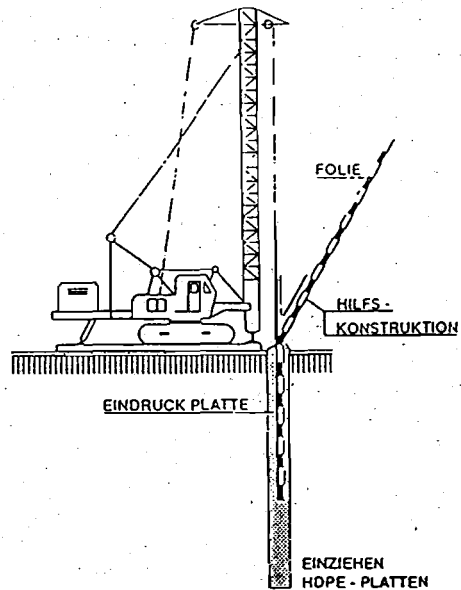
Der suspensionserfüllte Schlitz wurde durch den Bodendruck der tertiären Schichten von 12 cm auf 6 cm zusammengedrückt. Dadurch konnte das Stahlprofil mit der HDPE-Dichtung nicht bis zur

erforderlichen Tiefe eingeführt werden. Der Arbeitsvorgang des Einbringens mußte deshalb mehrmals wiederholt werden.

Ausführung der Bentonit-Zement-Folienkonstruktion



Einbringen des H-Profiles



Einziehen der HOPE-Platten

Ausführung der Bentonit-Zement-Folienkonstruktion

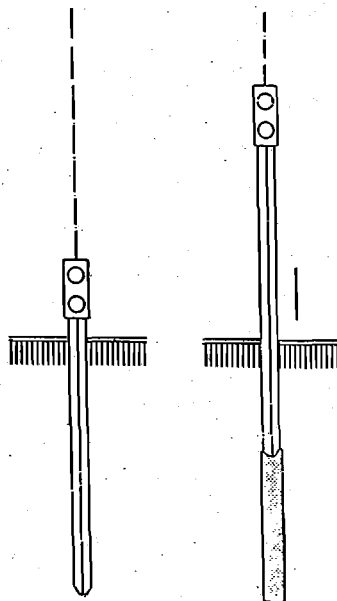
Mit Hilfe zweier schwerer Kräne mit festen Maklern wurde die Konstruktion in den Boden eingebracht. Der erste Kran brachte die Bentonit-Zement-Wand ein, der zweite installierte die HOPE-Platten.

Der 120 mm breite Schlitz wurde mit Hilfe eines H-förmigen Stahlprofils erstellt. Das Profil wurde so gewählt, daß die

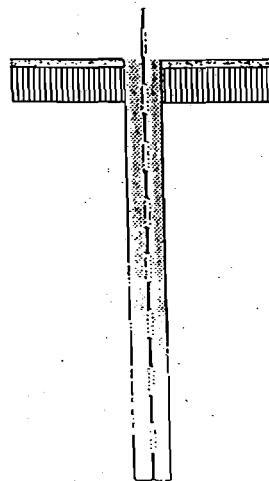
Konstruktion den stark wechselnden Belastungen während des Einvibriertens widerstand (Bilder 4 und 5).

Ein großer Vorteil dieser Einbringmethode war, daß eventuelle Hindernisse im Boden frühzeitig wahrgenommen wurden und daß die Folie dadurch während des Einbringens nicht beschädigt wurde.

Eine durchgehende Wand wurde durch eine kleine Überlappung mit dem darauffolgenden Vorgang erreicht.

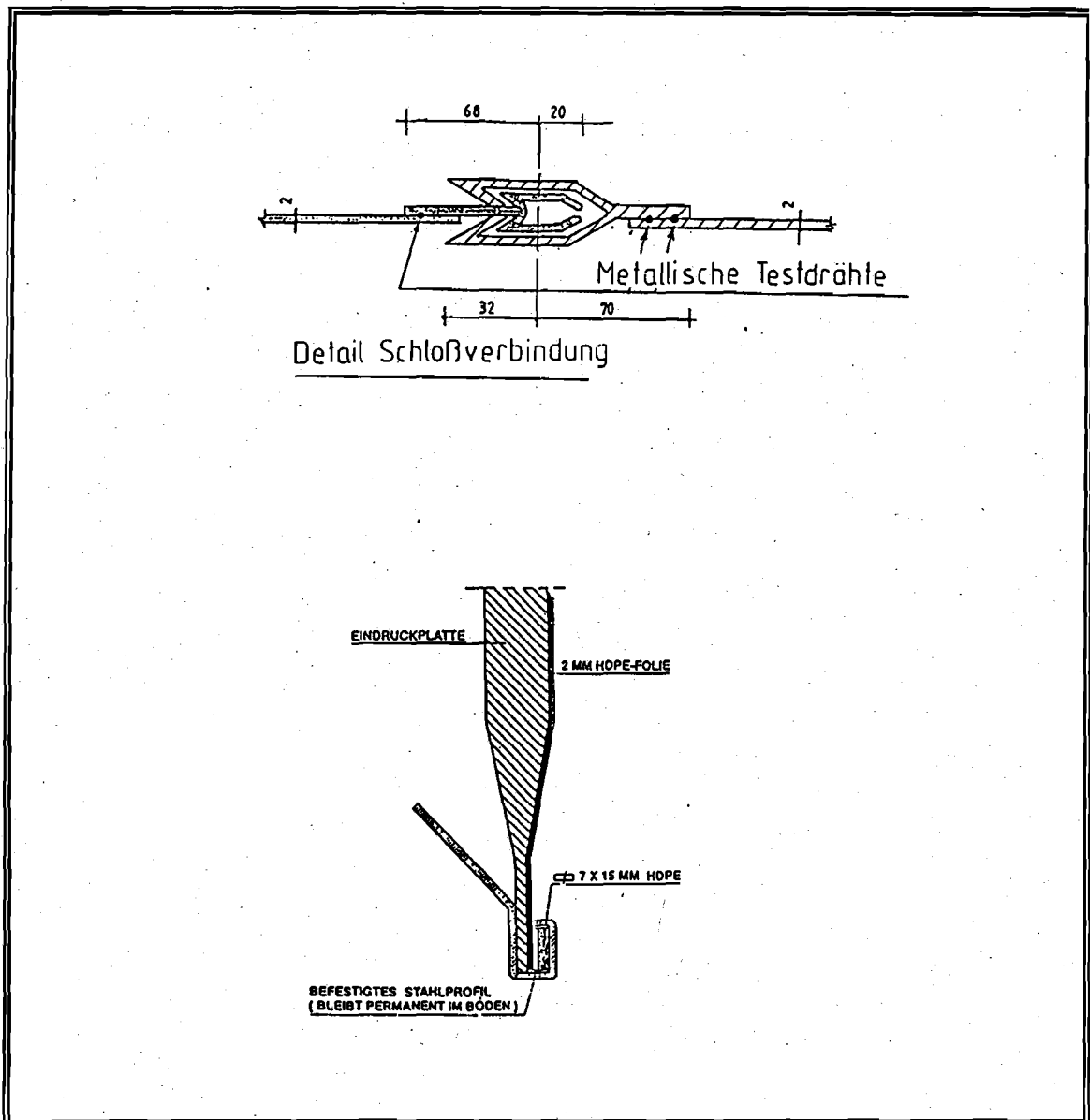


H-Profil an tiefster Stelle sowie Herausziehen des H-Profiles und Auffüllen mit Bentonit-Zement-Gemisch



Fertiggestellte Bentonit-Zement-Folie

Schloßverbindung und Einbindung des Folienfußes



Für die Ausbildung der Eckpunkte der Dichtwandtrasse mußte vor Ort eine andere Lösung gefunden werden. Die vom Werk vorgefertigten Eckanschlüsse waren nicht praktikabel. Die Trasseneckpunkte konnten als "runde Ecken" gebaut werden, da die Schlösser stumpfe Winkel zulassen (s.a. beiliegende Abbildung).

Damit es zu keinen Problemen mit dem Anschluß der einzelnen Segmente bei Arbeitsunterbrechungen (z.B. Wochenende) kam, wurden Erstarrungsverzögerer eingesetzt. Beim letzten Anschluß

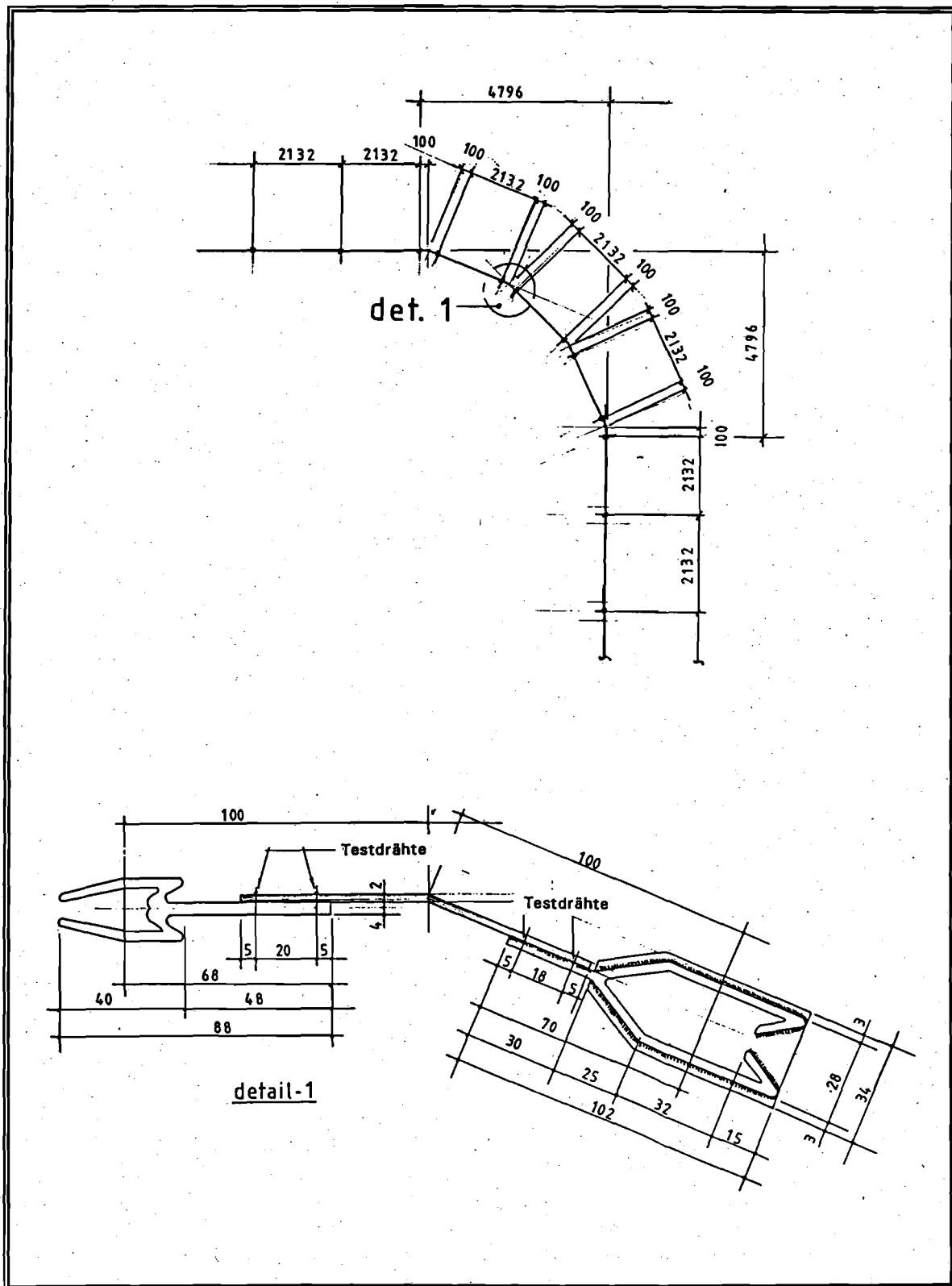
waren noch 40 cm Schlitzöffnungen zu schließen (s.a. beiliegende Abbildung). Dazu wurde parallel versetzt ein Dichtwandsegment gebaut und der Anschluß mit Wasserglas injiziert. Die Schlösser wurden durch eine Bodeninjektion mit Wasserglas (Monosol) geschützt (s.a. beiliegende Abbildung).

Es war geplant, den Wasserstand im umschlossenen Bereich über eine Horizontaldrainage zu gewährleisten. Da der inhomogene Untergrund (Steine/Bauschutt) die Arbeiten behinderte, wurden Vertikaldrainagen errichtet.

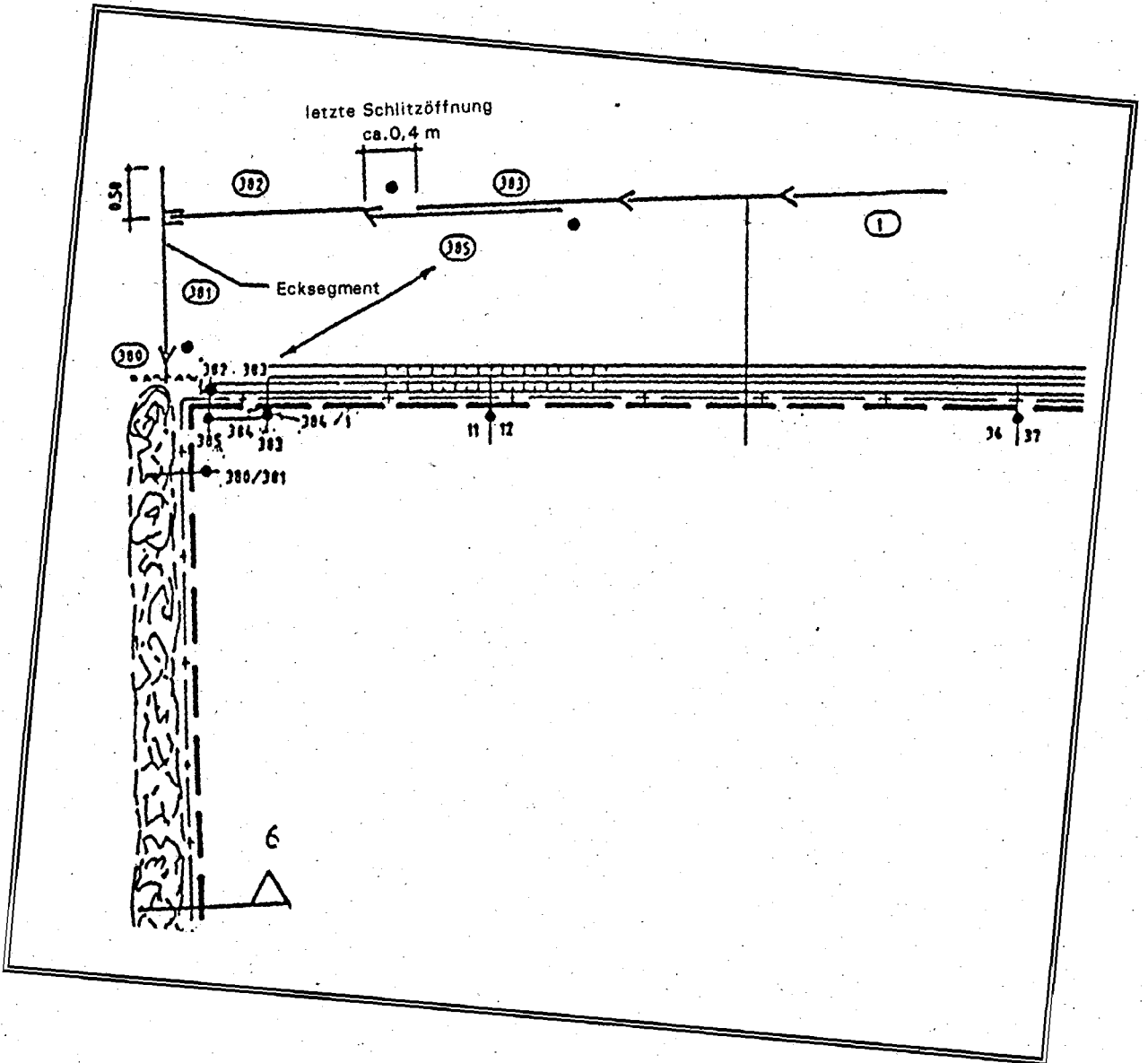
Oberflächen- abdichtung

Beim Bau der Oberflächenabdichtung ergaben sich vor allem im Böschungsbereich Schwierigkeiten. Bei Verwendung unprofilierte Kunststoffdichtungsbahnen rutschte der aufgebrachte Mutterboden ab. Beim Einsatz von einseitig profilierten Kunststoffdichtungsbahnen führte der Druck des aufgebrachten Mutterbodens zu einem Abgleiten der Kunststoffdichtungsbahnen. Daraufhin wurden im Böschungsbereich zweiseitig profilierte Kunststoffdichtungsbahnen eingesetzt. Auf horizontalen Flächen wurden einseitig profilierte Kunststoffdichtungsbahnen verwendet. Die Ausführung dieses Bauabschnitts lag bei einem Subunternehmen. Die Materialvorhaltung und der Personaleinsatz des Unternehmens waren zu gering, so daß es zu Zeitverzögerungen kam.

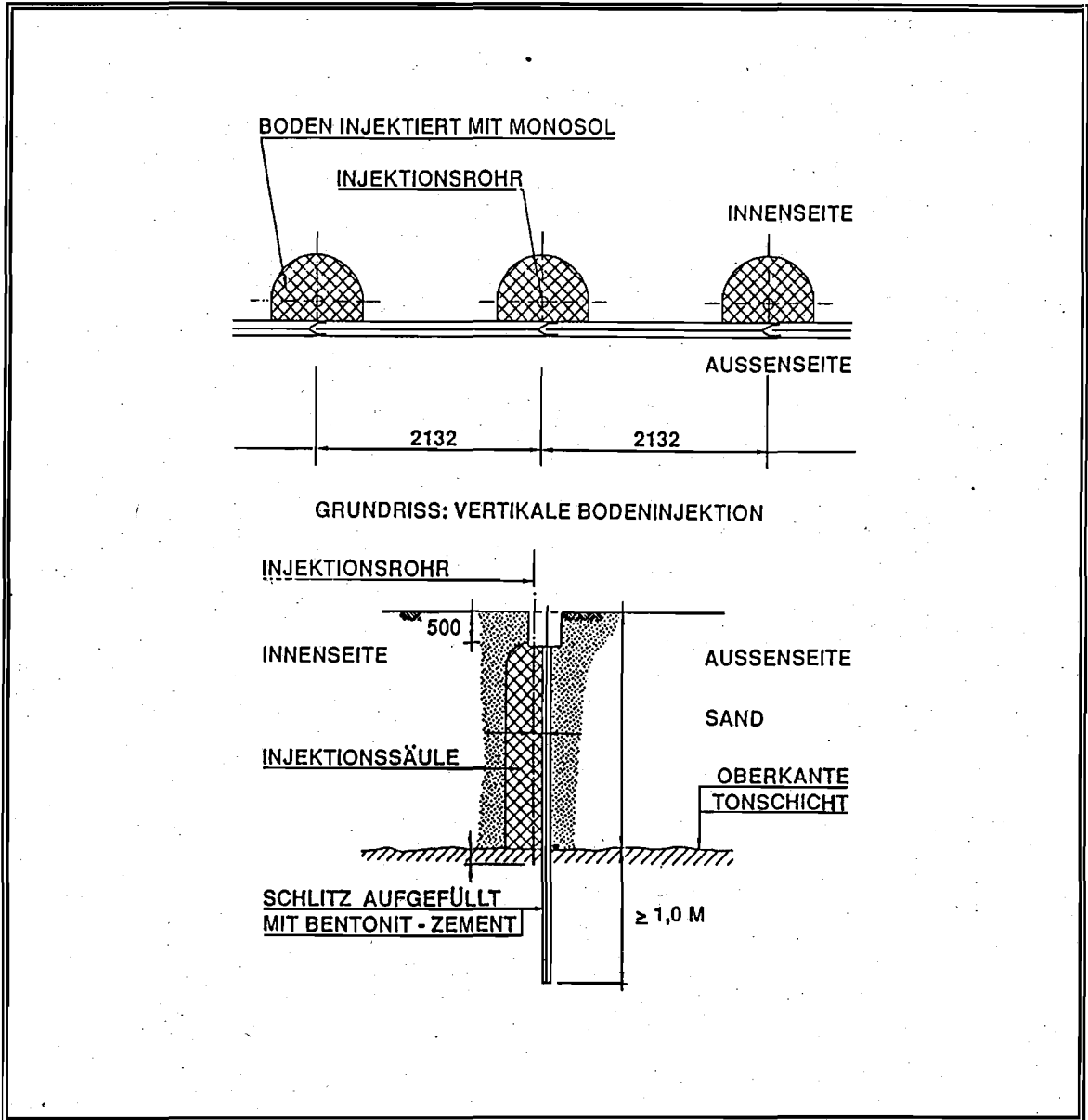
Eckanschluß der vertikalen Dichtwand, Detaillösung



Fertigstellung der Dichtwand, Detaillösung



Vertikale Bodeninjektion (Querschnitt)



Anfallende Rest-
stoffe/Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	Aushubmaterial	2.084 m ³	Einbau in Zwischenlager auf der Deponie
flüssige Rückstände	-	-	-
sonstiges	-	-	-

4.4

Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen

Arbeitsschutz

Alle Mitarbeiter, die an der Ausführung der Sicherung beteiligt waren, wurden vor Beginn der Baumaßnahmen durch den staatlichen Gesundheitsdienst untersucht. Zusätzlich wurden sie über mögliche Gesundheitsrisiken sowie Arbeits- und Sicherheitsvorschriften mündlich und schriftlich informiert. Für alle Mitarbeiter wurde eine Versicherung zur Abdeckung der gesundheitlichen Risiken für die kommenden 30 Jahre abgeschlossen.

Es wurde eine Schwarz-Weiß-Anlage eingerichtet und die Arbeiter mit Helmen, Einwegoveralls, PVC-Handschuhen, Atemmasken, Sicherheitsbrillen und Stiefeln ausgerüstet. Besucher wurden mit Einwegschutzkleidung ausgestattet. Das Arbeiten außerhalb der regulären Arbeitszeit zwischen 7 und 18 Uhr war nicht gestattet. Außerdem wurde auf dem Gelände eine Sprühanlage zur Unterbindung der Staubentwicklung eingesetzt.

Angrenzende
Nutzungen

Zum Schutz der angrenzenden Nutzungen wurde die gesamte Anlage umzäunt und eine Sprühanlage eingesetzt (s.o.).

4.5

Sanierungskosten und -dauer

Bau- abschnitt	Dauer		Kosten Hfl.	
	geplant	real	geplant	real
1	1 Woche	1 Woche	11.000	11.000
2	4 Monate	6 Monate	1,39 Mio.	1,69 Mio
3 *	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

* Die Oberflächenabdichtung wurde in einem gesonderten Verfahren geplant, erstellt und abgerechnet. Die Informationen waren nicht zugänglich.

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)

5.1 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge)

Nach Abschluß der Sicherungsmaßnahmen wurde das hydraulische Gefälle durch Brunnen zur Altablagerung hin aufrecht erhalten. Dadurch verbleibt das kontaminierte Sickerwasser im umschlossenen Bereich. Das entnommene Sickerwasser wurde in ein Sammelbecken (1.500 m³) geleitet und beprobt. Da die analysierten Schadstoffkonzentrationen unter den geforderten Einleitwerten liegen, konnte das Wasser direkt in die Kanalisation eingeleitet werden.

5.2 Langzeitüberwachung (Monitoring)

Bei dem Konzept der Langzeitüberwachung für das Zwischenlager wurde sowohl die Möglichkeit einer Schadstoffausbreitung durch Verwehungen als auch der Austrag über das Grundwasser bei eventuellen Leckagen der Dichtwand berücksichtigt. Vor Inbetriebnahme des Zwischenlagers 1987 wurde durch eine Analyse des Bodens, des Oberflächenwassers und des Schlammes aus Entwässerungsgräben aus der unmittelbaren Nähe des Zwischenlagers die 'Nullsituation' ermittelt. Zur Kontrolle der Umweltbelastung wird seit 1990 einmal jährlich ein Monitoring von Grundwasser, Boden sowie Oberflächenwasser und Schlamm aus Entwässerungsgräben der angrenzenden Flächen durchgeführt.

Für das Grundwassermonitoring werden 9 Pegel beprobt, von denen einer stromaufwärts und 8 stromabwärts liegen. Die Fläche um das Zwischenlager wurde in 9 Parzellen aufgeteilt und pro Parzelle

mindestens 40 Proben zu einer Mischprobe zusammengestellt. Aus den Entwässerungsgräben wurden jeweils zwei Wasser- und zwei Schlammproben entnommen und analysiert. Zusätzlich dazu wurde 1993 zum erstenmal eine Beprobung der Vegetation der angrenzenden Flächen durchgeführt. Von allen Parzellen wurden Gras- und Maisproben entnommen und zu Mischproben zusammengestellt. In Tabelle 2 ist der Analysenumfang von 1993 der unterschiedlichen Probenarten zusammengestellt.

Tabelle 2: Analysenumfang

	As	Hg	Aromate	chlorhaltige Lösungsmittel	HCH	Hexachlor-ben- zol (HCB)
Boden	x	x			x	x
Schlamm	x	x			x	x
Oberflächen- wasser	x	x	x	x	x	x
Grundwasser	x	x	x	x	x	x
Mais/Gras					x	x

Die analysierten Konzentrationen in den Schlamm- und Bodenproben entsprachen den Untersuchungsergebnissen von 1987. Eine Belastung dieser beiden Medien hat demzufolge nicht stattgefunden. Auch in den Vegetationsproben wurde keine Verunreinigung festgestellt. In einer Oberflächenwasserprobe trat 1993 zum erstenmal eine HCH-Konzentration oberhalb des B-Wertes der Hollandliste auf. Die Arsenkonzentration im Grundwasser war gegenüber dem Vorjahr leicht erhöht, überschritt aber nur in einem Pegel den A-Wert der Hollandliste. Die Proben aus 3 Pegeln überschritten den A-Wert für HCH. Wie schon in den vorangegangenen Jahren wurden in drei Pegeln nahe der Dichtwand erhöhte Benzolkonzentrationen analysiert, von denen eine sogar oberhalb des C-Wertes lag. Da sich diese Situation seit dem ersten Monitoring 1990

nicht verändert hat, wird vermutet, daß in diesem Bereich eine lokale Benzolkontamination vorhanden ist. Der Gutachter empfiehlt eine Grundwassersanierung in diesem Bereich. Die Konzentrationen der übrigen Parameter haben sich gegenüber der Nullsituation nicht erhöht.

Für die nächsten Jahre wurde eine Beibehaltung des Monitoringprogramms empfohlen. Die jährlichen Kosten für das gesamte Programm incl. einer Erneuerung von 5 Grundwasserpegeln belaufen sich auf ca. 27.000 Hfl.

Die Setzungen der Altablagerung unter der Auflast des Zwischenlagers wurden auf max. 1 m berechnet. Eine Messung der Setzungen findet ebenso wie eine Kontrolle der Ausgasungen, entgegen der Empfehlung des Gutachters, nicht statt.

Projekt 10 (Niederlande)

Kurzdarstellung

Der Holzhafen der niederländischen Gemeinde X in den Niederlanden wurde als Umschlagplatz für Baumstämme durch eine große Holzfabrik genutzt. Mit Zustimmung der Gemeinde wurde durch die Holzfabrik ein Teil des Hafenbeckens u.a. mit Hochhofenschlacken angeschüttet und so eine künstliche Insel errichtet. Ende der 1980er Jahre sollte nach Plänen der Gemeinde und des Projektentwicklers das gesamte Hafenbecken mit Seesand angefüllt werden. Zu diesem Zweck wurde das Hafenbecken mit Deichen abgetrennt. Das Material für den Deichbau wurde der Aufschüttung der künstlichen Insel entnommen. Bei den Bauarbeiten wurde stark verunreinigtes Material angetroffen. Es wurden erhöhte Konzentrationen an anorganischen und organischen Schadstoffen, vor allem PAK und Phenol, festgestellt. Zwischen 1988 und 1989 wurde das Sanierungskonzept erarbeitet. Das Sanierungskonzept sah vor, daß das verunreinigte Material aus den Deichen auf dem schon aufgeschütteten Bereich (künstliche Insel) zusammengetragen und anschließend eingekapselt werden sollte. Die Einkapselung wurde erst durchgeführt, nachdem das Hafenbecken vollständig angefüllt war.

1990 wurden folgende Sicherungsmaßnahmen ausgeführt:

- Installation und Betrieb einer Wasserreinigungsanlage;
- Herstellung einer Kombinationsdichtwand aus Bentonit-Zement und HDPE-Kunststoffdichtungsbahnen bis in eine Tiefe von 6,5 m im Mittel;
- Versiegelung der Oberfläche mit Asphalt.

Das Sanierungsprojekt war eines der ersten in den Niederlanden, bei dem eine Kombinationsdichtwand zur Ausführung kam. Bei der Bauausführung gab es durch Hindernisse im Boden Schwierigkeiten beim Herstellen des Schlitzes. Verschiedene Detaillösungen wurden vor Ort verbessert und damit anders als geplant ausgeführt. Dies betrifft z.B. die Injektion der HDPE-Folienschlösser, die Herstellung der Anschlüsse an den Eckpunkten der Dichtwand und die Maßnahmen bei einer Bauunterbrechung (Tagesende, Wochenende).

Für die Entnahme des kontaminierten Materials mußte der Wasserstand abgesenkt werden. Das kontaminierte Wasser wurde in einer 5-stufigen Reinigungsanlage behandelt. Die biologische Nitrifikation zeigte dabei nur schlechte Ergebnisse.

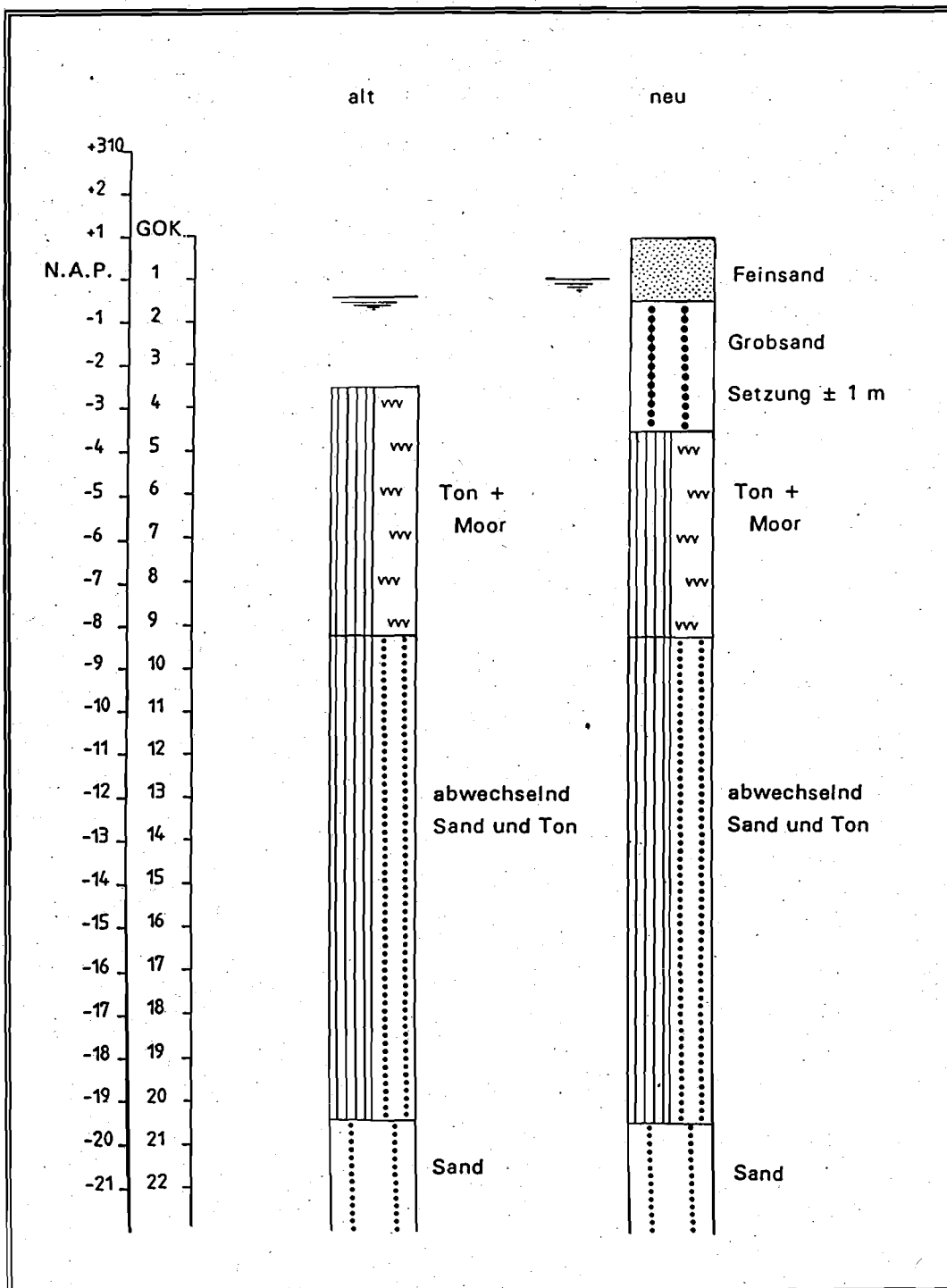
1 Standortbeschreibung

- Lage Bei dem Standort handelt es sich um ein ehemaliges Hafenbecken im Industriegebiet der niederländischen Gemeinde X.
- Größe Die Altablagerung umfaßt eine Fläche von ca. 5 ha und hat eine mittlere Tiefe von 6,5 m. Die maximale Tiefe liegt bei 7 m u. GOK. Teile der Altablagerung wurden für den Bau von Deichen verwendet.
- Ehemalige Nutzung Das Hafenbecken wurde zur Lagerung von Holzstämmen genutzt. 1970 hat die Firma mit Zustimmung der Gemeinde einen Teil des Hafenbeckens unter anderem mit Hochofenschlacken angeschüttet (künstliche Insel). Zu diesem Zeitpunkt wurde geplant, das gesamte Hafenbecken anzufüllen und als Industriegebiet zu nutzen. Ende der 1980er Jahre wurde das Hafenbecken durch Deiche abgetrennt und mit Sand aufgefüllt. Für den Bau der Deiche wurde Material aus der künstlichen Insel (Hochofenschlacken etc.) verwendet.
- Eigentums-
Pacht- und
Mietverhältnisse Eigentümer ist die Gemeinde X.
- Geologie/
Hydrogeologie Der Holzhafen ist mit Seesand verfüllt. Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des Untergrundes vor und nach der Auffüllung. Das Hafenbecken wurde mit Grobsand aufgefüllt, auf den zur weiteren Erhöhung des Geländes Feinsand aufgetragen wurde. Als Endhöhe wurde 1 m über dem Amsterdamer Pegel (NAP) angestrebt. Berücksichtigt man eine Setzung von ca. 1 m, ist der Untergrund i.a. wie folgt aufgebaut:

Auffüllung: feiner Sand bis 1,4 m u. GOK und grobe Sande von 1,4 m u. GOK bis 4,5 m u. GOK.

Quartär: Ton- und anmoorige Schichten in einer Tiefe zwischen 4,50 und 9,00 m u. GOK ($k_f < 10^{-8}$ m/s). Ab 9,00 m bis zu 20,50 m u. GOK folgen abwechselnd Sand- und Tonschichten. Ab 20,5 m u. GOK folgt Sand.

Bodenaufbau



Grundwasser: Das 1. Grundwasserstockwerk liegt in der Auffüllung aus grobem Sand. Die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters liegt über 1×10^{-2} m/s. Der Flurabstand beträgt 1,4 m. Das 2. Grundwasserstockwerk befindet sich in den quartären Sanden in einer Tiefe von mehr als 20,5 m u. GOK. Die Durchlässigkeiten liegen über 1×10^{-2} m/s.

Hydrologie Der Standort grenzt an drei Seiten direkt an Oberflächenwasser.

2 Untersuchungen und Beurteilungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung

Anlaß Das Hafenbecken wurde mit Deichen abgetrennt. Das dafür benötigte Material wurde einer künstlichen Insel entnommen. Bei diesen Auskofferungsarbeiten wurden Ammoniakdämpfe frei. Sie bildeten den Anlaß für eine Entnahme und Untersuchung von Bodenproben.

Gutachten Gutachten über die Kontamination und Wiederverwertungsmöglichkeiten des Anfüllungsmaterials.

Untersuchung Das Anschüttungsmaterial der künstlichen Insel und der Deiche (Stahl- und Hochofenschlacken, Schutt von Hochofensteinen) ist mit PAK, Phenolen, aliphatischen Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen belastet. Eine Anreicherung der Kontamination in der Fraktion < 15 mm konnte nicht nachgewiesen werden. Die Auslaugversuche (Kaskadentest pH 4) ergaben eine hohe Elution von PAK (13 x C-Wert der sog. Hollandliste). Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Belastungssituation.

Tabelle 1: Schadstoffkonzentrationen im Anschüttungsmaterial der künstlichen Insel bzw. der Deiche.

Parameter	Konzentration [mg/kg TS]		
	von	bis	mittel
Cu	40	220	150
Ni	40	750	250
Zn	155	3.200	1.000
Cr	380	2.300	1.000
EOX	0,2	2	1
PAK (16)	14	900	300
Öl/Benzin	360	11.000	2.600
Phenole	0,1	64	20

**Gutachterliche
Bewertung**

Aufgrund der Belastung mit organischen und anorganischen Schadstoffen wurde von einer Verwendung des Materials ohne Sicherungsmaßnahmen abgeraten. Es wurde empfohlen, folgende Bedingungen an die Verwertung des Anschüttungsmaterials aus der künstlichen Insel zu binden:

- keine Verwertung in Boden-, Grundwasser- oder Naturschutzgebiete;
- wasserundurchlässige Abdichtung der Oberfläche und der Flanken beim Einbau des Materials;
- Einbau mindestens 25 cm über dem gemittelten höchsten Grundwasserstand, wobei gleichzeitig eine Kontrolle des Grundwasserstands sichergestellt sein muß (ggf. über Drainagen);
- keine Vermischung von belastetem Material mit unbelastetem Bodenmaterial eines anderen Standortes.

Außerdem wurde empfohlen, die Bauarbeiten zu überwachen und die PAK-Verunreinigung mittels organoleptischer Ansprache einzuschätzen. Bei Verdacht auf erhöhte Konzentrationen sollten die betroffenen Partien getrennt zwischengelagert werden. Für die Entscheidung, ob das Material wiederverwertet werden kann, sind ergänzende Laboranalysen durchzuführen.

3 Sanierungsuntersuchung

- Sanierungspflichtiger Sanierungspflichtig ist die Gemeinde X, da sie sich vertraglich dazu verpflichtet hat, das neue Industriegebiet kontaminationsfrei zu übergeben.
- Kostenträger Es wurde ebenfalls vertraglich festgelegt, daß die Gemeinde für alle Kosten, die durch eventuell notwendige Sanierungen entstehen, alleine aufkommt.
- Rechtlicher Rahmen der Sanierung Die Sanierung wird auf der Basis der niederländischen Gesetzgebung sowie den vertraglichen Vereinbarungen zwischen der Gemeinde X und dem Projektentwickler durchgeführt.

3.1 Schutz- und Sanierungsziele

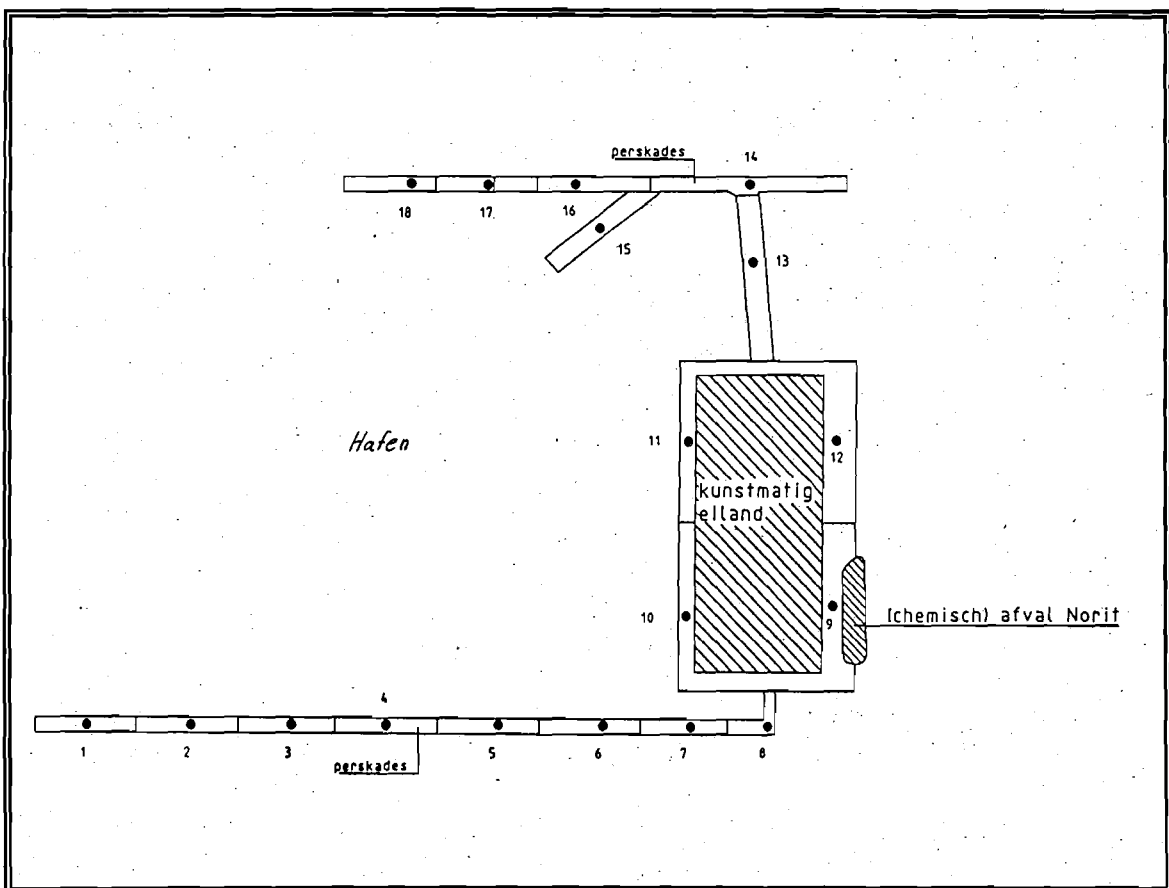
Ziel der Sanierung ist eine gesicherte Umlagerung der kontaminierten Anschüttungen aus den Deichen um den Holzhafen und eine Sicherung der künstlichen Insel. Nach der Sanierung soll das mit Sand aufgefüllte Hafenbecken als Industriegebiet genutzt werden. Das Gelände muß vertragsgemäß von der Gemeinde kontaminationsfrei übergeben werden. Die Einkapselung der Kontamination dient außerdem dem Schutz der öffentlichen Wasserwirtschaft.

3.2 Standortuntersuchungen und Empfehlungen

Am Standort Holzhafen wurden weitere Bodenuntersuchungen an den Deichen (perskades) und der künstlichen Insel (kunstmatig eiland) durchgeführt. Eine Übersicht der Probenahmepunkte gibt die beiliegende Abbildung.

Die künstliche Insel wurde unter Verwendung kontaminierten Hochofenschutts angelegt. Insgesamt wurden ca. 90.000 m³ Schutt in der Insel verarbeitet. Bei der Auffüllung des gesamten Hafenbeckens wurde ein großer Teil des kontaminierten Materials (ca. 60.000 m³) zum Anlegen der Deiche verwendet.

Lageplan, schematische Übersicht der Probenahmepunkte



Eine Reinigung des Materials, das erhöhte Konzentrationen an anorganischen und organischen Schadstoffen aufweist, ist nicht möglich. Aufgrund der großen Massen an kontaminiertem Material sind die Kosten für eine Ablagerung auf einer bereits bestehenden Deponie sehr hoch (ca. 65,- Hfl/t für Transport und Deponierung). Daher sollte eine Möglichkeit gefunden werden, das kontaminierte Material im Bereich des Hafenbeckens umzulagern und zu sichern.

3.3 Machbarkeitsstudie / Variantenvergleich

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

○ Dekontamination

- Thermische Verfahren
- Wasch- und Extraktionsverfahren
- Biologische Verfahren
- Aktive pneumatische Verfahren
- Aktive hydraulische Verfahren
- Sonstige Verfahren

● Sicherung

- Einschließungsverfahren
- Passive pneumatische Verfahren
- Passive hydraulische Verfahren
- Immobilisierung
- Umlagerung

Aus Kostengründen wurde eine Deponierung des Materials auf einer bereits bestehenden Deponie ausgeschlossen. Zur Umlagerung und Sicherung des Materials innerhalb des Geländes wurden drei Hauptvarianten miteinander verglichen:

A: Das Material wird als Zwischenlage auf der gesamten anzufüllenden Fläche (gesamtes Hafenbecken) aufgebracht. Die Schicht muß

0,25 m über dem höchsten Grundwasserstand eingebracht werden. Die Fläche wird anschließend asphaltiert.

B: Das Material wird als Zwischenlage 0,25 m über dem höchsten Grundwasserstand auf einer Teilfläche des aufgefüllten Hafens aufgebracht. Diese Fläche soll höher als die umliegenden Flächen liegen. Die Fläche wird anschließend asphaltiert.

C: Das Material wird auf der ehemaligen künstlichen Insel abgelagert. Die Fläche wird anschließend isoliert.

Für die Varianten wurden die bautechnischen Bedingungen beschrieben und eine Simulation der hydrologischen Situation durchgeführt. Außerdem wurde die Grundwasserreinigung dimensioniert.

Bei Variante A und B ist eine Aufbereitung (Brechen und Sieben) des ausgekofferten Materials in einem Zwischenlager nötig, bevor es wieder eingebaut werden kann. Bei Variante C kann das kontaminierte Material direkt eingebaut werden. Im Rahmen einer Kostenabschätzung wurden für die ersten beiden Varianten auch unterschiedliche Möglichkeiten der Sicherung des kontaminierten Materials und der Grundwasserkontrolle berücksichtigt. Die geschätzten Kosten der einzelnen Untervarianten wichen stark voneinander ab.

Geschätzte Kosten (in Mio Hfl):

	min	max
Variante A	6,8	23,9
Variante B	6,5	13,5
Variante C	3,2	

Bei den Varianten A und B werden auf der gesamten Fläche (25 ha) bzw. auf einem Teil (10 ha) umwelthygienische Probleme erzeugt. Für diese Flächen müssen früher oder später große Sicherungs- oder Reinigungskosten durch die Gemeinde aufgebracht werden. Der Verkaufswert der Flächen kann bedeutend niedriger sein, als bei einem 'sauberen' Industriegebiet. Die Bereitschaft neuer Betriebe sich

hier anzusiedeln ist geringer. Bei Variante C werden die umwelthygienischen Probleme auf eine maximale Fläche von 3 ha beschränkt. Die Kosten für Sicherung und Reinigung sind wesentlich geringer. Der aktuelle und spätere Verkaufswert der restlichen 22 ha ist deutlich höher als bei den Varianten A und B. Voraussetzung für die Durchführung dieser Variante ist eine gute bodenmechanische Untersuchung der künstlichen Insel sowie die genaue Bestimmung der Lage und Dicke der Tonschicht als geologische Barriere.

Da bei allen drei Varianten eine ausreichende Sicherung des kontaminierten Materials gegeben ist, wurde letztendlich aufgrund der deutlich geringeren Kosten und der besseren Bedingungen für einen späteren Verkauf der gesamten Fläche Variante C ausgewählt.

3.4

Sanierungskonzept

Bevor mit den Sanierungsarbeiten begonnen werden kann, wird das gesamte Hafenbecken wie geplant aufgefüllt. Nach Beendigung der Arbeiten werden die Deiche umpundet, das kontaminierte Material in den Deichen ausgekoffert und durch sauberen Seesand ersetzt. Das kontaminierte Material (ca. 100.000 m³) wird auf der künstlichen Insel deponiert. Um für diese Menge ausreichenden Deponieraum zu schaffen, werden auf dem südlichen Teil der Insel Auskofferungen bis zu 6 m Tiefe durchgeführt. Das kontaminierte Material kann hier direkt ohne Aufbereitung verfüllt werden. Dabei wird davon ausgegangen, daß im Untergrund die Trennschicht aus Ton eine ausreichende natürliche Basisabdichtung darstellt. Um eine vertikale Ausbreitung zu verhindern, wird eine Kombinationsdichtwand aus einer Bentonit-Zement-Folien-Konstruktion erstellt. Die Dichtwand mit einer Gesamtlänge von etwa 700 m soll bis 10 m u. GOK in den Untergrund eingelassen werden. Abschließend wird der umschlossene Bereich mit einer Asphaltsschicht versiegelt. Innerhalb des Deponiekörpers wird eine Sickerwasserfassung mittels Horizontal- oder Vertikaldrainagen installiert. Damit kann eine Absenkung des Grundwasserspiegels innerhalb

der Deponie erreicht werden (hydraulisches Gefälle), so daß ein Schadstoffaustrag verhindert wird.

erforderliche

Genehmigungen

nach der niederländischen Gesetzgebung:

- Einleitgenehmigung
- Genehmigung für die Grundwasserfassung

4 Detailplanung und Bauausführung

4.1

Technische Daten

Aufbau

Dichtwand

Kombinationsdichtwand ohne Bodenaushub	Beschreibung / Anforderungen
Stärke	12 cm
Tiefe	mittlere Tiefe: 6,5 m max. Tiefe: 7 m
Fläche	5.800 m ²
Segmentbreite	2,045 m
Material	Bentonit-Zement-Gemisch (Solidur 274, Dyckerhoff) $k_f = 2 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ Dichte: 1153 - 1165 kg/m ³ Marsh-Trichter: 32 -38 s Filterverlust nach 7,5 min < 70 ml Fließgrenze: 24,4 - 58,6 N/m ² eingehängte HDPE-Dichtungsbahn Dicke: 2 mm

Aufbau

Oberflächenversiegelung mit Asphaltdecke (50.000 m²)

Die gesamte Oberfläche der künstlichen Insel (Bryunzeelinsel) wurde mit einer Asphaltdecke versiegelt. Zu diesem Bauabschnitt konnten keine näheren Informationen erhoben werden.

4.2

Eignungsprüfung und Qualitätssicherung

Eignungsprüfung

Die Zusammensetzung und chemische Resistenz der eingesetzten Kunststoffdichtungsbahnen wurde in Untersuchungen des Herstellers nachgewiesen. Die verwendeten Schlösser wurden speziell für dieses Projekt entwickelt. Im Werk wurden die Schlösser angeschweißt und alle 250 m wurden Probeabschnitte für folgende Untersuchungen der Schweißnaht genommen:

- visuelle Prüfung der Breite (24 mm Überlappung);
- visuelle Prüfung der Dichtigkeit;
- mechanische Prüfung der Zugfestigkeit (> 10 kN/m).

Versuchsfeld

Vor der Errichtung der Kombinationsdichtwand wurde ein Versuchsfeld, bestehend aus 5 Segmenten, angelegt. Dabei stellte sich heraus, daß die Anforderungen an k_f -Wert, Dichte, Marsh-Trichter, Filterverlust und Fließgrenze (s. Kap. 4.1) durch das Bentonit-Zement-Gemisch nicht erfüllt wurden. Durch eine Veränderung des Wassergehaltes konnte ein geeignetes Gemisch hergestellt werden. Um die Dicke der Dichtwand festzustellen, wurden die Segmente teilweise ausgegraben und vermessen.

Sanierungs- überwachung

Die Sanierungsarbeiten wurden durch Eigen- und Fremdprüfer überwacht. Jede angelieferte Ladung der Bentonit-Zement-Suspension wurde vor dem Einbau rheologisch untersucht. Erst wenn die Ergebnisse den Anforderungen entsprachen, wurde die Suspension eingebaut. Zusätzlich wurden 30 Rückstellproben für Durchlässigkeitsuntersuchungen und 5 Proben für die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit genommen. Die Kunststoffdichtungsbahnen wurden

vor Ort visuell auf Unregelmäßigkeiten untersucht. Über den Einbau jedes eingebrachten Profils wurde ein Protokoll erstellt.

Systemprüfung

Nach Fertigstellung der vertikalen Dichtwand wurde ein Pumpversuch zur Überprüfung der Wasserdichtigkeit durchgeführt. Dazu wurden insgesamt 32 Beobachtungspegel innerhalb und außerhalb der Dichtwand niedergebracht und der Wasserstand im Deponiekörper gesenkt. Der abgesenkte Wasserstand wurde 1 Woche gehalten und der Grundwasserstand außerhalb und innerhalb der Dichtwand täglich überprüft. Für den Fall der Undichtigkeit waren Nachinjektionen vorgesehen. Da das System keine undichten Stellen aufwies, war dies jedoch nicht nötig.

4.3

Ablaufplanung und Sanierungsverlauf

Bauabschnitte

Die ausgeführten Sicherungsarbeiten sind nur ein Teil der gesamten Baumaßnahmen. Insgesamt sind folgende Maßnahmen geplant und ausgeführt worden:

- | | |
|-----------------|---|
| Bauabschnitt 1: | Auffüllen des gesamten Hafenbeckens mit Sand |
| Bauabschnitt 2: | Umspundung der Deiche |
| Bauabschnitt 3: | Austausch des kontaminierten Materials aus den Deichen und Umlagerung auf die künstliche Insel mit anschließender Verdichtung |
| Bauabschnitt 4: | Sondierungen zur Überprüfung der Lage der Tonschicht als natürliche Basisabdichtung der Einschließung |
| Bauabschnitt 5: | Herstellung der vertikalen Dichtwand |
| Bauabschnitt 6: | Versiegelung der Fläche und Bau eines Bürogebäudes |

Während der Auskofferungsarbeiten an den Deichen wurde kontaminiertes Grundwasser frei, so daß eine Reinigungsanlage dimensioniert und installiert werden mußte.

Umspundung

Im zweiten Bauabschnitt wurde auf beiden Seiten der Deiche eine 1400 m lange Spundwand eingezogen, die aus 10 m bis 15 m breiten Einzelsegmenten aufgebaut wurde.

Bodenaustausch und

Umlagerung

Im nächsten Schritt wurde das kontaminierte Material aus den Deichen und aus der künstlichen Insel ausgekoffert und auf den einzuschließenden Teil des Standortes umgelagert. Zur Vergrößerung des Depots wurden dort Auskofferungen bis zur Tonschicht vorgenommen. Das anfallende Material, sauberer Sand, wurde zur Auffüllung der ausgekofferten Deichabschnitte verwendet.

Sondierungen

Nach Abschluß dieser Arbeiten wurde anhand von 53 Sondierungen die genau Tiefe der Tonschicht festgestellt und der Trassenverlauf der vertikalen Dichtwand festgelegt.

Dichtwand

Im ersten Schritt der Dichtwandaufstellung wurden drei 11 cm dicke Stahlprofile mittels Vibration und Spültechnik eingebracht. Während das erste Profil wieder gezogen wurde, wurde die Bentonit-Zement-Suspension im Kontraktorverfahren eingefüllt. Das gezogene erste Profil wurde hinter dem dritten noch stehenden erneut eingebracht. Um die Kunststoffdichtung in das erste Segment einzubringen, wurde sie auf einen Stahlrahmen gespannt, dessen Schlösser in die Schlösser der Profile paßten. Der Stahlrahmen wurde im ersten zementgefüllten Schlitz an das zweite Stahlprofil angefügt. Der Arbeitsvorgang, Ziehen des Stahlprofils, Einbringen hinter dem letzten Stahlprofil und Einbringen des Stahlrahmens in das zementgefüllte Segment wurde zweimal wiederholt. Danach wurde der erste Stahlrahmen gezogen. Die aufgespannte Kunststoffdichtung verblieb dabei im Schlitz. Der Stahlrahmen wurde erneut gespannt und nach dem Ziehen des nächsten Stahlprofils in den zementgefüllten Schlitz eingeführt. Dieser Vorgang wurde fortlaufend wiederholt. Jeweils einen Tag nach dem Einbau der Kunststoffdichtungsbahnen wurden die Folienschlösser mit Wasser ausgespült und injiziert.

Die Stahlprofile wurden mittels Vibration und Spültechnik eingebracht. Um die Tonschicht nicht zu beschädigen, wurde auf dem letzten Meter die Spülung gestoppt und das Profil nur mittels Vibration ungefähr 0,5 m tief in die Tonschicht eingelassen.

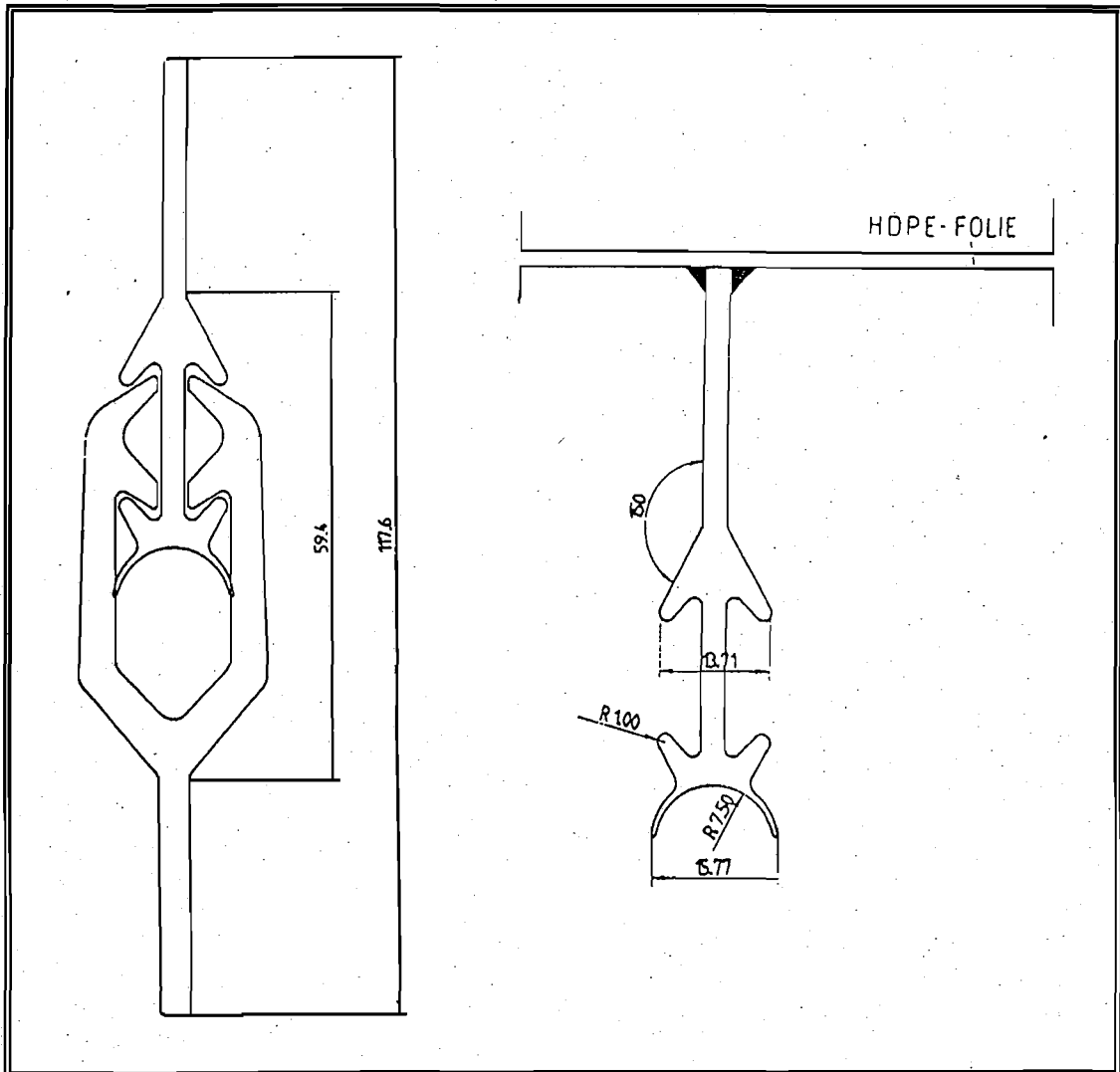
An der Ostseite der Dichtwandtrasse kam es zu Schwierigkeiten durch Hindernisse im Boden. Durch längeres Spülen wurden Holzstücke und Schutt mit dem Spülwasser nach oben gefördert. Das intensive Spülen führte zu größeren Löchern um das Profil herum, die durch die Bentonit-Zement-Suspension verfüllt wurden. Die gewünschte Tiefe konnte jedoch i.d.R. erreicht werden.

Für ein Segment konnte das Stahlprofil nicht auf die gewünschte Tiefe gebracht werden. Das Profil wurde entfernt und der Schlitz mit einer Spundwand vorgebohrt. Anschließend konnte das Stahlprofil ohne Probleme in den Schlitz bis auf die gewünschte Tiefe eingebracht werden.

Einen Tag nach dem Einbau der Kunststoffdichtungsbahnen wurden die Folienschlösser mit Wasser ausgespült und injiziert. Wegen der längeren Aushärtungszeit injizierte man eine Bentonit-Zement-Suspension und nicht Wasserglas, wie in der Detailplanung vorgesehen. War ein Schloß nicht über die volle Länge zu injizieren, wurde eine Injektionslanze neben dem Schloß in die Wand eingelassen. Nach Aushärtung der Wand wurde das betreffende Schloß zusätzlich mit einem Wasserglasgemisch injiziert. Die Schloßverbindung ist in der beiliegenden Abbildung dargestellt.

Sowohl der Anschluß der Ecken als auch die Lösungen zur Überbrückung der Wochenenden wichen von der Detailplanung ab. In der Detailplanung wurde für den Eckanschluß ein Anschweißen des Schlosses in der Segmentmitte vorgeschlagen (s.a. beiliegende Abbildung).

Schloßverbindung (links), Eckverbindung (rechts)



Nachdem es bei der ersten Ecke Probleme mit dem Einrasten des Schlosses gab und es daher nachinjiziert werden mußte, wurde bei den anderen drei Ecken das Schloß am Ende der Foliensegmente angeschweißt. Es gab keine Schwierigkeiten mehr mit dem Einrasten und der Schloßdichtigkeit. Auch die Wochenendlösung wurde vereinfacht. Geplant war, das letzte Foliensegment über einen Köcher mit dem anschließenden Stahlprofil zu verbinden und beide bei Arbeitsbeginn zu ziehen. Die Handhabung der Köcher stellte sich jedoch als sehr aufwendig heraus, so daß stattdessen Erstarrungsverzögerer eingesetzt wurden. Damit war kein Wochenendprofil mehr notwendig und der letzte Foliensegmentträger konnte über das Wochenende im

Schlitz stehen bleiben. Aufgrund der guten Erfahrungen wurde daraufhin zum Tagesende ebenfalls Erstarrungsverzögerer eingesetzt.

Beim Anschluß des letzten Segments wurden an der Innen- und Außenseite des Versatzes Injektionslanzen eingebracht, die mit Wasserglas injiziert wurden.

Während der Durchführung der Arbeiten stellte sich ein systematischer Fehler heraus. Die angenommene Segmentbreite der Kunststoffdichtungsbahnen betrug 2,07 m, die tatsächliche Breite jedoch nur 2,045 m. Somit waren 6 zusätzliche Segmente notwendig, um den geplanten Trassenverlauf einzuhalten. Außerdem wurde die Südwand 1 m nach außen verlegt, da man in der Süd-Ostecke mit Schwierigkeiten aufgrund von Schuttablagerungen im Untergrund rechnete. Der Einbau eines weiteren Segments wurde durch die Verlegung der Westwand erforderlich. Die Westwand wurde 2 m nach außen verlegt, da sie anderenfalls eine Drainage durchstoßen hätte. Mit der Verlegung der Nordwand um 1 m nach innen wollte man die Anzahl der zusätzlich benötigten Segmente verkleinern, da die Produktionsstraße für die Schloßprofile der Kunststoffdichtungsbahnen bereits abgebaut war. Trotz dieser Segmenteinsparung, mußte die Produktion für ca. 55 m erneut aufgenommen werden.

Versiegelung

Die Fläche wurde nach Abschluß der Sicherungsmaßnahmen mit einer Asphaltdecke versiegelt. Der größte Teil davon wird als Parkplatz genutzt. Ein bis zwei Jahre nach der Sanierung wurde auf einem Teil der Fläche ein Bürogebäude errichtet. Hierzu war eine Pfahlgründung (20 m tief) notwendig, die die natürliche Tonschicht durchstößt. Zur Verhinderung von Wegsamkeiten wurden die Pfähle als Frankpfähle ausgeführt. Die Grundplatte des Gebäudes wurde luftdicht ausgeführt und um das Gebäude herum eine Sand-Bentonit-Schicht angebracht, damit keine Bodenluft entweicht.

Grundwasser- reinigungsanlage

Die Dimensionierung der Anlage erfolgte u.a. auf folgenden Konzentrationen:

	Zulauf	Ablaufanforderung
N (Kjeldahl)	75 mg/l	20 mg/l
PAK	1.000 µg/l	50 µg/l

Die Grundwasserreinigungsanlage bestand aus folgenden Stufen:

- Oxidationsbecken
- Absetzbecken: Schlammfang
- Absetzbecken: Eisenflockung
- Sandfang
- Aktivkohlefilter

Die Grundwasserreinigungsanlage wurde etwa zwei Monate vor dem Beginn der Baumaßnahmen für die vertikale Dichtwand in Betrieb genommen. Es wurden ca. 20 m³/h gefördert. Der Gehalt an Stickstoffverbindungen sollte durch biologischen Abbau (Nitrifikation) im Oxidationsbecken und der Gehalt an PAK durch Kohlefiltration reduziert werden. Die Nitrifikationsstufe funktionierte nicht gut. Bei 49 % der durchgeführten Kontrollanalysen lagen die N-Konzentrationen oberhalb der Anforderungen. Die Ursache lag wahrscheinlich in einer schlechten Durchlüftung, zu großen Mengen an Rücklaufschlamm und einer Hemmung der biologischen Prozesse durch Chloride und PAK. Bei der PAK-Reduktion durch Aktivkohle-Filtration gab es keine Schwierigkeiten.

Anfallende Reststoffe / Abfälle

	Art	Menge	Entsorgung
feste Rückstände	Auffüllung	ca. 100.000 m ³	Umlagerung und Sicherung auf der Fläche
flüssige Rückstände	keine		
sonstiges	keine		

4.4 **Arbeitsschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zum Schutz angrenzender Nutzungen**

Arbeitsschutz

Die Arbeitnehmerschaft wurde vor Beginn der Arbeiten über die Gesundheitsrisiken und die einzuhaltenden Arbeitsschutzmaßnahmen informiert. Das Essen, Trinken und Rauchen war nur im Schichtraum erlaubt, nachdem die Arbeitskleidung abgelegt und die Hände gewaschen waren. Die Reinigung der Arbeitskleidung übernahm das Bauunternehmen. Zum persönlichen Schutz der Arbeiter standen Schutzhelme, Overalls, Handschuhe, Gesichtsmasken mit Staubfilter, Sicherheitsbrillen und Stiefel zur Verfügung. Außerdem wurden Wasch- und Duschräume sowie Toiletten auf dem Gelände errichtet.

Am und in der Umgebung des Arbeitsplatzes war die Staubentwicklung stets zu vermeiden. Dazu war auf dem Gelände eine Wasser-sprühanlage vorhanden.

Angrenzende Nutzungen

Zum Schutz der angrenzenden Nutzungen wurde der gesamte einzuschließende Bereich umzäunt.

4.5 **Sanierungskosten und -dauer**

Bauabschnitt	Dauer		Kosten (Hfl.)	
	geplant	real	geplant	real *
2	k.A.	k.A.	980.000	k.A.
3	k.A.	k.A.	932.000	k.A.
4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
5	Feb.-Mai '90	k.A.	661.800	k.A.
6	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

* Die tatsächlichen Kosten liegen nur dem Auftraggeber, der Stadt Zaanstad, vor.

5 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge) und Langzeitüberwachung (Monitoring)

5.1 Behandlung von kontaminierten Medien (Nachsorge)

Nach Fertigstellung der vertikalen Dichtwand wurde die Grundwasserreinigungsanlage noch drei Monate weiterbetrieben. Das hydraulische Gefälle zu der isolierten Fläche wird weiterhin aufrecht erhalten. Die Stauwassermengen im umschlossenen Bereich nahmen mit der Fertigstellung der Dichtwand ab. Die Schadstoffbelastung des Stauwassers war so gering, daß das Wasser direkt in die Kanalisation geleitet werden konnte.

5.2 Langzeitüberwachung (Monitoring)

Innerhalb und außerhalb der isolierten Fläche, wurden Beobachtungsbrunnen für Grund- und Sickerwasser eingerichtet, die zweimal jährlich beprobt werden. Außerdem finden regelmäßige Kontrollen der Setzung statt.

Die Sachgebiete „Altlasten“ und „Bodenschutz“ umfassen zu einem gewissen Anteil artverwandte Themen und Fragestellungen. Es bietet sich daher an, Publikationen des Landes Nordrhein-Westfalen zu diesen Themenkreisen zukünftig in einer gemeinsamen Schriftenreihe herauszugeben. Die eingeführte Reihe „Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten“ (MESA) wurde daher für Beiträge zum Bodenschutz geöffnet und gleichzeitig in „Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz“ (MALBO) umbenannt.

In der Reihe werden

- **Schlußberichte über Untersuchungsvorhaben**, die im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen zu Altlastenfragen und zum Bodenschutz durchgeführt worden sind, sowie
- **ausgewählte Ergebnisse sonstiger wissenschaftlicher Arbeiten** und Beratungen zu diesen Themenfeldern veröffentlicht, um sie der praktischen Anwendung, der fachlichen Diskussion und der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Bisher sind erschienen in der Reihe „**Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten**“ (MESA):

- Band 1** Untersuchungen über ein Konzept zur Ermittlung von Grundwassergefährdungen durch Altablagerungen und Altstandorte
- Band 2** Anwendbarkeit von Richt- und Grenzwerten aus Regelwerken anderer Anwendungsbereiche bei der Untersuchung und sachkundigen Beurteilung von Altablagerungen und Altstandorten
- Band 3** Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1930 – 1950)
- Band 4** Erfassung und Auswertung der Hintergrundgehalte ausgewählter Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens
- Band 5** Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten in Nordrhein-Westfalen (Schwerpunkt 1900 – 1930)
- Band 6** Mobilisierung von Schwermetallen in Porenwässern von belasteten Böden und Deponien: Entwicklung eines aussagefähigen Elutionsverfahrens
- Band 7** Beurteilung von PCB und PAK in Kulturböden
- Band 8** Feststoffuntersuchungsprogramme für Altstandorte der Metallbearbeitung
- Band 9** Hinweise für die einzelfallbezogene Erfassung von Verdachtsflächen rüstungs- und kriegsbedingter Altlasten
- Band 10** Feldversuche zur mikrobiologischen Sanierung eines PAK-belasteten Bodens (ehemaliger Gaswerksstandort) in Solingen-Ohligs
- Band 11** Anforderungen an Gutachter, Untersuchungsstellen und Gutachten bei der Altlastenbearbeitung
- Band 12** Konversion militärischer Liegenschaften: Altlasten / Bodenbelastungen. Lösungsansätze aus der Praxis
- Band 13** Lysimeterversuche zum Verhalten persistenter organischer Schadstoffe im System Boden/Pflanze

in der Reihe „**Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz**“ (MALBO):

- Band 1** Erhebungen über Altlast-Verdachtsflächen auf militärischen Liegenschaften
- Band 2** Mobilität anorganischer Schadstoffe in Böden Nordrhein-Westfalens
- Band 3** Auswertung der Erfahrungen aus durchgeführten Sicherungsmaßnahmen bei Altlasten