



PESCHLA + ROCHMES GMBH

in Zusammenarbeit mit

BIG Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH

**SÄURETEERTEICH GAU-ALGESHEIM
[ALGALA 339.03.019-206]**

AUFTRAG

**VORPLANUNG/VARIANTENSTUDIE
ZUR SANIERUNG DES SÄURETEERTEICHES
- ERLÄUTERUNGSBERICHT -**

AUFTRAGGEBER

**STRUKTUR- UND GENEHMIGUNGSDIREKTION SÜD
NEUSTADT AN DER WEINSTRASSE
FRIEDRICH-EBERT-STRASSE 14
67433 NEUSTADT**

AZ: Q:\P06003\BERICHTE\SP2\TEXT071029.DOC

1. AUSFERTIGUNG vom 29. Oktober 2007

PESCHLA + ROCHMES GMBH
Hertelsbrunnenring 7
67657 Kaiserslautern
Telefon (06 31) 3 41 13 - 0
Fax (06 31) 3 41 13 - 99

info@gpr.de
www.gpr.de

Sitz der Gesellschaft: Kaiserslautern
Amtsgericht Kaiserslautern: HRB 3029
Geschäftsführer:
Dipl.-Geol. Horst Peschla
Dipl.-Geol. Michael Rochmes

Unser Unternehmen ist zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000, Reg.-Nr. QA 01 100 04144



INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. VORGANG	7
2. ALLGEMEINE ANGABEN ZUM STANDORT	7
2.1 Lage, Situation	7
2.2 Geologische und Hydrogeologische Verhältnisse	8
3. BESTANDSAUFNAHME	9
3.1 Vorhandene Unterlagen und Informationsquellen	9
3.2 Zusammenfassung der bis 2005 vorliegenden Untersuchungsergebnisse und des Aktenmaterials	10
4. ERGÄNZENDE TECHNISCHE ERKUNDUNGEN 2006	14
4.1 Erkundungskonzept Gesamtstandort	14
4.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	15
4.2 Erkundungskonzept Detailerkundung Grubenrand Nord	16
4.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	16
5. GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG	18
5.1 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) – Mensch	19
5.2 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) - Nutzpflanze	20
5.2.1 Flächen im näheren Umfeld des Säureteerteichs	20
5.2.2 Direkt an den Säureteerteich angrenzende Flächen	21
5.3 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) - Grundwasser	21
5.4 Sonstige Einwirkungen	23
5.5 Zusammenfassung	23
6. HANDLUNGSBEDARF UND ABLEITUNG VON SANIERUNGSZIELEN	24
6.1 Sofortmaßnahmen	24
6.2 Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr zukünftiger Gefahren	25
6.3 Sonstige Maßnahmen	26
6.4 Zusammenfassung	26
7. VORAUSWAHL, KURZDARSTELLUNG UND ERSTE BEWERTUNG VON SANIERUNGSVERFAHREN	27
7.1 Vorgehensweise	27
7.2 Differenzierung von Sanierungsverfahren	28
7.3 Auswahlkriterien	28
7.4 Vorauswahl von Sanierungsverfahren	29
7.5 Kurzdarstellung und Bewertung der vorausgewählten Sanierungsverfahren	30
7.5.1 Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	30
7.5.2 Sicherungsverfahren	31
7.5.3 Dekontaminationsverfahren	42
7.6 Zusammenfassung	51
8. DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER SANIERUNGSVARIANTEN	53
8.1 Allgemeines	53
8.2 Variante 1: Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	54
8.2.1 Erläuterungen	54
8.2.2 Erfordernis einer Nachsorge	58

8.2.3	Zusammenfassung	58
8.3	Variante 2: Sicherung durch Oberflächenabdeckung	59
8.3.1	Allgemeines	59
8.3.2	Oberflächenabdeckungen	59
8.3.3	Aufbau der Oberflächenabdeckungen	60
8.3.4	Erfordernis einer Nachsorge	66
8.3.5	Entwicklungsstand und Marktverfügbarkeit	67
8.3.5	Zusammenfassung	68
8.4	Variante 3: Sicherung durch Oberflächenabdichtung und Dichtwandumschließung	68
8.4.1	Allgemeines	68
8.4.2	Oberflächenabdichtungen	69
8.4.3	Vertikale Abdichtungen	78
8.4.4	Herstellung eines tragfähigen Planums	86
8.4.5	Arbeits- und Emissionsschutz	92
8.4.6	Erfordernis einer Nachsorge	93
8.4.7	Zusammenfassung	94
8.5	Variante 4: Teilaushub, Konditionierung und externe Entsorgung der Abfälle	94
8.5.1	Allgemeines	94
8.5.2	Abfallentsorgung	96
8.5.3	Aushub	104
8.5.4	Konditionierung	106
8.5.5	Transport	112
8.5.6	Wiederverfüllung und Oberflächenabdeckung	113
8.5.7	Arbeits- und Emissionsschutz	114
8.5.8	Erfordernis einer Nachsorge	116
8.5.9	Zusammenfassung	116
8.6	Variante 5: Komplettaushub, Konditionierung und externe Entsorgung der Abfälle	117
8.6.1	Allgemeines	117
8.6.2	Abfallentsorgung	118
8.6.3	Aushub	123
8.6.4	Konditionierung	124
8.6.5	Transport	125
8.6.6	Baugrubenverbau	125
8.6.7	Arbeits- und Emissionsschutz	126
8.6.8	Erfordernis einer Nachsorge	126
8.6.9	Zusammenfassung	126
9.	VARIANTENVERGLEICH	127
9.1	Fachliche Bewertung der Sanierungsvarianten	127
9.2	Wirksamkeit	128
9.2.1	Variante 1	128
9.2.2	Variante 2	130
9.2.3	Variante 3	131
9.2.4	Variante 4	134



9.2.5	Variante 5	136
9.3	Auswirkungen	137
9.3.1	Variante 1	137
9.3.2	Variante 2	138
9.3.3	Variante 3	139
9.3.4	Variante 4	139
9.3.5	Variante 5	140
9.4	Kosten	141
9.4.1	Variante 1	142
9.4.2	Variante 2	143
9.4.3	Variante 3	143
9.4.4	Variante 4	146
9.4.5	Variante 5	148
9.5	Kostenübersicht	149
9.6	Bewertung der Varianten und Empfehlung	151
10.	ZUSAMMENFASSENDES ERGEBNIS DER VARIANTENSTUDIE / VORZUGSVARIANTE	155

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Vorauswahl Sanierungsverfahren	52
Tabelle 2:	Regelaufbau eines Oberflächenabdichtungssystems nach TASI	70
Tabelle 3:	Kosten verschiedener Dichtwandsysteme	85
Tabelle 4:	Zuordnung der Abfallarten Variante 4	97
Tabelle 5:	Zuordnung der Abfallarten Variante 5	119
Tabelle 6:	Kostenprognose Variante 1	142
Tabelle 7:	Kostenprognose Variante 2	143
Tabelle 8:	Kostenprognose Variante 3	144
Tabelle 9:	Kostenprognose Variante 3a (ohne Dichtwand)	145
Tabelle 10:	Kostenprognose Variante 4	146
Tabelle 11:	Kostenprognose Variante 5	148
Tabelle 12:	Minimal- und Maximalkosten Variante 5	149
Tabelle 13:	Zusammenstellung der prognostizierten Kosten nach Varianten	150

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Beispielhafte Prinzipskizze der Oberflächenabdeckung	62
Abb. 2:	Prinzipieller Aufbau der lastverteilenden Unterkonstruktion und der Oberflächenabdichtung	90
Abb. 3:	Rückverflüssigung einer Säureteerablagerung (BNA-Verfahren)	107
Abb. 4:	Vereisung eines Teerölbehälters	108
Abb. 5:	Teerkonditionierung mit Tieföffelbagger	110
Abb. 6:	Teerkonditionierung mittels Vertikalfräse	111
Abb. 7:	Typen von Containern mit Deckeln	113



ANLAGENVERZEICHNIS

1. Übersichtslageplan, M 1:25.000
2. Lageplan, M 1: 200
3. Zusammenstellung diverser Unterlagen aus dem vorhandenem Aktenmaterial
 - 3.1 Schreiben der Firma Avenarius von 1970, Blatt 1 - 2
 - 3.2 Diverse Schreiben des Landratsamts Mainz-Bingen und der Stadtverwaltung Gau-Algesheim bzgl. der Abdeckmaßnahme, Zeitraum um 1972 bis 1978, Blatt 1 - 8
 - 3.3 Untersuchungsbericht Landesamt für Gewässerkunde vom 19.03.1981, Blatt 1 – 5
 - 3.4 Flurkarte, Maßstab 1 : 1000
4. Luftbild (Ausschnittsvergrößerung) von April 1962, M ca. 1:750
5. Fototafel, Blatt 1 - 6
6. Kostenprognose der Varianten, Blatt 1 - 6
7. Monetarisierung der Nachsorgekosten
 - 7.1 Variante 1, Blatt 1 - 2
 - 7.2 Variante 2, Blatt 1 - 2
 - 7.3 Variante 3, Blatt 1 - 2
 - 7.4 Variante 4, Blatt 1 - 2

VERWENDETE UNTERLAGEN

- [1] Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17. März 1998
- [2] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999
- [3] Landes-Bodenschutzgesetz Rheinland-Pfalz vom 25. Juli 2005
- [4] ALEX - Merk- und Infoblätter, Aktualisierungsstand: Juli 2007
- [5] Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln -, Stand: 6. November 2003
Teil II: Technische Regeln für die Verwertung; 1.2-Bodenmaterial (TR Boden), Stand: 5. November 2004
- [6] Umweltgutachten, Ingenieur- und Hydrogeologisches Institut Dr. Haag, Kornwestheim von 1990
- [7] Problematik industrieller Altlasten am Beispiel einer Säureharz-Altlastlagerung, Diplomarbeit von 1991, Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Abt. Bingen, Fachbereich Umweltschutz
- [8] Grundwasserüberwachung im Bereich des Säureteerteichs Gau-Algesheim, Berichte Rubel + Partner, Wörrstadt
- [9] Säureteerteich Gau-Algesheim, Ergänzende technische Erkundungen, Untersuchungsbericht Peschla + Rochmes GmbH vom 6. September 2006
- [10] Säureteerteich Gau-Algesheim, Detailerkundung nördlicher Grubenrand, Untersuchungsbericht Peschla + Rochmes GmbH vom 14. November 2006
- [11] Landesabfallwirtschaftsgesetz von Rheinland- Pfalz (LAbfWG) vom 2. April 1998
- [12] Landesbodenschutzgesetz (LBodSchG) Rheinland-Pfalz vom 25. Juli 2005
- [13] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Entwurf 30.09.2004
- [14] Vermerk Besprechung vom 10. Januar 2007, SGD Süd, Az: 315-81/MZB (05/013)-Mu
- [15] Ergebnisvermerk Besprechung vom 15. März 2007, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, Az: 1075-897 60-87.04.01

1. VORGANG

Eine ehemalige Sandgrube in der Gemarkung Gau-Algesheim wurde über einen Zeitraum von ca. 18 Jahren mit Abfallprodukten aus der Altölaufbereitung, so genannten Säureharzen oder Säureteeren, verfüllt.

Die Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd in 67433 Neustadt beauftragte unser Büro am 27. April 2006 mit der Erarbeitung einer Vorplanung/Variantenstudie über Sanierungsmöglichkeiten.

Auf Basis der Ergebnisse der Variantenstudie soll dann in einem 2. Schritt die Entscheidung über die weiter zu verfolgende Sanierungsvariante getroffen werden.

Die Variantenstudie dient dann auch als Grundlage für die anschließende Planungs- und Umsetzungsphase etwaiger Sanierungsmaßnahmen.

Im Vorfeld der vorliegenden Sanierungsvorplanung/Variantenstudie waren ergänzende technische Erkundungen zum Erhalt noch fehlender, für die Durchführung einer Variantenstudie wesentlicher Daten, erforderlich. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Berichten der Peschla + Rochmes GmbH vom 06. September 2006 [9] und vom 14. November 2006 dokumentiert [10].

Die Gesamtergebnisse der Variantenstudie werden nachfolgend aufgeführt. Verschiedene Kapitel der Variantenstudie wurden federführend durch die Professor Burmeier Ingenieurgesellschaft, Gehrden, erstellt. Im Einzelnen sind dies die Kapitel 7, 8 und 9.

Bei der Bearbeitung wurden sämtliche bisher vorliegenden Daten zum Standort sowie die Ergebnisse der ergänzenden technischen Erkundungen berücksichtigt.

2. ALLGEMEINE ANGABEN ZUM STANDORT

2.1 Lage, Situation

Der „Säureteerteich“ liegt etwa 750 m westlich des Ortsrands der Gemeinde Gau-Algesheim und grenzt unmittelbar an die Ost-West-verlaufende DB-Hauptstrecke Mainz - Koblenz an. Der Standort befindet sich innerhalb der Trinkwasserschutzzone III der etwa 1.000 m NNE-lich gelegenen Trinkwasserversorgungsbrunnen der Stadtwerke Bingen.

Das Gelände ist überwiegend eben und verläuft auf einem mittleren Höhengniveau von ca. 86,5 mNN. Im direkten Umfeld des Säureteerteichs befinden sich landwirtschaftlich genutzte Flächen (vorwiegend Obstanbau).

Bei dem Standort handelt es sich um eine ehemalige Sandgrube, die im Jahr 1928 von der Firma Avenarius, Gau-Algesheim, erworben wurde. Ab 1939 wurde die Grube mit Produktionsrückständen aus der Altölaufbereitung (Säureharze) verfüllt. Die Ablagerungen wurden 1957 eingestellt, da ab diesem Zeitpunkt gemäß alten Akten eine Genehmigungspflicht und hiermit verbundene Auflagen resultierten.

Um den Säureteerteich wurde Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts ein Erdwall geschüttet. Die Höhendifferenz zwischen dem Wall und dem umliegenden Urgelände beträgt ca. 1,3 m. Der Niveauunterschied zwischen Oberkante Erdwall und Säureteeroberfläche beträgt meist nur wenige Zentimeter. Der Randwall ist stark mit Büschen und Sträuchern bewachsen, sodass der Säureteerteich vom umliegenden Gelände aus, zumindest während der Vegetationsperiode, relativ schwer einsehbar ist.

Einen Überblick der Standortsituation gibt die Fototafel der Anlage 5.

Heutiger Grundstückseigentümer des Säureteerteichs (Flur 6, Flurstück 91) ist Herr Boris Avenarius-Herborn.

In der Vergangenheit wurden verschiedene Sanierungs- und Sicherungsmaßnahmen für den Standort angedacht und zum Teil auch umgesetzt. Weiterhin wurden verschiedene Untersuchungsmaßnahmen zur Beurteilung des vom Standort ausgehenden Gefährdungspotenzials durchgeführt (siehe Kapitel 3).

Gemäß den Untersuchungsergebnissen von 1990 [6] hatte der Säureteerteich ein geschätztes Ablagerungsvolumen von ca. 3.000 m³ bei einer Fläche von ca. 700 m² und einer maximalen Ablagerungsmächtigkeit von ca. 6 m.

Die ergänzenden Erkundungen von 2006 [9, 10] ergaben mit ca. 6.600 m³ ein deutlich höheres Ablagerungsvolumen. Zudem sind die ehem. Grubenränder der Sandgrube im Tiefenbereich von 1,0 - 6,0 m als zum Teil stark kontaminiert einzustufen. Das die Ablagerungen unterlagernde Sediment ist in einer Mächtigkeit von ca. 1,5 m kontaminiert. Eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse der ergänzenden Erkundungen enthält Kapitel 4.

2.2 Geologische und Hydrogeologische Verhältnisse

Aus geologischer Sicht befindet sich die ehemalige Sandgrube im Bereich jungquartärer Niederterrassen-Ablagerungen des Rheins. Die Terrassen-Sedimente bestehen im höheren Teil aus Sanden verschiedener Korngrößen und werden in der Sättigungszone von gut durchlässigen Kiesen, bzw. Kies-Sand-Gemischen abgelöst. Die Mächtigkeit dieser Quartärabfolge beträgt im gesamten Untersuchungsbereich ca. 13 m. Signifikante Änderungen in der Fazialen Ausbildung oder der Mächtigkeit des Quartärs sind in nördliche Richtung bis zum Rhein hin nicht zu erwarten.

Die Basis des Quartärs wird von dem tertiären Rupelton, einer mächtigen Abfolge mariner Tonmergel, gebildet.

Der Grundwasserflurabstand wurde im Ablagerungsbereich aktuell mit ca. 7,30 m festgestellt, wobei von natürlichen Grundwasserspiegel-Schwankungen in der Größenordnung von mehreren Dezimetern ausgegangen werden kann.

Aufgrund der hydraulischen Wirksamkeit der „Basistone“ ist innerhalb des Quartärs ein ca. 6 m mächtiger Grundwasserleiter ausgebildet.

Etwa 1.000 m nördlich des Untersuchungsbereiches liegen die dauerhaft in Betrieb befindlichen Förderbrunnen der Stadtwerke Bingen, die ihr Wasser ausschließlich aus dem sehr ergiebigen quartären Grundwasserleiter beziehen.

Auf Basis von Grundwasserstands-Messungen früherer Untersuchungen ergibt sich eine generelle Grundwasserfließrichtung nach Norden auf den Rhein, bzw. die GW-Förderbrunnen gerichtet.

Unter Zugrundelegung von Durchlässigkeitsbeiwerten, zwischen $K = 1 - 2,5 \times 10^{-3}$ m/s, die an umliegenden Landesmessstellen ermittelt wurden, und einer Nutzporosität von $n_0 = 0,2$ kann die Abstandsgeschwindigkeit des strömenden Grundwassers v_a mit ca. 150 – 400 m/a eingeschätzt werden.

3. BESTANDSAUFNAHME

Die Standort-Bestandsaufnahme erfolgte auf der Grundlage der vorliegenden Berichte, Unterlagen und Informationsquellen.

In nachfolgendem Kapitel 3.1 sind die für die Bestandsaufnahme verwendeten Unterlagen aufgelistet, Kapitel 3.2 gibt eine zusammenfassende Darstellung der bis 2005 vorliegenden Untersuchungsergebnisse.

Die Ergebnisse der aktuell durchgeführten ergänzenden technischen Erkundungen sind in Kapitel 4 dargestellt.

3.1 Vorhandene Unterlagen und Informationsquellen

Folgendes Aktenmaterial wurde im Rahmen der Bestandsaufnahme gesichtet und ausgewertet:

- Umweltgutachten, Ingenieur- und Hydrogeologisches Institut Dr. Haag, Kornwestheim von 1990 [6]
- Problematik industrieller Altlasten am Beispiel einer Säureharz-Altanlage, Diplomarbeit von 1991, Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Abt. Bingen, Fachbereich Umweltschutz [7]
- Grundwasserüberwachung im Bereich des Säureteerteichs Gau-Algesheim, Berichte Rubel + Partner, Wörrstadt [8]
- Vorgangsakte der Kreisverwaltung Mainz-Bingen (bestehend aus 4 DIN A4-Aktenordnern)
- Vorgangsakten der SGD Süd Neustadt und der Regionalstelle Mainz
- Anfragen bei der Verbandsgemeinde Gau-Algesheim und der Stadt Gau-Algesheim bezüglich etwaiger Bauakten, Grubenpläne, Genehmigungsunterlagen
- Zeitzeugenbefragung (Herr Arnold Avenarius-Herborn)
- Anfrage bei dem Landesamt für Geologie und Bergbau bezüglich etwaiger Genehmigungsunterlagen und Grubenpläne zu der ehem. Sandgrube
- Luftbild der Ablagerungsfläche von April 1962; Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz.

3.2 Zusammenfassung der bis 2005 vorliegenden Untersuchungsergebnisse und des Aktenmaterials

Aus dem **Aktenmaterial** gehen nachfolgende wesentliche Informationen hervor. Zum Teil werden Originalzitate verwendet, die kursiv und mit Anführungszeichen dargestellt sind.

Gemäß einem Schriftstück der Firma Avenarius vom 19. Oktober 1970 an das Landratsamt Mainz – Bingen wurde die ehem. Sandgrube im Januar 1928 durch die Firma Avenarius erworben. Ab 1939 wurde die Grube mit Produktionsresten aus der Altölaufbereitung gefüllt. Im April 1957 wurde das Befüllen der Grube eingestellt. Das Schriftstück von 1970 ist als Anlage 3.1 beigelegt.

Insgesamt wurde die ehem. Sandgrube somit über einen Zeitraum von ca. 18 Jahren mit Abfallprodukten aus der Altölaufbereitung verfüllt.

Anfang der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde versucht, den Säureteerteich mit Bodenmaterial abzudecken. Verschiedene Schreiben des Landratsamtes Mainz-Bingen sowie der Stadtverwaltung Gau-Algesheim aus diesem Zeitraum sind als Anlage 3.2 beigelegt.

Gemäß den Akten wurden 1972 Erddämme angeschüttet, die „*mittels eines Raupenfahrzeuges auf den Teerteich geschoben wurden*“. Diese Arbeit musste jedoch eingestellt werden, „*da der Ölspiegel entsprechend der Auffüllmenge stieg und auf die angrenzenden Ackergrundstücke zu laufen drohte*“.

Das damalige Wasserwirtschaftsamt Mainz bestand weiterhin darauf, die Oberfläche des Säureteerteichs abzudecken. Das Erdmaterial über der Teichoberfläche sollte danach mindestens in einer Stärke von 0,7 m aufgebracht werden. Hierzu sollte bindiges Material verwendet werden. Im Zeitraum Ende 1972 bis Anfang 1973 wurde dann erneut der Versuch unternommen, den Teerteich abzudecken. Gemäß einem Schreiben des Landratsamtes Mainz-Bingen vom 26. Februar 1973 wurde der Teerteich „*ordnungsgemäß mit Mutterboden abgedeckt*“ und „*die Ablagerungsstelle mit einem Drahtzaun abgegrenzt*“. Diese Abdeckmaßnahme schlug jedoch fehl, da „*die sandigen Erdmassen nach unten absanken und die spezifisch leichteren Altölrückstände wieder an die Oberfläche verdrängt wurden*“. Daraufhin wurde zur Verhinderung des Überlaufens des Teiches auf benachbarte Grundstücke ein Erdwall um die Ablagerungsfläche angeschüttet.

Seit dieser Zeit wurden keine weiteren Anstrengungen bezüglich einer Oberflächenabdeckung unternommen. In Anlage 3.2 sind diverse Schriftstücke aus dem damaligen Zeitraum zu dieser Thematik beigelegt.

Neben dieser Abdeckmaßnahme aus den frühen 70er Jahren wurde 1981 ein Leistungsverzeichnis zur Entleerung des Säureteerteichs in Gau-Algesheim erstellt. Es lagen auch Angebote verschiedener Firmen vor. Es war angedacht, die „Entleerungsarbeiten“ in den Jahren 1981 und 1982 durchzuführen. Die Maßnahme, welche durch das damalige Landesamt für Gewässerkunde Rheinland-Pfalz betreut wurde, ist offensichtlich jedoch nicht weiter verfolgt worden. Warum das Vorhaben nicht weiter verfolgt wurde, geht aus den uns zur Verfügung gestandenen Akten nicht hervor.

Recherchen bezüglich etwaiger vorhandener Detailunterlagen von der ehem. Sandgrube bei den verschiedenen Behörden ergaben, dass keine Genehmigungsunterlagen, Grubenpläne, Bildmaterial und sonstige relevante Unterlagen aus dem damaligen Zeitraum existieren.

Gemäß einer Befragung eines Zeitzeugen, Herrn Arnold Avenarius-Herborn (4. Nachfahren-generation des Unternehmens Avenarius) wurden die Säureteere in Fässern zum Standort herangefahren und über eine betonierte Rampe in die ehem. Sandgrube entleert. Zum Teil waren die Säureteere flüssig bis zähflüssig, zum Teil jedoch auch stichfest durch Vermengung mit Bleicherde. Die entleerten Fässer wurden üblicherweise für die nächsten Befüllvorgänge zur Altölaufbereitungsanlage auf dem Firmenstandort in Gau-Algesheim wieder mitgenommen. Bezüglich des verfüllten Höhenniveaus der Säureteerablagerung erinnert sich Herr Avenarius, dass die Verfüllhöhe maximal das Niveau des umliegenden Geländes erreichte. Die heute ca. 1 - 1,2 m höher gelegene Säureteeroberfläche ist auf die Abdeckmaßnahme aus den früheren 70er Jahren zurückzuführen (Massenverdrängung). Die Verfüllung der Sandgrube begann in den 30 er Jahren des letzten Jahrhunderts, nachdem das Unternehmen Avenarius die Aufarbeitung von Altöl aufnahm (ab 1930).

Bildmaterial, alte Fotos oder Grubenpläne der ehemaligen Sandgrube existieren nach Kenntnis von Herrn Avenarius nicht.

Die angrenzende Bahnlinie existiert bereits seit 1859, was auch über eine entsprechende Nachfrage bei der Deutschen Bundesbahn bestätigt wurde.

Ein über das Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation, Rheinland-Pfalz, bezogenes vergrößertes Luftbild einer Befliegung des Untersuchungsgebiets vom 10. April 1962 (Maßstab ca. 1:750) ist als Anlage 4 beigefügt. In der Bildmitte ist deutlich der Säureteerteich zu erkennen. Die Ablagerung von Säureteeren war zu diesem Zeitpunkt bereits seit ca. 5 Jahren eingestellt. Im nördlichen Teil der Grube ist die o. a. betonierte Rampe zu erkennen. Bei den im Luftbild vereinzelt vorhandenen hellen Flecken an der Säureteeroberfläche könnte es sich möglicherweise um Flüssigkeitseinschlüsse oder aufstehendes Niederschlagswasser handeln.

Weitere Bildflüge vom Untersuchungsgebiet aus dem Zeitraum 1920 bis 1980 gibt es von den Jahren 1944, 1967 und 1970. Gemäß Angaben des Landesamts für Vermessung und Geobasisinformation sind diese Bilder aufgrund z. T. schlechter Qualität und/oder kleinen Maßstäben (1: 12.500) nicht verwertbar.

An **Erkundungsmaßnahmen** zur Beurteilung des vom Säureteerteich ausgehenden Gefährdungspotentials wurden im Zeitraum 1979 bis 1991 folgende Maßnahmen durchgeführt:

Im Jahr 1979 wurde die Grundwasser-Messstelle A1 im direkten Grundwasserabstrom errichtet. Die Lage der Messstelle kann dem Lageplan der Anlage 2 entnommen werden.

Im März 1981 wurden durch das Landesamt für Gewässerkunde, Rheinland-Pfalz, 5 Sondierbohrungen auf dem Säureteerteich durchgeführt. Diese Sondierungen ergaben, dass „unter einer, bei dem herrschenden kühlen Wetter begehbaren, rd. 2 m hohen Mischschicht von Sand, Öl, Bitumen und Mineralsäure (rd. 2.500 m³), sich eine rd. 4 m hohe, im Wesentlichen flüssige Schicht, vermutlich von verunreinigter Mineralsäure, befand“.

Gemäß Massenermittlung des Landesamtes für Gewässerkunde ist von ca. 2.500 m³ verfestigter Mischschicht an der Oberfläche sowie von ca. 2.500 m³ flüssiger Teichinhaltsstoffe auszugehen.

Der damalige Untersuchungsbericht ist als Anlage 3.3 beigelegt.

Im Jahr 1990 wurden weitere Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung durch das Ingenieur- und Hydrogeologische Institut Dr. Haag [6] durchgeführt. Wesentliche Erkenntnisse dieser Untersuchungen werden nachfolgend zitiert:

„Unmittelbaren Gefahren“

„Bei sommerlichen Temperaturen ist der Säureteerteich ohne Hilfsmittel nur kurzfristig begehbar. Im zentralen Bereich der Ablagerung besteht die Gefahr des Einsinkens. Eine sofortige Umzäunung des Geländes wird daher dringend empfohlen.

Für Anlieger besteht durch Abdampfvorgänge an der Oberfläche eine merkliche Geruchsbelästigung und eine eventuelle gesundheitliche Beeinträchtigung.

Der angeschüttete Randwall ist durch Bauten von Nagetieren ausgehöhlt. Auf längere Sicht besteht hier die Gefahr des Ausfließens der Ablagerung an stark unterhöhlten Stellen“.

„Gefährdung des Grundwassers“

„Es ist davon auszugehen, dass die Grundwasserqualität, insbesondere in niederschlagsreichen Monaten, durch Schadstoffaustrag aus dem Teerteich beeinträchtigt wird“.

„Gefährdung des Bodenkörpers“

„Die ursprünglich angenommene vertikale Abdichtung der Säureteerablagerung ist durch die Untersuchungen widerlegt. Um ein Gesamtbild über die laterale Ausdehnung der Bodenverunreinigungen im weiteren Umfeld der Ablagerung zu erhalten, müssten jedoch noch weitere Untersuchungen vorgenommen werden“.

„Gefährdung der Luft“

„Eine Gefahr stellt insbesondere bei Brandereignissen die Umsetzung polychlorierter Biphenyle zu Dioxinen und Furane dar. Brände an der Oberfläche des Teerteichs fanden in der Vergangenheit häufiger statt (Anmerkung Unterzeichner: zu Brandereignissen wurden in den gesichteten Akten keine Unterlagen/Angaben gefunden). Um diesbezügliche Risiken zu minimieren bzw. auszuschließen, ist sicherzustellen, dass ein weiterer Brand des Teerteichs durch geeignete Maßnahmen unterbunden wird“.

Eine Grundwasserüberwachung erfolgt unter anderem an der im unmittelbaren Abstrom des Säureteerteichs gelegenen Messstelle A1 sowie an drei weiteren, ca. 200 bis 300 Meter weiter abstromig positionierten Messstellen (P2188, P2213, P2214). Grundwasseruntersuchungen werden seit 1979 durchgeführt. Seit 1997 erfolgen jährliche Untersuchungen [8].

Wesentliche Erkenntnisse aus der bisherigen Grundwasserüberwachung sind:

- Seit Beginn der regelmäßigen Messungen liegen in der Messstelle A1 zeitweise geringfügig erhöhte PAK-Konzentrationen vor. Im Jahr 2004 sowie in der Folgemessung im Januar 2006 wurden dabei die höchsten PAK-Gehalte (Max.-Wert 3,57 µg/l) festgestellt. Im August 2006 wurden mit 0,6 µg/l wieder geringere PAK-Gehalte ermittelt.
- Weitere Schadstoffparameter, wie LHKW oder MKW wurden nur in Spuren nachgewiesen oder lagen unter der Bestimmungsgrenze. Eine einmalig erhöhte MKW-Konzentration im Rahmen der Erstuntersuchung kann ggf. auf Verschleppungen während des Messstellenbaus zurückgeführt werden.
- Die Konzentrationen der erhöht vorliegenden Basisparameter, wie Nitrat, Sulfat, Chlorid etc. sowie der geringfügig erhöhte TOC-Wert (max. 3,2 mg/l) entsprechen der regionalen Hintergrundkonzentration und werden weitestgehend auf landwirtschaftliche Einflüsse zurück geführt.
- Die in der Messstelle A1 vorliegenden Belastungen durch PAK sind offensichtlich auf einen Austrag aus dem Ablagerungsbereich zurückzuführen.
- Die weiter abstromig positionierten Messstellen, die als Vorfeldmessstellen der Trinkwasserförderbrunnen dienen, zeigen keine Auffälligkeiten bzgl. ablagerungstypischen Schadstoffparametern

Die Stadtwerke Bingen betreiben bereits langjährig mehrere Trinkwasserförderbrunnen (Brunnengruppen A und B) ca. 1.000 m NNE-lich der Säureteerablagerung. Gemäß der vorliegenden wasserrechtlichen Erlaubnis ist eine jährliche maximale Grundwasserentnahme von 1.6 Millionen m³ zugelassen.

Aufgrund der hohen Nitratgehalte im Grundwasser wird das bestehende Wasserrecht jedoch nicht ausgeschöpft.

Im Jahr 2005 betrug die Gesamtfördermenge ca. 500.000 m³. Im Jahr 2006 wird die Fördermenge ca. 600.000 m³ betragen. Die Stadtwerke beabsichtigen derzeit nicht, diese Fördermenge zukünftig wesentlich zu erhöhen.

Zusammenfassend ist somit festzustellen, dass aus den vorhandenen Akten zum Standort relativ wenig Fakten und Detailangaben enthalten sind, was bspw. die Grubengeometrie der ehem. Sandgrube, das Ablagerungsvolumen an Säureteeren, den Umfang der Kontaminationen im Bereich der Grubenränder/Grubensohle oder die Abdeckmaßnahme aus den 70er Jahren betrifft.

Was die früheren Erkundungen aus den Jahren 1981 (Landesamt für Gewässerkunde) und 1990 (Institut Dr. Haag) betrifft, so variieren die Angaben zum Ablagerungsvolumen an Säureteeren zwischen ca. 2.600 m³ (Institut Dr. Haag) und ca. 5.000 m³ (Landesamt für Gewässerkunde).

Nähere Erkenntnisse über das Volumen an kontaminiertem Sediment unterhalb der Säureteerablagerungen sowie etwaige Verunreinigungen im Bereich der ehem. Grubenränder lagen nicht vor.

Bezüglich weiterer Sanierungsplanungen für den Standort waren somit ergänzende technische Erkundungen erforderlich um Daten zu o. a. Fragestellungen zu erhalten.

Ergänzende technische Erkundungen wurden durch unser Büro im Sommer 2006 durchgeführt. Die Ergebnisse dieser ergänzenden Erkundungen erforderten eine weitere Detailerkundung des nördlichen Grubenrandes, was im Herbst 2006 ausgeführt wurde.

Die wesentlichen Ergebnisse beider Erkundungsmaßnahmen sind im nachfolgenden Kapitel 4 zusammenfassend dokumentiert.

4. ERGÄNZENDE TECHNISCHE ERKUNDUNGEN 2006

4.1 Erkundungskonzept Gesamtstandort

Folgende Fragestellungen bzw. Untersuchungsziele sollten im Rahmen der ergänzenden technischen Erkundungen überprüft werden:

- Überprüfung der Ablagerungsgeometrie der Säureteerablagerungen und damit des Ablagerungsvolumens
- Verunreinigungsgrad des unterlagernden Sedimentes/Bodens
- Überprüfung des Randwallmaterials und der unterlagernden ehemaligen Grubenränder auf etwaige Verunreinigungen
- Schadenseingrenzung der im Rahmen früherer Erkundungen detektierten Verunreinigung im nordwestlichen Außenbereich
- Untersuchung der Säureteerablagerung im Hinblick auf ihre Eignung zur thermischen Entsorgung/Verwertung.

Die Ergebnisse der ergänzenden Untersuchungen sollten dann auch zur Beurteilung der Fragestellung herangezogen werden, ob ergänzende Grundwasseruntersuchungen mittels der Errichtung von neuen Grundwassermessstellen erforderlich sind.

Das Untersuchungsprogramm wurde entsprechend den dargestellten Untersuchungszielen unter Berücksichtigung der bereits vorliegenden Erkenntnisse erstellt und mit der SGD Süd abgestimmt.

Die Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

4.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur ergänzenden Erkundung des Standortes wurden im Juli 2006 insgesamt 24 Sondierbohrungen bis maximal 8,1 m Tiefe abgeteuft.

Die Bohrarbeiten und Probenahmen wurden entsprechend den Vorgaben des speziell für die Erkundungsarbeiten erstellten Arbeits- und Sicherheitsplans durchgeführt.

Mit den ergänzenden Erkundungen wurden die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse, was die maximale Ablagerungsmächtigkeit und die Ablagerungsgesamtfläche betrifft, bestätigt. Nicht bestätigt wurden die 1990 kartierten geringeren Ablagerungsmächtigkeiten im Bereich der Randzonen des Säureteerteichs.

Bei einer anzunehmenden durchschnittlichen Mächtigkeit der Säureteerablagerungen von 5,5 m und einer Ablagerungsfläche von ca. 1.200 m² ergibt sich ein Ablagerungsvolumen an Säureteeren von ca. 6.600 m³.

Auf Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist davon auszugehen, dass das sandige Sediment unterhalb der Säureteerablagerung in einer Mächtigkeit von ca. 1,5 m kontaminiert ist. Bei einer Fläche von ca. 1.200 m² ist somit mit ca. 1.800 m³ kontaminiertem Sediment zu rechnen.

Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass die Basis des kontaminierten Sediments nur knapp oberhalb der aktuell festgestellten Grundwasseroberfläche liegt und damit durchaus im Grundwasserschwankungsbereich.

Die den Randwall unterlagernden Bereiche der ehem. Grubenränder der Sandgrube sind im Tiefenbereich von 1,0 - 6,0 m als zum Teil stark kontaminiert einzustufen. Aus den Untersuchungsergebnissen leitet sich ein kontaminiertes Volumen der ehem. Grubenränder von ca. 3.400 m³ ab.

Das untersuchte Randwallmaterial ist im oberflächennahen Bereich bis ca. 1 m unter Gelände als gering bis nicht belastet einzustufen.

Mit den Untersuchungsergebnissen wird weiterhin bestätigt, dass sich ein Kontaminationsband der Säureteerablagerungen in den nordwestlichen Bereich außerhalb der eigentlichen Ablagerungsgrube gebildet hat. Hierbei handelt es sich um eine relativ kleinräumige Verunreinigung mit einem kontaminierten Bodenvolumen von ca. 60 - 100 m³.

Die Deklarationsuntersuchungen am Säureteermaterial ergaben, dass eine thermische Verwertung durchaus möglich ist, was jedoch eine Konditionierung des Materials im Vorfeld erforderlich machen wird.

Die Grundwasser-Messstelle A1, die zur regelmäßigen Überwachung herangezogen wird, liegt im zentralen Abstrom der Ablagerung. Die Messstelle ist aufgrund ihrer Lage und ihres Ausbaus als repräsentative Abstrommessstelle anzusehen. Auf die Errichtung weiterer Messstellen zur Abstromüberwachung kann daher zunächst verzichtet werden.

Die in der Messstelle vorliegenden geringen PAK-Belastungen sind offensichtlich auf einen Austrag aus dem Ablagerungsbereich zurückzuführen. Die regelmäßige Grundwasserüberwachung sollte auf jeden Fall fortgesetzt werden.

Weitere Details können dem Untersuchungsbericht vom 6. September 2006 [9] entnommen werden.

4.2 Erkundungskonzept Detailerkundung Grubenrand Nord

Aufgrund der in Kapitel 4.1. dargestellten neuen Ergebnisse sowie zur Verdichtung der Erkenntnisse des nördlichen Grubenrandes, insbesondere im Zusammenhang mit Standsicherheitsfragen der angrenzenden Bahnlinie bei zukünftigen Sanierungsmaßnahmen, war eine zusätzliche Detailerkundung erforderlich.

Folgende Fragestellungen bzw. Untersuchungsziele sollten im Rahmen der Detailerkundung des nördlichen Grubenrandes überprüft werden:

- Überprüfung des Randwallmaterials und der unterlagernden ehemaligen Grubenränder auf etwaige Verunreinigungen
- Vertikale Schadensabgrenzung sowie Schadensabgrenzung zum nördlich angrenzenden Wirtschaftsweg/Bahndamm
- Bodenmechanische Klassifizierung der anstehenden Erdstoffe
- Erdstatische Berechnungen bzgl. der Standsicherheit der nördlichen Böschung bei Sanierungsaushub ohne Sicherungsmaßnahmen
- Beurteilung von etwaigen erforderlichen baulichen Sicherungsmaßnahmen für die Sanierungsvariante „Aushub“.

Das Untersuchungsprogramm wurde entsprechend den dargestellten Untersuchungszielen unter Berücksichtigung der bereits vorliegenden Erkenntnisse erstellt und mit der SGD Süd abgestimmt.

Die Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

4.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur ergänzenden Erkundung des nördlichen Bereichs wurden im Oktober 2006 insgesamt 9 Sondierbohrungen bis maximal 8,0 m Tiefe sowie 3 Rammsondierungen bis maximal 10,0 m Tiefe niedergebracht.

Insgesamt konnte mit den durchgeführten laborchemischen Untersuchungen an Bodenproben eine Tiefenabgrenzung der Kontaminationen im Bereich des nördlichen Grubenrandes erhalten werden. Danach sind die den Randwall unterlagernden Bereiche der ehem. Grubenränder im Tiefenbereich von 1,0 - 6,0 m als zum Teil stark kontaminiert einzustufen. Damit werden die Ergebnisse der Erkundungsmaßnahmen von Sommer 2006 bestätigt. Was die laterale/horizontale Schadstoffausbreitung betrifft, so ist nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen mit unterschiedlich mächtig belasteten Abschnitten im Bereich der Grubenränder zu rechnen. Während der westliche und östliche Teil des nördlichen Grubenrandbereichs zum Teil Verunreinigungen noch bis in den Bereich des Wirtschaftsweges aufweist, wurden im zentralen Abschnitt der Untersuchungsfläche keine Verunreinigungen nachgewiesen.

Basierend auf den bereits im Sommer 2006 durchgeführten Volumenbetrachtungen der kontaminierten Grubenränder wurde auf Grundlage der durchgeführten Detailerkundung eine Abgrenzung der Belastungen sowie eine Überprüfung der ermittelten Volumina durchgeführt. In der Summe ergibt sich dabei für den nördlichen Grubenrandbereich ein Volumen von ca. 900 m³ kontaminierter Grubenränder. Trotz der im Rahmen der vorliegenden Detailerkundung festgestellten relativ inhomogenen Verhältnisse – was die laterale Schadstoffausbreitung betrifft- entspricht dies in etwa den im Rahmen der ersten Volumenberechnung [9] ermittelten Ergebnissen.

Unter der Voraussetzung, dass an den übrigen drei bisher nicht näher erkundeten Grubenränder im Süden, Osten und Westen ähnliche Verhältnisse vorherrschen, kann weiterhin von einem Gesamtvolumen an kontaminiertem Grubenrandmaterial von ca. 3.400 m³ ausgegangen werden.

Die durchgeführten erdstatischen Berechnungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Der Ausbau der Säureteerablagerungen (ohne belastete Randsedimente) ist nach den Berechnungsergebnissen auch ohne den Einsatz eines Baugrubenverbaus möglich. Für diesen Fall ist der Böschungswinkel der Baugrubenböschung jedoch auf maximal 40° zu begrenzen.

Für den Ausbau der belasteten Grubenrandsedimente ist eine Baugrubensicherung erforderlich. Erfolgt die Baugrubensicherung lediglich über ein Abböschchen der Baugrubenwände, so verbleibt im Bereich der östlichen und westlichen Teilabschnitte des nördlichen Grubenrandes ein Anteil an belastetem Randsediment von ca. 400 m³.

Ein Kompletttaushub der Säureteerablagerungen inkl. sämtlicher belasteter Randsedimente ist nur mit einem Einsatz eines geeigneten Baugrubenverbaus durchführbar. Im vorliegenden Fall wird hierzu eine überschnittene Bohrpfahlwand empfohlen. Die Herstellungskosten für eine überschnittene, rückverankerte Bohrpfahlwand werden überschlägig mit ca. 250 - 300 €/m² abgeschätzt. Ausgehend von einer erforderlichen Länge der Bohrpfahlwand von ca. 30 - 40 m (inkl. Seiteneinbindung der West- und Ostflanke) und einer erforderlichen Pfahllänge von ca. 10 m ergeben sich geschätzte Baukosten von ca. 75.000 - 120.000 € (netto).

5. GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Sämtliche bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse bilden die Grundlage für die Beurteilung des vom Standort ausgehenden Gefährdungspotenzials.

Gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz [1] und Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [2] ist eine wirkungspfadbezogene Beurteilung der von den Säureteerablagerungen ausgehenden Gefahren vorzunehmen.

Hierbei sind folgende vom Säureteer direkt oder indirekt ausgehende Wirkungspfade zu berücksichtigen:

- Direktkontakt Säureteer → Mensch und Säureteer → Luft → Mensch
- Säureteer → Boden → Nutzpflanze (Tier) → Mensch
- Säureteer → Sickerwasser (Boden) → Grundwasser

Daneben werden auch mögliche Gefährdungen durch Brandereignisse sowie Gefährdungen von Tieren durch Direktkontakt betrachtet.

Für die Gefahrenbeurteilung sind die spezifischen Randbedingungen des Standortes zu berücksichtigen wie z.B.

- Aktuelle und geplante Nutzung, planungsrechtlich zulässige Nutzung
- Schadstoffinventar, Stoffeigenschaften
- Geologische/hydrogeologische Gegebenheiten (siehe Kapitel 2)
- Mögliche Expositions-/Wirkungspfade.

Gemäß aktuellem Flächennutzungsplan ist der Säureteerteich als Altlast gekennzeichnet. Für die umliegenden Flächen ist eine landwirtschaftliche Nutzung festgeschrieben. Nutzungsänderungen im Untersuchungsgebiet sind nach Angaben der Verbandsgemeinde Gau-Algesheim nicht geplant.

Die nachfolgende Gefährdungsabschätzung berücksichtigt entsprechend die Nutzung „Landwirtschaftliche Flächen“.

Bzgl. der Stoffeigenschaft können Säureteere zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden:

Säureteerrückstände sind das Reaktionsprodukt aus konzentrierter Schwefelsäure und Altöl im Zuge der Altölaufbereitung. Säureteere bestehen somit aus einem hohen Anteil an polymerisierten Kohlenwasserstoffen (Harzen), Sulfonsäuren und Schwefelsäure. Hierdurch haben Säureteere einen stark schwefelsauren Charakter und aggressive, stark ätzende Eigenschaften.

Die nachfolgende wirkungspfadbezogene Gefährdungsabschätzung umfasst sowohl Gefahren durch die abgelagerten Säureteere selbst wie auch von den kontaminierten Grubenrandbereichen/Grubensediment ausgehende Gefahren. Daher wurde nachfolgend die Bezeichnung Wirkungspfad „Boden (Altablagerung)“ gewählt.

5.1 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) – Mensch

Der gesamte Säureteerteich verfügt über eine Umzäunung, welche jedoch in einem relativ schlechten Zustand ist und leicht von Menschen überwunden werden kann. Von den Säureteerablagerungen ausgehende Gefahren für Menschen sind somit zu besorgen.

Hierbei sind insbesondere nachfolgende konkrete Gefahren für Personen, welche innerhalb des abgezäunten Bereiches des Säureteerteiches vordringen, zu nennen:

- Gefahr des Einsinkens bei Betretung der Säureteeroberfläche, insbesondere in den Sommermonaten bei erhöhten Temperaturbedingungen.
- Verätzungsgefahr durch direkten Kontakt mit den Säureteerablagerungen und/oder mit auf der Säureteeroberfläche zeitweise vorhandenem Niederschlagswasser.

Darüber hinaus sind auch nachfolgende mögliche Gefährdungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung zu betrachten:

- **Brandereignisse** stellen eine nicht auszuschließende relevante Gefährdung dar, welche gemäß vorhandenen Unterlagen [6] in der Vergangenheit bereits öfter stattgefunden haben sollen. Hierbei handelt es sich jedoch um keine konkrete Gefahr, da das Selbstentzündungspotential von Säureteerteichen als gering einzustufen ist. Die Gefahr von Brandereignissen ist primär in Verbindung mit potentiellen umliegenden Flächenbränden und dem Übergang von Feuer auf den Säureteerteich sowie auch durch potentielle Brandstiftung zu sehen. Im Falle von Brandereignissen bestehen insbesondere Gefahren für Menschen durch Schadstoffverfrachtungen über den Luftpfad. Das Ablagerungsinventar birgt im Brandfall ein hohes Emissionspotential an kritischen Schadstoffen. Neben der zu erwartenden starken Rußbildung sind erhebliche Emissionen an Schwefeldioxid zu besorgen. Auch die Entstehung von Dioxinen/Furanen ist im Brandfall zu erwarten. Die Gefahr von Sichtbeeinträchtigungen für den unmittelbar angrenzenden Bahnverkehr ist im Brandfall nicht auszuschließen.
- **Gesundheitsbeeinträchtigungen** durch die inhalative Aufnahme der in den Säureteerablagerungen noch enthaltenen leichtflüchtigen Bestandteile sind im direkten Bereich des Säureteerteichs insbesondere während der Sommermonate bei hohen Lufttemperaturen und bei längerem Aufenthalt (Dauerexposition) nicht auszuschließen. Relevante Austräge von Schadstoffen über Abdampfvorgänge sind jedoch aufgrund der 50 Jahre zurückliegenden Beendigung der Ablagerungen u. E. nicht zu befürchten. Leichtflüchtige Bestandteile im oberflächennahen Bereich des Säureteerteichs sind somit überwiegend bereits ausgegast. Dies wird auch durch Erfahrungen von anderen Säureteer-Standorten gestützt. Ohne Eingriffe in den Ablagerungskörper gehen von diesen Standorten mit zunehmendem Ablagerungsalter keine Gefährdungen über Ausgasungen aus. Die im Säureteer enthaltenen MKW und PAK sind schwerflüchtig und somit messtechnisch in der Luft nicht zu erfassen. Im Falle von Eingriffen in den Ablagerungskörper sind hingegen erhöhte Emissionen schwefelhaltiger und daher geruchsintensiver Verbindungen, insbesondere von Schwefeldioxid, zu erwarten. Ein Gefahrenpotenzial durch Schadstoffaustrag über den Luftpfad ist u. E. nicht abzuleiten.

- **Geruchsbelästigungen** können je nach Witterungsverhältnissen (Temperatur, Windrichtung, Luftdruck) von den Säureteerablagerungen ausgehen und auch im weiteren Umfeld der ehem. Sandgrube nicht ausgeschlossen werden.
Da die nächstgelegene Wohnbebauung erst in ca. 800 m Entfernung östlich des Standortes angrenzt, sind Geruchsbelästigungen in dieser Entfernung jedoch nicht zu befürchten. Zu berücksichtigen ist auch in diesem Zusammenhang die ca. 50 Jahre zurückliegende Beendigung der Ablagerungen. Leichtflüchtige Bestandteile im oberflächennahen Bereich des Säureteerteichs sind somit überwiegend bereits ausgegast.
- **Gefährdungen bei Austreten von Säureteer** in das umliegende Gelände durch Direktkontakt auch außerhalb der bestehenden Umzäunung sind aufgrund des schlechten baulichen Zustands des Randwalls latent gegeben.

Insgesamt gehen von dem Säureteerteich in Gau-Algesheim Gefahren für den Menschen aus. Von den oben dargestellten Gefahren sind das Gefährdungspotential für den Direktpfad Altablagerung – Mensch (Einsinkgefahr, Verätzungsgefahr) sowie die Gefahr von potentiellen Brandereignissen am kritischsten einzustufen.

Aus gutachterlicher Sicht sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich.

5.2 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) - Nutzpflanze

Die nachfolgende Gefährdungsabschätzung ist untergliedert in Flächen, welche direkt an den Säureteerteich angrenzen sowie Flächen im näheren Umfeld des Säureteerteichs (siehe Anlage 3.4).

5.2.1 Flächen im näheren Umfeld des Säureteerteichs

Im näheren Umfeld des Säureteerteichs (Grundstückseigentümer: Herr Boris Avenarius-Herborn) befinden sich landwirtschaftlich genutzte Flächen, vorwiegend Obstanbauflächen. Konkrete Gefahren für den Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze, beispielsweise über eine Aufnahme von Schadstoffen durch Pflanzen und eine Schadstoffweitergabe über die Nahrungskette bestehen u. E. nicht, da kein direkter Kontakt des in näherer Umgebung vorhandenen Obstbaum- und Nutzpflanzenbestandes mit den Säureteerablagerungen, bspw. über das Wurzelwerk oder oberirdische Pflanzenteile, besteht.

Geschmackliche Beeinträchtigungen des in direkter Umgebung angebauten Obstes und Gemüses durch den Kontakt der Pflanzen mit leichtflüchtigen, ausgasenden Bestandteilen der Säureteerablagerungen sind unwahrscheinlich, jedoch nicht gänzlich auszuschließen. Die landwirtschaftliche Nutzung ist derzeit eher extensiv, teilweise bereits ganz aufgegeben.

Ein weiter Handlungsbedarf ist für diese Flächen u. E. nicht abzuleiten.

5.2.2 Direkt an den Säureteerteich angrenzende Flächen

Im Norden des Säureteerteichs grenzt direkt ein Wirtschaftsweg (im Eigentum der Stadt Gau-Algesheim), im Osten und Westen grenzt unmittelbar Brachland an. Die Brachflächen im Osten und Westen des Säureteerteiches (Geländestreifen von ca. 5 bis 10 m Breite; Flur 6, Flurstück-Nr. 92, 93, 249/1, 250/1) sind ebenfalls im Eigentum von Herrn Boris Avenarius-Herborn. Die Lage der genannten Flurstücke können der Anlage 3.4 entnommen werden.

Im Süden des Säureteerteichs grenzt direkt eine ackerbaulich genutzte Fläche an. Die zugehörigen Parzellen sind in unterschiedlichem Besitz.

Da innerhalb der an den Säureteerteich direkt angrenzenden Flächen im Norden, Westen und Osten keine landwirtschaftliche Nutzung erfolgt, besteht u. E. für diese Flächen kein weiterer Handlungsbedarf.

Die ackerbaulich genutzte Fläche im Süden wird wie folgt beurteilt:

Über die ergänzenden technischen Erkundungen wurde nachgewiesen, dass bereichsweise z. T. starke Verunreinigungen des Bodenkörpers mit Säureteeren auch außerhalb der ehem. Grube vorliegen [9, 10]. Eine zukünftige Beeinträchtigung von unmittelbar südlich des Randwalls angebauten Pflanzen kann nicht ausgeschlossen werden. Vor diesem Hintergrund sind Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen für einen Teilbereich der ackerbaulich genutzten Fläche in Erwägung zu ziehen (denkbar wäre ein Anbauverbot in einem Abstand von ca. 10 m zum Randwall).

Der Süßkirschbaum an der Südflanke des Säureteerteiches unmittelbar am Fuß der Randwallböschung sollte vorsorglich vor der nächsten Reife als Sofortmaßnahme gerodet werden.

5.3 Wirkungspfad Boden (Altablagerung) - Grundwasser

Von abgelagerten Säureteeren ist bekannt, dass mit zunehmender Ablagerungsdauer ein Alterungs- und Polymerisationsprozess einsetzt, welcher zu einer kompakten und wasserundurchlässigen Schicht führen kann. Dieser Alterungsprozess dürfte am Standort in Gau-Algesheim unter Berücksichtigung der Einstellung der Ablagerungen vor ca. 50 Jahren bereits weit fortgeschritten sein. Darauf deuten auch die Ergebnisse der ergänzenden technischen Erkundungen [9] bzgl. der Konsistenzeigenschaft der Säureteere hin (überwiegend weich bis breiig, pastös).

Eine Auslaugung von Schadstoffen erfolgt über das sich auf der Säureteeroberfläche ansammelnde Wasser aus Niederschlagsereignissen, was durch zurückliegende Untersuchungen [6] belegt ist. Danach wies dieses Wasser einen pH-Wert um 1 auf und enthält hohe Konzentrationen an Schwermetallen (Cadmium: 0,95 mg/l; Chrom: 2,95 mg/l; Kupfer: 3,35 mg/l; Zink: 36,8 mg/l; Blei 0,098 mg/l) sowie Sulfat (6.900 mg/l).

Dieses Wasser wird bevorzugt in den Randzonen im Bereich der ehemaligen Grubenränder eindringen.

Auch sind vertikale Schadstoffverfrachtungen aus den kontaminierten Grubenrandbereichen über Sickerwässer zu erwarten.

Ein weiterer Eintrag von Schadstoffen ins Grundwasser kann durch kontaminierte Sedimente unterhalb der Säureteerablagerungen im Bereich der Grundwassersättigungszone erfolgen. Die Erkundungsergebnisse aus [9] haben ergeben, dass die Mächtigkeit des kontaminierten Sediments unterhalb der Säureteerablagerungen ca. 1,5 m beträgt. Ein Austrag von PAK-Einzelsubstanzen mit höherer Löslichkeit aus dem kontaminierten Sediment in das Grundwasser ist somit zu erwarten.

Dies wird auch durch die Untersuchungsergebnisse an der Grundwassermessstelle A1, die zur regelmäßigen Überwachung herangezogen wird, bestätigt. Die Messstelle liegt im zentralen Abstrom der Ablagerung. Seit Beginn der regelmäßigen Messungen im Jahr 1997 wurden in der Messstelle A1 mehrfach geringfügig erhöhte PAK-Konzentrationen nachgewiesen. Im Jahr 2004 sowie in der Folgemessung im Januar 2006 wurden dabei die höchsten PAK-Gehalte (Max.-Wert 3,57 µg/l) festgestellt. Im August 2006 wurden mit 0,6 µg/l wieder geringere PAK-Gehalte ermittelt.

Die gemessenen PAK-Konzentrationen in der Messstelle A1 überschreiten den orientierenden Prüfwert oPW (0,5 µg/l) gemäß ALEX-Merkblatt -02 [4] sowie den Geringfügigkeitschwellenwert der LAWA [13] für PAK ohne Naphthalin von 0,2 µg/l.

Die in der Messstelle vorliegenden Belastungen sind offensichtlich auf einen Austrag aus dem Ablagerungsbereich zurückzuführen.

Somit ist durch den Einfluss des Schadenskörpers bereits ein wenn auch geringfügiger, räumlich eng begrenzter Grundwasserschaden eingetreten.

Aufgrund der vorhandenen derzeitigen Rahmenbedingungen

- geringe Mobilisierbarkeit der Schadstoffe
- Quasi-Versiegelung durch den Ablagerungskörper
- Lage der Belastungen überwiegend oberhalb der Sättigungszone
- großes Grundwasseraufkommen (Kieslager) im Vergleich zu eintretender Sickerwassermenge.

und der Erkenntnisse aus der regelmäßigen Grundwasserüberwachung ist der Schadstoffaustrag über den Grundwasserpfad eng begrenzt. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine weitere Ausbreitung zumindest unter den gegenwärtigen Grundwasserverhältnissen nicht eintreten wird.

Eine Gefährdung der Trinkwasserversorgungsbrunnen der Stadtwerke Bingen durch den vorhandenen Säureteerteich wird daher unter Beibehaltung der derzeitigen Entnahmemengen ausgeschlossen.

Sollte eine gravierende Verringerung der Fördermengen oder eine Einstellung der Förderung erfolgen, ist allerdings mit einem maßgeblichen Anstieg des Grundwasserspiegels und mit einem verstärkten Schadstoffaustrag aus dem belasteten Sediment zu rechnen. **In diesem Falle wäre eine Neubewertung der Gefährdungslage vorzunehmen.**

5.4 Sonstige Einwirkungen

Für Tiere besteht bei direktem Kontakt mit den Säureteerablagerungen eine Gefährdung. Zu nennen sind z. B. Gefahren für Vögel, welche sich auf der Säureteeroberfläche niederlassen oder auch Gefahren für den im unmittelbaren Randbereich und in der näheren Umgebung der Säureteerablagerungen vorhandenen Tierbestand.

5.5 Zusammenfassung

- Für den Menschen bestehen Gefahren durch Direktkontakt (Einsinken, Verätzungen). Aus gutachterlicher Sicht sind hiergegen Gefahrenabwehrmaßnahmen geboten. Auch hinsichtlich indirekter Gefährdungen durch die Emissionen aus möglichen Brandereignissen sind vorsorgliche Maßnahmen zur Schadensminderung angeraten.
- Gefährdungen über den Luftpfad außerhalb des Standortes können ausgeschlossen werden. Geruchsbelästigungen sind jedoch insbesondere während der warmen Jahreszeit im unmittelbaren Umfeld des Säureteerteichs zu erwarten.
Bei Eingriffen in den Ablagerungskörper ist mit erhöhten Schadstoffemissionen zu rechnen.
- Bei der ackerbaulich genutzten Fläche südlich an die Altablagerung angrenzend kann für den unmittelbaren Nahbereich eine Gefährdung über den Pfad Nutzpflanze - Mensch oder Futterpflanze - Tier- Mensch nicht ausgeschlossen werden. Entsprechende Nutzungsbeschränkungen erscheinen angeraten.
- Eine Gefährdung der Trinkwassergewinnung Bingen kann derzeit ausgeschlossen werden. Die lokal sehr eng begrenzte Verunreinigung des Grundwassers wird sich unter den gegenwärtigen Grundwasserverhältnissen nicht weiter ausbreiten, bedarf aber der Überwachung. Bei gravierender Verringerung der Entnahmemengen oder Einstellung der Förderung ist eine Neubewertung der Gefährdungslage erforderlich.
- Schädigungen von Tieren bei Kontakt mit dem Säureteer können nicht ausgeschlossen werden.

6. HANDLUNGSBEDARF UND ABLEITUNG VON SANIERUNGSZIELEN

Die in Kapitel 5 vorgenommene Gefährdungsabschätzung bildet die Basis für die Ableitung eines Handlungsbedarfs.

Nachfolgend wird unterschieden zwischen erforderlichen Sofortmaßnahmen (Kap. 6.1) aufgrund unmittelbarer Gefahren, Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr künftiger Gefahren (Kap. 6.2) sowie sonstiger Handlungsbedarf (Kap. 6.3).

Es sei darauf hingewiesen, dass in diesem Bericht der Begriff ‚Sanierung‘ nicht im engen Sinne von § 2 (7) BBodSchG sondern umfassender als Maßnahmen zur Gefahrenabwehr gebraucht wird.

6.1 Sofortmaßnahmen

Unmittelbare Gefahren leiten sich u. E. im Hinblick auf den möglichen Direktkontakt von Menschen mit den Säureteerablagerungen ab.

Trotz einer geplanten zeitnahen Sanierung des Säureteerteichs (geplante Ausführung von Sanierungsmaßnahmen ab 2008) sind u. E. folgende Sofortmaßnahmen zu empfehlen, die insbesondere zum Ziel haben, einen Zugang von Menschen innerhalb des umzäunten Bereiches des Säureteers zu verhindern/zu erschweren sowie auf die Gefahren hinzuweisen.

- a) Verstärkung der Umzäunung im nordwestlichen Teil des Säureteerteichs (Zugangsbereich mit Zugangstor), welcher derzeit einen relativ leichten Zugang zum Säureteerteich ermöglicht. Zudem ist der Säureteerteich in diesem Bereich aufgrund des dort auf dem Randwall fehlenden Pflanzenbewuchses von außen leicht einsehbar und kann somit bspw. spielende Kinder „anlocken“, in den umzäunten Bereich einzudringen.
- b) Aufstellung von deutlich sichtbaren Warnschildern rund um den Säureteerteich, welche das Betretungsverbot der Fläche kennzeichnen sowie auf die unmittelbaren Gefahren für Menschen (Einsinkgefahr, Verätzungsgefahr, Brandgefahr) hinweisen.
- c) Beseitigung des Kirschbaumes an der Südflanke des Säureteerteiches vor der Reifung aus Vorsorgegründen.

6.2 Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr zukünftiger Gefahren

- a) Zur dauerhaften Vermeidung/Abwehr zukünftiger Gefahren besteht insbesondere bezüglich zukünftiger Gefahren für **Menschen durch Direktkontakt** mit den Säureteerablagerungen ein Handlungsbedarf.
Hieraus ist u. E. als **Sanierungsziel 1** abzuleiten:

Minimierung zukünftiger Gefahren für Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen.

Zur Erfüllung dieses Sanierungsziel sind Maßnahmen erforderlich, welche eine Zugänglichkeit für Menschen zum Säureteerteich dauerhaft unterbinden, damit zukünftig ein Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen weitestgehend auszuschließen ist.

Neben Dekontaminationsmaßnahmen wie Aushub (oder auch Teilaushub) und Entsorgung der Säureteere sind auch Sicherungsmaßnahmen durch Abdeckung der Säureteeroberfläche denkbar, wobei an dieser Stelle bereits auf die technischen Schwierigkeiten der Abdeckung von nicht tragfähigen Deponaten/Säureteeren hingewiesen wird. (siehe hierzu auch nachfolgendes Kapitel 8.4.4). Daneben kommen Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen zur Verhinderung des Betretens des Geländes durch Unbefugte in Frage, also eine geeignete Einzäunung in Verbindung mit entsprechenden Warntafeln.

Was den möglichen Direktkontakt infolge Austritten von Säureteer im Umfeld anbelangt, s. u. Kap. 6.3 a).

- b) Bezüglich der latenten **Gefahr von Brandereignissen** in Verbindung mit dem im Falle eines Brandes vorhandenen hohen Emissionspotentials an kritischen Schadstoffen ist u. E. als **Sanierungsziel 2** zu formulieren:

Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse.

Zur Erfüllung dieses Sanierungsziel sind neben dem Entfernen der Säureteerablagerungen auch Sicherungsmaßnahmen in Form einer Oberflächenabdeckung der Säureteeroberfläche denkbar, welche die Gefahr von zukünftigen Brandereignissen dauerhaft unterbinden.

Auch bereits die Installation von Einrichtungen zur Brandüberwachung in Verbindung mit einem Alarmierungs- und Löschplan kann die Gefahr potentieller Brandereignisse reduzieren.

- c) Bezüglich des **Schutzguts Grundwasser** besteht aufgrund des vorhandenen Grundwasserschadens u. E. Handlungsbedarf in Form eines fortzuführenden Grundwassermonitorings.

Wegen der Lage des Säureteerteichs innerhalb eines Trinkwasserschutzgebiets muss sichergestellt werden, dass eine weitere maßgebliche Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung und damit Gefährdung der Trinkwassergewinnung nicht erfolgt. Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Reduktion eines Schadstoffeintrages in das Grundwasser empfohlen.

Eine Auslaugung von Schadstoffen erfolgt über das sich auf dem Säureteerteich ansammelnde Wasser aus Niederschlagsereignissen. Auch sind vertikale Schadstoffverfrachtungen aus den kontaminierten Grubenrandbereichen über Sickerwässer zu erwarten.

Hieraus ist u. E. als **Sanierungsziel 3** abzuleiten:

Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers

Zur Erfüllung dieses Sanierungsziels sind Grundwasserüberwachungsmaßnahmen erforderlich, die sicherstellen, dass Veränderungen der Grundwasserverhältnisse, insbesondere der Abstromverhältnisse, rechtzeitig erkannt werden können. Zur Reduzierung oder gar Unterbindung weiterer Schadstoffeinträge ins Grundwasser wäre der Kontakt von Niederschlagswasser mit den Säureteerablagerungen und dem kontaminierten Boden (Grubenränder) zu reduzieren und ggf. zu unterbinden. Dies kann geschehen durch Auskoffnung der Ablagerungen oder durch Sicherungsmaßnahmen in Form einer Abdichtung der Säureteeroberfläche und kontaminierten Randbereiche.

- d) Aus den in Kapitel 5.4 dargestellten **sonstigen Gefahren** sollte zusätzlich eine Minimierung zukünftiger Gefahren für Tiere durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen angestrebt werden.

6.3 Sonstige Maßnahmen

- a) Im Hinblick auf den schlechten baulichen Zustand des Randwalls werden in Abhängigkeit der noch festzulegenden Sanierungsmaßnahmen zumindest die Kontrolle der Randwälle und des unmittelbaren Umfeldes auf Austritte von Säureteer und erforderlichenfalls Pflegemaßnahmen, Abdeckungen oder Verstärkungen oder eine Erhöhung des Randwalls empfohlen.
- b) Für die ackerbaulich genutzte Fläche unmittelbar südlich des Säureteerteichs angrenzend ist u. E. aus Vorsorgegründen eine Nutzungsbeschränkung in Form eines Anbauverbotes von Nutzpflanzen in einem Mindestabstand von ca. 10 m zum Randwall des Säureteerteichs zu empfehlen, solange die Säureteerablagerungen und Bodenkontaminationen in jetziger Form an Ort und Stelle verbleiben.

6.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend sind somit aufgrund der vom Säureteerteich Gau-Algesheim ausgehenden Gefahren u. E. folgende drei Sanierungsziele zu formulieren:

1. Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen
2. Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse
3. Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers

Darüber hinaus ist folgendes zu beachten:

- Kontrolle des Randwalles und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen.
- Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß.
- Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt ist anzustreben.

Das nachfolgende Kapitel 7 stellt verschiedene Varianten der Sanierung der Säureteerablagerung Gau-Algesheim nach dem derzeitigen Stand der Technik vor.

Unter Berücksichtigung der oben formulierten Sanierungsziele wird anschließend eine Verfahrensvorauswahl von grundsätzlich zur Erreichung der Sanierungsziele geeigneter Verfahren vorgenommen.

7. VORAUSWAHL, KURZDARSTELLUNG UND ERSTE BEWERTUNG VON SANIERUNGSVERFAHREN

7.1 Vorgehensweise

Ziel der Auswahl der Sanierungsvarianten und ihrer Bewertung ist es, nachzuweisen, dass der abgeleitete Sanierungsvorschlag einerseits unter Berücksichtigung aller denkbaren konventionellen und innovativen Sanierungsmethoden erfolgt ist und andererseits ein technisches, ökologisches und ökonomisches Optimum gefunden wurde. Die Entwicklung der Vorzugsvariante erfolgt deshalb in einem zweistufigen Verfahren:

In einem ersten Bearbeitungsschritt werden systematisch die denkbaren Sanierungstechniken (Dekontamination und Sicherung) in Kurzform dargestellt und nach den Kriterien der Machbarkeit im Sinne eines k.o.-Kriteriums bewertet ("vom Denkbaren zum Machbaren"). In einem zweiten Schritt wird diese Auswahl der machbaren Optionen im Einzelnen beschrieben und anhand eines Kriterienkataloges relativ zueinander bewertet ("vom Machbaren zum Optimalen").

Anschließend werden die grundsätzlich machbaren Sanierungsvarianten bezüglich ihrer schadstoff- und standortspezifischen Eignung, der Umweltverträglichkeit, der Genehmigungsfähigkeit, der Akzeptanz in der Öffentlichkeit, der zeitlichen Realisierbarkeit, der langfristigen Wirksamkeit und möglicher Risiken, erforderlichem sanierungsbegleitenden Monitoring und erforderlicher Nachsorgemaßnahmen sowie der geschätzten Kosten beleuchtet.

7.2 Differenzierung von Sanierungsverfahren

Für die Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim sind prinzipiell verschiedene Verfahren anwendbar. In Anlehnung an § 2 Abs. 7 BBodSchG werden zur Sanierung von Altlasten grundsätzlich zwei verschiedene Verfahrensweisen unterschieden:

- Dekontaminationsverfahren:
Verfahren, mit denen die Schadstoffe beseitigt oder vermindert werden.
- Sicherungsverfahren:
Verfahren, die eine Ausbreitung der Schadstoffe langfristig verhindern oder vermindern, ohne die Schadstoffe zu beseitigen.

Die Sanierungsverfahren werden nach dem Ort der Behandlung grundsätzlich unterschieden in:

- On-Site-Maßnahmen: nach Auskoffnung vor Ort
- Off-Site-Maßnahmen: nach Auskoffnung vor Ort und nach Abtransport.

Unter On-Site- und Off-Site-Verfahren werden die Behandlungstechniken verstanden, bei denen das belastete Material bewegt und oberhalb der Geländeoberkante einer mechanischen, physikalisch-chemischen, hydraulischen, biologischen oder thermischen Verfahrenstechnik unterworfen wird.

Alternativ dazu kann zur Anwendung kommen die:

- In-Situ-Behandlung: ohne Auskoffern in natürlicher Lage

Bei der In-Situ-Behandlung verbleibt der Boden in seiner ursprünglichen natürlichen Lagerung und wird durch bestimmte Verfahren gereinigt bzw. behandelt.

7.3 Auswahlkriterien

Grundlage für die Vorauswahl geeigneter Sanierungsverfahren bilden die Ergebnisse der Standortuntersuchungen des Säureteerteiches sowie die daraus abgeleiteten Sanierungsziele. Bereits bei der Vorauswahl sind die Eignung und die Anwendbarkeit der Verfahren in Bezug auf den konkret vorliegenden Fall zu prüfen. Die Prüfung erfolgt dabei insbesondere unter Berücksichtigung der nachfolgend genannten Kriterien:

- Standortverhältnisse (geologische und hydrogeologische Bedingungen)
- Gegenwärtige und planungsrechtlich zulässige Nutzung des Standortes
- Art, Konzentration, Verteilung und Eigenschaften der vorhandenen Schadstoffe
- Betroffene Schutzgüter
- Relevante Wirkungspfade
- Erfüllung der Sanierungsziele
- Technische Durchführbarkeit und Eignung des Sanierungsverfahrens.

7.4 Vorauswahl von Sanierungsverfahren

Im Rahmen der Vorauswahl wurden die nachfolgend genannten Sanierungsverfahren für eine Sanierung des Säureteerteiches identifiziert. Die Verfahren weisen zunächst eine grundsätzliche Eignung im Hinblick auf die Sanierung auf.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (Gefahrenabwehrvariante)

Sicherungsverfahren

Oberflächenabdeckung

Isolationsverfahren

- Oberflächenabdichtung
- Nachträgliche Basisabdichtung
- Vertikale Abdichtung

Immobilisierungsverfahren

Hydraulische Sicherungsverfahren

- Grundwasserabsenkung
- Hydraulische Abstromsicherung

Dekontaminationsverfahren

Materialaushub und Entsorgung/Umlagerung

Bodenwäsche

In-Situ-Verfahren

- hydraulische Sanierung
- pneumatische Sanierung
- biologische Sanierung
- thermische Sanierung
- elektrokinetische Sanierung
- Verglasung.

Unter Berücksichtigung aller bereits erläuterten Randbedingungen und Standortverhältnisse werden die vorgenannten Sanierungsverfahren im nachfolgenden Kapitel 7.5 in Kurzform erläutert und in einem ersten Schritt nach den Kriterien der Machbarkeit für den konkreten Fall Säureteerteich Gau-Algesheim bewertet. Des Weiteren erfolgt in Kapitel 7.6 eine zusammenfassende Bewertung der einzelnen Sanierungsverfahren im Hinblick auf die Erfüllung der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele.

7.5 Kurzdarstellung und Bewertung der vorausgewählten Sanierungsverfahren

7.5.1 Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

Beschreibung:

Als eine erste Lösungsvariante zur Gefahrenabwehr wird die sogenannte Gefahrenabwehrvariante erörtert. Die Bezeichnung Gefahrenabwehrvariante resultiert aus der Tatsache, dass am Ablagerungsmaterial selbst bzw. in Bezug auf den Austrag von Schadstoffen keine Maßnahmen zur Sanierung getroffen werden, sondern durch andere Maßnahmen die Gefahren unterbunden werden. Die derzeitige Situation auf dem Standort wurde bereits in Kapitel 2 ausführlich beschrieben und wird daher an dieser Stelle nicht nochmals erläutert.

Die Gefahrenabwehrvariante beinhaltet die aus bodenschutzrechtlicher Sicht umzusetzenden Mindestmaßnahmen zur Gefahrenabwehr und besteht im Wesentlichen aus Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen unter Verzicht auf Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen. Entsprechend § 4 Abs. 3 BBodSchG sind solche Maßnahmen zulässig, wenn Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen nicht möglich oder nicht zumutbar sind.

Die Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen für den Standort Gau-Algesheim umfassen insbesondere Betretungsverbote, die verbesserte Einzäunung und Beschilderung des Geländes mit Warnhinweisen, die Installation von Brandüberwachungseinrichtungen in Verbindung mit einem Alarmierungs- und Löschplan sowie die Grundwasserüberwachung.

Bewertung:

Die o. a. Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen eignen sich grundsätzlich zur Sicherung des Geländes vor unberechtigtem Zutritt.

Von den definierten Sanierungszielen wird die Unterbindung des Direktpfades Säureteer - Mensch (Sanierungsziel 1) weitgehend erreicht. Ein unbefugter Zutritt, beispielsweise durch spielende Kinder und Jugendliche, sowie das Erreichen des Säureteerteiches durch Tiere, insbesondere Vögel, kann jedoch durch eine Umzäunung des Geländes nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Auch eine mögliche Geruchsbelästigung kann durch die Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen nicht verhindert werden.

Die Gefährdung durch etwaige Brandereignisse kann durch die Installation entsprechender Brandschutzmaßnahmen minimiert, jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

In Bezug auf das Schutzgut Grundwasser wird keine eigentliche Schutzwirkung erzielt, da die Gefahrenabwehrvariante keine Maßnahmen zur Reduktion von zukünftigen Schadstoffeinträgen in das Grundwasser beinhaltet, sondern ausschließlich eine Grundwasserüberwachung.

Im Ergebnis der Betrachtung der Gefahrenabwehrvariante ist festzustellen, dass diese die Erreichung der maßgeblichen Sanierungsziele 1 bis 3 bedingt gewährleisten kann. Auf Grund dessen wird die Gefahrenabwehrvariante in der detaillierten Variantenbetrachtung weiter verfolgt.

Die Maßnahme stellt keine Sanierung des Säureteerteiches im Sinne von § 2 (7) BBodSchG dar, sondern hierbei handelt es sich um eine Schutz- und Beschränkungsmaßnahme nach § 2 (8) BBodSchG in Verbindung mit Überwachungsmaßnahmen.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen im Sinne dieses Gesetzes sind sonstige Maßnahmen, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindern oder vermindern, insbesondere Nutzungsbeschränkungen.

7.5.2 Sicherungsverfahren

7.5.2.1 Oberflächenabdeckungen

Beschreibung:

Grundsätzlich sollen durch Oberflächenabdeckungen insbesondere der Direktkontakt zum kontaminierten Material sowie Verwehungen von Staub und staubgebundenen Schadstoffen unterbunden werden. Oberflächenabdeckungen werden hauptsächlich bei zeitlich begrenzten Projekten, z. B. als Vorstufe einer späteren Oberflächenabdichtung, realisiert. Vollständige Dichtigkeit gegenüber Wasser oder Gas wird nicht gefordert, häufig soll der Niederschlagseintritt in den Boden bzw. die Altablagerung nur minimiert werden.

Für die Herstellung von Oberflächenabdeckungen gibt es derzeit keine standardisierten Ausführungsbestimmungen. In der Praxis gibt es unterschiedlichste Ausführungsarten von Oberflächenabdeckungen, die individuell auf den konkreten Fall abgestimmt werden können. Im Allgemeinen, z.B. entsprechend der technischen Regelwerke zum Deponiebau, besteht eine Oberflächenabdeckung aus einer ein- oder mehrlagigen Abdeckschicht und einer zweilagigen Rekultivierungsschicht.

Die Abdeckschicht kann aus Bodenmaterial, Reststoffen oder Recyclingmaterial bestehen und sollte eine geringe Durchlässigkeit besitzen. Auch eine einfache Abdeckung mittels Folien oder Planen ist für kurzfristige Anwendungen denkbar. Optional kann zur Fassung und Ableitung von Niederschlagswasser eine Entwässerungsschicht über der Abdeckschicht angeordnet werden.

Die Rekultivierungsschicht besteht aus kulturfähigem Unterboden mit geringen humosen Anteilen und einer humosen Oberbodenschicht. Der Rekultivierungsschicht kommt bei der Oberflächenabdeckung eine besondere Bedeutung zu. Eine Optimierung von Bodenart, Aufbau und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht ($d > 1,0$ m) sowie eine geeignete Pflanzenauswahl können wesentlich zur Minimierung der Versickerungsrate beitragen. Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Einbau von Boden mit hoher Wasserspeicherkapazität,
- Auswahl einer Vegetation mit hoher Evapotranspirationsrate und geringer Wurzeltiefe,
- Herstellung eines hohen Oberflächengefälles zur Steigerung des Oberflächenwasserabflusses bei Wassersättigung und starken Niederschlägen.

Bewertung:

Oberflächenabdeckungen werden neben zeitlich begrenzten Projekten auch zur Sicherung von Altablagerungen eingesetzt, die nur ein geringes Gefährdungspotenzial aufweisen und bei denen eine begrenzte Sickerwasserneubildung toleriert werden kann. Die tolerierbaren Versickerungsraten sind im Einzelfall festzulegen, zur Simulation der Versickerungsprozesse können unterschiedliche Modelle zur Anwendung kommen.

Eine Oberflächenabdeckung als Sicherungsmaßnahme ist im konkreten Fall im Hinblick auf die in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele in einem ersten Schritt wie folgt zu bewerten:

Eine Oberflächenabdeckung auf dem Säureteerteich kann das Eindringen von Niederschlagswasser in den Ablagerungskörper sowie in die kontaminierten Randbereiche, die daraus resultierende Sickerwasserneubildung und infolgedessen die vertikale Verfrachtung gelöster Schadstoffe je nach Ausführungsart bedingt minimieren. Die Wirksamkeit und die Lebensdauer ist wesentlich von der Ausführungsart abhängig. Die Wirksamkeit der Oberflächenabdeckung wird mit dem Einbau von Boden mit hoher Wasserspeicherkapazität erhöht. In diesem Zusammenhang ergeben sich jedoch Schwierigkeiten auf Grund des nur bedingt tragfähigen Untergrundes.

Der Direktpfad von Mensch und auch Tier zum Ablagerungsmaterial wird durch die Oberflächenabdeckung unterbunden. Auch hier ist die Wirksamkeit wesentlich von der Ausführungsart abhängig, da im Zusammenhang mit dem Direktkontakt die Tragfähigkeit der Oberflächenabdeckung im Hinblick auf eine weitere Auflast durch mögliches Betreten der abgedeckten Fläche relevant ist.

Die Gefahr von Brandereignissen kann durch den Abschluss der Oberfläche weitestgehend ausgeschlossen werden. Im Vergleich zu den Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen (Gefahrenabwehrvariante) ist diese Variante durch die Abdeckung der Oberfläche im Hinblick auf mögliche Brandereignisse wesentlich effizienter.

Der Direktkontakt von Grundwasser zum Ablagerungsmaterial bzw. zu den unterlagernden belasteten Sedimenten ist gemäß Gefährdungsabschätzung nicht auszuschließen, da das Grundwasser im Durchschnitt lediglich 20 bis 50 cm unterhalb der belasteten Sedimente liegt. Sowohl die kontaminierten Sedimente als auch der untere Ablagerungshorizont befinden sich somit in der Grundwasserwechselzone, weshalb die Unterbindung des Direktkontaktes von Grundwasser zu kontaminiertem Material ebenfalls anzustreben ist. Eine Oberflächenabdeckung alleine kann diesbzgl. nicht zu einer Minimierung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser beitragen.

Im Ergebnis der Betrachtung der Oberflächenabdeckung ist festzustellen, dass diese die Erreichung der maßgeblichen Sanierungsziele 1 bis 3 nur bedingt gewährleisten kann. Auf Wunsch des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland Pfalz wird die Oberflächenabdeckung in der detaillierten Betrachtung und Bewertung der Sanierungsvarianten weiter verfolgt.

7.5.2.2 Oberflächenabdichtung

Beschreibung:

Eine weitergehende Sicherung von Altablagerungen kann durch das Aufbringen eines Oberflächenabdichtungssystems realisiert werden. Der wesentliche Unterschied der Oberflächenabdichtung im Vergleich zur Oberflächenabdeckung besteht darin, dass Oberflächenabdeckungen eher für temporäre bzw. zeitlich begrenzte Projekte und Altlasten mit geringerem Gefährdungspotential, Oberflächenabdichtungen für dauerhafte Projekte mit höherem Gefährdungspotential realisiert werden. Auf Grund dessen werden an Oberflächenabdichtungen wesentlich höhere technische Anforderungen gestellt als an Oberflächenabdeckungen.

Ein funktionierendes Oberflächenabdichtungssystem muss insbesondere die nachfolgend genannten Aufgaben übernehmen:

- Minimierung der Sickerwasserneubildung und somit Verhinderung der Schadstoffverfrachtung durch Sickerwasser
- Verminderung der Emission von Deponiegas und flüchtigen Schadstoffen (auch Gerüche)
- Verhindern des Direktkontaktes von Mensch und Tier zum Deponat bzw. Schadstoff
- Wiedereingliederung des Standortes in die Umgebung.

Oberflächenabdichtungen können je nach Standort und Belastungssituation des zu sichernden Materials aus unterschiedlichen Elementen bestehen. Der Aufbau stellt sich im Wesentlichen wie folgt dar (von oben nach unten):

- Rekultivierungsschicht mit (niedерem) Bewuchs
- Entwässerungsschicht
- Dichtungsschicht
- Ausgleichsschicht (ggf. einschl. Gasdrainage)
- Abfallkörper / zu sicherndes Material.

Insbesondere für die Dichtungsschicht, aber auch für die Entwässerungsschicht gibt es verschiedene Ausführungsvarianten. Diese müssen im Einzelfall geprüft werden, um in Abhängigkeit von den lokalen, aber auch regionalen Verhältnissen ein wirtschaftliches und effektives Abdichtungssystem konstruieren zu können.

Grundsätzlich ist zur Herstellung eines langfristig funktionierenden Oberflächenabdichtungssystems ein tragfähiger und setzungsunempfindlicher Untergrund als Auflager für die oben erläuterten Elemente erforderlich. Ein solcher Untergrund ist notwendig, um eine Rissbildung infolge von Setzungen, insbesondere in der Dichtungsschicht, auf Dauer zu verhindern. Auf diese Weise soll die Dichtungsfunktion der Oberflächenabdichtung langfristig aufrechterhalten werden. Bei der Abdichtung von Deponien wird bereits durch die Annahmekriterien für die angelieferten Materialien sowie durch die Verdichtung der Abfälle direkt beim Einbau ein derart beschaffener Untergrund erreicht.

Im konkreten Fall liegt mit den Säureteeren ein pastöses Material als Untergrund vor. Das Aufbringen eines Oberflächenabdichtungssystems gestaltet sich daher insofern schwierig, als dass der Untergrund zur Aufnahme des Oberflächenabdichtungssystems entsprechend vorbereitet werden muss (siehe Kapitel 8.4.4).

Die Vorbereitung des Untergrundes kann durch eine Konditionierung der Säureteere erfolgen, die in erster Linie eine Verbesserung der Standfestigkeit zum Ziel haben muss. Diese wird in der Regel durch die Beimengung von Zuschlagsstoffen realisiert, wodurch einerseits die physikalischen Parameter (Standfestigkeit, Verformungsmodul, Konsistenz) und andererseits die chemischen Parameter gezielt verändert werden können. Als Zuschlagsstoffe kommen beispielsweise Kalkprodukte, Zement, Aschen, Filterstäube oder Sägemehl zum Einsatz. Bei besonders weichen Materialien wird eine Konditionierung mittels grobstückigen Materialien (z. B. Beton- oder Ziegelbruch) durchgeführt, wodurch eine Lastabtragung nicht über das plastische Teermaterial, sondern über das Korngerüst stattfindet (Stützkorn).

Eine weitere Möglichkeit zur Aufbringung einer Oberflächenabdichtung auf nicht tragfähigen Untergrund bietet das Aufbringen eines Geokomposits (Geogitter/Vlies) in Kombination mit einer Polsterschüttung auf die Oberfläche des Ablagerungsmaterials. Das Geokomposit wird dabei im Randbereich des Teerteiches verankert und bewirkt somit einen Abtrag der vertikalen Auflasten aus den Elementen der Oberflächenabdichtung zu den Teichrändern hin.

Zur Verbesserung der Standfestigkeit und langfristigen Gewährleistung der Dichtungsfunktion können eine Konditionierung, zumindest in Teilbereichen oder Ablagerungshorizonten, das Einbringen eines Stützkorns und der Einbau der Geogitter grundsätzlich auch kombiniert werden. Die Eignung des Verfahrens hängt im Wesentlichen vom Aufbau der Oberflächenabdichtung, der zu überspannenden Gesamtfläche sowie der tatsächlichen Untergrundbeschaffenheit ab.

Bewertung:

Ein Oberflächenabdichtungssystem als Sanierungs- bzw. Sicherungsmaßnahme ist im konkreten Fall im Hinblick auf die in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele wie folgt zu bewerten:

Ein Oberflächenabdichtungssystem auf dem Säureteerteich würde das Eindringen von Niederschlagswasser in den Ablagerungskörper sowie in die kontaminierten Randbereiche, die daraus resultierende Sickerwasserneubildung und infolgedessen die vertikale Verfrachtung gelöster Schadstoffe minimieren. Im anstehenden Grundwasser würden über diesen Kontaminationspfad somit keine weiteren Schadstoffe in relevanten Mengen angereichert.

Des Weiteren wird der Direktpfad von Mensch und auch Tier zum Ablagerungsmaterial unterbunden. Außerdem kann durch den Abschluss der Oberfläche die Gefahr von Brandereignissen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Der Direktkontakt von Grundwasser zum Ablagerungsmaterial bzw. zu den unterlagernden belasteten Sedimenten ist gemäß Gefährdungsabschätzung nicht auszuschließen, da das Grundwasser im Durchschnitt lediglich 20 bis 50 cm unterhalb der belasteten Sedimente liegt. Sowohl die kontaminierten Sedimente als auch der untere Ablagerungshorizont befinden sich somit in der Grundwasserwechselzone, weshalb die Unterbindung des Direktkontaktes von Grundwasser zu kontaminiertem Material ebenfalls erforderlich ist. Ein Oberflächenabdichtungssystem kann diese Forderung alleine nicht erfüllen.

Im Vergleich zur Gefahrenabwehrvariante und zur Oberflächenabdeckung ist die Oberflächenabdichtung im Hinblick auf die Sanierungszielerreichung als wesentlich effizienter einzustufen, sofern über die Herstellung eines tragfähigen Planums die Standsicherheit verbessert werden kann.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass die Sicherung des Säureteerteiches durch die Aufbringung eines Oberflächenabdichtungssystems, zumindest als alleiniges Sicherungselement, zur Verhinderung weiterer Grundwasserkontaminationen nur teilweise zielführend ist.

7.5.2.3 Nachträgliche Basisabdichtung

Beschreibung:

Als Ergänzung zur Oberflächenabdichtung wird zur Verhinderung des Direktkontaktes zwischen Grundwasser und Ablagerungsmaterial die Herstellung einer nachträglichen Basisabdichtung in die Variantenstudie aufgenommen.

Basisabdichtungen in Verbindung mit Oberflächenabdichtungen stellen für neu errichtete Deponien standardmäßig eine Sicherung gegenüber Schadstoffaustritten über den Sickerwasserpfad dar.

Nachträgliche Basisabdichtungen können im Wesentlichen durch zwei Verfahren realisiert werden:

- bergmännische Unterfahrung durch überschnittene oder vorgepresste Stollen
- Injektionsverfahren.

Bewertung:

Die Bewertung der nachträglichen Basisabdichtung kann im konkreten Fall nur auf Grundlage einer Kombination mit einer Oberflächenabdichtung erfolgen. Als alleinige Sicherungsmaßnahme ist sie für die Sanierung des Säureteerteiches ebenso als ungeeignet zu bewerten wie die Oberflächenabdichtung als Einzellösung. Im Vergleich zur Oberflächenabdichtung ist die Basisabdichtung als alleiniges Sicherungselement nicht dazu geeignet, das Eindringen von Niederschlagswasser in den Ablagerungskörper und somit die Neubildung von schadstoffbelastetem Sickerwasser zu verhindern. Gleiches gilt für die Unterbindung des Direktkontaktes von Mensch und auch Tier zum Ablagerungsmaterial, die Verhinderung von Brandereignissen sowie die Verhinderung einer seitlichen Ausbreitung des Ablagerungsmaterials.

Die nachträgliche Herstellung einer Basisabdichtung allein ist bereits mit einem sehr hohen technischen und zeitlichen Aufwand und somit mit sehr hohen Kosten verbunden. Insbesondere in Bezug auf ihre Langzeitwirksamkeit und die Überwachung können nur schlecht Aussagen getroffen werden, da Praxiserfahrungen zu diesem Verfahren im Prinzip nicht vorliegen. Weitere Kosten entstehen bei der Kombination der beiden Sicherungsverfahren durch das Aufbringen der Oberflächenabdichtung. Zwischen Basis- und Oberflächenabdichtung muss außerdem ein fachgerechter Übergang hergestellt werden, um das seitliche Eindringen bzw. den seitlichen Austritt von kontaminierten Wässern zu verhindern.

Bei der Realisierung der nachträglichen Basisabdichtung würde mit Ausnahme der Verhinderung weiterer Schadstoffverfrachtungen in das Grundwasser, diese jedoch nur in eingeschränktem Maße, keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. Auch in einer Kombination mit der Oberflächenabdichtung können nicht alle in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden.

Im Gesamtergebnis dieser Betrachtung muss die nachträgliche Basisabdichtung als Sanierungsvariante, auch in Kombination mit der Oberflächenabdichtung, aus der weiteren Variantendiskussion ausgeschlossen werden.

7.5.2.4 Vertikale Abdichtung

Beschreibung:

Als Alternative zu einer nachträglichen Basisabdichtung wird im Folgenden die Herstellung einer vertikalen Abdichtung (Dichtwand) in die Variantenstudie aufgenommen. Eine vertikale Abdichtung ist dazu geeignet, den Direktkontakt von Grundwasser zum Ablagerungsmaterial zu unterbinden, und somit in Kombination mit einer Oberflächenabdichtung zur Sanierung des Säureteerteiches grundsätzlich vorstellbar.

Hauptaufgabe vertikaler Abdichtungen ist die Umschließung von Kontaminationsquellen, um die weitere Verfrachtung von Schadstoffen in horizontaler Richtung über das Grundwasser zu unterbinden. Da die vertikale Abdichtung zur Minimierung der Sickerwasserbildung und zur Verhinderung des Direktkontaktes von Mensch und Tier zum kontaminierten Material nicht geeignet ist, kann dieses Verfahren wie auch die Basisabdichtung nur als Kombination mit einer Oberflächenabdichtung sinnvoll eingesetzt werden.

Für die Herstellung von vertikalen Abdichtungen bieten die nachfolgenden Dichtwandarten mehrere Ausführungsalternativen:

- Schlitzwände im Ein- und Zweiphasen-Verfahren
- Stahlspundwände
- Schmalwände
- Injektionswände
- MiP-Wände.

Um eine langfristige Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme gewährleisten zu können, werden an vertikale Abdichtungen folgende Anforderungen gestellt:

- Ausreichende Dichtigkeit unter Berücksichtigung der Art und Eigenschaften der eingekapselten Schadstoffe (Schadstoffe können durch Veränderung der Quellfähigkeit und Verzögerung der Abbindefähigkeit der Dichtungsmassen oder durch Reaktion mit den Dichtungsmassen die Dichtwirkung beeinflussen)
- Dauerbeständigkeit gegenüber Schadstoffangriffen und der Einwirkung natürlicher Grundwasserinhaltsstoffe
- Kontrollierbarkeit und Reparierbarkeit.

Im konkreten Fall muss die Dichtwand eine lokale Umleitung des Grundwasserstroms bewirken, um den Direktkontakt vom Grundwasser zum Ablagerungsmaterial langfristig zu unterbinden. Dazu müssen die Dichtwandelemente bis in den anstehenden Grundwasserstauhorizont einbinden (i. d. R. ca. 1,0 m), da anderenfalls das Grundwasser die Dichtwand unterströmen und somit in den zu sichernden Ablagerungskörper aufsteigen kann. Die Folge wäre ein Kontakt des Grundwassers zum kontaminierten Sediment und im schlimmsten Fall auch zu den Säureteeren. Das Vorhandensein einer ausreichend starken grundwasserstauenden Schicht ist dabei Grundvoraussetzung. Eine grundwasserstauende Schicht in Form eines Tonhorizontes liegt im konkreten Fall bei ca. 12 bis 17 m unter GOK (durchschnittlich bei ca. 14,50 m) vor.

Um eine ausreichende Dichtungsfunktion gewährleisten zu können, muss die Dichtwand den gesamten Säureteerteich im Sinne einer Einkapselung umschließen.

Bewertung:

Im Vergleich zu einer nachträglichen Basisabdichtung ist die Herstellung einer vertikalen Abdichtung in Form einer Dichtwand technisch wesentlich einfacher durchzuführen, so dass die vertikale Abdichtung mit Einbindung in einen stauenden Horizont gegenüber der nachträglichen Basisabdichtung an dieser Stelle bereits als vorzuziehende Alternative anzusehen ist.

Die Umsetzung einer vertikalen Abdichtung erfordert auf Dauer die Überwachung des Wasserstandes innerhalb der Dichtwandumschließung. Sollte es trotz der Einbindung der Dichtwand in die grundwasserstauende Schicht zu einem Eindringen von Grundwasser in die Einkapselung kommen, kann dieses Wasser durch Abpumpen wieder entfernt werden. In diesem Falle ist das abzupumpende Wasser aufzufangen und fachgerecht zu entsorgen. Des Weiteren wäre die Ursache des Wassereinstaus zu ermitteln und nach Möglichkeit zu entfernen. Eine vorausschauende Planung und fachgerechte Herstellung der vertikalen Abdichtung kann das Risiko eines Wassereinstaus minimieren.

Durch die Kombination der beiden Verfahren Oberflächenabdichtung und vertikale Abdichtung können im vorliegenden Fall die in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele grundsätzlich erfüllt werden.

Auf Grund dessen wird die Sanierungsvariante „vertikale Abdichtung in Kombination mit einer Oberflächenabdichtung“ in die nähere Variantendiskussion aufgenommen.

7.5.2.5 Immobilisierungsverfahren

Beschreibung:

Als weiteres Sicherungsverfahren wird das Immobilisierungsverfahren diskutiert. Die Immobilisierung von Materialien kann grundsätzlich mit unterschiedlichen Zielen erfolgen. Die Ziele einer Immobilisierung können sein:

- Reduzierung der Eluierbarkeit von Schadstoffen aus einem Material
- Verbesserung der Tragfähigkeit eines Materials
- Schaffung eines umschlagbaren, transportierbaren und endlagerungsfähigen Materials (Konditionierung).

Da die Variantendiskussion an dieser Stelle auf eine Immobilisierung als Sicherungsverfahren abzielt, soll an dieser Stelle die Reduzierung der Eluierbarkeit von Schadstoffen betrachtet werden. Die Funktion der Tragfähigkeitsverbesserung wird in Kapitel 8.4.4, die Funktion der Konditionierung (zu Transportzwecken) in Kapitel 8.5.4 näher erläutert.

Der Effekt der Reduzierung der Eluierbarkeit wird beim Immobilisierungsverfahren durch eine physikalische Einkapselung und chemische Einbindung des Ablagerungsmaterials erzielt. Die Schadstoffe werden dabei durch Verfestigung in einer organischen oder anorganischen Matrix mittels chemischer Zuschlagsstoffe eingebunden. Dazu werden dem Ablagerungsmaterial Zuschlagsstoffe wie z. B. Zement, Kalk, Flugaschen oder Wasserglas beigemischt.

Grundsätzlich wird bei den Immobilisierungsverfahren zwischen einer On-Site-Immobilisierung und einer In-Situ-Immobilisierung unterschieden. Die On-Site-Immobilisierung umfasst den Aushub des Ablagerungsmaterials, die anschließende Behandlung (Verfestigung mittels Zuschlagsstoffen) und den Wiedereinbau in die Sanierungsfläche. Eine In-Situ-Immobilisierung erfolgt durch das Beimengen der Zuschlagsstoffe mittels Bagger im Einbauzustand oder durch das Einbringen mittels einer Vertikalfräse.

An dieser Stelle soll zunächst die Variante der In-Situ-Immobilisierung auf ihre Eignung hin überprüft werden.

Praxiserfahrungen zeigen, dass eine Immobilisierung von kontaminierten Böden und auch Teeren bzw. Säureteeren grundsätzlich möglich ist. Die Herstellung eines Ablagerungskörpers aus immobilisierten Teeren ist im vorliegenden Fall aber aus bautechnischen Gründen problematisch. So ist der Einsatz von Baggern zur Durchführung der In-Situ-Immobilisierung auf Grund der schlechten Befahrbarkeit des Säureteerteiches nicht möglich. Auch beim Einsatz eines Longfront-Baggers vom Randbereich aus würden sich Beschränkungen der Sanierbarkeit auf Grund der Fläche des Teiches (1.200 m²) und der Tiefe des Ablagerungsmaterials ergeben.

Ein Erreichen der tiefer gelegenen Horizonte und insbesondere der kontaminierten Sedimente ist, auch im Hinblick auf die Konsistenz des Materials, ohne einen Aushub der oberen Schichten nicht möglich. Die nachhaltige Schadstoffbindung und somit der Sanierungserfolg können nicht gewährleistet werden.

Eine Alternativlösung bietet das Einbringen der Zuschlagsstoffe mittels einer Vertikalfräse (vgl. auch Kap. 8.3.5). Auch in diesem Fall ist ein standfester Untergrund für die Fräse und das Antriebsgerät (Transport-Fahrzeug) zwingend erforderlich. Wie bereits erläutert, ist diese Voraussetzung im konkreten Fall nicht erfüllt. Die zu erreichenden Tiefen sind mit den üblichen Vertikalfräsen nicht ohne (partiellen) Aushub zu erreichen.

Eine On-Site-Immobilisierung mit einem anschließenden Wiedereinbau des behandelten Materials entspricht der in den Kapiteln 8.5 und 8.6 (Aushub und Entsorgung) beschriebenen Vorgehensweise mit dem Unterschied, dass die „Entsorgung“ nicht extern, sondern vor Ort stattfinden würde. Der Wiedereinbau des immobilisierten Säureteeres und Sedimentes wäre auch im Rahmen eines für verbindlich erklärten Sanierungsplanes gemäß Bundes-Bodenschutzgesetz genehmigungsrechtlich kritisch zu bewerten.

Zu beachten ist bei allen Immobilisierungsverfahren, dass sich durch die Zugabe von Zuschlagsstoffen eine Mengenerhöhung ergibt, so dass Überschussmassen extern entsorgt werden müssen.

Bewertung:

Wie bei allen bereits diskutierten Sicherungsverfahren verbleiben auch bei der Immobilisierung die Schadstoffe im Untergrund, so dass ein Restrisiko weiterhin bestehen bleibt. Zur Überwachung muss daher ein aufwendiges Nachsorgeprogramm betrieben werden.

Bei der Realisierung des Immobilisierungsverfahrens würde mit Ausnahme der Verhinderung weiterer Kontamination des Grundwassers, dieses jedoch nur in eingeschränktem Maße, keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden.

Im Ergebnis der Betrachtung der In-Situ-Immobilisierung ist festzustellen, dass dieses Verfahren insbesondere auf Grund der technischen Probleme bei der Umsetzung, aber auch wegen der nicht ausreichend sicherzustellenden Schadstoffbindung aus der weiteren Variantendiskussion auszuschließen ist.

Eine On-Site-Immobilisierung wird im Rahmen der Aushubvarianten (Kapitel 8.5 und 8.6) detaillierter betrachtet.

7.5.2.6 Grundwasserabsenkung

Beschreibung:

Eine Absenkung des Grundwasserspiegels erfolgt grundsätzlich über die Anordnung von Pumpen um den abzusenkenden Bereich herum. Der Emissionspfad Grundwasser wird dabei durch Abpumpen des anstehenden Grundwassers unterbrochen, mit dem Ziel, durch das Absenken des Grundwasserspiegels oder das Umlenken des Grundwasserstroms den Direktkontakt des Grundwassers zum kontaminierten Material (hier: kontaminierte Böden/Sedimente und Säureteer) und somit den Schadstoffaustrag aus der Ablagerung zu unterbinden.

Die Anzahl der zu installierenden Pumpen ist abhängig von der zufließenden Grundwassermenge, von der insgesamt abzusenkenden Wasserfläche sowie von der Höhendifferenz, um die der Grundwasserstand abgesenkt werden soll. Langfristiger Sanierungserfolg ist in den meisten Fällen nur in Kombination mit anderen Sicherungs- bzw. Dekontaminationsmaßnahmen zu erreichen.

Bewertung:

Durch die Grundwasserabsenkung kann im konkreten Fall der Kontakt des Grundwassers zum kontaminierten Ablagerungsmaterial verhindert werden. Auf diese Weise würde die Kontamination des Grundwassers und ein damit verbundener Schadstoffaustrag über den Weg des Direktkontaktes unterbunden bzw. minimiert. Die Grundwasserabsenkung als alleiniges Verfahren erfordert jedoch eine dauerhafte Aufrechterhaltung, da die ursprünglichen Schadstoffe im Untergrund belassen werden. Der langfristige Betrieb ist mit hohen Kosten, insbesondere Betriebskosten für die Pumpenanlagen, verbunden. Grundwasserabsenkungen eignen sich grundsätzlich eher für zeitlich begrenzte Maßnahmen und weniger für langfristige Projekte.

Alle weiteren Sanierungsziele gemäß Kapitel 6.2 finden bei Anwendung dieser Sanierungsvariante keine Berücksichtigung.

Im Ergebnis der Variantenbetrachtung ist festzuhalten, dass die Sanierungsvariante „Grundwasserabsenkung“ zur abschließenden Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim ungeeignet ist. Die Variante wird daher im Folgenden nicht weiter verfolgt.

7.5.2.7 Hydraulische Abstomsicherung

Beschreibung

Ein weiteres hydraulisches Verfahren stellt die hydraulische Abstomsicherung dar. Bei diesem Verfahren wird die Ausbreitung einer Grundwasserkontamination durch das Erfassen des Grundwassers im Abstrombereich verhindert.

Die hydraulische Abstomsicherung besteht aus einer Fassung, einer Förderanlage und gegebenenfalls einer Infiltration von Wasser. Die Reinigung des belasteten Wassers erfolgt in der Regel on site durch Abtrennung, Abbau oder Umwandlung der enthaltenen Schadstoffe. Alternativ kann das gefasste Wasser einer geeigneten Entsorgungseinrichtung zugeführt werden. Durch die Grundwasserentnahme wird entsprechend der vorgesehenen Fördermenge und den gegebenen Grundwasserverhältnissen eine Absenkung des Grundwasserspiegels und damit verbunden ein kurz-, mittel- oder langfristiger Eingriff in den weiträumigen Wasserhaushalt vorgenommen

Die Brunnen zur Grundwasserentnahme können durch verschiedene Verfahren realisiert werden. In der Regel werden die Brunnen in vertikaler Bauweise hergestellt. Neben Einzelbrunnen können Brunnengruppen, Brunnenreihen, Drainagesysteme oder eine Kombination daraus die Wirksamkeit der Maßnahme erhöhen. Der Einsatz baulicher Maßnahmen im An- oder Abstrombereich (z. B. Spundwand, Dichtwand als vertikale Barriere) oder weiterer speziell positionierter Entnahmebrunnen ermöglichen eine Reduktion der Menge des anfallenden kontaminierten Wassers.

Das Verfahren eignet sich für Grundwasserleiter mit mittlerer bis hoher Durchlässigkeit. Bei stark inhomogenem oder anisotropem Bodenaufbau mit großen Durchlässigkeitsschwankungen in bzw. zwischen einzelnen Schichten oder Bereichen sowie bei unklaren Strömungsverhältnissen können die Verfahren in der Regel nicht angewendet werden. Das Verfahren ist nicht oder nur schlecht geeignet für Schadstoffe mit geringer Löslichkeit und großer Sorptionsneigung.

Bewertung:

Das Verfahren einer hydraulischen Abstomsicherung ist im konkreten Fall für eine abschließende Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim nicht geeignet. Hauptgrund hierfür ist, dass eine Sickerwasserneubildung durch eindringendes Niederschlagswasser und ein Direktkontakt zum belasteten Material durch Mensch und Tier nicht verhindert sowie darüber hinaus die weiteren in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele nicht vollständig erreicht werden können.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass die Sanierungsvariante „hydraulische Abstomsicherung“ zur abschließenden Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim ungeeignet ist. Die Variante wird daher im Folgenden nicht weiter verfolgt.

7.5.3 Dekontaminationsverfahren

7.5.3.1 Materialaushub und Entsorgung

Beschreibung:

Das hier betrachtete Sanierungsverfahren stellt eine Dekontaminationsmaßnahme dar, die sich in folgende Leistungsbereiche gliedern lässt:

- Entnahme des Ablagerungsmaterials (Säureteere sowie seitlich und unterhalb liegende, kontaminierte Böden/Sedimente)
- Anschließender Transport des Bergeguts zu einer geeigneten Entsorgungs- oder Verwertungseinrichtung
- Fachgerechte Entsorgung/Verwertung der Aushubmaterialien.

Im Hinblick auf den Materialaushub bieten sich verschiedene Techniken wie z. B. Auskoffern/Ausbaggern oder Abpumpen an. Die Wahl der Aushubtechnik ist in erster Linie von der Konsistenz des Materials, aber auch von dessen (Tiefen-) Lage abhängig. Im konkreten Fall liegen die Säureteere als breiiges bis pastöses Material bis in eine Tiefe von durchschnittlich 5 bis 6 m unter GOK vor. Insbesondere auf Grund der Konsistenz stellt sich der Aushub als problematisch dar, weil das Material weder eindeutig als pump- noch als baggerfähig eingestuft werden kann.

Die kontaminierten Sedimente liegen in den Rand- bzw. Böschungsbereichen sowie unterhalb der Säureteere bis in eine Tiefe von ca. 6,50 m, teilweise bis 7,00 m unter GOK, vor.

Die Sedimente stellen insbesondere Fein- und Mittelsande dar, die mit Säureteer in unterschiedlicher Intensität vermischt sind.

Auf Grund der pastösen Konsistenz des Säureteeres ist ggf. eine Konditionierung vor dem Aushub erforderlich. Für die kontaminierten Sedimente kann ggf. auf eine Konditionierung verzichtet werden, was letztendlich jedoch von deren Konsistenz abhängig ist. Nicht nur die Aushubtechnik, sondern auch der Transport und speziell die Entsorgung/Verwertung des Materials sind mit besonderen Anforderungen an die Materialbeschaffenheit sowohl aus physikalischer als auch aus chemischer Sicht verbunden. Demnach kann auch diesbezüglich eine Konditionierung des Aushubmaterials erforderlich werden. Die Art der Konditionierung ist also bereits im Voraus auf alle Leistungsbereiche abzustimmen.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Wege zur weiteren Handhabung des kontaminierten Aushubmaterials bezüglich Verwertung oder Beseitigung. Für die Säureteerteiche und auch die kontaminierten Böden/Sedimente sind die Deponierung, thermische Beseitigung, thermische Verwertung und stoffliche Verwertung des Ablagerungsmaterials zunächst grundsätzlich denkbar.

Die bei der Maßnahme entstehenden Baugruben können je nach Folgenutzung mit geeignetem Fremdmaterial wiederverfüllt werden. Die Eigenschaften des Materials zur Wiederverfüllung hängen im Wesentlichen von der geplanten Folgenutzung ab.

Bewertung:

Der vollständige Materialaushub mit einer Entsorgung/Verwertung der Aushubmaterialien stellt im Hinblick auf die Erfüllung der Sanierungsziele eine geeignete Sanierungsvariante dar. Durch die Entnahme des kontaminierten Ablagerungsmaterials wird die Quelle der Schadstoffbelastung entfernt. Im Gegensatz dazu bleiben bei allen bisher erläuterten Verfahren die Ablagerungsmaterialien und somit die Schadstoffquelle im Untergrund.

Durch den Aushub der kontaminierten Materialien werden alle Sanierungsziele gemäß Kapitel 6.2 vollständig erreicht. **Die Variante „Materialaushub und Entsorgung“ wird auf Grund dessen in die detaillierte Betrachtung und Bewertung der Sanierungsvarianten aufgenommen.**

Dazu werden verschiedene Aushubtechniken in den Kapiteln 8.5.3 und 8.6.3 konkret erläutert und bewertet. Einschlägige Konditionierungstechniken werden in den Kapiteln 8.5.4 und 8.6.4 vorgestellt und bewertet. Nähere Erläuterungen zu den einzelnen Verwertungs- bzw. Entsorgungswegen werden in den Kapiteln 8.5.2 und 8.6.2 gegeben.

7.5.3.2 Bodenwäsche

Beschreibung

Bei den Bodenwaschverfahren werden mit Hilfe von mechanischer Energie die Schadstoffe vom Bodenkorn abgelöst und in die flüssige oder gasförmige Phase überführt bzw. mit der Bodenfeinstfraktion ausgeschleust. Zur Realisierung des Bodenwaschverfahrens muss das zu reinigende Material ausgekoffert und einer entsprechenden Behandlungsanlage zugeführt werden.

Das zur Wäsche eingesetzte Wasser wird als Dispersions-, Lösungs- und Transportmittel benutzt, wobei die Wirksamkeit durch Zusätze, wie z. B. Säuren, Laugen oder Lösungsmitteln, verstärkt werden kann. Die Wahl der Zusätze ist von der Schadstoffart abhängig.

Grundsätzlich sind in Bodenwaschanlagen folgende Verfahrensschritte notwendig:

- Vorbereitung des Aufgabegutes
- Schadstoffabtrennung
- Feinstkornabtrennung
- Prozesswasserabtrennung und Spülung des gereinigten Materials
- Prozesswasserkreislaufführung
- Abwasserreinigung
- Abluftreinigung.

Ein wesentliches Kriterium für den Einsatz eines Waschverfahrens ist der Anteil an Bodenfeinstbestandteilen. Feinkörnige Bodenarten, wie z. B. Lehm, Ton oder Löß, können in Bodenwaschverfahren nur mit Einschränkungen ausreichend gereinigt werden. Sie bilden stabile Suspensionen mit der wässrigen Phase und lassen sich nur schwer abscheiden. Grundsätzlich gilt ein Anteil von 25 bis 30 Gew.-% an Bestandteilen von < 0,02 mm als Obergrenze für die ausreichend erfolgreiche Durchführung einer Bodenwäsche.

Waschverfahren können sowohl bei organischen als auch bei anorganischen Kontaminationen des Materials verwandt werden. Waschverfahren stoßen da an ihre Grenzen, wo Schwermetalle in Schlacken eingebunden sind oder in elementarer Form makroskopisch vorliegen. Aus verfahrenstechnischen Gründen durchlaufen diese Stoffe infolge ihrer Korngröße die Sanierungsanlage zusammen mit den gereinigten Bodenkörnern ohne Veränderung.

Darüber hinaus sind dem Verfahren Grenzen gesetzt, wenn die Schadstoffe als zähflüssige Stoffe (z. B. Teer) vorliegen, da diese durch „Verschmieren“ von Anlagenkomponenten zu Funktionsstörungen führen.

Bewertung:

Aus der Variantenbeschreibung geht deutlich hervor, dass der Einsatz von Bodenwaschverfahren bei Teeren insbesondere aus verfahrenstechnischen Gründen nicht zielführend ist. Des Weiteren können die in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele nicht vollständig und sicher erreicht werden. **Insbesondere aufgrund der im konkreten Fall vorliegenden Materialeigenschaften der Säureteere ist die Anwendung dieses Verfahrens nicht möglich, so dass diese Sanierungsvariante im Folgenden keine weitere Berücksichtigung finden wird.**

7.5.3.3 Hydraulische Sanierung

Beschreibung:

Durch hydraulische Sanierungsverfahren erfolgt eine gezielte Beeinflussung des Grundwasserstroms im Untergrund durch Entnahme (und Zugabe) von Wasser. Daraus resultiert eine Beeinflussung des Stofftransportes im Bereich der Kontamination im Untergrund. Ziel ist es, die Schadstoffe im Wasser zu lösen und mit dem Wasser aus dem Boden auszutragen.

Grundsätzlich erfolgt die Realisierung hydraulischer Sanierungsverfahren durch die Anordnung von Brunnen im Bereich der Kontamination oder im direkten Umfeld. Infolge der Wasserentnahme stellt sich in der Umgebung eine Strömung zum Brunnen hin ein. Im Brunnen selbst wird dabei eine Absenkung gegenüber dem umgebenden Grundwasser erzeugt. Um die Brunnen bildet sich ein so genannter Absenkungstrichter im Grundwasser aus.

Brunnen können sowohl zur Entnahme von Grundwasser als auch zur Einbringung von Wasser in den Untergrund (Infiltration) dienen. Weitere Möglichkeiten der Erfassung von Grundwasser bzw. der Infiltration von Wasser in den Untergrund bestehen linien- und flächenhaft durch offene oder geschlossene Sickergräben oder Sickerleitungen (Dränagen bzw. Rigolen) bzw. über Sickerbecken.

Die Wirkungsweise hydraulischer Verfahren hängt im Wesentlichen von nachfolgenden Einflussfaktoren ab:

- Vorliegende Untergrundbedingungen
- Vorherrschende hydrologische Verhältnisse
- Technisch-konstruktive Auslegung der jeweiligen Maßnahmen und deren betrieblicher Ablauf
- Art und Umfang sowie zeitliche und räumliche Verteilung der relevanten Kontaminationen.

Bewertung:

Das Verfahren ist im konkreten Fall insbesondere aufgrund der sehr geringen Mobilität der Schadstoffe nicht geeignet. Des Weiteren liegen die Schadstoffe zum Großteil in der ungesättigten Bodenzone vor, so dass die Anwendung des Verfahrens nicht möglich ist.

Bei der Anwendung des hydraulischen Sanierungsverfahrens im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. **Das Verfahren wird daher im Weiteren nicht weiter betrachtet.**

7.5.3.4 Pneumatische Sanierung

Beschreibung:

Pneumatische Sanierungsverfahren basieren auf dem Austrag von Schadstoffen aus dem Untergrund mittels einer durch gezielte Entnahme und ggf. auch Zugabe von Luft erzeugten Gasströmung. Zu diesen Verfahren zählt die Bodenluftabsaugung, die auf der Erzeugung von Unterdruck in der wasserungesättigten Bodenzone basiert. Gasförmige Schadstoffe werden dabei aus der ungesättigten Bodenzone unter Ausnutzung der Durchlässigkeit abgesaugt und anschließend behandelt. Voraussetzung ist das Vorhandensein gasförmiger bzw. leichtflüchtiger Schadstoffe im Untergrund.

Das Absaugen der kontaminierten Bodenluft erfolgt mit Hilfe von Aggregaten (z. B. Ventilatoren) über geeignete Fassungsanlagen. Dazu werden im Allgemeinen Absaugbrunnen mit Filterrohren im Kernbereich der Kontamination errichtet. Entsprechend dem sich einstellenden Druckgefälle entsteht eine zur Fassungsanlage hin gerichtete Luftströmung.

Dem belasteten Bereich zuströmende, nicht kontaminierte Luft wird in Folge von Austauschprozessen mit den im Untergrund vorhandenen Kontaminationen mit Schadstoffen angereichert. Die mit den Schadstoffen angereicherte Luft wird hauptsächlich über Aktivkohle gereinigt.

Durch einen dauerhaften Betrieb dieses Verfahrens und somit durch die fortgesetzte Abreicherung der Schadstoffvorräte im Untergrund kann eine Reduktion des Schadstoffinventars bis auf tolerierbare Restgehalte grundsätzlich erfolgen.

Die Effektivität einer Bodenluftabsaugung hängt dabei insbesondere von folgenden Faktoren ab:

- Eigenschaften des Untergrundes (z. B. Durchlässigkeit, Feuchte, Maß der Flächenversiegelung, Bodenstruktur, Korngrößenverteilung, Schichtung, Luftporenanteil)
- Eigenschaften der abzusaugenden Schadstoffe (gasförmig, großer Dampfdruck für Übergang in die Dampfphase).

Die genannten Eigenschaften beeinflussen die Luftdurchlässigkeit sowie das Sorptionsverhalten des Untergrundes. Analog zur Wasserdurchlässigkeit nimmt die Luftdurchlässigkeit mit zunehmender Korngröße des Bodens und zunehmender Porosität zu. Die Luftdurchlässigkeit ist geringer, je näher man an die Grundwasseroberfläche kommt und je feinkörniger der Boden ist.

Hauptanwendungsbereiche für die Bodenluftabsaugung sind insbesondere leichtflüchtige Schadstoffe wie z. B.:

- Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)
- Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (BTEX)
- Einzelsubstanzen der Leichtöle (Benzin)
- leichtflüchtige halogenierte, aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe.

Bewertung:

Im vorliegenden Fall ist der Einsatz pneumatischer Sanierungsverfahren nicht zielführend. Hauptgründe hierfür sind insbesondere Art und Menge der vorhandenen Schadstoffe sowie die sehr geringe Luftdurchlässigkeit der Säureteere.

Bei der Anwendung des pneumatischen Sanierungsverfahrens im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele vollständig erreicht werden. **Das pneumatische Sanierungsverfahren wird daher nicht weiter betrachtet.**

7.5.3.5 Biologische Sanierung

Beschreibung:

Bei der Anwendung biologischer Dekontaminationsverfahren wird die Fähigkeit von Mikroorganismen ausgenutzt, organische Verbindungen unter geeigneten Bedingungen zu Kohlendioxid, Wasser und Biomasse umzusetzen.

Biologische Verfahren lassen sich sowohl in situ als auch on site und off site anwenden. Ziel der biologischen Verfahren ist der Abbau bzw. die Umwandlung organischer Schadstoffe in den eigenen Organismus. Mikroorganismen passen sich an unterschiedliche, vorwiegend organische Schadstoffe bei Vorhandensein eines ausreichenden Nährstoffangebotes relativ schnell an und bauen diese Schadstoffe zu unschädlichen Verbindungen ab.

Bei dem In-Situ-Verfahren der biologischen Sanierung entfällt das Erfordernis eines vorherigen Bodenaushubs. Stattdessen wird die ungesättigte oder gesättigte Bodenzone im kontaminierten Bereich als Reaktor für den mikrobiologischen Abbau eingesetzt.

Mikrobiologisch behandelte Böden können je nach Reinigungserfolg und Behandlungsverfahren im Erdbau wiederverwertet werden. Vorteil der biologischen Verfahren ist grundsätzlich, dass ein Abbau bzw. eine Umwandlung der Schadstoffe so erfolgt, dass keine Verlagerung in andere Medien stattfindet.

Die biologischen Sanierungsverfahren setzen jedoch eine Abbaubarkeit der Schadstoffe voraus. In der Regel ist für die biologische Abbaubarkeit eine Wasserlöslichkeit der Schadstoffe erforderlich.

Bewertung:

Die Kontrolle des Sanierungserfolgs ist gerade bei In-Situ-Behandlungen sehr problematisch. Auf Grund dessen wird in der Praxis die Anwendung der off site Behandlung bevorzugt.

Im konkreten Fall kommt der Einsatz von biologischen Verfahren aufgrund der Eigenschaften der Säureteere, insbesondere deren sehr niedriger pH-Werte im sauren Bereich, nicht in Betracht. Das Ablagerungsmaterial bietet in der vorliegenden Form kein ausreichendes Nährstoffangebot für die Mikroorganismen und stellt somit eine für die Mikroorganismen absolut lebensfeindliche Umgebung dar. Im Übrigen ist wie oben dargestellt die Wasserlöslichkeit und Wasserwegsamkeit des Materials sehr gering.

Bei der Anwendung des biologischen Sanierungsverfahrens im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. **Das Verfahren wird daher aus der Variantendiskussion ausgeschlossen.**

7.5.3.6 Thermische Sanierung

Beschreibung:

Liegt eine Kontamination mit leichtflüchtigen organischen Schadstoffen in der ungesättigten Bodenzone vor, so wird meist das Verfahren der Bodenluftabsaugung, das als Stand der Technik gilt, eingesetzt. Dieses kann bei schwerer flüchtigen Schadstoffen oder bei gering durchlässigen Böden aufgrund niedriger Verdampfungsraten und geringer Durchströmbarkeit des Untergrundes wirtschaftlich den gewünschten Sanierungserfolg nicht erreichen. In solchen Fällen kann zusätzlich Energie in Form von Wärme in den Untergrund eingebracht werden, wodurch die Dampfdrücke und damit die Flüchtigkeit der Schadstoffe erhöht werden. Man spricht in solchen Fällen von einer thermischen In-Situ-Sanierung.

Der Energieeintrag in den Untergrund kann auf unterschiedliche Art erfolgen:

- Injektion eines Wärmeträgermediums:
Einleitung eines erwärmten Fluids, meist Wasserdampf oder Wasserdampf-Luft-Gemisch, über Injektionsbrunnen in den Boden

- Energieeintrag über elektrische Verfahren:
Hochfrequenzheizungen oder elektrische Widerstandsheizungen (Einbau von Elektroden in den Untergrund und Betrieb im hochfrequenten Bereich von MHz bis GHz oder auf normaler Netzfrequenz von 50 Hz, Erzeugung eines elektrischen Feldes im Boden, Erwärmung des Untergrundes durch verschiedene physikalische Vorgänge)
- Feste Wärmequellen:
z. B. elektrisch betriebene Heizlanzen oder geschlossene Rohrsysteme mit unter Überdruck stehendem heißen Wasser, die in der ungesättigten Zone eingebaut werden (Wärmeausbreitung durch Wärmeleitung).

Zur Sanierung der durch Wärmeeinwirkung verdampften Schadstoffe ist eine Bodenluftabsaugung mit Aufbereitung erforderlich.

Bewertung:

Aufgrund der Kontaminationssituation des Säureteerteiches Gau-Algesheim mit den Hauptkontaminanten MKW und PAK sowie der physikalischen Eigenschaften des Ablagerungsmaterials ist die Anwendung der thermischen In-Situ-Sanierung nicht möglich. Im Übrigen würde eine Verdampfung der Schadstoffe zu extremen Geruchsemissionen führen.

Bei der Anwendung der thermischen In-Situ-Sanierung im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. **Das Verfahren wird daher nicht weiter betrachtet.**

7.5.3.7 Elektrokinetische Sanierung

Beschreibung:

Die elektrokinetische Bodensanierung basiert auf der Erzeugung eines elektrischen Feldes im Untergrund. Durch dieses elektrische Feld wird eine gezielte Bewegung von Schadstoffen angeregt. Dazu werden Elektrodenpaare in den kontaminierten Untergrund eingebracht und an eine Gleichstrom-Quelle angeschlossen. Dabei wird ein elektrisches Feld induziert, das einen gezielten Transport des Porenwassers und der darin gelösten, mobilen Schadstoffe zu den Elektroden hin bewirkt. An den Elektroden können die Schadstoffe gesammelt, immobilisiert und/oder entfernt werden.

Bei der elektrokinetischen Bodensanierung handelt es sich um eine In-Situ-Behandlungsmethode, mit der insbesondere Schwermetallkontaminationen entfernt werden können. Als Haupttransportvorgänge treten die Elektromigration (Ionentransport), die Elektroosmose, eine elektrisch induzierte Wasserströmung, und in Schlämmen sowie sandig-kiesigen Böden die elektrophoretische Partikelströmung auf.

Bewertung:

Aufgrund der Kontaminationssituation des Säureteerteiches Gau-Algesheim mit den Hauptkontaminanten MKW und PAK sowie der Eigenschaften des Ablagerungsmaterials ist der Einsatz elektrokinetischer Verfahren zur Sanierung nicht möglich.

Bei der Anwendung des elektrokinetischen Sanierungsverfahrens im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. **Das Verfahren wird daher im Rahmen dieser Variantenstudie nicht weiter betrachtet.**

7.5.3.8 Verglasung

Beschreibung:

Bei einer In-Situ-Verglasung werden durch das Einbringen von elektrischen Strömen in den Untergrund Temperaturen erzeugt, die das Gestein zum Schmelzen bringen. Beim Abkühlen bilden sich glasartige Strukturen, in die nicht verdampfende Schadstoffe, z. B. Schwermetalle, eingeschlossen werden und damit nicht mehr eluieren können.

Organische Verunreinigungen werden bei den erzeugten Temperaturen zerstört, wobei zu beachten ist, dass bei den nicht vollständig kontrollierbaren In-Situ-Prozessen eine Vorhersage und Überwachung der dabei entstehenden Produkte nicht möglich ist. Das Verfahren hat auf Grund des sehr hohen Energieeintrages bisher in Europa keine großtechnische Anwendung gefunden.

Bei der Verglasung werden die Schadstoffe bei $> 1.500^{\circ}\text{C}$ inertisiert. Wegen der bei der Verglasung auftretenden Entgasungs- und Verbrennungsprozesse kann dieses Verfahren auch als thermische Behandlung gesehen werden.

Bewertung:

Das Verfahren der In-Situ-Sanierung ist im konkreten Fall wegen der Art der Schadstoffe sowie aufgrund der fehlenden Erfahrungen und der hohen Energiekosten nicht empfehlenswert.

Bei der Anwendung der In-Situ-Verglasung im konkreten Fall würde keines der in Kapitel 6.2 definierten Sanierungsziele erreicht werden. **Das Verfahren wird auf Grund dessen nicht weiter betrachtet.**



7.6 Zusammenfassung

Im Rahmen der durchgeführten Vorauswahl von Sanierungsverfahren sollten die grundsätzlich zur Sanierung des Säureteerteiches geeigneten Verfahren ermittelt werden. Die Eignung der einzelnen Verfahren wurde unter besonderer Berücksichtigung der geforderten Sanierungsziele sowie der vorherrschenden Standortverhältnisse überprüft.

Im Zuge dieser Überprüfung wurden einerseits Verfahren herausgestellt, die zur Sanierung im konkreten Fall nicht geeignet sind. Andererseits konnte die grundsätzliche Eignung bestimmter Verfahren nachgewiesen werden. Eine Übersicht über die im Rahmen der Vorauswahl betrachteten und bewerteten Sanierungsverfahren zeigt folgende Tabelle 1:

Sanierungsverfahren		Erfüllung Sanierungsziele (gem. Kap. 6.4)			Weitere Bemerkungen	Eignung	
		1	2	3		ja	nein
	Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen	(✓)	(✓)	(✓)		(✓)	
Sicherung	Oberflächenabdeckung	(✓)	(✓)	(✓)		(✓)	
	Isolationsverfahren						
	Oberflächenabdichtung	✓	✓	(✓)	Eignung in Kombination mit einer vertikalen Abdichtung als Einkapselung	✓	
	Nachträgliche Basisabdichtung	x	x	(✓)	sehr hoher technischer Aufwand		x
	Vertikale Abdichtung	x	x	✓	Eignung in Kombination mit einer horizontalen Abdichtung als Einkapselung	✓	
	Immobilisierungsverfahren	x	x	(✓)	technische Probleme bei der Realisierung		x
	Hydraulische Sicherungsverfahren						
	Grundwasserabsenkung	x	x	(✓)			x
Hydraulische Abstromsicherung	x	x	(✓)			x	
Dekontamination	Materialaushub und Entsorgung	✓	✓	✓		✓	
	Bodenwäsche	x	x	(✓)	Konsistenz des Materials problematisch, technisch nicht geeignet		x
	In-Situ-Verfahren						
	Hydraulische Sanierung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x
	Pneumatische Sanierung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x
	Biologische Sanierung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x
	Thermische Sanierung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x
	Elektrokinetische Sanierung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x
Verglasung	x	x	x	technisch nicht geeignet		x	

Zeichenerklärung: x nicht erfüllt (✓) bedingt erfüllt ✓ erfüllt

Sanierungsziele gem. Kapitel 6.4: 1 = Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen, 2 = Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse, 3 = Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers

Tabelle 1: Vorauswahl Sanierungsverfahren

Zur Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim weisen im Ergebnis der oben zusammengefassten Vorauswahl die im Folgenden genannten Verfahren eine grundsätzliche Eignung auf. Den jeweiligen Verfahren werden entsprechende Varianten zugeordnet, die in den folgenden Kapiteln konkret erläutert werden.

- Variante 1: Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

- **Sicherungsverfahren:**
 - Variante 2: Sicherung durch Oberflächenabdeckung
 - Variante 3: Sicherung durch Oberflächenabdichtung und Dichtwandum-schließung

- **Dekontaminationsverfahren:**
 - Variante 4: Sanierung durch Teilaushub und Entsorgung/Verwertung des Aushubmaterials
 - Variante 5: Sanierung durch Komplettaushub und Entsorgung/Verwertung des Aushubmaterials

8. DARSTELLUNG AUSGEWÄHLTER SANIERUNGSVARIANTEN

8.1 Allgemeines

Für die in Kapitel 7.6 genannten, grundsätzlich möglichen Sanierungsvarianten stehen jeweils verschiedene Ausführungsvarianten zur Verfügung. Die Auswahl dieser Ausführungsvarianten richtet sich insbesondere nach den standortspezifischen Rahmenbedingungen und muss, ähnlich wie die Vorauswahl der grundsätzlich geeigneten Sanierungsverfahren, für jeden Sanierungsfall einzeln geprüft werden.

Im Folgenden werden verschiedene Ausführungsarten der ausgewählten Sanierungsvarianten dargestellt und bewertet.

Darauf basierend werden in einem weiteren Schritt konkrete Sanierungsvarianten für den Säureteerteich Gau-Algesheim abgeleitet. In Kapitel 9 folgen ein Variantenvergleich und eine abschließende Bewertung der Sanierungsvarianten.

8.2 Variante 1: Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

8.2.1 Erläuterungen

Diese Variante beinhaltet die aus bodenschutzrechtlicher Sicht umzusetzenden Mindestmaßnahmen zur Gefahrenabwehr. Sie umfasst in erster Linie Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, durch welche der Zugang zur Altablagerung verhindert und auf die von den Säureteeren ausgehende Gefährdung aufmerksam gemacht werden soll. Des Weiteren sind die Herstellung von Brandschutz-Einrichtungen sowie eine Grundwasserüberwachung Bestandteil dieser Variante.

Zur Minimierung zukünftiger Gefahren für Mensch und Tier durch Direktkontakt zu den Säureteeren erfolgt eine massive geschlossene Einzäunung des gesamten Geländes in ausreichendem Abstand. Der Zaun ist mit einer Untergrabsperre und einem Übersteigschutz auszustatten, um das Überwinden sowohl durch Tiere als auch durch Menschen zu erschweren. Der Zaun sollte in einem ausreichenden Abstand zur Säureteerablagerung hergestellt werden, beispielsweise unter Einhaltung eines ca. 5 m breiten Schutzstreifens. Dieser Schutzstreifen hat u. a. die Funktion, auf dem Gelände befindliches Wartungspersonal einen ausreichend sicheren Bewegungsfreiraum zu bieten. Im Bereich des Wirtschaftsweges muss der Zaun direkt am Fuß der Böschung errichtet werden.

Des Weiteren ist durch eine entsprechende Beschilderung, die direkt am Zaun angebracht werden kann, auf die von den Säureteerablagerungen ausgehenden Gefahren und auf das Betretungsverbot sowie die Brandgefahren aufmerksam zu machen.

Um die Gefahr etwaiger Brandereignisse zu minimieren und um im Falle eines Brandausbruchs eine Brandausbreitung auf ein möglichst geringes Maß zu reduzieren, ist ein entsprechender passiver Brandschutz zu organisieren. Dazu sind einerseits technische Maßnahmen und andererseits organisatorische Maßnahmen einzuleiten.

Zu den technischen Maßnahmen gehören Brandschutz-Einrichtungen wie beispielsweise eine automatische Brandmeldeanlage in unmittelbarer Nähe zum Säureteerteich. Brandschutz-Einrichtungen müssen zur Überwachung mit einer entsprechenden Überwachungsgesellschaft verbunden werden. Eine Betrachtung verschiedener Brandmeldertypen ist in Kapitel 8.2.1.1 zu finden.

Für den dauerhaften Betrieb der automatischen Brandmeldeanlagen ist eine ausreichende Stromversorgung herzustellen. Die Stromversorgung kann einerseits über eine erdverlegte Leitung und andererseits über eine angeschlossene Solarzelle realisiert werden. Durch den Anschluss einer Solarzelle können aufwendige Erdarbeiten zur Verlegung von Stromleitungen über lange Strecken vermieden werden. Des Weiteren sind Einrichtungen zur Telekommunikation vorzusehen, über die eine mögliche Alarmmeldung weitergeleitet wird.

Dieses kann entweder über erdverlegte Leitungen oder alternativ über Funk erfolgen.

Die organisatorischen Maßnahmen im Zusammenhang mit passivem Brandschutz zielen insbesondere auf die Erstellung von Feuerwehr-Einsatzplänen ab. Sie beinhalten eine Objektbeschreibung mit allen für die Feuerwehr relevanten Angaben, insbesondere zu vorhandenen Gefahren und brennbaren Materialien, zu geeigneten Löschmitteln und nahe gelegenen Löschwasserentnahmestellen, Lage des Objektes und Anfahrtswegen sowie zuständigen Ansprechpartnern. Feuerwehr-Einsatzpläne sollten unter Einbeziehung der zuständigen Ortsfeuerwehren erstellt werden.

Die bereits genannte Umzäunung ist ebenfalls Bestandteil des passiven Brandschutzes, da sie die Erreichbarkeit des Geländes für externe Zündquellen (z .B. Zigaretten, Glasscherben) erschwert.

Weitere Maßnahmen im Rahmen der Gefahrenabwehrvariante sind die regelmäßige Kontrolle und Überprüfung des baulichen Zustandes des Randwalls und das Anbauverbot von Nutzpflanzen in der Nähe zum Säureteerteich.

Der bauliche Zustand des Randwalls wurde im Rahmen vorangegangener Untersuchungen als schlecht bewertet, wodurch die Gefahr des Brechens und somit des Austritts der Säureteere grundsätzlich gegeben ist. In Kapitel 6.3 wurde daher bereits empfohlen, den Zustand des Randwalls regelmäßig zu überprüfen und bei Bedarf Verstärkungen oder Erhöhungen vorzunehmen, um den Austritt von Säureteeren ins Umgebungsgelände zu verhindern. Im Zusammenhang mit der Gefahrenabwehrvariante wird diese Überwachung für unverzichtbar angesehen. Sollten am Randwall Maßnahmen erforderlich werden, sollte die Herrichtung einer Grabesperre gegen Tiere z. B. aus Geotextilien berücksichtigt werden.

Des Weiteren wurde in Kapitel 6.3 bereits aus Vorsorgegründen eine Nutzungsbeschränkung für die ackerbaulich genutzte Fläche unmittelbar südlich des Säureteerteiches in Form eines Anbauverbotes von Nutzpflanzen in einem Mindestabstand von ca. 10 m zum Randwall des Säureteerteiches empfohlen. Dieser Empfehlung sollte im Falle einer Realisierung der Gefahrenabwehrvariante u. E. unbedingt nachgekommen werden.

8.2.1.1 Automatische Brandmeldeanlagen

Brandmeldeanlagen sind Anlagen, die Gefahrenmeldungen von Brandmeldern empfangen, auswerten und entsprechend weiterleiten. Es wird zwischen automatischen Brandmeldern, die einen Brand aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften (Temperaturerhöhung, Rauchentwicklung usw.) erkennen, und nicht-automatischen Brandmeldern, die bei Ausbruch eines Brandes von Hand ausgelöst werden müssen, unterschieden.

Da im konkreten Fall nur ein automatischer Brandmelder in Betracht kommt, werden folgende Typen vorgestellt und auf ihre Eignung hin überprüft:

- Brandgasmelder
- Wärmemelder
- Rauchmelder
- Flammenmelder
- Multikriterien-Melder.

8.2.1.1.1 Brandgasmelder

Brandgasmelder reagieren auf bestimmte Konzentrationen von Kohlenstoffmonooxid, Kohlenstoffdioxid oder anderen Verbrennungsgasen, die Anzeichen für einen ausgebrochenen Brand darstellen können. Dieser Typ von Brandmeldern eignet sich bevorzugt für geschlossene Räume, da dort die Veränderung der Gaskonzentration mittels dieser Geräte messbar ist.

8.2.1.1.2 Wärmemelder

Wärmemelder reagieren auf die Überschreitung einer zuvor definierten Umgebungstemperatur (in der Regel ca. 60°C) oder alternativ auf die Höhe eines Temperaturanstiegs pro Zeiteinheit. Moderne Wärmemelder vereinen diese beiden Eigenschaften. Wärmemelder kommen insbesondere in rauchigen oder staubigen Räumen zum Einsatz, wo andere Meldertypen zu regelmäßigen Fehlalarmierungen führen würden. Sie dienen insbesondere dem Schutz von Sachgütern, nicht jedoch von Personen, da schlafende Menschen vor Anschlägen des Wärmemelders bereits an Rauchgasen erstickt sein können. Nachteil der Wärmemelder ist deren trägeres Reaktionsvermögen gegenüber anderen Typen.

8.2.1.1.3 Rauchmelder

Rauchmelder verwenden verschiedene physikalische Effekte, um Brandrauch zu erkennen. Es wird grundsätzlich unterschieden in „Optische Rauchmelder“ und „Ionisationsrauchmelder“.

Das Funktionsprinzip optischer Rauchmelder basiert auf dem Streulichtverfahren. Sobald Rauchpartikel in die so genannte optische Kammer des Rauchmelders eindringen, wird ein von einer Infrarot-Leuchtdiode ausgehender Lichtstrahl gestreut, woraufhin der Melder Alarm auslöst. Optische Rauchmelder sind besonders zur frühzeitigen Erkennung von Schwelbränden geeignet, da sie insbesondere auf große und helle Rauchpartikel reagieren.

Ionisationsrauchmelder arbeiten mit einem radioaktiven Strahler. Sie können besonders kleine bzw. unsichtbare Rauchpartikel erkennen, wie sie bei Bränden mit Flammenbildung auftreten. Aufgrund der Radioaktivität werden diese Rauchmeldertypen nur in Sonderfällen eingesetzt.

8.2.1.1.4 Flammenmelder

Das Funktionsprinzip eines Flammenmelders basiert auf der Erfassung der charakteristischen Emissionen einer Flamme im infraroten bis ultravioletten Bereich. Das Risiko von Fehlalarmierungen kann bei Flammenmeldern durch die Anordnung mehrerer Sensoren in einem Gerätegehäuse deutlich minimiert werden. Flammenmelder kommen bevorzugt dort zum Einsatz, wo nach dem Ausbruch eines Brandes mit einer schnellen Entwicklung offener Flammen zu rechnen ist.

8.2.1.1.5 Multikriterien-Melder

Multikriterien-Melder vereinen mehrere verschiedene Meldertypen in einem Gerät. Es sind besondere Brandmelder, die mit mehreren Sensoren arbeiten. Mittels einer Elektronik werden die verschiedenen Impulse ausgewertet, wodurch sich das Risiko von Fehlalarmierungen deutlich minimieren lässt.

8.2.1.1.6 Bewertung

Ein Einsatz von Brandmeldern im Freien sollte vor der Installation grundsätzlich auf seine Eignung hin geprüft werden. Dabei spielen insbesondere die Lage des zu überwachenden Objektes sowie die Art der brennbaren Materialien eine entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang ist die genaue Positionierung der Brandmelder zu prüfen.

Aufgrund der Lage des Säureteerteiches auf einer freien Fläche ist sowohl mit einem erhöhten Windaufkommen als auch mit einer starken Sonneneinstrahlung, insbesondere in den Sommermonaten, zu rechnen. Durch Winde kann es zum Versagen der Brandmeldeeinrichtungen im Ernstfall kommen, da Rauch, Rauchgase und bei stärkeren Winden auch die Wärme seitlich abgeführt und somit je nach Positionierung des Brandmelders nicht registriert werden können.

Andererseits kann eine hohe Sonneneinstrahlung, insbesondere unmittelbar über der Säureteeroberfläche, zu starken Temperaturanstiegen und somit zu Fehlalarmierungen der Brandmeldeeinrichtung führen.

Aufgrund seines Funktionsprinzips ist insbesondere der Flammenmelder weniger störanfällig gegenüber Witterungseinflüssen wie Wind und Wärme. Im Ergebnis lässt sich festhalten, dass allenfalls der Einsatz des Flammenmelders und ggf. auch eines Multikriterien-Melders in die nähere Betrachtung einbezogen werden sollte.

Gelegentliche Fehlalarmierungen der zuständigen Feuerwehren können jedoch auch durch diese Brandmelder nicht ausgeschlossen werden. Bei Installation von Brandmeldeanlagen wird i. d. R. der Abschluss eines Wartungsvertrages mit einer entsprechenden Fachfirma für sinnvoll erachtet.

8.2.2 Erfordernis einer Nachsorge

Da bei dieser Variante das kontaminierte Material vollständig im Untergrund belassen wird, ist die bereits durchgeführte Grundwasserüberwachung kontinuierlich fortzuführen. Dadurch können mögliche Zustandsverschlechterungen des Grundwassers zeitnah entdeckt werden und entsprechende Folgemaßnahmen eingeleitet werden.

Des Weiteren ist eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Umzäunung, der Brandmeldeanlagen sowie der Randwälle erforderlich. Denkbar wären auch gelegentliche Einsatzübungen und Einweisungen in Zusammenarbeit mit den zuständigen Feuerwehren, um im Falle eines Brandausbruches die örtlichen Gegebenheiten als bekannt voraussetzen zu können.

Im Zusammenhang mit der empfohlenen Nutzungsbeschränkung und des zu verhängenden Anbauverbotes von Nutzpflanzen in Nähe zum Säureteerteich ist die Einhaltung dieser Anordnungen durch die zuständige Behörde durchzusetzen und regelmäßig zu überprüfen.

Auch bei dieser Variante muss im Rahmen der abschließenden Bewertung (siehe Kapitel 9) die Nachsorgephase berücksichtigt werden. Eine Benennung möglicher Nachsorgemaßnahmen sowie deren prognostizierte Kosten unter Berücksichtigung eines Nachsorgezeitraums von 100 Jahren sind in Anlage 7.1 zu finden.

8.2.3 Zusammenfassung

Die Variante 1 umfasst keine direkten Maßnahmen am Säureteerteich bzw. am Ablagerungsmaterial. Die Variante 1 setzt sich aus den folgenden wesentlichen Komponenten zusammen:

- Umzäunung des Säureteerteiches einschl. Untergrabssperre und Übersteigenschutz in einem ausreichenden Abstand zum Säureteerteich von mindestens 5 m
- Beschilderung mit Warnhinweisen
- Passiver Brandschutz durch
 - Einrichtung einer automatischen Brandmeldeanlage (z. B. mit Flammenmeldern)
 - Erarbeitung eines Feuerwehr-Einsatzplanes unter Einbeziehung der örtlichen Feuerwehr
- Regelmäßige Kontrolle des baulichen Zustandes des Randwalls, ggf. bei Bedarf Verstärkung mit Grabsperre
- Nutzungsbeschränkung für die unmittelbar angrenzenden Flächen durch Anbauverbot
- Weiterführung der Grundwasserüberwachung am Standort an den vorhandenen Grundwassermessstellen.

8.3 Variante 2: Sicherung durch Oberflächenabdeckung

8.3.1 Allgemeines

Als Variante 2 wird die Sicherung des Säureteerteiches durch eine Oberflächenabdeckung betrachtet.

8.3.2 Oberflächenabdeckungen

Neben einem geotechnisch geprägten und an die Techniken der Deponiesicherung orientierten Oberflächenabdichtungssystem (siehe Kapitel 7.5.2.2 und Kapitel 8.4), wird im Folgenden die Eignung einer Oberflächenabdeckung auf der Oberfläche des Säureteerteiches geprüft. Oberflächenabdeckungen werden, wie in Kap. 7.5.2.1 bereits dargestellt, insbesondere zur Unterbindung des Direktkontaktes zum kontaminierten Material sowie zur Minimierung von Verwehungen von Staub und staubgebundenen Schadstoffen hergestellt.

Für den konkreten Fall wird eine „echt schwimmende“ Abdeckung betrachtet. Es wird darauf hingewiesen, dass diese Variante **nicht dem Stand der Technik** entspricht.

Die „echt schwimmende“ Abdeckung verzichtet auf eine geotechnische Tragfähigkeit des Untergrundes zugunsten einer Tragwirkung über die „Flüssigkeit“ Säureteer. Sie macht deshalb eine Unterkonstruktion zum Zweck der Herstellung eines tragfähigen Unterbaus entbehrlich.

Ziel der hier betrachteten Oberflächenabdeckung ist in erster Linie die Minimierung zukünftiger Gefahren für Mensch und Tier durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen. Des Weiteren soll durch diese Maßnahme die Gefahr von Brandereignissen minimiert werden.

Zur Realisierung der Oberflächenabdeckung werden im Folgenden verschiedene Ausführungsvarianten betrachtet. Die betrachteten Systeme beruhen darauf, dass das spezifische Gewicht der Abdeckung kleiner ist als das spezifische Gewicht des als hoch viskose Flüssigkeit anzusprechenden Säureteers. Damit könnten zumindest die Eigenlasten der Abdeckung abgetragen werden. Des Weiteren muss das System so dimensioniert werden, dass auch Verkehrslasten (z. B. Niederschlagswasser, Schnee usw.) aufgenommen werden können.

8.3.3 Aufbau der Oberflächenabdeckungen

Im Folgenden werden verschiedene Varianten der Oberflächenabdeckung für den konkreten Fall aufgestellt. Die im Folgenden skizzierten Varianten der Oberflächenabdeckung können nach derzeitigem Kenntnisstand nur beispielhaft angegeben werden. Eine konkrete Festlegung des Aufbaus bedarf weitergehender Klärungen und Prüfungen.

8.3.3.1 Variante 1: Oberflächenabdeckung aus Bimskies/Schaumglas/Blähton

8.3.3.1.1 Beschreibung

Variante 1 zur Herstellung einer Oberflächenabdeckung auf dem Säureteerteich lässt sich wie folgt charakterisieren:

- geringmächtige Schicht aus inertem und leichtem Material, das auch im feuchten Zustand eine geringere Dichte als der Säureteer haben muss, z. B.
 - Bims (Bimskies) mit geringem Anteil an Bodenmaterial oder alternativ
 - Schaumglas/Foamglas
 - Blähton

Zur Wiedereingliederung des Standortes in die Umgebung, als Verwehungschutz oder zur weiteren Reduzierung der Gefahren kann ein Bewuchs der Fläche z. B. in Form von Rasen, der einen das Erdmaterial intensiv bindenden Wurzelschwamm ausbildet, sinnvoll sein.

Das schwimmende Material wird als Schüttung oder in einzelnen Blöcken aufgebracht. Dabei besteht bei lokalen Belastungen, z. B. beim Begehen der Fläche für Wartungs- oder Pflegearbeiten, bei ungewolltem Betreten durch Unbefugte oder bei starken zusätzlichen Belastungen z. B. durch Niederschlagsereignisse (Schnee), die Gefahr, dass der Auftrieb des schwimmenden Materials lokal überschritten wird und damit Teer an die Oberfläche tritt. Deshalb wird u. U. der Einbau einer Trennschicht zur Lastverteilung als Auflage auf die Säureteerablagerungen, z. B. als Geotextil (Trennvlies) oder alternativ aus einer säurebeständigen Folie für sinnvoll erachtet.

Die als schwimmende Schicht einzusetzenden Materialien müssen vor allem leicht und gegen die sauren und organischen Teerbestandteile beständig sein. Denkbar sind die nachfolgenden Materialien:

- **Bims** ist ein poröses und glasiges Vulkangestein, das durch gasreiche vulkanische Eruptionen durch die Aufschäumung von Lava entsteht. Sein spezifisches Gewicht ist kleiner als das von Wasser. Je nach Herkunft und Luftgehalt variiert die Farbe von Bimsstein von schwarz bis nahezu weiß. Bimsstein kann als schüttfähiges Material („Bimskies“) oder als Formstein verwendet werden.
- **Schaumglas/Foamglas** ist ein Produkt, das vorrangig zur Isolation von Gebäuden und technischen Anlagen verwendet wird. Es zeichnet sich durch seine hohe Druckfestigkeit, seine Säurebeständigkeit sowie seine Form- und Maßbeständigkeit aus. Des Weiteren ist das Material nicht brennbar, wasserdampfdicht und wasserundurchlässig. Die Herstellung von Schaumglas erfolgt mittels Aufschäumung von silikatischem Glas durch Zugabe von Treibmitteln. Ausgangsstoff ist dabei i. d. R. Quarzsand, der zusammen mit Zusatzmitteln zunächst zu Glas geschmolzen wird und nach dem Abkühlen zerkleinert und pulverisiert wird. Dem Pulver wird Kohlenstoff beigemischt, der beim Erhitzen oxidiert und Gasblasen bildet, wodurch die Aufschäumung erfolgt.
- **Blähton:** Als Rohstoff wird kalkarmer Ton mit fein verteilten organischen Bestandteilen verwendet. Dieser wird gemahlen, granuliert und bei ca. 1.200°C im Drehrohrofen zu aufgeblähten kugelförmigen Körnern gebrannt. Der Kern ist geschlossenporig, die Oberfläche gesintert. Blähton ist als Zuschlag in Mörtel und Beton (Leichtbeton) geeignet. Dabei werden insbesondere das geringe Gewicht wie auch die gut wärmedämmenden Eigenschaften des Blähtons ausgenutzt. Ohne weitere Bearbeitung oder Behandlung kann Blähton als wärmedämmende und raumstabile Schüttung eingebaut werden. Im Garten- und Landschaftsbau sowie in der Floristik wird Blähton als Substratersatz und zur Bodenverbesserung eingesetzt.

Die o. g. Materialien, insbesondere Blähton, werden auch im Erd- und Grundbau, im Straßen- und Wegebau sowie im Landschaftsbau eingesetzt und sind daher in den hier erforderlichen Mengen (ca. 1.000 m³ bei einer Schichtdicke von ca. 0,5 m) auf dem Markt verfügbar. Andere Materialien mit ähnlichen Eigenschaften sind zusätzlich zu erhalten.

Die spezifischen Gewichte der genannten Materialien betragen:

- Bimsstein (Bimskies): ca. 0,7 t/m³
- Schaumglas / Foamglas: ca. 0,1 t/m³
- Blähton: ca. 0,2 bis zu 1,5 t/m³ (je nach Körnung)

Im Vergleich dazu kann für Säureteere ein spezifisches Gewicht von ca. 1,3 t/m³ angesetzt werden.

Im einfachsten Fall wird das Material der schwimmenden Abdeckung alleine auf die Oberfläche aufgebracht. In Verbindung mit einer Abdeckung aus Mutterboden und einer lastverteilenden und abdichtenden Schicht aus Geotextilien oder Folie ergibt sich folgender beispielhafter Prinzipaufbau der o. g. Oberflächenabdeckung als „echt schwimmende“ Abdeckung:

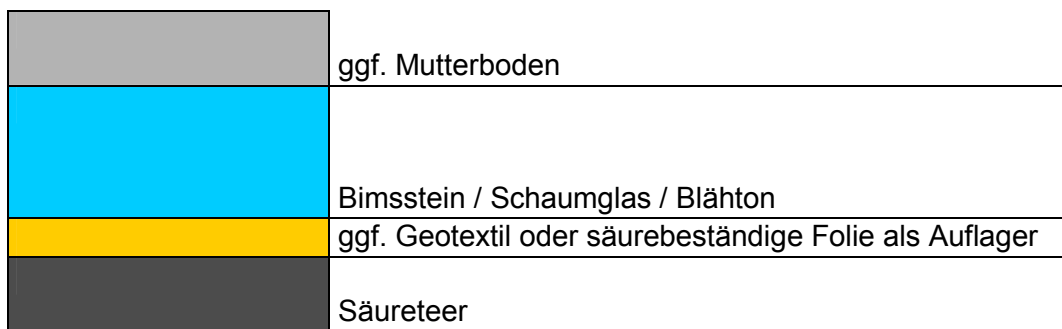


Abb. 1: Beispielhafte Prinzipskizze der Oberflächenabdeckung

Der oben skizzierte Aufbau der Oberflächenabdeckung ist als beispielhafte Darstellung zu verstehen und ist im Falle einer Realisierung zu konkretisieren.

8.3.3.1.2 Bewertung

a) Abdeckmaterial ohne Bodenabdeckung und Auflagerschicht:

Das Aufbringen einer im Wesentlichen nur das Eigengewicht tragenden schwimmenden Abdeckung ist technisch grundsätzlich möglich. Schütffähige Materialien (Bimskies, Blähton) können z. B. mittels Kran und Betonkübel auf die Teeroberfläche geschüttet werden. Zum Erreichen des Sanierungszieles sollten Schichtdicken von z. B. 0,5 m ausreichend sein. Das Aufbringen von Fertigteilen z. B. aus Foamglas ist technisch aufwändiger und ohne ein Betreten des Teerteiches kaum realisierbar.

Eine solche Abdeckschicht wäre der Witterung ausgesetzt. Schüttfähige Güter würden ggf. verweht. Niederschlagswasser würde in die Abdeckung eindringen und sich auf der Teeroberfläche einstauen, bis es seitlich abfließen kann, wie dieses derzeit bei der nicht abgedeckten Oberfläche auch erfolgt. Ein Kontakt des Niederschlagswassers mit dem Teer und damit ein Austrag von Schadstoffen in den Boden und das Grundwasser wären nicht verhindert. Die Beständigkeit der Materialien bei langjährigem Einfluss der Witterung (z. B. Tau-/Frostwechsel) müsste ggf. noch untersucht werden. Ein Nachschütten von Abdeckmaterial ist aber jederzeit möglich.

Nachteilig wirkt sich aus, dass die Fläche im Prinzip wegen der Instabilität des Schüttkörpers nicht betreten werden könnte. Damit sind Wartungs- und Pflegearbeiten auf der Fläche nicht möglich.

Es wird erwartet, dass sich bei einem solchen System durch Anwehungen von Staub usw. eine Bodenbildung im Laufe einiger Jahre einstellen wird. Daraus wird sich eine ungesteuerte Vegetationsdecke entwickeln. Da keine Wartungsarbeiten durchgeführt werden können, wäre dieses nicht zu verhindern. Eine Vegetationsdecke würde zwar zu einer Stabilisierung des Systems führen (z. B. gegen Verwehungen), allerdings würden sich eine Auflast aus dem Boden, dem gespeicherten Wasser und dem Bewuchs ergeben, die langfristig die Stabilität des Systems gefährdet. Eine weitere Gefährdung der Systemstabilität ist insbesondere in den Wintermonaten durch Schneelasten zu besorgen.

b) Abdeckmaterial mit Bodenabdeckung und Auflagerschicht:

Das Aufbringen einer schwimmenden Abdeckung, die neben ihrem Eigengewicht zusätzlich auch eine aufgebraute Bodenabdeckung tragen soll, ist aus technischer Sicht problematischer zu werten, als eine nur ihr Eigengewicht tragende schwimmende Abdeckung.

Die Herstellung der schwimmenden Abdeckung kann im Prinzip ähnlich erfolgen wie bereits zuvor erläutert. Boden als schüttfähiges Material kann ebenfalls z. B. mittels Kran und Betonkübel auf die bereits hergestellte Abdeckung aus Bimskies, Blähton oder Foamglas aufgebracht werden.

Mittels der aufgebrauten Oberflächenabdeckung kann die Gefahr eines Direktkontaktes von Mensch und Tier zum kontaminierten Ablagerungsmaterial und die Gefahr von Brandereignissen durch äußere Einflüsse (z. B. Zigaretten, Funkenflug etc.) grundsätzlich auf ein akzeptables Maß minimiert werden. Die zusätzliche Bodenabdeckung schützt die ursprüngliche Abdeckschicht gegen unmittelbare Witterungseinflüsse. Sie bietet der Abdeckschicht Schutz vor Verwehungen. Den Einfluss von Tau- und Frostwechsel kann die Bodenschicht wegen der geringen Mächtigkeit (etwa 0,3 m) jedoch nicht verhindern.

Zur Herstellung der Auflagerschicht mittels Geotextil oder Folie ist das Betreten der Fläche durch Bauwerker erforderlich. Durch eine verlegte Folie kann jedoch der Direktkontakt von Niederschlagswasser zum Ablagerungsmaterial zunächst verhindert werden. Sowohl für das Geotextil als auch für die Folie wäre allerdings auch nach fachgerechter Verlegung aufgrund des dauerhaften Kontaktes zum sauren und organischen Material der Ablagerung eine schleichende Materialschwächung nicht auszuschließen, wenn entsprechend beständige Materialien nicht zur Verfügung stehen. Durch daraus resultierende Beschädigungen der Folie kann das Eindringen von Niederschlagswasser wieder ermöglicht werden. Niederschlagswässer würden sich dann weiterhin an der Teeroberfläche anstauen bis sie seitlich abfließen können. Aber auch das Stauwasser oberhalb der Auflagerschicht muss seitlich abgeführt werden. Es ist allerdings unkontaminiert, so dass die Anforderungen des Grundwasserschutzes besser berücksichtigt sind. Geschüttete Materialien der Schwimmschicht sind auf Grund Ihrer Durchlässigkeit besser als horizontale Drainage geeignet als kompakte Baumaterialien wie Foamglas.

Nachteil des Einsatzes einer optional aufzubringenden säurebeständigen Folie als Trennschicht ist die Gefahr eines Wassereinstaus bei Niederschlagsereignissen auf der Folie. Um diese Gefahr zu minimieren, wäre eine entsprechende Profilierung der Auflagerfläche für die Folie zur Gewährleistung eines geregelten Wasserabflusses erforderlich. Eine Profilierung der Fläche gestaltet sich aufgrund des nur bedingt tragfähigen Untergrundes als sehr problematisch und wäre mit weiteren Maßnahmen zur Herstellung eines tragfähigen Planums verbunden. Weitere Ausführungen hierzu sind im Zusammenhang mit der Oberflächenabdichtung in Kapitel 8.4.4 zu finden.

Größter Nachteil dieser Abdeckvariante ist auch hier die Systemstabilität. Die Fläche könnte trotz der Bodenabdeckung nur eingeschränkt betreten werden. Damit sind Wartungs- und Pflegearbeiten auf der Fläche nicht möglich. Aufgrund der Bodenschicht und dem sich einstellenden Bewuchs wären diese Arbeiten jedoch zwingend erforderlich. Mit zunehmender Vegetationsdecke würde sich eine Auflast aus dem Boden, dem gespeicherten Wasser und dem Bewuchs ergeben, die langfristig die Stabilität des Systems gefährdet.

Außerdem erhöht Schneefall die Auflast auf die Oberflächenabdeckung und kann somit zur Ausbildung von lokalen Senken oder sogar zum Einsinken der Abdeckung führen. Die Schneelast-Problematik schränkt die Eignung der Oberflächenabdeckung aus technischer Sicht ein.

8.3.3.2 Variante 2: Biomatte

8.3.3.2.1 Beschreibung

Eine weitere Variante der Oberflächenabdeckung stellt die so genannte „Biomatte“ dar, wie sie beispielsweise im Rahmen der Sicherung der Grube Johannes („Silbersee“) bei Wolfen in Sachsen-Anhalt zum Einsatz kam. In der Grube Johannes wurden über Jahre wasserhaltige Schlämme aus Ligninderivaten, Zellulose, Asche und Kalkschlamm mit erhöhten Schwermetallgehalten deponiert. In wärmeren Jahreszeiten kam es zu erheblichen Geruchsbelästigungen und toxischen Gefährdungen der Anwohner durch anaerob gebildete Gase.

Für die Sicherungsvariante „Biomatte“ gibt es eine eigene Patentierung (Patent - Nr. 43 12 891 C1). Die Biomatte besteht aus einem Drahtgewebe (hier aus Polyester-Drähten). Die Gitterstruktur ist in allen Richtungen von Wasser und Gasen durchströmbar. Die Biomatte wurde bei der Grube Johannes auf den Sachlamm aufgelegt, so dass die mikrobiologische Oxidation in einer Grenzschicht an der Schlammoberfläche in einem von Wasser gefüllten Bewuchskörper stattfindet.

Analog zur Grube Johannes wird im Folgenden die Eignung einer Biomatte auf dem Säureteerteich in Gau-Algesheim geprüft. Die Abdeckung erfolgt mittels eines Bewuchskörpers, der zwischen dem Gittergewebe angeordnet ist. Die so entstandene Biomatte wird auf den Ablagerungskörper aufgelegt und in den Randbereichen gegen Verrutschen gesichert.

8.3.3.2.2 Bewertung

Das Aufbringen der Biomatte auf den Säureteerteich erfolgt bahnenweise. Das fachgerechte Verlegen und Verbinden der Bahnen ist ohne ein Betreten der Säureteerablagerung wahrscheinlich nicht möglich.

Mittels der Biomatte kann grundsätzlich die Oberfläche des Säureteerteiches abgedeckt werden. Auf Grund der sauren Milieubedingungen und des fehlenden Wurzelraums, insbesondere mit ausreichendem Nährstoffvorrat, pflanzenverfügbarem Sauerstoffangebot und Wasserhaushalt, ist jedoch kein fortschreitender Pflanzenwuchs zu erwarten.

Des Weiteren kann durch den dauerhaften Kontakt des Gittergewebes zum säurehaltigen Ablagerungsmaterial ein Versagen des Gitters nicht ausgeschlossen werden. Ein Versagen des Gittergewebes bedeutet gleichzeitig das Versagen der gesamten Abdeckungsmaßnahme, da die Stabilität der Gitterstruktur und somit die Tragfähigkeit der gesamten Abdeckungskonstruktion deutlich verschlechtert wird.

Auch bei dieser Maßnahme kommt der bei Variante 1 bereits erläuterte Aspekt der Standsicherheitsgefährdung durch Auflasten (z. B. durch Schnee) zum Tragen und schränkt die Eignung der Maßnahme aus technischer Sicht weiter ein.

Selbst im Falle einer funktionstüchtigen Abdeckung kann die Maßnahme die geforderten Sanierungsziele nicht erreichen. Im Hinblick auf die menschliche Gesundheit im Zusammenhang mit dem Direktkontakt ist beispielsweise ein partielles Einsinken einer Person/eines Tieres bei Betreten des Säureteerteiches auch durch die Biomatte nicht zu verhindern. Des Weiteren bietet die Biomatte im Vergleich zu Variante 1 der Oberflächenabdeckung aus Bimskies/Schaumglas/Blähton einen geringeren Schutz gegen Brandereignisse, da die Gitterstruktur wesentlich grobmaschiger ist. Die Reduzierung der Sickerwasserbildung wird durch die gas- und wasserdurchlässige Biomatte in keinem Fall erreicht.

8.3.4 Erfordernis einer Nachsorge

Die zuvor erläuterte Sanierungsvariante 1 stellt unabhängig von der Auswahl der o. g. Ausführungsvarianten eine Sicherungsmaßnahme dar. Sicherungsmaßnahmen sind grundsätzlich mit dem Erfordernis einer Nachsorge verbunden, da durch die Sicherungsmaßnahme das Gefahrenpotenzial nicht entfernt wird, sondern lediglich die Expositionspfade unterbrochen werden.

Hauptaufgabe während der Nachsorgephase ist im konkreten Fall die laufende Überwachung der Oberflächenabdeckung selber. Diese kann durch Kontrollgänge visuell erfolgen. Dabei muss insbesondere überprüft werden, ob Absackungen oder Grabungen durch Tiere im Bereich der Oberflächenabdeckung vorliegen. Des Weiteren sind Maßnahmen zur Überwachung des Grundwassers über eine An- und Abstrombeprobung und einem Abgleich der jeweils vorhandenen Schadstoffkonzentrationen zu veranlassen.

Bei einer abschließenden Bewertung der Sanierungsvariante (siehe Kapitel 9) sind die Kosten der Maßnahmen in der Nachsorgephase zu berücksichtigen. In Abstimmung mit der SGD Süd und dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz [14] wurde die Betrachtung eines Nachsorgezeitraums von 100 Jahren gewählt. Eine konkrete Benennung möglicher Nachsorgemaßnahmen für den vorliegenden Fall sowie deren prognostizierte Kosten sind in Anlage 7.2 zu finden.

8.3.5 Entwicklungsstand und Marktverfügbarkeit

Die Oberflächenabdeckung mit den beschriebenen „schwimmenden“ Systemen beruht auf theoretischen Überlegungen und entspricht derzeit nicht dem Stand der Technik, der sich durch entsprechende in der Praxis erfolgreich umgesetzte Anwendungsbeispiele darstellen würde. Es sind aus der Praxis der Sanierung von Teer- oder Säureteerablagerungen und auch aus anderen bautechnischen Vorhaben keine entsprechenden Systeme bekannt.

Die Diskrepanz zwischen der theoretischen Möglichkeit schwimmender Abdeckungssysteme und der fehlenden Anwendungserfahrung müsste durch weitergehende technische Entwicklungen der Einzelbestandteile, durch entsprechende Labor- und Technikumsversuche und durch großtechnische Pilotanwendungen geschlossen werden. Hierzu wären weniger wissenschaftliche Grundlagenarbeiten als technische Entwicklungsaufgaben zu bearbeiten. Diese Arbeiten könnten bei entsprechender finanzieller Ausstattung und ausreichendem Zeitbudget auch am Standort des Säureteerteiches in Gau-Algesheim durchgeführt werden. Vorbehaltlich eines detaillierteren Entwicklungskonzeptes wird die Bearbeitung mindestens folgender Aufgabenstellungen hierfür für erforderlich gehalten:

- Nachweis der Beständigkeit des schwimmenden Materials unter Witterungs- und Säureteereinfluss
- Nachweis, dass das schwimmende Material unter Standortbedingungen dauerhaft das spezifische Gewicht des Säureteers unterschreitet
- Entwicklung einer Aufbringungstechnik ohne Einsatz von Baugeräten auf der Fläche
- Testung des Verhaltens des Gesamtsystems unter Standortbedingungen für unterschiedliche Aufbauvarianten
- Ableitung von Bemessungsparametern u. a. hinsichtlich der erforderlichen Schichtmächtigkeiten

Eine technische Anwendung des schwimmenden Abdeckungssystems ohne die Phase der technologischen Entwicklungen birgt technische Risiken, die zumindest zu Problemen bei der Gewährleistung durch die Ingenieurbüros und die Baufirmen führen werden, die die Systeme planen bzw. herstellen.

8.3.5 Zusammenfassung

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass insbesondere auf Grund der geringen Tragfähigkeit der Säureteere und somit der unzureichenden Systemstabilität sowie auf Grund des nicht bekannten Langzeitverhaltens der Abdeckmaterialien bei Kontakt zu den Säureteeren von einer langfristigen und dauerhaften Funktionalität der „schwimmenden“ Oberflächenabdeckung zunächst nicht sicher ausgegangen werden kann. Auf Grund dessen wird grundsätzlich empfohlen, den Standort zusätzlich durch eine geschlossene Umzäunung und Warnhinweise analog zu der Variante 1 gegen unbefugtes Betreten zu sichern.

Ein gravierender Nachteil der Variante 2 ist, dass die Abdeckung ein technisches System ist, das gepflegt und gewartet werden muss, die Fläche aber durch das System nicht befahrbar und nur sehr eingeschränkt begehbar sein wird.

Die dargestellte Variante 2 entspricht nicht dem Stand der heutigen Technik und müsste technisch erst entwickelt werden um Gewährleistungsprobleme bei der Planung und Herstellung eines solchen Systems zu vermeiden.

Die technische Machbarkeit einer „schwimmenden“ Oberflächenabdeckung wäre daher im konkreten Fall einer vertiefenden ingenieurtechnischen Überprüfung zu unterziehen, die ggf. auch konkretisierende Feldversuche mit den o. g. Abdeckmaterialien beinhalten kann.

8.4 Variante 3: Sicherung durch Oberflächenabdichtung und Dichtwandumschließung

8.4.1 Allgemeines

Variante 3 umfasst die Sicherung des Standortes durch eine Kombination von zwei Sicherungsverfahren. Die Kombination umfasst einerseits eine horizontale Abdichtung (Oberflächenabdichtungssystem) und andererseits eine vertikale Abdichtung (Dichtwand). Beide Verfahren können in Kombination als Einkapselung des Säureteerteiches verstanden werden.

Zunächst werden verschiedene Ausführungsarten für die folgenden einzelnen Elemente der Einkapselung erläutert:

- Aufbau der Oberflächenabdichtung (insbesondere Dichtungselement und Entwässerungsschicht): Kapitel 8.4.2
- Aufbau der vertikalen Abdichtung: Kapitel 8.4.3
- Vorbereitung des Ablagerungsmaterials zur Herstellung eines tragfähigen Planums: Kapitel 8.4.4

8.4.2 Oberflächenabdichtungen

8.4.2.1 Aufbau der Oberflächenabdichtung

Die Oberflächenabdichtung soll zum einen den Direktkontakt zwischen Mensch bzw. Tier und kontaminiertem Material verhindern und zum anderen die Sickerwasserneubildung minimieren. Des Weiteren dient es der Verhinderung etwaiger Brandereignisse sowie der weiteren Kontamination von Oberflächenwasser.

Das Oberflächenabdichtungssystem wird dazu mit einem entsprechenden Gefälle zur Ableitung des Oberflächenwassers ($\geq 5^\circ$) auf dem Säureteerteich hergestellt. Es muss die Randbereiche des Säureteerteiches überlappen und mit der ebenfalls zu errichtenden Dichtwand bautechnisch verbunden werden, so dass keine Wässer in den Ablagerungskörper eindringen können. Des Weiteren sind um die Fußpunkte der Oberflächenabdichtung herum entsprechende Entwässerungsgräben zur Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers zu errichten.

Oberflächenabdichtungssysteme weisen je nach Ausgestaltung des Dichtungselementes eine hohe Setzungsempfindlichkeit auf. Durch Setzungen können Risse in der Dichtungsschicht entstehen, die die Dichtungsfunktion des gesamten Systems dauerhaft beeinträchtigen können. Zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes, insbesondere der pastösen Säureteere, werden verschiedene Maßnahmen und Techniken ergänzend hierzu betrachtet (siehe Kapitel 8.4.4).

Wie bereits erläutert, setzen sich Oberflächenabdichtungssysteme aus verschiedenen Elementen zusammen. Wesentliche Elemente des Oberflächenabdichtungssystems werden nachfolgend erläutert. Dabei wird teilweise Bezug auf das Abfallrecht gemäß DepV und TAsi genommen. Dort sind Oberflächenabdichtungssysteme für Deponien definiert. Im Bereich der Altlastensanierung kommen ähnliche Abdichtungssysteme zum Einsatz, die jedoch nicht den abfallrechtlichen Vorschriften unterliegen. Der zuständigen Behörde ist dennoch die Eignung des gewählten Abdichtungssystems nachzuweisen, weshalb in vielen Fällen auf die abfallrechtlichen Vorgaben zurückgegriffen wird.

Schicht / Element	Funktion	Material	Schichtdicke in m
Rekultivierungsschicht mit Bewuchs	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenstandort • Optimierung des Wasserhaushaltes • Schutzfunktion • Verhinderung Direktkontakt • Wasserspeicher 	Humushaltiger Mutterboden	i. d. R. d > 1,00 m
Entwässerungsschicht	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme und Abführung von Sickerwasser 	Mineralische oder geosynthetische Materialien	gem. TASI d > 0,30 m
Dichtungsschicht	<ul style="list-style-type: none"> • Barriere für versickerndes Niederschlagswasser • Sperrschicht Deponiegas 	siehe Erläuterungen	siehe Erläuterungen
Gasdrainage	<ul style="list-style-type: none"> • Gasfassung • Gasableitung 	Mineralische oder geosynthetische Materialien	gem. TASI d > 0,30 m
Ausgleichsschicht	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgleich von Unebenheiten • Feinplanum • Auflager des Abdichtungssystems 	Homogenes, nicht bindiges Material, verdichtbar	gem. TASI d > 0,50 m

Tabelle 2: Regelaufbau eines Oberflächenabdichtungssystems nach TASI

8.4.2.2 Dichtungselemente

Für die Herstellung der in Tabelle 2 genannten Dichtungsschicht bieten sich allgemein folgende Varianten an:

- Mineralische Abdichtung
- Kunststoffdichtungsbahn
- Kombinationsabdichtung
- Bentonitmatte
- Trisoplast
- Asphaltabdichtung (ohne Rekultivierungsschicht).

Die vorgenannten Varianten der Dichtungselemente werden nachfolgend beschrieben und im Hinblick auf eine Anwendung im konkreten Sanierungsfall bewertet.

8.4.2.2.1 Mineralische Dichtung

Beschreibung:

Mineralische Dichtungen als alleiniges Element der Oberflächenabdichtung sind gemäß Abfallrecht für Deponien oder Deponieabschnitte der Klasse I vorgesehen. Eine mineralische Dichtungsschicht muss demnach über eine Mindestdicke von 0,5 m verfügen. Diese wird hauptsächlich aus Ton oder tonigem Schluff hergestellt. Sie ist in zwei Lagen von je 0,25 m einzubauen, um eine optimale Verdichtung des Materials zu erreichen. Beim Einbau ist auf die Einhaltung des vorgegebenen Wassergehaltes zu achten. Der Durchlässigkeitsbeiwert dieser Schicht soll bei $k_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$ m/s liegen.

Mineralische Abdichtungen sind besonders setzungsempfindlich und austrocknungsgefährdet. Dadurch besteht die Gefahr einer Rissbildung und somit einer damit verbundenen Undichtigkeit. Ferner können Tierbefall und Durchwurzeln die Undurchlässigkeit vermindern, was jedoch bautechnisch durch eine Wurzelbarriere oder ein Schutzvlies im unteren Bereich der Rekultivierungsschicht verhindert werden kann.

Bewertung:

Im konkreten Fall liegt ein setzungsempfindlicher Untergrund vor, welcher die Eignung der mineralischen Dichtungsschicht deutlich eingrenzt. Das Abdichtungssystem wäre z. B. für erforderlich Wartungs- oder Instandhaltungsarbeiten nur eingeschränkt begeh- und befahrbar. Ohne vorherige Stabilisierungsmaßnahmen ist die Realisierung einer mineralischen Dichtung daher nicht zu empfehlen.

8.4.2.2.2 Kunststoffdichtungsbahn

Beschreibung:

Eine Kunststoffdichtungsbahn (nachfolgend KDB genannt) ist ein industriell gefertigtes Produkt, das in der Regel aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) hergestellt wird.

KDB werden auf dem Feinplanum der Ausgleichsschicht verlegt und anschließend miteinander verschweißt, um die Dichtungsfunktion auch in den Überlappungsbereichen gewährleisten zu können. Je nach Hangneigung und Böschungslänge können glatte oder auch strukturierte Bahnen eingesetzt werden, um die erforderliche Standsicherheit zu erreichen. Die KDB ist bei Hangneigungen von bis zu 1:3 einsetzbar. Die Mindestdicke der KDB liegt im Falle der alleinigen Dichtung bei 2,5 mm, bei Kombinationsabdichtungen (siehe Kapitel 8.4.2.2.3) zwischen 1 mm und 3 mm. Die Mindestbreite einer KDB liegt bei 5,0 m.

Auf Grund des porenfreien, molekularen Verbundes von Polymerketten lassen sich mit KDB konvektionsdichte und diffusionsdichte Abdichtungen herstellen. Da KDB besonders durch punktförmige Belastungen beschädigt werden können, müssen sie durch geotextile Schutzlagen, beispielsweise aus Vlies, geschützt werden. Eine solche Schutzlage ist insbesondere beim Übergang zu einer mineralischen Entwässerungsschicht erforderlich.

KDB besitzen bei richtiger Materialauswahl und Einbaubedingungen eine sehr lange, aber nicht dauerhafte Funktionsfähigkeit.

Bewertung:

Vorteile der KDB gegenüber anderen Dichtungselementen sind ihre geringe Schichtdicke und somit ihr geringes Gewicht, ihre Wasser- und Gasundurchlässigkeit sowie ihre grundsätzliche Reparierbarkeit durch einfaches Verschweißen von Leckagen. Außerdem sind sie witterungsbeständig, im Vergleich zu mineralischen Dichtungen relativ setzungsunempfindlich und resistent gegen Durchwurzelung sowie Tierverbiss. Ferner ermöglicht die industrielle Fertigung der KDB eine gleich bleibende Qualität.

Die hohe Verlegeleistung und einfache Handhabung erlauben eine deutliche Zeiterparnis auf der Baustelle. Durch Schweißen kann ein einfacher Verbund der Bahnen untereinander erzielt werden. Außerdem erfordern KDB einen im Vergleich zu andern Dichtungselementen sehr geringen Transportaufwand. KDB, die nach BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) zugelassen sind, verfügen über eine Lebensdauer von über 100 Jahren. Weiterer Vorteil im Hinblick auf den hier vorliegenden Fall ist die Reduzierung der auf dem Ablagerungsmaterial aufliegenden Last im Vergleich zu einer mineralischen Dichtung.

Nachteil der KDB ist ihre mechanische Anfälligkeit gegenüber Durchstoßen (z. B. durch Steine unter Auflast), welche jedoch durch den Einbau von Schutzlagen relativiert werden kann. Während der Bauphase ist eine Sicherung gegenüber Wind, z. B. durch Sandsäcke, vorzunehmen. Die Nachnutzung der abgedichteten Fläche muss so geplant werden, dass hohe Flächenlasten und Auflastunterschiede vermieden werden.

Im konkreten Fall ist auf Grund der Lage des Standortes in einem Wasserschutzgebiet in freier Landschaft mit keiner Auflast durch eine Nachnutzung zu rechnen. Aufgrund ihrer geringen Aufbauhöhe und somit ihres geringen Gewichtes und aufgrund ihrer im Vergleich zu anderen Dichtungselementen geringen Setzungsempfindlichkeit bietet die KDB eine Lösungsvariante zur Herstellung der Oberflächenabdichtung im konkreten Fall.

8.4.2.2.3 Kombinationsabdichtung

Beschreibung:

In den vergangenen Jahren hat sich der Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen in Kombination mit anderen Dichtungselementen, insbesondere mit mineralischen Dichtungen, bei Oberflächenabdichtungen bewährt. Die Mindestdicke der KDB liegt im Falle eines Einsatzes bei Kombinationsabdichtungen zwischen 1 mm und 3 mm.

Für die einzelnen Dichtungskomponenten der Kombinationsabdichtung gelten die bereits zuvor erläuterten Sachverhalte (siehe Kapitel 8.4.2.2.1 und 8.4.2.2.2).

Bewertung:

Vorteil der Kombinationsabdichtung ist, dass bei Ausfall eines Dichtungselementes das andere Dichtungselement die Dichtungsfunktion des Gesamtsystems weiterhin aufrechterhalten kann. Die Kombination zweier Dichtungselementen dient in erster Linie der Sicherheit und ist daher gemäß DepV und TAsi für Deponien ab DK II vorgesehen.

Die Nachteile der Kombinationsabdichtung im konkreten Fall ergeben sich insbesondere aus den Eigenschaften der mineralischen Abdichtung, wie sie bereits in Kapitel 8.4.2.2.1 erläutert wurden. Auf Grund dieser entscheidenden Nachteile wird die Realisierung einer Kombinationsabdichtung hier nicht empfohlen.

8.4.2.2.4 Bentonitmatte

Beschreibung:

Bentonitmatten sind industriell gefertigte, dünn-schichtige geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD). Sie bestehen aus Vliesen, Geweben und Bentonit. Bentonit ist ein Tonmineral, das zu 60 bis 80 % Montmorillonit enthält. Weitere Begleitminerale sind Quarze, Glimmer, Feldspat, Pyrit und Kalk. Bentonitmatten können bei Oberflächenabdichtungen als teilweiser oder auch vollständiger Ersatz für mineralische Baustoffe eingesetzt werden und erfüllen somit hauptsächlich Dichtungsaufgaben. Oft werden Bentonitmatten zweilagig verbaut.

Der Aufbau von Bentonitmatten setzt sich aus zwei oder mehreren geotextilen Trägerlagen zusammen, zwischen die Bentonitpulver flächenhaft eingelagert wird. Der Verbund der Lagen wird entweder durch Vernadelung oder aber durch Vernähung realisiert, wodurch eine Übertragung von Schubkräften insbesondere in Hanglagen ermöglicht wird. Um die Dichtungsfunktion erfüllen zu können, muss Bentonit einen großen Anteil an hochquellfähigen Tonmineralen, dem so genannten Montmorillonit, enthalten.

Im trockenen Zustand sind die bahnartigen Matten je nach Ausführung 5 bis 15 mm mächtig und können somit die Gesamthöhe der Oberflächenabdichtung im Vergleich zu mineralischen Dichtungsschichten deutlich verringern.

Durch die Aufnahme von Wasser beginnen die Tonminerale zu quellen und vergrößern ihr Volumen dadurch auf das bis zu 8fache, wodurch letztendlich die hohe Wasserundurchlässigkeit erreicht wird. Mit Bentonitmatten kann ein durchschnittlicher Wasserdurchlässigkeitskoeffizient von $k_f = 5 \cdot 10^{-11}$ m/s erreicht werden.

Bewertung:

Vorteile der Bentonitmatten sind die geringe Aufbauhöhe, die geringe Wasserdurchlässigkeit, einfache und zügige Verlegearbeiten, die konstante Qualität auf Grund industrieller Herstellung und die geringe Anfälligkeit gegenüber Setzungen. Weiterer Vorteil, insbesondere im Hinblick auf den konkreten Fall, ist, ähnlich wie bei einer KDB, die Reduzierung der auf dem Ablagerungsmaterial aufliegenden Last im Vergleich zu einer mineralischen Dichtung.

Bentonitmatten können eine kostengünstige Alternative zu mineralischen Dichtungen darstellen. Dieses gilt insbesondere dort, wo mineralische Materialien nicht ortsnah vorhanden sind. Bentonitmatten erfordern zudem geringere Materialmengen und somit einen geringeren Transportaufwand als mineralische Baustoffe.

Ein Nachteil von Bentonitmatten ist die Gefahr der Austrocknung. Tonminerale schrumpfen infolge einer Austrocknung zusammen, wodurch die Dichtungsleistung entsprechend verringert wird. Dieser Vorgang ist jedoch reversibel, da bei erneutem Wasserzutritt die Tonminerale wieder aufquellen. Im Falle einer erhöhten Deponiegasbildung würde eine Austrocknung zum Austritt von Deponiegas führen. Um dieses zu verhindern, muss die Rekultivierungsschicht ausreichend dimensioniert sein. Eine zu hohe Auflast wirkt sich negativ auf die Bentonitmatte und deren Wasseraufnahmevermögen aus. Es sind deshalb große Flächenlasten und Auflastunterschiede zu vermeiden. Ferner besteht die Gefahr einer Durchwurzelung. Des Weiteren können die Materialeigenschaften durch kalkhaltiges Umgebungsgefüge verändert werden.

Im konkreten Fall ist auf Grund der Lage des Standortes in einem Wasserschutzgebiet in freier Landschaft mit keiner Auflast durch eine Nachnutzung zu rechnen. Aufgrund ihrer geringen Aufbauhöhe und somit ihres geringen Gewichtes und aufgrund ihrer im Vergleich zu anderen Dichtungselementen geringen Setzungsempfindlichkeit bietet die Bentonitmatte, ähnlich wie auch die KDB, eine Lösungsvariante zur Herstellung der Oberflächenabdichtung im konkreten Fall.

8.4.2.2.5 Trisoplast

Beschreibung:

Trisoplast ist ein mineralisches Abdichtungsmaterial, das in Holland entwickelt und patentrechtlich geschützt wurde. Es besteht zu 89,1 Gewichts-% aus einem mineralischen Zuschlagsstoff, im Regelfall Sand, zu 10,7 Gewichts-% aus Bentonit und zu 0,2 Gewichts-% aus Polymer. In Mischanlagen wird aus diesen Komponenten unter geringer Wasserzugabe ein homogenes Gemisch hergestellt.

Trisoplast kann als alleiniges Dichtungselement der Oberflächenabdichtung in einer Schichtdicke von mindestens 10 cm im verdichteten Zustand auf dem Feinplanum der Ausgleichsschicht eingebaut werden. Trisoplast - Dichtungen erreichen einen durchschnittlichen Wasserdurchlässigkeitskoeffizienten von $k_f = 1 \cdot 10^{-11}$ m/s. Die Wasserdurchlässigkeit ist weitestgehend unabhängig von der Schichtdicke.

Bewertung:

Trisoplast ist auf Grund seines Additivs, dem Polymer, gegen mikrobiellen Abbau beständig. Außerdem ist es beständig gegen Alterungsprozesse. Durch das Zusammenwirken der drei Komponenten Sand, Bentonit und Polymer werden eine sehr geringe Durchlässigkeit und eine weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Schrumpfrissen infolge von Austrocknungen erreicht.

Außerdem ist das Material aufgrund seiner Plastizität in der Lage, im Vergleich zur mineralischen Abdichtung größere Verformungen nach Setzungen rissfrei aufnehmen zu können. Es kann daher auch auf Flächen eingebaut werden, auf denen Setzungen noch nicht vollständig abgeklungen sind, was im konkreten Fall des Säureteerteiches Gau-Algesheim von Vorteil ist. Im Vergleich zu den bereits erläuterten KDB und Bentonitmatten ist das Setzungsverhalten jedoch schlechter zu bewerten.

Weiterer Vorteil ist die geringe erforderliche Schichtdicke, was einerseits material- und im weitesten Sinne auch ressourcenschonend ist und andererseits die Aufbaumasse der Oberflächenabdichtung im Vergleich zu anderen Dichtungselementen verringert.

Nachteil von Trisoplast ist, dass durch die Patentierung kein Wettbewerb auf dem Markt entsteht und somit das Preismonopol bei einem einzigen Anbieter liegt, was ggf. mit hohen Kosten verbunden sein kann. Außerdem wirkt sich nachteilig aus, dass Trisoplast zu keinem Zeitpunkt Frost ausgeliefert sein darf. Dieses Kriterium gilt insbesondere für die Einbauphase, da nach Fertigstellung des Oberflächenabdichtungssystems durch eine ausreichend dimensionierte Rekultivierungsschicht ein Frostschutz gewährleistet werden kann.

Eine Realisierung der Trisoplast-Dichtung kann im konkreten Fall nicht empfohlen werden, da eine Verdichtung des Materials auf den Säureteeren sehr problematisch ist. Des Weiteren sprechen im Vergleich zur KDB und zur Bentonitmatte das schlechtere Setzungsverhalten und das höhere Eigengewicht gegen dieses Dichtungselement.

8.4.2.2.6 Asphaltabdichtung

Beschreibung:

Eine weitere Möglichkeit der Realisierung einer Oberflächenabdichtung besteht in der Aufbringung einer Asphaltschicht. Die Asphaltschicht stellt dabei in der Regel das alleinige Dichtungselement dar. Sie übernimmt insbesondere die Funktion, das Eindringen von Niederschlagswässern in die Altablagerung und somit die Neubildung von Sickerwasser zu verhindern. Des Weiteren verhindert sie den Direktkontakt von Mensch und Tier zum kontaminierten Material.

Bei Realisierung einer Asphaltabdichtung wird im Regelfall auf das zusätzliche Aufbringen einer Rekultivierungsschicht verzichtet. Bei entsprechender Eignung des Untergrundes als Auflager kann die Asphaltabdichtung einer Folgenutzung als Verkehrsfläche zugeführt werden.

Bewertung:

Großer Nachteil der Asphaltabdichtung ist ihre Setzungsempfindlichkeit. Im Falle von Setzungen des Untergrundes kommt es zu Rissbildungen in der Asphaltabdichtungsschicht, wodurch deren Dichtwirkung erheblich beeinträchtigt wird. Auf Grund des im konkreten Fall vorhandenen, nicht tragfähigen Materials ist mit Setzungen im Bereich des Oberflächenabdichtungssystems zu rechnen, weshalb die Eignung der Asphaltabdichtung nicht gegeben ist.

8.4.2.3 Entwässerungsschicht

Neben der Dichtungsschicht stehen auch für die Auswahl der Entwässerungsschicht verschiedene Ausführungsarten zur Verfügung, durch deren spezifische Auswahl der gesamte Aufbau der Oberflächenabdichtung optimiert werden kann. Wie bereits erläutert, ist dabei der Einbau mineralischer oder geosynthetischer Materialien möglich.

In Bezug auf die Entwässerungsschicht sind im konkreten Fall die für die Dichtungsschicht geforderten Eigenschaften ebenfalls relevant. Dazu zählen insbesondere das Eigengewicht und die Herstellbarkeit der Entwässerungsschicht.

Grundsätzlich bieten sich die beiden folgenden Ausführungsarten zur Realisierung einer Entwässerungsschicht in Oberflächenabdichtungssystemen an:

- Mineralische Entwässerungsschicht
- Geosynthetische Dränmatte.

Die Dränmatte verfügt gegenüber der mineralischen Entwässerungsschicht über eine wesentlich geringere Schichtdicke und somit über ein geringeres Eigengewicht. Des Weiteren ist der Einbau der Dränmatte technisch wesentlich einfacher zu realisieren.

8.4.2.4 Bewertung

Dichtungsschicht

Aus fachlicher Sicht lassen sich für die Sicherung des Säureteerteiches Gau-Algesheim zunächst die zwei Dichtungselemente:

- Kunststoffdichtungsbahn und
- Bentonitmatte

aus den oben vorgestellten Dichtungselementen als vorläufige Vorzugsvarianten auswählen.

Neben der Dichtungsfunktion sind zur Bewertung der Dichtungselemente im konkreten Fall insbesondere deren bautechnische Eigenschaften wie z. B. Setzungsverhalten, Eigengewicht und Herstellbarkeit von entscheidender Bedeutung.

Beide Dichtungselemente zeichnen sich durch ihre Setzungsunempfindlichkeit aus, die auf Grund des vorhandenen Untergrundes von großer Bedeutung ist. Des Weiteren ergeben sich durch die beiden Varianten die geringsten Auflasten auf den Säureteerteich, insbesondere im Vergleich zur mineralischen Dichtung, aber auch zur Trisoplast-Dichtung. Im Hinblick auf die begrenzte Tragfähigkeit des Untergrundes ergeben sich in diesem Zusammenhang wesentliche bautechnische Vorteile.

Außerdem können sowohl die Kunststoffdichtungsbahn als auch die Bentonitmatte je nach Abmessung der Bahnen händisch, ggf. auch mit Unterstützung eines unkomplizierten Geräteeinsatzes, einfach und schnell verlegt werden, sobald das Material am Einsatzort angekommen ist.

Eine intensive Verdichtung des Dichtungselementes, wie sie bei der mineralischen Dichtung und der Trisoplast-Dichtung erforderlich ist, entfällt bei diesen beiden Varianten. Im Hinblick auf die Untergrundbeschaffenheit ist eine ausreichende Verdichtung nur schwer zu realisieren.

Die Kosten für beide Dichtungselemente liegen bei ca. 12 bis 15 € pro m². Im Gesamtergebnis, insbesondere im Hinblick auf Eigengewicht, Setzungsempfindlichkeit und Wirksamkeit, weist die Kunststoffdichtungsbahn geringe Vorteile gegenüber der Bentonitmatte auf.

Vorzugsvariante:

Für den abschließenden Vergleich der Sanierungsvarianten wird eine **Kunststoffdichtungsbahn** als Dichtungselement für das Oberflächenabdichtungssystem ausgewählt.

Entwässerungsschicht

Aus Gründen der Reduzierung der Auflast im Hinblick auf die geringe Tragfähigkeit der Säureteere und der einfacheren Herstellbarkeit bietet sich alternativ zur mineralischen Entwässerungsschicht der Einbau einer Dränmatte an.

Für die Herstellung der Oberflächenabdichtung im Zuge der Einkapselung des Säureteerteiches Gau-Algesheim wird daher an dieser Stelle eine Dränmatte als Entwässerungselement im Oberflächenabdichtungssystem ausgewählt.

8.4.3 Vertikale Abdichtungen

8.4.3.1 Aufbau der vertikalen Abdichtung

Die Dichtwand soll den horizontalen Grundwasserstrom unterhalb des Säureteerteiches und damit den Austrag von kontaminiertem Grundwasser aus dem Altlastenbereich unterbinden. Da die kontaminierten Sedimente unterhalb des Säureteerteiches und je nach Witterung auch der untere Ablagerungshorizont im Einflussbereich der Grundwasserwechselzone liegen, soll die Unterbindung des Grundwasserstroms auch einen Direktkontakt zwischen Grundwasser und kontaminiertem Sediment bzw. Ablagerungsmaterial verhindern.

Die Dichtwand wird am Standort senkrecht zur Grundwasserströmungsrichtung errichtet und verhindert ein Weiterfließen des Grundwassers in ursprünglicher Richtung. Das Wasser wird entlang der Dichtwand umgeleitet und folgt im weiteren Verlauf wieder dem natürlichen Gefälle. Um einen zu starken Aufstau auf der Grundwasseranstromseite zu verhindern ist je nach hydraulischer Berechnung bzw. Grundwassermodellierung eine Anstromdrainage erforderlich, die im konkreten Fall auf Grund des gut durchlässigen Untergrundes vermutlich entfallen kann.

Die Dichtwand muss ausreichend in den anstehenden Grundwasserstauer (Tonhorizont) einbinden. In der Praxis werden häufig Einbindetiefen von 1,0 m angesetzt. Daraus ergäbe sich bei den vorliegenden Geländebeziehungen eine durchschnittliche Dichtwandhöhe von ca. 15,0 bis 15,5 m. Die Dichtwand soll den Säureteerteich vollständig einkapseln, woraus sich eine Gesamtlänge der Dichtwand von ca. 200 m ergibt. Durch die Umschließung wird ein seitliches Zufließen von Grundwasser zum kontaminierten Material verhindert.

8.4.3.2 Dichtwandssysteme

Für die Herstellung einer vertikalen Abdichtung stehen ebenfalls verschiedene Ausführungsarten zur Verfügung. Nach ihrem Herstellungsverfahren unterscheidet man zwischen Wänden, bei denen der anstehende Boden ausgehoben und gegen einen, in der Regel mineralischen, Baustoff ausgetauscht wird und Wänden, bei denen Boden verdrängt wird. Die Herstellung von vertikalen Abdichtungen bietet im Wesentlichen die nachfolgend genannten Dichtwandarten als Alternativlösungen:

- Aushub des Bodens und Einbau des Abdichtungsmaterials:
 - Schlitzwände
 - Bohrpfehlwand (je nach Verfahren Aushub und/oder Verdrängung des Bodens)
- Verdrängung des Bodens
 - Stahlspundwände
 - Schmalwände
- Verringerung der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens
 - Injektionswände
 - Mixed-in-Place Wände (MiP-Wände).

8.4.3.2.1 Schlitzwand

Beschreibung:

Dichtwände als Schlitzwände können aus Stahlbeton, Beton oder anderen vornehmlich zementgebundenen Stoffen hergestellt werden, die statische, abdichtende oder abschirmende Funktion haben. Sie eignen sich sowohl für temporäre als auch für permanente Zwecke. Die Herstellung von Schlitzwänden erfolgt im Austauschprinzip. Dazu wurden folgende Verfahren entwickelt:

- Herstellung im Einphasenverfahren
- Herstellung im Zweiphasenverfahren

Zu Beginn der Arbeiten wird ein 1,00 m bis 1,50 m tiefer Leitgraben erstellt. Mittels eines Aushubwerkzeuges wird dann ein Schlitz im Boden ausgehoben. Mit Tieflöffelbaggern können dabei Tiefen von bis zu 12 m unter GOK erreicht werden. Bei Tiefen bis zu 50 m werden Schlitzwandgreifer oder -fräsen eingesetzt. Für die Herstellung einer Dichtwand im konkreten Fall ist eine Gesamtgrabentiefe von durchschnittlich ca. 15,5 m notwendig. Die Herstellung der Dichtwand um den Säureteerteich würde somit den Einsatz eines Schlitzwandgreifers erfordern.

Der weitere Bodenaushub erfolgt im so genannten Pilgerschrittverfahren. Dazu werden zunächst die voneinander unabhängigen Primärlamellen, anschließend die dazwischenliegenden Sekundärlamellen ausgehoben.

Parallel dazu wird beim Einphasenverfahren kontinuierlich die Dichtwandmasse in den Aushubschlitz gegeben. Diese Masse dient zunächst als Stützflüssigkeit zur Stabilisierung des offenen Schlitzes, insbesondere beim Vordringen in größere Tiefen, und übernimmt später im ausgehärteten Zustand die Dichtungsfunktion.

Die Stützflüssigkeit bzw. Dichtwandmasse besteht im Regelfall aus einem Bentonit-Zement-Gemisch mit Beimengungen von Tonen, Steinmehl, Flugaschen u. ä. Die Mindestnenndicke für eine Schlitzwand beträgt 0,40 m. In vielen Fällen werden Schlitzwände aber mit einer Nenndicke von mindestens 0,60 m hergestellt.

Beim Zweiphasenverfahren wird zuerst eine stützende Suspension in den Schlitz eingebracht und nach Erreichen der Endtiefe durch eine abbindende und damit abdichtende Suspension ersetzt.

Bewertung:

Vorteil von Schlitzwänden ist ihre hohe Dichtigkeit und ihre genau definierte Geometrie. Auf der Baustelle sind Durchlässigkeiten von besser als 10^{-8} m/s herstellbar. Die Dichtigkeit wird sowohl von der Ausführungsqualität als auch von der Wahl der Dichtwandmasse beeinflusst.

Schlitzgräben bis zu einer Tiefe von 30 m unter Geländeoberkante sind technisch gut herstellbar, sofern keine größeren Hindernisse im Untergrund angetroffen werden. Falls Hindernisse angetroffen werden, können diese mittels Fräs- oder Meißeltechnik relativ einfach überwunden werden. Schlitzwände sind darüber hinaus durch ihre hohe Langzeitsicherheit gekennzeichnet. Im Gegensatz zu geramten Wänden erreichen Schlitzwände größere Tiefen und bringen keine Rammbelastung mit sich.

Ein Nachteil für den Einsatz einer Dichtungsschlitzwand sind die im Vergleich hohen Baustelleneinrichtungs- und Herstellkosten, so dass sich das Verfahren erst in größeren Tiefen wirtschaftlich einsetzen lässt. Bei geringeren Tiefen können durch den vergleichsweise einfachen Einsatz von Tieflöffelbaggern ebenfalls wirtschaftlich vertretbare Abdichtungen erzielt werden.

8.4.3.2.2 Bohrpfahlwand

Beschreibung:

Die Bohrpfahlwand ist eine senkrechte Wand, die aus nebeneinander stehenden, betonierten Bohrpfählen besteht. Bohrpfahlwände gibt es in den folgenden drei Ausführungsarten:

- sich berührende Bohrpfähle (nicht wasserdicht)
- sich überschneidende Bohrpfähle (wasserdicht)
- Bohrpfähle mit Abstand und Ausfachung (z. B. aus Filtersteinen)

Bohrpfahlwände als vertikale Abdichtungen müssen überschnitten angeordnet werden, um eine ausreichende Wasserundurchlässigkeit zu gewährleisten.

Bewertung:

Nachteil der Bohrpfahlwände ist der erhöhte technische und somit zeitliche Aufwand im Vergleich zu anderen Dichtwandtypen.

Vorteile der Bohrpfahlwände sind, eine fachgerechte und ausreichend dimensionierte Herstellung vorausgesetzt, deren hohe Undurchlässigkeit und Langzeitbeständigkeit.

8.4.3.2.3 Stahlspundwand

Beschreibung:

Zur Herstellung einer Stahlspundwand werden vorgefertigte Stahlprofile als biege- und knickfeste Elemente in den Boden eingerammt. Die Verbindung der Spundbohlen erfolgt über Dichtungsschlösser. Die Schlösser können durch Profillippen abgedichtet werden. Die Einbringung einer Spundwand in den Untergrund erfolgt nach dem Verdrängungsprinzip. Die Spundbohlen werden vorzugsweise eingerammt, aber auch gerüttelt oder vibriert. Sie sind mit herkömmlichen Rammhämmern bis in Böden der Klasse 6 nach DIN 18 300 einschlagbar.

Stahlspundbohlen sind in allen Böden einsetzbar, die grundsätzlich ramm- bzw. rüttelbar sind. Sie sind in der Lage, durch ihre große Festigkeit Holzreste im Boden, alte Mauerwerk- oder Betonfundamente sowie leichten Fels zu durchschlagen. Stehen in der Umgebung schwingungsempfindliche Bauwerke, muss die Spundwand einvibriert oder eingepresst werden. Ggf. muss auf andere Abdichtungstechniken zurückgegriffen werden.

Gefahren für die fachgerechte und vor allem dichte Herstellung der Spundwand bergen schwere Einzelhindernisse wie z. B. Findlinge. Treffen gerammte Spundbohlen auf derartige Hindernisse, so besteht die Gefahr des Aufrollens bzw. des Auseinanderspringens der Schlossdichtungen. Man kann unter Umgehung derartiger Risiken die Stahlspundwand einpressen oder einspülen.

Da die Spundwandherstellung zu den Verdrängungsverfahren zählt, fällt kein Bodenaushub (ggf. kontaminiert) an. Spundbohlen sind relativ schnell und von Witterungseinflüssen unabhängig einzubringen. Mit der Verwendung von Winkel- und Eckbohlen lassen sich Stahlspundwände gut an örtliche Gegebenheiten anpassen. Die Umweltverträglichkeit des Baustoffes Stahl ist gegeben.

Bewertung:

Zu Ungunsten einer Stahlspundwand wirken sich die relativ hohen Herstellkosten im Vergleich zu Schmalwänden aus, insbesondere auf Grund des Materialverlustes im Zusammenhang mit den aktuell hohen Stahlpreisen.

Die Stahlspundwand zeigt grundsätzlich keine Alterung. Dennoch besteht bei Spundbohlen aus Stahl ständig die Gefahr der Korrosion, insbesondere wenn sie in der gesättigten Bodenzone verbaut werden. Die Gefahren ergeben sich vorwiegend aus der Korrosion durch Wasser und Sauerstoff, dem chemischem Angriff durch Säuren oder durch Sandschliff. In einem stark sauren Milieu ist mit hohen Schwächungen der Spundbohlen zu rechnen. An dieser Stelle ist auf die niedrigen pH-Werte im Bereich des Säureteerteiches hinzuweisen. Grundsätzlich besteht jedoch die Möglichkeit, die Alterungsprozesse der Spundbohlen durch Korrosion mittels Korrosionsschutzmitteln zu verringern.

Des Weiteren ist im Hinblick auf die Herstellung der Spundwand im Ramm- oder Rüttelverfahren auf die unmittelbar ans Gelände angrenzende Bahnlinie Mainz - Koblenz zu verweisen.

8.4.3.2.4 Schmalwand

Beschreibung:

Schmalwände sind Dichtwände aus zementgebundenen erhärtenden Dichtmassen. Sie verfügen über geringe Wanddicken und eignen sich, sofern sie für einen permanenten Verbleib im Boden ausgelegt sind, bei geringen hydraulischen Druckdifferenzen zu Abdichtungszwecken. Im Gegensatz zu anderen Wandbauarten ist die Aufnahme von Vertikal- oder Horizontallasten nicht möglich.

Schmalwände sind grundsätzlich in Tiefen bis zu 25 m und in allen ramm- bzw. rüttel-fähigen Böden einsetzbar. Größere Steine und Gerölle können mit diesem Verfahren überwunden werden. Die Grenzen des Verfahrens liegen bei Anwesenheit von kompaktem Fels. Risiken bergen fließ- und vibrationsempfindliche Böden. Ebenso ist der Einsatz in der Nähe von empfindlichen Gebäuden zu vermeiden.

Die Herstellung einer Schmalwand erfolgt nach dem Verdrängungsprinzip. Der erste Arbeitsschritt ist der Aushub eines ca. 0,5 m tiefen Vorlaufgrabens, welcher durch eine Suspension gestützt wird. Durch den Graben wird eine Rüttelbohle fortlaufend in den Boden eingerüttelt. Das Überschnittmaß der einzelnen Stiche beträgt die einfache Flanschdicke.

Dabei können verstärkte Profile der Reihe IPB zum Einsatz kommen. Beim Ziehen der Spezialbohle wird der entstandene Hohlraum mit einer Bentonit-Zement-Suspension unter Zugabe von Steinmehl verpresst. Dadurch entsteht ein Injektionskörper in Form eines I-Profiles. Die Nenndicke der Schmalwand liegt zwischen 80 und 100 mm.

Bewertung:

Auf Grund des Wegfalls von Aushubmaterial ist die Schmalwand ein sehr kostengünstiges Verfahren. Vorteilhaft auf die Kosten wirkt sich ebenfalls die Wiederverwendung der Injektionsprofile aus. Mit einer hohen Tagesleistung wird eine Dichtwand mit geringem Materialverbrauch erstellt. Je nach Bodenart und Wandtiefe sind pro Tag etwa 190 bis 200 m² Schmalwand herstellbar. Die Wasserdichtigkeit der Schmalwand ist besonders bei geringen hydraulischen Druckdifferenzen sicherzustellen. Bei Einhaltung der geforderten Qualitätssicherungsmaßnahmen ist eine Wand mit einer Systemdichtigkeit von $k \leq 10^{-10}$ m/s herstellbar. Bei der Dichtwirkung einer solchen Wand ist allerdings die gleichzeitig geringe Lammellendicke zu beachten.

8.4.3.2.5 Injektionswände

Beschreibung:

Unter Injektion versteht man das Einpressen von Verpressgut in die Hohlräume des Untergrundes mit dem Ziel einer Abdichtung oder Verfestigung. Bei der Erstellung einer Injektionswand werden die Poren und Klüfte des Untergrundes verfüllt. Injiziert werden Zementsuspensionen, Kunststofflösungen (Kunstharze) oder Injektionsmittel auf Wassergel-Basis (Silikat-Gele). Man unterscheidet dabei Niederdruck- und Hochdruck-Injektionsverfahren.

Zu den mit herkömmlichen Injektionsverfahren behandelbaren Böden zählen alle Lockergesteine (Kiese und Sande) und Grobschluffe. Grenzen des Verfahrens bilden feinkörnige Böden. Die Injizierbarkeit hängt im Wesentlichen von der Kornverteilungskurve des anstehenden Bodens ab. Hindernisse in Form von Findlingen etc. können die Injizierbarkeit erheblich beeinträchtigen.

Ein optimal geformter Injektionskörper mit gleichmäßiger Stärke lässt sich insbesondere in homogen aufgebauten Böden herstellen. Herkömmlich werden die Injektionskörper in Form von Rundsäulen erstellt. Unter Einstellung eines Sektorenwinkels von 180° sind auch Injektionskörper in Form von Scheiben herstellbar. Die Mindestdicke beträgt für Injektionswände nach DIN 4093 1,0 m.

Bei den Injektionsmethoden für Lockergesteine wird das Verpressgut mit Hilfe von Injektionslanzen in den Untergrund eingebracht. Die Lanzen werden in den Boden gerammt, gerüttelt oder in vorgebohrte Löcher eingesetzt. Das Verfahren beruht auf der Beibehaltung der vorhandenen Bodenstruktur und Verfüllung der Kluft- und Porensysteme.

Bewertung:

Injektionsmaßnahmen zeichnen sich durch ihren geringen Platzbedarf aus. Die Durchlässigkeitsunterschiede im Vergleich zum Boden, die mit einer Injektionswand aus Silikatgelen erreicht werden, liegen bei ungefähr zwei Zehnerpotenzen.

Entscheidender Nachteil einer Injektion mit Silikatgelen ist die mögliche Beeinträchtigung des Grundwassers, die aufwendiger Schutzmaßnahmen und einer Abstimmung mit der Behörde bedarf.

8.4.3.2.6 MiP-Wände

Beschreibung:

Unter dem Begriff „Mixed-in-Place“ (MiP) versteht man die In-Situ-Vermischung von Bindemittel und Boden. Die vorhandenen Porenräume im Boden werden dabei mit einer Bindemittelsuspension verfüllt. Das Ergebnis ist ein durch die Geometrie des Arbeitsgerätes definierter verfestigter Bodenkörper. Bei der Verfestigung zur Abdichtung werden in der Regel Suspensionen aus Fertigmischungen eingesetzt.

Die MiP-Technik lässt sich auf kontaminierten Standorten vorwiegend zur Immobilisierung, aber auch zur vertikalen Abdichtung anwenden. Das MiP-Verfahren ist dabei in den meisten Böden einsatzfähig. Mit der Technik sind Wanddurchlässigkeiten von $k < 10^{-8}$ m/s erreichbar. Die derzeit verfügbare Gerätetechnik ermöglicht die Errichtung von MiP-Wänden zur vertikalen Abdichtung durch Spezialfirmen mit Wanddicken von bis zu 880 mm in Tiefen von bis zu 25,00 m.

Im Gegensatz zum Schmalwandverfahren sind beim MiP-Verfahren eingesetzte Bohrschnecken nicht in der Lage, durchgängige Felsschichten zu durchhörtern oder auch einzelne Findlinge zu überwinden. Sollte man bei der Trassenerkundung in größerem Maße auf derartige Hindernisse treffen, ist die Herstellung einer MiP-Wand auf dem Standort auszuschließen.

Die Erstellung des gesamten Wandabschnittes erfolgt im Pilgerschrittverfahren. Zur Herstellung einer MiP-Wand wird das Bohrgerät (z. B. Dreifachschncke) angesetzt und die am Aufbauschlitten installierten Schnecken auf die Solltiefe abgebohrt. Der so aufgelockerte Boden wird während des Auf- und Abführens des Gerätes mit der Bindemittelsuspension, die im Inneren der Bohrschnecken zugeführt wird, vermischt. Mit der Möglichkeit, jede Bohrschncke einzeln anzusteuern und unabhängig voneinander zu drehen, ist eine sehr homogene Durchmischung von Bodenpartikeln und Bindemittelsuspension zu erzielen. Mit dem Überschneiden der einzelnen Bohrungen entsteht eine durchgängig dichte Wand im Untergrund.

Bewertung:

Bei der Herstellung einer MiP-Wand fällt kein Bohrgut an und Rammelbelastigungen treten nicht auf. Darüber hinaus ist das MiP-Verfahren eine sehr günstige Variante zur Erstellung von Wänden im Untergrund mit rein abdichtender Funktion im Gegensatz zu Schlitzwänden. Sie ist in der Trassenführung sehr variabel. Die MiP-Wand weist in der Regel eine sehr hohe Beständigkeit gegen chemischen Angriff auf, woraus eine erhöhte Langzeitstabilität resultiert.

8.4.3.3 Bewertung

Im Vorfeld der Auswahl der Vorzugsvariante für die vertikale Abdichtung werden zunächst die Kosten für die jeweiligen Dichtwandssysteme zusammenfassend betrachtet. Die Kosten für die einzelnen Dichtwandssysteme lassen sich nach ersten Schätzungen wie folgt prognostizieren:

Verfahren	Kosten €/m ²
Schlitzwände (gefräst), Einphasen-Verfahren	130,00
Bohrpfahlwand	300,00
Spundwände	150,00
Schmalwände	60,00
Injektionswände	105,00
MiP Wände	100,00

Tabelle 3: Kosten verschiedener Dichtwandssysteme

Im Ergebnis der Variantenbetrachtung der vertikalen Abdichtungen lassen sich die Mixed-in-Place Wand (MiP-Wand) und die Schlitzwand grundsätzlich als bautechnisch am besten geeignete Varianten zur Erstellung einer Dichtwand auf dem Gelände des Säureteerteiches Gau-Algesheim herausstellen. Beide zeichnen sich gegenüber anderen Systemen durch die hohe Dichtwirkung sowie die hohe Langzeitbeständigkeit aus.

Außerdem weisen beide Varianten im Vergleich zur Spundwand und insbesondere zur Bohrpfahlwand erhebliche Kostenvorteile auf. Die hohen Kosten der Spundwand lassen sich insbesondere durch die hohen Stahlpreise und den Verlust des Materials begründen. Des Weiteren kann es durch Korrosion der Spundwand auf Grund der geringen pH-Werte langfristig zu Undichtigkeiten kommen. Weiterer Vorteil gegenüber der Spundwand ist die vibrations- und erschütterungsfreie Herstellung, welche insbesondere im Hinblick auf die nahe gelegene Bahnstrecke an dieser Stelle zu erwähnen ist.

Die Bohrpfahlwand weist zwar eine grundsätzliche Eignung vor, jedoch ist dieser Dichtwandtyp mit sehr hohen Kosten verbunden.

Injektionswände erfahren bei feinkörnigen Böden ihre Anwendungsgrenzen. Da im konkreten Fall feinkörnige Böden vorliegen, wird diese Dichtwandvariante daher nicht empfohlen.

Schmalwände weisen im Vergleich zur Spundwand und zur MiP-Wand schlechtere Eigenschaften hinsichtlich Dichtwirkung und Langzeitbeständigkeit auf.

Vorzugsvariante:

Im Ergebnis wird die **MiP-Wand** als Vorzugsvariante für die vertikale Abdichtung des Säureteerteiches Gau-Algesheim ausgewählt. Die Herstellungskosten im Vergleich zur Schlitzwand sind etwas geringer. Großer Vorteil der MiP-Dichtwand ist ihre hohe Resistenz gegen chemischen Angriff.

8.4.4 Herstellung eines tragfähigen Planums

8.4.4.1 Allgemeines

Zur dauerhaften Gewährleistung eines funktionierenden Oberflächenabdichtungssystems ist ein standfester und setzungsfreier Untergrund erforderlich. Im konkreten Fall liegt eine pastöse Teerablagerung vor, die in derzeitiger Form zur Aufnahme eines Oberflächenabdichtungssystems nicht geeignet ist. Das Material ist in den durchgeführten Untersuchungen als nicht tragfähig eingestuft worden.

8.4.4.2 Verfahren zur Verbesserung der Tragfähigkeit

Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten betrachtet, die Tragfähigkeit des Materials zu verbessern, so dass eine setzungsfreie Aufnahme einer Oberflächenabdichtung möglich ist. Ziel ist die Herstellung eines tragfähigen Planums als Auflager für das Oberflächenabdichtungssystem. Im Einzelnen werden folgende Verfahren betrachtet:

- Immobilisierung des Ablagerungsmaterials
- Stützkorn
- Lastverteilende Unterkonstruktion.

8.4.4.2.1 Immobilisierung des Ablagerungsmaterials

Beschreibung:

Um im vorliegenden Fall die Standfestigkeit des vorhandenen Materials zu verbessern, kann eine Immobilisierung der Säureteere erfolgen. Das Verfahren der Immobilisierung wurde bereits in Kapitel 7.5.2.5 im Rahmen der Vorauswahl grundsätzlich geeigneter Sanierungsverfahren erläutert. Dieses Verfahren wurde dort jedoch mehr vor dem Hintergrund der Reduzierung der Eluierbarkeit von Schadstoffen betrachtet als vor dem Hintergrund einer Tragfähigkeitsverbesserung des Ablagerungsmaterials.

An dieser Stelle soll nun geprüft werden, ob und inwieweit eine Immobilisierung des Ablagerungsmaterials zur Verbesserung der Tragfähigkeit und somit zur Vorbereitung des Säureteers für die Aufnahme des Oberflächenabdichtungssystems in Form eines setzungsfreien Auflagers realisiert werden kann.

Grundsätzlich wird die Immobilisierung zur Verbesserung der Tragfähigkeit durch die Beimengung chemischer Zuschlagsstoffe zum Ablagerungsmaterial erzielt. Als Zuschlagsstoffe können bei der Teerimmobilisierung u. a. Zement, Kalke oder Flugaschen eingesetzt werden.

Bewertung:

Die Beimengung der Zuschlagsstoffe kann entweder on site oder in situ erfolgen. Im Falle einer On-Site-Immobilisierung wäre ein Aushub des zu verfestigen Materials erforderlich. Im Anschluss an die Behandlung des Materials vor Ort müsste dieses wieder eingebaut werden. Das Verfahren ist folglich mit einem sehr hohen technischen Aufwand verbunden. Außerdem stellt sich an dieser Stelle die Frage der Sinnhaftigkeit eines Aushubs und eines anschließenden Wiedereinbaus des kontaminierten Materials vor Ort.

Vor dem Hintergrund, dass es sich hierbei lediglich um eine vorbereitende Maßnahme handelt, auf die eine Einkapselung des Säureteerteiches erfolgen soll, ist außerdem die Frage nach der Wirtschaftlichkeit dieser Variante im Vergleich zu den Sanierungsvarianten 3 und 4 (siehe Kapitel 8.5 und Kapitel 8.6, Aushubvarianten) zu stellen.

Die In-Situ-Immobilisierung erfordert den Einsatz von Baggern oder Vertikalfräsen. Die Stabilisierung des Untergrundes zielt auf einen flächendeckenden Effekt ab, da andernfalls lokale Setzungen auftreten können. Wie bereits in Kapitel 7.5.2.5 erläutert, stellt die pastöse Konsistenz des Säureteers und die Geometrie der Ablagerung jedoch diese Art der Konditionierung vor große technische Probleme bei der Durchführung.

Eine Teilimmobilisierung der oberen Schichten (denkbar wäre eine Schichtdicke von 1 bis 2 m unter GOK, die z. B. mit einer Vertikalfräse hergestellt werden könnte) ist zwar grundsätzlich denkbar, jedoch besteht hierbei die Gefahr, dass die immobilisierte Schicht bei Auflast Risse bekommt und der unterlagernde Teer durch die Risse nach oben verdrängt wird.

8.4.4.2.2 Stützkorn

Beschreibung:

Eine bei verschiedenen Teerteichsanierungen erfolgreich eingesetzte Form der Tragfähigkeitsverbesserung des Ablagerungsmaterials ist der Einbau von grob-stückigem Bauschutt (Kantenlänge z. B. > 300 mm), der in das flüssig-pastöse Teermaterial eindringt und über den direkten Kontakt von Korn zu Korn einen Lastabtrag ermöglicht. Der Teer wird dabei in das Porenvolumen aufgenommen. Er erhält bei ausreichender Verdichtung des Stützkornes keinen Druck und wird deshalb nicht aus der Ablagerung herausgedrückt.

Zur Aufnahme der vertikalen Lasten ist auf dem Bauschutt eine in der Körnung abgestufte Ausgleichsschicht herzustellen, auf die die Verfüllungs- und Abdichtungsmaterialien aufgebracht werden können.

Praxiserfahrungen zeigen, dass bei einem solchen groben Bauschutt ein Porenvolumen von 30 % realisierbar ist. Dies bedeutet jedoch, dass im ursprünglichen Ablagerungsvolumen 70 % durch das Stützkorn ausgefüllt werden und die entsprechende Menge Teer i. d. R. nach oben hin verdrängt wird. Dieser überschüssige Teer kann entweder im Porenraum einer entsprechend mächtigen Überschüttung aus Bauschutt aufgenommen werden oder er muss entnommen und extern entsorgt werden.

Bewertung:

Das Verfahren funktioniert je besser, desto flüssiger der vorhandene Teer ist. Durch eine Verdichtung mit Baugeräten ist bereits eine sehr gute Tragfähigkeit herstellbar. Weitere Vorteile des Verfahrens sind, dass es einfach und gut kontrollierbar sowie sehr kostengünstig ist (sofern nicht große Teermengen extern entsorgt werden müssen).

Großer Nachteil im vorliegenden Fall ist, dass auf Grund der Konsistenz und der Mächtigkeit der Teerablagerungen ein sehr hoher technischer und zeitlicher Aufwand (entsprechend hohe Belastung zum Einpressen des Stützkorns) erforderlich wären, um ein setzungsfreies Korngerüst auszubilden. Des Weiteren würden große Mengen Überschussmaterial (verdrängte Säureteere) anfallen, die extern entsorgt bzw. verwertet werden müssten.

8.4.4.2.3 Lastverteilende Unterkonstruktion

Beschreibung:

Für den Bau der Oberflächenabdichtung sind auch Konstruktionsformen denkbar, die die vertikalen Lasten aus der Abdeckung und den Rekultivierungsböden ohne Behandlung des Ablagerungsmaterials in Richtung der Baugrubenränder ableiten.

Die Idee dieser Konstruktion geht davon aus, dass das Ablagerungsmaterial selber im Wesentlichen eine flüssige, wenn auch sehr zähflüssige Konsistenz hat. Dabei führen vertikale Lasten zu einer (ggf. langsamen) Verdrängung der Teere entweder in seitlicher Richtung oder vertikal nach oben. Hierbei spielen Imperfektionen (Risse usw.) eine Rolle, durch die Teer bei Belastung ausweichen und an die Umgebung austreten kann.

Eine auf dem Teer aufliegende Konstruktion versucht dieses Verhalten durch die folgenden Bauteile zu verhindern:

- Säurebeständige Kunststoffolie zur flüssigkeitsdichten Abtrennung auf der Teerteichoberfläche.
- Einbindung der Abdichtungsfolie in den Randdamm und das Ursprungsgelände, um ein Herausquellen des Teeres nach oben und zur Seite hin zu verhindern.
- Lastabtragung auf der Oberfläche der Abdichtungsfolie durch eine Kombination aus Geogittern, Vlies und an die Gittergröße angepasstem Schotter, wodurch bei richtiger Gestaltung eine Stützkonstruktion hergestellt werden kann, die geeignet ist, Lasten auch seitlich in den Untergrund abzuleiten.
- Herstellung des Oberflächenabdichtungssystems auf der Schottertragschicht.

Der Aufbau der lastverteilenden auf der Teeroberfläche quasi schwimmenden Unterkonstruktion und des darauf aufliegenden Oberflächenabdichtungssystems wird in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

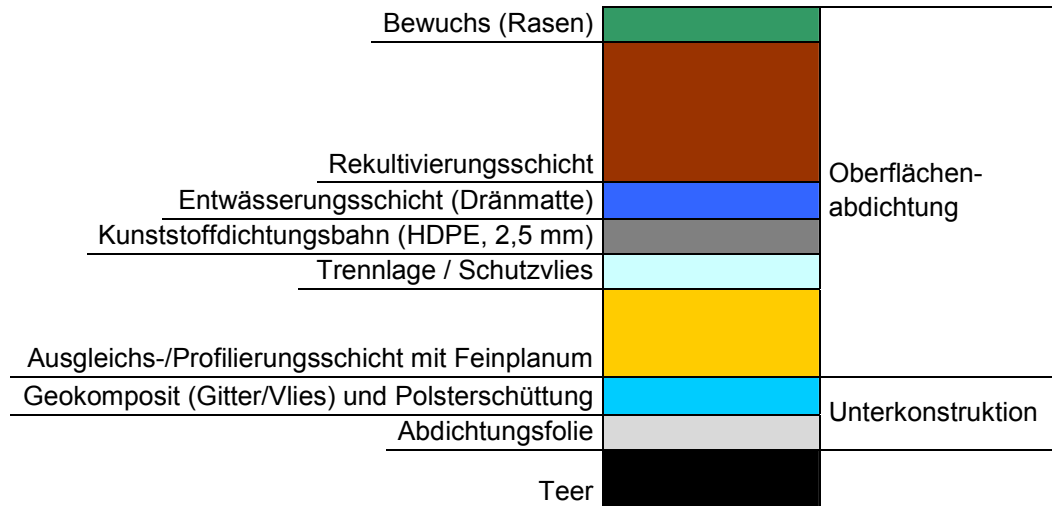


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau der lastverteilenden Unterkonstruktion und der Oberflächenabdichtung

Bewertung:

Da im vorliegenden Fall die Oberfläche ausreichend fest ist, wäre ein solches Tragsystem auch technisch herstellbar. Gerade die Arbeitsschritte zum Einbau der Kunststoffbauteile sind bei sehr flüssigen Ablagerungsmaterialien schwierig (z. B. Aufbringen der Folie auf einer sehr flüssigen Teerphase).

Vor dem Aufbringen der Folie auf die Teerablagerungen ist eine Vorprofilierung erforderlich, die mittels Longfront-Baggern von den Randbereichen des Säureteerteiches erfolgen kann. Des Weiteren sind grobe Störstoffe, wie z. B. Bäume, Äste, Tonnen, Fässer, Reifen, Steine, von der Oberfläche des Teiches zu entfernen, um eine Beschädigung der Folie zu verhindern und ein ebenes Planum realisieren zu können.

Gegen diese, bei konkreten Sanierungsvorhaben bereits geplante und genehmigte, jedoch noch nicht ausgeführte Konstruktionsform sprechen bisher noch nicht geklärte Fragen der Materialbeständigkeit. Da das langfristige Verhalten der Kunststoffmaterialien, die direkten Kontakt mit dem Teer haben, vor allem bei Säureteer bisher nicht ausreichend untersucht ist, wird von den Lieferanten der Folien und der Geotextilien sowie von den Baufirmen bisher nur eine sehr begrenzte Gewährleistung auf die Materialien unter diesen Bedingungen gegeben.

8.4.4.3 Bewertung

Zur setzungsfreien Aufnahme eines Oberflächenabdichtungssystems ist im Voraus eine Verbesserung der Tragfähigkeit der Säureteere erforderlich. Dazu wurden die drei Verfahren Immobilisierung des Ablagerungsmaterials, Einbau eines Stützkorns sowie Herstellung einer lastverteilenden Unterkonstruktion näher betrachtet.

Im Ergebnis dieser Kurzdarstellung lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen und eine Vorzugsvariante ableiten.

Der Einbau eines Stützkorns würde, wie bereits in Kapitel 8.4.4.2.2 beschrieben, sehr große Mengen an Überschussmaterial durch zur Oberfläche hin verdrängte Teere ergeben. Des Weiteren ist die Konsistenz des Säureteeres im konkreten Fall Gau-Algesheim für die Durchführung dieses Verfahrens als zu fest zu bewerten. Das Einbringen eines Stützkorns setzt eine noch weichere Materialkonsistenz voraus, um das Stützkorn ohne hohen technischen Aufwand einbauen zu können. Im Ergebnis kann der Einbau eines Stützkorns zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Säureteerteiches Gau-Algesheim nicht empfohlen werden und wird daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Eine Immobilisierung des Ablagerungsmaterials zu Zwecken der Tragfähigkeitsverbesserung bringt ähnliche Probleme mit sich, wie die bereits in Kapitel 7.5.2.5 zu Zwecken der Reduzierung der Eluierbarkeit erläuterte Schadstoffimmobilisierung. Da sich die Verfahren vom Grundsatz her sehr ähnlich sind, wird das Verfahren an dieser Stelle nicht zur Anwendung empfohlen. Das Verfahren wird daher aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Für die letztgenannte Variante der Herstellung einer lastverteilenden Unterkonstruktion auf dem unbehandelten Teer zur Aufbringung einer langfristig stabilen Oberflächenabdichtung liegen derzeit noch keine Langzeiterfahrungen vor. Das Verfahren ist jedoch bereits bei anderen vergleichbaren Projekten geplant und auch genehmigt worden.

Aus der durchgeführten Variantenbetrachtung zur Verbesserung der Tragfähigkeit der Säureteere zur setzungsfreien Aufnahme eines Oberflächenabdichtungssystems wird die Variante lastverteilenden Unterkonstruktion als im Vergleich zu den anderen Varianten vorteilhafteste herausgestellt, obwohl sie eine Reihe von schwerwiegenden Problemen enthält, die in der weiteren Planung gelöst werden müssten (Herstellbarkeit, Beständigkeit).

Vorzugsvariante:

In den abschließenden Variantenvergleich und die darauf basierende Bewertung der Sanierungsvarianten wird die Herstellung der **lastverteilenden Unterkonstruktion** einbezogen und diese Aspekte entsprechend bewertet.

8.4.5 Arbeits- und Emissionsschutz

8.4.5.1 Emissionsschutzmaßnahmen

Die Emissionsschutzmaßnahmen müssen insbesondere darauf abzielen, die Nachbarschaft, insbesondere die angrenzenden Ortschaften und deren Bewohner, vor schadstoffbelasteten Emissionen zu schützen.

Da im konkreten Fall der Säureteerteich weit außerhalb geschlossener Wohnbebauung auf einer Freifläche liegt, kann der Nachbarschaftsschutz grundsätzlich durch die weiträumige Absperrung des Sanierungsgeländes erfolgen. Mit den Landwirten der umliegenden Acker- und Obstbauflächen sind während der Sanierung ggf. gesonderte Regelungen zu treffen (Nutzungseinschränkungen usw.).

Im Zuge der Umsetzung der Maßnahmen zur Einkapselung des Säureteerteiches ist es nicht erforderlich, große Mengen an Ablagerungsmaterial zu bewegen. Dieses führt dazu, dass eine starke Emission gerade im Vergleich mit den Sanierungsvarianten des Aushubs vermieden wird.

Für den konkreten Fall wären insbesondere die Schwefeldioxide (SO₂) als emittierende Substanz relevant, mit denen eine starke Geruchsbelästigung einhergeht. Aufgrund der bereits erläuterten, geringen Umlagerungsmaßnahmen und der darüber hinaus weit entfernten Wohnbebauung ist eine Kontrolle und Überwachung der Parameter höchstens stichprobenartig erforderlich. Dazu können tragbare Messgeräte verwendet werden, durch welche die Einhaltung der Immissionsschwellen (siehe Kapitel 8.5.7.1) überwacht werden. Die Kontrollmessungen sollten insbesondere in Hauptwindrichtung durchgeführt werden.

Für die nahe gelegene Bahnstrecke sind nach derzeitigen Einschätzungen keine Beeinträchtigungen infolge von Schadstoffemissionen zu besorgen.

8.4.5.2 Arbeitsschutzmaßnahmen

Die Sanierung des Säureteerteiches wird umfassende Arbeitsschutzmaßnahmen erfordern. Diese umfassen die Schutzmaßnahmen gegenüber folgenden Gefährdungen der Arbeitnehmer:

- Hautkontakt mit schadstoffhaltigen und ätzenden Abfällen
- Inhalative oder orale Aufnahme schadstoffhaltiger und ätzender Abfällen
- Nicht standsichere Abfälle im Sanierungsbereich (flüssig-pastöse Teere)

Das Arbeitsschutzkonzept wird neben der üblichen, nach der BGR 128 („Arbeiten in kontaminierten Bereichen“) vorzusehenden Baustelleneinrichtung (z. B. Sicherung des Sanierungsgeländes, Schwarz-Weiß-Anlage, Reifenwaschanlage usw.) die entsprechenden persönlichen Schutzausrüstungen vorsehen (z. B. säure- und ölbeständige Bausicherheitsstiefel, Einmalanzüge, Helm, ggf. Atemschutzmasken). Zusätzlich sind die üblichen organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der Mitarbeiter umzusetzen.

8.4.6 Erfordernis einer Nachsorge

Die erläuterte Variante 3 stellt eine Sicherungsmaßnahme im Sinne des Bodenschutzrechts dar. Sicherungsmaßnahmen im Rahmen einer Sanierung von Altablagerungen sind grundsätzlich mit dem Erfordernis einer Nachsorgephase verbunden. Die Nachsorge ist erforderlich, da durch die Sicherungsmaßnahme das Gefahrenpotenzial nicht entfernt wird, sondern lediglich die Expositionspfade unterbrochen werden.

Hauptaufgabe während der Nachsorgephase ist es im konkreten Fall der hier betrachteten Sanierungsvariante 3 die Funktionalität der einzelnen Komponenten der Sicherungsmaßnahme laufend zu überwachen. Diese Überwachung betrifft insbesondere das Oberflächenabdichtungssystem sowie die vertikale Abdichtung und kann durch Kontrollgänge visuell erfolgen. Dabei können augenscheinliche Rissbildungen im Bereich der Oberflächenabdichtung bereits ein Anzeichen für das Versagen der Dichtungsfunktion sein. Eine vermessungstechnische Überwachung der Oberflächenabdichtung ist zu empfehlen.

Des Weiteren sind Maßnahmen zur Überwachung des Grundwassers zu veranlassen. Eine Grundwasserüberwachung erfolgt bei gesicherten Altlasten in der Regel über eine An- und Abstrombeprobung des Grundwassers und einem Abgleich der jeweils vorhandenen Schadstoffkonzentrationen.

Bei einer abschließenden Bewertung dieser Variante (siehe Kapitel 9) sind die Kosten der Maßnahmen in der Nachsorgephase zu berücksichtigen. Dazu ist eine Monetarisierung der Maßnahmen erforderlich. Dauer, Art und Umfang der im Rahmen der Nachsorgephase durchzuführenden Maßnahmen werden grundsätzlich von der zuständigen Behörde festgelegt und können je nach Entwicklung angepasst werden. Auf Grund dessen ist eine exakte Prognose der anfallenden Kosten im Rahmen der Nachsorgephase grundsätzlich mit einer Unsicherheit verbunden.

Die Zeitdauer der Nachsorge richtet sich nach der Entwicklung des Schadstoffpotenzials in der gesicherten Altlast. Prinzipiell kann bei abnehmendem Potential oder bei auf Dauer sicher auszuschließender Schadstoffausträge zu einem späteren Zeitpunkt auf die weitere Nachsorge verzichtet werden. Häufig wird im Zusammenhang mit der Nachsorge (z. B. bei Deponien) ein Zeitraum von 30 Jahren genannt. Eine verallgemeinerbare, wissenschaftliche Begründung für diesen Zeitraum besteht nicht.

Wegen des im Wesentlichen unveränderbaren Schadstoffpotentials des Säureteerteiches in Gau-Algesheim und wegen der technisch aufwendigen Sicherungssysteme, vor allem der Oberflächensicherung, erscheint ein solcher Zeitraum allerdings nicht ausreichend. Um für die Monetarisierung eine Zahl zur Verfügung zu haben wurde in Abstimmung mit der SGD Süd und dem Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz [14] deshalb ein Zeitraum von 100 Jahren gewählt.

Eine konkrete Benennung möglicher Nachsorgemaßnahmen für den vorliegenden Fall sowie deren prognostizierte Kosten unter Berücksichtigung eines Nachsorgezeitraums von 100 Jahren sind in Anlage 7.3 zu finden.

8.4.7 Zusammenfassung

Im Ergebnis der durchgeführten Bewertung verschiedener Ausführungsarten wird empfohlen, die **Variante 3** wie nachfolgend erläutert umzusetzen:

- Maßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit der Säureteere
 - Lastverteilende Unterkonstruktion
- Einkapselung bestehend aus
 - Oberflächenabdichtung:
 - Feinplanum
 - Dichtungselement: Kunststoffdichtungsbahn (HDPE)
 - Entwässerungsschicht: Dränmatte
 - Rekultivierungsschicht
 - Vertikale Abdichtung:
 - MiP-Wand
 - geeigneter Anschluss an das Oberflächenabdichtungssystem.

8.5 Variante 4: Teilaushub, Konditionierung und externe Entsorgung der Abfälle

8.5.1 Allgemeines

Als weitere, grundsätzlich geeignete Variante ging aus der Vorauswahl der Sanierungsverfahren der Aushub des Ablagerungsmaterials hervor (siehe Kapitel 7.6). In diesem Zusammenhang sind zunächst die Ergebnisse der im Oktober 2006 durchgeführten Detailuntersuchung, insbesondere unter Einbeziehung der nördlichen Baugrubenränder [10], zu berücksichtigen.

8.5.1.1 Ergebnisse der Detailuntersuchung des nördlichen Baugrubenrandes

Im Untersuchungsbericht zur Detailerkundung des nördlichen Grubenrandes wurden auf Grundlage der dort gewonnenen Ergebnisse für die Sanierungsvariante „Aushub und Entsorgung“ drei Untervarianten angedacht. Diese stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

- Vollständiger Aushub der Säureteerablagerungen sowie vollständiger Aushub der kontaminierten Böden/Sedimente → Erfordernis eines Baugrubenverbaus zur Sicherung der Böschung im nordöstlichen und nordwestlichen Bereich der Baugrube im Zusammenhang mit der nahe gelegenen Bahnlinie
- Vollständiger Aushub der Säureteerablagerungen sowie partieller Aushub der kontaminierten Böden/Sedimente → Einsparung des Baugrubenverbaus durch Realisierung eines Böschungswinkels von 40°, Verbleib eines kontaminierten Restsedimentes im nordöstlichen und nordwestlichen Bereich der Baugrube in Höhe von ca. 400 m³
- Vollständiger Aushub der Säureteerablagerungen und kein Aushub der kontaminierten Böden/Sedimente.

Die Ableitung der drei o. g. Untervarianten resultierte aus den im Rahmen der Detailuntersuchung des nördlichen Baugrubenrandes gewonnenen Ergebnissen und den grundbautechnischen Berechnungen. Demnach reichen im östlichen sowie im westlichen Teil des Nordrandes des Säureteerteiches die kontaminierten Grubenränder bis in den angrenzenden Wirtschaftsweg hinein. Im Mittelbereich des Nordrandes enden die kontaminierten Grubenränder noch vor dem Wirtschaftsweg.

Ein Aushub der kontaminierten Grubenränder im Bereich des Wirtschaftsweges erfordert eine Abböschung der Baugrube in weiter nördlicher Richtung. Unmittelbar nördlich des Wirtschaftsweges befindet sich jedoch die Bahnlinie, in deren Bereich aufgrund von Standsicherheitsproblemen eine Abböschung nicht erfolgen kann.

Für den vollständigen Aushub der kontaminierten Grubenränder im Bereich des Wirtschaftsweges am nordwestlichen und nordöstlichen Baugrubenrand ist somit ein Baugrubenverbau zur Sicherung der Bahnlinie erforderlich. Die Überlegung eines partiellen Materialaushubes mit Belassung von Teilen an kontaminiertem Grubenrandmaterial im Untergrund resultiert somit aus der Einsparung des Baugrubenverbaus.

Für die Sanierungsvariante „Aushub“ sind wie oben erläutert mehrere Untervarianten denkbar, die sich insbesondere in den Aushubmaterialien bzw. Aushubbereichen und somit in den Aushubvolumina unterscheiden.

Im Folgenden wird zunächst eine Teilaushubvariante (Aushub nur der Säureteere) als **Variante 4** betrachtet. Der Komplett-aushub (Aushub aller Ablagerungsmaterialien) wird als **Variante 5** in Kapitel 8.6 erläutert.

8.5.1.2 Vorgehensweise

Sanierungsvariante 4 umfasst die Entnahme der Säureteere und deren Entfernung vom Standort sowie die Wiederverfüllung der entstandenen Baugrube einschließlich Oberflächenabdeckung und Rekultivierung. Die kontaminierten Böden/Sedimente werden bei dieser Sanierungsvariante im Untergrund belassen. Auf Grund dessen wird die Variante als Teilaushubvariante bezeichnet.

Im Hinblick auf die hier konkret betrachtete Sanierungsvariante sind zunächst die drei Leistungsbereiche **Aushub**, **Transport** und **Entsorgung** voneinander abzugrenzen. Außerdem kann für die Säureteere im Ergebnis der Materialbeprobungen auf Grund der breiigen bis pastösen Konsistenz des Materials ggf. eine **Konditionierung** zur Einstellung gewünschter Konsistenzen für alle drei Leistungsbereiche erforderlich werden. Zusätzlich kann für die Säureteere eine Konditionierung zur Schaffung bestimmter chemischer Eigenschaften (z. B. pH-Wert-Einstellung) notwendig sein.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Auswahl des Konditionierungsverfahrens unter besonderer Berücksichtigung aller drei o. g. Leistungsbereiche erfolgen muss. Sowohl Aushub und Transport, als auch die Entsorgung stellen je nach Technik besondere Anforderungen an die Konsistenz des Materials. Im Hinblick auf eine wirtschaftliche Durchführung der Sanierungsmaßnahme muss das Konditionierungsverfahren daher für alle drei Leistungsbereiche gemeinsam abgestimmt werden.

Im Folgenden wird die Bearbeitung der einzelnen Themen vom Ende der Behandlungskette her begonnen, da die Frage der möglichen Entsorgungswege einen bestimmenden Einfluss auf den Aushub, die Behandlung und den Transport der Säureteerablagerungen hat.

8.5.2 Abfallentsorgung

8.5.2.1 Anfallende Abfälle

Bei einer Realisierung der Teilaushubvariante (Sanierungsvariante 4) fallen voraussichtlich folgende Abfallarten an:

- Grünschnitt aus Rodungs- und Geländefreimachung
- Ggf. kontaminiertes Überstandswasser
- Säureteer
- Störstoffe (Fässer, Reifen etc. mit Säureteeranhaftungen)

Für die mengenmäßig dominierende Abfallart der Sanierung, den Säureteer, werden im Folgenden Möglichkeiten der Entsorgung und die Anforderungen der Entsorgungswege an die Sanierung dargestellt.

8.5.2.2 Zuordnung der Abfallarten

Die dominierenden Abfälle aus der Sanierung können folgenden Abfallschlüsselnummern gem. Europäischem Abfallverzeichnis zugeordnet werden:

Abfallart	Abfallschlüssel		gefährlicher Abfall
	Nr.	Text	
Säureteer	05 01 05 01 07*	Abfälle aus der Erdölraffination Säureteere	ja
	17 17 03 17 03 03*	Bau- und Abbruchabfälle Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte Kohlenteer und teerhaltige Produkte	ja
	19 11 19 11 02*	Abfälle aus der Altölaufbereitung Säureteere	ja

Tabelle 4: Zuordnung der Abfallarten Variante 4

Die für die Säureteerentsorgung angegebenen Abfallschlüsselnummern können alternativ angesetzt werden. Hinsichtlich der genauen Zuordnung der Abfallschlüsselnummern sind Abstimmungen mit der zuständigen Abfallbehörde erforderlich. Die Festlegung der Abfallschlüsselnummer richtet sich auch nach den Annahmekatalogen der gewählten Entsorgungsanlage.

8.5.2.3 Mögliche Entsorgungswege

8.5.2.3.1 Allgemeines

Bei den Säureteerablagerungen handelt es sich um gefährliche Abfälle. Entsprechend der Festlegungen des rheinland-pfälzischen Landesabfallwirtschaftsgesetz (LAbfWG) sind „Sonderabfälle, die in Rheinland-Pfalz angefallen sind, der Zentralen Stelle für Sonderabfälle anzudienen“ (§ 8 (4) LAbfWG). Zuständige Stelle ist die SAM Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH in Mainz.

Eine erste Abstimmung mit der SAM hinsichtlich der Entsorgungsmöglichkeiten für Säureteere ergab, dass in Rheinland-Pfalz keine Entsorgungsanlagen zur Verfügung stehen, die geeignet sind, Säureteere in der zu erwartenden Menge und Zusammensetzung zu entsorgen.

Insoweit wurde seitens der SAM eine Auswahl von Anlagen außerhalb von Rheinland-Pfalz benannt, die grundsätzlich Säureteere und andere teerhaltige Abfallstoffe entsorgen können. Eine Vorgabe von konkreten Entsorgungswegen wird von der SAM nicht erfolgen. Der Maßnahmeträger der Sanierung kann der SAM geeignete Entsorgungswege vorschlagen. Die SAM wird nach Prüfung der Entsorgungswege eine entsprechende Zuweisung erteilen. Die Zuweisung ist gebührenpflichtig.

8.5.2.3.2 Grundsätzliche Entsorgungsmöglichkeiten

Für die Säureteere werden im Folgenden grundsätzlich denkbare Entsorgungswege betrachtet:

- Deponierung
- Thermische Beseitigung
- Thermische Verwertung
- Stoffliche Verwertung
- Wiedereinbau vor Ort.

Die einzelnen Entsorgungswege werden im Folgenden näher betrachtet und auf ihre Eignung hin überprüft.

8.5.2.3.3 Deponierung

An die Deponierung von Abfällen werden seit dem 1. Juni 2005 die strengen Anforderungen der Deponieverordnung (DepV) bzw. der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) gestellt. Danach dürfen Abfälle nur noch deponiert werden, wenn sie die Annahmekriterien (sog. Zuordnungswerte) einhalten oder sie vor der Ablagerung entsprechend behandelt werden. Die Deponien, die solche Abfälle aufnehmen, müssen entsprechende technische Ausstattungen (Basisabdichtung usw.) aufweisen.

Bezogen auf die hier zu entsorgenden Säureteere ist festzustellen, dass diese die einschlägigen Zuordnungskriterien z. B. der Deponieklasse III in der vorliegenden Form nicht einhalten. Wesentliche Abweichungen von den Zuordnungskriterien betreffen:

- Festigkeit
- Organischer Anteil (Glühverlust bzw. TOC)
- pH-Wert.

Entsprechend stehen heute Deponien für die Entsorgung dieser Abfälle ohne entsprechende Vorbehandlung nicht mehr zur Verfügung.

Es ist allerdings bekannt, dass in der Praxis auch heute noch hin und wieder Teere aus der Altlastensanierung in konditionierter Form auf Deponien entsorgt werden. Entsprechende Anlagen konnten allerdings noch nicht recherchiert werden.

Im Folgenden ist davon auszugehen, dass eine Deponierung von Säureteer in unbehandelter oder behandelter Form nicht möglich ist.

8.5.2.3.4 Thermische Beseitigung

Ein wesentlicher, technisch und rechtlich möglicher Weg der Entsorgung betrifft die Beseitigung der Teere in Sonderabfallverbrennungsanlagen (SAV). Diese Anlagen sind technisch grundsätzlich in der Lage, eine entsprechende Entsorgung ordnungsgemäß durchzuführen und verfügen in ihren Annahmekatalogen über die entsprechenden Abfallschlüsselnummern.

Auf der Grundlage der Information der SAM und eigener Marktkenntnis stehen mindestens folgende Sonderabfallverbrennungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung:

- Hessische Industriemüll GmbH in Biebesheim (Hessen)
- AGR GmbH in Herten (Nordrhein-Westfalen)
- AVG Abfallverwertungsgesellschaft mbH in Hamburg
- GSB Sonderabfallentsorgung Bayern GmbH in Baar-Ebenhausen (Bayern)
- SAVA Sonderabfallverbrennungsanlagen GmbH in Brunsbüttel (Schleswig-Holstein)
- TRV Thermische Rückstandsverwertung GmbH & Co. KG in Wesseling (Nordrhein-Westfalen); Vertrieb über Buchen Umwelt Service GmbH, Ludwigshafen.

Die Auflistung ist nicht unbedingt vollständig. Die in Rheinland-Pfalz vorhandene Anlage der BASF AG in Ludwigshafen verfügt nicht über ausreichende Kapazitäten und nur über eine Fassaufgabe, so dass eine Entsorgung sehr großer Abfallmengen auch nach Auffassung der SAM dort ausscheidet.

Eine Sonderform der direkten thermischen Verbrennung ist die thermische Desorption bzw. Pyrolyse mit anschließender Hochtemperaturverbrennung der anfallenden Schadgase. Hierzu stehen folgende Anlagen zur Verfügung:

- SITA Remediation GmbH in Herne (Nordrhein-Westfalen)
- Bilfinger Berger Entsorgung Nord GmbH in Bremen

Aus ersten Gesprächen mit den genannten Entsorgern lassen sich hinsichtlich der Anwendbarkeit der thermischen Beseitigung folgende Aussagen treffen:

- Die Anlagen verfügen über Zulassungen für die Entsorgung von Säureteer und säureteerkontaminierten Böden mit den o. g. Abfallschlüsselnummern.

- Die Anlagen verfügen über Aufgabebunker für feste Abfallstoffe sowie teilweise über Aufgabemöglichkeiten für Flüssigkeiten (aus Tanks) bzw. für pastöse Abfälle (Aufgabe über Dickstoffpumpen). Damit ergeben sich folgende Konsistenzanforderungen an die zu entsorgenden Stoffe bez. der Aufgabe in die Verbrennungsanlagen:
 - Aufgabe über Bunker: stichfest oder rieselfähig
 - Sonstige Aufgaben: pumpfähig und störstofffrei
- Anlieferungsmöglichkeiten für feste Abfälle bestehen i. d. R. in Form von Containern, Sattelkippern oder von AS-Behältern.
- Alle Anlagen verfügen über Beschränkungen hinsichtlich des pH-Wertes der zu entsorgenden Abfälle. pH-Werte < 4 sind in der Regel kritisch.
- Grenzwerte für Schadstoffgehalte bestehen i. d. R. nicht. Ausnahmen hierzu sind ggf. max. Gehalte von Quecksilber (hier nicht relevant). Teilweise werden auch Anforderungen an den Flammpunkt gestellt, da Selbstentzündungen im Bunker verhindert werden müssen (hier ebenfalls nicht relevant).
- Die Kosten für die Entsorgung werden nach ersten Auskünften der Anlagenbetreiber in der Bandbreite von 345,00 €/t (Fa. Buchen/TRV inkl. Transport) bis 514,00 €/t (Listenpreis Fa. GSB für erhöhten Schwefelgehalt; frei Anlage) angegeben, wobei zu berücksichtigen ist, dass sich dieses auf die Menge konditionierten Materials bezieht und es sich noch nicht um im Wettbewerb ermittelte Preise handelt.

Aus dieser Aufstellung ergibt sich, dass für eine thermische Beseitigung Anforderungen an die Konditionierung zu stellen sind. Sie betreffen die Einstellung folgender Kriterien:

- Konsistenz des Abfalls
- pH-Wert.

8.5.2.3.5 Thermische Verwertung

Neben der reinen thermischen Sonderabfallverbrennung zur Schadstoffvernichtung ist eine gezielte Nutzung des Heizwertes des Materials im Sinne einer Verwertung möglich. Von den beiden denkbaren Anwendungsformen, der Verwertung

- in Kraftwerken und
- in Zementwerken,

spielt in der Praxis der Entsorgung von Teeren und Säureteeren vor allem die Mitverbrennung in Braunkohlenkraftwerken eine wichtige Rolle.

Hier sind folgende Anlagen bekannt:

- Kraftwerk Schwarze Pumpe der Vattenfall in Spreetal / Spreewitz (Brandenburg)
- Kraftwerk der BKB in Helmstedt (Niedersachsen), (möglicherweise stark eingeschränkte Annahmekapazität).

Bei der Verwertung von Säureteer in Kraftwerken, die für schwefelreiche Abfälle konstruiert sind, können die in der Entschwefelung des Abgases anfallenden Gipse auch stofflich verwertet werden.

Die Anforderungen an das zu verwertende Material sind höher als an die Sonderabfallverbrennung (siehe oben). Neben den speziellen Konsistenzeigenschaften für den Durchsatz des Materials durch das Kraftwerk (störstofffrei, kohleartige Konsistenz) darf vor allem auch der Heizwert des Materials nicht zu hoch sein, sondern muss ungefähr dem der Braunkohle entsprechen (etwa 8.000 bis 17.000 kJ/kg). Der pH-Wert sollte weitgehend im neutralen Bereich und die Schwefel-, Chlor- und sonstigen Schadstoffgehalte unterhalb bestimmter Gehalte liegen.

Da hierfür eine besondere Aufbereitung erforderlich ist, wird das Material speziell konditioniert. Diese Leistungen werden angeboten z. B. von der

- MUEG Mitteldeutsche Umwelt- und Entsorgung GmbH in Braunsbedra (Sachsen-Anhalt),

die eine vertraglich gesicherte Kapazität zur Mitverbrennung von Sekundärbrennstoff im Kraftwerk Schwarze Pumpe besitzt.

Zur Konditionierung stehen zwei Anlagen der MUEG in Krumpa bzw. Beuna zur Verfügung. Diese Anlagen sind selber als Entsorgungsanlagen zugelassen und verfügen in ihren Positivkatalogen über Abfallschlüsselnummern, die für die Entsorgung des Säureteerteiches geeignet sind. In diesen Anlagen wird durch die gezielte Mischung von unterschiedlichen Abfallstoffen (Teere verschiedener Art, Abfälle aus der Papierindustrie, Filterstäube und Rauchgasreinigungsrückstände usw.) gezielt ein Ersatzbrennstoff mit definierten Eigenschaften (Heizwert, Schadstoffgehalte, Konsistenz) erzeugt, der im Kraftwerk eingesetzt werden kann.

Hinsichtlich der Anwendbarkeit der thermischen Verwertung sind folgende Aussagen möglich:

- Die genannten Anlagen verfügen über Zulassung für die Entsorgung von Säureteer mit den o. g. Abfallschlüsselnummern.
- Die Anlagen verfügen über Aufgabebunker für feste Abfallstoffe. In kleineren Mengen können auch flüssige oder pastöse Abfälle angenommen werden. Konkrete Anforderungen an die Konsistenz bestehen deshalb nicht.
- Anliefermöglichkeiten für feste Abfälle bestehen i. d. R. in Form von gedeckelten Containern.

- Die Anlagen verfügen über keine festen Beschränkungen hinsichtlich des pH-Wertes der zu entsorgenden Abfälle. pH-Werte von 1 sind nicht ausgeschlossen.
- Grenzwerte für Schadstoffgehalte bestehen bei der Verwertung im Kraftwerk hinsichtlich Blei und PAK. Nach Betreiberangaben gelten diese Anforderungen aber nicht an die Entsorgung in der vorgeschalteten Behandlungsanlage.
- Die Kosten für die Verwertung selber oder für die Entsorgung in der Aufbereitungsanlage werden von den Betreibern nicht angegeben. Es wird geschätzt, dass die Verwertung alleine (ohne Aushub, Konditionierung und Transport) weniger als 100,00 €/t kostet.

Die Mitverbrennung in Zementwerken ist auf Grund des Heizwertes des Teeres und auf Grund der Tatsache, dass die Säure der Teere im überwiegend alkalischen Milieu der Zementproduktion gepuffert werden kann, grundsätzlich denkbar. Allerdings spielt der Schwefelgehalt eine Rolle, da Zement nur in engen Grenzen Schwefel enthalten darf. Dadurch bestehen im Prinzip nur begrenzte Annahmemöglichkeiten in Zementwerken und auch nur dann, wenn überwiegend schwefelarme Zuschlagsstoffe verarbeitet werden und insoweit noch eine Kapazität hinsichtlich der Schwefelmenge besteht. Interessant wäre dieser Verwertungsweg, wenn entsprechende Anlagen standortnah zur Verfügung stehen.

8.5.2.3.6 Stoffliche Verwertung

Neben der energetischen Verwertung sind auch stoffliche Verwertungen von Säureteeren grundsätzlich möglich. Nach den vorliegenden Informationen bestehen mindestens die folgenden beiden Möglichkeiten, die in der Praxis für Säureteere auch bereits angewendet worden sind:

- Methanolverwertung
- Schwefelsäuregewinnung

Nach den vorliegenden Recherchen existiert nur für die Methanolverwertung derzeit eine stationäre Anlage:

- Sustec Schwarze Pumpe GmbH in Spreetal / Spreewitz (Brandenburg)

Für diese Anlage, die nicht zu verwechseln ist mit dem Kraftwerk Schwarze Pumpe (siehe Kapitel 8.5.2.3.5), gelten nach Angaben des Betreibers starke Einschränkungen hinsichtlich der zulässigen pH-Werte (> 5) und der Konsistenz (schüttfähig, störstofffrei < 30 mm). Darüber hinaus hat die Anlage Kapazitätsbegrenzungen. Nach Betreiberangabe würde die Behandlung der 6.600 m^3 Säureteer mehr als 6 Monate benötigen.

Für andere Verwertungen müssten spezielle Anlagen für den vorliegenden Sanierungsfall erst entwickelt und on site oder off site installiert werden. In der Vergangenheit ist dieses teilweise bei den sehr viel größeren Teer- und Säureteersanierungen in den neuen Bundesländern erfolgt. Für die Sanierung des Schadensfalles in Gau-Algesheim erscheint der Aufwand einer On-Site-Installation einer Aufbereitungsanlage zu hoch und damit nicht zielführend.

Für die Verwertung der Abfälle ist ggf. auch eine Verflüssigung erforderlich (siehe Kapitel 8.5.4.2.1).

Die stoffliche Verwertung stellt insoweit eine Sonderform der Entsorgung von Teerteichen dar und wird im Folgenden nicht weiter betrachtet.

8.5.2.3.7 Wiedereinbau vor Ort

Wie bei der On-Site-Immobilisierung bereits diskutiert (siehe Kapitel 7.5.2.5), besteht die grundsätzliche Möglichkeit bei Altlastsanierungsmaßnahmen Bodenmaterial vor Ort wieder einzubauen. Es handelt sich dabei formal nicht um eine Deponierung, da eine solche Ablagerung im Rahmen eines verbindlich erklärten Sanierungsplanes erfolgen könnte. Wenn das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird, kann nach § 13 Abs. 5 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) eine solche Ablagerung von Bodenmaterial außerhalb des Abfallrechtes zugelassen werden.

Die Definition des BBodSchG des Begriffes „Bodenmaterial“ ist allerdings eng auszuliegen. Zu verstehen sind darunter von der Struktur und den Eigenschaften her mit natürlichem Boden vergleichbare Materialien. Produktionsrückstände, auch wenn sie bodenartige Struktur haben, fallen im Prinzip nicht unter diese Regelung.

Zur „Wahrung des Wohls“ der Allgemeinheit wären grundsätzlich ähnliche Anforderungen an die Ablagerung von konditioniertem Teer zu stellen wie an eine Deponierung. Dass bedeutet, dass eine Sicherung der Abfälle erfolgen müsste wie sie im Kapitel 8.4 beschrieben wurde.

Die Maßnahme des Wiedereinbaus vor Ort ist damit im Wesentlichen identisch mit der On-Site-Verfestigung des Teers zur Herstellung eines tragfähigen Untergrundes für die Oberflächensicherung.

8.5.2.4 Bewertung

Die Entsorgung von Säureteeren ist grundsätzlich möglich. Es handelt sich um gefährliche Abfälle, für die die entsprechenden abfallrechtlichen Anforderungen einzuhalten sind.

Relevant sind als Entsorgungswege vor allem die thermische Verwertung und die thermische Beseitigung. Andere Techniken (Deponierung, stoffliche Verwertung) sind in Sonderfällen möglich, sind aber technisch bzw. abfallrechtlich problematisch. Sie sollen im Folgenden nicht mehr betrachtet werden.

Die verbleibenden Varianten sind wie folgt zu bewerten:

- Die Beseitigung in der **Sonderabfallverbrennung** stellt ein gut realisierbares Verfahren dar, für das ein breiter Markt vorhanden ist. Die Kosten sind im Vergleich zur thermischen Verwertung relativ hoch und die Anforderungen der Anlagen an die Abfalleigenschaften speziell. Dieses erfordert eine entsprechend aufwändige Vorbehandlung der Abfälle durch Konditionierung mit Zuschlagsstoffen.
- Die **thermische Verwertung** durch Verstromung in Braunkohlenkraftwerken ist eine häufig angewendete Form, für die allerdings nur ein eingeschränkter Markt verfügbar ist. Die Kosten sind vergleichsweise günstig und die Anforderungen an die Vorbehandlung geringer als bei der Sonderabfallverbrennung.

8.5.3 Aushub

8.5.3.1 Aushubtechniken

Für die Säureteere werden nachfolgende, grundsätzlich denkbare Aushubtechniken betrachtet:

- Abpumpen
- Baggern.

8.5.3.1.1 Abpumpen

Teere können bei entsprechenden Konsistenzeigenschaften gepumpt werden. Dafür sind Flüssigkeits- und Dickstoffpumpen geeignet. Diese Pumpen müssten für den Einsatz bei einem Säureteerteich ausreichend beständig sein, gegen Korrosion sowie mit den zu erwartenden Störstoffen umgehen können. Grundsätzlich geeignet sind neben Tauch- auch Saugpumpen bzw. Saugfahrzeuge. Die Ansaug- und Eintrittsöffnungen werden mit entsprechenden Filterkörben versehen, die schädliche Störstoffe abhalten, bei hoch viskosen Abfällen aber auch zur Verstopfung neigen.

Wegen der insgesamt sehr hohen Viskosität der zu bergenden Säureteere, der fehlenden Öl-Säure-Wasser-Emulsion auf dem Säureteerteich in Gau-Algesheim sowie wegen der beobachteten geringen Neigung der Teere, sich bei Temperaturerhöhung signifikant zu verflüssigen, dürfte der Einsatz von Pumpen in diesem Fall keine praktische Bedeutung haben. In der Praxis führen bei Säureteeren auch die massiven Korrosionsprobleme dazu, dass die empfindlichen Pumpen nicht eingesetzt werden.

Die Vorhaltung von robusten Pumpen und Tanks für eventuell auftretende kontaminierte Oberflächenwässer nach Niederschlägen oder zur Bergung von lokalen Flüssigkeitslinsen in der Ablagerung bzw. alternativ das Bereithalten von Saugfahrzeugen für diese Aufgaben sollten bei der Planung vorgesehen werden.

8.5.3.1.2 Baggern

Bagger stellen die wesentliche Option für die Teerbergung dar. Einsetzbar sind:

- Greiferbagger
- Tieflöffelbagger.

Das Trägergerät des Baggers sollte ständig außerhalb des hoch kontaminierten, aggressiven und nicht tragfähigen Abfalls stehen können. Dazu sind Trägergeräte mit entsprechenden Auslegern erforderlich. Denkbar sind

- Turmdrehkran mit Zweischalengreifer,
- Longfront-Hydraulikbagger mit Tieflöffel,
- Teleskopbagger mit Tieflöffel.

Für die Bergung der Säureteere ist der Turmdrehkran mit einem seilgeführten Zweischalengreifer weniger geeignet, wenn zum Lösen des Abfalls eine höhere Energie erforderlich ist. In solchen Fällen eignet sich der Tieflöffelbagger besser. Der Longfront-Hydraulikbagger erreicht zwar die größeren Reichweiten, ist als Trägergerät dafür weniger geeignet als der Teleskopbagger, da er einerseits weniger Kraft an der Schaufel entwickeln kann und andererseits die empfindlichen Hydraulikzylinder und -leitungen in Kontakt mit dem Säureteer kommen und dabei Korrosionsprobleme auftreten können.

Die zugehörigen Baggergeräte müssen am Rand des Teerteiches standsicher aufgestellt werden. Hierzu sind entsprechende Aufstandsflächen herzustellen.

Aus Arbeitsschutzgründen können die Trägergeräte, vor allem aber Hydraulikbagger mit umgebungsluftabhängigen oder -unabhängigen Atemluftversorgungsanlagen ausgerüstet werden.

8.5.3.2 Bewertung

Als Geräte für den Aushub der Säureteere wird derzeit der Teleskopbagger mit Tieflöffel als am meisten verbreitet und geeignet angesehen. Zusätzlich sollten für eher flüssige Abfälle entsprechend geeignete Pumpen bzw. Saugwagen bereitgehalten werden.

8.5.4 Konditionierung

8.5.4.1 Anforderungen

Für die Säureteere muss ggf. eine Konditionierung in Betracht gezogen werden. Die Anforderungen an eine Konditionierung ergeben sich generell aus:

- den Möglichkeiten des Aushubes,
- den Anforderungen des Transportes und
- den Anforderungen der Entsorgungsanlagen.

Die Konditionierungsanforderungen beziehen sich dabei speziell auf

- die Störstofffreiheit,
- die Einstellung der Abfallkonsistenz (stichfest, riesel- oder schüttfähig, pumppfähig usw.)
- die pH-Wert-Regulierung und
- die Reduzierung von Schadstoffgehalten.

Die Konditionierung kann unterschieden werden in

- die Vorkonditionierung zur Einstellung der Abfalleigenschaften für den Transport (und ggf. für die Bergung) und
- die Endkonditionierung zur Einstellung der Abfalleigenschaften für die Entsorgung.

Die Vorkonditionierung wird on site erfolgen müssen; die Endkonditionierung kann ggf. off site, z. B. bei der Entsorgungsanlage erfolgen.

8.5.4.2 Konditionierungstechniken

Für die Säureteere werden folgende grundsätzlich denkbare Konditionierungstechniken betrachtet:

- Verflüssigung
- Vereisung
- Mischung mit Zuschlagsstoffen

In diesen Fällen ist immer eine On-Site-Behandlung oder doch eine standortnahe Behandlung erforderlich. Beide Verfahrensvarianten, die On-Site-Konditionierung und die Verwertung on site bzw. standortnah, sind nach den vorliegenden Recherchen in der Praxis angewendet worden.

Zu den Kosten für die Rückverflüssigung liegen keine Angaben vor.

8.5.3.2.2 Vereisung

Ein bekanntes Verfahren zur Konditionierung von Teeren ist die Vereisung. Durch Eintrag von Kälte mittels flüssigem Stickstoff oder Kühlmitteln wird das ursprünglich zäh-plastische bis pastöse Material fest und kann dann in fester Form z. B. mit einem Meißel gebrochen und als Feststoff transportiert werden.

Die Verfahrenstechnik der Vereisung entspricht den im Bauwesen üblichen Bodengefriertechniken. Dabei wird durch Einbringen von Kühllanzens in einem kleinräumigen Raster das Kältemittel in den Teerkörper eingebracht. Mittels Messfühlern in angrenzenden Sondierungen wird der Fortschritt des Gefrierens gemessen.

Das Verfahren wurde erfolgreich bei der Sanierung von Teergruben angewendet (z. B. Gaswerk Dülmen (siehe Abb. 4), BASF Schwarzheide).



Abb. 4: Vereisung eines Teerölbehälters (Foto: Bauer + Mourik Umwelttechnik GmbH & Co.)

Es ist bekannt, dass die Vereisung im Vergleich zu anderen Konditionierungsverfahren, unter anderem auch im Verhältnis zur Erwärmung, sehr teuer ist. Es ist sinnvoll einsetzbar, wenn sich durch die Vereisung zusätzlich grundbautechnische Probleme lösen lassen, wie z. B. die Standsicherheit der Böschungen des Aushubbereiches. Anwendungen bei der großtechnischen Sanierung von Teer- oder Säureteerteichen sind nicht bekannt.

Nachteilig ist auch, dass das durch Vereisung behandelte Material nach dem Aushub seine Konsistenzeigenschaften wieder verliert und damit sich während des Transportes und der Entsorgung die ursprünglichen Konsistenzeigenschaften wieder einstellen. Gleichzeitig lassen sich mit dieser Methode nur die Konsistenzeigenschaften des eigentlichen Teeres nicht jedoch die chemischen Eigenschaften des Materials beeinflussen.

8.5.4.2.3 Mischung mit Zuschlagsstoffen

Bei der Mehrzahl der bisher sanierten Teerteiche oder Säureteerteiche ist eine Konditionierung mit Zuschlagsstoffen durchgeführt worden. Folgende Stoffe sind dabei einzeln oder als Mischungen zum Einsatz gekommen:

- Kalkprodukte (z. B. Branntkalk, gelöschter Kalk)
- Zement
- Flugaschen (u. a. Braunkohlenflugaschen)
- Filterstäube aus der Zementindustrie
- Sägemehl
- Porös aufbereitete Tonprodukte („Katzenstreu“).

Je nach Art des Konditionierungsmittels und des vorhandenen Teeres reagieren diese Mittel mehr oder weniger stark exotherm, d. h. mit Wärmeentwicklung. Bei der Verwendung von Kalk z. B. in Form von Branntkalk ist diese Reaktion besonders stark und kann bis zur Selbstentzündung des konditionierten Materials führen.

Die Temperaturerhöhung ist zur Verdampfung des Wassers aus dem Teer erwünscht, weil sich dadurch die zu entsorgende Menge reduziert und der konditionierte Teer fester wird. Die Temperaturerhöhung führt hingegen auch zu verstärkten Dampf- und Geruchsemissionen. Eine Selbstentzündung stellt ein sehr ernstes technisches Ausführungsrisiko dar.

Einige der genannten Konditionierungsmittel wirken durch den Entzug von Wasser (z. B. Katzenstreu, Sägemehl) in das Konditionierungsmittel hinein. Wegen der geringen Wasseranteile werden solche Konditionierungsmittel im vorliegenden Fall nicht sinnvoll einsetzbar sein.

Sinnvoll erscheint hingegen die Verwendung von Zuschlagsstoffen, die einerseits eine Neutralisation der sauren Teere bewirken, als auch eine Verfestigung durch hydraulische Bindemittel. Vorrangig sollte die Behandlung mit Flugaschen, Kalken oder Zementen in Frage kommen.

Durch die Konditionierungsmittelzugabe ergibt sich eine Mengenmehrung. Praxiserfahrungen der Konditionierungsmittelzugabe reichen von unter 20 % bis zu 100 % des zu behandelnden Materials, je nach zu behandelndem Substrat, Konditionierungsmittel und Ziel der Konditionierung.

Die richtige Auswahl des Konditionierungsmittels ist abhängig zu machen von Vorversuchen.

Für die Konditionierung mit Zuschlagsstoffen sind folgende Geräte anwendbar:

- In-Situ-Konditionierung: - Bagger
 - Vertikalfräse
- On-Site-/Off-Site-Konditionierung: - Bagger in Erdbecken
 - Misanlage mit Zwangsmischern.

Die Konditionierung mittels Bagger in situ ist die einfachste Art der Behandlung. Das Konditionierungsmittel wird mittels Bagger auf den Teer aufgebracht und mit dem Baggerlöffel in den Teer eingearbeitet. Dieses Verfahren erfordert eine leicht mit dem Bagger zu bearbeitende eher flüssige Konsistenz der Teere. Eine Variante der Konditionierung mit dem Bagger ist die Behandlung in Konditionierungsbecken on site. Dabei wird der Teer ausgehoben und in On-Site-Konditionierungsbecken, in der Regel einfache Erdbecken, eingebracht und dort mittels Baggers mit dem Konditionierungsmittel vermischt.



Abb. 5: Teerkonditionierung mit Tieföffelbagger

Die Konditionierung mittels Vertikalfräse (siehe Abb. 6) ist ein patentrechtlich geschütztes Verfahren der Fa. Lobbe. Dabei wird ein etwa 2 m langes vertikal angeordnetes Rührwerk aus ein oder zwei gegenläufig drehenden Hohlwelle mit stabilen Flügeln an einen Mobilbagger angeflanscht.

Durch Öffnungen in den Hohlwellen kann aus einem Silo Konditionierungsmittel in den Teer eingeblasen und direkt mit dem Teer vermischt werden. Dieses Fräsverfahren ist durch die Länge der Welle in der Tiefe begrenzt und erfordert einen Teer, der möglichst störstofffrei und so weich ist, dass er mit der Vertikalfräse bearbeitet werden kann.



Abb. 6: Teerkonditionierung mittels Vertikalfräse

Schließlich kann der Teer durch Mischanlagen ex situ bearbeitet werden. Dabei werden Zwangsmischer eingesetzt, die das Material mit dem Zuschlagsstoff vereinigen und durchmischen. Solche Anlagen können on site installiert sein oder im Bereich der Entsorgungsanlage stehen. Vorteilhaft ist die Möglichkeit, die Aufgabereinheit, den Mischbereich, die Förderanlagen und die Bunker zu kapseln und abzusaugen, um Emissionen zu minimieren. Die Mischanlagen erfordern einen weitgehend störstofffreien Teer.

Generell erfordert die Konditionierung mit Zuschlagsstoffen eine Ruhezeit, in der die Konditionierungsreaktion, z. B. das Abbinden von Zuschlagsstoffen, ablaufen kann. Insoweit sind diese Ruhezeiten im bau- und entsorgungslogistischen Ablauf zu berücksichtigen.

Eine typische Konfiguration einer Konditionierungsanlage, wie sie auch on site installiert werden kann, besteht aus:

- Aufgabetrichter (ggf. mit Verschlussmechanismus)
- Förderbändern (ggf. gekapselt und abgesaugt)
- Magnetabscheider (zum Schutz der Mischanlagen)
- Zwangsmischer
- Reaktionstrommel

- Ggf. Sieb im Anlagenausgang
- Ggf. Abluftreinigungsanlage mit Wäschern gegen Säureemissionen.

8.5.4.3 Bewertung

Für den vorliegenden Fall werden bei dem hoch viskosen Teer Grenzen der In-Situ-Konditionierung gesehen. Eher geeignet erscheinen On-Site-Konditionierungen, wobei aus dem gleichen Grund der Einsatz von Zwangsmischern für vorteilhafter angesehen wird.

Die Auswahl der Konditionierungsmittel sollte wie dargestellt in Abhängigkeit der vorgesehenen Entsorgung getroffen werden. Es wird derzeit von einer Konditionierung mit Flugaschen, Kalken oder Zement ausgegangen.

8.5.5 Transport

8.5.5.1 Anforderungen

Für den Transport der Säureteere von der Ausbaustelle bis zur Entsorgung kommt trotz der Nähe zur Eisenbahn nur der Straßentransport mit LKW in Frage. Da das direkt benachbarte Gleis zu einer sehr intensiv befahrenen DB-Strecke (Personen- und Güterverkehr tags und nachts) gehört, sind Verladungen auf diese Gleise praktisch ausgeschlossen.

Denkbar wäre ggf. ein gebrochener Transport mit einem Schienentransport von einem nahe gelegenen geeigneten Bahnhof zur Entsorgungsanlage. Ein solcher gemischter Transport würde den Einsatz von Containern erfordern.

Der Transport muss grundsätzlich weitgehend emissionsfrei sein und den Anforderungen des Straßenverkehrs genügen. Ggf. sind auch Gefahrgutvorschriften zu beachten.

8.5.5.2 Gestaltung des Abfalltransportes

Unabhängig von der Frage, in welcher Form das ausgehobene Teermaterial konditioniert wird, ist beim Transport mit folgenden Eigenschaften zu rechnen:

- Geruchsprobleme
- Verflüssigung durch thixotrope Eigenschaften.

Von den bestehenden Möglichkeiten des Straßentransportes können nur wenige Systeme für diese Bedingungen als geeignet angesehen werden. Denkbar sind vor allem Abrollcontainer und Absetzmulden in Größen von etwa 4 bis 22 m³ mit Deckel und umlaufender Gummidichtung. Ggf. sind auch entsprechend ausgestattete Mulden für Sattelaufleger geeignet. In der Praxis (z. B. Sanierung des „Oberen Säureteerteiches“ in Mittelbach (Sachsen) werden gedeckelte Abdeckmulden auch zum Transport von flüssigen und pastösen Abfällen verwendet. Auf den besonderen Verschleiß der Container durch den Säureangriff ist zu achten.

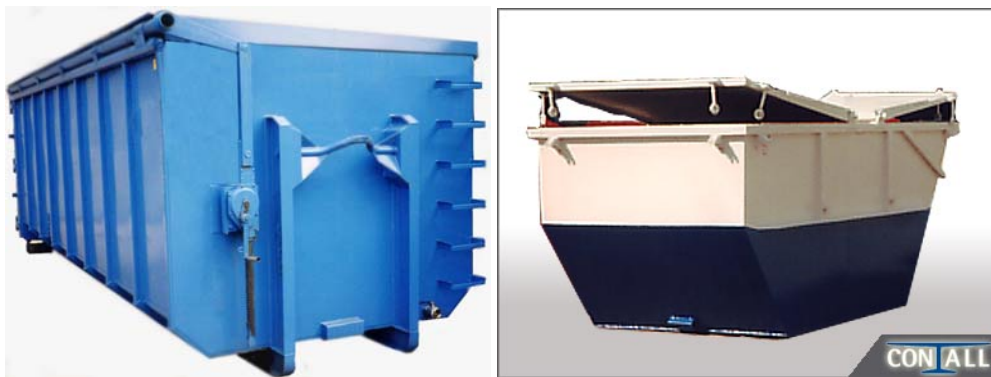


Abb. 7: Typen von Containern mit Deckeln (Fotos: Confa GmbH, Contall GmbH)

8.5.6 Wiederverfüllung und Oberflächenabdeckung

Nach erfolgtem Aushub der Säureteere ist die entstandene Baugrube mit geeignetem Material bis auf Höhe des umliegenden Geländes wiederzufüllen. Dazu ist die Anlieferung von externem Fremdmaterial erforderlich.

Da beim Teilaushub erhebliche Mengen an belastetem Bodenmaterial auf dem Standort verbleiben (ca. 5.300 m³), ist es empfehlenswert, bei der Verfüllung der Aushubbereiche zusätzlich die Versickerung von Niederschlagswasser und damit die vertikale Verfrachtung der Schadstoffe mit dem Sickerwasser in das Grundwasser zu unterbinden. Entweder kann der Aushubbereich komplett mit bindigem Material verfüllt werden, sofern dieses kostengünstig und standortnah verfügbar ist. Alternativ kann die Verfüllung mit nicht bindigem Material erfolgen und nach erfolgter Wiederverfüllung der Baugrube eine Oberflächenabdeckung aus bindigem Material aufgebracht werden. Abschließend sollte diese Oberflächenabdeckung rekultiviert werden.

8.5.7 Arbeits- und Emissionsschutz

8.5.7.1 Emissionsschutzmaßnahmen

Die Frage der Sicherung der Sanierungsbaustelle gegen unzulässige Emissionen ergibt sich aus dem Schutz der Nachbarschaft gegen schädliche und vor allem geruchsintensive Stoffe. Im Zusammenhang mit Emissionen aus Säureteeren spielen verschiedene, stark riechenden Substanzen eine Rolle. Analytisch in relevanten Konzentrationen nachweisbar ist allerdings oft nur das Schwefeldioxid (SO₂). Insoweit werden allgemein die Emissionen von SO₂ bei der Sanierung von Säureteer als einziger Parameter überwacht und als Auslöser für emissionsmindernde Maßnahmen verwendet.

Grundsätzlich sind hinsichtlich der Emission von SO₂ folgende Vorgehensweisen bei der Sanierung möglich:

- Sanierung innerhalb einer Einhausung (Zelt o. ä.)
- Sanierung ohne Einhausung.

Die Einhausung der Sanierungsbaustelle mit einem Zelt, in dem die Entnahmegерäte (hier: wahrscheinlich Hydraulikbagger) und die Aufgabeeinheiten für eine On-Site-Konditionierung oder die Verladung in Container untergebracht werden, ist bei den vorhandenen Abmessungen des Säureteerteiches von etwa 40 x 50 m grundsätzlich möglich. Einhausungen sind in Deutschland bereits bis zu Abmessungen von 240 m x 50 m und einer Höhe von ca. 7 m ausgeführt worden (z. B. Tri-Halde, Stadtalendorf).

Der Aufwand für eine solche Einhausung ist allerdings erheblich. Neben den bautechnischen Anforderungen an solch große Hallen ist hier vor allem das Erfordernis einer Unterdruckhaltung in der Halle und einer entsprechenden On-Site-Abluftreinigung zu sehen. Der Vorteil liegt in der weitgehend vollständigen Beherrschung der Emissionen.

Der Nachteil liegt, neben den dem Aufwand entsprechenden Kosten, in der Notwendigkeit, die Arbeiten in der Halle mit sehr aufwändigem Arbeitsschutz (s. u.) auszuführen. Hierzu gehören ggf. die umgebungsluftunabhängige Belüftung von Fahrerkabinen der Baugeräte bzw. die umgebungsluftunabhängige Atemluftversorgung der Mitarbeiter, die in der Halle außerhalb von Geräten arbeiten.

Ein solcher Vollschutz reduziert die Produktivität der Arbeiten und verteuert u. a. wegen der häufigen zusätzlichen Pausen die Sanierungsarbeiten erheblich.

Im Falle der Sanierung ohne Einhausung muss mit den SO₂-Emissionen in die Umgebung umgegangen werden. Hierzu steht nach den Erfahrungen anderer Standorte eine ganze Reihe von Maßnahmen zur Verfügung:

- Technische Belüftung der Sanierungsbereiche (blasende Bewetterung)
- Wasserauflage auf den Sanierungsbereichen zur Reduzierung der Emissionen (erfordert eine entsprechende Aufbereitung der eingesetzten Wässer)
- Entnahme in kleinräumigen, voneinander abgetrennten Entnahmestellen (z. B. durch Verbaukästen)
- Oxidation des Überstandswasser mit H₂O₂
- Temporäre Bauunterbrechung.

Die Erfahrung bei der Sanierung von Säureteerteichen zeigt, dass selbst bei sehr nahe gelegener Wohnbebauung die Sanierung mit solchen Maßnahmen ohne Gefährdung der Nachbarschaft durchgeführt werden kann. So befinden sich bei der Sanierung des „Unteren Säureharzteiches“ in Mittelbach (Sachsen) Wohnhäuser in etwa 100 m vom Sanierungsbereich entfernt. Diese Arbeiten finden ohne Einhausung statt. Im Falle des Säureteerteiches in Gau-Algesheim befinden sich Wohnhäuser in folgender Entfernung:

- Westen: Einzelhaus in etwa 250 m Entfernung
- Süden: Einzelhaus in etwa 550 m Entfernung
- Osten: Rand der Ortslage Gau-Algesheim in etwa 750 m Entfernung.

Es wird davon ausgegangen, dass bei den üblichen Windrichtungen und den genannten Entfernungen sich zwar geruchliche Wahrnehmungen vor allem bei dem westlich gelegenen Einzelhaus nicht vermeiden lassen. Allerdings wird davon ausgegangen, dass sich eine noch näher zu definierende SO₂-Konzentration an der Immissionschwelle ggf. unter Einsatz technischer Maßnahmen einhalten lässt und deshalb eine Sanierung ohne Einhausung durchführbar sein wird.

Zur Emissionskontrolle sollten an der Sanierungsbaustelle die SO₂-Gehalte kontinuierlich gemessen werden. Hierzu eignen sich tragbare Messgeräte als auch stationäre Messstationen an signifikanten Bereichen der Begrenzung des Sanierungsgebietes. Neben den Schadstoffgehalten sollten zur Beweissicherung auch die meteorologischen Daten (vor allem Windrichtung und -stärke) kontinuierlich gemessen und zusammen mit der Dokumentation des Bauablaufes aufbewahrt werden.

Zur Absicherung der Gefährdungen der möglicherweise betroffenen Bevölkerung können entsprechende Messstationen an den möglichen Immissionsstellen an der Wohnlage eingerichtet werden. Die Festlegung von zulässigen SO₂-Emissionen und Immissionen erfordert eine gesonderte Betrachtung. Aus Vergleichsfällen sind beispielsweise zulässige Konzentrationen von 1,3 mg/m³ SO₂ an der Grenze des Sanierungsgebietes bzw. von 350 µg/m³ SO₂ an der Immissionsstelle bekannt.

Auf der Grundlage eines Emissions-/Immissionsgutachtens sollte entschieden werden, ob auf eine Einhausung der Sanierungsmaßnahme tatsächlich verzichtet werden kann.

8.5.7.2 Arbeitsschutz

Die Arbeitsschutzmaßnahmen für Sanierungsvariante 4 sind grundsätzlich, wie bereits in Kapitel 8.4.5.2 erläutert, umzusetzen. Eine besondere Fragestellung ergibt sich hinsichtlich der Überlegung, ob die Sanierungsbaustelle durch eine Einhausung gegen Emissionen geschützt werden muss. Sofern eine Einhausung vorgesehen wird, sind ggf. entsprechende umgebungsluftunabhängige Atemluftversorgungen erforderlich mit den entsprechenden Nachteilen (s. o.). Aus Arbeitsschutzsicht ist die Sanierung mit freier Bewetterung der Arbeitsbereiche vorzuziehen.

8.5.8 Erfordernis einer Nachsorge

Bei Sanierungsvariante 4 handelt es sich um eine kombinierte Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahme. Sicherungsmaßnahmen im Rahmen einer Altlastensanierung sind grundsätzlich mit dem Erfordernis einer Nachsorgephase verbunden. Die Nachsorge ist auch in diesem Fall vorzusehen. Die Nachsorge im konkreten Fall der Teilaushubvariante wird sich voraussichtlich auf eine Grundwasserüberwachung konzentrieren.

Bei der abschließenden Bewertung dieser Sanierungsvariante (siehe Kapitel 9) werden die Maßnahmen der Nachsorgephase berücksichtigt. Eine Benennung möglicher Nachsorgemaßnahmen für den konkreten Fall sowie deren prognostizierte Kosten unter Berücksichtigung eines Nachsorgezeitraums von 100 Jahren sind in Anlage 7.4 zu finden.

8.5.9 Zusammenfassung

Die als Teilaushubvariante bezeichnete Sanierungsvariante 4 umfasst den Aushub der Säureteerablagerungen aus dem Säureteerteich, nicht aber die Entnahme der kontaminierten Böden/Sedimente im Bereich der Teichränder und der Teichsohle. Im Ergebnis der obigen Ausführungen wird empfohlen, die **Variante 4** wie nachfolgend erläutert umzusetzen:

- Aushubtechnik:
 - Säureteere: Ausbaggern mittels Teleskopbagger
- Konditionierung:
 - Säureteere: Mischung mit Zuschlagsstoffen (sofern erforderlich)

- Transport:
 - Säureteere: in Deckelcontainern per LKW

- Entsorgung:
 - Säureteere: thermische Verwertung

Anmerkungen:

Eine Einhausung der Sanierungsbaustelle wird vorerst nicht berücksichtigt. Sie kann ggf. aber zusätzlich erforderlich werden, wenn die Geruchsbelästigungen von Anwohnern im Umfeld als gravierend erachtet werden sollten.

Für den oben vorgeschlagenen Transport der Säureteere in Deckelcontainern und für die thermische Verwertung ist eine Vorkonditionierung auf dem Gelände des Säureteerteiches in Gau-Algesheim zunächst nicht erforderlich.

Die oben vorgeschlagenen Verfahren sind das Ergebnis einer ersten Varianten- und Marktstudie. Sollte die hier betrachtete Sanierungsvariante 4 (Teilaushub und Entsorgung) zur Durchführung kommen, können sich im Rahmen der Ausschreibung je nach Bieter andere Aushubmethoden, Transportvarianten und Entsorgung-/ Verwertungsmöglichkeiten und somit auch Konditionierungstechniken ergeben.

8.6 Variante 5: Komplettaushub, Konditionierung und externe Entsorgung der Abfälle

8.6.1 Allgemeines

Auf Grundlage der allgemeinen Ausführungen zu den unterschiedlichen Aushubuntervarianten in Kapitel 8.5.3 wird im Folgenden Sanierungsvariante 5 in die Variantenbetrachtung aufgenommen. Die Variante 5 beinhaltet den vollständigen Aushub sowohl der Säureteere als auch kontaminierten Böden/Sedimente und deren Entfernung vom Standort sowie die Wiederverfüllung der entstandenen Baugrube einschließlich Rekultivierung.

Als Grundlage für diese Sanierungsvariante sind weiterhin die folgenden Anmerkungen zu berücksichtigen:

Gemäß Detailuntersuchung im Bereich des nördlichen Baugrubenrandes reichen im östlichen sowie im westlichen Teil des Nordrandes des Säureteerteiches die kontaminierten Grubenränder bis in den angrenzenden Wirtschaftsweg hinein. Im Mittelbereich des Nordrandes enden die kontaminierten Grubenränder noch vor dem Wirtschaftsweg. Da eine Abböschung der Baugrube in weiter nördlicher Richtung für den Aushub der kontaminierten Grubenränder auf Grund der nahe gelegenen Bahnlinie nicht möglich ist, muss bei der Planung der Sanierungsvariante 5 somit ein Baugrubenverbau zur Sicherung der Bahnlinie berücksichtigt werden.

Analog zu Sanierungsvariante 4 (Teilaushub) sind auch bei Sanierungsvariante 5 (Komplettaushub) drei Leistungsbereiche **Aushub**, **Transport** und **Entsorgung** voneinander abzugrenzen. Eine ggf. erforderliche Konditionierung der Materialien zur Einstellung gewünschter Konsistenzen und/oder zur Schaffung bestimmter chemischer Eigenschaften ist dabei zu berücksichtigen.

Bei der folgenden Erläuterung der Sanierungsvariante 5 wird die Bearbeitung der einzelnen Themen analog zu Sanierungsvariante 4 vom Ende der Behandlungskette her begonnen, da die Frage der möglichen Entsorgungswege einen bestimmenden Einfluss auf den der Säureteerablagerungen hat.

Bei Variante 5 (Komplettaushub) stellen die Säureteere und die kontaminierten Böden die mengenmäßig dominierenden Abfallarten dar. Für die **Säureteerablagerungen** gelten grundsätzlich die Ausführungen zu Abfallentsorgung, Aushub, Konditionierung und Transport analog zu Sanierungsvariante 4 (Teilaushub). Auf Grund dessen wird im Folgenden darauf verzichtet, eine erneute Betrachtung verschiedener Ausführungsarten hierzu vorzunehmen, so dass **nur noch auf die kontaminierten Böden/Sedimente** konkret eingegangen wird.

8.6.2 Abfallentsorgung

8.6.2.1 Anfallende Abfälle

Bei einer Realisierung der Sanierungsvariante 5 fallen voraussichtlich folgende Abfallarten an:

- Grünschnitt aus Rodungs- und Geländefreimachung
- Ggf. kontaminiertes Überstandswasser
- Säureteer
- Störstoffe (Fässer, Reifen etc. mit Säureteeranhaftungen)
- Kontaminierter Boden / kontaminierte Sedimente (unterhalb der Säureteerablagerungen, Randwallmaterial und unterlagernde Sande)

8.6.2.2 Zuordnung der Abfallarten

Die dominierenden Abfälle aus der Sanierung können folgenden Abfallschlüsselnummern gem. Europäischem Abfallverzeichnis zugeordnet werden:

Abfallart	Abfallschlüssel		gefährlicher Abfall
	Nr.	Text	
Säureteer	05 01 05 01 07*	Abfälle aus der Erdölraffination Säureteere	ja
	17 17 03 17 03 03*	Bau- und Abbruchabfälle Bitumengemische, Kohlenteer und teerhaltige Produkte Kohlenteer und teerhaltige Produkte	ja
	19 11 19 11 02*	Abfälle aus der Altölaufbereitung Säureteere	ja
	Kontaminierte Böden und Sedimente	17 05 17 05 03*	Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten) Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

Tabelle 5: Zuordnung der Abfallarten Variante 5

Die für die Säureteerentsorgung angegebenen Abfallschlüsselnummern können alternativ angesetzt werden. Hinsichtlich der genauen Zuordnung der Abfallschlüsselnummern sind Abstimmungen mit der zuständigen Abfallbehörde erforderlich. Die Festlegung der Abfallschlüsselnummer richtet sich auch nach den Annahmekatalogen der gewählten Entsorgungsanlage.

8.6.2.3 Mögliche Entsorgungswege

8.6.2.3.1 Allgemeines

Die kontaminierten Böden/Sedimente wurden im Rahmen der ergänzenden technischen Erkundung im Vorfeld der Variantenstudie erkundet und untersucht. Bei den Sedimenten unterhalb der Säureteerablagerungen handelt es sich demnach um einen im Mittel ca. 1 bis 1,5 m mächtigen Horizont aus Fein- und Mittelsanden, die teilweise stark mit Säureteer vermengt waren. Im Böschungsbereich des Säureteerteiches wurden Sande angetroffen, die teilweise mit Säureteeren vermengt waren, teilweise jedoch auch ohne sichtbare Vermengung organoleptische und analytische Auffälligkeiten aufwiesen.

Für die Kostenprognose in Kap. 9.4 wird unterstellt, dass 1/3 der auszuhebenden Abfälle stark mit Säureteer kontaminiert ist und dem entsprechenden Entsorgungsweg zugeordnet werden muss. 2/3 der Aushubmenge werden als kontaminierter Boden entsorgt.

Wie bei den Säureteeren handelt es sich auch bei den kontaminierten Böden/Sedimenten um gefährliche Abfälle.

8.6.2.3.2 Grundsätzliche Entsorgungsmöglichkeiten

Für die stark mit Säureteer durchsetzten Böden und Sedimente gelten die gleichen Entsorgungsmöglichkeiten wie für die Säureteere in Sanierungsvariante 4 beschrieben.

Für die kontaminierten Böden/Sedimente, die weniger stark mit Säureteer durchsetzt sind, werden im Folgenden grundsätzlich denkbare Entsorgungswege betrachtet:

- Deponierung
- Thermische Beseitigung
- Thermische Verwertung
- Stoffliche Verwertung
- Wiedereinbau vor Ort
- Bodenwäsche
- Sonstige Bodenaufbereitung.

Die einzelnen Entsorgungswege werden im Folgenden näher betrachtet und auf ihre Eignung hin überprüft.

8.6.2.3.3 Deponierung

In Kapitel 8.5.2.3.3 wurden bereits die an eine Deponierung geknüpften Anforderungen auf Grundlage der Deponieverordnung (DepV) bzw. der Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV) erläutert.

Es wird davon ausgegangen, dass eine Deponierung der bei der Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim anfallenden kontaminierten Böden/Sedimente in unbehandelter Form nicht möglich ist.

8.6.2.3.4 Thermische Beseitigung

Eine weitere Entsorgungsmöglichkeit für die kontaminierten Böden/Sedimente stellt die bereits in Kapitel 8.5.2.3.4 erläuterte thermische Beseitigung in Sonderabfallverbrennungsanlagen dar.

Es wird davon ausgegangen, dass das Material die Anforderungen entsprechender Anlagen hinsichtlich Konsistenz (Schüttgut) und Anlieferform (Container; Sattelaufleger) grundsätzlich einhält. Problematisch kann der pH-Wert des Aushubmaterials sein, so dass ggf. eine entsprechende Konditionierung erforderlich wird.

Im Weiteren ist davon auszugehen, dass die kontaminierten Böden/Sedimente (ohne Säureteeranteile) ohne vorherige Behandlung in den Sonderabfallverbrennungsanlagen direkt aufgegeben werden können.

8.6.2.3.5 Thermische Verwertung

Eine thermische Verwertung der Bodenfraktion, die stark mit Säureteer durchsetzt ist, wird analog zum Säureteer möglich sein. Für die reinen Bodenchargen mit geringeren Teer- oder sonstigen Schadstoffbeimengungen wird eine thermische Verwertung ausgeschlossen.

Auf Grund der Eigenschaften des Aushubmaterials wird eine stoffliche Verwertung ohne entsprechende vorherige Dekontamination ebenfalls ausgeschlossen.

8.6.2.3.6 Wiedereinbau vor Ort

Die im Rahmen der Säureteerablagerungen diskutierte Möglichkeit eines Wiedereinbaus der Materialien vor Ort wäre für die Böden/Sedimente grundsätzlich denkbar. Eine solche Umlagerung des Materials kann im Rahmen eines für verbindlich erklärten Sanierungsplans gemäß § 13 Abs. 5 BBodSchG zugelassen werden. Es handelt sich in solchen Fällen dann nicht um eine Deponierung des Materials im Sinne des Abfallrechtes.

Für die Teilmengen, die nur gering säureteerbelastet sind, kann grundsätzlich die Bodeneigenschaft unterstellt werden. Allerdings wäre im Falle eines Wiedereinbaus vor Ort eine Sicherung der Abfälle (Basis- und Oberflächensicherung; Nachsorge) erforderlich. Wegen des nur für geringe Teilmengen denkbaren Verbleibs auf der Fläche des Sanierungsgeländes, des hierfür hohen Aufwandes und der Anforderung an eine langfristige Überwachung wird diese Möglichkeit im Weiteren ausgeschlossen.

8.6.2.3.7 Bodenwäsche

Bodenwaschverfahren sind chemisch-physikalische Separationsverfahren, bei denen die anhaftenden Schadstoffe vom Bodenmaterial getrennt werden. Bodenwaschverfahren können in den beiden nachfolgenden Varianten realisiert werden:

- **Klassierende Bodenwäsche**

Die klassierende Bodenwäsche erfolgt in einem über mehrere Stufen verlaufenden Prozess. Dabei werden zum einen die Schadstoffe direkt von der Bodenmatrix abgewaschen und in die wässrige Lösung überführt und zum anderen wird die Bodenmatrix durch mehrere in Reihe geschaltete Klassieraggregate fraktioniert. Das Verfahren setzt voraus, dass ein Großteil der Schadstoffe an der Feinstkornfraktion adsorbiert ist. Dieses kann für die Teerkontaminationen nicht angenommen werden.

- **Hochdruckbodenwäsche**

Bei der Hochdruckbodenwäsche werden die Schadstoffe durch mechanische Energie ohne den Einsatz chemischer Hilfsmittel von der Bodenmatrix getrennt. Der Boden wird per Unterdruck durch ein Hohlstrahlrohr geführt, in dessen Brennpunkt die adsorbierten Schadstoffe durch große Scherkräfte von den Partikeloberflächen abgetrennt werden. Dabei sind Düsenvordrücke bis zu 350 bar möglich. Schadstoffe und Feinstkornanteil werden dem Prozesswasser entzogen und als Filterkuchen entsorgt. Neben den zu entsorgenden Reststoffen/Filterkuchen fällt zur Reinigung anstehendes Waschwasser an. Nach Abschluss der Maßnahme kann von einer weitestgehenden Wiederverwendbarkeit der einzelnen Kornfraktionen ausgegangen werden.

In Abhängigkeit vom zu reinigenden Material ist für die o. g. Verfahren eine Bodenvorbehandlung im Vorfeld erforderlich. Eine Bodenwäsche kann sowohl on site als auch off site durchgeführt werden. Für einen On-Site-Betrieb gibt es neben den verfahrenstechnischen Einschränkungen vorrangig infrastrukturelle und wirtschaftliche Beschränkungen. Der Flächenbedarf für den On-Site-Betrieb der Anlagen liegt bei klassierenden Bodenwaschanlagen je nach Verfahrensanbieter zwischen 400 und 2.000 m² und bei Hochdruckbodenwaschanlagen zwischen 1.000 und 1.500m². Als Untergrenze für einen rentablen On-Site-Betrieb werden durchschnittlich 30.000 - 50.000 t Bodenmaterial von verschiedenen Verfahrensanbietern angegeben.

Die Wirksamkeit der Verfahren wird von den vorhandenen Schadstoffen und der vorliegenden Bodenart entscheidend mitbestimmt. Grundsätzlich können im konkreten Fall nur die Anteile der kontaminierten Böden/Sedimente einer Bodenwäsche unterzogen werden, die keine oder nur eine sehr geringe Vermengung mit Säureteeren aufweisen. Aufgrund der relativ geringen Menge dieser Materialien ist ein On-Site-Betrieb des Bodenwaschverfahrens nicht sinnvoll. Sofern eine Entsorgung in bestehenden Anlagen off site als Entsorgungsweg vorgeschlagen werden sollte, kann dieser Entsorgungsweg zugelassen werden.

8.6.2.3.8 Sonstige Verfahren der Bodenreinigung

Es besteht eine Reihe von sonstigen Bodenreinigungsverfahren, die für eine Entsorgung grundsätzlich geeignet scheinen. Solche Verfahren werden sich immer nur off site betreiben lassen. Denkbar wären z.B.:

- Thermische Desorption der Schadstoffe
- Extraktion der Schadstoffe mit Lösemitteln.

Die Säureteere lassen sich grundsätzlich sowohl thermisch desorbieren als auch mit Lösemitteln extrahieren. Beide Verfahrenswege dienen der Dekontamination des Bodenkorns und gleichzeitig der Aufkonzentrierung der Schadstoffe. Letztere sind dann ähnlich der Säureteere zu entsorgen.

Mikrobiologische Verfahren der Bodenreinigung scheiden auf Grund der Schadstoffeigenschaften aus.

8.6.2.4 Bewertung

Eine Entsorgung von kontaminierten und mit Säureteeren vermengten Böden/Sedimenten ist grundsätzlich möglich. Es handelt sich auch bei diesen Materialien um gefährliche Abfälle, für die die entsprechenden abfallrechtlichen Anforderungen einzuhalten sind.

Der tatsächliche Entsorgungsweg ist entscheidend abhängig vom Anteil an Säureteer im Boden/Sediment. Dementsprechend muss für stark mit Säureteer vermengtes Bodenmaterial ggf. eine andere Entsorgungsmöglichkeit gefunden werden, wie für weniger oder gar nicht mit Säureteer vermengtes Bodenmaterial.

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass die höher kontaminierten und mit Säureteer durchsetzten Bodenpartien zusammen mit dem Säureteer entsorgt werden. Entsorgungswege können dabei vor allem die thermische Verwertung und die thermische Beseitigung darstellen. Andere Techniken, wie z. B. die Deponierung oder Bodenwäsche, sind in Sonderfällen zwar möglich, jedoch abfallrechtlich bzw. technisch problematisch. Eine stoffliche Verwertung und ein Wiedereinbau der Materialien vor Ort werden ebenso als problematisch und im konkreten Fall als unzumutbar erachtet und daher nicht weiter verfolgt.

Auch für schwach oder gar nicht mit Säureteeren vermengte Böden/Sedimente wird eine Deponierung des Materials auf Deponien unter Voraussetzung der Zuordnungskriterien der entsprechenden Deponieklassen ausgeschlossen. Das Material kann thermischen oder physikalischen Bodenreinigungsanlagen zugeführt werden. Dabei kann die Auswahl des Entsorgungsweges den Anbietern überlassen werden.

Eine entsprechende Überprüfung der Entsorgungswege im Rahmen des Vergabeverfahrens bleibt selbstverständlich vorbehalten.

8.6.3 Aushub

Für die kontaminierten Böden/Sedimente kommt lediglich die Aushubtechnik „Baggern“ in Betracht, da die Konsistenz des Materials ein Abpumpen und eine Verflüssigung nicht zulässt. Für die Bergung der kontaminierten Böden/Sedimente können folgende Geräte zum Einsatz kommen:

- Greiferbagger
- Tieflöffelbagger.

Der Aushub der Sedimente unterhalb der Säureteerablagerungen erfolgt erst nach Bergung der Säureteere. Der Aushub des Randwallmaterials und der Teichböschungen kann sukzessive mit dem Aushub der Säureteerablagerungen erfolgen. In solchen Fällen ist darauf zu achten, dass die Bagger jederzeit auf festem, tragfähigem Untergrund positioniert sind, was den Einsatz entsprechend langer Ausleger erfordert. Zum Einsatz können kommen:

- Longfront-Hydraulikbagger mit Tieflöffel,
- Teleskopbagger mit Tieflöffel.

Für den Aushub der kontaminierten Böden im Randbereich sollte das gleiche Gerät wie zur Bergung der Säureteere eingesetzt werden. Hierfür wurde bereits der Teleskopbagger ausgewählt, da er einerseits mehr Kraft an der Schaufel entwickeln kann und andererseits weniger empfindliche Bauteile im Hinblick auf einen möglichen Kontakt mit den Säureteeren aufweist.

Aus Arbeitsschutzgründen sollten beim Aushub der kontaminierten Böden/Sedimente die Bagger mit Atemluftversorgungsanlagen (umgebungsluftabhängig oder -unabhängig) ausgerüstet werden.

8.6.4 Konditionierung

In Abhängigkeit von der Konsistenz der kontaminierten Böden/Sedimente, insbesondere infolge der Vermengung mit Säureteeren, ist ggf. auch für diese eine Konditionierung erforderlich. Diese wird vorrangig auf die pH-Wert-Einstellung ausgelegt werden müssen.

Die Anforderungen an die Konditionierung der kontaminierten Böden/Sedimente ergeben sich grundsätzlich analog zu den Säureteeren (siehe Kapitel 8.5.4.1).

Aufgrund der aus den Erkundungen der Altablagerung gewonnenen Erkenntnisse ist nicht mit einer vollumfänglichen Konditionierung der kontaminierten Böden zu rechnen.

Als Konditionierungstechnik kommt nur die

- Mischung mit Zuschlagsstoffen

in Betracht. Im Hinblick auf technische Realisierbarkeit, Vor- und Nachteile und sonstige Erläuterungen wird an dieser Stelle auf Kapitel 8.5.4 verwiesen. Die dort erläuterte Teerkonditionierung kann entsprechend auch für kontaminierte Böden bzw. mit Säureteeren vermengte Böden angewendet werden. Es wird derzeit unter der Zielsetzung der pH-Wert-Einstellung von einer Konditionierung mit Flugaschen, Kalken oder Zement ausgegangen unter dem Vorbehalt, dass überhaupt eine Konditionierung der kontaminierten Böden/Sedimente erforderlich ist.

8.6.5 Transport

Für den Transport der kontaminierten Böden/Sedimente von der Ausbaustelle bis zur Entsorgung gelten grundsätzlich die gleichen Ausführungen wie in Kapitel 8.5.5.

Die stark mit Säureteer durchsetzten Partien werden zusammen mit dem Säureteer entsorgt. Dafür können die oben beschriebenen Container (Abrollcontainer und Absetzmulden in Größen von etwa 4 bis 22 m³ mit Deckel und umlaufender Gummidichtung) zur Anwendung kommen.

Für die Böden mit keinem bzw. nur sehr geringem Anteil an Säureteerbeimengungen kommt auch der Einsatz entsprechend gedichteter Sattelaufleger in Betracht.

8.6.6 Baugrubenverbau

Wie bereits in Kapitel 8.5.1.1 erläutert, ist im Ergebnis der Detailuntersuchung der nördlichen Baugrubenränder bei einem Komplettaushub aller kontaminierten Materialien ein Baugrubenverbau im Bereich der nordöstlichen und nordwestlichen Baugrube erforderlich.

Die Notwendigkeit des Baugrubenverbaus in Teilbereichen der Nordflanke der Baugrube ergibt sich aus der nahe gelegenen Bahnlinie. Aufgrund der daraus resultierenden Verkehrslast und wegen der Setzungsempfindlichkeit des Bahnkörpers ist die Baugrube entweder durch eine ausreichende Abböschung oder durch einen Verbau entsprechend zu sichern.

Die Gesamtlänge des Verbaus beträgt gemäß Untersuchungsbericht zur Detailuntersuchung [10] etwa 30 bis 40 m (ca. 20 bis 30 m im Bereich der Nordflanke und jeweils ca. 5 m im Bereich der Ost- und Westflanke).

Im Untersuchungsbericht wird die Realisierung des Verbaus durch eine rückverankerte Bohrpfahlwand vorgeschlagen. Als entscheidender Vorteil der Bohrpfahlwand ist deren erschütterungsarme Herstellung, beispielsweise im Vergleich zu einem Spundwandverbau, zu nennen.

Dieser Vorschlag wird an dieser Stelle in die Variantendiskussion aufgenommen. Es wird empfohlen, dass im Rahmen einer detaillierten Ausführungsplanung mögliche Alternativen zur Verbauart geprüft und diskutiert werden sollten unter Berücksichtigung etwaiger Vorgaben durch die Bahn, bspw. an eine Rückverankerung unterhalb der Bahntrasse.

8.6.7 Arbeits- und Emissionsschutz

Bezüglich des Arbeitsschutzes und der Emissionsschutzmaßnahmen gelten die Ausführungen grundsätzlich analog zu Sanierungsvariante 4 (siehe Kapitel 8.5.7).

8.6.8 Erfordernis einer Nachsorge

Nach fachgerechter Umsetzung der Sanierungsvariante 5 sind keine Nachsorgemaßnahmen erforderlich, da das Gefahrenpotenzial vollständig aus dem Untergrund entfernt wurde. Es handelt sich somit um eine vollständige Dekontamination des Standortes. Ein Nachweis des Sanierungserfolges und in dessen Ergebnis der Abschluss der Sanierungsmaßnahme kann mittels einer Grundwasserbeprobung erfolgen.

8.6.9 Zusammenfassung

Im Ergebnis der obigen Ausführungen wird empfohlen, die **Sanierungsvariante 5** wie nachfolgend erläutert umzusetzen:

- Aushubtechnik:
 - Säureteere: Ausbaggern mittels Teleskopbagger
 - Kont. Böden/Sedimente: Ausbaggern mittels Teleskopbagger oder Longfront-Bagger

- Konditionierung:
 - Säureteere: Mischung mit Zuschlagsstoffen (sofern erforderlich)
 - Kont. Böden/Sedimente: Mischung mit Zuschlagsstoffen (sofern erforderlich)

- Transport:
 - Säureteerablagerungen: in Deckelcontainern per LKW
 - Kont. Böden/Sedimente: in Deckelcontainern oder ggf. per Sattelzug

- Entsorgung:
 - Säureteerablagerungen: thermische Verwertung
 - Kont. Böden/Sedimente: Bodenreinigung.

Anmerkungen:

Eine Einhausung der Sanierungsbaustelle wird vorerst nicht berücksichtigt. Sie kann ggf. aber zusätzlich erforderlich werden, wenn die Geruchsbelästigungen von Anwohnern im Umfeld als gravierend erachtet werden sollten.

Für den oben vorgeschlagenen Transport der Säureteere in Deckelcontainern und die thermische Verwertung ist eine Vorkonditionierung auf dem Gelände des Säureteerteiches in Gau-Algesheim zunächst nicht erforderlich.

Die oben vorgeschlagenen Verfahren sind das Ergebnis einer ersten Varianten- und Marktstudie. Sollte die Sanierungsvariante 5 (Kompletttaushub und Entsorgung) zur Durchführung kommen, können sich im Rahmen der Ausschreibung je nach Bieter andere Aushubmethoden, Transportvarianten und Entsorgung-/ Verwertungsmöglichkeiten und somit auch Konditionierungstechniken ergeben.

9. VARIANTENVERGLEICH

Die in Kapitel 8 vorgestellten Varianten werden im Folgenden gegenübergestellt und anhand verschiedener Kriterien hinsichtlich ihrer Anwendung im vorliegenden Projekt abschließend bewertet.

9.1 Fachliche Bewertung der Sanierungsvarianten

Zur Auswahl der Vorzugsvariante erfolgt vorab eine verbal-argumentative Bewertung der einzelnen Varianten anhand definierter Bewertungskriterien. Im Einzelnen werden die Varianten betrachtet, die sich aus der vorangegangenen Variantendiskussion zunächst als technisch machbar und ökologisch sinnvoll herausgestellt haben:

- **Variante 1:**
Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, passiver Brandschutz, Nutzungsbeschränkungen, Standortüberwachung sowie Grundwasserüberwachung
- **Variante 2:**
Sicherung des Säureteerteiches durch eine „echt schwimmende“ Abdeckung (Oberflächenabdeckung) sowie Nachsorgemaßnahmen
- **Variante 3:**
Vertikale Abdichtung und Oberflächenabdichtung (MIP-Wand und Oberflächenabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn) sowie Nachsorgemaßnahmen

- **Variante 4:**
Teilaushub (nur Säureteere) und Entsorgung (Aushub mit Hydraulikbagger, thermische Verwertung) sowie Nachsorgemaßnahmen
- **Variante 5:**
Komplettaushub des kontaminierten Materials und Entsorgung (Aushub mit Hydraulikbagger, thermische Verwertung)

Ein Schwerpunkt bei der Variantenbewertung wird auf folgende Kriterien gelegt:

- Wirksamkeit
- Auswirkungen
- Kosten.

Die vorgenannten Kriterien werden in den nachfolgenden Abschnitten zunächst näher erläutert und dann im Hinblick auf die Varianten beleuchtet.

9.2 Wirksamkeit

Das Kriterium „Wirksamkeit“ beleuchtet folgende Merkmale der Varianten:

- Erreichbarkeit der Sanierungsziele sowie der darüber hinaus zu beachtenden Zielstellungen (gemäß Kapitel 6.2)
- Art und Umfang verbleibender Restrisiken (wie z. B. verbleibende Schadstoffe, Langzeitwirkung, eventuell Sicherungsmaßnahmen)
- Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges.

In die Bewertung fließen zudem die langfristige Wirksamkeit der Maßnahmen im Hinblick auf die Sanierungsziele und in diesem Zusammenhang das Erfordernis einer Nachsorgephase sowie die Realisierbarkeit von Nachbesserungsmaßnahmen ein.

9.2.1 Variante 1

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Durch die Realisierung der Variante können die Sanierungsziele, wie nachfolgend erläutert, erreicht werden:

- **Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen**

Der Direktkontakt von Menschen zum kontaminierten Ablagerungsmaterial kann durch die Umzäunung des Säureteerteiches verhindert werden. Die Umzäunung ist jedoch keine sichere Maßnahme zur Unterbindung des Direktkontaktes, sofern diese mutwillig überwunden wird.

- **Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse**

Durch die oben erläuterte Organisation eines passiven Brandschutzes kann die Brandgefahr nicht ausgeschlossen werden. Der passive Brandschutz ermöglicht lediglich ein schnelles Entdecken von Bränden auf dem Gelände sowie eine gezielte und koordinierte Brandbekämpfung im Ernstfall, wodurch die Brandausdehnung minimiert werden kann.

- **Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers**

Aufgrund der im Untergrund belassenen kontaminierten Ablagerungsmaterialien ist eine Grundwasserüberwachung dauerhaft aufrecht zu erhalten. Eine Reduzierung weiterer Kontaminationen des Grundwassers kann bei Realisierung der Variante nicht erzielt werden, da weder der Kontakt von Grundwasser zum Ablagerungsmaterial noch der Sickerwasserpfad wirksam unterbunden werden.

Erreichbarkeit der weiteren Zielstellungen

- **Kontrolle des Randwalls und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen**

Die Variante 1 sieht zwar keine konkreten Maßnahmen am Randwall vor, sie berücksichtigt jedoch die regelmäßigen Kontrollen des Randwalls. Dabei sollte insbesondere das Erfordernis einer Ausbesserung bzw. Erneuerung des Randwalls regelmäßig überprüft werden.

- **Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß**

Bei Variante 1 ist eine Nutzungsbeschränkung in Verbindung mit der vorgesehenen Umzäunung ausdrücklich zu empfehlen.

- **Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt**

Für Vögel, Insekten und kleinere Tiere bietet die Umzäunung keinen Schutz vor der Altablagerung.

Art und Umfang verbleibender Restrisiken

Durch den Verbleib der kontaminierten Böden/Sedimente sowie der Säureteere im Untergrund bleibt die Ursache der Schutzgutgefährdung erhalten. Trotz der im Rahmen der Variante 1 vorgesehenen Maßnahmen liegt weiterhin ein Gefahrenpotenzial im Untergrund vor, das grundsätzlich ein latentes Risiko für die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Schutzgüter darstellt. Auf Grund dessen ist die Durchführung einer Nachsorge erforderlich.

9.2.2 Variante 2

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Durch die Realisierung der Variante 2 (schwimmende Oberflächenabdeckung) können die Sanierungsziele, wie nachfolgend erläutert, erreicht werden:

- **Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen**

Grundsätzlich kann das Sanierungsziel der Minimierung der Möglichkeiten zum Direktkontakt durch eine „schwimmende“ Oberflächenabdeckung erreicht werden. Die Wirksamkeit hinsichtlich des Direktkontaktes mit den Säureteerablagerungen ist allerdings nur so lange sicher gegeben, wie die Fläche nicht betreten wird. Bei Betreten oder sogar Befahren der abgedeckten Fläche besteht auf Grund der zusätzlichen lokalen Auflast die Gefahr der seitlichen Verschiebung des Abdeckungsmaterials, wenn dieses rollig ist, und ggf. auch des Einsinkens/Eindrückens des Materials in den Ablagerungskörper und somit eines Direktkontaktes zum Ablagerungsmaterial.

- **Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse**

Die Gefahr etwaiger Brandereignisse kann durch die Abdeckung insbesondere durch äußere Einflüsse (Zigaretten, Funkenflug usw.) erheblich minimiert werden.

- **Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers**

Die Wirksamkeit der „schwimmenden“ Oberflächenabdeckung hinsichtlich der Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers ist entscheidend von der Ausführungsart der Oberflächenabdeckung abhängig. Die hier betrachteten Varianten weisen eine nur sehr geringe Wirksamkeit in diesem Zusammenhang auf, so dass eine weitere Sickerwasserneubildung wahrscheinlich ist. Eine Überwachung des Grundwassers ist durch entsprechende Messstellen grundsätzlich möglich.

Erreichbarkeit der weiteren Zielstellungen

- **Kontrolle des Randwalls und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen**

Analog zur Variante 1 ist die Standsicherheit des Randwalls laufend zu überprüfen und bei Bedarf durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Sinnvoll wäre eine Ausbesserung des Randwalls im Zuge der Abdeckarbeiten.

- **Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß**

Im Rahmen der Sanierungsvariante 2 ist eine Unterbindung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Nutzungen im unmittelbaren Umfeld ausdrücklich zu empfehlen, da das kontaminierte Material nicht aus dem Untergrund entfernt wird.

- **Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt**

Für kleinere Tiere ist die bereits oben beschriebene Gefahr des Einsinkens auf Grund des geringeren Gewichtes zwar geringer, jedoch nicht völlig auszuschließen. Des Weiteren können Tiere das Ablagerungsmaterial durch Grabungen erreichen.

Art und Umfang verbleibender Restrisiken

Durch den Verbleib der kontaminierten Böden/Sedimente sowie der Säureteere im Untergrund bleibt die Ursache der Schutzgutgefährdung erhalten. Trotz der im Rahmen der Sanierungsvariante 2 vorgesehenen Maßnahmen liegt weiterhin ein Gefahrenpotenzial im Untergrund vor, das insbesondere ein latentes Risiko für die Schutzgüter Mensch und Grundwasser sowie für Tiere darstellt.

Auf Grund dessen ist bei Realisierung dieser Variante die Durchführung einer Nachsorge zwingend erforderlich.

9.2.3 Variante 3

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Durch die Realisierung der Sanierungsvariante 3 (Vertikale Abdichtung und Oberflächenabdichtung) wird zwar eine Einkapselung des Ablagerungsmaterials und somit eine Unterbrechung der entsprechenden Wirkungspfade erzielt, das kontaminierte Material bleibt jedoch vollständig im Untergrund vorhanden. Die vorab definierten Sanierungsziele sind auf dieser Grundlage wie folgt zu bewerten:

- **Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen**

Durch das Aufbringen des Oberflächenabdichtungssystems wird das kontaminierte Ablagerungsmaterial überdeckt und ist, unter der Voraussetzung, dass keine Abgrabungen stattfinden, durch Menschen nicht mehr erreichbar. Dieses gilt allerdings nur, solange das Abdichtungssystem nicht z. B. durch Setzungen in Folge des nicht tragfähigen Planums beschädigt wurde.

Das Sanierungsziel wird somit zwar erreicht, eine nachhaltige Einhaltung des Sanierungsziels ist jedoch nicht sicher gewährleistet bzw. erfordert langfristig einen entsprechenden Überwachungs- und ggf. Reparaturbedarf.

- **Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse**

Durch den Abschluss der Oberfläche durch das Abdichtungssystem wird eine Luftzirkulation zwischen Umgebung und dem Ablagerungsmaterial auf ein geringes Maß reduziert. Durch die Abwesenheit von Sauerstoff, der Voraussetzung für eine Verbrennung ist, wird das Risiko eines Brandausbruches minimiert.

- **Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers**

Durch die Einkapselung des Säureteerteiches und somit durch die Unterbindung des Sickerwasserpfadens und des Direktpfadens von Grundwasser zum kontaminierten Material kann dieses Sanierungsziel zunächst als erfüllt angesehen werden. Die Erfüllung dieses Sanierungsziels ist jedoch entscheidend abhängig von der langfristigen Dichtwirkung der beiden Abdichtungssysteme und daher im Voraus nicht exakt prognostizierbar. Ein Kontakt zum Grundwasser kann auch nur dann ausgeschlossen werden, wenn gewährleistet ist, dass die Dichtwand vollständig in die grundwasserstauende Schicht einbindet und ohne Fehlstellen hergestellt wurde. Von einer dauerhaften Erfüllung des Sanierungsziels kann insgesamt nicht ausgegangen werden. Eine entsprechende Langzeitüberwachung ist daher erforderlich.

Erreichbarkeit der weiteren Zielstellungen

- **Kontrolle des Randwalls und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen**

Im Zuge der Einkapselung des Säureteerteiches wird die Randwallproblematik gelöst und ist somit nicht weiter relevant.

- **Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß**

Aufgrund der teils weitflächigen Ausbildung des Wurzelwerkes sollte die Unterbindung der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Nutzung bei dieser Sanierungsvariante insbesondere unter dem Gesichtspunkt eines Schutzes des Abdichtungssystems vor Durchwurzelungsschäden durchgesetzt werden.

- **Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt**

Durch die Einkapselung des Säureteerteiches wird die Möglichkeit eines Direktkontaktes von Tieren zum Säureteer grundsätzlich minimiert. Selbst für grabende Tiere bzw. Nagetiere bietet die vorgesehene Kunststoffdichtungsbahn ein prinzipiell unüberwindbares Hindernis. Dieses gilt, solange das Abdichtungssystem beständig ist und nicht z. B. durch Setzungen in Folge eines nicht tragfähigen Planums beschädigt wurde.

Art und Umfang verbleibender Restrisiken

Zunächst ist an dieser Stelle daran zu erinnern, dass sich das Areal in einem Wasserschutzgebiet befindet. Aufgrund der im Untergrund vollständig belassenen, kontaminierten Ablagerungsmaterialien besteht ein grundsätzliches Risiko für die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Schutzgüter, insbesondere das Grundwasser. Die Schadstoffe werden durch diese Sanierungsvariante nicht entfernt, sondern lediglich an ihrer Migration gehindert, solange die Einkapselung dauerhaft und fehlerfrei funktioniert.

Die langfristige Funktionalität der Oberflächenabdichtung ist, insbesondere im Hinblick auf die schlechte Tragfähigkeit des Untergrundes, nicht sicher gegeben. Eine Gewährleistung der langfristigen Funktionalität des Oberflächenabdichtungssystems durch die ausführende Unternehmung ist bei den vorherrschenden Standortbedingungen vermutlich nicht erreichbar. Die Dichtwandfunktion kann langfristig gesehen durch das saure Milieu im Untergrund negativ beeinträchtigt werden. Auf Grund dessen sind Aussagen zur Langzeitwirkung dieser Sanierungsvariante insgesamt derzeit nicht sicher zu treffen. Fest steht allerdings, dass es sich bei fachgerechter Ausführung der Einkapselung zwar um eine langfristige, aber keinesfalls dauerhafte, sondern zeitlich begrenzte Maßnahme handelt. Daher ist die Durchführung von Nachsorgemaßnahmen erforderlich.

Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges

Der Sanierungserfolg muss im Rahmen einer Nachsorgephase langfristig überwacht werden. Dazu ist die am Standort bereits durchgeführte Grundwasserüberwachung fortzuführen und ggf. zu erweitern. Eine Überwachung des Grundwasserabstroms und der Funktionalität der Abdichtungssysteme (insbesondere Setzungs- und Rissfreiheit des Oberflächenabdichtungssystems) ist mit einfachen technischen Maßnahmen (visuelle Kontrolle, ggf. Setzungspegel usw.) möglich.

Sollte sich bei diesen Überwachungsmaßnahmen herausstellen, dass die Einkapselung Fehlstellen aufweist, kann eine Nachbesserung erfolgen, wobei diese je nach Örtlichkeit des Schadens technisch sehr aufwendig werden kann (z.B. beim Versagen der lastverteilenden Unterkonstruktion).

9.2.4 Variante 4

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Durch die Realisierung der Sanierungsvariante 4 (Teilaushub) können die Sanierungsziele, wie nachfolgend erläutert, erreicht werden:

- **Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen**

Durch den Aushub der Säureteere werden die hier relevanten, an der Oberfläche vorhandenen kontaminierten Ablagerungsmaterialien entnommen. Die Gefahr eines Direktkontaktes Säureteer-Mensch ist somit dauerhaft unterbunden.

- **Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse**

Durch die Entnahme der Säureteere als brennbare Materialien wird die Gefahr von Brandereignissen dauerhaft unterbunden. Ausgenommen hiervon sind natürliche Vegetationsbrände auf dem Gelände, die jedoch in keinem Zusammenhang mit der hier betrachteten Altlastenproblematik stehen.

- **Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers**

Die Gefahr einer weiteren Kontamination des Grundwassers wird durch die Entnahme der Säureteere und die abschließende Oberflächenabdeckung reduziert. Zukünftige Schadstoffeinträge in das Grundwasser können jedoch aufgrund des Verbleibs kontaminierter Böden/Sedimente im Untergrund nicht sicher ausgeschlossen werden.

Erreichbarkeit der weiteren Zielstellungen

- **Kontrolle des Randwalls und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen**

Bei der Realisierung der Teilaushubvariante wird die Randwallproblematik gelöst und ist somit nicht weiter relevant.

- **Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß**

Aufgrund der im Untergrund verbleibenden kontaminierten Böden/Sedimente sowohl an der Sohle als auch an den Grubenrändern sollte die Nutzungsbeschränkung durchgesetzt werden. Dabei sind insbesondere die Kontaminationen im Bereich des Grubenrandes im Hinblick auf die Ausbildung des Wurzelwerkes von Nutzpflanzen bis in diesen Bereich hinein relevant.

- **Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt**

Durch den Teilaushub werden die Säureteere entnommen, es bleiben jedoch kontaminierte Böden im Bereich der Grubenränder vorhanden. Das Aufbringen einer Oberflächenabdeckung minimiert zwar die Gefährdung von Tieren durch einen Direktkontakt zu diesen Böden, kann jedoch für grabende Tiere bzw. Nagetiere nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Art und Umfang verbleibender Restrisiken

Durch den Verbleib der kontaminierten Böden/Sedimente bleibt ein grundsätzliches Gefahrenpotenzial im Untergrund vorhanden. Dieses Gefahrenpotenzial steht primär im Zusammenhang mit dem Schutzgut Grundwasser. Durch die aufzubringende Oberflächenabdeckung wird eine Schadstoffverfrachtung über den Sickerwasserpfad so weit minimiert, dass eine relevante Kontamination des Grundwassers primär noch über das Kontaktgrundwasser zu besorgen ist. Die Überwachung der Kontaminationssituation des Grundwassers wird dennoch empfohlen und kann über die am Standort vorhandenen Grundwassermessstellen und über ggf. neu zu errichtende Grundwassermessstellen im Rahmen der Nachsorge fortgeführt werden. Die Gefahr eines Direktkontaktes von Nagetieren zum kontaminierten Boden ist wie bereits erläutert als sehr gering zu bewerten.

Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges

Die Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges ist durch die Fortführung der Grundwasserüberwachung am Standort und deren Auswertung gegeben.

9.2.5 Variante 5

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Bei Realisierung der Sanierungsvariante 5 (Kompletttaushub) werden die Sanierungsziele vollständig erreicht:

- **Minimierung zukünftiger Gefahren für den Menschen durch Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen**

Nach der vollständigen Entfernung der schadstoffbelasteten Materialien kann eine Gefährdung des Menschen durch Direktkontakt nachhaltig ausgeschlossen werden.

- **Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse**

Durch die Entfernung der brennbaren Stoffe (Säureteere) vom Standort wird auch die Gefahr von diesbezüglichen Brandereignissen ausgeräumt.

- **Überwachung der vorhandenen eng begrenzten Grundwasserkontamination und Verhinderung einer weiteren relevanten Ausbreitung der Verunreinigung des Grundwassers**

Durch die vollständige Entnahme sowohl der Säureteerablagerungen als auch der kontaminierten Böden bzw. Sedimente wird die Schadstoffquelle vom Standort entfernt. Eine weitere Kontamination des Grundwassers ist somit nicht zu besorgen.

Erreichbarkeit der weiteren Zielstellungen

- **Kontrolle des Randwalls und dessen unmittelbarer Umgebung auf Säureteeraustritte und ggf. Reparaturen bei Verbleib der Säureteerablagerungen**

Mit Realisierung des Kompletttaushubs wird die Randwallproblematik gelöst und ist somit nicht weiter relevant.

- **Unterbindung landwirtschaftlicher oder gärtnerischer Nutzung im Süden der Altablagerung in einem Mindestabstand von 10 m vom Randwallfuß**

Nach erfolgter Sanierung durch Kompletttaushub besteht kein weiterer Anlass einer Nutzungsbeschränkung.

- **Minimierung der Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt**

Durch die vollständige Entfernung der schadstoffbelasteten Materialien kann die Gefährdung von Tieren durch Direktkontakt ausgeschlossen werden.

Art und Umfang verbleibender Restrisiken

Eine ordnungsgemäße Durchführung der Maßnahme sowie eine fachgerechte Freimessung der Baugrube vorausgesetzt, bleiben nach der vollständigen Entnahme der kontaminierten Materialien keine Restrisiken bestehen. Die Maßnahme kann somit als dauerhaft bezeichnet werden. Nachbesserungsarbeiten sind nicht zu erwarten. Eine Nachsorgephase ist nicht erforderlich.

Um mögliche Gesundheitsrisiken z. B. durch Ausgasungen während der Durchführung der Aushubarbeiten ausschließen zu können, ist eine maßnahmenbegleitende Überwachung und messtechnische Begleitung der Aushubarbeiten im Rahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes durchzuführen.

Als Restrisiko bleibt während der Aushubarbeiten lediglich eine mögliche Mobilisierung von Schadstoffen ins Grundwasser durch Erschütterungen und Bewegungen des Aushubmaterials zu nennen.

Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges

Für den Fall des vollständigen Aushubs der kontaminierten Materialien kann der Sanierungserfolg durch Probenahme an den vorhandenen bzw. ggf. zusätzlich neu herzustellenden Grundwassermessstellen sowie durch Freimessung der Baugrubensohle und -stöße kontrolliert und nachgewiesen werden.

9.3 Auswirkungen

Das Kriterium „Auswirkungen“ beleuchtet die Sanierungsvarianten insbesondere im Hinblick auf folgende Faktoren:

- Auswirkungen auf die Nachbarschaft (Umfeld)
- Auswirkungen auf den Arbeitnehmer
- Auswirkungen auf die Umwelt (Umweltverträglichkeit).

Des Weiteren wird das Kriterium „Akzeptanz in der Öffentlichkeit“ als wichtiger Faktor erachtet und daher an dieser Stelle in die Variantenbewertung mit einbezogen.

9.3.1 Variante 1

Auswirkungen auf die Nachbarschaft

Die Realisierung der Variante 1 hat keine besonderen Auswirkungen auf die Nachbarschaft. Es ist weder mit einem stark erhöhten Verkehrsaufkommen noch mit erhöhten Schadstoffemissionen im Rahmen von Abgrabungen zu rechnen.

Auswirkungen auf die Arbeitnehmer

Die im Rahmen der Realisierung der Variante 1 am Standort beschäftigten Arbeitnehmer sind keiner unmittelbaren Gefährdung ausgesetzt, sofern sie sich nicht in unmittelbarer Nähe zum Säureteerteich aufhalten. Dennoch sollte eine Unterweisung des Personals mit Darstellung der Verhaltensregeln erfolgen.

Auswirkungen auf die Umwelt

Da bei Umsetzung der Variante 1 das kontaminierte Ablagerungsmaterial vollständig am Standort belassen wird, ist sie im Hinblick auf Umweltbelange als negativ zu bewerten.

9.3.2 Variante 2

Auswirkungen auf die Nachbarschaft

Bei Realisierung der Sanierungsvariante 2 ist mit einem leicht erhöhten Verkehrsaufkommen in der Nachbarschaft auf Grund der Materialanlieferungen durch LKW zu rechnen. Dieses Erhöhte Verkehrsaufkommen dürfte in der Nachbarschaft jedoch nicht als störend empfunden werden. Mit erhöhten Schadstoffemissionen im Rahmen der Maßnahme ist nicht zu rechnen.

Auswirkungen auf die Arbeitnehmer

Die im Rahmen der Realisierung der Variante am Standort beschäftigten Arbeitnehmer sind im Zuge der Herstellung der Oberflächenabdeckung einer Gefährdung ausgesetzt, da sie sich in unmittelbarer Nähe zum Ablagerungsmaterial aufhalten und somit die Möglichkeit eines Direktkontaktes gegeben ist. Auf Grund dessen sollte eine Unterweisung des Personals mit Darstellung der Verhaltensregeln erfolgen. Des Weiteren ist persönliche Schutzausrüstung zu tragen.

Auswirkungen auf die Umwelt

Da bei Umsetzung der Variante 2 das kontaminierte Ablagerungsmaterial vollständig am Standort belassen wird, ist sie im Hinblick auf Umweltbelange als negativ zu bewerten.

9.3.3 Variante 3

Auswirkungen auf die Nachbarschaft

Durch die Arbeiten im Bereich der Säureteerablagerungen kann es zu Schadstoffemissionen in Form von Ausgasungen und Staubverwehungen kommen. Dieses betrifft vor allem die Phase der Herstellung der lastverteilenden Unterkonstruktion. Die Herstellung der eigentlichen Oberflächenabdichtung wird hingegen wahrscheinlich keine weiteren Austräge von Schadstoffen bewirken. Auch die Herstellung der Dichtwand wird, da sie außerhalb des Ablagerungskörpers stattfinden wird, keine gasförmigen Emissionen hervorrufen.

Auswirkungen auf die Nachbarschaft werden sich weiterhin durch die Baustellenlogistik ergeben. Für die Materialanlieferungen sind LKW-Fahrten erforderlich, die allerdings die Wohnbevölkerung in der Nachbarschaft nur sehr gering zusätzlich belasten werden. Auf Grund der geringen zusätzlichen Beeinträchtigungen für die Nachbarschaft dürfte die Akzeptanz für diese Sanierungsvariante als gut einzuschätzen sein.

Auswirkungen auf die Arbeitnehmer

Im Hinblick auf den Arbeitsschutz sind wie dargestellt geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen vorzuhalten und einzusetzen. Diese Maßnahmen werden hauptsächlich bei der Herstellung der lastverteilenden Unterkonstruktion erforderlich. Nach Abdeckung der Säureteerablagerungen kann für die Herstellung der Oberflächenabdichtung und für den Bau der Dichtwand der Aufwand für Arbeitsschutzmaßnahmen stark reduziert werden.

Auswirkungen auf die Umwelt

Auswirkungen auf die Umwelt durch die Einkapselung ergeben sich aufgrund der lokalen Umleitung des Grundwasserstroms im Bereich der vertikalen Abdichtung. Bei dem gut durchlässigen Untergrund sind diese Auswirkungen als sehr kleinräumig und nicht relevant einzustufen. Das gesicherte Gelände verbleibt als Erhebung in der Landschaft optisch erkennbar, wird aber durch die Rekultivierung optisch in die offene Landschaft gut eingepasst werden können.

9.3.4 Variante 4

Auswirkungen auf die Nachbarschaft

Die Auswirkungen auf die Nachbarschaft bei Realisierung der Sanierungsvariante 4 sind ähnlich wie bei Sanierungsvariante 5 zu bewerten. Durch die Reduzierung des Aushubs um die kontaminierten Böden/Sedimente verringert sich jedoch der LKW-Verkehr sowohl bei Abtransport der Aushubmaterialien als auch bei der Anlieferung der Verfüllmaterialien.

Des Weiteren sind für den Zeitraum der Aushub- und Verladearbeiten der Säureteere gasförmige Emissionen und Geruchsbelästigungen zumindest im näheren Umfeld des Sanierungsgeländes zu erwarten. Deshalb sollte das Sanierungsgebiet weiträumig so abgesperrt werden, dass ein Zutritt für Passanten verhindert wird. Zusätzlich sind die oben beschriebenen messtechnischen Überwachungen und ggf. emissionsmindernde Maßnahmen erforderlich.

Auswirkungen auf die Arbeitnehmer

Im Zuge des Aushubs, einer ggf. erforderlichen Konditionierung und dem Verladen der Säureteere ist ein Direktkontakt zum Ablagerungsmaterial durch die vor Ort beschäftigten Personen grundsätzlich möglich. Auf Grund dessen sind geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen vorzuhalten und einzusetzen. Sollte eine Einhausung der Sanierungsbaustelle erforderlich werden, würde sich der Arbeitsschutzaufwand erheblich erhöhen (umgebungsluftunabhängige Atemluftversorgung).

Auswirkungen auf die Umwelt

Beim Verladen und Abtransport des kontaminierten Materials ist darauf zu achten, dass grobe Verunreinigungen der Container und Transportfahrzeuge vor dem Verlassen des Geländes entfernt werden, um eine Verschleppung der Schadstoffe zu unterbinden. Die Auswirkungen auf die Umwelt infolge des Aushubs der Säureteere sind als positiv zu bewerten. Der Verbleib des kontaminierten Bodens/Sediments ist hingegen negativ einzustufen.

9.3.5 Variante 5

Auswirkungen auf die Nachbarschaft

Für den Zeitraum der Aushub- und Verladearbeiten der kontaminierten Materialien sind gasförmige Emissionen und Geruchsbelästigungen zumindest im näheren Umfeld des Sanierungsgeländes zu erwarten. Deshalb sollte das Sanierungsgebiet weiträumig so abgesperrt werden, dass ein Zutritt für Passanten verhindert wird. Zusätzlich sind die oben beschriebenen messtechnischen Überwachungen und ggf. emissionsmindernde Maßnahmen erforderlich.

Der Abtransport der ausgehobenen Materialien und der zusätzliche Antransport der Verfüllmaterialien für die Grube bedeuten einen nicht unerheblichen zusätzlichen Verkehr, der aber auf Grund des leistungsfähigen regionalen Verkehrsnetzes als unproblematisch eingeschätzt wird. Die verkehrliche Erschließung des Baufeldes bedarf allerdings ergänzender Maßnahmen.

Wegen der sicherlich nicht zu vermeidenden zusätzlichen Geruchsbelästigungen dürfte eine Akzeptanz für diese Sanierungsvariante ohne eine gute und aktive Öffentlichkeitsarbeit nicht zu erzielen sein. Diese sollte frühzeitig vor Beginn der Baumaßnahmen beginnen und eine kontinuierliche Informationsvermittlung über die ganze Sanierungszeit sicherstellen.

Auswirkungen auf die Arbeitnehmer

Die Auswirkungen auf die Arbeitnehmer sind ähnlich zu bewerten wie bei Sanierungsvariante 4 (Teilaushub). Durch den zusätzlichen Aushub der kontaminierten Böden/Sedimente verlängert sich die Ausführungszeit und somit der Aufwand für die Arbeitssicherheit. Im Hinblick auf den Arbeitsschutz sind daher geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen vorzuhalten und einzusetzen. Sollte eine Einhausung der Sanierungsbaustelle erforderlich werden, würde sich der Arbeitsschutzaufwand erheblich erhöhen (umgebungsluftunabhängige Atemluftversorgung).

Auswirkungen auf die Umwelt

Beim Verladen und Abtransport des kontaminierten Materials ist darauf zu achten, dass grobe Verunreinigungen der Container und Transportfahrzeuge vor dem Verlassen des Geländes entfernt werden, um eine Verschleppung der Schadstoffe zu unterbinden. Die Auswirkungen auf die Umwelt infolge des vollständigen Aushubs der kontaminierten Ablagerungsmaterialien sind als positiv zu bewerten.

9.4 Kosten

Unter dem Kriterium „Kosten“ werden die zur Realisierung der Sanierungsvarianten anfallenden Kosten prognostiziert. Dabei wird auch auf Erfahrungen mit vergleichbaren Maßnahmen zurückgegriffen.

Im Folgenden werden jeweils die zu erwartenden Kosten je Leistungsphase für die einzelnen Varianten vorgestellt. Eine detaillierte Übersicht der prognostizierten Kosten ist in Anlage 6 zu finden. Abschließend erfolgt eine tabellarische Gegenüberstellung der prognostizierten Kosten in Kapitel 9.5.

Grundlage der Kostenprognose sind die Mengenansätze aus der ergänzenden technischen Erkundung sowie Einheitspreise, die aus vergleichbaren Projekten der Altlastensanierung und vor allem der Teer- und Säureteersanierung abgeleitet worden sind.

Die Kostensicherheit ist nicht bei allen betrachteten Varianten gleich hoch, so dass für alle Varianten in der Kostenprognose in Anlage 6 unterschiedlich hohe Zuschläge für Unvorhergesehenes eingeführt wurden.

Grundsätzlich gilt, dass die Kostensicherheit bei den beiden Aushubvarianten auf Grund des vorab nicht exakt prognostizierbaren Materialvolumens (z. B. tatsächliche Kubatur der Säureteere und kontaminierten Böden) sowie der variierenden Entsorgungspreise geringer ist, als bei Sanierungsvariante 2 und der Gefahrenabwehrvariante, bei denen für die erforderlichen Leistungen ein breiterer Markt und damit ein weitgehend definiertes Preisniveau im Sinne eines Marktpreises vorhanden sind.

Für Variante 2 kann die Kostenprognose auf Grund fehlender Erfahrungen nur als Schätzung angesehen werden.

9.4.1 Variante 1

Im Rahmen der Umsetzung der Variante 1 (Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen) ist mit Kosten wie folgt zu rechnen:

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	7.000,00
2	Kernleistungen (netto)	42.500,00
3	Baunebenkosten (netto)	19.500,00
	Unvorhergesehenes (20 %)	6.900,00
	GESAMTSUMME (netto)	75.900,00
	GESAMTSUMME (brutto)	90.321,00

Tabelle 6: Kostenprognose Variante 1

In der obigen Kostenprognose sind die Kosten für Grundwasserüberwachung, Wartung und ggf. Instandsetzung der Umzäunung, Brandmeldeeinrichtungen und Randwälle sowie Überwachung des Anbauverbotes nicht berücksichtigt. Hierzu wurde eine separate Kostenprognose für die Nachsorgephase erstellt, die in Anlage 7.1 zu finden ist. Für die Nachsorgephase wurde ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass weitere Kosten im Zusammenhang mit Fehlalarmierungen der Feuerwehr durch Versagen der Brandmeldeanlage entstehen können. Diese Kosten sind in der Kostenprognose nicht berücksichtigt. Fehlalarmierungen der Feuerwehren treten mit Installation von Brandmeldeanlagen generell vermehrt auf. Die hier vorgesehene Installation der Brandmeldeanlage im Freien wird das Risiko von Fehlalarmierungen erhöhen.

Für die vorgenannten Maßnahmen werden Kosten für **Nachsorgemaßnahmen** in Höhe von **1.474.000,00 € (netto)** bzw. **1.754.060,00 € (brutto)** im Zeitraum von 100 Jahren prognostiziert.

9.4.2 Variante 2

Für die Realisierung der Variante 2 („schwimmende“ Oberflächenabdeckung) werden nach derzeitigem Kenntnisstand die in nachfolgender Tabelle zusammengefassten Kosten prognostiziert.

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	30.000,00
2	Kernleistungen (netto)	90.500,00
3	Baunebenkosten (netto)	128.000,00
	Unvorhergesehenes (20 %)	49.700,00
	GESAMTSUMME (netto)	298.200,00
	GESAMTSUMME (brutto)	354.858,00

Tabelle 7: Kostenprognose Variante 2

In der obigen Kostenprognose sind die Kosten für Grundwasserüberwachung, Wartung und ggf. Ausbesserung der Abdeckung (z. B. durch Nachschütten von Abdeckmaterial) sowie der Randwälle nicht berücksichtigt. Hierzu wurde eine separate Kostenprognose für die Nachsorgephase erstellt, die in Anlage 7.2 zu finden ist. Für die Nachsorgephase wurde ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt. Die im Rahmen der Nachsorgephase anfallenden Kosten sind bei der abschließenden Variantenbewertung zu berücksichtigen.

An dieser Stelle ist zu betonen, dass eine Oberflächenabdeckung auf dem Standort Säureteerteich nicht dem Stand der Technik entspricht und somit weitere Kosten für die Instandhaltung und Ausbesserung der Abdeckung oder im schlimmsten Fall bei Versagen der Abdeckung Kosten für eine dann neu zu planende und umzusetzende Sanierungsmaßnahme anfallen können.

Für die vorgenannten Maßnahmen werden Kosten für **Nachsorgemaßnahmen** in Höhe von **885.500,00 € (netto)** bzw. **1.053.745,00 € (brutto)** im Zeitraum von 100 Jahren prognostiziert.

9.4.3 Variante 3

Für die Realisierung der Variante 3 (Einkapselung des Säureteerteiches durch Kombination einer horizontalen und vertikalen Abdichtung sowie Herstellung eines ausreichend tragfähigen Planums für die Oberflächensicherung) werden nach derzeitigem Kenntnisstand die in nachfolgender Tabelle zusammengefassten Kosten prognostiziert.

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	80.000,00
2	Kernleistungen (netto)	530.000,00
3	Baunebenkosten (netto)	265.000,00
	Unvorhergesehenes (10 %)	87.500,00
	GESAMTSUMME (netto)	962.500,00
	GESAMTSUMME (brutto)	1.145.375,00

Tabelle 8: Kostenprognose Variante 3

Eine detaillierte Aufstellung der prognostizierten Kosten ist in Anlage 6 zu finden. Zu der obigen Kostenprognose ist anzumerken, dass weitere Kosten im Rahmen der Nachsorge anfallen werden. Da die Nachsorgemaßnahmen und deren Gesamtkosten insbesondere von der durch die Behörde festzulegenden und ggf. anzupassenden Dauer der Nachsorgephase abhängig sind, ergibt sich hierbei grundsätzlich ein Kostenrisiko. In Anlage 7.3 ist eine detaillierte Zusammenstellung der für die zu erwartenden Nachsorgemaßnahmen prognostizierten Kosten zu finden. Für die Nachsorgephase wurde ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt. Die im Rahmen der Nachsorgephase anfallenden Kosten sind bei der abschließenden Variantenbewertung zu berücksichtigen.

Zu den Maßnahmen in der Nachsorgephase gehören insbesondere die nachfolgend genannten Maßnahmen (Auswahl):

- Grundwasserbeprobung und Analytik
- Auswertung und Dokumentation sämtlicher Messergebnisse
- Erstellung von Gutachten
- Geländebegehung, visuelle Kontrolle
- Regelmäßige Rasenmäh
- Ausbesserung der Abdichtungssysteme (infolge von Setzungen, Tierverschiss, Erosion usw.)
- Wartung und Instandhaltung sämtlicher Entwässerungseinrichtungen.

Die auf Grundlage der Kostenprognose zu erwartenden **Kosten in der Nachsorgephase** beziffern sich auf ca. **3.998.500,00 € (netto)** bzw. **4.758.215,00 € (brutto)** im Zeitraum von 100 Jahren.

Zusatz: Variante 3a (Verzicht auf Dichtwand)

Im Falle eines Verzichtes auf die vertikale Abdichtung (Dichtwand) gemäß Kapitel 8.4.3 und einer alleinigen Herstellung der Oberflächenabdichtung gemäß Kapitel 8.4.2 als Sicherungselement würden sich die Herstellungskosten, wie in folgender Tabelle 9 aufgezeigt, reduzieren. Eine detaillierte Aufschlüsselung der prognostizierten Kosten ist in Anlage 6 zu finden.

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	65.000,00
2	Kernleistungen (netto)	225.000,00
3	Baunebenkosten (netto)	160.000,00
	Unvorhergesehenes (10 %)	45.000,00
	GESAMTSUMME (netto)	495.000,00
	GESAMTSUMME (brutto)	589.050,00

Tabelle 9: Kostenprognose Variante 3a (ohne Dichtwand)

Im Vergleich zur vollständigen Einkapselung des Säureteerteiches gemäß Variante 3 ergibt sich bei der hier zusätzlich betrachteten Sanierungsvariante 3a bei Verzicht der Dichtwand eine Reduzierung der Herstellungskosten von ursprünglich **962.500,00 € (netto)** um **467.500 € (netto)** auf **495.000,00 € (netto)** (siehe Tabellen 8 und 9).

Die Kostenreduzierung resultiert insbesondere aus dem Wegfall der Herstellungskosten für die vertikale Abdichtung in Form einer MiP-Dichtwand. In diesem Zuge verringern sich für die Gesamtmaßnahme auch die Baustelleneinrichtungskosten, die Kosten für den Arbeitsschutz sowie Kosten für Planung, Bauüberwachung, Bauoberleitung und Fremdüberwachung.

Des Weiteren hätte ein Verzicht der Dichtwand Auswirkungen auf die während der Nachsorgephase anfallenden Kosten. Durch das Entfallen der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten (gemäß Anlage 7.3, Position 2.1) für die Dichtwand ergibt sich eine Kostenreduzierung für den betrachteten Nachsorgezeitraum von 100 Jahren in Höhe von ca. **450.000 € (netto)**.

Die Gesamtkosten (Herstellungskosten und Nachsorgekosten für 100 Jahre) würden sich bei einem Verzicht auf die vertikale Abdichtung um ca. **917.500 € (netto)** bzw. **1.091.825,00 € (brutto)** reduzieren. Der Verzicht auf die Dichtwand hat jedoch Auswirkungen auf das in Kapitel 6.2 definierte Sanierungsziel 3 (weitere Grundwasserkontamination), da der Direktkontakt von Grundwasser zum Ablagerungsmaterial wieder ermöglicht wird.

9.4.4 Variante 4

Für die Realisierung der Sanierungsvariante 4 „Teilaushub und Entsorgung/Verwertung des Ablagerungsmaterials“ werden nach derzeitigem Kenntnisstand die in nachfolgender Tabelle zusammengefassten Kosten prognostiziert.

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	60.000,00
2	Kernleistungen (netto)	3.135.000,00
3	Baunebenkosten (netto)	230.000,00
	Unvorhergesehenes (20 %)	685.000,00
	GESAMTSUMME (netto)	4.110.000,00
	GESAMTSUMME (brutto)	4.890.900,00

Tabelle 10: Kostenprognose Variante 4

Eine detaillierte Aufstellung der prognostizierten Kosten ist in Anlage 6 zu finden.

Die Kalkulation geht von folgenden Annahmen aus, die in der weiteren Planung überprüft werden müssen:

- Obwohl die Entsorgung der Säureteere ggf. auch ohne vor Ort-Konditionierung erfolgen kann, wurde hier im Sinne einer worst case-Betrachtung ein Ansatz für eine einfache Konditionierung zur Sicherstellung des Abfalltransportes einkalkuliert.
- Als Transportentfernung wurde hier eine Strecke von 400 km für den Teer und 200 km für den Boden/Sedimente angesetzt. Dabei wird ein LKW-Umlauf je 2 Tage (Teer) zu Grunde gelegt.
- Für die Säureteerentsorgung wurde ein Einheitspreis zu Grunde gelegt, der in etwa dem für eine thermische Verwertung entspricht. Sollte eine Sonderabfallverbrennung für die Entsorgung vorgesehen werden, würden sich der Einheitspreis um etwa 100 €/t bzw. der Gesamtpreis um etwa 1.176.000 € erhöhen. Je nach den Marktbedingungen kann auch ein Entsorgungspreis realisiert werden, der um 100 €/t niedriger liegt, wodurch sich der Gesamtpreis um ca. 1.176.000 € verringern würde.

Weiterhin ist anzumerken, dass die genannten Kosten keine Einhausung der Sanierungsbaustelle umfassen. Sofern diese erforderlich wird, ergeben sich nicht unerhebliche Mehrkosten, die wie folgt geschätzt werden können:

- Einhausung der Sanierungsbaustelle (Mietzelt): etwa 100.000 €
- Installation und Vorhalten einer Abluftreinigungsanlage: etwa 50.000 €
- Betrieb der Abluftreinigungsanlage einschl. Entsorgungskosten: etwa 30.000 €
- Zusätzlicher Arbeitsschutzaufwand (pauschal): etwa 70.000 €

Es ergeben sich hierfür also Zusatzkosten, die auf etwa 250.000 € (netto) geschätzt werden.

Zu der obigen Kostenprognose ist außerdem anzumerken, dass weitere Kosten im Rahmen der Nachsorge anfallen werden. Da die Nachsorgemaßnahmen und deren Gesamtkosten insbesondere von der durch die Behörde festzulegenden und ggf. anzupassenden Dauer der Nachsorgephase abhängig sind, ergibt sich hierbei grundsätzlich ein Kostenrisiko. In Anlage 7.4 ist eine detaillierte Zusammenstellung der für die zu erwartenden Nachsorgemaßnahmen prognostizierten Kosten zu finden. Für die Nachsorgephase wurde ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt. Die im Rahmen der Nachsorgephase anfallenden Kosten sind bei der abschließenden Variantenbewertung zu berücksichtigen.

Die Nachsorgemaßnahmen werden sich wahrscheinlich auf folgende Arbeiten konzentrieren:

- Grundwasserbeprobung und Analytik
- Auswertung und Dokumentation sämtlicher Messergebnisse
- Ggf. Geländebegehung.

Die Prognose der Nachsorgephase für die Teilaushubvariante basiert auf der Annahme, dass es sich bei der Oberflächenabdeckung um kein technisches Bauwerk handelt.

Die auf Grundlage der Kostenprognose zu erwartenden **Kosten in der Nachsorgephase** beziffern sich auf ca. **572.000,00 € (netto)** bzw. **680.680,00 € (brutto)** im Zeitraum von 100 Jahren.

9.4.5 Variante 5

Für die Realisierung der Sanierungsvariante 5 „Kompletttaushub und Entsorgung/Verwertung des Ablagerungsmaterials“ werden nach derzeitigem Kenntnisstand die in nachfolgender Tabelle zusammengefassten Kosten prognostiziert.

	Kurzbezeichnung	Summe [€]
1	Vorleistungen (netto)	60.000,00
2	Kernleistungen (netto)	5.192.300,00
3	Baunebenkosten (netto)	250.000,00
	Unvorhergesehenes (20 %)	1.100.460,00
	GESAMTSUMME (netto)	6.602.760,00
	GESAMTSUMME (brutto)	7.857.284,40

Tabelle 11: Kostenprognose Variante 5

Eine detaillierte Aufstellung der prognostizierten Kosten ist in Anlage 6 zu finden.

Die Kalkulation geht von folgenden Annahmen aus, die in der weiteren Planung überprüft werden müssen:

- Der Baugrubenverbau erfolgt mittels einer Bohrpfahlwand.
- Obwohl die Entsorgung der Säureteere ggf. auch ohne vor Ort-Konditionierung erfolgen kann, wurde hier im Sinne einer worst case-Betrachtung ein Ansatz für eine einfache Konditionierung zur Sicherstellung des Abfalltransportes einkalkuliert.
- Als Transportentfernung wurde hier eine Strecke von 400 km für den Teer und 200 km für den Boden/Sedimente angesetzt. Dabei wird ein LKW-Umlauf je 2 Tage (Teer) bzw. je Tag (Boden) zu Grunde gelegt.
- Bei der Kalkulation wurde davon ausgegangen, dass 1/3 der auszuhebenden Böden und Sedimente stark mit Säureteer kontaminiert ist und dem entsprechenden Entsorgungsweg zugeordnet werden muss. 2/3 der Aushubmenge werden als kontaminierter Boden entsorgt.
- Für die Säureteerentsorgung wurde ein Einheitspreis zu Grund gelegt, der in etwa dem für eine thermische Verwertung entspricht. Sollte eine Sonderabfallverbrennung für die Entsorgung vorgesehen werden, würden sich der Einheitspreis um etwa 100 €/t bzw. der Gesamtpreis um etwa 1.176.000 € erhöhen. Je nach den Marktbedingungen kann auch ein Entsorgungspreis realisiert werden, der um 100 €/t niedriger liegt, wodurch sich der Gesamtpreis um ca. 1.176.000 € verringern würde.

Zu bemerken ist, dass die genannten Kosten keine Einhausung der Sanierungsbaustelle umfassen. Sofern diese erforderlich wird, ergeben sich nicht unerhebliche Mehrkosten, die wie folgt geschätzt werden können:

- Einhausung der Sanierungsbaustelle (Mietzelt): etwa 100.000 €
- Installation und Vorhalten einer Abluftreinigungsanlage: etwa 50.000 €
- Betrieb der Abluftreinigungsanlage einschl. Entsorgungskosten: etwa 30.000 €
- Zusätzlicher Arbeitsschutzaufwand (pauschal): etwa 70.000 €

Es ergeben sich hierfür also Zusatzkosten, die auf etwa 250.000 € (netto) geschätzt werden. Insgesamt ergibt sich für die Variante 5 in Abhängigkeit des Erfordernisses einer Konditionierung der Abfälle auf der Baustelle, der gewählten Entsorgungswege und der Technik für den Nachbarschaftsschutz (Einhausung) eine Kostenspanne von

	netto	brutto
Sanierungskosten minimal	5,3 Mio. €	6,3 Mio. €
Sanierungskosten maximal	8,2 Mio. €	9,8 Mio. €

Tabelle 12: Minimal- und Maximalkosten Variante 5

Es wird auf der Grundlage der Erfahrungen aus der Teer- und Säureteersanierung geschätzt, dass eine Sanierung zu den in der Anlage 6 genannten Kosten von ca. 7,9 Mio. € (brutto) realistisch ist.

Kosten im Zuge von Nachsorgemaßnahmen entstehen mit Ausnahme der Grundwasserbeprobung als Nachweis des Sanierungserfolges nicht.

9.5 Kostenübersicht

Die folgende tabellarische Zusammenstellung gibt einen zusammenfassenden Überblick über die für die einzelnen Varianten in den vorherigen Kapiteln prognostizierten Gesamtkosten. Dabei sind sowohl die Herstellungskosten gemäß Anlage 6 als auch die Kosten aus der Nachsorgephase gemäß Anlage 7 berücksichtigt. Für die Dauer der Nachsorgephase wurde jeweils ein Zeitraum von 100 Jahren zu Grunde gelegt.

		Kostenprognose in € (gem. Anlagen 6 und 7)				
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Herstellung	netto	75.900,00	298.200,00	962.500,00	4.110.000,00	6.602.760,00
	brutto	90.321,00	354.858,00	1.145.375,00	4.890.900,00	7.857.284,40
Nachsorge	netto	1.474.000,00	885.500,00	3.998.500,00	572.000,00	0,00
	brutto	1.754.060,00	1.053.745,00	4.758.215,00	680.680,00	0,00
GESAMT	netto	1.549.900,00	1.183.700,00	4.961.000,00	4.682.000,00	6.602.760,00
	brutto	1.844.381,00	1.408.603,00	5.903.590,00	5.571.580,00	7.857.284,40

Tabelle 13: Zusammenstellung der prognostizierten Kosten nach Varianten

9.6 Bewertung der Varianten und Empfehlung

Auf Grundlage der oben erläuterten Bewertungskriterien „Wirksamkeit“, „Auswirkungen“ und „Kosten“ erfolgt eine abschließende Gesamtwertung der im Detail betrachteten Varianten mit dem Ziel, eine Vorzugsvariante für die Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim zu ermitteln. Die Gesamtwertung erfolgt dabei verbalargumentativ.

Variante 1 (Schutz – und Beschränkungsmaßnahmen)

Die Variante zielt primär auf die Verbesserung der derzeit bereits bestehenden Umzäunung und auf die Organisation eines passiven Brandschutzes ab.

Das angestrebte Sanierungsziel, den Direktkontakt zwischen Mensch/Tier und Ablagerungsmaterial durch eine Umzäunung zu verhindern, kann als nur bedingt erfüllt angesehen werden.

Die auf den ersten Blick sehr gering erscheinenden Kosten für die Umsetzung der Gefahrenabwehrvariante werden durch höhere Kosten im Rahmen der Nachsorgephase bzw. Standortüberwachung relativiert.

Im Ergebnis ist Variante 1 geeignet, Gefahren für den Menschen aus dem Direktkontakt mit dem Säureteer und durch Brandereignisse abzuwehren. Zudem deckt die Variante den erforderlichen Handlungsbedarf hinsichtlich des Schutzgutes Grundwasser durch das fortzuführende Grundwassermonitoring ab. Die Variante stellt jedoch keine Sanierungsmaßnahme dar. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass zu einem späteren Zeitpunkt aufgrund z.B. geänderter Grundwasserverhältnisse eine Sanierung erforderlich wird. Vor diesem Hintergrund wird die Variante 1 nicht zur Anwendung empfohlen.

Variante 2

Im Zuge der vertieften Variantenbetrachtung wurde deutlich, dass eine Realisierung der Variante 2 („schwimmende“ Oberflächenabdeckung) grundsätzlich mit zahlreichen Unsicherheiten und Problemstellungen im Hinblick auf Wirksamkeit, Langzeitbeständigkeit und insbesondere Systemstabilität verbunden ist.

Die in Kapitel 6 definierten Sanierungsziele werden nur bedingt erfüllt und nicht in gleichwertiger Qualität im Vergleich zu den Sanierungsvarianten 3 und 4. Durch die Überschüttung des Säureteerteiches mittels Abdeckmaterial kann die Gefahr von Brandereignissen zwar minimiert, der Direktkontakt von Mensch und Tier kann jedoch nicht sicher und nachhaltig verhindert werden.

Auf Grund fehlender Erfahrungen mit derartigen Oberflächenabdeckungen, insbesondere auf Oberflächen von Säureteerteichen, ist eine abschließende Beurteilung der Eignung dieser Sanierungsvariante insbesondere im Hinblick auf das Langzeitverhalten ohne vertiefende Untersuchungen und ggf. Feldversuche nicht möglich.

Des Weiteren ist das Erfordernis einer dauerhaften Nachsorge auf nicht absehbare Zeit, auch im Hinblick auf weitere, nicht abschließend prognostizierbare Kosten, als nachteilig zu werten.

Da die betrachtete Variante 2 nicht dem derzeitigen Stand der Technik entspricht, kann sie im Ergebnis dieser Variantenbetrachtung nachzeitigem Kenntnisstand und vorbehaltlich konkretisierender technischer Entwicklungsarbeiten nicht zur Anwendung empfohlen werden.

Variante 3

Variante 3 (Einkapselung der Ablagerung) kann grundsätzlich zur Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim im Sinne einer Sicherungsmaßnahme zum Einsatz kommen. Dabei wirken sich vor allem die im Vergleich zu Sanierungsvariante 5 verhältnismäßig geringen Kosten positiv aus.

Grundsätzlich werden durch die Einkapselung des Säureteerteiches zwar alle geforderten Sanierungsziele erreicht, jedoch ist die Erfüllung der Sanierungsziele an die langfristige Funktionalität der Sicherungsbauwerke gebunden. Auf Grund dessen ist eine entsprechend langfristige Überwachung der Maßnahmen erforderlich. Ggf. ergibt sich dabei der Bedarf einer nachträglichen Reparatur bzw. einem Ersatz der Bauteile.

Im Zusammenhang mit den Sanierungszielen ist hervorzuheben, dass auf Grund der schlechten Tragfähigkeit des Ablagerungsmaterials ein erhebliches Risiko für die Herstellbarkeit und die langfristige Dichtungsfunktion der Oberflächenabdichtung besteht. Trotz einer Herstellung der erläuterten lastverteilenden Unterkonstruktion zur Aufnahme des Oberflächenabdichtungssystems kann nicht ausgeschlossen werden, dass es im Laufe der Jahre infolge von Setzungen zu Rissbildungen und somit zu Undichtigkeiten in der Oberflächenabdichtung kommt. Dieses würde einen erneuten Kontakt des Ablagerungsmaterials mit dem Niederschlagswasser bzw. einem Austritt von Säureteer bedeuten. Damit birgt diese Variante erhebliche Risiken hinsichtlich der langfristigen Beständigkeit.

Des Weiteren ist das Erfordernis einer dauerhaften Nachsorge auf nicht absehbare Zeit, auch im Hinblick auf weitere, nicht abschließend prognostizierbare Kosten, als nachteilig zu werten.

Im Gesamtergebnis kann Variante 3 zwar als grundsätzlich geeignet gewertet werden. Analog zu den Ausführungen zur Oberflächenabdeckung entspricht eine Oberflächenabdichtung auf pastösem Untergrund jedoch nicht dem Stand der Technik. Aufgrund des erheblichen Risikos im Hinblick auf eine dauerhafte Funktionalität und Wirksamkeit kann Sanierungsvariante 3 nicht zur Umsetzung empfohlen werden.

Variante 4

Bei Realisierung der Variante 4 werden die Säureteerablagerungen als Hauptkontaminanten vollständig aus dem Untergrund entnommen. Dadurch wird die Hauptursache für die Schutzgutgefährdung am Standort entfernt. Die Sanierungsziele „Minimierung zukünftiger Gefahren für Menschen (und des Weiteren auch Tiere) durch den Direktkontakt mit den Säureteerablagerungen“ sowie die „Minimierung der Gefahr etwaiger Brandereignisse“ werden somit erreicht.

Durch die Abdeckung der im Untergrund verbleibenden kontaminierten Böden/Sedimente mit bindigem Boden kann Sanierungsziel 3 „Reduzierung einer weiteren Kontamination des Grundwassers“ ebenfalls als erfüllt angesehen werden. Das dadurch im Untergrund verbleibende schadstoffhaltige Material wird durch eine Oberflächenabdeckung zusätzlich gesichert. Anhand der fortzuführenden Grundwasserbeobachtung ist die Gefährdungssituation durch die im Untergrund verbleibenden Schadstoffe überwachbar, so dass im Bedarfsfall entsprechend reagiert werden kann. Eine Nachbesserung zur Sanierung der im Untergrund verbliebenen Schadstoffe wäre dann zwar nur unter hohem technischem Aufwand realisierbar, aufgrund der gesammelten Erfahrungen ist dieser Fall jedoch als eher unwahrscheinlich zu werten.

Im Zusammenhang mit dem Arbeits- und Nachbarschaftsschutz ist die Sanierungsvariante 4 analog zu Sanierungsvariante 5 zu bewerten.

Nachteilig gegenüber Sanierungsvariante 5 wirkt sich aus, dass durch das Belassen von kontaminierten Materialien im Untergrund eine Nachsorgephase erforderlich wird. Da sich die Nachsorgemaßnahmen, wie in den Kapiteln 9.2.4 und 9.4.4 erläutert, auf die Überwachung des Grundwassers konzentrieren werden, ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu rechnen.

Die Kostenprognose ergab eine Einsparung der Herstellungskosten bei Sanierungsvariante 4 gegenüber Sanierungsvariante 5 in Höhe von ca. 3 Mio. € (brutto). Durch die für einen Zeitraum von 100 Jahren berücksichtigte Nachsorgephase fallen Mehrkosten in Höhe von ca. 0,7 Mio. € (brutto) an. Insgesamt wäre Sanierungsvariante 4 jedoch immer noch um ca. 2,3 Mio. € (brutto) günstiger als Sanierungsvariante 5.

Im Gesamtergebnis wird daher empfohlen, die Variante 4 der Variante 5 vorzuziehen. Sanierungsvariante 4 (Teilaushub) ergibt sich somit als Vorzugsvariante aus der Variantendiskussion.

Variante 5

Durch die Realisierung der Sanierungsvariante 5 (Kompletttaushub und externe Entsorgung/Verwertung des kontaminierten Materials) erfolgt eine vollständige Entfernung des kontaminierten Materials und somit der Ursache der Schutzgutgefährdung vom Standort. Infolgedessen werden alle Sanierungsziele erreicht und dauerhaft eingehalten. Bei einer fachgerechten Durchführung und Überwachung der Sanierungsarbeiten sind keine Nachbesserungsmaßnahmen zu erwarten.

Im Hinblick auf diesen Sanierungserfolg kann auch das temporär erhöhte Verkehrsaufkommen durch den Abtransport der kontaminierten Materialien in der Öffentlichkeit und insbesondere in der Nachbarschaft gerechtfertigt werden. Die zu erwartende Geruchsemission im Zuge des Materialaushubs kann durch eine zusätzliche Absicherung des Sanierungsgeländes und eine messtechnische Überwachung in Verbindung mit emissionsmindernden Maßnahmen auf der Baustelle, ggf. auch durch eine Einhausung, begrenzt werden. Durch eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit kann auf die Verbesserung der Akzeptanz in der benachbarten Bevölkerung hin gewirkt werden.

Weiterer Vorteil dieser Sanierungsvariante ist, dass ein aufwendiges Nachsorgeprogramm im Anschluss an die vollständige Dekontamination des Geländes nicht erforderlich ist und die Fläche als beseitigte Altlast eingestuft werden kann.

Im Gesamtergebnis ist die Variante 5 aufgrund der vollständigen Entfernung der belasteten Materialien vom Standort aus Sicht der Gefahrenabwehr und der Erfüllung der Sanierungsziele als günstigste Variante einzustufen. Im Hinblick auf die im Vergleich zu allen anderen Varianten deutlich höheren Kosten sollte alternativ zu dieser Variante zunächst die Variante 4 im Gesamtergebnis auf ihre Eignung hin überprüft werden (siehe Seite 153), bevor eine abschließende Empfehlung gegeben wird.

10. ZUSAMMENFASSENDES ERGEBNIS DER VARIANTENSTUDIE / VORZUGSVARIANTE

Ziel der durchgeführten Variantenstudie sollte es sein, eine technisch, ökologisch und ökonomisch optimale Sanierungsvariante zur abschließenden Sanierung des Säureteiches Gau-Algesheim zu ermitteln und deren Eignung nachzuweisen.

Dazu wurde zunächst eine Vorauswahl von Sanierungsverfahren nach den Kriterien der Machbarkeit durchgeführt, wobei auch bereits die geforderten Sanierungsziele eine grundsätzliche Berücksichtigung fanden. Im Zuge der Vorauswahl wurden insgesamt 15 verschiedene Sanierungsverfahren vorgestellt und bewertet.

Im Ergebnis dieser ersten Bewertung war festzuhalten, dass die Sicherungsverfahren „Oberflächenabdeckung“, „Oberflächenabdichtung“ und „vertikale Abdichtung“ sowie das Dekontaminationsverfahren „Aushub und Entsorgung der Ablagerungsmaterialien“ eine grundsätzliche Eignung zur Sanierung des Säureteiches vorwiesen. Des Weiteren wurde eine Variante im Rahmen von Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen erarbeitet.

Es ergaben sich zunächst die aus der Vorauswahl abgeleiteten Varianten

- **Variante 1:**
Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen, passiver Brandschutz sowie Grundwasserüberwachung
- **Variante 2:**
Sicherung des Säureteiches durch eine „echt schwimmende“ Abdeckung (Oberflächenabdeckung) sowie Nachsorgemaßnahmen
- **Variante 3:**
Einkapselung des Säureteiches durch Kombination einer horizontalen und vertikalen Abdichtung (Erfordernis der Herstellung eines ausreichend tragfähigen Planums für die Oberflächensicherung) sowie Nachsorgemaßnahmen
- **Variante 4:**
Teilaushub (nur Säureteere) und Entsorgung/Verwertung des Aushubmaterials sowie Nachsorgemaßnahmen
- **Variante 5:**
Kompletttaushub und Entsorgung/Verwertung des Aushubmaterials

als vorläufige Vorzugsvarianten.

Die vorläufigen Vorzugsvarianten wurden anschließend unter Bezugnahme auf den konkreten Fall erläutert und dargestellt. Für einzelne Komponenten der jeweiligen Varianten (z. B. Brandmeldeanlagen für die Variante 1, Abdeckmaterialien für Variante 2, Abdichtungssystem und Dichtwandtyp für Variante 3 sowie Aushubtechniken und Entsorgungswege für die Varianten 4 und 5) erfolgte eine bewertende Gegenüberstellung mit dem Ziel einer konkreten Konzipierung der jeweiligen Sanierungsvariante.

Im Ergebnis dieses Variantenvergleichs ging die

- **Variante 4:**
Teilaushub (Aushub der Säureteere), ggf. Konditionierung, Transport und fachgerechte Entsorgung/Verwertung der Säureteere


entsprechend der in Kapitel 8.5 beschriebenen Techniken als Vorzugsvariante für die abschließende Sanierung des Säureteerteiches Gau-Algesheim hervor.

Kaiserslautern, 29. Oktober 2007

Dipl.-Geol. Horst Peschla
- Geschäftsführer -

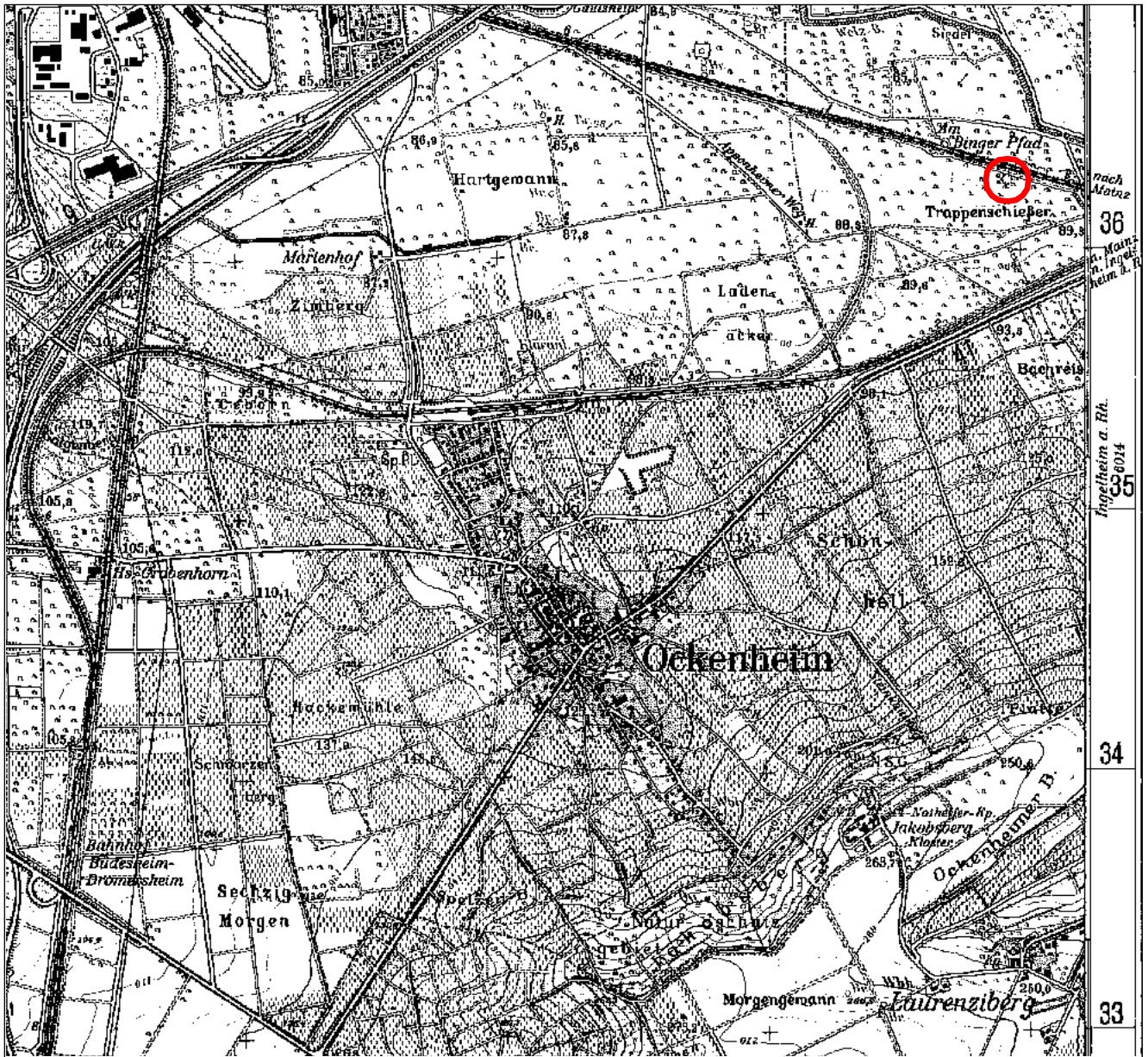
Dipl.-Biol. Andreas Lehmann
- Projektleiter -

Dipl.-Geol. Jörg Goedicke
- Sachbearbeiter -



Dipl.-Ing. Christian Poggendorf
Prof. Burmeier, Ing.-Ges.

Verteiler: 6fach Auftraggeber, Herrn Mergen
+ elektronische Version auf CD
1fach BIG mbH, Herrn Poggendorf
1fach Akte Peschla + Rochmes GmbH



Auftraggeber:	Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd Neustadt an der Weinstraße				
Projekt:	Vorplanung/Variantenstudie zur Sanierung des Säureteerteichs Gau- Algesheim				
Teil:	Übersichtslageplan Auszug aus TK 6013 Bingen				
	Zeichen	Rev.-Datum	Maßstab	1: 25 000	
aufgenommen			Projekt-Nr.	P06003	
bearbeitet	Ln	09/06	q:\P06003\BerichtelSP11\Anl.dwg		
gezeichnet	Eb	09/06	Anlage	Blatt-Nr.	Revisions-Nr.
geprüft	Ln	12/06	1		1.0



PESCHLA + ROCHMES GMBH
Hertelsbrunnenring 7 67657 Kaiserslautern
Telefon (0631) 34113-0 Fax (0631) 34113-99

Aufschlüsse Büro Haag 1990

Legende:

- A A' Schnittlinie
- + Entnahmepunkte der Oberflächenproben
- ⊕ Sondierpunkte außerhalb der Ablagerung
- Sondierpunkte innerhalb der Ablagerung
- Grundwassermeßstelle
- ⊕ Rammpegel
- M Mächtigkeit

⊕ Sediment innerhalb der Ablagerung

∇ Einzäunung

LEGENDE

Ergänzende Erkundung 2006

- BS Sondierbohrungen zur:
- Tiefenabgrenzung Sediment
 - Gewinnung von Ablagerungs- Mischproben
 - Überprüfung der Ablagerungsmächtigkeit
 - Untersuchung Wallmaterial
 - Erkundung Außenverunreinigung bei SB4
 - Säureteerablagerungen, durchschnittliche Mächtigkeit 5-6m
 - Schadensfläche Außenbereich

Erkundung Nordrand

- Sondierbohrungen
- Leichte Rammsondierungen
- Schwere Rammsondierung


∇ Querprofile Nordrand

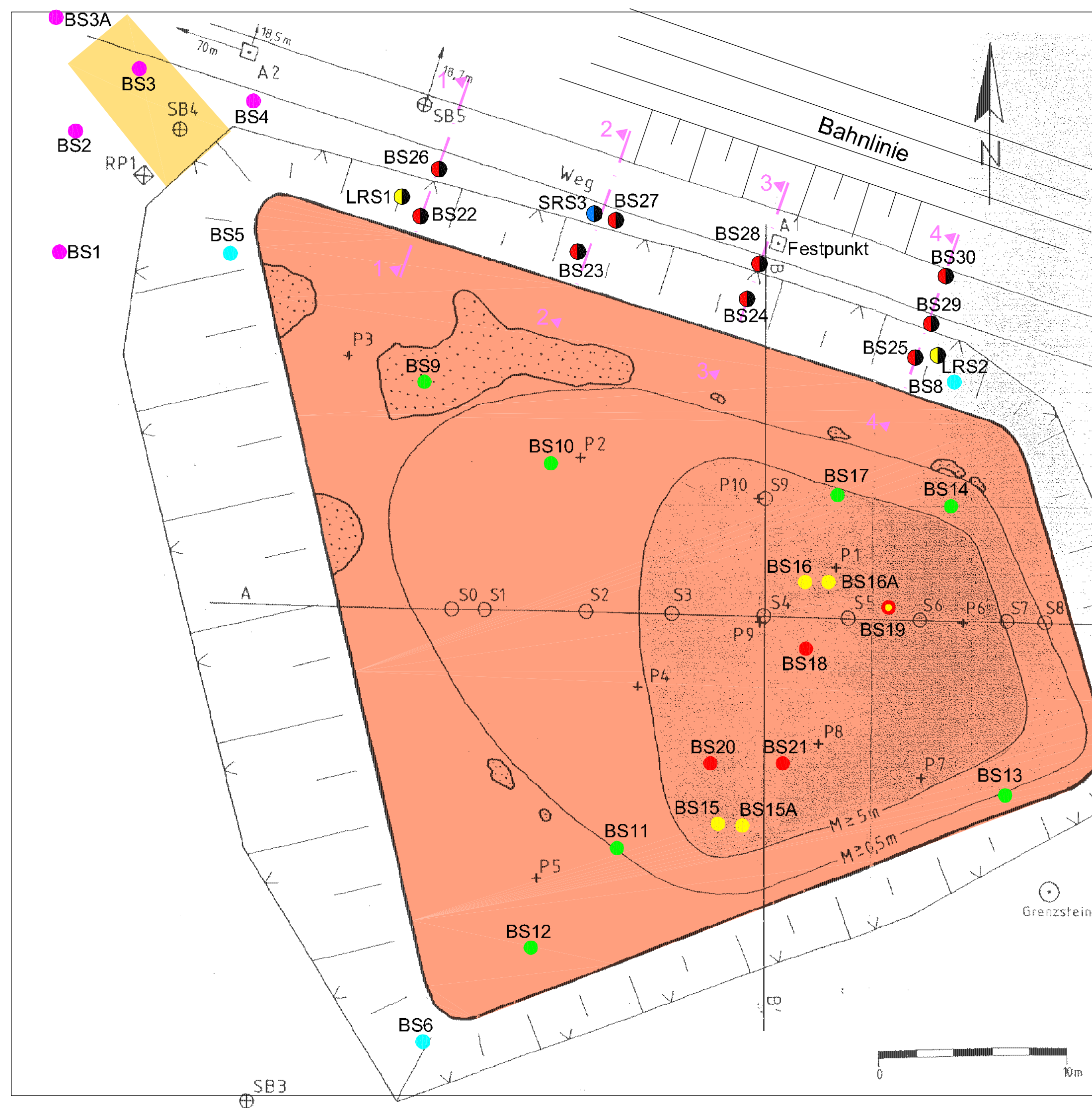
Auftraggeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd
Neustadt an der Weinstraße

Projekt: Vorplanung/Variantenstudie zur Sanierung
des Säureteerteichs Gau- Algesheim

Teil: Lageplan Erkundung

	Zeichen	Rev.-Datum	Maßstab	1:200	
aufgenommen			Projekt-Nr.	P06003	
bearbeitet	Ln	12/06	q:\P06003\Berk:\tel\SP1\an2.dwg		
gezeichnet	Ju	12/06	Anlage	Blatt-Nr.	Revisions-Nr.
geprüft	Ln	12/06	2		3.0

 PESCHLA + ROCHMES GMBH
Hertelsbrunnerring 7 67657 Kaiserslautern
Telefon (0631) 34113-0 Fax (0631) 34113-99



Landratsamt Mainz- Bingen
Referat 66

65 Mainz

Postfach 3024

660-10

9.10.70

A/hi

19.10.70

Ihr Schreiben vom 9. 10. 1970

Sehr geehrte Herren !

Die Füllung der genannten Grube wurde von Ihnen am 3.7.70 beanstandet, mit dem Hinweis, daß ein Ölabbau sicher und unbedingt gegeben wai. Aufgrund dieses Argumentes stellen Sie Forderungen auf. Sie berufen sich auf eventuelle Regressansprüche " im äußersten Falße" wie Sie selbst schreiben, und verlangen schließlich die Ausräumung der Grube.

Das genannte Grundstück wurde von uns zufolge Versteigerung am 27.1.1928 erworben; am 31.5.1939 war es durch Kaufvertrag hierzu notariell auf uns übergegangen. In den Folgejahren wirdø diese Grube von uns mit Produktionsresten gefüllt, dh. dmit wasserunlöslichen Säureharzen, die nicht ins Erdreich versickern. Aufgrund des Landesgesetzes zum Schutze der Gewässer vom 24.10. 1956 wurde das Befüllen der Grube genehmigungspflichtig. Wegen der hieraus resultierenden Schwierigkeiten wurde das weitere Befüllen der Grube am 1.4.1957 eingestellt.

1. Ihre Beanstandung

Ein Genehmigungspflicht und daraus resultierende Folgen für die Grabenbefüllung erfolgte erst 1956. Kein halbes Jahr danach wurde die Befüllung von uns eingestellt. Es ist uns unklar, auf welcher Grundlage Sie rückwirkend Beanstandungen herleiten für die vorangegangene Zeit.

2. Ihre Ansicht hinsichtlich der Gefahren

Ihr Hinweis auf einen Ölabbau können wir nur als Behauptung zur Kenntnis nehmen; bewiesen ist zurzeit überhaupt nichts. Allerdings, auch bis heute noch nicht das Gegenteil, nämlich, daß es sich nie abbauen könnte. Allein, " sicher" und " urbest" wie Sie schreiben, ist ein Ölabbau keineswegs. Daher müssen wir

3. Ihre Forderung

nach einer Ausräumung der Grube ablehnen.

Landratsamt Mainz-Bingen, Referat 66, 65 Mainz, Postfach 3024

hr Schreiben vom 9.10.70

3.1. Technisches Problem

Es ist uns nicht bekannt, durch welches Verfahren die eingelagerten Säureharze herausgeholt werden können. Auch eine polizeiliche Verfügung wird dieses Problem schwerlich lösen. Selbst wenn man unterstellt, dieses Problem könnte zu einer späteren Zeit tatsächlich gelöst werden, ist es uns unklar, wo der ausgeräumte Inhalt der Grube dann hin soll. Zumal, wenn neue Ablagerungen wohl nicht mehr genehmigt werden.

3.2. Wirtschaftliches Problem

Eine Beseitigung durch Verbrennung setzt eine entsprechende Anlage voraus. Die bereits installierten Anlagen sind derart ausgelastet, daß die Stellen mit Säureharzanfall zurzeit verstärkt auf vorhandene Deponien angewiesen sind und hierzu auch Genehmigungen erhalten (auch in Rheinland-Pfalz). Wenn also nur eine Beseitigung durch Verbrennung infrage käme, müßte diese Anlage eigens gebaut werden. Bei den mittlerweile geltenden Vorschriften für Bau + Inbetriebnahme solcher Anlagen erfordert das einen Aufwand von mindestens 1 Million DM. Es ist uns unerklärlich, wer das finanzieren soll, da mit Einnahmen aus der Verbrennung der Reste der genannten Grube nicht gerechnet werden kann.

4. Die von Ihnen erbetene Äußerung

Zusammenfassend stellen wir fest:

- a) Eine ursprünglich ja wohl erlaubte Befüllung der Grube kann unseres Erachtens nicht rückwirkend beanstandet werden.
- b) Ihre Vermutungen hinsichtlich künftiger denkbarer Gefahren sind bisher reine Hypothesen.
- c) Aufgrund solcher vagen Anhaltspunkte kann unseres Erachtens niemand zu derart horrenden Investitionen gezwungen werden, wie Sie die Lösung des Problems der Grubenentleerung und der Beseitigung deren Inhaltes erfordern.
- d) Wir bitten Sie, die Angelegenheit erneut zu prüfen und uns mitzuteilen, aus welchen rechtlich einwandfreien und sachlich zwingenden Gründen Sie von uns die Erfüllung der von Ihnen gestellten Forderungen verlangen können.
- e) In der Zwischenzeit werden wir weiterhin bemüht bleiben, Ihnen den Gegenbeweis dafür zu liefern, daß die von Ihnen vermuteten Gefahren nicht bestehen.

Mit freundlichen Grüßen

GERR. AVENARIUS

Wasserwirtschaftsamt
Mainz

Entwurf

Tgb. Nr.
abgeschr.
abgesandt 28. 9. 78

28. September 1978

Bi/Zi-Az.: Bi 22, 60-16

Dipl.-Ing. Biedenkopf
329

19.9.1978

1) An die
Kreisverwaltung Mainz-Bingen
- Untere Wasserbehörde -
6500 Mainz

Altölrückstände der Firma Avenarius in der Gemarkung
Gau-Algesheim

Wir danken für die Zusendung der Niederschrift vom 29.8.1978 und machen der Ordnung halber darauf aufmerksam, daß wir gegen das Aufschütten oder Einbringen von Sand erhebliche Bedenken haben.

Schon vor etwa 7 Jahren ist durch die Stadt Gau-Algesheim dort Sand aufgebracht worden, wo wir verlangt hatten, das Ölloch mit bindigem Material abzudecken. Dieser Sand gab nur im Augenblick ein günstigeres Bild. Nach verhältnismäßig kurzer Zeit war der Sand jedoch nach unten abgesackt und hatte die spezifisch leichteren Altölrückstände nach oben verdrängt. Sieht man einmal davon ab, daß auf diese Weise die zähflüssigen Teile von den bereits verfestigten geschieden worden sind (was für einen eventuellen Abtransport vorteilhaft sein könnte), so hat sich an dem rein optischen Zustand des Ölloches nichts gebessert. Wir können daher nicht dazu raten, Sandmassen mit einem Kleinbagger in den Ölteich zu schieben.

Im Auftrag

gez. Biedenkopf

Wasserwirtschaftsamt Mainz, Ämterhaus

An das
Ministerium für Landwirtschaft,
Weinbau und Umweltschutz
Abt. V - Wasserwirtschaft

6500 Mainz

über die Bezirksregierung
Rhh.-Pf., - Ref. 46 -
673 Neustadt a.d. Weinstr.

Betrifft: Ölablagerung der Fa. Avenarius

Bezug: Schreiben des Ministeriums vom 14.6.1973 - Az.: 56 32 11 -
2850/73 - an Herrn Alfred Meisterburg, Gau-Algesheim,
von dem wir Durchschrift erhielten

Berichterstatter: Dipl.-Ing. Biedenkopf

6500 Mainz 1, den 10. Juli 1973

Unser Zeichen:
(in der Antwort anzugeben)

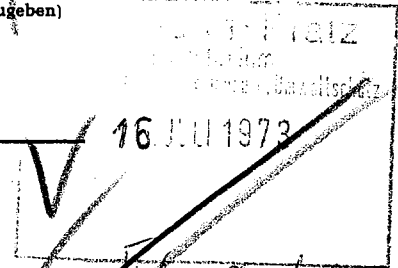
Bi/Schü-Az:Bi 22,60-16

Erlaß vom:

16. JULI 1973

RE vom:

Ihre Zeichen:



Dr. Kloke
24.7.73

Das Schreiben des Herrn Meisterburg ist von uns am 13.6.1973 beantwortet worden. Wir hatten damals mitgeteilt, daß wir eine evtl. Anreicherung von Sulfaten im Boden als nur geringes Übel betrachten, gegenüber der Gefahr, daß die hochmolekularen Ölrückstände im Laufe der Zeit durch irgendwelche Einflüsse in einfachere organische, womöglich zyklische Verbindungen aufgespalten werden, die dann wasserlöslich wären und nach und nach in das Wassergewinnungsgebiet einwandern könnten. Diese Gefahr ist nach großem Zeitablauf nur durch Beobachtungsbrunnen zu beurteilen, deren Niederbringung von uns im Einverständnis mit dem Geologischen Landesamt Rheinland-Pfalz seit Jahren verlangt wird, bisher jedoch immer an der Kostenfrage gescheitert ist. Wir halten nach wie vor das Niederbringen dieser Beobachtungsbrunnen für unabdingbar nötig.

Was nun die Abdeckung der Lagergrube mit Boden anbetrifft, so war der Zustand, daß die völlig ungesicherte etwa 300 m² große Fläche eine Unfallgefahr darstellte, nicht länger hinzunehmen. Wir haben daher mit Schreiben vom 2.11.1970 verlangt, den Lagerplatz durch eine Schicht bindigen Materials abzudecken. Leider ist der Lagerplatz erst im Winter 1972/73 abgedeckt worden und dann auch mit rolligem Material und auch, mindestens zum Teil, in zu dünner Schicht. Bestimmte Teile des Rückstandsöls, die verhältnismäßig viskos sind, haben sich seitdem einen neuen Weg gebahnt und sind

an der Oberfläche ausgetreten. Sie bilden dort ausgedehnte, jedoch ganz dünne Fladen, die jetzt mit geringem Arbeitsaufwand beseitigt werden könnten. Außerdem sollte die Abdeckschicht verstärkt und eine kleine Stützmauer oder mindestens ein Erddamm an der Seite des stärksten Ölaustritts gezogen werden.

Damit würden die dringenden Mißstände bereinigt, jedoch das Problem nicht endgültig gelöst. Wir halten dazu eine Besprechung mit sämtlichen beteiligten Behörden für erforderlich und bitten um Entscheidung und Terminfestsetzung.

Bernhard

(B e r n h a r d)

Gesehen und weitergeleitet:

Neustadt a.d.Weinstr., den 13.7.1973

Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz

J.A.

Heinrich iv.

(Stemle)

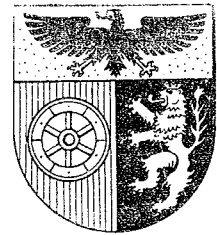
1/ Vermerk:

gemäß Weisung des H. Abt. St. wurde das WWA hierin angewiesen, in eigener Zuständigkeit Rest zu entscheiden.

He. G.
8.73

2/2.d.A 5.32.11

LANDRATSAMT MAINZ-BINGEN



Postanschrift: Landratsamt Mainz-Bingen · 6500 Mainz · Postfach 3024

An das
Wasserwirtschaftsamt
MAINZ

65 Mainz

Wasserwirtschaftsamt
Mainz
28. FEB. 1973
IV, Anl.

Abtlg.: 6
Schillerstraße 44

Anlage 3.2, Blatt 4

Sachbearbeiter	Seitz II	Zimmer 225
Telex LAMZ 4187 872	Telefon Sammel-Nr. (06131) 6051	Durchwahl 605 /322

Datum und Zeichen Ihres Schreibens

Unser Zeichen

Ref.: 66
Az.: 660-10

Datum 26. Februar 1973

Betreff:

Durchführung wasserrechtlicher Bestimmungen;
hier: Lagerung von Ölabfallprodukten in der Gemarkung Gau-Algesheim
durch die Firma Avenarius, Gau-Algesheim, Kreis Mainz-Bingen.

Die deponierten Abfallprodukte in der Sandgrube bei Gau-Algesheim,
an der Bahnlinie Bingen-Mainz wurden ordnungsgemäß mit Mutterboden
abgedeckt. Die Ablagerungsstelle wurde mit einem Drahtzaun abge-
grenzt, so daß jeder Gefahr vorgebeugt ist.

Nach einer mündlichen Information des Herrn Prof. Dr. Klotter vom
Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Umweltschutz in Mainz,
besteht nach dessen Auffassung durch die abgelagerten Rückstände
keine akute Gefahr für das Grundwasser, da ein Auslaugen des Ab-
fallprodukts oder eine schädliche Zersetzung infolge sehr starker
Verkittung nicht mehr gegeben sein dürfte. Ausserdem besteht diese
Abfallstelle seit dem Jahre 1934 ohne daß bisher Nachteile für das
Grundwasser aufgetreten wären.

Die Angelegenheit betrachten wir damit als abgeschlossen.

Im Auftrage:

F. Aufenacker

Entwurf

Tgb. Nr.
abgechr.
abgesandt	2.8.72

2. August 1972
Bi/Schü-Az:Bi 22,60

Dipl.-Ing. Biedenkopf
401

28. 7. 1972

72/704-21

An das
Landratsamt Mainz-Bingen
-Untere Wasserbehörde-

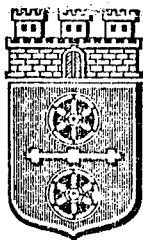
6500 Mainz
Postfach 3024

Umweltverschmutzung;
hier: Ablagerung von teerölähnlicher Flüssigkeit südlich
der Hauptbahnlinie zwischen Bingen-Kempton und
Gau-Algesheim

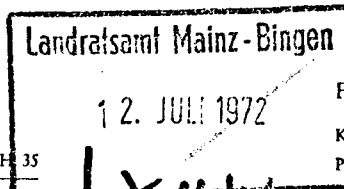
Durch Unfall des Tankfahrzeuges wurde am 27. 4. 1972 im Bereich südlich der Hauptbahnlinie zwischen Bingen-Kempton und Gau-Algesheim eine teerölähnliche Flüssigkeit abgelaufen. Die Stadtverwaltung Gau-Algesheim hat sich an die Untere Wasserbehörde Mainz-Bingen gewandt. Wir sind nach wie vor der Meinung, daß die Öl- und Bitumenkippe in der Gemarkung Gau-Algesheim mit Erde überdeckt werden soll. Bei einer Ortsbesichtigung im April 1972 stellten wir fest, daß offensichtlich die Bodenmassen nicht zweckmäßig eingebaut worden sind. Zunächst muß rings um die Grube ein Erdwall aufgeschüttet werden, der dann vorsichtig zur Grubenmitte hin verschoben wird, wobei die Erdschicht über der Teeröloberfläche mindestens 0,7 m stark sein muß, damit der Fahrzeugdruck sich angemessen verteilen kann. So muß es vermieden werden können, daß Öl seigend ausläuft. Wir haben dies auch der Stadtverwaltung Gau-Algesheim mit Schreiben vom 6. 4. 1972 mitgeteilt.

Im Auftrage:
[Signature]
(Biedenkopf)

2. v. Z. d. A.
[Signature]



STADTVERWALTUNG GAU-ALGESHEIM/RHEIN



Fernsprechsammelnummer (0 67 25) 5 88

Konten der Stadtkasse:

Postscheck: Frankfurt/Main Nr. 111 30
Ludwigshafen/Rhein Nr. 113 69Bankkonten: Gau-Algesheimer Volksbank
Kreissparkasse Bingen,
Zweigstelle Gau-Algesheim

STADTVERWALTUNG 6535 GAU-ALGESHEIM/RH. · POSTFACH 35

An die
Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz673 Neustadt/Weinstraße
=====
Friedrich-Ebert-Straße 14
über Landratsamt Mainz-Bingen

den 10. Juli 1972

Ihr Zeichen: 406-10-MB-Bi/1 Ihre Nachricht vom: 23.5.72

Unser Zeichen:
(bei Antwort bitte angeben)

II

Betr.: Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die vier Vertikalbrunnen der Stadt Bingen

Sehr geehrte Herren !

Es ist richtig - wie in Ihrem Schreiben angeführt - daß die Öldeponie der Firma Gebr. Avenarius mit Grund abgedeckt werden sollte. Der Versuch wurde unternommen, mußte jedoch abgebrochen werden, da der Ölspiegel entsprechend der Auffüllmenge stieg und auf die angrenzenden Ackergrundstücke zu laufen drohte. Die Gefährdung des Grundwassers ist unseres Erachtens nicht durch Abdecken zu beheben. In dieser Grube sind bis zu einer Tiefe von ca. 15 m Altölreste abgelagert.

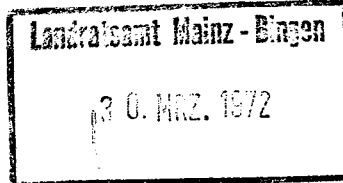
Herr Ries vom Landratsamt Mainz-Bingen und Herr Biedenkopf vom Wasserwirtschaftsamt Mainz wurden über den Stand der Angelegenheit unterrichtet. Wir halten es für angebracht, noch einmal an Ort und Stelle andere erforderliche Maßnahmen zu erörtern.

Mit vorzüglicher Hochachtung

Bürgermeister

D: An das Landratsamt Mainz-Bingen in Mainz
z.Hd. Herrn Ries zur gefl. Kenntnisnahme.

Anlage 3.2, Blatt 7



Hessel
Bürgermeister

An das
Wasserwirtschaftsamt Mainz

65 Mainz
=====
Große Langgasse

27. März 1972

II

Betr.: Ablagerung von Ölresten durch die Firma Gebr. Avenarius
Bezug: Ihr Schreiben vom 29. Februar 1972 - Bi/Be-Az/Bi 22,60-16

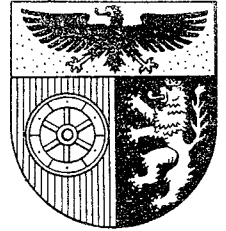
Sehr geehrte Herren !

Die Stadt hat versucht, den Ablagerungsplatz der obigen Firma mit Grund abzudecken. Seitlich wurden Dämme angeschüttet, die mittels eines Raupenfahrzeuges auf das Ölloch geschoben wurden. Diese Arbeit mußte jedoch eingestellt werden, da das Öl aus dem Becken in die nebenliegenden Grundstücke auslief. Somit ist es nicht möglich das vorhandene Ölloch abzudecken. Für die Beseitigung müßte eine andere Lösung gefunden werden.

Mit vorzüglicher Hochachtung

gez. Hessel
Bürgermeister

LANDRATSAMT MAINZ-BINGEN



Postanschrift: Landratsamt Mainz-Bingen · 6500 Mainz · Postfach 3024

An das
Ministerium für
Landwirtschaft, Weinbau
und Umweltschutz

65 Mainz

Rheinland-Pfalz Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau u. Umweltschutz		Abtg.: 7 Schillerstraße 44		Anlage 3.2, Blatt 8	
18. FEB. 1972 ✓		Sachbearbeiter Herr R i e s		Zimmer 415	
Telex LAMZ 4 187 872		Telefon (061 31) 107 91		Nebenstelle 255	

Datum und Zeichen Ihres Schreibens - 5 32 11 - Unser Zeichen 72-704-21 Datum 16. Febr. 1972
Tgb.Nr. 5228/1971

Betrifft: Umweltverschmutzung;

hier: Ablagerung von teerölähnlicher Flüssigkeit südlich der Hauptbahnlinie zwischen Bingen-Kempton und Gau-Algesheim

Im Nachgang zu unserem Bericht vom 6. Dezember 1971 dürfen wir Sie heute davon unterrichten, daß zwischenzeitlich der Versuch unternommen wurde, den Ölteich mit Erde abzudecken. Es hat sich hierbei herausgestellt, daß diese Maßnahme doch schwieriger ist, als ursprünglich angenommen wurde. Im Ergebnis führte dieser Versuch zu keinem Erfolg. Um dennoch eine Abdeckung zu erreichen, wird die Stadtverwaltung Gau-Algesheim durch ihre Bediensteten zunächst die Hecken entfernen lassen, damit von allen Seiten zu dem Ölteich der Zugang möglich ist. Sobald es die Witterung erlaubt, ist vorgesehen, den Aushub einer Ortsstraße dort abzulagern, was allerdings nicht vor März/April möglich sein dürfte.

Zur gegebenen Zeit werden wir Ihnen entsprechend berichten.

Mit vorzüglicher Hochachtung

Z. d. A.

53211

- ✓ 1) Ministerium für Soziales,
Gesundheit und Umwelt
Bauhofstr. 4
6500 Mainz

Betr.: Säureteerteich Gau-Algesheim;
hier: Sanierung

Bezug: Besprechung mit Ihrem sehr geehrten Herrn
Chemiedirektor Dr. Platz

Anlg.: 1

Am 6. März 1981 haben wir mit Gerät des Geologischen Landesamtes 5 Sondierbohrungen auf dem Säureteerteich der ehemaligen Fa. Avenarius bei Gau Algesheim ausgeführt. Die Situation geht aus Anlage 1 hervor. Unter einer, bei dem herrschenden kühlen Wetter begehbaren, rd. 2 m hohen Mischschicht von Sand, Öl, Bitumen und Mineralsäure (rd. 2500 m³ nach Anlage 2) befand sich eine rund 4 m hohe, im wesentlichen flüssige Schicht, vermutlich von verunreinigter Mineralsäure. Aus den oberen 2 m konnten pastose Proben mit dem Bohrgerät entnommen werden. Aus der darunter liegenden flüssigen Schicht war dies mit dem verfügbaren Gerät nicht möglich. Jedoch dürfte die Flüssigkeit aus dem Material beurteilt werden können, das aus der pastösen Oberschicht eluiert wurde. Das Analyseergebnis geht aus der folgenden Tafel hervor (Ausschüttelung 1:10).

Bezeichnung	Einheit	Menge in Probe Nr.		
		1	2	3
pH-Wert	1	1,4	1,4	1,3
KMnO ₄ -Verbrauch als O ₂	mg/l	158	118	213
CSB als O ₂	"	810	655	852
SO ₃ --	"	250	350	450
SO ₄ --	"	10 000	9 400	11 900
wasserdampffl. Phenole	"	0,46	0,24	0,52
Geruchsschwellenwert	Verd.	400	300	200
Fischtest bei 5-9facher	"	negativ (ungiftig)		

Bei dem Abfall handelt es sich um ein verunreinigtes Gemisch von schwefliger Säure und Schwefelsäure mit asphaltartigen Rückständen. Es hat nur eine mäßige organische Belastung und ist in Verdünnung nicht fischgiftig. Erheblich ist die Geruchsentwicklung, hauptsächlich aus Schwefeldioxid.

Der Teerölteich liegt in der Schutzzone III der Trinkwasserfassung Bingen. Bisher ist keine nennenswerte Grundwasserkontamination in den benachbarten Grundwasserbeobachtungsbrunnen festzustellen. Davon liegt einer in nächster Nähe des Teerölteiches, unterstrom in der Grundwasserhauptfließrichtung. Der Teichboden ist hiernach durch Selbstdichtung undurchlässig geworden. Indessen stellt das Vorhandensein des Teerölteiches in der Schutzzone III eine unzulässige Anlage dar, deren Beseitigung anzustreben ist.

Der flüssige Abfall füllt die Poren des Sandes im unteren Bereich aus und hängt darin fest. Er unterliegt keiner deutlichen Auswaschungstendenz. Demnach könnte der Abfall im oberen, bei den herrschenden Temperaturen festen Bereich, mit dem Sand zusammen abgebaggert werden. Er läßt sich durch verteilte Ablagerung auf einer geeigneten Deponie (z.B. Boehringer)dauerhaft beseitigen, wobei zur Säurebildung Kalk beizugeben ist. Bei der Beseitigung wird eine Geruchsentwicklung auftreten. Sie dürfte sich aber in vertretbaren Grenzen halten und schnell abklingen.

In den unteren rd. 4 m der Teichfüllung ist der Abfall flüssig. Er ist zunächst zu neutralisieren. Dies sollte chargenweise mit Natronlauge geschehen. Bei Verwendung von Kalk ergäbe sich ein Anfall von schwieriger handhabbarem Gipsschlamm.

Die neutralisierte Flüssigkeit enthält etwa die oben angegebenen Verunreinigungen und zusätzlich Glaubersalz. Sie könnte u.E. bei Begrenzung auf etwa 50 m³/d in der Abwasserbehandlungsanlage der Fa. Boehringer unschädlich gemacht werden.

Nach den vorstehenden Darlegungen ergibt sich folgender Weg, um den Säureteerteich zu sanieren:

1. In die feste Oberschicht wird seitlich ein Loch gebaggert, um die Abfallflüssigkeit freizulegen. Daraus wird eine Schöpfprobe entnommen und analysiert. Auch wird die Pumpbarkeit festgestellt. Das Loch wird durch ein großes, an Land verankertes Kunststoffrohr offengehalten.

2. Wenn die Analyse nach 1. den oben diskutierten Befund bestätigt und die Pumpbarkeit gegeben ist, wird die Abfallflüssigkeit allmählich an Land gepumpt, hier in einem Behälter mit Natronlauge neutralisiert und zwischengespeichert. Sie wird sodann zur Abwasserbehandlungsanlage Boehringer im Bienenheim mit dem Betrieb abgefahren und dort beseitigt.

3. Durch das Abpumpen der Flüssigkeit wird sich die feste Abdeckung senken und einzubrechen beginnen, bis das Abpumpen, - ggf. aus weiteren Baggerlöchern, - nicht mehr funktioniert. Dann besteht die Möglichkeit, den festen Abfall unter Mischung mit Kalk auf einer Deponie abzulagern, die Restflüssigkeit damit freizulegen und sie wie oben zu beseitigen. Anschließend kann die geräumte Grube mit inertem Material verfüllt werden. Der Befund aus der Teilräumung des flüssigen Abfalls könnte andererseits dafür sprechen, geringe Reste in der Grube zu belassen. Dann sollte diese mit reichlich Kalk abgestreut und bis in Geländehöhe mit inertem Material verfüllt werden. Damit ließen sich Kosten sparen.

Die Räumung ist einer Fachfirma zu übertragen, die einen Chemiker beizustellen hat. Das LfG kann die Aufsicht und die Kontrolle der Arbeitsschutzbedingungen übernehmen.

Wir schlagen vor, das praktische Vorgehen zu besprechen. Die gewonnenen Erfahrungen dürften auch für die Resträumung des im vergangenen Winter bearbeiteten Säureteerteiches verwertbar sein, wenn dort auch andere Verhältnisse vorgelegen haben.

- 2) Herrn Dr. Hantge,) K 29.3.
- " Dr. Schweitzer,) zur Kts. Schweike 29.3.81
- " Weydmann-Kühn) uk 30.3.

- ✓ 3) Ø an Herrn Frings, Herrn Martin zur Kts. und zdA
- ✓ 4) Ø an " Dr. Kalweit
- 5) ZdA

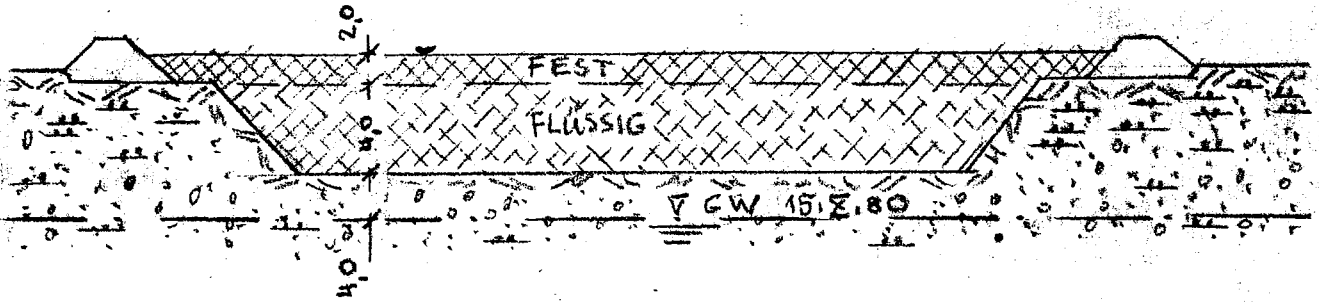
Tgb. Nr.
gef.	✓ vergl.
ab. 20.3.81	Bell.: 2

Handwritten signature/initials

SÄURETEERTEICH BEI GAU - ALGESHEIM

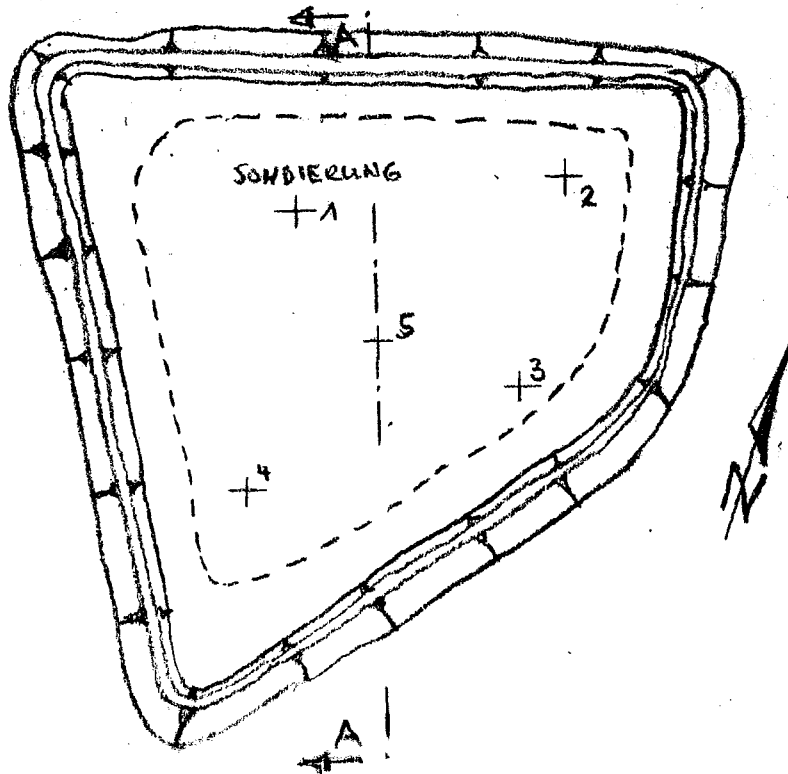
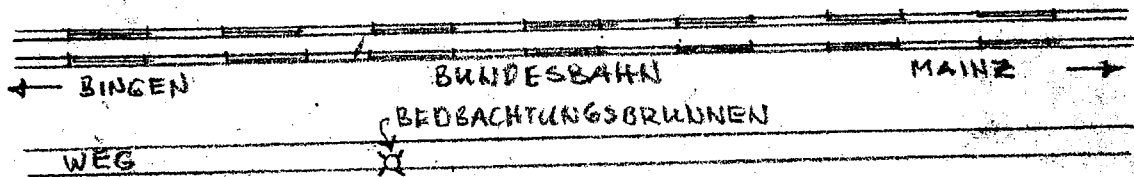
SCHNITT A-A

M. 1:250



LAGE PLAN

M. 1:500



MAINZ, MÄRZ 1981

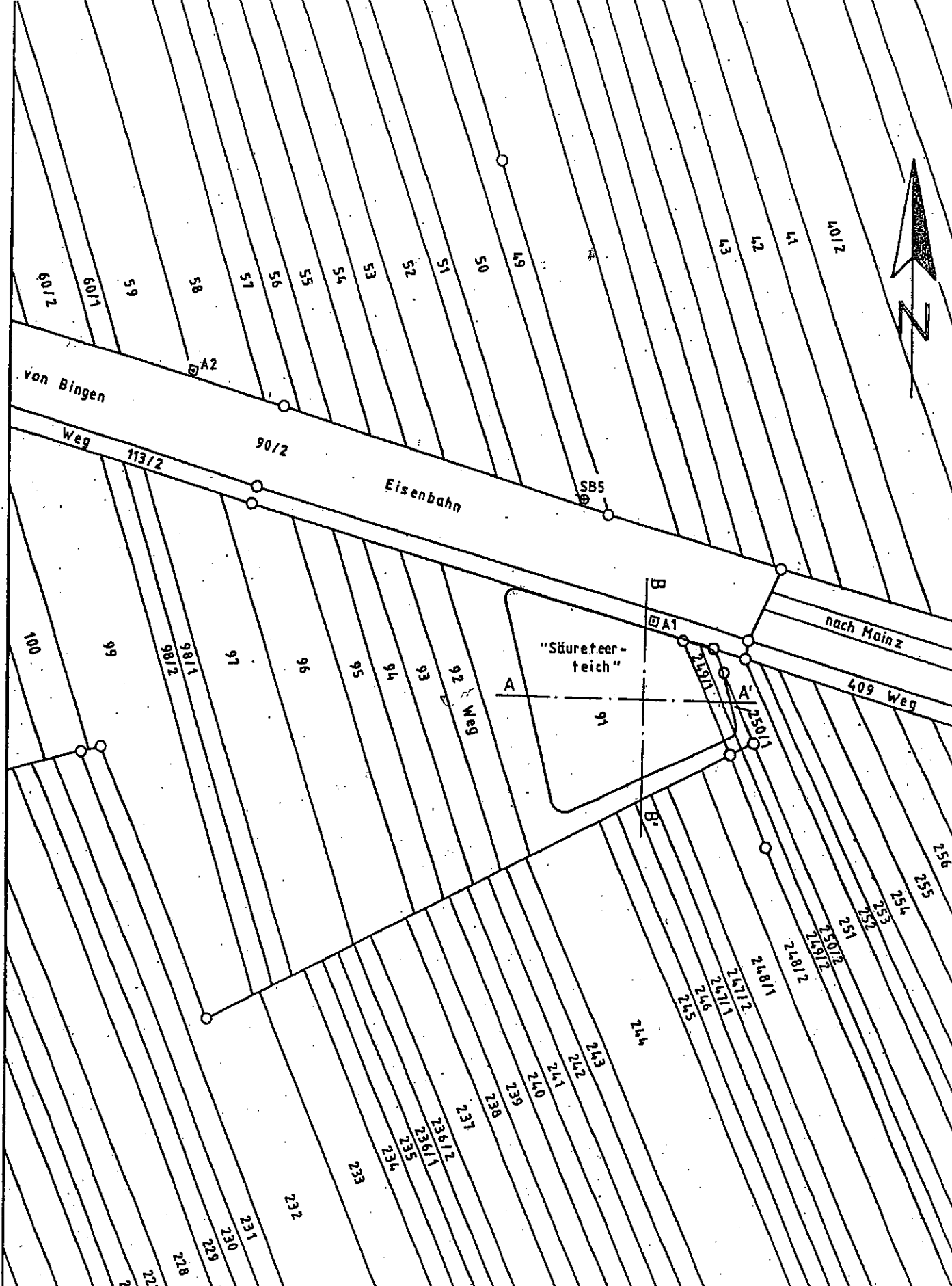
Massenschätzung1. Menge der verfestigten Teichdecke

$$\begin{array}{r}
 36 \cdot 22 = 792 \text{ m}^2 \\
 + \frac{34}{2} \cdot 20 = \underline{340 \text{ ''}} \\
 1132 \text{ m}^2 \cdot 2 = \underline{2\,264 \text{ m}^3} \\
 \text{Sicherheitszuschlag 10 \%} = \underline{226 \text{ ''}} \\
 \text{Summe} \quad \underline{\underline{2\,490 \text{ m}^3}}
 \end{array}$$

2. Menge des flüssigen Teichinhaltes

$$V = \frac{1}{3} h (F + f + \sqrt{F \cdot f})$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot 4 (680 + 550 + \sqrt{680 \cdot 550}) = \frac{4}{3} \cdot 1840 = \underline{\underline{2\,450 \text{ m}^3}}$$



Auftraggeber:	WVA Schillerstraße 44 6500 Mainz	Projekt: "Säureteerteich" Gau-Algesheim
Inhalt:	Flurkarte	
gez. Ströbele	Sachbearbeiter: M.Hofmann	Anlage 3.4
Maßstab: 1 : 1000		



Auftraggeber: Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd Neustadt an der Weinstraße				
Projekt: Vorplanung/Variantenstudie zur Sanierung des Säureteerteichs Gau- Algesheim				
Teil: Luftbild April 1962				
	Zeichen	Datum	Maßstab: ca. 1 : 750	
aufgenommen			Projekt-Nr. P06003	
bearbeitet	Ln	12/06	Revisions- Nr. 1.0	
gezeichnet	Ju	12/06	Anlage	Blatt-Nr.
geprüft	Ln	12/06	4	
 PESCHLA + ROCHMES GMBH Hertelsbrunnenring 7- 67657 Kaiserslautern Telefon (0631) 3 41 13-0- Fax (0631) 3 41 13-99				

FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 1
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		

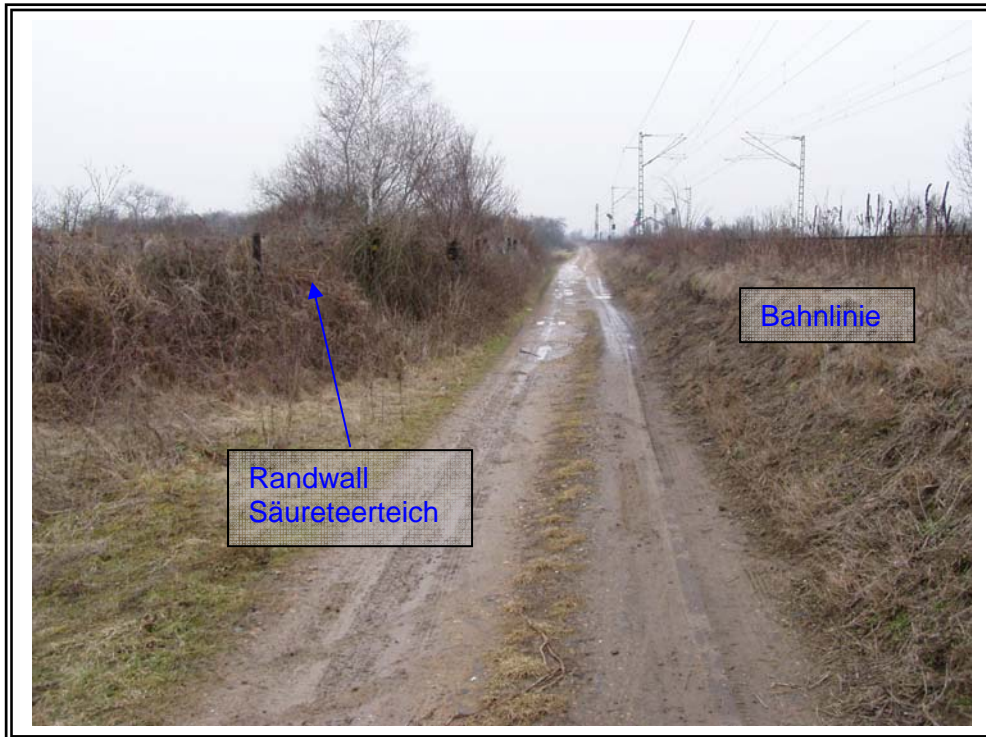


Foto 1: Wirtschaftsweg mit direkt angrenzender Bahnlinie und Säureteerteich



Foto 2: Blick nach Südwesten



FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 2
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		



Foto 3: Blick nach Nordwesten



Foto 4: Blick vom Zugangsbereich nach Westen



FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 3
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		



Foto 5: Zugangstor im Nordwesten, mit Rammpegel RP1



Foto 6: Randwall mit Grabgängen, Tierbauten

FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 4
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		



Foto 7: Konsistenz / Beschaffenheit der Säureteere an der Oberfläche



Foto 8: Erkundungsarbeiten Sommer 2006



FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 5
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		



Foto 9: Bohrarbeiten, Vorbereitung einer Schutzverrohrung



Foto 10 : Schlitzsonde mit Säureteer

FOTOTAFEL	Projekt- Nr. P06003	Anlage: 5	Blatt: 6
	Projekt: Säureteerteich Gau- Algesheim [ALGALA 339.03.019-206]		



Foto 11 : „Einsinken“ von Palettenstapel mit zunehmender Außentemperatur



Foto 12: Konsistenzänderung der Teichoberfläche mit zunehmender Temperatur

Anlage 6

zur Vorplanung/Variantenstudie Säureteerteich Gau-Algesheim

Kostenprognose für die Sanierungsvarianten

Variante 1: Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	2.000.00	2.000.00 €
1.2	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	5.000.00	5.000.00 €
	Summe Vorleistungen				7.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Herstellung einer geschl. Umzäunug einschl. Grabesperre und Übersteigschutz	300.00	lfm	50.00	15.000.00 €
2.2	Beschilderung mit Warnhinweisen	1.00	psch.	500.00	500.00 €
2.3	Einrichtung einer wetterbeständigen Brandmeleanlage einschl. Energieversorgung und Telekommunikation	1.00	psch.	25.000.00	25.000.00 €
2.4	Erarbeitung eines Feuerwehr-Einsatzplanes	1.00	psch.	2.000.00	2.000.00 €
	Summe Kernleistungen				42.500.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Arbeitsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	500.00	500.00 €
3.2	Planungsleistungen	1.00	psch.	8.000.00	8.000.00 €
3.3	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung	1.00	psch.	1.000.00	1.000.00 €
3.4	Herstellung Nachsorgeeinrichtungen	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				19.500.00 €
	Zwischensumme				69.000.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			10%	6.900.00 €
	Summe netto				75.900.00 €
				19 % MWSt	14.421.00 €
	Summe brutto			Summe brutto	90.321.00 €

Weitere Kosten siehe Monetarisierung der Nachsorgephase

Variante 2: Schwimmende Oberflächenabdeckung					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.2	Baufeldfreimachung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.3	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Vorleistungen				30.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Herstellung einer geschl. Umzäunug einschl. Grabesperre und Übersteigschutz	300.00	lfm	50.00	15.000.00 €
2.2	Beschilderung mit Warnhinweisen	1.00	psch.	500.00	500.00 €
2.3	Lieferung Blähton (8/16)	1.000.00	m ³	35.00	35.000.00 €
2.4	Einbau (erschwerte Bedingungen)	1.000.00	m ³	20.00	20.000.00 €
2.5	Geotextilien	2.000.00	m ²	10.00	20.000.00 €
	Summe Kernleistungen				90.500.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Arbeitsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	5.000.00	5.000.00 €
3.2	Studien zur technischen Realisierbarkeit (Annahme)	1.00	psch.	100.000.00	100.000.00 €
3.3	Planungsleistungen	1.00	psch.	8.000.00	8.000.00 €
3.4	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung inkl. Analytik	1.00	psch.	5.000.00	5.000.00 €
3.5	Herstellung Nachsorgeeinrichtungen	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				128.000.00 €
	Zwischensumme				248.500.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			20%	49.700.00 €
	Summe netto				298.200.00 €
				19 % MWSt	56.658.00 €
	Summe brutto			Summe brutto	354.858.00 €

Weitere Kosten siehe Monetarisierung der Nachsorgephase

Variante 3: Oberflächenabdichtung und Dichtwand					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00 €
1.2	Baufeldfreimachung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.3	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Vorleistungen				80.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Herstellung "schwimmende" Unterkonstruktion mit Randeinbindung	2.000.00	m ²	40.00	80.000.00 €
2.2	Herstellung Oberflächenabdichtung	2.000.00	m ²	50.00	100.000.00 €
2.3	Herstellung vertikale Abdichtung	3.000.00	m ²	100.00	300.000.00 €
2.4	Ermittlung einer geeigneten Dichtwandrezeptur	1.00	psch.	25.000.00	25.000.00 €
2.5	Übergang Abdichtungen	200.00	m	25.00	5.000.00 €
2.6	Einrichtungen zur Ableitung des Oberflächenwassers	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Kernleistungen				530.000.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Entschädigungen/Pachten	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
3.2	Arbeitsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	25.000.00	25.000.00 €
3.3	Planungsleistungen	1.00	psch.	90.000.00	90.000.00 €
3.4	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung inkl. Analytik	1.00	psch.	80.000.00	80.000.00 €
3.5	Fremdüberwachung	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00 €
3.6	Herstellung Nachsorgeeinrichtungen	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				265.000.00 €
	Zwischensumme				875.000.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			10%	87.500.00 €
	Summe netto				962.500.00 €
				19 % MWSt	182.875.00 €
	Summe brutto			Summe brutto	1.145.375.00 €

Weitere Kosten siehe Monetarisierung der Nachsorgephase

Variante 3a: Oberflächenabdichtung (Verzicht auf Dichtwand)					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	35.000.00	35.000.00 €
1.2	Baufeldfreimachung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.3	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Vorleistungen				65.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Herstellung "schwimmende" Unterkonstruktion mit Randeinbindung	2.000.00	m ²	40.00	80.000.00 €
2.2	Herstellung Oberflächenabdichtung	2.000.00	m ²	50.00	100.000.00 €
2.3	Herstellung vertikale Abdichtung	0.00	m ²	100.00	- €
2.4	Ermittlung einer geeigneten Dichtwandrezeptur	0.00	psch.	25.000.00	25.000.00 €
2.5	Übergang Abdichtungen	0.00	m	25.00	- €
2.6	Einrichtungen zur Ableitung des Oberflächenwassers	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Kernleistungen				225.000.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Entschädigungen/Pachten	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
3.2	Arbeitsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
3.3	Planungsleistungen	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00 €
3.4	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung inkl. Analytik	1.00	psch.	45.000.00	45.000.00 €
3.5	Fremdüberwachung	1.00	psch.	25.000.00	25.000.00 €
3.6	Herstellung Nachsorgeeinrichtungen	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				160.000.00 €
	Zwischensumme				450.000.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			10%	45.000.00 €
	Summe netto				495.000.00 €
				19 % MWSt	94.050.00 €
	Summe brutto			Summe brutto	589.050.00 €

Weitere Kosten siehe Monetarisierung der Nachsorgephase

Variante 4: Teilaushub, Konditionierung, externe Entsorgung					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	30.000.00	30.000.00 €
1.2	Baufeldfreimachung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.3	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Vorleistungen				60.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Aushub Säureteer	6.600.00	m ³	50.00	330.000.00 €
2.2	Konditionierung der Säureteere	6.600.00	m ³	15.00	99.000.00 €
2.3	Transport Säureteer	8.580.00	t	100.00	858.000.00 €
2.4	Entsorgung/Verwertung Säureteer	8.580.00	t	200.00	1.716.000.00 €
2.5	Wiederverfüllung Baugrube	6.600.00	m ³	10.00	66.000.00 €
2.6	Oberflächenabdeckung	2.000.00	m ²	25.00	50.000.00 €
2.7	Rekultivierung	2.000.00	m ²	8.00	16.000.00 €
	Summe Kernleistungen				3.135.000.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Planungsleistungen	1.00	psch.	40.000.00	40.000.00 €
3.2	Arbeits- und Nachbarschaftsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	80.000.00	80.000.00 €
3.3	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung inkl. Analytik	1.00	psch.	100.000.00	100.000.00 €
3.4	Herstellung Nachsorgeeinrichtungen	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				230.000.00 €
	Zwischensumme				3.425.000.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			20%	685.000.00 €
	Summe netto				4.110.000.00 €
				19 % MWSt	780.900.00 €
	Summe brutto			Summe brutto	4.890.900.00 €

Weitere Kosten siehe Monetarisierung der Nachsorgephase

Variante 5: Komplettaushub, Konditionierung, ext. Entsorgung					
Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	EP in €(netto)	GP in €(netto)
1	Vorleistungen				
1.1	Baustelleneinrichtung	1.00	psch.	30.000.00	30.000.00 €
1.2	Baufeldfreimachung	1.00	psch.	10.000.00	10.000.00 €
1.3	Herrichtung Zuwegung	1.00	psch.	20.000.00	20.000.00 €
	Summe Vorleistungen				60.000.00 €
2	Kernleistungen				
2.1	Baugrubensicherung durch Verbau	400.00	m ²	300.00	120.000.00 €
2.2	Aushub Säureteer	6.600.00	m ³	50.00	330.000.00 €
2.3	Aushub Boden/Sedimente	5.300.00	m ³	40.00	212.000.00 €
2.4	Konditionierung der Säureteere + teerdurchmengte Böden)1	8.366.67	m ³	15.00	125.500.00 €
2.5	Transport Säureteer u.a.	11.760.00	t	100.00	1.176.000.00 €
2.6	Transport Boden/Sedimente	6.360.00	t	50.00	318.000.00 €
2.7	Säureteer/teerdurchmengter	11.760.00	t	200.00	2.352.000.00 €
2.8	Entsorgung Boden/Sedimente	6.360.00	t	80.00	508.800.00 €
2.9	Wiederverfüllung Baugrube (teilweise)	5.000.00	m ³	10.00	50.000.00 €
	Summe Kernleistungen				5.192.300.00 €
3	Baunebenkosten				
3.1	Planungsleistungen	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00 €
3.2	Arbeits- und Nachbarschaftsschutz, inkl messtechn. Begleitung	1.00	psch.	100.000.00	100.000.00 €
3.3	örtliche Bauüberwachung, Bauoberleitung inkl. Analytik	1.00	psch.	100.000.00	100.000.00 €
	Summe Baunebenkosten				250.000.00 €
	Zwischensumme				5.502.300.00 €
	Zuschlag für Unvorhergesehenes			20%	1.100.460.00 €
	Summe netto				6.602.760.00 €
				19 % MWSt	1.254.524.40 €
	Summe brutto			Summe brutto	7.857.284.40 €

)1 Annahme: Säureteer und 1/3 des kontaminierten Bodens/Sediments

Anlage 7.1

Monetarisierung der Nachsorgekosten für die Variante 1 (Schutz- u. Beschränkungsmaßnahmen)

Nachsorgephase							
Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
Nachsorgezeitraum: 100 Jahre							
1	Grundwasser						
1.1	Grundwassermessstellen						
1.1.1	Erneuerung von Grundwassermessstellen	alle 20 Jahre	5.00	1.00	Stck.	3.000.00	15.000.00
1.1.2	Wartung und laufende Instandhaltung der Grundwassermessstellen	jährlich	100.00	1.00	Stck.	200.00	20.000.00
							35.000.00
1.2	Messungen und Kontrollen						
1.2.1	Beprobung und Analyse Grundwasserbeschaffenheit	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	400.00	80.000.00
							80.000.00
2	Weitere Maßnahmen und Einrichtungen						
2.1	Passiver Brandschutz						
2.1.1	laufender Betrieb der Brandmeldeeinrichtung	jährlich	100.00	1.00	Stck.	5.000.00	500.000.00
2.1.2	Wartung und Instandhaltung der Brandmeldeeinrichtung	nach Bedarf (Ansatz: alle 5 Jahre)	20.00	1.00	psch.	3.000.00	60.000.00
2.1.3	Erneuerung der Brandmeldeeinrichtung	nach Bedarf (Ansatz: alle 20 Jahre)	5.00	1.00	psch.	30.000.00	150.000.00
							710.000.00

Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/ Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
2.2	Jahresberichte, Auswertung, Gutachten						
2.2.1	Auswertungen / Berichte Grundwasser	jährlich	100.00	1.00	Stck.	2.500.00	250.000.00
2.2.2	Sonstige Fremdgutachten und Berichte	nach Bedarf (Ansatz: alle 20 Jahre)	5.00	1.00	psch.	15.000.00	75.000.00
							325.000.00
2.3	Infrastrukturelle Maßnahmen am gesicherten Standort						
2.3.1	Regelmäßige Kontrolle der Randwälle	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	300.00	60.000.00
2.3.2	Instandhaltung und Ausbesserung des Randwalls	alle 10 Jahre	10.00	1.00	Stck.	2.500.00	25.000.00
2.3.3	Erhaltung der Zugänglichkeit der Grundwassermessstellen	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	150.00	30.000.00
2.3.4	Ausbesserung und Reparatur von Zaun- und Toranlagen	1 x pro Jahr (auf 5 m Länge)	100.00	5.00	m	50.00	25.000.00
							140.000.00
2.4	Sonstige Maßnahmen						
2.4.1	Genehmigungen, Fahrt- und Reisekosten etc.		1.00	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00
							50.000.00
Zwischensumme (netto)							1.340.000.00
Zuschlag für Unvorhergesehenes 10 %							134.000.00
SUMME (netto)							1.474.000.00
MwSt. 19 % (Stand 2007)							280.060.00
SUMME (brutto)							1.754.060.00

Anlage 7.2

Monetarisierung der Nachsorgekosten für Variante 2 (Sicherung durch "schwimmende" Oberflächenabdeckung)

Nachsorgephase							
Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/ Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
Nachsorgezeitraum: 100 Jahre							
1	Oberflächenabdeckung						
1.1	Unterhaltung und Instandsetzung der Oberflächenabdeckung						
1.1.1	Instandsetzung von Teilen der Oberflächenabdeckung durch Nachschütten	Ansatz: Nachschütten alle 5 Jahre	20.00	100.00	m ³	55.00	110.000.00
							110.000.00
1.2	Überwachung und Kontrolle						
1.2.1	Regelmäßige Überwachung der Oberflächenabdeckung durch visuelle Kontrolle	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	250.00	50.000.00
							50.000.00
2	Grundwasser						
2.1	Grundwassermessstellen						
2.1.1	Erneuerung von Grundwassermessstellen	alle 20 Jahre	5.00	1.00	Stck.	3.000.00	15.000.00
2.1.2	Wartung und laufende Instandhaltung der Grundwassermessstellen	jährlich	100.00	1.00	Stck.	200.00	20.000.00
							35.000.00
2.2	Messungen und Kontrollen						
2.2.1	Beprobung und Analyse Grundwasserbeschaffenheit	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	400.00	80.000.00
							80.000.00

Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/ Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
3	Weitere Nachsorgemaßnahmen und Einrichtungen						
3.1	Jahresberichte, Auswertung, Gutachten						
3.1.1	Auswertungen / Berichte Grundwasser	jährlich	100.00	1.00	Stck.	2.500.00	250.000.00
3.1.2	Sonstige Fremdgutachten und Berichte	nach Bedarf (Ansatz: alle 20 Jahre)	5.00	1.00	psch.	15.000.00	75.000.00
							325.000.00
3.2	Infrastrukturelle Maßnahmen am gesicherten Standort						
3.2.1	Reinigung und Instandhaltung der Zufahrten und Zugänge zur Altablagerung	halbjährlich	200.00	1.00	psch.	500.00	100.000.00
3.2.2	Erhaltung der Zugänglichkeit der Grundwassermessstellen	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	150.00	30.000.00
3.2.3	Ausbesserung und Reparatur von Zaun- und Toranlagen	1 x pro Jahr (auf 5 m Länge)	100.00	5.00	m	50.00	25.000.00
							155.000.00
3.3	Sonstige Maßnahmen						
3.3.1	Genehmigungen, Fahrt- und Reisekosten etc.		1.00	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00
							50.000.00
							Zwischensumme 805.000.00
							Zuschlag für Unvorhergesehenes 10 % 80.500.00
							SUMME netto 885.500.00
							MwSt. 19 % (Stand 2007) 168.245.00
							SUMME brutto 1.053.745.00

Anlage 7.3

Monetarisierung der Nachsorgekosten für Variante 3 (Sicherung durch Oberflächenabdichtung und Dichtwand)

Nachsorgephase							
Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
Nachsorgezeitraum: 100 Jahre							
1	Oberflächenabdichtung und Rekultivierung						
1.1	Unterhaltung und Instandsetzung des Oberflächenabdichtungssystems						
1.1.1	Instandsetzung von Teilen des Oberflächenabdichtungssystems	Ansatz: ca. 10,0 % der Herstellkosten pro Jahr	100.00	2.000.000	m ²	10.00	2.000.000.00
1.1.2	Nachpflanzen von Fehlstellen im Bereich der Rekultivierungsschicht	Ansatz: 5 % der Fläche pro Jahr	100.00	100.00	m ²	2.00	20.000.00
1.1.3	Rasenmäh (Rekultivierungsschicht)	3 x pro Jahr	300.00	2.000.00	m ²	0.25	150.000.00
1.1.4	Beseitigung von Erosionsschäden	Eintritt alle 2 Jahre	50.00	50.00	m ²	2.00	5.000.00
							2.175.000.00
1.2	Überwachung und Kontrolle						
1.2.1	Regelmäßige Überwachung der Oberflächenabdichtung und der Rekultivierungsschicht durch visuelle Kontrolle	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	500.00	100.000.00
1.2.2	Vermessungsarbeiten und Auswertung zur Kontrolle des Setzungsverhaltens	jährlich	100.00	2.000.00	m ²	0.50	100.000.00
							200.000.00
2	Vertikale Abdichtung (Dichtwand)						
2.1	Unterhaltung und Instandsetzung von Teilen der vertikalen Abdichtung	Ansatz: ca. 15,0 % der Herstellkosten alle 10 Jahre	10.00	3.000.000	m ²	15.00	450.000.00
							450.000.00
3	Oberflächenwasser						
3.1	Reinigung und Instandhaltung von Entwässerungsgräben	jährlich	100.00	250.00	m	5.00	125.000.00
							125.000.00
4	Grundwasser						

Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/ Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
4.1	Grundwassermessstellen						
4.1.1	Erneuerung von Grundwassermessstellen	alle 20 Jahre	5.00	1.00	Stck.	3.000.00	15.000.00
4.1.2	Wartung und laufende Instandhaltung der Grundwassermessstellen	jährlich	100.00	1.00	Stck.	200.00	20.000.00
							35.000.00
4.2	Messungen und Kontrollen						
4.2.1	Pegelmessungen (Überwachung der Grundwasserpegelstände)	halbjährlich	200.00	8.00	Stck.	25.00	40.000.00
4.2.2	Beprobung und Analyse Grundwasserbeschaffenheit	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	400.00	80.000.00
							120.000.00
5	Weitere Nachsorgemaßnahmen und Einrichtungen						
5.1	Jahresberichte, Auswertung, Gutachten						
5.1.1	Auswertungen / Berichte Grundwasser	jährlich	100.00	1.00	Stck.	2.500.00	250.000.00
5.1.2	Sonstige Fremdgutachten und Berichte	nach Bedarf (Ansatz: alle 20 Jahre)	5.00	1.00	psch.	15.000.00	75.000.00
							325.000.00
5.2	Infrastrukturelle Maßnahmen am gesicherten Standort						
5.2.1	Reinigung und Instandhaltung der Zufahrten und Zugänge zur gesicherten Altablagerung	halbjährlich	200.00	1.00	psch.	500.00	100.000.00
5.2.2	Erhaltung der Zugänglichkeit der Grundwassermessstellen	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	150.00	30.000.00
5.2.3	Ausbesserung und Reparatur von Zaun- und Toranlagen	1 x pro Jahr (auf 5 m Länge)	100.00	5.00	m	50.00	25.000.00
							155.000.00
5.3	Sonstige Maßnahmen						
5.3.1	Genehmigungen, Fahrt- und Reisekosten etc.		1.00	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00
							50.000.00
							Zwischensumme
							3.635.000.00
							Zuschlag für Unvorhergesehenes 10 %
							363.500.00
							SUMME netto
							3.998.500.00
							MwSt. 19 % (Stand 2007)
							759.715.00
							SUMME brutto
							4.758.215.00

Anlage 7.4

Monetarisierung der Nachsorgekosten für Variante 4 (Teilaushub)

Nachsorgephase							
Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
Nachsorgezeitraum: 100 Jahre							
1	Grundwasser						
1.1	Grundwassermessstellen						
1.1.1	Erneuerung von Grundwassermessstellen	alle 20 Jahre	5.00	1.00	Stck.	3.000.00	15.000.00
1.1.2	Wartung und laufende Instandhaltung der Grundwassermessstellen	jährlich	100.00	1.00	Stck.	200.00	20.000.00
							35.000.00
1.2	Messungen und Kontrollen						
1.2.2	Beprobung und Analyse Grundwasserbeschaffenheit	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	400.00	80.000.00
							80.000.00

Pos.	Bezeichnung	Erläuterung (Häufigkeit, Kalkulationsansatz)	Häufigkeit	Menge	Bezugsgröße Einheit	Kostenansatz in €/Bezugsgröße	Gesamtkosten (netto) in €
2	Weitere Nachsorgemaßnahmen und Einrichtungen						
2.1	Jahresberichte, Auswertung, Gutachten						
2.1.1	Auswertungen / Berichte Grundwasser	jährlich	100.00	1.00	Stck.	2.500.00	250.000.00
2.1.2	Sonstige Fremdgutachten und Berichte	nach Bedarf (Ansatz: alle 20 Jahre)	5.00	1.00	psch.	15.000.00	75.000.00
							325.000.00
2.2	Infrastrukturelle Maßnahmen am Standort						
2.2.1	Erhaltung der Zugänglichkeit der Grundwassermessstellen	halbjährlich	200.00	1.00	Stck.	150.00	30.000.00
							30.000.00
2.3	Sonstige Maßnahmen						
2.3.1	Genehmigungen, Fahrt- und Reisekosten etc.		1.00	1.00	psch.	50.000.00	50.000.00
							50.000.00
							Zwischensumme (netto) 520.000.00
							Zuschlag für Unvorhergesehenes 10 % 52.000.00
							SUMME (netto) 572.000.00
							MwSt. 19 % (Stand 2007) 108.680.00
							SUMME (brutto) 680.680.00