



Standort ehemalige Zinkhütte in Dormagen-Nievenheim

Sanierungsuntersuchung



Standort ehemalige Zinkhütte in Dormagen-Nievenheim

Sanierungsuntersuchung

Auftraggeber:	RWE Power AG Liegenschaftsentwicklung Stüttgenweg 2 50935 Köln
Ansprechpartner:	Herr Martin
Bestellnummer:	4300288551-K4-564
Bestelldatum:	mündlich
<hr/>	
Auftragnehmer:	Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH Ballenpfad 18 53332 Bornheim
Projektbearbeiter:	Dr. I. Obernosterer M.Sc. S. Krämer
Projektnummer:	15.015
Berichtsdatum:	04.09.2017
Berichtsumfang:	76 Seiten 4 Anlagen



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung / Aufgabenstellung	5
2	Verwendete Unterlagen.....	6
3	Standortsituation	7
3.1	Historie	8
3.2	Untergrundsituation	8
3.3	Hochwassersituation.....	9
4	Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung.....	11
5	Vorläufige Sanierungsziele.....	16
5.1	Quellsanierung.....	17
5.2	Grundwassersanierung	18
6	Sanierungszonen	19
7	Einengung möglicher Sanierungstechniken	21
7.1	Verfahrensübersicht.....	21
7.2	Vorauswahl	23
7.3	Festlegung der Sanierungsvarianten	26
8	Erarbeitung standortspezifischer Sanierungsszenarien	26
8.1	Planungsvorgaben / Planungsrandbedingungen.....	26
8.2	Zufahrt und Baustelleneinrichtung.....	27
8.3	Arbeitsschutzmaßnahmen.....	29
8.4	Sanierungsvariante 1 Quellsanierung durch Bodenaustausch	29
8.4.1	Vorgehensweise	29
8.4.2	Rodungen	30
8.4.3	Aushub- und Verfüllarbeiten.....	30
8.4.3.1	Sanierungszone 1A Bereich der ehem. Produktionsanlagen....	30
8.4.3.2	Sanierungszone 1B ehem. Sickergruben und deren Abstrom ..	31
8.4.4	Oberflächengestaltung	34
8.4.5	Abfallentsorgung.....	34
8.4.6	Sicherung des Grundwasserabstroms.....	35
8.4.7	Zeitlicher Ablauf	37
8.4.8	Genehmigungserfordernisse.....	38
8.4.9	Kontrollen / Nachsorgemaßnahmen	38
8.4.10	Nachbesserungsmöglichkeiten	39
8.4.11	Kostenschätzung.....	39
8.5	Sanierungsvariante 2 Quellsanierung durch Oberflächenversiegelung	40
8.5.1	Vorgehensweise	40
8.5.2	Rodungen	40
8.5.3	Geländeprofilierung	40
8.5.4	Oberflächenabdichtung	42
8.5.5	Abfallentsorgung.....	43
8.5.6	Zeitlicher Ablauf	43
8.5.7	Genehmigungserfordernisse.....	44



8.5.8	Kontrollen / Nachsorgemaßnahmen	44
8.5.9	Nachsorgemaßnahmen	44
8.5.10	Kostenschätzung	45
8.6	Sanierungsvariante 3 Grundwassersanierung durch Pump+Treat	45
8.6.1	Verfahrensprinzip	45
8.6.2	Abschätzung der erforderlichen Entnahmemenge	46
8.6.3	Förderbrunnen	47
8.6.4	Grundwasserbehandlung und -ableitung	49
8.6.5	Abfallentstehung und -entsorgung	51
8.6.6	Arbeitsschutzmaßnahmen	51
8.6.7	Zeitlicher Ablauf	51
8.6.8	Genehmigungserfordernisse	52
8.6.9	Kontrollmaßnahmen	53
8.6.10	Nachsorgemaßnahmen	53
8.6.11	Kostenschätzung	53
9	Fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien	54
9.1	Verbalargumentative Bewertung	54
9.2	Nutzwertanalyse	59
9.2.1	Bewertungskriterien	59
9.2.2	Bewertung	61
10	Nutzen-Kosten-Untersuchung	62
10.1	Auswahl des Bewertungsverfahrens	62
10.2	Kosten-Wirksamkeitsanalyse	63
11	Verhältnismäßigkeitsabwägung	64
11.1	Bodenschutzrechtliche Vorgaben	64
11.1.1	Geeignetheit	64
11.1.2	Notwendigkeit	65
11.1.3	Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne	65
11.2	Zusammenfassende Bewertung	67
12	Empfehlungen zum weiteren Vorgehen	69
12.1	Abschließende Zielfestlegung	69
12.2	Handlungsempfehlung	70
13	Zusammenfassung	70

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Lageplan, Maßstab 1:2.000
Anlage 2	Grundwassermessstellen- und -gleichenplan, Maßstab 1:2.000
Anlage 3	Kostenschätzung
Anlage 4	Nutzwertanalyse



1 **Veranlassung / Aufgabenstellung**

Die RWE Power AG plant als Eigentümer des Geländes der ehemaligen Zinkhütte in Dormagen-Nievenheim eine gewerblich/industrielle Neunutzung des seit Jahren brach liegenden Geländes. In diesem Zusammenhang soll ein Konzept zur Realisierung des Vorhabens vor dem Hintergrund boden- und wasserschutzrechtlicher Anforderungen erarbeitet werden.

Das von 1913 bis 1971 betriebene Hüttengelände ist ca. 100 ha groß. Mit Einstellung des Betriebes wurden die aufgehenden Gebäude 1972/73 vollständig zurückgebaut, die unterirdischen Einbauten sind verblieben.

Das Gelände wurde bereits in der Vergangenheit in mehreren Kampagnen Untersuchungen zur Feststellung des Schadstoffinventars in Boden und Grundwasser sowie partiell auch bereits Sanierungsmaßnahmen unterzogen. Da sich seither die Rechtslage durch Einführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) maßgeblich geändert hat, wurde 2016/2017 eine Neubewertung vorgenommen.

Danach wurde für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch aktuell kein Handlungsbedarf gesehen. Während die Außenbereiche schadlos einer neuen industriellen oder gewerblichen Nutzung zugeführt werden können, ist die oberflächennahe Belastung des Produktionsbereiches planerisch zu berücksichtigen.

Im Bereich der alten Produktionsanlagen und im Abstrom der alten Sickergruben liegen nach den Maßstäben des Wasserrechts Grundwasserschäden vor, für die prinzipiell Sanierungsbedarf besteht. Die Möglichkeiten einer Sanierung sollten im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung nach den Anforderungen gemäß BBodSchV Anhang 3 geprüft werden.

Mit dieser Aufgabe betraute die RWE Power AG die Geotechnisches Büro GmbH. Die Ergebnisse werden mit dem vorliegenden Bericht dokumentiert.



2 **Verwendete Unterlagen**

Unterlagen / Literatur

- [1] Sichardt (1928): Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, insbesondere für größere Absenkungstiefen
- [2] Satzung über die Abwasserbeseitigung der Grundstücke im Stadtgebiet Dormagen (Abwassersatzung) vom 03.12.2010
- [3] Satzung der InfraStruktur Neuss AöR über die Entwässerung der Grundstücke und den Anschluss an die öffentliche Abwasseranlage - Entwässerungssatzung - vom 16.12.2010 (in der Fassung der 1. Änderungssatzung vom 28.10.2014)
- [4] Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann (06.06.2017): Standort ehemalige Zinkhütte in Dormagen-Nievenheim, Gefährdungsabschätzung und orientierende Baugrunduntersuchung

Regelwerke / Karten

- [5] DGVU Regel 101-004 (vormals BGR 128) - Kontaminierte Bereiche, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft, aktualisierte Fassung 2006
- [6] TRGS 524 Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen Technische Regel für Gefahrstoffe, Ausgabe: Februar 2010, GMBI 2010 Nr. 21 S. 419-450 (01.04.2010) zuletzt geändert und ergänzt: GMBI 2011 S. 1018-1019 [Nr. 49-51]
- [7] Baustellenverordnung vom 10. Juni 1998 (BGBl. I S. 1283), zuletzt durch Artikel 3 Absatz 2 der Verordnung vom 15. November 2016 (BGBl. I S. 2549)
- [8] LAWA Länderarbeitsgemeinschaft Wasser & LABO Länderarbeitsgemeinschaft Boden (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen.- Eigenverlag
- [9] Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20 (31.08.2004): Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln
- [10] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (2000): Anforderungen an eine Sanierungsuntersuchung unter Berücksichtigung von Nutzen-Kosten-Aspekten - Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz (MALBO), Band 11
- [11] Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie - Referat für Grundwasser und Altlasten (2007): Entscheidungshilfe Grundwassersanierung: Effizienz von Pump and Treat-Sanierungen, Dresden
- [12] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2012): Ermittlung fachtechnischer Grundlagen zur Vorbereitung der Verhältnismäßigkeitsprüfung von langlaufenden Pump-and-Treat-Maßnahmen



3 Standortsituation

Die Standort- und Untergrundsituation ist ausführlich im Bericht der Geotechnisches Büro GmbH [4] zur Gefährdungsabschätzung und orientierenden Baugrunduntersuchung beschrieben, auf den verwiesen wird. Nachfolgend wird die Situation nur soweit zusammengefasst, wie es für das Verständnis des vorliegenden Berichtes erforderlich ist.

Das ca. 100 ha große Hüttengelände befindet sich zwischen Neuss und Dormagen, ca. 3 km nordöstlich der Ortschaft Nievenheim und liegt zwischen Rhein und der BAB A57 (Abb. 3.1). Im nördlichen Geländebereich befindet sich der sog. Silbersee, eine ca. 10 m tiefe, ehemalige Kiesgrube. Der See ist im Norden mit dem Rhein verbunden. Die ursprüngliche Bebauung befand sich südlich des Sees.

Die Geländeoberfläche ist größtenteils eben und weist ein leichtes Generalgefälle in nordöstliche Richtung auf. Die Geländehöhen schwanken zwischen 34,8 mNN und 43,6 mNN. An der Südspitze des Silbersees fällt das Gelände auf kurzer Distanz um ca. 4,5 m ab. Ein Großteil der Fläche ist mit Gras, Büschen und Bäumen bewachsen und wird landwirtschaftlich, zur Eigenjagd oder zur Freizeitgestaltung (z.B. Modellflugplatz, Angelverein) genutzt.

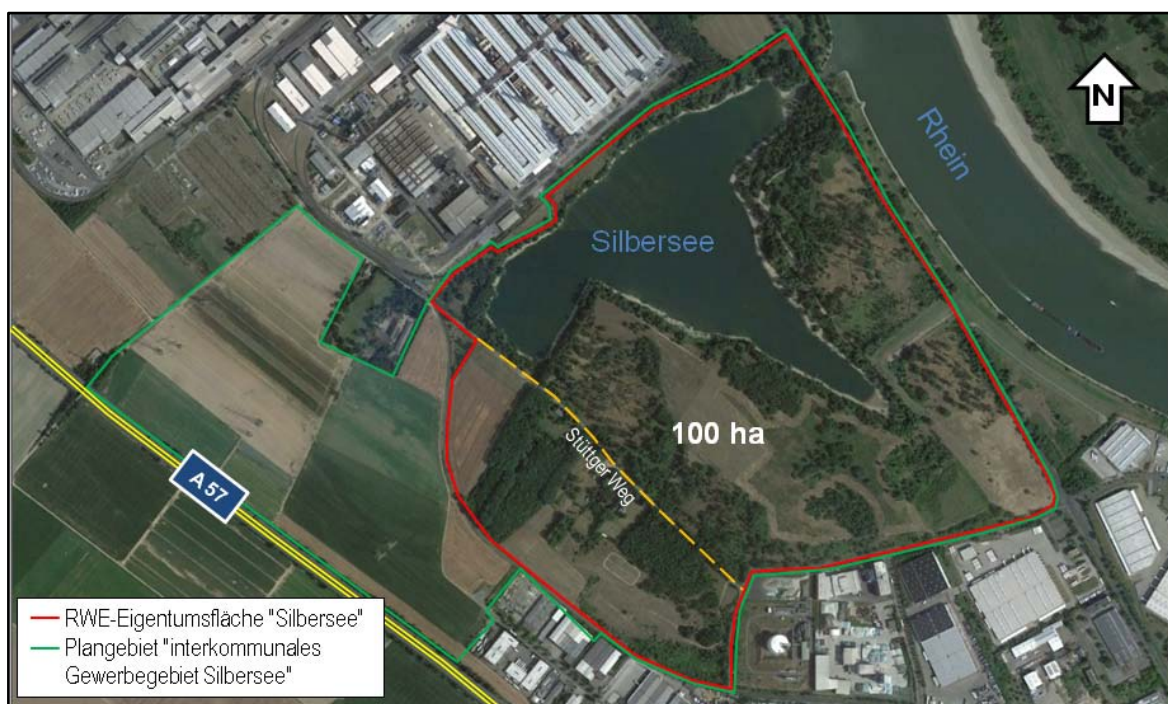


Abb. 3.1: Lage des ehemaligen Zinkhüttengeländes [4]



3.1 Historie

Der Silbersee entstand bereits um 1911 im Zuge einer Nassausgrabung zur Gewinnung von Kies und Sand.

Die Zinkhütte entstand nahezu zeitgleich. Die erste Bebauung datiert auf das Jahr 1913. Betreiber war die Rheinisch-Nassauische Bergwerks- und Hütten AG, später die Stolberger Zink AG.

Die Anlage wurde bis zum Betriebsende 1971 immer wieder technisch erweitert und ausgebaut. Die Entwicklung der Zinkhütte bis zur Stilllegung sowie die umweltrelevanten Betriebsabläufe sind im Detail in [4] dokumentiert.

3.2 Untergrundsituation

Baubedingt stehen nur im Bereich der alten Produktionsanlagen oberflächennah unterschiedlich mächtige Auffüllungen an. Während im nordöstlichen Bereich zwischen dem Silbersee und dem Rhein z.T. keine Auffüllungen angetroffen wurden (RKS 3, 5 bis 9, 11 bis 16), erreichen die Auffüllungsmächtigkeiten im Bereich der ehemaligen Bebauung südlich des Silbersees bis zu 5,60 m (RKS 24).

Die oberste natürliche Schicht bilden Auensedimente des Rheins. Lokal fehlt diese Schicht. Der Übergang zu den kiesig-sandigen pleistozänen Niederterrassensedimenten des Rheins ist fließend. Diese werden bis über 20 m mächtig. Die Oberkante der darunter folgenden tertiären Sande liegt zwischen 15 und 20 mNN und somit i.d.R. in einer Tiefe von mehr als 20 m u. GOK.

Die Rheinterrassen, die Durchlässigkeitsbeiwerte von $2 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $6 \cdot 10^{-3}$ m/s aufweisen, bilden den Hauptgrundwasserleiter. Der Grundwasserstand wird durch den Rhein beeinflusst. Im Mittel beträgt der Flurabstand zwischen 5 und 10 m u. GOK. Die Grundwasserfließrichtung ist in nordöstliche Richtung auf den Rhein gerichtet (Abb. 3.2). Bei Rheinhochwasser können jedoch influente Verhältnisse auftreten.

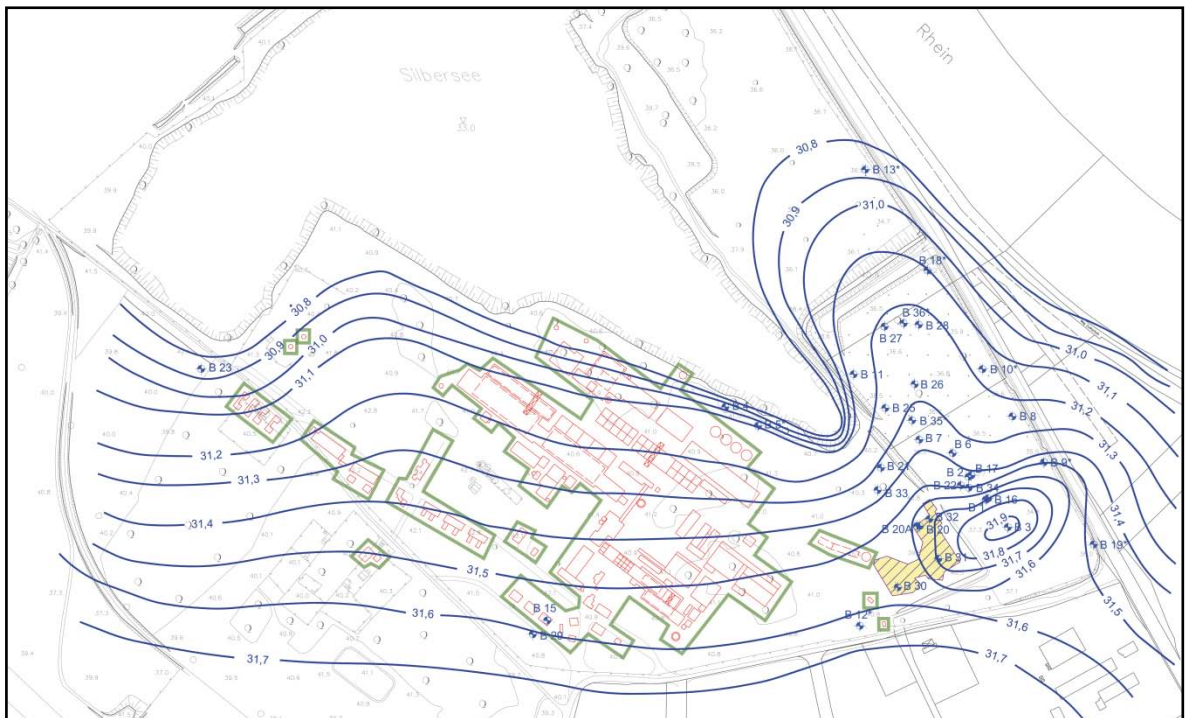


Abb. 3.2: Grundwassergleichen Stand 16.04.2016 [4]

3.3 Hochwassersituation

Die Fläche liegt teilweise im Überschwemmungsbereich des Rheins.

Im aktuellen Zustand beträgt die Geländehöhe östlich der ehemaligen Sickergruben an der tiefsten Stelle 34,8 mNN.

Bei einem häufigen Hochwasserereignis (alle 10 - 20 Jahre) wird ein Wasserstand von maximal 38,8 mNN erreicht. Der Bereich der ehemaligen Sickergruben wird damit 2 bis 4 m eingestaut (Abb. 3.3).

Bei einem hundertjährigen Hochwasserereignis wird ein Wasserstand von bis zu 40,5 mNN erreicht.

Der maximale Wasserstand, bei einem sog. "Jahrtausendhochwasser" liegt noch darüber. Er wäre im Zuge der weiteren Planungen detaillierter zu ermitteln.

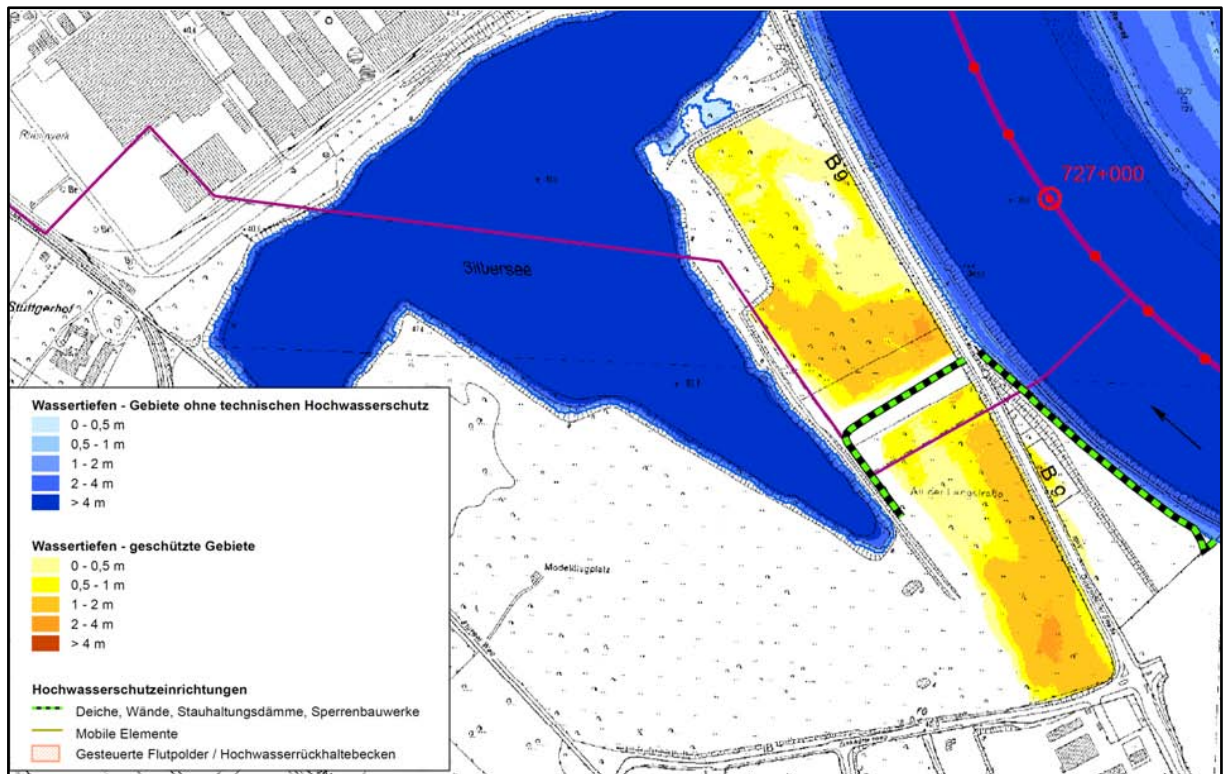


Abb. 3.3: Wassertiefen bei $HQ_{häufig}$, alle 10 bis 20 Jahre

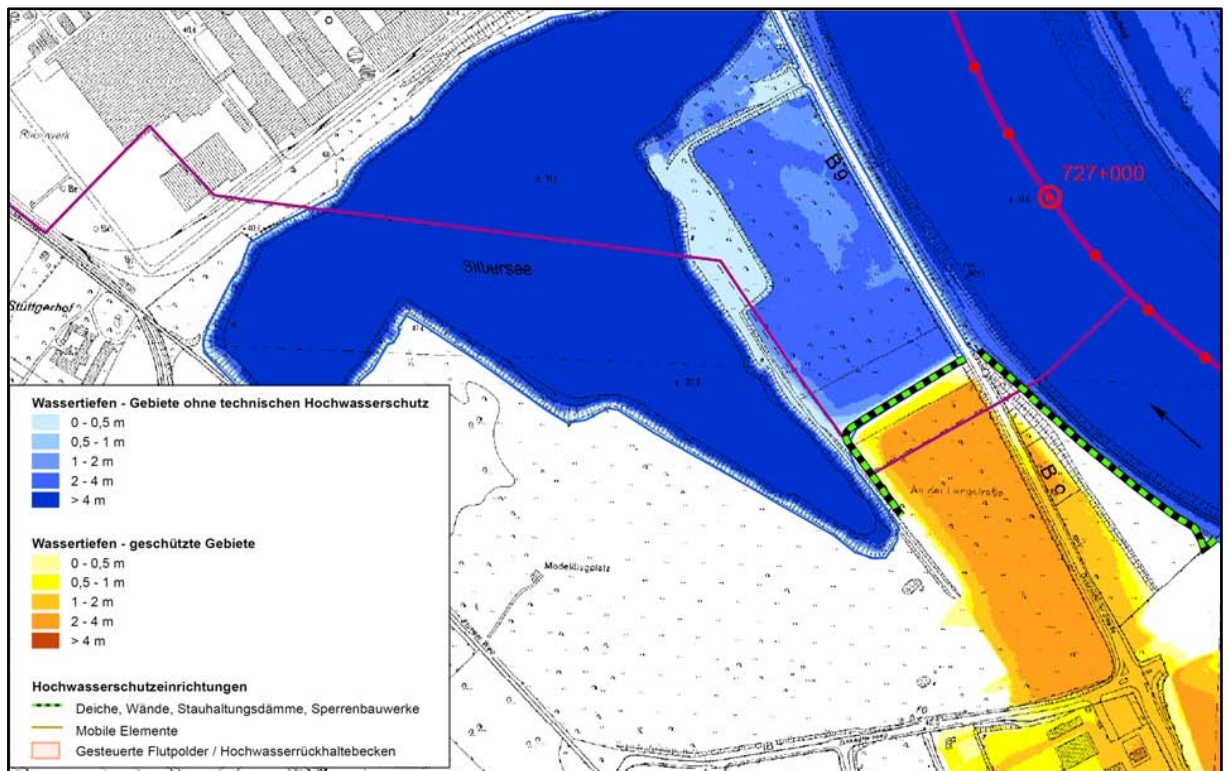


Abb. 3.4: Wassertiefen bei HQ_{100}

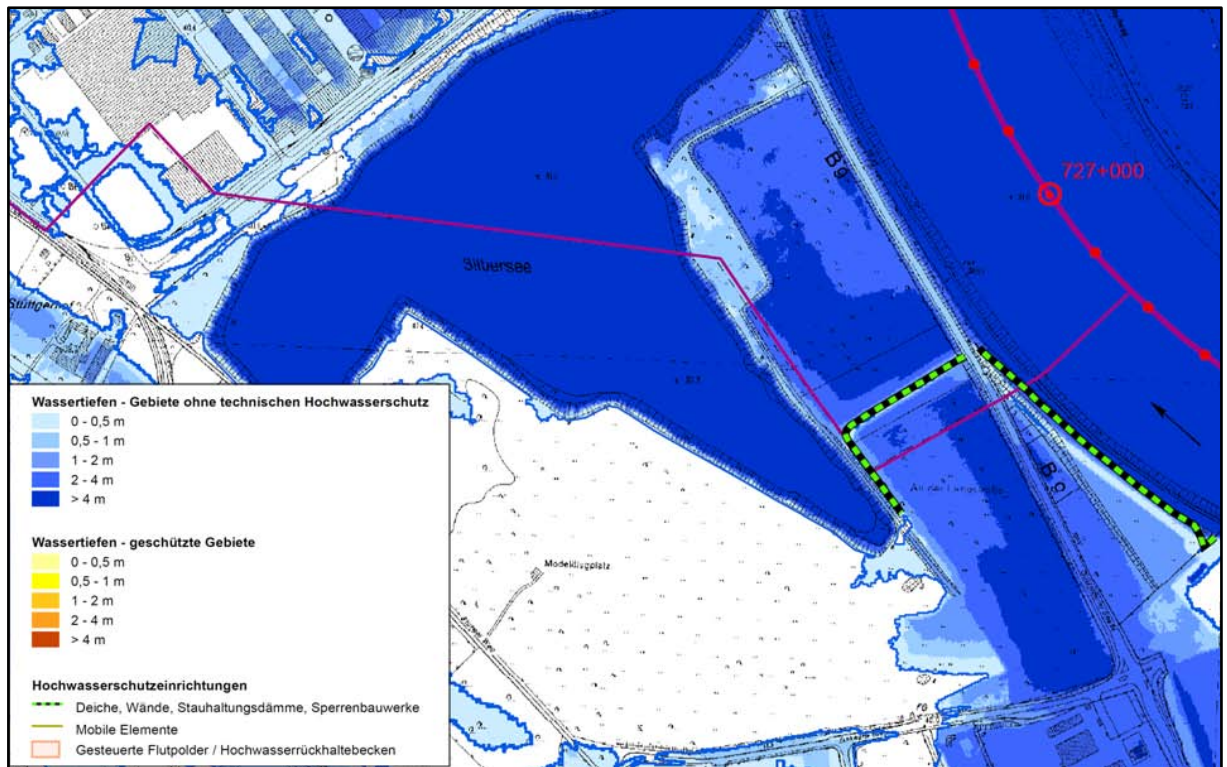


Abb. 3.5: Wassertiefen bei HQ_{extrem} ("Jahrtausendhochwasser")

4 Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung

Für die Bewertung des Geländes nach den Maßstäben des Bodenschutzrechtes waren ergänzende Untersuchungen erforderlich. Zur Untersuchung der Wirkungspfade Boden \Rightarrow Mensch und Boden \Rightarrow Grundwasser wurden Oberflächenmischproben sowie 50 Rammkernsondierungen und parallel schwere Rammsondierungen durchgeführt. Die Beschaffenheit des Grundwassers wurde einerseits über die bestehenden Messstellen und andererseits über Grundwassersondierungen untersucht. Die chemischen Laboruntersuchungen umfassten Schwermetallanalysen, PAK- und PCB-Untersuchungen sowie ICP- und GC/MS-Screenings.

Zur Erkundung der Fundamente der ehemaligen Zinkhütte wurden zusätzlich 10 Bagger-schürfe durchgeführt. Alle Schürfe reichten bis zur Unterkante der Fundamente, teilweise bis in den gewachsenen Boden. In allen Aufschlüssen wurden - teilweise unversehrte - Fundamentreste vorgefunden.



Für die Durchführung der Untersuchungen wurden drei Teilflächen unterschieden (Abb. 4.1). Im Bereich der Fläche 1 im Westen befanden sich zu Betriebszeiten lediglich Wohnbauten und Freiflächen. Die Fläche 2 umfasst das zentral gelegene Gelände der alten Produktionsanlagen der Zinkhütte. Die östlich gelegene Fläche 3 war ebenfalls größtenteils eine Freifläche. Darin liegt jedoch als "Sonderfläche" der ca. 1 ha große Bereich der ehemaligen Sickergruben, der heute an der Oberfläche abgedichtet ist.

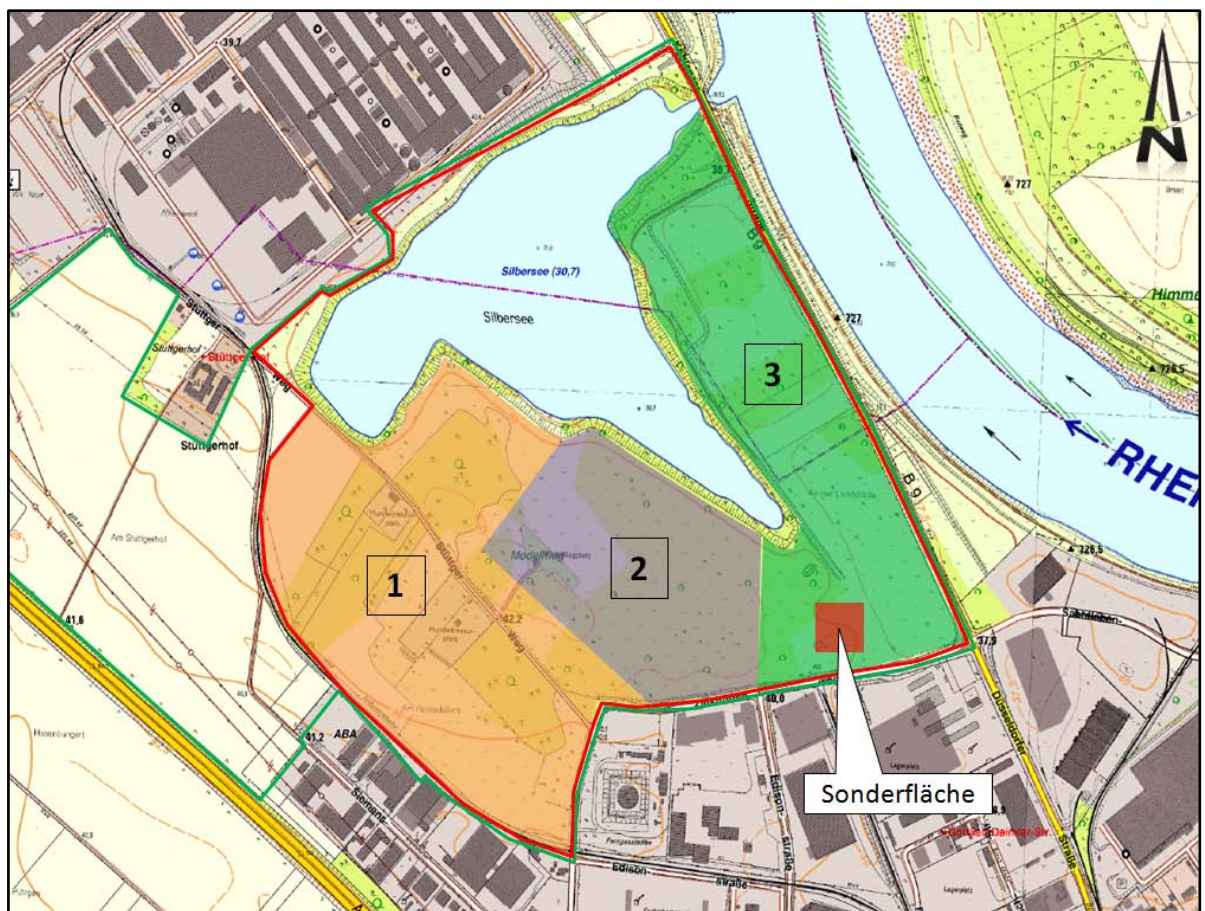


Abb. 4.1: Flächeneinteilung des Untersuchungsgeländes

Im Bereich der alten Bebauung wurde aufgrund der Bauwerksreste auf die Bestimmung der Oberbodenqualität verzichtet. Die Oberflächenproben aus den ehemals unbebauten Bereichen waren unauffällig. Lediglich auf dem Teilstück zwischen ehemaliger Bebauung und den ehemaligen Sickergruben überschreiten die Blei- und Quecksilberkonzentrationen die Prüfwerte nach BBodSchV für Park- und Freizeitanlagen. Arsen überschreitet die Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke deutlich. Dieser Bereich ist bei weiteren Betrachtungen dem Bereich der ehemaligen Bebauung hinzuzufügen.



Die Proben aus den Rammkernsondierungen ergaben vor allem im Bereich der ehemaligen Bebauung hohe Schwermetallgehalte. Insbesondere die Konzentrationen an Blei (max. 31.400 mg/kg in RKS 24/2), Cadmium (max. 275 mg/kg in RKS 25/2), Kupfer (max. 4.670 mg/kg in RKS 32/2), Quecksilber (max. 2.760 mg/kg in RKS 24/2), Zink (max. 83.400 mg/kg in RKS 33/2) sowie Arsen (max. 3.300 mg/kg in RKS 27b/2) liegen oberhalb des Zuordnungswertes Z 2. Die Konzentrationen nehmen mit der Tiefe hin jedoch rasch ab. Organische und andere anorganische Belastungen liegen nicht vor oder können vernachlässigt werden.

Die Bodenbelastungen in den Hauptbelastungsbereichen teilen sich z.T. dem Grundwasser mit. Dabei ist der Bereich der alten Produktionsanlagen, in dem Zink und Cadmium als Leitparameter auftreten, vom Abstrom der alten Sickergruben zu unterscheiden, in dem neben Zink und Cadmium vor allem Arsen Leitparameter ist. Anders als im ehemaligen Produktionsbereich ist der Stoffeintrag auf Kontaktgrundwasser zurückzuführen. Die Konzentrationen auf Fläche 1 sind unauffällig. Die Belastungsbereiche sind in den Abbildungen 4.2 bis 4.4 dargestellt.

Im Bereich der ehemaligen Bebauung sind Cadmium und Zink Leitparameter. Hier liegen die Maximalkonzentrationen jeweils in Grundwassersondierung 28. Cadmium hat einen Maximalwert von 1,18 mg/l und Zink von 23,1 mg/l. Diese überschreiten sehr deutlich die Prüfwerte der BBodSchV für den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser. Auch im Bereich der ehemaligen Sickergruben überschreitet Cadmium mit einer Maximalkonzentration von knapp 0,1 mg/l und Zink mit 2,7 mg/l die Prüfwerte. Arsen ist in diesem Bereich jedoch Hauptbelastungsparameter mit Konzentrationen bis zu 1,84 mg/l.

In beiden Bereichen sind auch die Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser deutlich überschritten. Nach den Maßstäben des Wasserrechts liegen damit Grundwasserschäden vor, für die prinzipiell Sanierungsbedarf besteht.

Für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch wird aktuell kein Handlungsbedarf gesehen. Während die Außenbereiche schadlos einer neuen industriellen oder gewerblichen Nutzung zugeführt werden können, ist die oberflächennahe Belastung des Produktionsbereiches planerisch zu berücksichtigen.

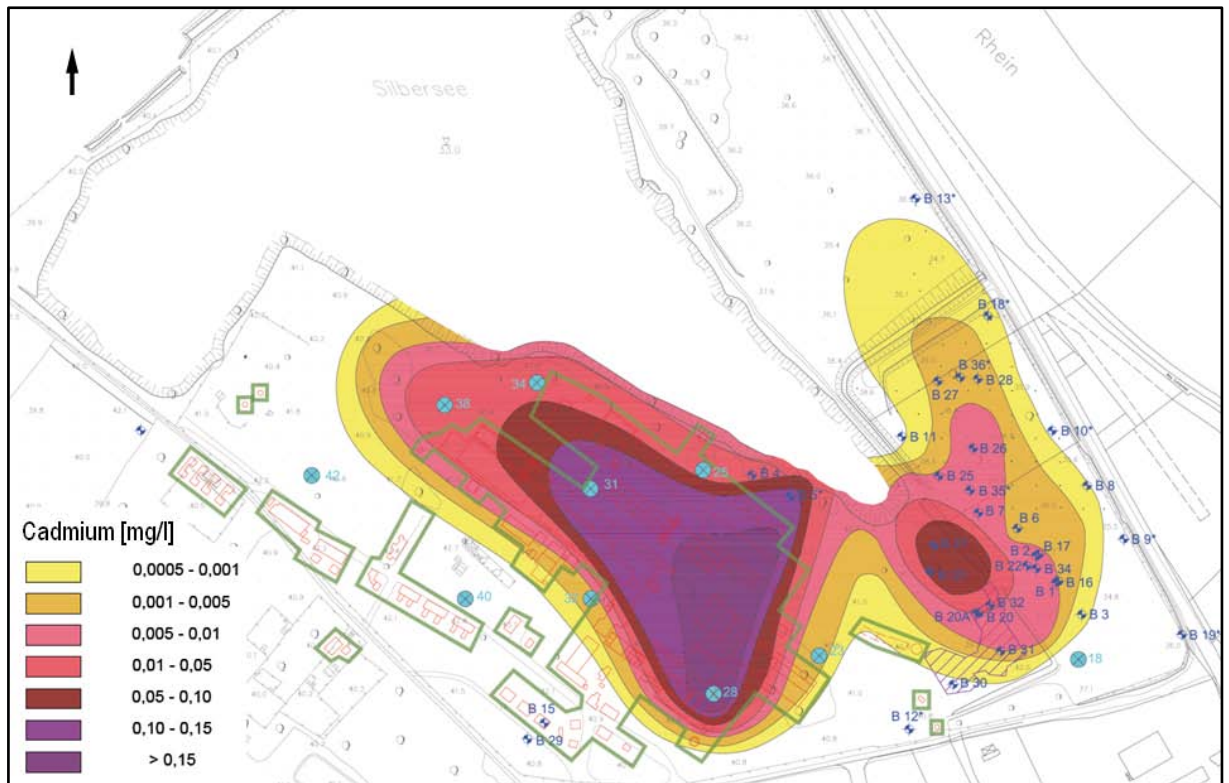


Abb. 4.2: Schadstofffahne im Grundwasser - Cadmium

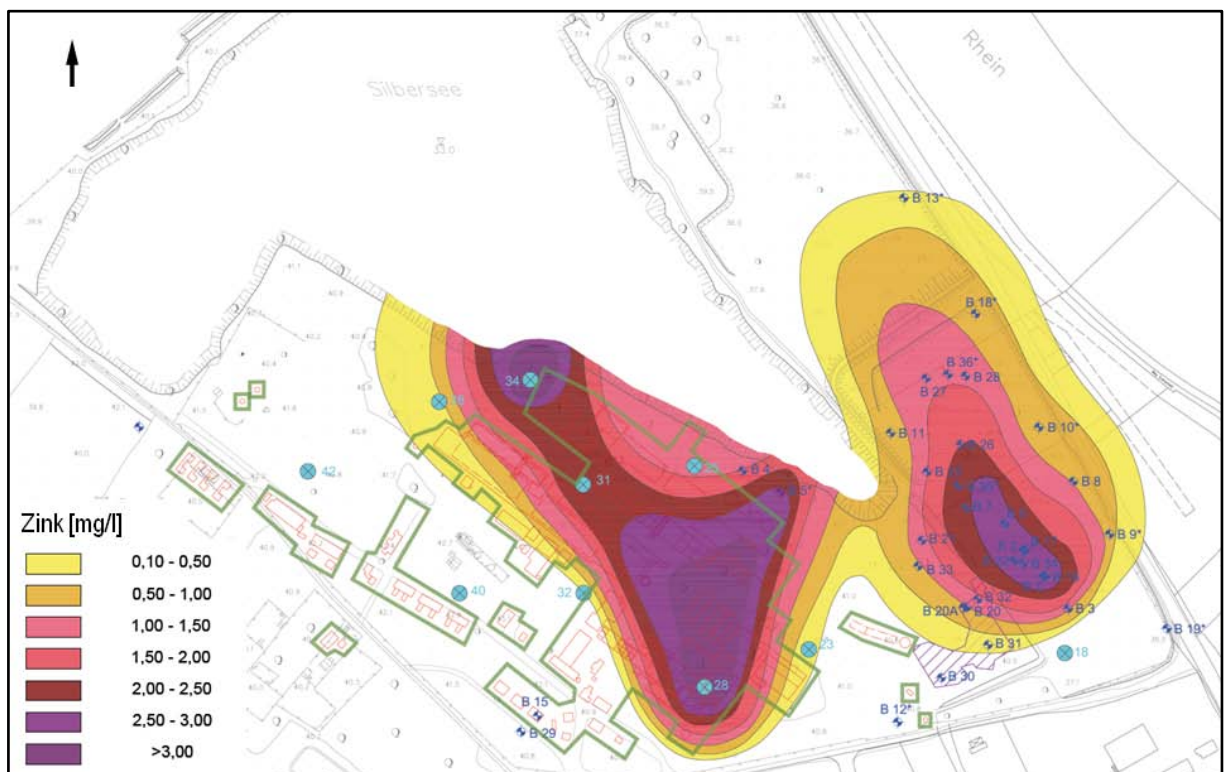


Abb. 4.3: Schadstofffahne im Grundwasser - Zink

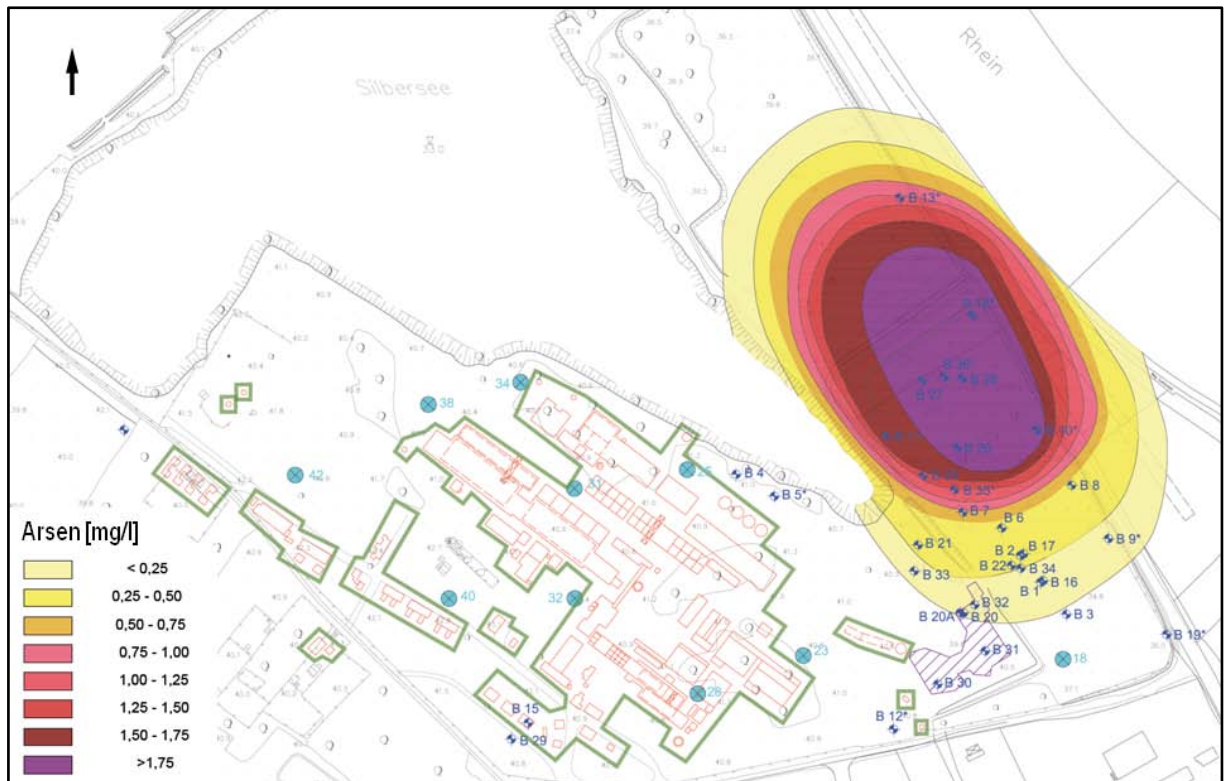


Abb. 4.4: Schadstofffahne im Grundwasser - Arsen

Die Betrachtung der in das Grundwasser eingetragenen bzw. mit dem Grundwasser transportierten Stofffrachten im aktuellen und im zukünftigen Zustand kann nicht als nur lokal begrenzt und auf Dauer gering eingestuft werden. Während im Bereich der ehem. Produktionsanlagen der Stoffeintrag in das Grundwasser nahezu ausschließlich über den Sickerwasserpfad erfolgt, findet der Stoffeintrag im Bereich der ehem. Sickergruben über das Kontaktgrundwasser statt (Abb. 4.5).

Im ehem. Produktionsbereich wurden Grundwassersondierungen durchgeführt, die als Untersuchung am Ort der Beurteilung eingestuft werden können. Die Ergebnisse können unmittelbar mit den Prüfwerten der BBodSchV verglichen werden. Diese werden vor allem bei den Parametern Cadmium und Zink sowie teilweise auch Nickel überschritten. Damit ist ein relevanter Stoffeintrag in das Grundwasser nachgewiesen.

Die aus dem Bereich der ehemaligen Sickergruben vorliegenden Grundwasseruntersuchungen belegen, dass auch hier für verschiedene Parameter die Geringfügigkeitsschwellen und auch die Prüfwerte überschritten sind (vor allem Arsen, Cadmium, Zink). Anders als

im ehemaligen Produktionsbereich ist der Stoffeintrag auf Kontaktgrundwasser zurückzuführen. Ursächlich sind ehemalige Stoffeinträge durch die Versickerung von Abwässern, die z.T. an Eisen- und Manganüberzügen des Korngerüstes adsorbiert wurden. Dieser Effekt wurde durch die Infiltration von Kaliumpermanganat in den 1970er Jahren noch verstärkt. Der lösliche Schadstoffanteil im Grundwasser - vor allem Arsenverbindungen - wurde in schwerer lösliche Verbindungen wie z.B. Arsenate überführt und somit im Boden fixiert. Von dort lösen sich die Verbindungen entsprechend der jeweiligen Lösungsgleichgewichte. Die Stoffkonzentrationen im Grundwasser haben zwar abgenommen, die Lösungsraten führen aber immer noch zu deutlichen Überschreitungen der Prüfwerte.

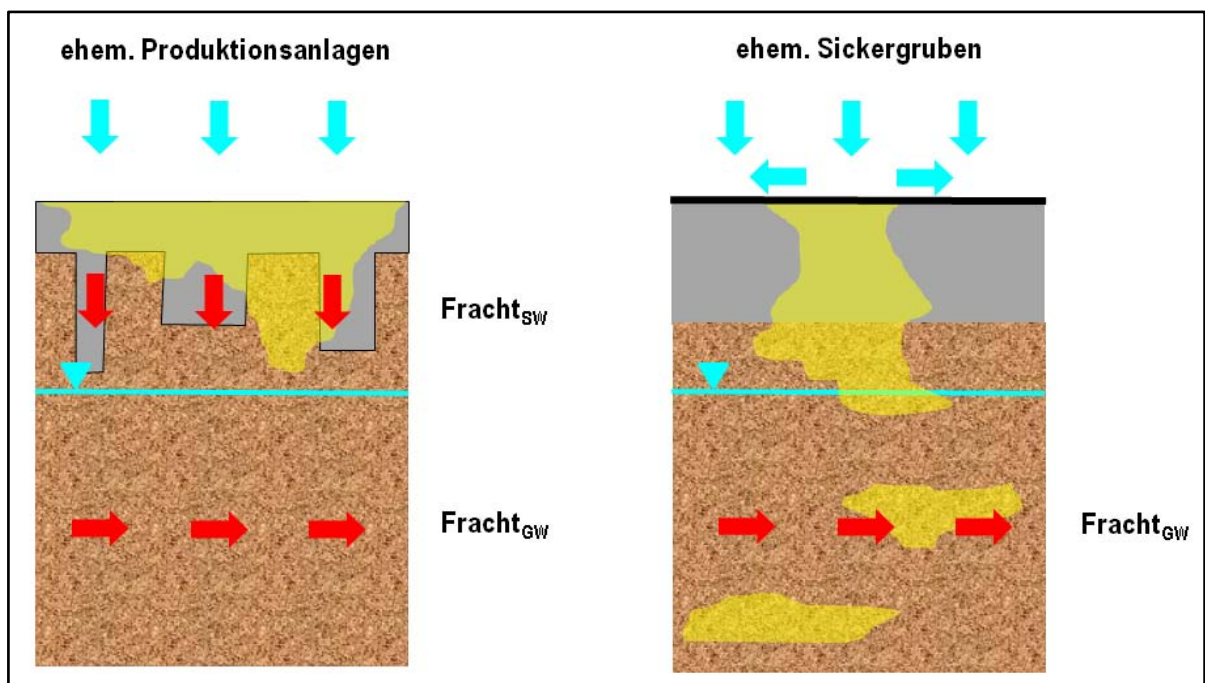


Abb. 4.5: Schema der Boden- und Grundwasserverunreinigung

5 Vorläufige Sanierungsziele

Um das erforderliche Maß einer Sanierung ableiten zu können, sind zunächst die Ziele der Sanierung festzulegen. Bundeseinheitliche Kriterien zur Festlegung von Sanierungszielen existieren nicht. § 4 Abs. 3 BBodSchG gibt lediglich vor, dass Altlasten, schädliche Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen so zu sanieren sind, dass dauerhaft keine Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit bestehen. Die Konkretisierung dessen ist hoheitliche Aufgabe der zuständigen Behörde.



Grundsätzlich können qualitative und quantitative Sanierungsziele formuliert werden.

Oberstes qualitatives Ziel einer Sanierung ist die Abwehr von Gefahren für Leben und Gesundheit des Menschen. Weiteres Sanierungsziel ist die Abwehr von Gefahren für die natürliche Umwelt - insbesondere das Grundwasser - unter Berücksichtigung der vorhandenen oder geplanten Nutzung(en) eines Standortes.

Bei der Festlegung von Sanierungszielen ist es darüber hinaus relevant, welcher Zustand sich unter Berücksichtigung begrenzter finanzieller und technischer Mittel mit einem vertretbaren Aufwand herstellen lässt. Die Sanierung soll dabei unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit auch dem Kriterium der Nachhaltigkeit genügen, um Problemverlagerungen in die Zukunft entgegen zu wirken.

Die Maßnahmen sollen ferner praxiserprobt und zeitnah technisch umsetzbar sein, um kurzfristig eine Verbesserung der Gefahrensituation herbeizuführen. Der Erfolg der realisierten Maßnahmen soll durch geeignete und im Rahmen der Sanierungsplanung mit zu entwickelnde Prüfmechanismen auch bei langfristiger Perspektive kontrollierbar und damit dokumentierbar sein.

Vor diesem Hintergrund werden für die Festlegung der Sanierungsziele vorläufig folgende Vorschläge unterbreitet.

5.1 Quellsanierung

Nach Abschluss der Sanierung soll die planungsrechtlich zugelassene Nutzung des Geländes gefahrlos und ohne Auflagen möglich sein. Planungsrechtlich zugelassen ist eine gewerblich/industrielle Nutzung. Für den südlichen Abschnitt liegt bereits ein Bebauungsplan vor.

Sanierungsziel für den Wirkungspfad **Boden⇒Mensch** ist zunächst die Einhaltung der Prüfwerte der BBodSchV für Industrie- und Gewerbegrundstücke in den oberen 10 cm des Bodenprofils. Da ein solcher Zustand dauerhaft aber kaum gewährt werden kann, ist entweder die Einhaltung der relevanten Prüfwerte über eine größere Bodenmächtigkeit (≥ 60 cm) oder die vollständige Unterbindung eines Bodenkontaktes anzustreben.



Aufgrund der heterogenen, teils sehr hohen oberflächennahen Belastungen in den ehemals bebauten Bereichen ist hier anzustreben, den Kontakt und die Aufnahme kontaminierten Bodens durch geeignete technische Maßnahmen am Standort sicher und nachhaltig auszuschließen.

In Bezug auf den Wirkungspfad **Boden⇒Grundwasser** ist in der Regel durch geeignete technische Maßnahmen sicherzustellen, dass ein Eintrag von Schadstoffen aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser sicher und nachhaltig ausgeschlossen werden kann.

5.2 Grundwassersanierung

Die Festlegung der Sanierungsziele im Falle eines eingetretenen Grundwasserschadens stellt einen iterativen Prozess dar. Es ist grundsätzlich zweckmäßig, zuerst die Verhältnismäßigkeit der Beseitigung der Schadstoffquelle zu überprüfen, da sich in Abhängigkeit vom Ergebnis dieser Betrachtung die Ableitung der Sanierungsziele für das kontaminierte Grundwasser ändern kann. Erst im Anschluss ist standortspezifisch u.a. in Abhängigkeit von den Aufwendungen für die Dekontamination, von den vorhandenen Grundwasserressourcen und den bestehenden Grundwassernutzungen die Frage nach den Sanierungszielen für das Grundwasser zu beantworten.

Für den Grundwasserschaden gilt im ersten Ansatz, dass er durch technische Maßnahmen zu beseitigen oder soweit zu verringern ist, dass eine deutliche Konzentrationsminderung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in überschaubaren Zeiträumen erfolgt.

Schadensbeseitigung würde die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes bedeuten. Eine vollständige Wiederherstellung des Ausgangszustandes ist in aller Regel in endlichen Zeiträumen aber nicht möglich, da eine Grundwasserkontamination nicht nur die Beschaffenheit des Grundwassers ändert, sondern auch die gesamten Aquifereigenschaften. So sind z.B. die durch die in-situ chemische Oxidation ausgefällten Arsenate nicht vollständig aus dem Korngerüst lösbar. Die Partikel bleiben im Korngerüst haften, somit findet langfristig weiterhin eine Lösung und Freisetzung von Schadstoffen statt.



Da eine absolut vollständige Dekontamination des Grundwasserschadens mit verhältnismäßigen Mitteln kaum erreicht werden dürfte, wird empfohlen, im Wesentlichen qualitative Sanierungsziele zu verfolgen:

- Die Qualität des Grundwassers darf sich im Vergleich zum Ist-Zustand nicht relevant nachteilig verschlechtern, d.h. eine weitere Ausbreitung der Schadstoffe ist wirksam und messbar zu unterbinden (Verschlechterungsverbot).
- Langfristig ist gemäß WRRL eine regressive, d.h. rückläufige Entwicklung der Schadstoffgehalte in allen Messstellen zu erreichen.
- Der Abstrom von kontaminiertem Grundwasser ist auf ein Minimum zu verringern. Als Leitwert gilt eine Reduzierung der Schadstofffracht um mindestens ca. 80 %.
- Für verbleibende Restkontaminationen ist zu sichern, dass für das Grundwasser und sonstige im Abstrom liegende Schutzgüter dauerhaft keine Gefahren ausgehen.

6 Sanierungszonen

In Bezug auf die Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen sind generell Quellbereiche (belastete Bodenbereiche) und Grundwasserschäden zu unterscheiden.

Am Standort existieren unterschiedliche **Quellbereiche** (Abb. 6.1). Innerhalb der alten Produktionsanlagen ist der Boden mit Schwermetallen belastet. Die Belastungen nehmen zur Tiefe hin ab. Ab einer Tiefe von 4 bis 6 m halten die Konzentrationen die Vorsorgewerte der BBodSchV ein. Grundwasser steht hier in ca. 10 m u. GOK an. Die Belastungen liegen damit vollständig in der ungesättigten Bodenzone.

Im Bereich der alten Sickergruben wurden Abwässer versickert, die hoch mit Schwermetallen, vor allem Arsen belastet waren. In der Folge ist der Boden unmittelbar unterhalb der Gruben kontaminiert. Die Gruben wurden später mit belastetem Abrisschutt verfüllt. Hauptbelastungsparameter sind Arsen, Blei und Zink. Um Stoffeinträge aus den belasteten Bereichen zu minimieren, wurde der Bereich 2008 durch Aufbringen einer Oberflächenabdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen bereits saniert. Die Bodenbelastungen in der ungesättigten Bodenzone sind daher aktuell nicht mehr als Quellbereich zu werten, wohl aber der darunter folgende Bereich in der ungesättigten Bodenzone. Zur Sanierung des seinerzeit bereits bekannten Grundwasserschadens wurden zwischen November



1976 und Juni 1977 in mehreren Brunnen (B6 - B11, B13, B16 - B18, B20 - B22, B25 - B28) insgesamt 29 t Kaliumpermanganat in den Untergrund eingebracht. Durch die Infiltration wurden die Schadstoffe in Form von Arsenaten im Boden fixiert. Diese Schadstoffpools in der gesättigten Bodenzone stellen heute Sekundärquellen im Boden dar.



Abb. 6.1: Abgrenzung von Sanierungszonen

In Bezug auf das Grundwasser sind ebenfalls zwei **Grundwasserschadensbereiche** zu unterscheiden. Im Vordergrund steht der Abstrom der ehemaligen Sickergruben. Der belastete Grundwasserbereich ist auf die Halbinsel zwischen Silbersee und Rhein beschränkt. Hauptbelastungsparameter sind hier Arsen, Cadmium und Zink. Im Bereich der alten Produktionsanlagen existiert ein zweiter Schadensbereich mit Cadmium, Zink und Nickel. Die Schadstofffahne erstreckt sich über den ehemals bebauten Bereich bis zum Silbersee.



Für die nachfolgenden Überlegungen werden damit folgende Sanierungszonen unterschieden:

- **Sanierungszone 1 Quellbereiche**

- ⇒ **Sanierungszone 1A** Wasserungesättigte Bodenzone im Bereich ehem. Produktionsanlagen
(ca. 175.000 m², ca. 0,875 Mio. m³ bzw. ca. 1,58 Mio. t)
- ⇒ **Sanierungszone 1B** Ungesättigte und gesättigte Bodenzone im Bereich der ehem. Sickergruben und deren Abstrom
(ca. 135.000 m², 2,3 Mio. m³ bzw. 4,1 Mio. t)

- **Sanierungszone 2 Grundwasserschäden**

- ⇒ **Sanierungszone 2A** ehem. Produktionsanlagen (175.000 m²)
- ⇒ **Sanierungszone 2B** ehem. Sickergruben (ca. 135.000 m²)

7 Einengung möglicher Sanierungstechniken

7.1 Verfahrensübersicht

Für die Sanierung von Altlasten steht eine große Bandbreite an Verfahren zur Verfügung, die in unterschiedlichem Maße einsetzbar und praxiserprobt sind. Eine Übersicht gibt Abbildung 7.1 ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Die Einsatzmöglichkeiten eines Sanierungsverfahrens variieren mit den jeweiligen Randbedingungen und sind für jeden Einzelfall vorab zu prüfen. Kriterien für die Vorauswahl von Sanierungsverfahren sind:

- die schadstoff-, boden- und standortspezifische Eignung der Verfahren (insbesondere bei Dekontaminationsverfahren)
- die wirkungsspezifische Eignung der Verfahren (insb. bei Sicherungsverfahren)
- offensichtliche Ausschlusskriterien (z.B. fehlende technische Verfügbarkeit, fehlende technische Umsetzbarkeit, nicht vorhandene Genehmigungsfähigkeit, Zeitvorgaben)
- Entwicklungsstand und Sicherheit
- langfristige Wirksamkeit
- die Eignung von Verfahrenskombinationen.

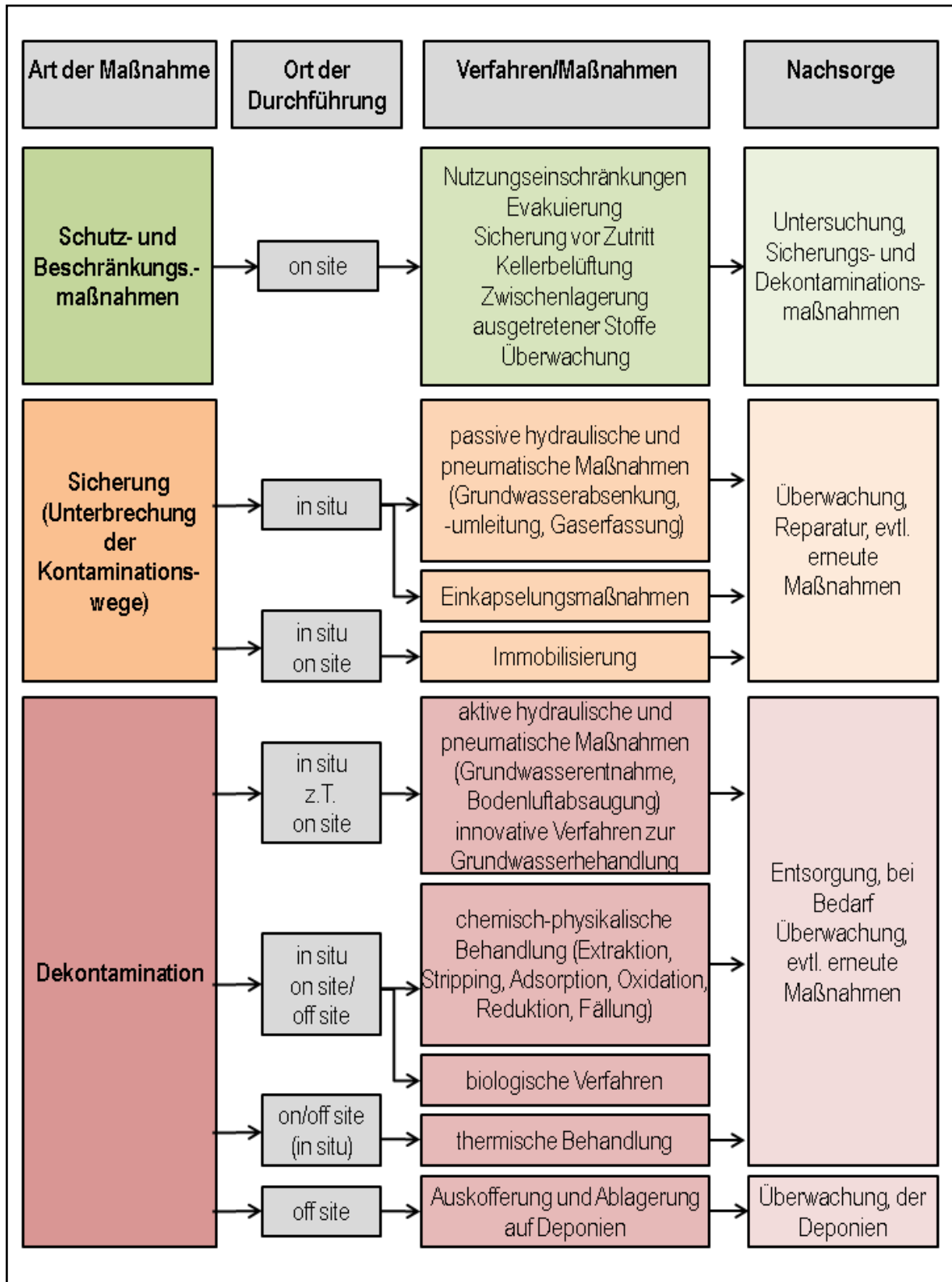


Abb. 7.1: Übersicht der Verfahren zur Altlastsanierung



7.2 Vorauswahl

Die möglichen Sanierungsvarianten sind in Maßnahmen zur Bodensanierung und Maßnahmen zur Grundwassersanierung zu unterscheiden. Da der Belastungsbereich im Boden relativ eindeutig abgegrenzt werden kann und durch den Rückbau der Betriebsgebäude vollständig zugänglich ist, steht die Bodensanierung im Vordergrund.

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen

Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen sind derzeit bereits vorhanden. Die Fläche ist umzäunt und nicht öffentlich zugänglich. Als dauerhafte Sicherungsmaßnahmen scheiden derartige Maßnahmen allerdings aus, da geplant ist die Fläche einer gewerblichen Nutzung zuzuführen.

Sicherungsmaßnahmen

Pneumatische Sicherungsmaßnahmen scheiden aufgrund des chemisch-physikalischen Verhaltens der Leitparameter aus.

Theoretisch wären hydraulische Sicherungsmaßnahmen denkbar. Diese kämen nur für die Sanierung der Grundwasserschäden in Betracht. Sie sollten verhindern, dass kontaminiertes Wasser abfließt. Da der Grundwasserabstrom aus dem Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen durch den Silbersee angeschnitten wird, in dem selbst keine Belastungen nachgewiesen werden, macht eine hydraulische Sicherung keinen Sinn. Ähnlich verhält es sich auch für den Bereich der ehemaligen Sickergruben. Von hier zieht sich zwar eine Schadstofffahne über die durch den Silbersee und den Rhein gebildete Halbinsel, die aber auch von beiden Gewässern an der weiteren Ausbreitung gehindert wird. Wasserwirtschaftliche Nutzungen werden nicht gefährdet.

Neben hydraulischen Maßnahmen bieten sich bevorzugt **Einkapselungsverfahren** an. Dabei ist zwischen horizontalen und vertikalen Abdichtungselementen zu unterscheiden.



Horizontale Dichtungselemente werden nach dem Grad der Abdichtungsfunktion wiederum Oberflächenabdeckungen und Oberflächenabdichtungen unterschieden. Eine Oberflächenabdeckung hat in erster Linie die Schaffung geregelter Abflussverhältnisse zum Ziel, so dass die Infiltration von Oberflächenwasser minimiert wird. Eine Oberflächenabdichtung ist nahezu oder vollständig konvektionsdicht. Für Ablagerungen, die unter das Abfallrecht fallen (Deponien), werden in Abhängigkeit der Schadstoffbelastungen des abgelagerten Materials einlagige oder mehrlagige Oberflächenabdichtungen gefordert. Dabei können mineralische oder kunststofftechnische Materialien bzw. Kombinationen aus beidem zum Einsatz kommen. Im vorliegenden Fall kommt aufgrund der geplanten Nutzung als Gewerbegebiet bevorzugt eine Oberflächenabdichtung durch Bebauung in Frage.

Eine Oberflächenabdichtung dient generell nur der Sicherung von Schadstoffquellen in der ungesättigten Bodenzone. Damit ist sie geeignet zur Sicherung der Sanierungszone 1A, nicht aber der Sanierungszone 1B. Im Bereich der ehemaligen Sickergruben (1B) ist bereits eine Oberflächenabdichtung vorhanden.

Ragt die Schadstoffquelle bis in die wassergesättigte Bodenzone, ist - in der Regel neben einer Oberflächenabdichtung - auch eine vertikale Abdichtung erforderlich. Innerhalb des umschlossenen Bereiches ist zusätzlich eine Grundwasserhaltung zu betreiben, die einen permanent nach innen gerichteten hydraulischen Gradienten sicher stellt. Dem Prinzip nach wäre eine solche Maßnahme zur Sicherung des Abstrombereiches der ehemaligen Sickergruben möglich, die sich aufgrund der seinerzeitigen In-situ-Oxidation durch Sekundärquellen aus Arsenoxiden auszeichnen. Eine Wasserhaltung innerhalb eines abgedichteten Troges würde angesichts der Größe der zu umschließenden Flächen und der speziellen hydrogeologischen Verhältnisse aber wenig sinnvoll sein. Die zu fördernde Wassermenge für die Einstellung eines allseits nach innen gerichteten hydraulischen Gradienten wäre größer als eine hydraulische Sicherung im Abstrom. Auf sehr aufwändige vertikale Dichtungen kann daher verzichtet werden.

Auch eine Verfestigung des Bodens (**Immobilisierung**) wäre dem Prinzip nach sowohl im Bereich der alten Produktionsanlagen als auch im Bereich der alten Sickergruben denkbar. Dagegen sprechen jedoch die noch vorhandenen, teilweise unversehrten unterirdischen Einbauten sowie die enormen Abmessungen der Bereiche. Eine solche Methode wird daher von vornherein als unwirtschaftlich ausgeschlossen und nicht weiter betrachtet.



Dekontaminationsmaßnahmen

Prinzipiell wäre auch eine Dekontamination des Standortes möglich. Die Dekontamination der Quellbereiche käme einem Bodenaustausch gleich. Dabei würden alle belasteten Böden vollständig aufgenommen und in dafür zugelassenen Anlagen entsorgt. Die Baugruben würden mit sauberem Bodenaushub wieder aufgefüllt.

Für die Dekontamination des Grundwassers kommen letztlich nur hydraulische Verfahren in Betracht. Würde es gelingen, eine Pump+Treat-Maßnahme möglichst im Zentrum der Belastungen zu platzieren, könnte u.U. ein nennenswerter Anteil der Schadstoffmasse rückgewonnen werden, so dass ein solche Maßnahme nicht nur Sicherungs-, sondern auch eine Dekontaminationsfunktion haben würde. Die Erfahrungen haben bislang aber gezeigt, dass bei einer großen Anzahl der in Betrieb befindlichen Pump+Treat-Maßnahmen sehr lange Laufzeiten erforderlich sind und entsprechend hohe Kosten anfallen.

Alternativ können innovative Technologien zum Einsatz kommen, mit deren Hilfe sich die Sanierungszeiträume verkürzen und die Kosten verringern lassen. Grundsätzlich stehen biologische, physikalische oder chemische Verfahren zur Verfügung. Biologische Verfahren dienen dem Schadstoffabbau, physikalische Verfahren steigern die Mobilität der Schadstoffe und chemische Verfahren zerstören sie. Biologische Verfahren und physikalische Verfahren wie z.B. Air-Sparging eignen sich überwiegend für organische Schadstoffe wie Mineralöle, BTEX-Aromaten oder LHKW. Auf die hier vorliegenden Schwermetallbelastungen sind sie nicht anwendbar.

Ein chemisches Verfahren wurde auf dem Standort bereits 1976/77 in Form einer in-situ-chemischen Oxidation angewandt. Der Hauptbelastungsparameter Arsen sollte durch Zugabe von Kaliumpermanganat in unlösliche Arsenoxide überführt werden. Die Arsenkonzentrationen konnten zwar wirksam reduziert werden, allerdings wurde Arsen in Form von Arsenaten ausgefällt, die noch heute als Sekundärquelle im tieferen Grundwasserleiter nachwirken. Die Technik hat sich damit als nicht ausreichend erwiesen, weshalb eine erneute Anwendung nicht sinnvoll ist.

Insgesamt ist festzuhalten, dass innovative Sanierungsmethoden zur In-situ-Sanierung nicht sinnvoll angewendet werden können, weshalb sie im Folgenden nicht weiter betrachtet werden.



7.3 Festlegung der Sanierungsvarianten

Aus dem Vorstehenden leitet sich ab, dass die Möglichkeiten einer effektiven Sanierung begrenzt sind. Sie beschränken sich auf die klassischen Verfahren der Auskoffnung, Einkapselung und der hydraulischen Sanierung.

Für die nachfolgenden Sanierungsüberlegungen werden die folgenden Szenarien einer vertieften Betrachtung unterzogen:

Sanierungszone 1

- **Sanierungsvariante 1** Quellsanierung durch Bodenaustausch
- **Sanierungsvariante 2** Quellsanierung durch Oberflächenversiegelung

Sanierungszone 2

- **Sanierungsvariante 3** Grundwassersanierung durch Pump+Treat

8 Erarbeitung standortspezifischer Sanierungsszenarien

8.1 Planungsvorgaben / Planungsrandbedingungen

Bei einer Sanierung des Standortes sind die folgenden Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Auf den Bereich der ehemaligen Sickergruben wurde 2008 gemäß dem öffentlich-rechtlichen Vertrag zwischen dem Rhein-Kreis Neuss und der RWE Power AG eine Oberflächenabdichtung aufgebracht (ca. 10 ha). Der öffentlich-rechtliche Vertrag hat nach wie vor Gültigkeit.
- Nach den bisherigen artenschutzrechtlichen Erhebungen kommen auf dem Gelände europäisch geschützte Arten vor bzw. sind zu erwarten.
- Die Fläche liegt teilweise im Überschwemmungsgebiet des Rheins.
- Die Fläche ist über öffentliche Straßen gut erreichbar. Sie ist eingebettet in einem gewerblich genutzten Gebiet, welches gute Anbindung an die Autobahn hat.
- Das Gelände soll daher kurzfristig einer gewerblichen Nutzung zugeführt werden. Die Maßnahmen sollen daher zeitnah umgesetzt werden können.
- Zum Ufer des Silbersees hin besteht ein Bebauungsverbot bis 50 m.



- Nach dem Rückbau der Zinkhütte sind alle unterirdischen Einbauten im Boden verblieben. Teilweise sind noch intakte Bodenplatten vorhanden. Es können aber auch Hohlräume vorhanden sein.
- Im Bereich der ehemaligen Sickergruben befindet sich eine aktive Gasleitung der Energieversorgung Dormagen, die je nach Sanierungsvariante verlegt werden muss.

8.2 Zufahrt und Baustelleneinrichtung

Das Gelände kann von der A 46 / A 57 bzw. B 9 her über den Zinkhüttenweg mit schwerem Gerät angefahren werden (Abb. 8.1). Siedlungsbereiche müssen dabei nicht durchfahren werden.

Innerhalb der Fläche bestehen ausreichende Möglichkeiten für eine Baustelleneinrichtung (Abb. 8.2). Die Baustelleneinrichtung umfasst üblicherweise:

- Büro-/Aufenthaltscontainer, Lagercontainer für Arbeitsschutzkleidung, Baufolien etc.
- Schwarz-/Weißanlage einschließlich Stiefelwaschplatz, Reifenwaschanlage
- Behälter für Schmutzwasser und Abwasser
- PKW-Stellplätze
- Verladestation(en) und Wendehammer für die LKW

Als Baustelleneinrichtungsfläche bietet sich die Freifläche nordwestlich des Sanierungsgebietes an. Hier stehen ca. 50.000 m² Platz zur Verfügung. Die Anfahrt kann über den Stüttger Weg erfolgen. Inwieweit die Fläche dauerhaft über die gesamte Laufzeit der einzelnen Sanierungsvarianten erforderlich ist, bleibt einer vertieften Betrachtung vorbehalten. Für die Baustelleneinrichtung ist der Bereich zu roden, der Mutterboden abzuschleppen und die Fläche mit RCL-Material oder ähnlichem zu befestigen.

Zur Feststellung des Ausgangszustandes der öffentlichen Verkehrswege im Umfeld sowie der Bodenqualität auf dem Gelände ist vor Beginn der Maßnahmen zunächst eine Beweissicherung durchzuführen.



Abb. 8.1: Zufahrt zum Sanierungsgelände



Abb. 8.2: Potentielle Baustelleneinrichtungsfläche



8.3 Arbeitsschutzmaßnahmen

Bei der Sanierung wird mit Gefahrstoffen umgegangen. Daher sind zum Schutz der Beschäftigten und des Umfeldes Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen gemäß DGUV Regel 101-004 bzw. TRGS 524 erforderlich [5] [6]. Diese beinhalten unter anderem eine Zonierung der Baustelle in Schwarz- und Weißbereiche sowie den Einsatz einer Schwarz-Weiß-Anlage für Personen und einer Reifenwaschanlage am Ausgang des Schwarzbereiches. Als Schwarzbereich sind alle Bereiche einzustufen, in denen direkt mit kontaminiertem Material umgegangen wird.

Zur Planung der Schutzmaßnahmen ist anhand der Erkenntnisse der Vorerkundungen das Gefährdungspotenzial festzulegen und ein Arbeits- und Sicherheitsplan zu erstellen. Dieser beinhaltet unter anderem alle notwendigen Ermittlungen, Bewertungen und Festlegungen, die für die Erstellung der tätigkeitsbezogenen Gefährdungsbeurteilungen für die Arbeiten in kontaminierten Bereichen (durch den AN) erforderlich sind.

Da bei der Sanierung voraussichtlich Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber gleichzeitig tätig werden und besonders gefährliche Arbeiten nach Anhang II BaustellV ausgeführt werden, ist durch den Bauherrn im Zuge der Arbeitsschutzplanung und vor Einrichtung der Baustelle

1. ein Arbeits- und Sicherheitsplan (A+S-Plan) zu erstellen,
2. ein Sicherheits- und Gesundheitsschutz-Plan (SiGe-Plan) zu erstellen,
3. ein Sicherheits- und Gesundheitsschutz-Koordinator (SiGeKo) zu bestellen und
4. eine geeignete Person mit ausreichender Sachkunde für Sicherheit- und Gesundheitsschutz in kontaminierten Bereichen als Koordinator nach DGUV Regel 101-004

zu bestellen.

8.4 Sanierungsvariante 1 Quellsanierung durch Bodenaustausch

8.4.1 Vorgehensweise

Sanierungsvariante 1 sieht die vollständige Dekontamination der belasteten Bodenbereiche vor. Der dafür erforderliche technische Aufwand unterscheidet sich aufgrund der Tiefenlage der Belastungen in den Sanierungszonen 1A und 1B erheblich. Während innerhalb der Sa-



nierungszone 1A (ehem. Produktionsanlage) ein Aushub mittels Bagger möglich ist, müssen in der Sanierungszone 1B (ehem. Sickergruben und Abtrombereich) Spezialtiefbauverfahren eingesetzt werden.

Die Aushubmassen sind gemäß ihrer Belastungen in dafür zugelassenen Anlagen zu entsorgen. Denkbar wäre prinzipiell auch die Lagerung des Aushubs in einem Sicherungsbauwerk auf dem Gelände selbst. Die Aushubgruben sind mit sauberen, verdichtungswilligen Böden wieder zu verfüllen.

8.4.2 Rodungen

Rodungsarbeiten können gemäß § 64 LG NW nur von Oktober bis Ende Februar ausgeführt werden. Der Bewuchs (vorwiegend junge Bäume und Strauchwerk) wird mit der Räumung der Fläche sukzessive aufgenommen, bei Bedarf zerkleinert und entsorgt oder auf der Fläche kompostiert.

8.4.3 Aushub- und Verfüllarbeiten

8.4.3.1 Sanierungszone 1A Bereich der ehem. Produktionsanlagen

Im Untergrund befinden sich derzeit noch die unterirdischen Einbauten der ehemaligen Zinkhütte. Teilweise existieren noch unversehrte Bodenplatten. Die maximale Fundamenttiefe beträgt, abgesehen von den verbliebenen Pumpbrunnen im Norden der Fläche, 6,60 m. Der Bodenaushub umfasst somit auch den Rückbau der alten Gebäudereste sowie aller alten Leitungen.

In den Proben der Rammkernsondierungen wurden ab einer Tiefe von 4 bis 6 m die Vorsorgewerte der BBodSchV eingehalten, sodass der Aushub mindestens bis etwa 4 m Tiefe, maximal bis etwa 6 m erfolgen muss. Die genauen Aushubtiefen wären durch eine vorausseilende flächendeckende Erkundung im Detail festzulegen.

Für die aktuellen Überlegungen wird von einer mittleren Aushubtiefe von 5 m u. GOK ausgegangen. Damit fallen im ehemaligen ca. 175.000 m² großen Produktionsbereich insgesamt ca. 0,875 Mio. m³ bzw. ca. 1,58 Mio. t Boden und Bauschutt an.



Die Böschungen sind standsicher zu errichten. Aufgrund der überschaubaren Aushubtiefen kann dies bevorzugt durch Abflachen der Böschungen unter Beachtung von DIN 4124 bis auf Neigungen von 45 - 60° erfolgen.

Der Grundwasserspiegel steht ca. 10 m u. GOK an, sodass weder eine Grundwasserfassung noch eine Absenkung erforderlich sind. Lediglich das den Baugruben zutretende Niederschlagswasser ist über Pumpensümpfe zu fassen und nach einer Analyse geregelt zu entsorgen (ev. Aufbereitung vor Ort, Ableitung in den Schmutzwasserkanal oder externe Entsorgung).

Der Aushub kann unmittelbar auf LKW verladen und abtransportiert werden. Die Separation in die unterschiedlichen Belastungsklassen erfolgt durch die Bauleitung vor Ort anhand der Kartiererergebnisse sowie der organoleptischen Bodenansprache.

Für die Verfüllung der Grube ist grundsätzlich verdichtungswilliger Boden fremd anzuliefern. Bevorzugt kommt ein reibungsbegabtes Material (Mischböden) in Betracht. Hinsichtlich der chemischen Qualität ist behördlicherseits in Anlehnung an die LAGA-Richtlinie TR 20 (Stand 2004), Zuordnungswert Z1.1 zulässig.

Der Wiedereinbau des Bodens erfolgt derart, dass für eine zukünftige Nutzung ein geeigneter Untergrund hergestellt wird. Da eine Bebauung vorgesehen wird, ist verdichtungswilliger Boden lagenweise verdichtet einzubauen. Im ersten Ansatz gilt, dass eine Proctordichte von $D_{Pr} \geq 95$ bzw. ≥ 97 % in Abhängigkeit von der Bodengruppe gemäß ZTVE StB 94 (Tabelle 8) oder ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ gemäß ZTVE StB 94 (hier Tabelle 8) nachzuweisen ist. Der zugehörige Verhältniswert E_{V2}/E_{V1} ist einzuhalten.

8.4.3.2 Sanierungszone 1B ehem. Sickergruben und deren Abstrom

Der Bereich der ehemaligen Sickergruben ist derzeit mit einer gemäß dem öffentlich-rechtlichen Vertrag zwischen dem Rhein-Kreis Neuss und der RWE Power AG festgelegten Oberflächenabdichtung versehen. Die Fläche ist ca. 10.000 m² groß. Die Maßnahme dient der Sicherung der oberhalb des Grundwasserspiegels lagernden kontaminierten Materialien (Böden und Bauschutt). Aktuell besteht für diesen Teil der Sanierungszone 1A kein Sanierungsbedarf. Sollte aber der darunter befindliche, kontaminierte Boden in der gesättigten



Bodenzone ausgetauscht werden müssen, muss zwangsläufig auch der jetzt schon gesicherte Bereich ganz oder teilweise abgeräumt werden.

Die Gesamtfläche ist ca. 135.000 m² groß. Bei einer mittleren Mächtigkeit der quartären Sedimente (Auenlehm, Rheinterrasse) von 17 m errechnet sich ein Bodenvolumen von 2,3 Mio. m³ bzw. 4,1 Mio. t.

Bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels könnte der Boden in der Sanierungszone 1A theoretisch ebenfalls per Bagger ausgehoben werden.

Die innerhalb der gesättigten Bodenzone existierenden Primär- und Sekundärquellen aus ausgefallten Arsenaten können dagegen nur mit deutlich höherem Aufwand ausgehoben werden. Um dem Anspruch einer vollständigen Dekontamination gerecht zu werden, müsste theoretisch der gesamte Bereich von über 2 Mio. m³ ausgehoben werden. Die Zahl allein verdeutlicht - unabhängig von den technischen Herausforderungen eines Bodenaushubs in hochdurchlässigen Böden bis zu 15 m unter der Wasserspiegellinie -, dass ein solches Vorhaben völlig unrealistisch wäre.

Der Grundwasserspiegel steht in diesem Teilbereich größtenteils bereits 5 m u. GOK an. Bei einem Aushub im Schutze einer Baugrubenumschließung wäre die Gefahr eines hydraulischen Grundbruches kaum beherrschbar. Eine Nassauskiesung würde eine starke Mobilisierung der Schadstoffe mit sich bringen und diese mit dem Grundwasser in den Rhein tragen. Technisch realistisch wäre allenfalls ein Bodenaustausch über überschrittene Großlochbohrungen (Ø 1,5 m) im Anschluss an ein Voraushub mittels Hydraulikbagger bis auf das Niveau des Grundwasserspiegels. Aber auch diesem Verfahren stünden die sehr großen Abmessungen des Geländes entgegen.

Realistischer wäre ggf. ein partieller Aushub nur im engeren Bereich der ehemaligen Injektionsbrunnen, wo sich bevorzugt Sekundärquellen gebildet haben dürften. Voraussetzung für eine nähere Betrachtung wären zunächst eingrenzende Untersuchungen. Ohne Kenntnis über die Ausbreitung der Sekundärquellen kann deren Ausmaß aktuell nur geschätzt werden. Die Infiltrationen erfolgten in 17 Brunnen über die Gesamtteufe des Aquifers. Unter der Annahme, dass sich konzentrierte Ausfällungen in einem Radius von ca. 10 m um die Messstellen gebildet haben, errechnet sich eine zu bearbeitende Fläche von 300 m² je Brunnen bzw. 5.100 m² insgesamt.



Um einen vollständigen Austausch des belasteten Bodens zu gewährleisten, werden die Austauschbohrungen überlappend, d.h. mit Überschneidung ausgeführt. Das Abbohren erfolgt in Richtung des Grundwasserstroms, um eine Rekontamination des ausgetauschten Bodens soweit wie möglich zu minimieren. Durch den Überschneidung wird verfahrensbedingt ein Teil des schon ausgetauschten Materials mit ausgehoben. Um die daraus resultierenden Massenmehrerungen und somit die Entsorgungskosten zu minimieren, ist es zum Einen erforderlich, den Überschneidung so klein wie möglich zu halten. Zum Anderen ist der Überschneidung so zu wählen, dass abzüglich aller Mess- und Bohrtoleranzen ein vollständiger Aushub sichergestellt ist. Daher werden für die Bohrungen in der Regel folgende Anforderungen formuliert:

- zulässige Abweichung der Bohrung vom geplanten Bohransatzpunkt < 1 cm
- zulässige Vertikalitätsabweichung längs und quer zu den Ost-West-Bohrachsen < 0,5 % der Bohrtiefe

Das Überschneidungsmaß errechnet sich aus den zwei oben genannten Bedingungen bei einer angenommenen maximalen Bohrtiefe von 17 m zu rund 0,30 m. Der Abstand der Ansatzpunkte ergibt sich somit zu 1,20 m. Bei einem Pfahl-Durchmesser von 1,5 m und einem Rasterabstand von 1,2 m ergeben sich auf einer runden, 300 m² großen Fläche 440 Bohrungen à i.M. 12 m, d.h. ca. 5.280 Bohrmeter. Hochgerechnet auf 17 Infiltrationspunkte ergeben sich 89.760 Bohrmeter. Bei einem Bohrlochdurchmesser von 1,5 m (1,77 m²) errechnet sich das Gesamtaushubvolumen zu rund 190.000 m³ (= 361.000 t).

Nach Erreichen der Endtiefe erfolgt die Wiederverfüllung eines Bohrlochs mit sauberem Austauschboden, wofür bevorzugt ein verdichtungswilliges Sand-Kies-Gemisch zum Einsatz kommt. Der Einbau des Austauschmaterials erfolgt unter Wasser über Schüttrohre. Das Verfüllmaterial muss folgende Kriterien erfüllen:

- Verhinderung der Entmischung beim Einbau unter Wasser,
- Filterstabilität gegenüber dem anstehenden Boden (Vermeidung von Kontakterosion und Suffosion),
- hohe Lagerungsdichte im eingebauten Zustand,
- frei von schädlichen Bodenveränderungen im Sinne des BBodSchG (Einhaltung der Vorsorge-Werte).



Der Voraushub bis in ca. 5 m Tiefe ist nicht belastet und kann für die Wiederverfüllung verwendet werden.

8.4.4 Oberflächengestaltung

Da die Fläche bebaut werden soll, ist es sinnvoll, die Sanierungszone 1A gleichmäßig auf das jetzige Niveau des ehem. Produktionsbereiches aufzuhöhen.

Auch für die Sanierungszone 1B bietet sich aus Hochwasserschutzgründen eine Aufhöhung an. Diese wäre aber nur aus bautechnischen Gründen sinnvoll, nicht zur Gefahrenabwehr. Im Folgenden wird daher nur eine Aufhöhung bis zur derzeitigen Geländeoberkante berücksichtigt.

8.4.5 Abfallentsorgung

Da das Aushubmaterial überwiegend oberhalb der Z2-Werte der LAGA liegt, muss das Material geregelt entsorgt werden. Der Bodenaushub ist einer geregelten Entsorgung zuzuführen. Das Belastungsspektrum lässt nur eine Deponierung zu. Für eine thermische Behandlung ist der anorganisch belastete Boden nicht geeignet. Die nächstgelegene Deponie ist die Sonderabfalldéponie Dormagen-Rheinfeld ca. 9 km südöstlich des Zinkhüttengeländes. Einschränkend sei bereits an dieser Stelle erwähnt, dass es vermutlich keine Deponie geben wird, die in der Lage ist den Gesamtaushub anzunehmen. Die Masse wäre auf mehrere Anlagen zu verteilen.

Der Bauschutt aus dem Rückbau der unterirdischen Bauteile kann ggf. recycelt werden. Ganz in der Nähe befindet sich das Wertstoffsammelzentrum Dormagen (5 km südlich) sowie die Bauschuttrecyclinganlage Neuss (5 km nordwestlich).

In Anbetracht der enormen Aushubmengen wäre zu hinterfragen, ob das Material auch auf dem Gelände deponiert werden kann. Aufgrund der z.T. hohen Belastungen würde voraussichtlich neben der obligatorischen Oberflächenabdichtung auch eine Basisabdichtung gefordert. Das Sicherungsbauwerk käme damit - insbesondere auch aufgrund der großen Mengen - einer Deponie gleich und würde ähnliche dauerhafte Nachsorgemaßnahmen erfordern. Die Entsorgung des Bodenaushubs aus der Sanierungszone 1A in einem Siche-



rungsbauwerk auf dem Gelände würde gegenüber einer Sicherung der Fläche durch eine Oberflächenabdichtung keine Vorteile bringen und macht angesichts der hohen zu erwartenden Kosten keinen Sinn.

Für den Bodenaushub aus den Großbohrungen (190.000 m³) wäre die Deponierung in einem Sicherungsbauwerk vor Ort eher realistisch. Die Belastungen sind im Schnitt vermutlich relativ gering, da die Sekundärquellen nur lokal vorhanden sind und bei den Bohrungen ein Überschneidung mit sauberen Bereichen unvermeidbar ist. Die für die Lagerung beanspruchte Fläche könnte entweder durch Bebauung versiegelt oder nach einer Oberflächenabdichtung begrünt werden. Als Dichtungselement käme bevorzugt eine Kunststoffdichtungsbahn in Betracht.

Eine etwa 5 bis 6 m hohe Bodenmiete würde eine Grundfläche von rund 200 x 200 m erfordern.

8.4.6 Sicherung des Grundwasserabstroms

Erfahrungen aus vergleichbaren Projekten haben gezeigt, dass bei massiven Störungen des Bodengefüges, wie sie u.a. bei einem Bodenaushub durch überschneidende Großbohrungen eintreten, eine kurzzeitige, aber starke Mobilisierung der dem Korngerüst anhaftenden Schmiermetall-Verbindungen zu erwarten ist. Die mit dem Grundwasser abströmenden Arsen-Konzentrationen können um bis zu zwei Zehnerpotenzen ansteigen. Aus diesem Grund wäre bei einem Bodenaustausch in der Sanierungszone 1B der Grundwasserabstrom temporär durch eine Grundwasserhaltung zu sichern. Der Bodenaustausch in der Sanierungszone 1A erfolgt lediglich oberhalb des Grundwasserspiegels, sodass hier keine Mobilisierung zu erwarten ist.

Das Vorgehen entspricht teilweise den in Abschnitt 8.6 als Sanierungsvariante 3 (Pump+Treat) beschriebenen hydraulischen Maßnahmen. Unmittelbar am abstromigen Rand des Bodenaustauschbereiches sollten mindestens drei Sanierungsbrunnen errichtet werden, über die der Abstrom gefasst wird. Mögliche Standorte der Brunnen sind in Abbildung 8.3 eingetragen.



Abb. 8.3: Mögliche Lagen von Sicherungsbrunnen

Die zu fassende Wassermenge berechnet sich zu ca. 125 m³/h (vgl. Abschn. 8.6). Das gefasste Wasser muss aufgrund der Belastungen einer Aufbereitung unterzogen werden. Diese muss entweder die Einhaltung der Grenzwerte der Abwassersatzung der Stadt Dormagen bzw. Neuss für die Einleitung in den Schmutzwasserkanal oder alternativ die Grenzwerte für eine Direkteinleitung in den nahe gelegenen Rhein gewährleisten. Im letzteren Fall gelten strengere Genehmigungsaufgaben, womit ein erhöhter Reinigungsaufwand erforderlich wird.

Die Maßnahmen zur Abstomsicherung sind über den gesamten Zeitraum der Baumaßnahmen aufrecht zu erhalten. Nach Abschluss des Bodenaustausches ist ein Rückgang der Grundwasserbelastungen zu erwarten. Wie sich diese Abnahme zeitlich darstellt, ist schwer zu prognostizieren. Die Grundwasserhaltung sollte noch bis zum Erreichen der Sanierungsziele für das Grundwasser (Reduzierung der Schadstofffracht um mindestens ca. 80 %, vgl. Abschn. 5) aufrecht erhalten werden. Aus jetziger Sicht wird dafür eine Laufzeit von einem Jahr nach Abschluss des Bodenaustausches veranschlagt.



8.4.7 Zeitlicher Ablauf

Für die Baustelleneinrichtung (Rodung, Wege- und Flächenbefestigung) und die Errichtung von zwei Abfangbrunnen im Abstrom des Bodenaustauschbereiches wird insgesamt von einem Zeitbedarf von drei Monaten ausgegangen. Im Bereich der ehemaligen Sickergruben ist zunächst die bestehende Oberflächenabdichtung zurückzubauen. Dieser Arbeitsaufwand wird mit ca. zwei Monaten abgeschätzt.

Für den Bodenaushub im Bereich der ehemaligen Bebauung (Sanierungszone 1A, 1,58 Mio. t) sowie im Bereich der ehemaligen Sickergruben bis zur Grundwasseroberfläche (Teilbereich von Sanierungszone 1B, ca. $10.000 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 100.000 \text{ m}^3 = 180.000 \text{ t}$) wird bei einer Tagesleistung von ca. 2.000 t (80 LKW/d = 8 - 10 LKW/h) ein Gesamtzeitbedarf von 880 Arbeitstagen, d.h. drei bis vier Jahren unterstellt. Der Rückbau der verbliebenen Fundamentreste und der Großteil des Wiedereinbaus von sauberem Boden erfolgen parallel zum Bodenaushub.

Im Anschluss sind Profilierungsarbeiten und das Aufbringen von Oberboden erforderlich. Dafür wird insgesamt ein weiteres Jahr eingerechnet.

Der Bodenaustausch über überschnittene Großbohrungen einschließlich der Wiederverfüllung erfolgt parallel. Nach Erfahrungen bei vergleichbaren Projekten kann eine Tagesleistung von ca. 40 m angesetzt werden. Der Zeitbedarf für den Bodenaustausch beträgt damit bei geschätzt ca. 90.000 Bohrmeter ($\varnothing 1,5 \text{ m}$) insgesamt 2.250 Arbeitstage, d.h. 8,5 Jahre. Er lässt sich durch den Einsatz mehrerer Großbohrgeräte reduzieren. Realistisch ist der Einsatz von drei Geräten gleichzeitig. Der Aushub würde dabei immer noch drei Jahre und genauso lange dauern, wie der Bodenaustausch im Bereich der Sanierungszone 1A. Geräteausfälle sind dabei nicht berücksichtigt.

Aus den Großbohrungen würden täglich etwa 215 m^3 , d.h. ca. 385 t Boden anfallen. Der Abtransport würde zusätzlich etwa 15 LKW-Touren pro Tag erfordern.

Der Bodenaustausch wäre unter den genannten Bedingungen insgesamt innerhalb von etwa vier bis fünf Jahren durchführbar. Die Werte sind jedoch sehr optimistisch abgeschätzt. Störungen durch Geräteausfall, Kapazitätsengpässe beim Transport, Engpässe bei der annehmenden Deponie, Verkehrsbehinderungen oder schlechtes Wetter sind nicht berücksichtigt. Realistisch wäre eher ein Zeitraum von 8 bis 9 Jahren.



Die Grundwasserhaltung wird noch mindestens ein Jahr nach Abschluss des Bodenaustauschs fortgesetzt.

8.4.8 Genehmigungserfordernisse

Im Einzelnen sind für die Quellsanierung durch Bodenaustausch folgende Genehmigungen, Erlaubnisse und Bewilligungen erforderlich:

- Wasserrechtliche Erlaubnis, Boden und Baggergut aus der gesättigten Zone innerhalb des Sanierungsplangebietes zu entnehmen
- Baugenehmigung zur Errichtung einer Abgrabung und zum Bodenauftrag nach § 63 LBO i.V. m. § 65(1) Punkt 42 einschließlich Genehmigung für Baugrubensicherungen
- Beteiligung des Kampfmittelräumdienstes
- Wasserrechtliche Erlaubnis für den Einbau von sauberem Boden in der wassergesättigten und wasserungesättigten Zone
- Baugenehmigung und Zulassung nach §18b WHG für die Errichtung und den Betrieb der Grundwassersanierungsanlage (einschl. Kanalanschlüsse auf städt. Gelände)
- Wasserrechtliche Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser
- Ggf. Einleitgenehmigung für gereinigtes Grundwasser und Tagwasser in den Schmutzwasserkanal
- Ggf. Einleitgenehmigung für gereinigtes Grundwasser und Tagwasser in ein Oberflächengewässer (Rhein)
- Bestätigung der Entsorgungsnachweise für die Entsorgung von Abfällen durch die zuständigen Bezirksregierungen

Die Genehmigungen für sonstige Baustelleneinrichtungen und Verkehrssicherungen sind nicht enthalten und würden separat vom Auftragnehmer beantragt.

8.4.9 Kontrollen / Nachsorgemaßnahmen

Der Sanierungserfolg ist über regelmäßige Grundwasserkontrollen (anfangs vierteljährlich, Anpassung nach 2 Jahren Messzeit) zu prüfen. Für die Kontrolle des Grundwassers können die bestehenden Messstellen genutzt werden.



Diese sollten während der Sanierung zunächst halbjährlich beprobt werden. Ggf. kann der Beprobungsrhythmus zu einem späteren Zeitpunkt reduziert werden. Die Messungen sollten mindestens folgende Parameter umfassen:

- Vor-Ort-Parameter (T, Lfk, pH, V, O₂)
- pH-Wert / elektrische Leitfähigkeit im Labor
- Arsen, Cadmium, Zink

Zusätzlich ist regelmäßig der Grundwasserspiegel in allen Messstellen zu kontrollieren.

8.4.10 Nachbesserungsmöglichkeiten

Sofern die Quellsanierung durch Bodenaustausch - wider Erwarten - keine (ausreichende) Wirkung auf die Qualität des Grundwassers haben sollte, kann eine weitere Verbesserung der Situation durch die Fortführung hydraulischer Maßnahmen bewirkt werden.

8.4.11 Kostenschätzung

Der Aufwand für die Sanierungsmaßnahmen wurde auf der Basis eigener Erfahrungswerte sowie Informationen von Bauunternehmungen abgeschätzt.

Berücksichtigt wurden im Wesentlichen die nach derzeitigem Informationsstand zu erwartenden Kosten für vorbereitende Arbeiten, den Bodenaustausch, die Entsorgung des Bodenaushubs, ingenieurtechnische Planungen für Bauleistungen und die Baubegleitung. Nicht berücksichtigt sind die Nachsorgemaßnahmen.

Die Kostenschätzung findet sich in Anlage 3. Sie schließt mit € 91,5 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1A und € 81 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1B ab.



8.5 Sanierungsvariante 2 Quellsanierung durch Oberflächenversiegelung

8.5.1 Vorgehensweise

Sanierungsvariante 2 sieht vor, den Boden im aktuellen Zustand zu belassen und eine Oberflächenversiegelung durch Überbauung oder Oberflächenabdichtung vorzunehmen.

Die Abdichtung der Oberfläche macht nur in der Sanierungszone 1A Sinn. Hier befinden sich die Kontaminationen in der ungesättigten Bodenzone. Durch eine Oberflächenversiegelung kann der Zutritt von Oberflächenwasser wirksam unterbunden werden, so dass sich keine belasteten Sickerwässer mehr bilden und dem Grundwasser mitteilen können.

In der Zone 1B existiert bereits eine wirksame Abdichtung im Bereich der ehemaligen Sickergruben. Im Restbereich befinden sich die Kontaminationen in der wassergesättigten Bodenzone. Das Prinzip einer Oberflächenabdichtung greift hier nicht.

8.5.2 Rodungen

Rodungsarbeiten sind nur im Bereich der Sanierungsfläche und der Baustelleneinrichtungs- und Lagerfläche erforderlich. Die Arbeiten können gemäß § 64 LG NW nur von Oktober bis Ende Februar ausgeführt werden.

Der Bewuchs (vorwiegend junge Bäume und Strauchwerk) wird mit der Räumung der Fläche sukzessive aufgenommen, bei Bedarf zerkleinert und entsorgt oder vor Ort kompostiert.

8.5.3 Geländeprofilierung

Die Geländeoberfläche ist größtenteils eben und weist ein leichtes Gefälle in nordöstliche Richtung auf. Die Geländehöhen im Bereich des ehemaligen Produktionsbereiches schwanken zwischen 40,3 mNN und 43,1 mNN. An der Südspitze des Silbersees, nordöstlich der ehemaligen Sickergruben, fällt das Gelände um ca. 4,5 m ab (Abb. 8.4).

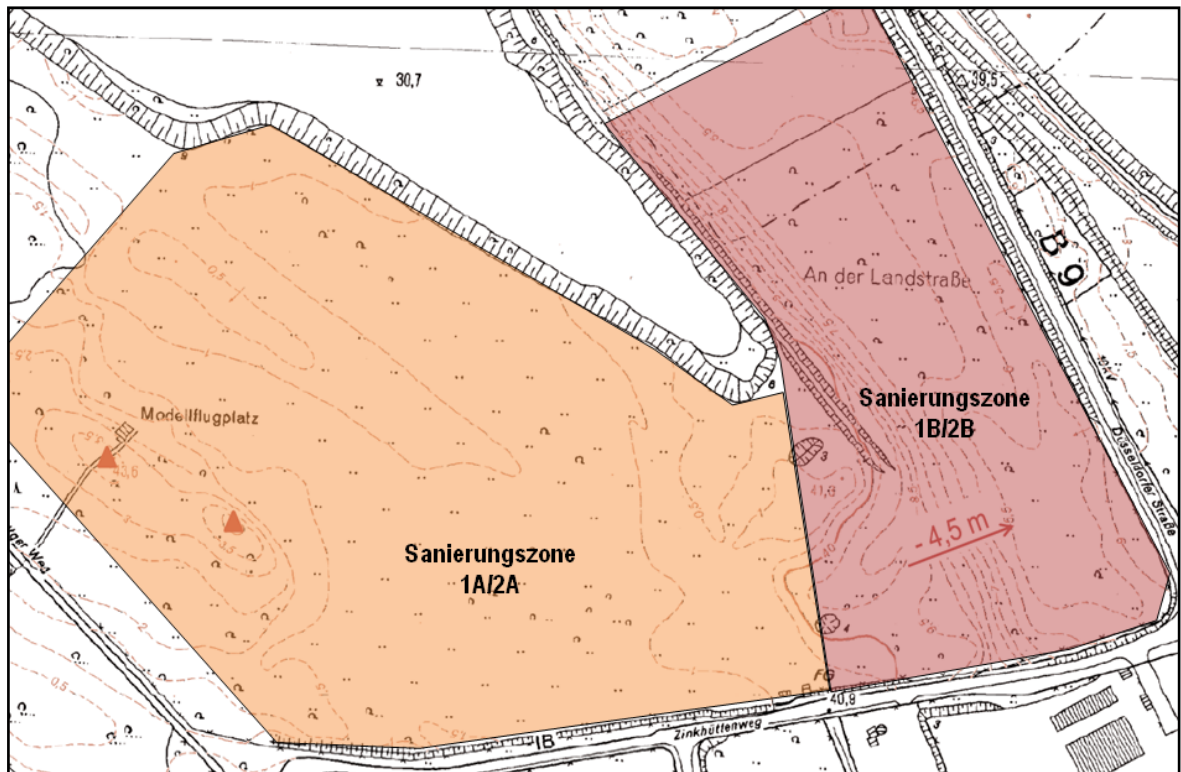


Abb. 8.4: Morphologie des Plangebietes

Im Falle einer Bebauung richtet sich die Profilierung nach der geplanten Nutzung. Es ist zu prüfen, ob gefasstes Oberflächenwasser unmittelbar in den Silbersee abgeleitet werden kann oder in unbelasteten Bereichen zu versickern ist.

Für Profilierungszwecke ist grundsätzlich sauberer, verdichtungswilliger Boden fremd anzuliefern. Da die Fläche nicht mehr im Überschwemmungsbereich liegt, ist hinsichtlich der chemischen Qualität Boden der Belastungsklasse Z 2 nach LAGA TR 20 zulässig.

Der Wiedereinbau des Bodens erfolgt so, dass für eine zukünftige Nutzung ein geeigneter Untergrund hergestellt wird. Da eine Bebauung vorgesehen wird, ist verdichtungswilliger Boden lagenweise verdichtet einzubauen. Im ersten Ansatz gilt, dass eine Proctordichte von $D_{Pr} \geq 95$ bzw. ≥ 97 % in Abhängigkeit von der Bodengruppe gemäß ZTVE StB 94 (Tabelle 8) oder ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ gemäß ZTVE StB 94 (hier Tabelle 8) nachzuweisen ist. Der zugehörige Verhältniswert E_{V2}/E_{V1} ist einzuhalten.

Für das Aufbringen einer Oberflächenabdichtung ist die Fläche zunächst zu profilieren. Dafür können Böden bis zur Belastungsklasse Z2 eingebaut werden, da der Bereich nicht



im Überschwemmungsgebiet liegt. Die Neigung der Oberfläche wird üblicherweise in Anlehnung an das Abfallrecht mit 5 % nach Abklingen der Setzungen festgelegt. Da keine setzungsempfindlichen Böden vorliegen und die präventiven Vorgaben des Abfallrechtes hier nicht zwingend anzuwenden sind, wird zur Begrenzung der aufzubringenden Profilierungsmassen ein Mindestgefälle von ca. 2,5 % empfohlen.

Derzeit wird unterstellt, dass die Gesamtfläche der Sanierungszone 1A von 175.000 m² abzudichten wäre. Das tatsächliche Ausmaß wäre durch eingrenzende Untersuchungen zu präzisieren.

Das zur Profilierung erforderliche Bodenvolumen wird mit rund 300.000 m³ abgeschätzt.

8.5.4 Oberflächenabdichtung

Die Abdichtung der Oberfläche würde der Einfachheit halber mit einer 2,5 mm starken Kunststoffdichtungsbahn erfolgen. Das Verfahren ist erprobt und relativ einfach zu realisieren. Für die Verlegung der Dichtungsbahnen ist ein tragfähiges, steinfreies Planum herzustellen.

Zur Abführung von Dränwasser würde eine Dränmatte verlegt, die ebenfalls mit 1 - 2 cm eine sehr geringe Schichtdicke aufweist. Randlich wären Dränmulden zu profilieren, über die das Oberflächenwasser in die Kanalisation abgeführt werden kann. Da es sich bei einer derartigen Oberflächenabdichtung um eine Interimslösung bis zu einer späteren Überbauung handelt, wird das Verlegen einer zusätzlichen Dränleitung nicht als erforderlich angesehen.

Die Dränmatte würde mit einem Meter Profilierungsboden überdeckt, wobei auch der auf dem Standort ggf. schon lagernde Kompost z. T. mitverarbeitet werden kann. Das hier anfallende Oberflächenwasser würde in der Randmulde aufgefangen, einer Versickerung, dem Regenwasserkanal oder einer Direkteinleitung zugeführt.



8.5.5 Abfallentsorgung

Als Abfall fällt lediglich der Grünschnitt aus der Rodung an, der bei Bedarf zerkleinert und entsorgt bzw. kompostiert wird.

8.5.6 Zeitlicher Ablauf

Im Falle einer Versiegelung hängt die benötigte Zeit von der Vermarktung der Fläche und der Umsetzung der Bauvorhaben ab. Die Vorgänge können derzeit nicht näher eingegrenzt werden.

Im Falle einer Oberflächenabdichtung wird für die Baustelleneinrichtung (Rodung, Wege- u. Flächenbefestigung) insgesamt von einem Zeitbedarf von ca. drei Monaten ausgegangen. Für die anschließende Profilierung des Geländes wird nach Erfahrungen an anderen Standorten eine Einbaumenge von 2.000 t täglich unterstellt (ca. 1.100 m³, d.h. Anlieferung von 80 LKW/d = 8 - 10 LKW/h). Die Arbeiten würden bei einem Profilierungsvolumen von 300.000 m³ ca. 150 Arbeitstage (7 Monate) in Anspruch nehmen.

Bei der Herstellung einer Oberflächenabdichtung wird im Regelfall von einer Tagesleistung von 1.000 m² pro Tag ausgegangen. Die Arbeiten können nur bei trockener Witterung und geringer Luftfeuchte durchgeführt werden, weil da die Kunststoffdichtungsbahnen geschweißt werden müssen. Erfahrungsgemäß steht dafür nur das Sommerhalbjahr zur Verfügung. Die Verlegearbeiten würden mindestens ca. 175 Tage in Anspruch nehmen (= 8 Monate). Die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn und das Aufbringen der Rekultivierungsschicht würden zeitlich eng nachlaufend erfolgen.

Theoretisch ließe sich ein solches Vorhaben innerhalb von zwei Jahren realisieren. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass auf dem Markt nur eine begrenzte Anzahl von Verlegefirmen agiert, die im Regelfall gut ausgelastet sind. Die erforderlichen Fachkenntnisse können nicht in kurzer Zeit durch angelernte Kolonnen aufgebaut werden. Realistischer ist daher ein Ausführungszeitraum von etwa vier Jahren.



8.5.7 Genehmigungserfordernisse

Für die Sanierung wären mindestens die folgenden Genehmigungen, Erlaubnisse und Bewilligungen erforderlich:

- Baugenehmigung zum Bodenauftrag nach § 63 LBO i.V. m. § 65(1) Punkt 42 einschließlich Genehmigung für Baugrubensicherungen
- Wasserrechtliche Erlaubnis für den Einbau von Boden

8.5.8 Kontrollen / Nachsorgemaßnahmen

Während und nach der Sanierung wird zunächst für unbestimmte Zeit ein Grundwassermontoring empfohlen. Dazu können - soweit nach Bodenauftrag noch vorhanden - die schon existierenden Messstellen genutzt werden. Diese sollten während der Sanierung zunächst halbjährlich beprobt werden. Ggf. kann der Beprobungsrhythmus zu einem späteren Zeitpunkt reduziert werden. Die Messungen sollten mindestens folgende Parameter umfassen:

- Vor-Ort-Parameter (T, Lfk, pH, V, O₂)
- pH-Wert / elektrische Leitfähigkeit im Labor
- Arsen
- Cadmium
- Zink

Zusätzlich ist regelmäßig der Grundwasserspiegel in allen Messstellen zu kontrollieren.

8.5.9 Nachsorgemaßnahmen

Nach Abschluss der Grundwassersanierungsmaßnahme erfolgt in der Regel zunächst eine jährliche Überwachung der Grundwassersituation im Sanierungsplangebiet, um die Nachhaltigkeit der Maßnahme zu erfassen. In Abstimmung mit der zuständigen Behörde ist bei Nachweis konstanter bzw. unbedeutender Schadstoffgehalte eine Verlängerung der Untersuchungszyklen bzw. eine Einstellung der Nachsorgeuntersuchungen zu vereinbaren.



Die Oberflächenabdichtung ist jährlichen Kontrollen im Hinblick auf Schäden zu unterziehen. Da nur eine 1 m mächtige Rekultivierungsschicht eingeplant ist, muss der Bewuchs regelmäßig kontrolliert und gepflegt werden. Tiefwurzelnde Gehölze sind zu entfernen.

8.5.10 Kostenschätzung

Der Aufwand für die Sanierungsmaßnahmen wurde auf der Basis eigener Erfahrungswerte sowie Informationen von Bauunternehmungen abgeschätzt.

Berücksichtigt wurden im Wesentlichen die nach derzeitigem Informationsstand zu erwartenden Kosten für vorbereitende Arbeiten, das Aufbringen von Bodenmaterial, die Versiegelung, ingenieurtechnische Planungen für Bauleistungen und die Baubegleitung. Nicht berücksichtigt sind die Nachsorgemaßnahmen.

Die Kostenschätzung findet sich in Anlage 3. Sie schließt mit € 19,5 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1 ab. In der Sanierungszone 2 fallen nur Kosten für die laufende Grundwasserüberwachung an, die mit knapp € 200.000 (brutto) für den gleichen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren beziffert werden.

8.6 Sanierungsvariante 3 Grundwassersanierung durch Pump+Treat

8.6.1 Verfahrensprinzip

Das Pump+Treat-Verfahren ist eine direkte Methode zur Grundwassersanierung. Dabei wird Grundwasser über Brunnen gefasst, vor Ort oder extern behandelt und abgeleitet. Das Verfahren kann als reine Sicherungsmaßnahme und/oder als Dekontaminationsmaßnahme eingesetzt werden. Welcher Aspekt im Einzelfall überwiegt ist abhängig von den Standortbedingungen, im Wesentlichen von der Homogenität und Durchlässigkeit des Aquifers sowie der Löslichkeit der Schadstoffe.

Anfangs werden durch die Wasserhaltung die Schadstoffe aus dem advektiv zugänglichen Porenbereich erfasst. Im Laufe der Zeit stellt sich ein diffusionsbestimmter Stoffübergang aus den nicht durchströmten Bereichen ein (Abb. 8.5). Die Effektivität der Maßnahme nimmt damit generell mit der Laufzeit kontinuierlich ab.

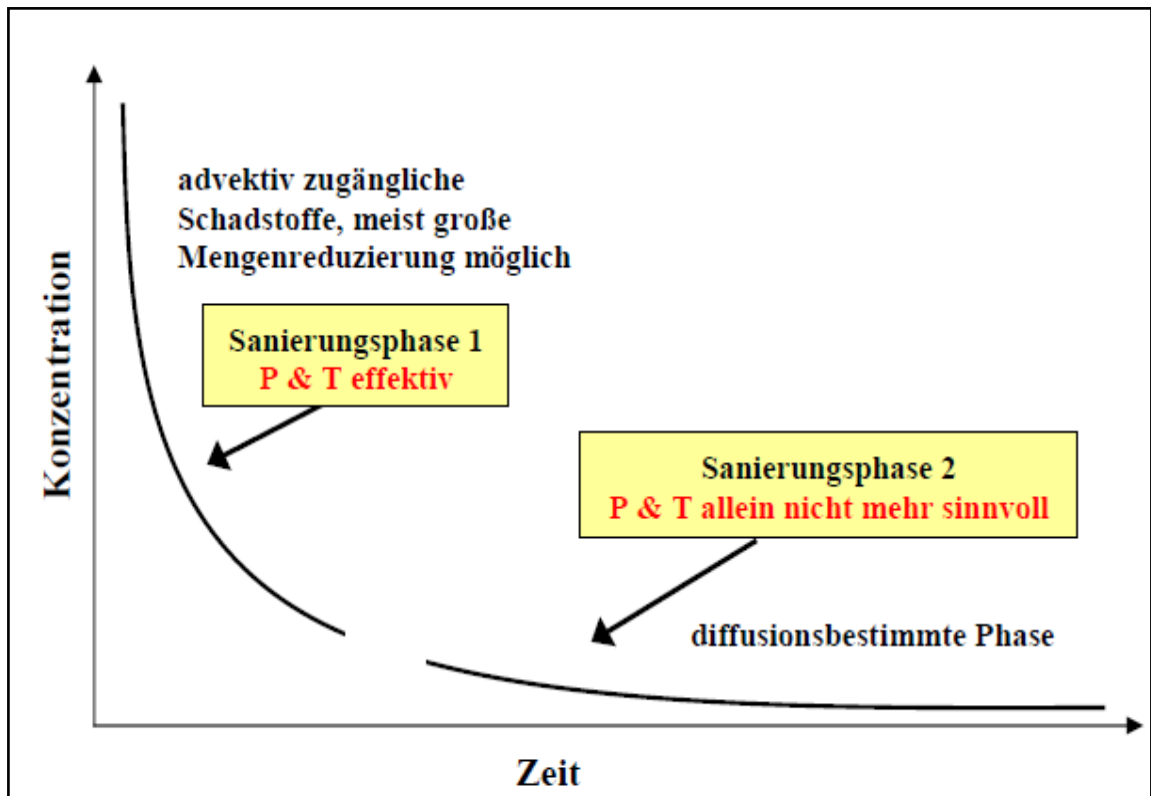


Abb. 8.5: Phasenmodell einer Pump+Treat-Grundwassersanierung (aus [10])

Im vorliegenden Fall kann eine Pump+Treat-Maßnahme nur der Sicherung der Sanierungszone 2A und 2B dienen, da in der Zone 2A die Schadstoffquelle nicht in der wassergesättigten Bodenzone liegt und in der Sanierungszone 2B der Stoffübergang von der Festphase (Primär- wie Sekundärquellen in der gesättigten Bodenzone) nur sehr langsam erfolgt. Durch Pump+Treat kann nur der Abstrom von belastetem Wasser verhindert werden, nicht aber ein nennenswerter Anteil der Schadstoffquelle in vertretbarer Zeit rückgewonnen werden.

8.6.2 Abschätzung der erforderlichen Entnahmemenge

Für eine hydraulische Sicherung eines Standortes durch Pump+Treat sollten die Fassungsanlagen möglichst am abstromigen Rand der Schadstoffquellen stehen. Dieser befindet sich in der Sanierungszone 2A entlang des Ufers zum Silbersee, in der Sanierungszone 2B etwa mittig auf der durch den Silbersee und den Rhein gebildeten Halbinsel.



Im einfachsten Fall ist mindestens der Grundwasserzustrom einschließlich der Grundwasserneubildungsrate zu fassen. Aufgrund der geplanten Bebauung bzw. der alternativ erforderlichen Oberflächenabdichtung in der Sanierungszone 1A, kann hier die Grundwasserneubildung für eine erste Abschätzung vernachlässigt werden.

Der Grundwasserzustrom berechnet sich nach der Beziehung:

$$Q = K \cdot i \cdot F$$

mit: K : Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
i : hydraulischer Gradient [-]
F : breiteste Querschnittsfläche im Bereich der Belastungen [m²]

Für die Abschätzung der Fördermengen wird von folgenden Rechengrößen ausgegangen (vgl. [4]).

- Durchlässigkeitsbeiwert im Mittel $K = 4 \cdot 10^{-3}$ m/s
- hydraulischer Gradient bei Ruhewasserspiegel $i = 0,002$
- breitester Querschnitt der Schadstoffquelle quer zur Grundwasserfließrichtung
 - ⇒ Sanierungszone 2A 550 m
 - ⇒ Sanierungszone 2B 300 m
- mittlere wassererfüllte Mächtigkeit Grundwasserleiter ehem. Produktionsbereich 14,5 m
 - ⇒ Sanierungszone 2A 14,5 m
 - ⇒ Sanierungszone 2B 14,5 m
- Querschnittsfläche Grundwasserleiter
 - ⇒ Sanierungszone 2A 7.975 m²
 - ⇒ Sanierungszone 2B 4.350 m²

Danach errechnet sich Q zu ca. 230 m³/h für den Grundwasserleiter im ehem. Produktionsbereich und ca. 125 m³/h für den Grundwasserleiter im Bereich der ehem. Sickergruben.

8.6.3 Förderbrunnen

Die Reichweite der Brunnen kann nach Sichardt [1] wie folgt abgeschätzt werden:

$$R = F_{\text{SICHARDT}} \cdot s \cdot \sqrt{K}$$



wobei der Faktor $F_{\text{SICHARDT}} = 3000$ gesetzt wird und s in [m] die Absenkung im Brunnen angibt.

Für den Grundwasserleiter am Standort errechnet sich für eine mögliche Absenkung von 0,5 m und einem K-Wert von $4 \cdot 10^{-3}$ m/s eine Reichweite von ca. 95 m. Demnach wären im Bereich der Sanierungszone 2A theoretisch sechs Brunnen zur Abdeckung der gesamten Schadstofffahne erforderlich, im Bereich der Sanierungszone 2B drei. In Abbildung 8.6 ist die mögliche Lage der Sanierungsbrunnen eingetragen.



Abb. 8.6: Mögliche Lage der Entnahmebrunnen für eine Pump+Treat-Maßnahme

Das kontaminierte Grundwasser wird mittels Unterwasserpumpen über eine Steigleitung aus den Sanierungsbrunnen gefördert. Zur Ableitung sind frostsichere Leitungen bis zu einer Grundwassersanierungsanlage zu verlegen.



8.6.4 Grundwasserbehandlung und -ableitung

Aufgrund der Schadstoffbelastung ist eine direkte Ableitung in den Kanal ausgeschlossen. Das Gelände liegt teilweise auf dem Stadtgebiet Dormagen, teilweise auf Neusser Stadtgebiet. Aus diesem Grund müssen die Einleitwerte beider Städte betrachtet werden. Gemäß der Abwasserbeseitigungssatzungen für Dormagen [2] und Neuss [3] betragen die Obergrenzen für die Einleitung von Schmutzwasser für die Hauptbelastungsparameter die in der folgenden Tabelle zusammengefassten Werte.

Tab. 8.1: Obergrenzen für die Einleitung von Schmutzwasser

Parameter	Abwassersatzung Dormagen	Abwassersatzung Neuss
Arsen	0,05 mg/l	0,5 mg/l
Cadmium	0,02 mg/l	0,5 mg/l
Nickel	0,2 mg/l	1,0 mg/l
Zink	1,0 mg/l	5,0 mg/l

Die Grenzwerte für die angegebenen Parameter werden auch unter Berücksichtigung von Verdünnungsfaktoren bei der Förderung über mehrere Brunnen voraussichtlich deutlich überschritten. Für die Sanierungszone 2A trifft dies insbesondere auf die Parameter Cadmium und Zink und für die Sanierungszone 2B auf die Parameter Arsen und Zink zu. Insofern ist eine gesonderte Aufbereitung erforderlich. Diese könnte aufgrund der immensen Wassermenge nur vor Ort erfolgen. Die Wassermengen erfordern gegenüber herkömmlichen Grundwassersanierungsanlagen, in denen meist bis maximal 30 m³/h behandelt werden, einen großen Aufwand. Die erforderlichen Einrichtungen kämen einem kleinen Klärwerk gleich.

Für die Behandlung von Abwasser und Abluft stehen eine Reihe physikalischer, chemischer und/oder biologischer Verfahren zur Verfügung. Eine grobe Übersicht gibt Abbildung 8.7.

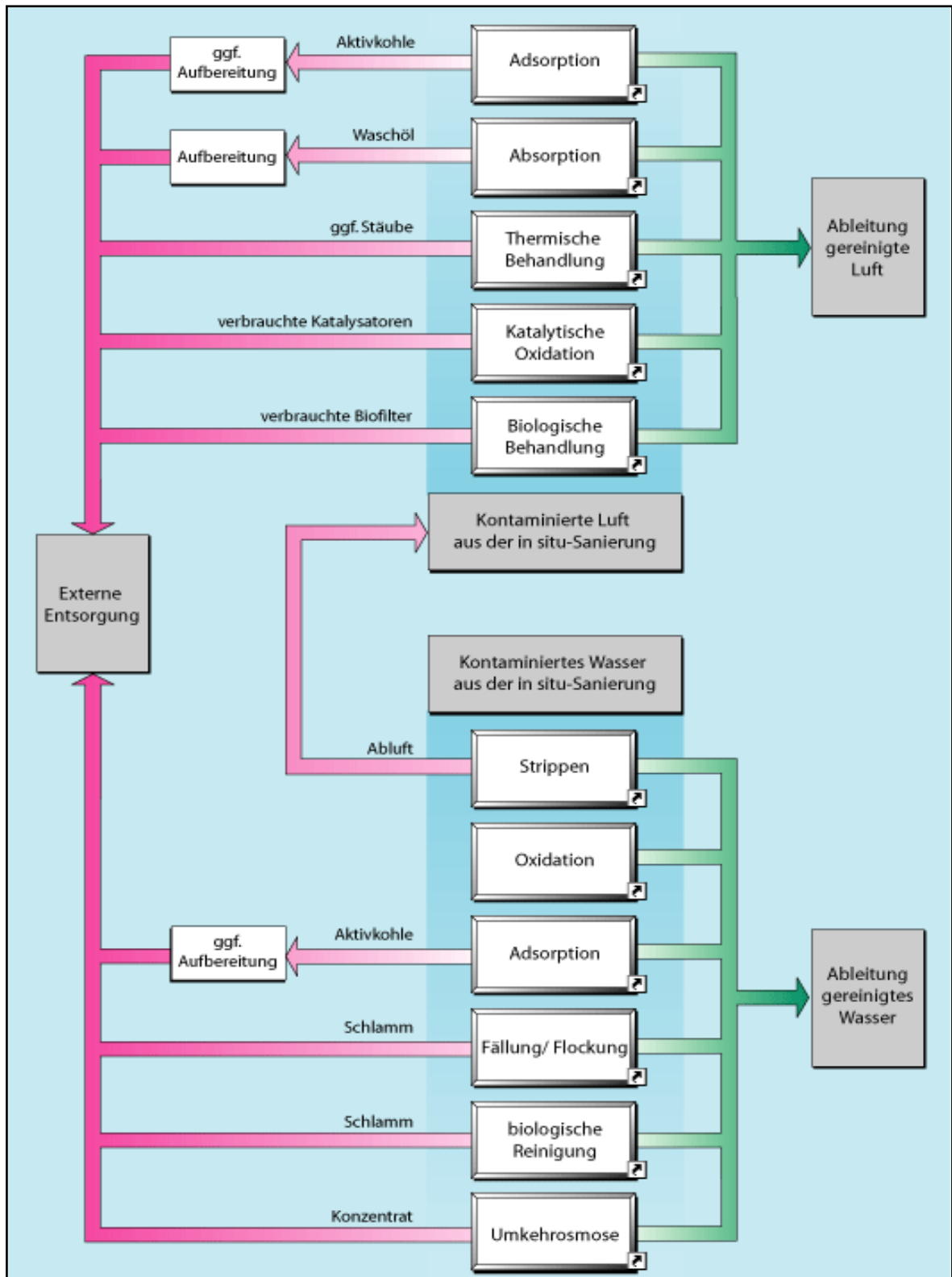


Abb. 8.7: Übersicht über Verfahren zur Reinigung von Abluft und Abwasser



Beim vorliegenden Schaden sind Arsen, Cadmium und Zink Hauptbelastungsparameter. Dafür bietet sich eine Kombination aus Fällung, Flockung und Sedimentation an. Für die chemische Reaktion wird ein Fällungsmittel (Oxidationsmittel) zugesetzt, welches die gelösten Schadstoffe in eine wasserunlösliche Verbindung überführt. Arsen wird als Arsenat-Ion (AsO_4^{3-}) und Zink als Zinkoxid ausgefällt. Bei der anschließenden Flockung werden Flockungshilfsmittel, meist Eisen- oder Aluminiumsalz für die Koagulation und Polymere zur Flocculation (Agglomeration), zugesetzt. Nach Sedimentation der unlöslichen Phase wird diese extern entsorgt.

Im ersten Ansatz wird von folgendem Anlagenaufbau ausgegangen:

- Tauchpumpen je Brunnen einschließlich Druckleitung zur Reinigungsanlage
- Vorlagebehälter
- Kiesfilter
- Arsen-Abreinigungseinheit (Adsorptionsstufe)
- Zink-Abreinigungseinheit (Adsorptionsstufe)
- Neutralisationseinheit
- Reinwasserbehälter
- Einhausung (Container)

Es ist zu bezweifeln, dass die Wassermenge in den vorhandenen Kanal abgeschlagen werden könnte. Die Aufbereitung müsste daher bis zur Einhaltung der Grenzwerte für eine Direkteinleitung oder eine Versickerung erfolgen.

8.6.5 Abfallentstehung und -entsorgung

Bei der Wasseraufbereitung fallen Filterschlamm, Fällschlämme und verbrauchte Adsorbentmaterialien an, die einer geregelten Entsorgung zuzuführen sind (i.d.R. Deponierung).

8.6.6 Arbeitsschutzmaßnahmen

Bezüglich der erforderlichen Arbeitsschutzmaßnahmen, insbesondere beim Bau von Brunnen, wird auf die Ausführungen in Abschnitt 8.3 verwiesen.

8.6.7 Zeitlicher Ablauf



Für die Errichtung des Sanierungsbrunnens sowie die Einrichtung kann von ca. einigen Wochen bis zu wenigen Monaten ausgegangen werden. Die Errichtung der Aufbereitungsanlage erfordert dagegen einen relativ hohen Aufwand. Im ersten Schritt wäre anhand von Laborversuchen und Testläufen die optimale Aufbereitungstechnik zu erkunden. Dafür sollte mindesten ein Jahr Planungszeit eingerechnet werden. Die Errichtung der Anlage selbst wird mindestens ein weiteres Jahr in Anspruch nehmen.

In [4] wurde gezeigt, dass bei ungehindertem Geschehensablauf die Schadstoffquelle in der ungesättigten Bodenzone noch für ca. 122 Jahre zu Grundwasserbelastungen mit Arsen und 7.793 Jahre zu Grundwasserbelastungen mit Cadmium führt. Es ist also davon auszugehen, dass die Grundwassersanierung aus jetziger Sicht theoretisch über unbegrenzte Zeit fortzusetzen ist. Für die Kostenschätzung wurde in erster Näherung von einem Zeitraum über 30 Jahre ausgegangen.

8.6.8 Genehmigungserfordernisse

Im Einzelnen sind für die Grundwassersanierung folgende Genehmigungen, Erlaubnisse und Bewilligungen erforderlich:

- Beteiligung des Kampfmittelräumdienstes für die Errichtung der Brunnen
- Baugenehmigung sowie Zulassung nach §18b WHG für die Errichtung und den Betrieb der Grundwassersanierungsanlage (einschl. Kanalanschlüsse auf städtischem Gelände)
- Wasserrechtliche Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser
- Einleitgenehmigung für das Einleiten von gereinigtem Grundwasser in den Untergrund oder ein Oberflächengewässer

Die Genehmigungen für sonstige Baustelleneinrichtungen und Verkehrssicherungen sind nicht enthalten und werden separat vom Auftragnehmer beantragt.



8.6.9 Kontrollmaßnahmen

Die laufende Grundwassersanierung ist mit Hilfe eines begleitenden Monitorings regelmäßig zu kontrollieren. Als Kontrollmessstellen sollten die derzeit im öffentlich-rechtlichen Vertrag festgelegten sowie zzgl. der noch zu errichtende Sanierungsbrunnen herangezogen werden. Diese sollten während der Sanierung zunächst vierteljährlich beprobt werden. Ggf. kann der Beprobungsrhythmus zu einem späteren Zeitpunkt reduziert werden. Die Messungen sollten mindestens folgende Parameter umfassen:

- Vor-Ort-Parameter (T, Lfk, pH, V, O₂)
- pH-Wert / elektrische Leitfähigkeit im Labor
- Arsen
- Cadmium
- Zink

Zusätzlich ist regelmäßig der Grundwasserspiegel in allen Messstellen zu kontrollieren.

8.6.10 Nachsorgemaßnahmen

Nach Abschluss der Grundwassersanierungsmaßnahme erfolgt in der Regel zunächst eine jährliche Überwachung der Grundwassersituation im Sanierungsplangebiet, um die Nachhaltigkeit der Maßnahme zu erfassen. Da eine hydraulische Sicherung wie dargelegt eine dauerhafte Maßnahme wäre, sind Nachsorgemaßnahmen ohne Belang.

8.6.11 Kostenschätzung

Der Aufwand für die Sanierungsmaßnahmen wurde auf der Basis eigener Erfahrungswerte sowie Informationen von Anlagenbetreibern und Anlagenbauern abgeschätzt.

Berücksichtigt wurden im Wesentlichen Investitionskosten für die Herstellung der Fassungsanlagen, das Aufstellen der Grundwassersanierungsanlage, deren Ausrüstung und notwendige planerische Leistungen. Ferner wurden die laufenden jährlichen Betriebs-,



Wartungs- und Kontrollkosten abgeschätzt und auf eine Betriebszeit von zunächst 30 Jahren hochgerechnet.

Die Kostenschätzung findet sich in Anlage 3. Sie schließt für einen 30 jährigen Betrieb der Anlage mit € 67 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 2A bzw. € 45 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 3B ab. Zu berücksichtigen ist, dass im Falle einer Pump+Treat-Maßnahme für den Gesamtstandort die Kosten nicht aufaddiert werden können, da die Grundwasserreinigungsanlage für beide Bereich auszulegen wäre.

9 Fachliche Bewertung der Sanierungsszenarien

9.1 Verbalargumentative Bewertung

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Sanierungsvarianten sind in der nachfolgenden Tabelle 9.1 zusammengestellt.

Genehmigungsfähigkeit

Alle drei Sanierungsvarianten sind in vollem Umfang genehmigungsfähig. Der Genehmigungsaufwand unterscheidet sich zwar, ist aber dennoch für alle Varianten als überschaubar zu bewerten.

Erreichbarkeit der Sanierungsziele

Bei den beiden Sanierungsvarianten Bodenaustausch und Flächenversiegelung werden die Sanierungsziele im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden ⇒ Mensch vollständig erreicht. Bei der Pump+Treat-Maßnahme wäre eine zusätzliche Überdeckung der Sanierungszone 1A mit sauberen Böden oder eine Versiegelung erforderlich.

Im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden ⇒ Grundwasser ergeben sich ebenfalls Unterschiede. Beim Bodenaustausch werden die Schadstoffe in der Sanierungszone 1A vollständig entfernt, sodass hier die Sanierungsziele voll erreicht werden können.



Tab. 9.1: Verbalargumentative Bewertung der Sanierungsvarianten

Bewertungskriterium	Sanierungsvariante 1	Sanierungsvariante 2	Sanierungsvariante 3
Konzept	Bodenaustausch	Oberflächenabdichtung	Pump+Treat-Maßnahme
Genehmigungsfähigkeit	genehmigungsfähig , jedoch mehrere Einzelgenehmigungen erforderlich		
Erreichbarkeit der Sanierungsziele	<p>Boden⇒Mensch volle Erreichbarkeit</p> <p>Boden⇒Grundwasser Sanierungszone 1A: volle Erreichbarkeit Sanierungszone 1B: fraglich, da kaum ermittelbar, welcher Anteil der Schadstoff- quelle entfernt wird</p>	<p>Boden⇒Mensch volle Erreichbarkeit</p> <p>Boden⇒Grundwasser Sanierungszone 1A: volle Erreichbarkeit Sanierungszone 1B: nicht erreichbar</p>	<p>Boden⇒Mensch Sanierungszone 1A: nur bei zusätzlicher Überde- ckung/Versiegelung voll er- reichbar Sanierungszone 1B: volle Erreichbarkeit</p> <p>Boden⇒Grundwasser volle Erreichbarkeit</p>
Wirkungsdauer	unbegrenzt	sehr langfristig	begrenzt auf die Dauer der Maß- nahme
Zeitaufwand	10 Jahre	4 Jahre	unüberschaubar angenommen 30 Jahre
Verkehrsbelas- tung	extrem , da Bodenab- und -antransport erforderlich	relativ hoch , da Antransport von Profilierungs- böden erforderlich	gering , nur bei Errichtung der Sanierungsanlage
Abfallentstehung	extrem hoch , ca. 2 Mio. t kontaminierter Bo- den, Filter- und Fallschlämme	vernachlässigbar	gering , Filter- und Fallschlämme
Kontroll-/ Nach- sorgeaufwand	gering anfangs Grundwasserbeobach- tung mit abnehmender Tendenz	mittel anfangs Grundwasserbeobach- tung mit abnehmender Tendenz, permanente Kontrolle/Pflege der Oberflächenabdichtung	hoch laufende Wartung der Grundwas- serbehandlungsanlage
Nutzungsmög- lichkeiten nach der Sanierung	uneingeschränkt	nahezu uneingeschränkt , Mehraufwand bei Tiefbaumaß- nahmen (z.B. Unterkellerung)	nahezu uneingeschränkt , Mehraufwand bei Tiefbaumaß- nahmen (z.B. Unterkellerung)
Vermarktungs- möglichkeiten	sehr gut	Sanierungszone 1A: quasi nicht vermarktbar Sanierungszone 1B: relativ gut , da gewerblich nutzbar	relativ gut , da gewerblich nutzbar, Einschränkungen durch Betrieb der Grundwassersanierungsanla- ge

In der Sanierungszone 1B dagegen ist es fraglich, welcher Anteil der Schadstoffquelle durch den kalkulierten partiellen Bodenaustausch entfernt werden kann. Dieser setzt nur an den Sekundärquellen an, die sich durch die schon in den 1970er Jahren durchgeführte In-situ-Sanierung gebildet haben. Im Untergrund dürfte aber nach wie vor auch ein nicht unerheblicher Anteil der Primärquelle vorhanden sein, da die In-situ-Sanierung aufgrund der punktuellen Anwendung nur einen relativ kleinen Teil des Aquifers erfassen konnte. In welchem Umfang hier ein partieller Bodenaustausch wirken würde bleibt offen und lässt



sich vermutlich auch durch weitere eingrenzende Untersuchungen nur unzureichend erfassen.

Eine Oberflächenabdichtung wirkt nur in der Sanierungszone 1A, da hier der Quellbereich auf die ungesättigte Bodenzone beschränkt ist. Die Sanierungsziele würden voll erreicht. In der Sanierungszone 2B ist das Verfahren über die bereits erfolgte Sanierung hinaus nicht wirksam.

Bei Durchführung einer Pump+Treat-Maßnahme werden die Ziele der Sanierung in Bezug auf den Wirkungspfad Boden \Rightarrow Grundwasser im Abstrom der Förderbrunnen erreicht. Im Quellbereich selbst bleibt die Grundwasserbelastung über einen unüberschaubar langen Zeitraum bestehen.

Wirkungsdauer

Die Wirkungsdauer der Sanierungsmaßnahmen ist beim Bodenaustausch als unbegrenzt einzustufen, da die Schadstoffe irreversibel entfernt werden.

Für eine Versiegelung kann eine wenn auch nicht unbegrenzte, so aber doch eine sehr lange Wirksamkeit unterstellt werden. Für eine Abdichtung aus Kunststoffdichtungsbahnen kann eine mehrere hundert Jahre andauernde Wirksamkeit unterstellt werden. Da aber jedes von Menschenhand errichtete Bauwerk auf lange Sicht seine Funktion verliert, ist hier gegenüber der vollständigen Dekontamination eine Einschränkung gegeben.

Die Wirkungsdauer einer Pump+Treat-Maßnahme ist abhängig von der Aufrechterhaltung der Maßnahme. Erst wenn die Schadstoffquelle vollständig gelöst wäre, könnte eine unbegrenzte Wirkungsdauer erzielt werden. Der Zeitpunkt lässt sich seriös nicht berechnen.

Zeitaufwand

Der Zeitaufwand für einen Bodenaustausch ist mit insgesamt 10 Jahren aufgrund der Größe und Tiefe der Fläche sehr hoch.



Eine Flächenversiegelung nimmt wesentlich weniger Zeit in Anspruch. Die Maßnahme ließe sich in einem Zeitraum von 4 Jahren realisieren.

Eine Pump+Treat-Maßnahme müsste aus heutiger Sicht über unbegrenzte Zeit erfolgen. Sanierungsvariante 3 ist über unbestimmte Zeit auszuführen. Für die Abschätzung von Kosten wurde zunächst ein Zeitraum von 30 Jahren unterstellt.

Verkehrsbelastung

Aufgrund der zu bewegendem Bodenvolumina, sowohl bei der Entsorgung wie auch bei der Anlieferung sauberer Böden, würden bei Realisierung der Sanierungsvariante 1 - trotz der günstigen Anbindung an das Verkehrsnetz - extreme Beeinträchtigungen der Anrainer durch Verkehrsbelastung entstehen. Über den Ausführungszeitraum würden in Spitzenzeiten bis zu 100 LKW-Transporte täglich anfallen. Die Verkehrswege würden frühzeitig saniert werden müssen.

Die Verkehrsbelastungen bei Realisierung der Sanierungsvariante 2 (Oberflächenabdichtung) sind dagegen deutlich geringer. Statt der Bewegung von 3,54 Mio. t Böden und Bauschutt (An- und Abtransporte) müssten nur ca. 500.000 t Böden (Profilierung und Reku-Boden) bewegt werden.

Bei Durchführung einer Pump+Treat-Maßnahme fallen nur während der Errichtung der Reinigungsanlage nennenswerte Verkehrsbelastungen über einen begrenzten Zeitraum an. Die entstehenden Verkehrsbelastungen können aufgrund der Lage des Standortes in einem Industriegebiet vernachlässigt werden.

Abfallentstehung

Bedingt durch die unterschiedlichen Sanierungsansätze differiert der Anfall an Abfällen extrem. Der vollkommene Bodenaustausch geht verfahrensbedingt mit dem größten Abfallaufkommen einher. Bei den anderen beiden Sanierungsvarianten ist die Abfallentstehung als sehr gering bis gering einzustufen.



Nachsorgeaufwand

Der Bodenaustausch erfordert nur einen geringen Nachsorgeaufwand, der sich auf anfänglich regelmäßige Grundwasserkontrollen beschränkt, auf die später ganz verzichtet werden kann.

Eine Oberflächenabdichtung erfordert neben einem regelmäßigen Grundwassermonitoring in abnehmender Frequenz zusätzlich eine regelmäßige Kontrolle und Wartung der Oberflächenabdichtung. Angesichts der Flächengröße von 175.000 m² ist dieser Aufwand nicht zu vernachlässigen.

Die Pump+Treat-Maßnahme erfordert eine laufende Betreuung der Grundwasserbehandlungsanlage, die wie an anderer Stelle erwähnt aufgrund der hohen Wassermenge von über 350 m³/h einem Klärwerk gleichkäme und einen entsprechenden Personal- und Materialaufwand erfordert. Der regelmäßige Kontrollaufwand für die Grundwasserüberwachung fällt dabei kaum ins Gewicht.

Nutzungs- und Vermarktungsmöglichkeiten

Nach einem Bodenaustausch ist das Gelände uneingeschränkt nutzbar. Der beabsichtigten Nutzung als Gewerbegebiet steht nichts entgegen, die Vermarktungsmöglichkeiten dürften dementsprechend gut sein.

Bei Aufbringung einer Oberflächenabdichtung im Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen wäre dieser Teil des Geländes von einer gewerbliche Nutzung ausgenommen. Die Restfläche wäre wie bei einem Bodenaustausch gewerblich uneingeschränkt nutzbar. Eine Sonderstellung nimmt die jetzt bereits vorhandene Oberflächenabdichtung ein. Auch dieser Bereich ist streng genommen gewerblich nicht nutzbar. Die Oberflächenabdichtung kann aber jeder Zeit durch eine Überbauung überdeckt oder ersetzt werden. Es ist lediglich sicher zu stellen, dass die Funktion der Versiegelung bei Einstellung der gewerblichen Nutzung erhalten bleibt bzw. die Dichtung wieder hergestellt wird. Letztlich könnte dieses Gedankenmodell auch auf den Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen übertragen werden. Dieser Bereich ist allerdings deutlich größer. Eine dortige Oberflächenabdichtung würde sich kaum in ein Bebauungskonzept ganz oder teilweise einbinden lassen. Sie



würde eher durch eine Bebauung ersetzt, was bei der geplanten Nutzung des Geländes auch sinnvoll wäre.

Bei Durchführung einer Pump+Treat-Maßnahme ist das Gelände gewerblich uneingeschränkt nutzbar. Die Standorte der Brunnen und der Grundwasserreinigungsanlage sowie deren Zu- und Ableitungen wären von der Bebauung allerdings freizuhalten. Bei tieferen Einbauten ist mit dem Anfall belasteter Böden zu rechnen, die gesondert zu entsorgen wären. Das Gelände dürfte dennoch gut vermarktbare sein.

9.2 Nutzwertanalyse

9.2.1 Bewertungskriterien

Für die Detailbeurteilung der Sanierungsvarianten gelten gemäß [9] drei Kriterien:

- Wirksamkeit der Sanierungsmaßnahme (Qualität der Maßnahme)
- Auswirkungen während der Sanierungsmaßnahme (Einfluss der durchzuführenden Maßnahmen während der Bau- und Sanierungstätigkeiten auf die betroffenen Personen und auf die Umwelt)
- Grundstücksqualität nach der Sanierungsmaßnahme (resultierender Nutzen des Grundstücks)

Innerhalb dieser Kriterien werden folgende Merkmale unterschieden:

1. Wirksamkeit

- Erfüllung des Sanierungszieles

Die Erfüllung des Sanierungszieles kann in unterschiedlichem Ausmaß erfolgen, beispielsweise kann das Ziel durch eine Dekontamination besser erreicht werden als durch eine Sicherungsmaßnahme, bei der die Schadstoffe im Untergrund verbleiben.

- Wirkungsdauer

Bei der Beschreibung der Wirkungsdauer erhalten langfristig und endgültig das Sanierungsziel erfüllende Maßnahmen eine bessere Bewertung als mittelfristige Methoden, die es nach mehreren Jahren zu überprüfen gilt.



- Überwachbarkeit

Die Wirkung einer Sanierungsmaßnahme kann nur durch deren Überwachung endgültig bewertet werden. Einfache und sichere Überwachungsmöglichkeiten einer Maßnahme werden besser bewertet als höhere Anforderungen an das Überwachungskonzept.

- Wiederherstellung

Methoden, bei denen die Wiederherstellung der mit Schadstoffen unbelasteten Untergrundsituation erfolgt, werden besser bewertet im Vergleich zu Sicherungsmaßnahmen, bei denen das Schadstoffpotenzial im Untergrund verbleibt.

- Nachhaltigkeit

Bei der Beschreibung der Nachhaltigkeit erhalten langfristig und endgültig das Sanierungsziel erfüllende Maßnahmen eine bessere Bewertung als mittelfristige Methoden, da eine Verschlechterung des erzielten Erfolges auch nach mehreren Jahren nicht zu erwarten ist.

2. Auswirkungen während der Sanierungsmaßnahme

- Beeinträchtigung Betroffener

Während einer Aushubmaßnahme ist beispielsweise die Beeinträchtigung der Anwohner durch Lärm, Staub und Schadstoffe in der Luft stärker als bei einer einfachen Abdeckung des betroffenen Bodens.

- Beeinträchtigung der Umwelt

Verfahren, bei denen z.B. unvermeidbar Schadstoffe in die Atmosphäre freigesetzt werden, werden schlechter beurteilt, als Verfahren, bei denen dies vermieden wird.

- Abfallentstehung

Bei Dekontaminationsmaßnahmen können große Mengen von Abfällen zur Beseitigung entstehen, was möglichst zu vermeiden ist. Entsprechend wird eine hohe Punktzahl bei wenig Erzeugung von Abfall durch die Maßnahme vergeben.

3. Grundstücksqualität nach der Sanierungsmaßnahme

- Nutzungsmöglichkeiten

Die uneingeschränkte Nutzungsmöglichkeit beispielsweise nach einer Dekontamination wird besser bewertet als Einschränkungen aufgrund von verbleibenden Schadstoffen im Untergrund.



- Vermarktungsmöglichkeiten

Die Vermarktungsmöglichkeiten sind eng mit den Nutzungsmöglichkeiten verknüpft. Beispielweise hat ein Grundstück mit kontaminiertem Untergrund geringere Vermarktungsmöglichkeiten als ein schadstofffreies.

- Haftungssicherheit

Durch den Indikator Haftungssicherheit wird die Sicherheit der Sanierungsmaßnahme im Hinblick auf den hierfür Haftenden beurteilt. Beispielsweise kann eine bessere Sicherheit bei der Dekontamination im Vergleich zu dem Verbleib von Schadstoffen im Untergrund prognostiziert werden.

Die drei Kriterien werden im Folgenden mit einer Gewichtung von 50 % für die Wirksamkeit, 30 % für die Auswirkungen und 20 % für die Grundstücksqualität versehen. Die resultierenden Punkte führen zum so genannten "quantifizierten Nutzen".

9.2.2 Bewertung

Die nutzwertanalytische Bewertung der betrachteten Sanierungsvarianten ist Anlage 4 zu entnehmen.

Der Vergleich der Bewertungszahlen zeigt, dass der Bodenaustausch gegenüber den beiden anderen Sanierungsvarianten bezüglich der Indikatoren Wirksamkeit und Grundstücksqualität deutliche Vorteile aufweist.

Die Wirksamkeit des Bodenaustausches ist nach dem Zahlenwert um das 1,5-fache höher als die einer Grundwassersanierung, da eine weitgehende Dekontamination erreicht wird. Auch gegenüber einer Flächenversiegelung ergeben sich Vorteile, da dabei die Sanierungsziele nicht in vollem Umfang erreicht werden können, die Wirkungsdauer eingeschränkt ist und die Maßnahme damit weniger nachhaltig ist.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen der Maßnahme ergibt sich ein anderes Bild. Die geringsten Auswirkungen hat die Pump+Treat-Maßnahme, die Unterschiede zu den Auswirkungen einer Oberflächenabdichtung sind aber relativ gering. Die größten Auswirkungen hat insbesondere aufgrund des hohen Abfallaufkommens der Bodenaustausch.



Die Grundstücksqualität wäre nach einem Bodenaustausch optimal. Der geringste Grundstückswert ergibt sich bei Realisierung einer Oberflächenabdichtung, da der betroffene Teil der Fläche nicht mehr gewerblich genutzt werden könnte.

Zusammengefasst ergibt sich bei deutlichen Unterschieden zu den anderen Sanierungsszenarien für den Bodenaustausch der höchste Nutzen.

10 Nutzen-Kosten-Untersuchung

10.1 Auswahl des Bewertungsverfahrens

Die geeigneten Sanierungsszenarien sind nach Anhang 3 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) auf das mit ihnen verbundene Verhältnis von Kosten und Wirksamkeit zu prüfen. Damit wird u.a. der Forderung nach der wirtschaftlichen und sparsamen Verwendung öffentlicher (Förder-)Mittel Rechnung getragen.

Ziel der Nutzen-Kosten-Untersuchung ist es, im Sinne einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung das Sanierungsszenario zu ermitteln, das bezüglich des erzielbaren technischen, ökologischen und sozialen Nutzens bei Berücksichtigung der anfallenden Kosten im jeweiligen Einzelfall am besten geeignet ist. Damit soll eine Entscheidung zugunsten einer geeigneten, angemessenen und verhältnismäßigen Sanierung gefördert werden. Zur Durchführung einer solchen Untersuchung stehen grundsätzlich drei Verfahren zur Verfügung [9]:

1. Dynamische Kostenvergleichsrechnung (KVR), bei Szenarien mit gleichem Nutzen
2. Kosten-Wirksamkeitsanalyse (KWA) durch Abgleich von Kosten und Nutzwertanalyse
3. Kosten-Nutzen-Analyse (KNA) mit "Monetisierung" des Nutzens

Die Entscheidung, welches Verfahren anzuwenden ist, soll in Abhängigkeit von der Vergleichbarkeit der Sanierungsszenarien, insbesondere jedoch von dem damit verbundenen Nutzen erfolgen. Der Nutzen wird gemäß der in Abschnitt 9.2.1 näher erläuterten Indikatoren für Wirksamkeit, Auswirkungen und Grundstücksqualität bewertet.

Die dennoch vorhandenen Unterschiede ergeben sich im Wesentlichen aus der Art des Behandlungsverfahrens. Während beim Bodenaustausch tatsächlich dekontaminiert wird, steht bei den anderen Verfahren eine Sicherung der Altlast im Vordergrund.



Die genannten Unterschiede führen dazu, dass eine reine Kostenvergleichsrechnung in diesem Fall nicht angemessen ist, sondern eine Bewertung des Nutzens im Vergleich zu den Kosten der jeweiligen Variante vorzunehmen ist. Der Nutzen lässt sich seriös jedoch auch nicht monetisieren. Eine Kosten-Nutzen-Analyse mit Monetisierung ist daher im vorliegenden Fall ebenfalls nicht angemessen.

Somit verbleibt für die Nutzen-Kosten-Untersuchung der Sanierungsvarianten als sinnvollster Ansatz eine Kosten-Wirksamkeitsanalyse.

10.2 Kosten-Wirksamkeitsanalyse

Das Nutzen-Kosten-Verhältnis berechnet sich aus dem Quotienten der gewichteten Punktzahl des quantifizierten Nutzens und dem Sanierungsaufwand der Szenarios. Zur besseren Lesbarkeit wird der Quotient für die drei Szenarios mit dem Faktor 100.000 multipliziert. Die Kosten-Nutzen-Quotienten für die drei Sanierungsszenarien sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab. 10.1: Kosten-Nutzen-Quotienten der Sanierungsszenarien für die Quellsanierung

Kosten-Nutzen-Aspekt	Sanierungsvariante 1 Bodenaustausch		Sanierungsvariante 2 Oberflächenabdichtung		Sanierungsvariante 3 Pump+Treat	
	Sanierungszone 1A	Sanierungszone 1B	Sanierungszone 1A	Sanierungszone 1B	Sanierungszone 2A	Sanierungszone 2B
quantifizierter Nutzen	16,4	13,3	12,4	-	11,9	11,9
Sanierungsaufwand (brutto) €	91.466.375	81.089.827	19.412.470	196.350	67.282.600	45.278.310
Nutzen-Kosten-Verhältnis (=quantifizierter Nutzen / Sanierungsaufwand * 100.000)	0,02	0,02	0,06	-	0,02	0,03

Das günstigste Kosten-Nutzen-Verhältnis der untersuchten Sanierungsvarianten ergibt sich erwartungsgemäß mit 0,06 für die Oberflächenabdichtung in der Sanierungszone 1A. Die Sanierungszone 1B entfällt bei dieser Betrachtung, da hier eine Oberflächenabdichtung bereits vorhanden ist und für den Restbereich nutzlos wäre.

Die beiden übrigen Sanierungsvarianten schneiden in beiden Sanierungszonen gleich schlecht ab. Für die Sanierungszone 2B ergibt sich ein leichter Vorteil für eine Pump+Treat-Maßnahme.



Festzuhalten bleibt, dass für alle Sanierungsvarianten zweistellige Millionenbeträge aufzuwenden wären. Dies gilt insbesondere für einen Bodenaustausch. Die Kosten für eine hydraulische Sanierung, die bislang nur sehr überschlägig ermittelt wurden, sind geringer, aber immer noch sehr hoch. Die Zahlen gelten nur für einen Zeitraum von 30 Jahren, der nicht ausreichend wäre. Vor diesem Hintergrund wurde auf eine detailliertere Kostenermittlung an dieser Stelle verzichtet.

11 Verhältnismäßigkeitsabwägung

11.1 Bodenschutzrechtliche Vorgaben

Die Gefährdungsabschätzung hat ergeben, dass ein Grundwasserschaden vorliegt. Schädliche Bodenveränderungen und Altlasten sind nach § 4 Abs. 3 Satz 1 BBodSchG grundsätzlich so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit entstehen. Grundwasserverunreinigungen müssen also prinzipiell verhindert bzw. beseitigt werden; im vorliegenden Fall besteht also prinzipiell Sanierungsbedarf.

Die generell zur Verfügung stehenden Sanierungsverfahren wurden in Abschnitt 7 hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf den vorliegenden Fall untersucht. Darauf aufbauend wurde in Abschnitt 8 die Machbarkeit für drei Sanierungsszenarien, die prinzipiell anwendbar und technischer Standard sind, hinterfragt und in Abschnitt 9 bewertet.

Ob und welche Maßnahmen durchzuführen sind, hängt aber davon ab, ob sie nach den konkreten Umständen des Einzelfalls verhältnismäßig sind. Verhältnismäßig ist eine Maßnahme, die zur Feststellung der Gefahr oder zur Abwendung der Gefahr geeignet, notwendig und zumutbar bzw. verhältnismäßig im engeren Sinne ist [10].

11.1.1 Geeignetheit

Geeignet ist jede Maßnahme, die zur Erreichung des Sanierungsziels objektiv beiträgt. Auch Maßnahmen, die die Gefahr nicht völlig beseitigen, sondern nur mindern, sind geeignet. Ob es ausreicht, eine Gefahr nicht völlig zu beseitigen, liegt im Ermessen der zuständigen Behörde.



Unter Eignung ist auch die technische Durchführbarkeit einer Maßnahme unter den Gegebenheiten des Einzelfalls zu verstehen, welche im Rahmen der Gefährdungsabschätzung und ggf. Sanierungsuntersuchung ermittelt werden.

Technisch betrachtet stehen geeignete Verfahren zur Sanierung des Standortes zur Verfügung, wenn auch Fragen zur Effektivität offen bleiben (vgl. Abschn. 7). Alle denkbaren Verfahren zur Sanierung der Schadstoffquelle sind jedoch mit erheblichem bautechnischem und finanziellen Aufwand verbunden. Der Grundwasserschaden kann ohne Quellsanierung letztlich nur hydraulisch gesichert werden. Diese Maßnahmen müssten über einen derzeit quasi unabsehbaren Zeitraum erfolgen.

11.1.2 Notwendigkeit

Notwendig sind nur solche Maßnahmen, die in die Rechte des Pflichtigen nicht schärfer eingreifen, als es zur Abwendung der Gefahren erforderlich ist. Generell soll von mehreren zur Erreichung des festgelegten Ziels gleich geeigneten Mitteln das mildeste gewählt werden.

Die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen ist eng verknüpft mit den abschließend festzulegenden Sanierungszielen. Im Regelfall lässt sie sich daher bei komplexen Schadensfällen erst nach Abschluss aller Sanierungsüberlegungen endgültig beantworten.

11.1.3 Verhältnismäßigkeit im engeren Sinne

Eine Maßnahme ist verhältnismäßig i.e.S. bzw. zumutbar, wenn die zu erwartenden negativen Auswirkungen zu dem beabsichtigten Erfolg nicht erkennbar außer Verhältnis stehen. In [10] werden u. a. folgende Entscheidungskriterien genannt:

- Höhe des gegenwärtigen und des zukünftig zu erwartenden Stoffeintrags nach Konzentrationen und Frachten
- Voraussichtliche Dauer und zukünftige räumliche Ausbreitung des Stoffeintrags
- Beurteilung des Schadstoffspektrums
- Wasserwirtschaftliche Nutzungen und Potenziale im Umfeld
- Sensibilitäten sonstiger Umfeldnutzungen



Höhe des gegenwärtigen und des zukünftig zu erwartenden Stoffeintrags

Bei der Beurteilung des Ausmaßes des festgestellten Schadstoffeintrags in das Grundwasser ist u.a. zu berücksichtigen, ob die erhöhten Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser auf Dauer nur geringe Schadstofffrachten und nur lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen in Gewässern erwarten lassen (BBodSchV § 4 Abs. 7). Diese Voraussetzungen sind am Standort aufgrund der Abmessungen der Schadensbereiche nicht gegeben. Die für eine derartige Bewertung erforderliche Frachtenbetrachtung erfolgte in der Gefährdungsabschätzung [4], auf die verwiesen wird.

Voraussichtliche Dauer und zukünftige räumliche Ausbreitung des Stoffeintrags

Die Abschätzung der Dauer des Grundwasserschadens hat ergeben, dass dieser nach derzeitiger Einschätzung über einen quasi unüberschaubaren Zeitraum (mindestens 30 - 60 Jahre) fortbesteht [4].

Schadstoffspektrum

Das Schadstoffspektrum ist begrenzt. Es umfasst nur Schwermetalle, die auch natürlicherweise vorkommen. Nicht in der Natur vorkommende Industriechemikalien wurden am Standort nicht oder nur in unbedeutender Konzentration nachgewiesen.

Die Stoffe sind jedoch unterschiedlich konzentriert und in unterschiedlichem Maß toxisch. Die nach der Konzentration besonders relevanten Arsenverbindungen können je nach Bildungsform stark toxisch sein.

Wasserwirtschaftliche Nutzungen und Potenziale im Umfeld

Der Standort liegt nicht im Einzugsgebiet einer Trinkwassergewinnungsanlage. Der Bereich ist nicht als Wasservorranggebiet ausgewiesen. Im unmittelbaren Abstrom sind ferner keine privaten Wassernutzungen bekannt.



Sensibilitäten sonstiger Umfeldnutzungen (Belastungssituation im Umfeld)

Der Standort ist ein Teil eines größeren Industrieareals. Im Umfeld existieren weitere Flächen, auf den Belastungen vorhanden sind. Diese wurden zwar bereichsweise saniert, dennoch sind auch heute noch in begrenztem Umfang Stoffeinträge in das Grundwasser möglich.

11.2 Zusammenfassende Bewertung

Die vorstehenden Betrachtungen lassen erkennen, dass die Schadensbereiche nach den bodenschutzrechtlichen Maßstäben - auch wenn diese nicht allgemein anerkannt konkretisiert sind - bei weitem nicht als unbedeutend eingestuft werden kann.

Für die Sanierung stehen einerseits erprobte Verfahren zur Verfügung. Sie verursachen allerdings einen extrem hohen technischen und finanziellen Aufwand. Auch bleiben Fragen zu den tatsächlichen Möglichkeiten einer Umsetzung offen.

Eine Bodenumlagerung würde voraussetzen, dass tatsächlich Deponien im Umfeld die anfallenden Bodenmengen aufnehmen könnten. Dies ist in Zweifel zu ziehen, da die anfallende Bodenmasse bereits Auswirkungen auf die Abfallwirtschaftspläne der übergeordneten Behörden haben würde. Eine Umlagerung in dieser Menge würde schließlich auch nur eine Problemverlagerung von einem kontaminierten Standort hin zu einer Deponie bedeuten. Die Massen, die über Straßen zu bewegen sind und an anderer Stelle wertvollen Deponieraum belegen würden, sowie die Massen an benötigten sauberen Böden, die auf dem Markt kaum zur Verfügung stehen, stehen einem begrenzten Grundwasserschaden, der sich nicht weiter ausbreiten kann und keine Nutzungen bedroht gegenüber. Sicher darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Schadstofffrachten nach einschlägigen Maßstäben hoch sind und das Schutzgut Grundwasser maßgeblich beeinträchtigen. Auch das Oberflächenwasser wird beeinträchtigt, allerdings ist dies aufgrund der hohen Verdünnung analytisch nicht nachweisbar. In Anbetracht der Tatsache, dass die Gefährlichkeit eines Stoffes letztlich von seiner Konzentration abhängt, ist die Gefahr für das Oberflächenwasser vernachlässigbar. Dies gilt insbesondere deshalb, weil alle relevanten Schadstoffe in der Natur vorkommen.



Eine Bodenumlagerung erscheint als Sanierungsszenarium gleichermaßen unverhältnismäßig wie unsinnig.

Ähnlich kritisch ist eine Pump+Treat-Maßnahme zu werten. Dabei würde dauerhaft mit hohem Aufwand die in die Oberflächengewässer übertretende Schadstofffracht minimiert. Da für die Oberflächengewässer aber kaum eine Gefahr besteht, stellt sich hier ebenfalls die Frage nach dem Sinn der Maßnahme. Ähnlich wie bei einer Bodenumlagerung wären die Auswirkungen der Maßnahme auf die Umwelt ähnlich negativ wie der Schaden selbst. Die Maßnahmen wären dauerhaft erforderlich. Ein signifikanter Rückgang der Grundwasserbelastungen innerhalb eines vertretbaren Zeitraums (max. 30 Jahre) ist aufgrund der bisherigen bereits 40-jährigen Erfahrungen nicht zu erwarten.

Auch bei diesem Verfahren bleiben noch Fragen zur Durchführbarkeit der Maßnahme offen. Die anfallende Wassermenge von $> 330 \text{ m}^3/\text{h}$ ist extrem hoch, eine Ableitung in den Kanal, aber auch eine Versickerung wird kaum möglich sein. Es bliebe nur die Ableitung in den Rhein, wo die Wässer auch ohne vorherige Klärung nicht nachweisbar sind.

Unter Kosten-/Nutzen-Aspekten ist eine Oberflächenabdichtung als sinnvollste Variante einzustufen. Diese würde aber nur im Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen wirken (Sanierungszone 1A). Da geplant ist, den Bereich wie die Umgebung gewerblich/industriell zu nutzen, stellt sich aber auch hier die Frage nach dem Sinn. Eine Versiegelung der Oberfläche lässt sich auch dauerhaft durch eine Überbauung erreichen.

Vor dem Hintergrund der vorstehenden Ausführungen ist es aus Sicht der Unterzeichnenden - trotz der massiven Belastungen - weder notwendig, noch verhältnismäßig im engeren Sinn, das Gelände der ehemaligen Zinkhütte Nievenheim einem der betrachteten Sanierungsszenarien zu unterziehen.

Gleichwohl besteht Sanierungsbedarf. Eine Sanierung der Zone 1A bzw. 1B lässt sich statt mit einer Oberflächenabdichtung ebenso erfolgreich durch eine Bebauung realisieren. Die Sanierungszone 1B bzw. 2B ist dagegen aus Sicht der Unterzeichner mit verhältnismäßigen Mitteln nicht sanierbar.



12 Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

12.1 Abschließende Zielfestlegung

Bei der abschließenden Festlegung von Sanierungszielen ist es relevant, welcher Zustand sich unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit herstellen lässt.

In Bezug auf die Schadstoffquelle lassen sich die angestrebten Sanierungsziele für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch alle erreichen. Von größerer Bedeutung sind die Sanierungsziele in Bezug auf den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser. Das vorläufig für die Sanierung der Schadstoffquelle angestrebte Ziel, den Eintrag von Schadstoffen aus der ungesättigten und/oder gesättigten Bodenzone in das Grundwasser sicher und nachhaltig auszuschließen, kann in der Sanierungszone 1A erreicht werden, nicht aber in der Sanierungszone 1B. Auch das vorläufige Ziel, den Grundwasserschaden selbst im Quellbereich zu beseitigen oder zu verringern, muss aufgegeben werden.

In Bezug auf die Grundwassersanierung ist festzuhalten, dass auch diese in der Sanierungszone 1A bzw. 2A erreicht werden können. In der Sanierungszone 1B bzw. 2B ist dies wie bei der Quellsanierung mit vertretbaren Mitteln nicht erreichbar. Zwar könnte der Abstrom bzw. die Ausbreitung von kontaminiertem Wasser durch die Installation einer Wasserhaltung und -aufbereitung eingedämmt werden, allerdings sind dafür dauerhaft erhebliche finanzielle Mittel erforderlich. Eine Reduzierung der Schadstofffracht um 80 % ist zwar technisch möglich, wirtschaftlich aber nicht vertretbar. Insofern ist dieses Ziel aufzugeben.

Als Ziele für das weitere Vorgehen werden folgende Vorschläge unterbreitet:

- Die Qualität des Grundwassers darf sich im Vergleich zum Ist-Zustand nicht nachteilig verändern, d.h. eine weitere Ausbreitung der Schadstoffe ist wirksam und messbar zu unterbinden (Verschlechterungsverbot).
- Langfristig ist gemäß WRRL eine regressive, d.h. rückläufige Entwicklung der Schadstoffgehalte zu erreichen (Trendumkehr).
- Für verbleibende Restkontaminationen ist zu sichern, dass für das Grundwasser und sonstige im Abstrom liegende Schutzgüter dauerhaft keine Gefahren ausgehen.



12.2 Handlungsempfehlung

Wie dargelegt kann die Belastungssituation am Standort sinnvoll nur durch die Unterbrechung des Sickerwasserpfades saniert werden. In Anbetracht der angestrebten Nutzung als Gewerbe/Industriegebiet bietet sich eine Versiegelung durch Überbauung an. Die Überbauung ist so zu gestalten, dass die belasteten Bereiche vollflächig versiegelt werden. Versickerungseinrichtungen zur Ableitung von Oberflächenwasser können in diesem Bereich nicht realisiert werden.

Die Ausdehnung der Belastungen ist anhand weiterer Erkundungen einzuengen. Auf der Basis der Ergebnisse sind die Flächen zu kennzeichnen, die einer vollflächigen Versiegelung bedürfen.

Nach Prüfung der Verhältnismäßigkeit der Sanierungsmaßnahmen durch die zuständige Behörde ist im nächsten Schritt ein Sanierungsplan gemäß § 13 BBodSchG aufzustellen. Parallel dazu ist das Nutzungskonzept zu präzisieren und der Bedarf an Ausgleichsmaßnahmen zu ermitteln.

13 Zusammenfassung

Die RWE Power AG plant als Eigentümer der ehemaligen Zinkhütte in Dormagen-Nievenheim eine gewerblich/industrielle Neunutzung des seit Jahren brach liegenden Geländes. Der Standort wurde bereits in der Vergangenheit in mehreren Kampagnen Untersuchungen zur Feststellung des Schadstoffinventars in Boden und Grundwasser sowie partiell auch bereits Sanierungsmaßnahmen unterzogen. Da sich seither die Rechtslage durch Einführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) maßgeblich geändert hat, wurde eine Neubewertung erforderlich.

Standort-/Untergroundsituation

Das von 1913 bis 1971 betriebene Hüttengelände ist ca. 100 ha groß. Die Geländeoberfläche ist größtenteils eben und weist ein leichtes Gefälle in nordöstliche Richtung auf. Zum



Rhein hin fällt das Gelände terrassenartig ab. Ein Großteil der Fläche ist mit Gras, Büschen und Bäumen bewachsen und wird landwirtschaftlich oder zur Eigenjagd genutzt.

Baubedingt stehen nur im Bereich der alten Produktionsanlagen oberflächennah unterschiedlich mächtige Auffüllungen an. Die oberste natürliche Schicht bilden Auensedimente des Rheins. Lokal fehlt diese Schicht. Der Übergang zu den kiesig-sandigen pleistozänen Niederterrassensedimenten des Rheins ist fließend.

Der Grundwasserstand wird durch den Rhein beeinflusst. Im Mittel beträgt der Flurabstand zwischen 5 und 10 m u. GOK. Die Grundwasserfließrichtung ist in nordöstliche Richtung auf den Rhein hin gerichtet. Bei Rheinhochwasser können jedoch influente Verhältnisse auftreten.

Die Fläche liegt teilweise im Überschwemmungsbereich des Rheins. Bei einem hundertjährigen Hochwasserereignis wird ein Wasserstand von bis zu 40,5 mNN erreicht. Der Bereich der ehemaligen Sickergruben wird damit 2 bis 4 m eingestaut.

Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung

Zur Untersuchung des Bodens wurden Oberflächenmischproben sowie je 50 Rammkernsondierungen und Schwere Rammsondierungen durchgeführt. Ferner erfolgten zur Erkundung der Fundamente der ehemaligen Produktionsgebäude insgesamt 10 Baggerschürfe. Die Beschaffenheit des Grundwassers wurde einerseits über die bestehenden Messstellen und andererseits über Grundwassersondierungen untersucht. Die chemischen Analysen umfassten Schwermetallanalysen, PAK- und PCB-Untersuchungen sowie ICP- und GC/MS-Screenings.

Die Oberflächenproben sind in den ehemals unbebauten Bereichen unauffällig. Im Bereich der ehemaligen Bebauung liegen dagegen hohe Schwermetallgehalte vor, die mit der Tiefe rasch abnehmen. Organische und andere anorganische Belastungen liegen nicht vor oder können vernachlässigt werden.

Die im Boden vorliegenden Schwermetallbelastungen teilen sich bereichsweise dem Grundwasser mit. Dieses ist im Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen vor allem mit



Zink und Cadmium belastet. Im Abstrom der ehemaligen Sickergruben tritt dagegen Arsen hervor. Die Belastungen mit Zink und Cadmium sind im Vergleich geringer. Anders als im ehemaligen Produktionsbereich, wo der Stoffeintrag in das Grundwasser ausschließlich über das Sickerwasser erfolgt, ist der Stoffeintrag im Bereich der Sickergruben auf Kontaktgrundwasser zurückzuführen.

Sowohl im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden⇒Mensch als auch im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser besteht Sanierungsbedarf.

Der Bereich der ehemaligen Sickergruben ist derzeit mit einer gemäß dem öffentlich-rechtlichen Vertrag zwischen dem Rhein-Kreis Neuss und der RWE Power AG festgelegten Oberflächenabdichtung versehen. Der Grundwasserschaden im Abstrom der ehemaligen Sickergruben wurde bereits mit einer In-Situ-Oxidation behandelt, was aber weitgehend ergebnislos verlief.

Vorläufige Sanierungsziele

Im Quellbereich ist das Sanierungsziel für den Wirkungspfad Boden⇒Mensch zunächst die Einhaltung der Prüfwerte der BBodSchV für Industrie- und Gewerbegrundstücke in den oberen 10 cm des Bodenprofils. Da ein solcher Zustand dauerhaft aber kaum gewährt werden kann, ist entweder die Einhaltung der relevanten Prüfwerte über eine größere Bodenmächtigkeit (≥ 60 cm) oder die vollständige Unterbindung eines Bodenkontaktes anzustreben. In Bezug auf den Wirkungspfad Boden⇒Grundwasser ist durch geeignete technische Maßnahmen sicherzustellen, dass ein Eintrag von Schadstoffen aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser sicher und nachhaltig ausgeschlossen werden kann.

Für den Grundwasserschaden gilt im ersten Ansatz, dass er durch technische Maßnahmen zu beseitigen oder soweit zu verringern ist, dass eine deutliche Konzentrationsminderung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit in überschaubaren Zeiträumen erfolgt. Da eine absolut vollständige Dekontamination des Grundwasserschadens mit verhältnismäßigen Mitteln kaum erreicht werden dürfte, wird empfohlen, im Wesentlichen qualitative Sanierungsziele zu verfolgen.



Sanierungszonen

Am Standort werden vier Sanierungszonen unterschieden:

- Sanierungszone 1 Quellbereiche
 - ⇒ Sanierungszone 1A Wasserungesättigte Bodenzone im Bereich ehem. Produktionsanlagen
(ca. 175.000 m², ca. 0,875 Mio. m³ bzw. ca. 1,58 Mio. t)
 - ⇒ Sanierungszone 1B Ungesättigte und gesättigte Bodenzone im Bereich der ehem. Sickergruben und deren Abstrom
(ca. 135.000 m², 2,3 Mio. m³ bzw. 4,1 Mio. t)

- Sanierungszone 2 Grundwasserschäden
 - ⇒ Sanierungszone 2A ehem. Produktionsanlagen (175.000 m²)
 - ⇒ Sanierungszone 2B ehem. Sickergruben (ca. 135.000 m²)

Sanierungsvarianten

Zur Sanierung des Schadens wurden folgende Varianten untersucht:

Sanierungszone 1

- Sanierungsvariante 1 Quellsanierung durch Bodenaustausch
- Sanierungsvariante 2 Quellsanierung durch Oberflächenversiegelung

Sanierungszone 2

- Sanierungsvariante 3 Grundwassersanierung durch Pump+Treat

Sanierungsvariante 1 Quellsanierung durch Bodenaustausch

Sanierungsvariante 1 sieht die vollständige Dekontamination der belasteten Bodenbereiche vor. Der dafür erforderliche technische Aufwand unterscheidet sich aufgrund der Tiefenlage der Belastungen in den Sanierungszonen 1A und 1B erheblich. Während innerhalb der Sanierungszone 1A (ehem. Produktionsanlage) ein Aushub mittels Bagger möglich ist, müssen in der Sanierungszone 1B (ehem. Sickergruben und Abstrombereich) Spezialtiefbauverfahren eingesetzt werden.

Im Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen befinden sich derzeit noch die unterirdischen Einbauten der ehemaligen Zinkhütte. Teilweise existieren noch unversehrte Bodenplatten. Der Bodenaushub umfasst somit auch den Rückbau der alten Gebäudereste sowie



aller alten Leitungen. Für die aktuellen Überlegungen wird von einer mittleren Aushubtiefe von 5 m u. GOK ausgegangen. Damit fallen im ehemaligen ca. 175.000 m² großen Produktionsbereich insgesamt ca. 0,875 Mio. m³ bzw. ca. 1,58 Mio. t Boden und Bauschutt an. Der Grundwasserspiegel steht ca. 10 m u. GOK an, sodass weder eine Grundwasserfassung noch eine Absenkung erforderlich sind.

Die Sanierungszone 1B kann aufgrund ihrer Abmessungen (135.000 m² Fläche, 17 m Tiefe) nicht vollständig ausgekoffert werden. Realistisch ist nur ein partieller Aushub im engeren Bereich der ehemaligen Injektionsbrunnen, wo sich bevorzugt Sekundärquellen gebildet haben dürften. Unter der Annahme, dass sich konzentrierte Ausfällungen in einem Radius von ca. 10 m um die Messstellen gebildet haben, errechnet sich eine zu bearbeitende Fläche von 300 m² je Brunnen bzw. 5.100 m² insgesamt. Um einen vollständigen Austausch des belasteten Bodens zu gewährleisten, werden die Austauschbohrungen überlappend in Richtung des Grundwasserstroms, d.h. mit Überschnitt ausgeführt.

Bei einem Bodenaushub durch überschnittene Großbohrungen ist eine kurzzeitige, aber starke Mobilisierung der dem Korngerüst anhaftenden Schmiermetall-Verbindungen zu erwarten. Aus diesem Grund wäre bei einem Bodenaustausch in der Sanierungszone 1B der Grundwasserabstrom temporär durch eine Grundwasserhaltung zu sichern.

Der Bodenaustausch wäre realistisch abgeschätzt insgesamt innerhalb von etwa acht bis neun Jahren durchführbar. Die Kostenschätzung schließt mit € 91,5 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1A und € 81 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1B ab.

Sanierungsvariante 2 Quellsanierung durch Oberflächenversiegelung

Sanierungsvariante 2 sieht vor, den Boden im aktuellen Zustand zu belassen und eine Oberflächenversiegelung durch Überbauung oder Oberflächenabdichtung vorzunehmen.

Die Abdichtung der Oberfläche macht nur in der Sanierungszone 1A Sinn. Hier befinden sich die Kontaminationen in der ungesättigten Bodenzone. In der Zone 1B existiert bereits eine wirksame Abdichtung im Bereich der ehemaligen Sickergruben. Im Restbereich befinden sich die Kontaminationen in der wassergesättigten Bodenzone. Das Prinzip einer Oberflächenabdichtung greift hier nicht.



Für das Aufbringen einer Oberflächenabdichtung ist die Fläche zunächst zu profilieren. Dafür können Böden bis zur Belastungsklasse Z2 eingebaut werden, da der Bereich nicht im Überschwemmungsgebiet liegt. Derzeit wird unterstellt, dass die Gesamtfläche der Sanierungszone 1A von 175.000 m² abzudichten wäre. Das tatsächliche Ausmaß wäre durch eingrenzende Untersuchungen zu präzisieren. Zur Begrenzung der aufzubringenden Profilierungsmassen wird ein Mindestgefälle von ca. 2,5 % empfohlen. Das zur Profilierung erforderliche Bodenvolumen wird mit rund 300.000 m³ abgeschätzt.

Die Ausführungszeit wird realistisch auf vier Jahre abgeschätzt. Die Kostenschätzung schließt mit € 19,5 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 1 ab. In der Sanierungszone 2 fallen nur Kosten für die laufende Grundwasserüberwachung an, die mit knapp € 200.000 (brutto) für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren beziffert werden.

Sanierungsvariante 3 Grundwassersanierung durch Pump+Treat

Im vorliegenden Fall kann eine Pump+Treat-Maßnahme nur der Sicherung der Sanierungszone 2A und 2B dienen, da in der Zone 2A die Schadstoffquelle nicht in der wassergesättigten Bodenzone liegt und in der Sanierungszone 2B der Stoffübergang von der Festphase (Primär- wie Sekundärquellen in der gesättigten Bodenzone) nur sehr langsam erfolgt. Durch Pump+Treat kann nur der Abstrom von belastetem Wasser verhindert werden, nicht aber ein nennenswerter Anteil der Schadstoffquelle in vertretbarer Zeit rückgewonnen werden.

Für eine hydraulische Sicherung eines Standortes durch Pump+Treat sollten die Fassungsanlagen möglichst am abstromigen Rand der Schadstoffquellen stehen. Dieser befindet sich in der Sanierungszone 2A entlang des Ufers zum Silbersee, in der Sanierungszone 2B etwa mittig auf der durch den Silbersee und den Rhein gebildeten Halbinsel. Im Abstrombereich müssten fünf bzw. drei Brunnen errichtet werden, um den Wasserandrang von 330 bzw. 125 m³/h zu fassen.

Aufgrund der Schadstoffbelastung und der Mengen ist eine direkte Ableitung in den Kanal ausgeschlossen. Das Wasser wäre vor Ort zu behandeln und voraussichtlich in den Rhein abzuleiten.



Die Grundwassersanierung wäre theoretisch über unbegrenzte Zeit fortzusetzen ist. Für die Kostenschätzung wurde in erster Näherung von einem Zeitraum über 30 Jahre ausgegangen. Diese schließt für einen 30-jährigen Betrieb der Anlage mit € 67 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 2A bzw. € 45 Mio. (brutto) für die Sanierungszone 3B ab.

Verhältnismäßigkeitsabwägung

Weder die Sanierungsvariante 1 noch die Sanierungsvariante 3 sind verhältnismäßig. Die erforderlichen Technischen Aufwendungen, die zu erwartenden Auswirkungen und der enorme Finanzbedarf stehen einem relativ geringen Nutzen gegenüber.

Die Sanierungszone 1A lässt sich sinnvoll nur durch eine Bebauung sanieren, die Sanierungszone 1B / 2B ist mit verhältnismäßigen Mitteln nicht sanierbar.

Empfehlungen

Die Handlungsempfehlung sieht vor, die belasteten Bereiche durch eine vollflächig Bebauung zu versiegeln. Die genaue Ausbreitung der Belastungen ist durch ergänzende Standorterkundungen einzugrenzen.

Nach Prüfung der Verhältnismäßigkeit der Sanierungsmaßnahmen durch die zuständige Behörde ist im nächsten Schritt ein Sanierungsplan gemäß § 13 BBodSchG aufzustellen.

M.Sc. S. Krämer



Dr. I. Obernosterer