

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDEMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Umweltplanung -

Forschungsbericht 203 40 831, neu: 297 34 831
UBA-FB 99-035/1



Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs- und Sanierungskonzepte für militärische Tanklager

**Band 1
Entscheidungsgrundlagen**

von

**Dr. Andreas Agel
Eckhard Löbel**

ALSTOM Environmental Consult GmbH, Stuttgart

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 15,- (7,67 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Gutachten geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 3.4
Silvia Reppe

Berlin, April 1999

Berichts-Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA-FB 99-035	2.	3.
4. Titel des Berichtes Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs- und Sanierungskonzepte für militärische Tanklager		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Agel, Andreas; Löbel, Eckhard		8. Abschlußdatum 09.03.99
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) ALSTOM Environmental Consult GmbH Augsburger Straße 712 70329 Stuttgart		9. Veröffentlichungsdatum 10. UFOPLAN-Nr. FKZ 297 34 831 11. Seitenzahlen
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 14193 Berlin		12. Literaturangaben 13. Tabellen und Diagramme 14. Abbildungen
15. Zusätzliche Angaben Der Bericht besteht aus zwei Textteilen. Der erste Teil behandelt die Entscheidungsgrundlagen. Im zweiten Teil wird die Literaturrecherche zu militärischen Tanklagern insbesondere in den USA dokumentiert		
16. Kurzfassung Auf der Grundlage von realisierten und/oder in Planung befindlichen Projekten wurden Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs-/Sanierungskonzepte für militärische Tanklager unter Berücksichtigung der Spezifik militärischer Liegenschaften entwickelt. Behörden und Grundstückseigentümern soll ein Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, um militärische Tanklager unter Sicherstellung fachlicher Anforderungen und kostenrelevanter Aspekte effizient zu sanieren. Aus der Analyse der Militärischen Tanklager geht hervor, daß das bisher angewandte Erkundungskonzept und die Bewertung kontaminationsverdächtiger Flächen die Stoffeigenschaften und das Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe im Untergrund nicht erfaßt. Um dies zu berücksichtigen, wird ein modifiziertes Erkundungskonzept mit einer abschließenden risiko-orientierten Bewertung vorgeschlagen.		
17. Schlagwörter Altlasten, Bewertungsgrundlagen, Militärische Tanklager, Risiko, Rezeptor, Restrisiko, Expositionspfad, Abbauraten, Abbaupotential, Langzeitüberwachung, MTBE, Schadstoff-Fahnen, funikuläre Phase		
18. Preis	19.	20.

Report-Coversheet

Report No.		
1. UBA-Report 99-035	2.	3.
4. Report Title Decision Matrix of Containment and Remedial Actions at Military Storage Terminals		
5. Author(s), Family Name(s), First Name (s) Dr. Agel, Andreas; Löbel, Eckhard		8. Report Date March 1999
6. Performing Organization (Name, Address) ALSTOM Environmental Consult GmbH Augsburger Straße 712 D-70329 Stuttgart Germany		9. Publication Date 10. UFOPLAN - Ref. No. FKZ 297 34 831 11. No. Of Pages
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 D-14193 Berlin Germany		12. No. of References 13. No. Tables, Diagrams 14. No. of Figures
15. Supplementary Notes The report is presented in a textbook and an annex. The annex documents a literature study about remedial activities at military storage terminals especially in the USA.		
16. Abstract The scope of the project was to develop a standardized decision matrix for containment and remedial actions at military storage terminals. The decision matrix was developed on the experience of finished and/or ongoing site assessment projects. Regulatory authorities and site owners shall be capable by the use of a standardized decision matrix to clean up military storage terminals effectively. The current practice of the investigation and assessment of contaminated sites does not consider the fate and transport of contaminants in soil and groundwater . Therefor a different approach for site investigation and risk-based assessment of military storage terminals is proposed.		
17. Keywords Contaminated Sites, Risk-Based-Decision Matrix, Military Storage Terminals, Risk, Receptor, Acceptable Risk, Exposure Pathway, Natural Attenuation Rates, Intrinsic Bioremediation, Long-term Monitoring, MTBE, Plume, LNAPL,		
18. Price	19.	20.

INHALT

1. EINLEITUNG	4
1.1 Hintergrund.....	4
1.2 Gegenstand des Vorhabens	4
1.3 Methodik.....	5
1.4 Unterlagen.....	6
2. AUSWERTUNG DER MODELLSTANDORTE	10
2.1 Allgemeine Randbedingungen.....	10
2.2 Schadensbild	12
2.3 Ausdehnung von Schadstoff-Fahnen.....	14
2.4 Ermittlung und Bewertung des Gefährdungspotentiales	14
3. FACHLICHER HINTERGRUND.....	17
3.1 Retardation R	22
3.2 Rückhaltefaktor R_f	23
3.3 Gesamtabbaupotential P_{ges}	23
3.4 Zeitliche und räumliche Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen	24
3.5 Abbauraten.....	24
3.5.1 Gesamtabbaurrate k	25
3.5.2 Biologische Abbaurrate λ	26
4. ENTWICKLUNG VON BEWERTUNGSGRUNDLAGEN	29
4.1 Grundlagen einer risiko-orientierten Einzelfallbetrachtung.....	29
4.2 Fachlicher Ansatz für eine risiko-orientierte Bewertung	31
4.3. Vorgehensweise	31
5. ANWENDUNG DER BEWERTUNGSGRUNDLAGEN	34
5.1 Feststellungen	34
5.1 Defizite	37
5.2 Bewertung am Beispiel ausgewählter Liegenschaften	38
5.2.1 Standort 1b	38
5.2.2 Standort 1a	50
5.3 Schlußfolgerungen	60
6. DISKUSSION EINER RISIKO-ORIENTIERTEN VORGEHENSWEISE	62
6.1 Vorhandensein von funikularer Phase	63
6.2 Sauerstoffhaltige Verbindungen als Kraftstoffzusatz.....	64
6.3 Kostenaspekte.....	66
7. EMPFEHLUNGEN ZUR VORGEHENSWEISE BEI DER ERFASSUNG UND BEWERTUNG VON ALTSCHÄDEN.....	68
8. FORSCHUNGS- UND KLÄRUNGSBEDARF.....	78
9. LITERATURVERZEICHNIS.....	79

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 1: Vorhandene und ausgewertete Unterlagen der acht Standorte, gegliedert nach Phase I bis Phase III.
- Tabelle 2: Ermittelte Daten.
- Tabelle 3: Vergleich von standortspezifischer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit V_a und gemessener Fahnenlänge.
- Tabelle 4: Bewertung kontaminationsverdächtiger Flächen entsprechend den vorliegenden Berichten.
- Tabelle 5: Biotische Abbaureaktionen in thermodynamisch günstigster Reihenfolge.
- Tabelle 6: Redox-Reaktionen für Benzol.
- Tabelle 7: Veröffentlichte λ Werte für BTEX-Aromaten.
- Tabelle 8: Vergleich von standortspezifischer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit v_a , scheinbarer Schadstoffgeschwindigkeit v_c , tatsächlicher Transportweite der Schadstoffe und Entfernung zum nächstgelegenen Rezeptor.
- Tabelle 9: Abbaupotential P_{ges} , durchschnittliche Grundwasserbelastung, Rückhaltungsfaktor R_f , Gesamtabbauraten k , biologische Abbaurate λ und aus Monitoringdaten abgeleiteter Zustand der Schadstoff-Fahne für die mobilste Komponente (BTEX).
- Tabelle 10: Gehalte an im Grundwasser gelöstem Eisen, Sauerstoff, Nitrat und Sulfat entlang des Profils A-A'.
- Tabelle 11: Für Standort 1b ermittelte Abbauraten k für MKW und BTEX im Juni 1994 und Dezember 1995.
- Tabelle 12: Für Standort 1a ermittelte Abbauraten k für MKW und BTEX.
- Tabelle 13: Vergleich der Stoffeigenschaften von Benzol und MTBE.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 1: Ausbreitungsverhalten von Ölfahnen nach einem Sickerversuch (verändert nach Käss, 1969).
- Abbildung 2: Ablauf einer risiko-orientierten Bewertung.
- Abbildung 3: Räumliche Lage der Teilflächen 1a und 1b des Standortes 1 in Bezug zum Rezeptor Wasserwerk sowie großräumige Grundwasserfließrichtung.
- Abbildung 4: MKW-Verteilung im Boden sowie Lage der Grundwassermeßstellen und des hydrochemischen Profils A-A'.
- Abbildung 5: MKW-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.
- Abbildung 6: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers.
- Abbildung 7: MKW-Verteilung im Grundwasser des 2. Aquifers.
- Abbildung 8: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 2. Aquifers.
- Abbildung 9: MKW-Gehalte des Grundwassers entlang des Fließweges (Profil A-A') von Juni 1994, Oktober 1995 und Dezember 1995.
- Abbildung 10: BTEX-Gehalte des Grundwassers entlang des Fließweges (Profil A-A') von Juni 1994, Oktober 1995 und Dezember 1995.
- Abbildung 11: Äußere Begrenzung der freien Kerosinphase.
- Abbildung 12: MKW-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.
- Abbildung 13: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.
- Abbildung 14: MKW-Gehalte des Grundwassers ausgewählter Meßstellen von Juni 1994 und Oktober 1995.
- Abbildung 15: BTEX-Gehalte des Grundwassers ausgewählter Meßstellen von Juni 1994 und Oktober 1995.
- Abbildung 16: Schematische Vorgehensweise bei der Erfassung von kontaminationsverdächtigen Flächen.

Verzeichnis der Anlagen und Anhänge

- Anhang 1: Übersichtsdatenblätter zu den Projektliegenschaften
- Anlage 1: Recherche zum Stand der Technik bei der Sicherung und Sanierung ehemals genutzter Tanklager insbesondere in den USA.

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Zu Beginn der 90er Jahre wurde in der Bundesrepublik Deutschland eine Fläche von etwa 1 Million Hektar für militärische Zwecke genutzt. Durch die politischen Veränderungen in Europa und die damit verbundenen Abrüstungsinitiativen in den Jahren nach 1989, wurde etwa die Hälfte der bisher durch Bundeswehr, NATO, NVA und WGT genutzten Flächen freigezogen und müssen einer zivilen Nutzung zugeführt werden.

Voraussetzung hierfür ist die Erfassung und Bewertung kontaminationsverdächtiger Flächen auf diesen Liegenschaften. Die Bewertung des von solchen Flächen ausgehenden Gefährdungspotentiales, z.B. für die menschliche Gesundheit und andere Schutzgüter, erfolgte bisher fast ausschließlich anhand von Schadstoffkonzentrationen und deren Vergleich mit landesspezifischen Wertelisten.

Im Rahmen dieses Vorhabens werden anhand des vorliegenden Datenmaterials von militärischen Tanklagern, alternative Bewertungskriterien erarbeitet, die über den reinen Listenvergleich von gemessenen Schadstoffkonzentrationen hinausgehen. Tanklager weisen ein vergleichbares, begrenztes Schadstoffspektrum auf. Sie sind deshalb für eine systematische Bewertung mit allgemeingültigen Schlußfolgerungen besonders geeignet.

Mit diesem Hintergrund beauftragte das Umweltbundesamt die ALSTOM Environmental Consult GmbH (ehemals BGT Boden- und Grundwassertechnologie GmbH) eine Studie zum Thema „Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs- und Sanierungskonzepte für Militärische Tanklager“ durchzuführen.

1.2 Gegenstand des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war es, für ehemals militärisch genutzte Tanklager unter spezifischen Kostenaspekten Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs-/Sanierungskonzepte, eingebunden in Folgenutzungs- und Verwertungsstrategien unter Berücksichtigung der Spezifik militärischer Liegenschaften (Größe, Außenlage) zu entwickeln.

Dazu sollten zunächst die Erfahrungen aus realisierten und/oder in Planung befindlichen Projekten zur Gefährdungsabschätzung/Sicherung/Sanierung/ Rückbau/Renaturierung/Verwertung ehemals militärisch genutzter Tanklager ausgewertet werden. Die rechtlichen, standortspezifischen, fachlichen, technologischen und wirtschaftlichen Randbedingungen waren zu analysieren.

Aus der Synopse der Modellprojekte sollen die allgemein anwendbaren Entscheidungsgrundlagen abgeleitet sowie bestehende Defizite und Lösungsansätze aufgezeigt werden. Diese sollen Behörden und Grundstückseigentümer in die Lage versetzen, militärische Tanklager unter Sicherstellung fachlicher Anforderungen und kostenrelevanter Aspekte, eingebunden in Folgenutzungs- und Verwertungskonzepte effizient zu sanieren. Diese Entscheidungsgrundlagen sind auch auf zivile Liegenschaften anwendbar.

Weiterhin war Gegenstand der Ausschreibung, in Abstimmung mit dem Auftraggeber, eine Recherche zum Stand der Technik bei der Sicherung und Sanierung ehemals genutzter Tanklager, insbesondere in den USA, durch eine Universität im Unterauftrag zu realisieren. Mit dieser Recherche wurde das Institut für Mineralogie - Umweltanalytik - des Fachbereichs Geowissenschaften der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main beauftragt.

1.3 Methodik

Bei diesem Vorhaben handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche Grundlagenforschung, sondern um einen praxisorientierten Ansatz, welcher Erfahrungen aus laufenden und/oder abgeschlossenen Projekten berücksichtigt. Um das Ziel des Vorhabens zu erreichen und die Transparenz der Entscheidungsgrundlagen zu gewährleisten, ist eine methodische Vorgehensweise erforderlich. Aus der Aufgabenstellung wurden daher die folgenden fünf Schritte abgeleitet:

- Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen unter besonderer Berücksichtigung von:
 - Nutzung
 - Art und Umfang der Kontamination
 - betroffene Wirkungspfade/Schutzgüter
 - Geologie/Hydrologie
 - Bewertung des Gefährdungspotentiales
 - Status durchgeführter Sicherungs-/Sanierungsmaßnahmen
 - Kosten
- Recherche zum Stand der Technik
- Entwicklung einer einheitlichen Matrix zur Analyse der Modellstandorte
- Anwendung der Matrix auf die Modellprojekte
- Ableitung allgemein anwendbarer Entscheidungsgrundlagen
- Aufzeigen von Forschungsbedarf

1.4 Unterlagen

Im Rahmen des Vorhabens wurden ALSTOM Environmental Consult, veranlaßt durch das UBA, von den zuständigen Oberfinanzdirektionen, die Unterlagen über Erkundung, Gefährdungsabschätzung, Sanierungskonzeption, Sanierung, Überwachung und/oder Verwertung zu insgesamt acht militärischen Tanklagern aus verschiedenen Bundesländern (Baden Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Rheinland Pfalz, Thüringen) zur Verfügung gestellt. Die verfügbaren Unterlagen zu den einzelnen Standorten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Die Tanklager wurden in der Vergangenheit von folgenden Streitkräften genutzt:

- 4 Liegenschaften von den Amerikanischen Streitkräften
- 1 Liegenschaft von der Britischen Armee
- 3 Liegenschaften von der ehemals Sowjetischen Streitkräfte

Die in diesem Bericht wiedergegebenen Daten zu den einzelnen Standorten werden anonymisiert dargestellt.

Tabelle 1: Vorhandene und ausgewertete Unterlagen der acht Standorte, gegliedert nach Phase I bis Phase III*.

Standort	vorhandene Unterlagen
1	Phase I und Phase IIa 1 Bericht über Ersterkundung und orientierender Erkundung für die Teilflächen 1a und 1b von 1992 Phase IIb 1 Bericht über Sofortmaßnahmen von 1994 1 Bericht über die Detailerkundung von 1995 1 Bericht über Grundwasserprobennahmen von 1996 Phase IIIa 1 Machbarkeitsstudie zur Ölphasenabschöpfung von 1995 1 Bericht über Pumpversuche von 1996 1 Bericht über die Verteilung der Ölphase von 1996 Phase IIIb 5 Berichte zur Ölphasenabschöpfung von 1996 - 1997
2	Phase I 1 Bericht von 1993 Phase IIa 1 Bericht von 1995 Phase IIb 1 Bericht von 1995 Phase III 1 Bericht über die Sanierungskonzeption (Tankhebung und Bodensanierung) von 1997 1 Bericht über Grundwassermonitoring seit 1996
3	Phase I und II 1 Bericht über Boden und Grundwasseruntersuchungen von 1995 1 Bericht über historische Recherchen von 1996

* entsprechend den „Baufachlichen Richtlinien für die Planung und Ausführung der Sicherung und Sanierung belasteter Böden“ (1992)

Tabelle 1 (Fortsetzung): Vorhandene und ausgewertete Unterlagen der acht Standorte, gegliedert nach Phase I bis Phase III.

Standort	vorhandene Unterlagen
4	Phase I 1 Bericht von 1992 Phase II 1 Zwischenbericht und 1 Bericht über orientierende Erkundung und Detailerkundung mit Gefährdungsabschätzung von 1992 1 Bericht zur Überprüfung des Gefährdungspotentials von 1995 Phase IIIa 1 Sanierungskonzept von 1993 1 Machbarkeitsstudie zur in-situ Sanierung von 1997 mit Zwischenbericht von 1996
5	Phase IIa 1 Bericht über Boden,- Bodenluft und Grundwasseruntersuchungen von 1993 Phase IIb 1 Bericht über die Historische Erkundung von 1996 1 Bericht über Boden,- Bodenluft und Grundwasseruntersuchungen von 1996 Phase IIIa 1 Bericht über eine Umnutzungskonzeption von 1995
6	Phase I 1 Bericht über die Historische Erkundung von 1992 Phase IIa 1 Bericht über die Ersterkundung von 1988 1 Bericht über die Erkundung einer Teilfläche von 1996 Phase IIb 8 Berichte über die Eingrenzung von Boden und Grundwasserverunreinigungen im Zeitraum 1989 - 1997 2 Berichte zu geophysikalischen Messungen von 1993 und 1994

Tabelle 1 (Fortsetzung): Vorhandene und ausgewertete Unterlagen der acht Standorte, gegliedert nach Phase I bis Phase III.

Standort	vorhandene Unterlagen
6	Phase IIIa 1 Machbarkeitsstudie zur Bodenluftabsaugung von 1987 1 Bestandsaufnahme vorhandener Unterlagen von 1988 1 Sanierungskonzept (Bodenluftabsaugung) von 1989 2 Berichte über Pumpversuche von 1989 und 1994 1 Machbarkeitsstudie hydraulische Sanierung von 1991 1 Sanierungskonzept von 1993 Phase IIIb 4 Berichte über Aushub und Entsorgung kontaminierter Erdmassen von 1989 - 1990 und 1996 8 Berichte über den Betrieb einer hydraulischen Sanierung mit Phasenabschöpfung im Zeitraum 1990 - 1997
7	Phase I 1 Bericht über die Historische Erkundung und Gefährdungsabschätzung von 1993 Phase IIa 1 Bericht über die orientierende Erkundung von 1993 Phase IIb 2 Berichte über verdichtende Erkundungen von 1994 und 1996 Phase IIIa 1 Bericht über bautechnische Maßnahmen von 1996
8	Phase II Bodenanalysen einer Teilfläche der Liegenschaft von 1993 Grundwassergleichenpläne von 1994 1 Bericht über die Gefährdungsabschätzung von 1994 Phase III Beweissicherung der Grundwasserbeschaffenheit von 11/1994 mit behördlicher Stellungnahme von 02/1995 1 Dokumentation Außerbetriebnahme des Bauabschnitts I von 1995 1 Dokumentation der Außerbetriebnahme des Bauabschnitts II von 1998

2. Auswertung der Modellstandorte

Im ersten Schritt wurden die zur Verfügung gestellten Unterlagen der Modellstandorte ausgewertet. Die zu den einzelnen Standorten vorhandenen Informationen sind in Anlage 1 zusammengefaßt.

Die Unterlagen zu Standort 8 umfaßten hauptsächlich die Dokumentation der Außerbetriebnahme. Die Daten zu Erfassung und Bewertung des Gefährdungspotentials waren nur für Teilbereiche kontaminationsverdächtiger Flächen vorhanden und waren für die Auswertung nicht geeignet.

Die Auswertung der vorhandenen Unterlagen bestätigte, daß militärischen Tanklager hinsichtlich:

- der allgemeinen Randbedingungen,
- des Schadensbildes,
- der Ausdehnung von Schadstoff-Fahnen,
- und der Ermittlung und Bewertung des Gefährdungspotentiales.

vergleichbar sind.

2.1 Allgemeine Randbedingungen

Militärischen Tanklager sind vergleichbar hinsichtlich Nutzung, Lage, Kontamination des Untergrundes und Schadstoffspektrum. Allen diesen Tanklagern gemeinsam sind folgende Eigenschaften:

- Lage und Größe der Liegenschaften
Die Standorte liegen in Außenbereichen, häufig in forst- oder landwirtschaftlich genutzten Gebieten, fern von Wohngebieten oder Gebieten sonstiger sensibler Nutzung. Die Liegenschaften sind eingezäunt und nicht öffentlich zugänglich. Die Standortgröße beträgt zwischen ca. 10 und 300 ha.
- Betrieb
Die Tanklager zeichnen sich durch sehr lange Betriebszeiträume von mindestens 30 Jahren bis zu 60 Jahren aus. Überwiegend sind die Lager seit Anfang der 90er Jahre außer Betrieb. Die Quelle der Verunreinigungen sind heute beseitigt, so daß kein weiterer Eintrag in den Untergrund erfolgt.
- Altschäden
Entsprechend den historischen Recherchen liegt der Schadenseintritt häufig mehr als 20 Jahre zurück und kann nicht einem einzelnen Ereignis zugeordnet werden. Die Schadensursachen sind seit mehreren Jah-

ren beseitigt. Die Kontaminationen waren jahrzehntelang allen denkbaren Emissions- und Immissionspfaden ausgesetzt.

- **Kontamination des Untergrundes**
Durch den nutzungsbedingten Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, vor allem der Lagerung und dem Umschlag von Vergaserkraftstoffen, Dieselmotorkraftstoff und Fluggastkraftstoffen aber auch durch die Nutzung von Reinigungs- und Lösungsmitteln wurden durch Handhabungsverluste vor allem beim Umschlag, Leckagen an Lagertanks und Rohrleitungen und einmalige Schadensereignisse z.T. großflächige Verunreinigungen des Untergrundes verursacht. Ausgebildet haben sich eine gelöste Schadstoff-Fahne im Grundwasser, zum Teil mit aufschwimmender freier Phase sowie Bodenkörper mit adsorbierten Schadstoffen. Eine Überlagerung mit Schadstoff-Fahnen, welche ihre Ursache nicht auf der Liegenschaft haben, wurde nicht nachgewiesen. Die Verunreinigungen sind erkundet worden. Die Erkundung bezog sich dabei in der Regel auf Art und Konzentrationsverteilung der Schadstoffe.
- **Schadstoffspektrum**
Mitteldestillate (Diesel, Kerosin, Heizöl)
Vergaserkraftstofftypische Kohlenwasserstoffe (Benzin)
untergeordnet auch
Kraftstoffzusätze (Tetraethylblei, TEL)
Bleiersatz in Vergaserkraftstoffen (Methyl tertiär-Butylether, MTBE)
Lösemittel (Trichlorethylen und Perchlorethylen)
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) meist aus Isoliermaterialien für Lagertanks
- **Grundwassernutzung/Oberflächengewässer**
Die Liegenschaften befinden sich häufig im Anstrom von Wasserschutzgebieten, öffentlichen und/oder privaten Wassergewinnungsanlagen und/oder eines Oberflächengewässers.
- **Folgenutzungskonzept**
Die meisten Liegenschaften sind heute außer Betrieb. Folgenutzungskonzepte liegen derzeit nicht vor oder sehen die Aufforstung bzw. Brache der Liegenschaft vor.

2.2 Schadensbild

Die im Rahmen der Erfassung und Erstbewertung (Phase I), Gefährdungsabschätzung (Phase II), und Sicherung/Sanierung bzw. Überwachung (Phase III) ermittelten Daten sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Daten, welche nicht systematisch erfaßt wurden, sind in Tabelle 2 als teilweise vorhanden gekennzeichnet.

Aufgrund der vorliegenden Daten ergibt sich für die verschiedenen Standorte ein vergleichbares Schadensbild. Bezüglich der Kontamination des Untergrundes wurden folgende Feststellungen gemacht:

- Im Bereich der Schadensherde wurden Kontaminationen vor allem durch MKW und AKW nachgewiesen, welche häufig bis in den Grundwasserschwankungsbereich reichen.
- Bei vielen kontaminationsverdächtigen Flächen wurden Bodenbelastungen vor allem in Richtung Grundwasserabstrom nachgewiesen, die aber nur den Grundwasserschwankungsbereich umfassen.
- Meist liegen die Schadstoffkonzentrationen im Boden nahe oder unterhalb der für die jeweilige Bodenart in der Literatur angegebenen Residualsättigung.
- Belastungen der Bodenluft mit aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden nachgewiesen.
- Eine auf dem Grundwasser aufschwimmende freie Phase konnte an einigen Standorten nachgewiesen werden.
- Grundwasseruntersuchungen ergaben im Vergleich zu den bestehenden Richtwerten hohe Schadstoffgehalte des Grundwassers, vor allem mit AKW und MKW, im Bereich der Schadensherde und eine relativ schnelle Abnahme der Schadstoffkonzentrationen im abstromigen Bereich.
- Liegen Grundwasseruntersuchungen über einen längeren Zeitraum vor, ergeben sich in keinem Fall Hinweise auf einen Schadstofftransport in Richtung Grundwasserabstrom.
- Es wurde eine Abnahme der Konzentration von Elektronenakzeptoren (z.B. O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-}) und die Zunahme von metabolischen Produkten (z.B. Fe^{2+}) in belasteten Bereichen des Aquifers im Vergleich zu An- und Abstrommeßstellen (Hintergrundwert) festgestellt.
- Häufig wurde während Grundwasserprobennahmen ein Methan- oder Faulgasgeruch festgestellt.

Tabelle 2: Ermittelte Daten

Parameter	Standort							
	1a	1b	2	3	4	5	6	7
<i>Untersuchte und nachgewiesene Schadstoffe</i>								
MKW	x	x	x	x	x	x	x	x
AKW, leichtfl.	x	x	x	x	x	x	x	x
AKW, schwerfl.	-	-	-	o	-	-	x	-
LHKW	x	-	x	-	x	o	o	-
VC	-	-	-	-	o	-	-	-
PAK	-	-	x	o	o	o	o	-
Naphtalin	-	-	x	o	o	o	o	-
Phenole	-	-	o	-	o	-	-	-
MTBE	-	-	o	-	o	-	-	-
<i>Feldparameter</i>								
pH-Wert	+	+	+	+	+	+	+	+
Temperatur	+	+	+	+	+	+	+	+
Leitfähigkeit	+	+	+	+	+	+	+	+
Redoxpotential	+	+	-	-	-	-	-	+-
Gelöster Sauerstoff	+	+	+	-	+-	+	+-	+-
<i>Kontrollparameter</i>								
Nitrat	-	+-	-	-	-	-	-	+-
Sulfat	-	+-	-	-	-	-	-	+-
Eisen	-	+-	-	-	-	-	-	+-
Ammonium	-	-	-	+-	+-	-	-	+-
Nitrit	-	-	-	-	-	-	-	+-
Andere	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tracer</i>								
Trimethylbenzol	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Positionierung von Grundwassermeßstellen</i>								
Anstrom	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Schadensbereich	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Abstrom	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein	ja
<i>organischer Kohlenstoffgehalt</i>								
f _{oc} ungesättigte Zone	-	-	-	-	-	-	-	-
f _{oc} ungesättigte Zone	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>hydraulische Daten</i>								
kf-Wert [x10 ⁻³ m/s]	7,0	0,05	0,001	0,4-2,0	0,35	1,6-1,9	-	0,25
hydr. Gradient [x 10 ⁻³]	7	5	20	2	2	1	3	20
Fließrichtung	NNW	NO	NO	SO	WSW	NW	NNO	WNW
Fließwege ermittelt	-	-	-	-	-	-	-	-

x = Überschreitung von Listenwerten lt. vorliegenden Gutachten

o = nachgewiesen

- = nicht untersucht

+

+- = teilweise vorhanden

2.3 Ausdehnung von Schadstoff-Fahnen

Der genaue Zeitpunkt des Schadenseintritts war an keinem Standort zu ermitteln. Das Schadensalter beträgt jedoch mindestens 20 Jahre (vgl. Kapitel 2.1). Im Vergleich zur standortspezifischen Grundwasserabstandsgeschwindigkeit (für den Zeitraum von 20 Jahren) ergaben sich nur relativ geringe Transportweiten von Schadstoffen (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Vergleich von standortspezifischer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit V_a und gemessener Fahnenlänge (Strecke Belastungsschwerpunkt - abstromiges Fahnenende).

Standort	V_a [m/20a]	gemessene Fahnenlängen		
		[m]		
		BTEX	MKW	Freie Phase
1a	730	110	100	90
1b	800	190	100	-
2	880	300	300	290
3	1.600	160	160	-
4	1.100	270	100	-*
5	13.250	190	120	-
6	1.200	330	-	250
7	15.300	300	300	-

- = nicht vorhanden

* = nur an einzelnen Meßstellen nachgewiesen

2.4 Ermittlung und Bewertung des Gefährdungspotentialies

Die Untersuchung und Gefährdungsabschätzung der einzelnen Standorte erfolgte entsprechend oder in Anlehnung an die „Arbeitshilfen Altlasten zur Anwendung der bau fachlichen Richtlinien für die Planung und Ausführung der Sicherung und Sanierung belasteter Böden des BMBau für Liegenschaften des Bundes“ von 1996.

Tabelle 4: Bewertung kontaminationsverdächtiger Flächen entsprechend den vorliegenden Berichten

	Standort							
	1a	1b	2	3	4	5	6	7
<i>Schadstoffmobilität ermittelt oder abgeschätzt für die Medien</i>								
Boden	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein
Bodenluft	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Grundwasser	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	nein
freie Phase	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
<i>Bewertung des Gefährdungspotentials durch</i>								
Einsatz v. Wertelisten	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
andere Verfahren	nein	nein	ja	nein	nein	nein	nein	nein
<i>Betroffene bzw. gefährdete Schutzgüter</i>								
Boden	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.
- menschl. Gesundh.			gef.	gef.	gef.	gef.	gef.	gef.
- Grundwasser-gefährdung	gef.	gef.	gef.	gef.	gef.	gef.	gef.	gef.
Grundwasser	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.	betr.
Oberflächen-gewässer								gef.
Luft / Bodenluft					betr.	betr.		betr.
<i>Maßnahmen gefordert für die Medien</i>								
Boden	x	x		x	x	x		
Bodenluft						x		
Grundwasser	x	x	x	x	x	x	x	x
freie Phase	x						x	
<i>Maßnahmen durchgeführt für die Medien</i>								
Boden	T			T				
Bodenluft	T							
Grundwasser			M				L	
freie Phase	A		L				L	

betr. = betroffen, d.h. Richtwertüberschreitung wurde festgestellt

gef. = gefährdet lt. vorliegenden Gutachten

L = laufende Maßnahme

M = laufendes Monitoring

A = Maßnahme abgeschlossen

T = Maßnahme teilweise durchgeführt

Die Gefährdungsabschätzung orientierte sich bei allen Standorten an den in den jeweiligen Bundesländern gültigen bzw. verwendeten Richtwerten zur Bewertung von Boden- und/oder Grundwasserkontaminationen. Bei einer Überschreitung der landesspezifischen Richtwerte wurde von einer Gefährdung der betroffenen Schutzgüter ausgegangen und wurden entsprechende Sanierungsmaßnahmen gefordert.

An allen Standorten wurden weiterführende Maßnahmen (Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen der Phase III) gefordert und z.T. bereits eingeleitet bzw. durchgeführt.

Begründet wurden diese Maßnahmen vor allem durch eine Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser. Diese Maßnahmen betreffen zum einen den schadstoffbelasteten Boden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden - Grundwasser, zum anderen das Grundwasser selbst, da nicht ausgeschlossen werden kann, daß sich die gelösten Schadstoffe mit dem Grundwasserabstrom ausbreiten und so abstromig gelegene Wasserfassungen oder Vorfluter belasten.

Eine Gefährdung des Schutzgutes „menschliche Gesundheit“ wird nur für den Fall von Baumaßnahmen während Arbeiten in kontaminierten Bereichen, oder im Zusammenhang mit dem Neubau unterkellelter Gebäude (Ausgasung) formuliert.

In nur einem der untersuchten Fälle wurde eine detaillierte Einzelfallbetrachtung durchgeführt, obwohl in der Regel alle landesspezifischen Wertelisten eine solche Vorgehensweise zulassen. Insbesondere wurde bei diesen Altschäden die Schadstoffmobilität, vor allem der im Grundwasser gelösten Schadstoffe, nicht ermittelt oder auch nur annähernd abgeschätzt.

An Standort 2 wurde ein numerisches Verfahren zur Gefährdungsabschätzung (Transportmodellierung) eingesetzt. Ergebnis dieser Betrachtungen war, daß mit hoher Wahrscheinlichkeit die Schadstoff-Fahne mit ihrer Ausbreitung das Maximum erreicht hat.

3. Fachlicher Hintergrund

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde eine Literaturrecherche zum Stand der Technik bei der Sicherung und Sanierung ehemals genutzter Tanklager insbesondere in den USA durchgeführt (Anlage 1). Anhand von Projektbeispielen wird die derzeitige Vorgehensweise bei der Sicherung und Sanierung von mineralölkontaminierten Liegenschaften dargestellt. Darüber hinaus wird der Kenntnisstand zum Umweltverhalten des Kraftstoffzusatzes MTBE zusammengefaßt.

Die im Folgenden dargestellten fachlichen Grundlagen geben den heutigen Wissensstand wieder, soweit dies zum Verständnis der hier entwickelten Entscheidungsgrundlagen notwendig ist.

Bei der Bewertung des Gefährdungspotentials von Untergrundverunreinigungen mit Mineralölprodukten wurde in der Vergangenheit - und wird teilweise auch noch heute - von der Vorstellung ausgegangen, daß sich MKW- und BTEX-Schadstoff-Fahnen mit dem Grundwassertransport weiter ausbreiten. Die Konsequenz hieraus ist die Durchführung von Sanierungs-/Sicherungsmaßnahmen, um ein weiteres Abdriften von Schadstoffen zu unterbinden.

Im Hinblick auf das tatsächliche Gefährdungspotential ist daher die Frage nach der Mobilität und Persistenz der Schadstoffe im Untergrund von zentraler Bedeutung. Eine besondere Rolle spielt hier das Verhalten der gelösten Schadstoff-Fahne als mobilste Komponente einer Untergrundverunreinigung.

Schadstoff-Fahnen unterliegen dem Einfluß von natürlich ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen. Durch diese Prozesse können Schadstoffe mobilisiert sowie Konzentrationen oder Mengen von Schadstoffen reduziert werden.

Diese Prozesse können wie folgt gegliedert werden:

- Mobilitätsfördernde Prozesse:
 - Advektion
 - Dispersion
- Mobilitätsreduzierende Prozesse, die eine scheinbare Schadstoffreduzierung hervorrufen:
 - Sorption
 - Verflüchtigung
 - Verdünnung

Bei Altschäden und unter der Voraussetzung, daß die Ursache des Eintrags (z.B. Leckage) beseitigt ist, können folgende primäre Anzeichen darauf hindeuten, daß sich eine Schadstoff-Fahne unter dem Einfluß natürlicher Abbauprozesse befindet:

- Die Schadstoff-Fahne hat sich trotz vorhandener residualer, insularer und/oder funikularer Phase im Vergleich zur Grundwasserabstandsgeschwindigkeit nur über eine relativ geringe Distanz vom Belastungsschwerpunkt bzw. Eintragungspunkt ausgebreitet.
- Die Schadstoffkonzentration nimmt von Höchstwerten im Bereich des Belastungszentrums in Fließrichtung rasch auf Werte von wenigen µg/l ab. Dieses Verhalten spiegelt die Wechselwirkung von Boden/Aquifermaterial und physikalisch/chemischen Stoffeigenschaften wieder und deutet auf eine Kombination von Verdünnungseffekten, Sorption und Abbaureaktionen hin.

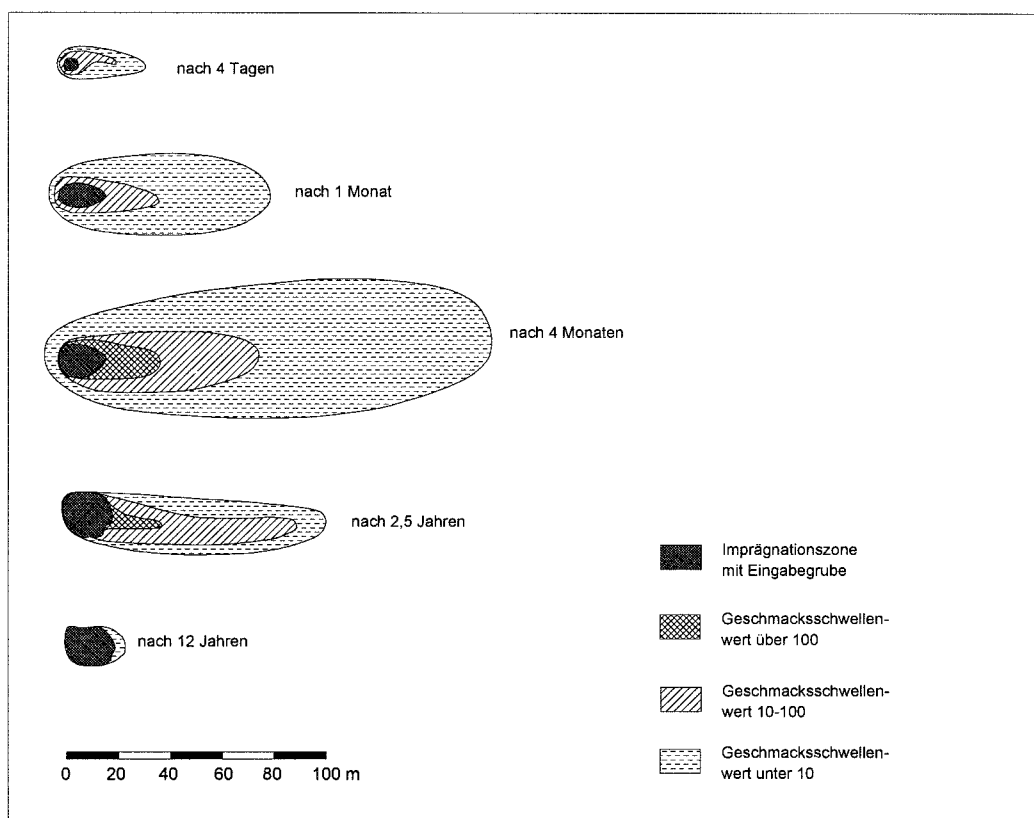


Abbildung 1: Ausbreitungsverhalten von Ölfahnen nach einem Sickerversuch (verändert nach Käss, 1969).

Schadstoff-Fahnen, die oben beschriebenes Verhalten zeigen, werden in der angelsächsischen Literatur vielfach beschrieben (Rice et al. 1995). Im deutschsprachigen Raum konnte Käss (1969) erstmals anhand von Feld- und Laborversuchen das Aus-

breitungsverhalten solcher Schadstoff-Fahnen nachweisen. Abbildung 1 zeigt das Ausbreitungs- und Abbauverhalten einer MKW-Fahne nach einem Sickerversuch (verändert nach Käss, 1969).

Eine zentrale Rolle für die Mobilität von Schadstoff-Fahnen spielt der biotische Abbau von Mineralölprodukten durch natürlich vorhandene biologische Aktivitäten im Aquifer. Der biotische Abbau dieser Substanzen wird als eine Redox-Reaktion unter Beteiligung von Mikroorganismen und Oxidationsmitteln betrachtet.

Für aerobe Prozesse dient Sauerstoff als Elektronenakzeptor. Dagegen werden Nitrat, dreiwertiges Eisen, Sulfat und Kohlendioxid als Elektronenakzeptoren unter anaeroben Bedingungen benötigt (vgl. Tabelle 5). Beispielhaft für die BTEX-Aromaten sind die Redoxreaktionen von Benzol in Tabelle 6 aufgelistet. Durch diese Reaktionen werden Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid und Wasser mineralisiert. Dabei werden metabolische Zwischenprodukte in Form von Ionen und organischen Säuren und reduzierte Endprodukte als Wasserinhaltsstoffe freigesetzt. Diese Stoffe verändern den Grundwasserchemismus. Durch Beobachtung von Elektronenakzeptoren und/oder metabolischen Zwischenprodukten lassen sich die biologischen Aktivitäten nachweisen und dokumentieren.

Tabelle 5: Biotische Abbaureaktionen in thermodynamisch günstigster Reihenfolge

Rangfolge	Elektronenakzeptor	Reaktion	Metabolisches Zwischenprodukt	Bezeichnung
1	O_2	Aerob	CO_2	Sauerstoffreduktion
2	NO_3^-	Anaerob	N_2 , NH_4^+ , NO_2^- , CO_2	Denitrifizierung
3	Fe^{3+}	Anaerob	Fe^{2+} (gelöst)	Eisen(III) Reduzierung
4	Mn^{4+}	Anaerob	Mn^{2+} (gelöst)	Manganreduzierung
5	SO_4^{2-}	Anaerob	H_2S	Sulfatreduzierung
6	CO_2	Anaerob	CH_4	Methanogenese

Tabelle 6: Redox-Reaktionen für Benzol

$C_6H_6 + 7,5 H_2O$	$\Rightarrow 6 CO_2 + 3 H_2O$	(Rittmann et al., 1993)
$C_6H_6 + 6 H^+ + 6 NO_3^-$	$\Rightarrow 6 CO_2 + 3 N_2 \uparrow + 6 H_2O$	(Barbarao et al., 1991)
$C_6H_6 + 15 Mn^{4+} + 12 H_2O$	$\Rightarrow 6 CO_2 + 30 H^+ + 15 Mn^{2+}$	(Baedecker et al., 1993)
$C_6H_6 + 30 Fe^{3+} + 12 H_2O$	$\Rightarrow 6 CO_2 + 30 H^+ + 30 Fe^{2+} \uparrow$	(Loveley et al., 1989)
$C_6H_6 + 3,75 SO_4^{2-} + 7,5 H^+$	$\Rightarrow 6 CO_2 + 3,75 H_2S \uparrow + 3 H_2O$	(Wilson et al., 1994)
$C_6H_6 + 4,5 H_2O$	$\Rightarrow 2,25 CO_2 + 3,75 CH_4 \uparrow$	(Wilson, 1994)

Gemäß den in Tabelle 6 dargestellten stöchiometrischen Verhältnissen werden 3,1 mg/l Sauerstoff, 4,6 mg/l Sulfat oder 4,8 mg/l Nitrat benötigt, um 1 mg/l Schadstoff (Benzol) zu metabolisieren. Dagegen werden 0,8 mg/l Methan, 11 mg/l Mangan oder 22 mg/l zweiwertiges Eisen bei der Metabolisierung von 1mg/l Schadstoff (Benzol) produziert.

Bei dem Abbau anderer Kohlenwasserstoffe als Benzol treten stöchiometrisch nur unwesentlich veränderte Verhältnisse auf.

Finden die beschriebenen Redoxreaktionen im Aquifer statt, führen diese zu folgender Veränderung des Grundwasserchemismus:

- Im Schadensbereich wird gelöster Sauerstoff, Nitrat und Sulfat aufgrund der biotischen Abbauprozesse verbraucht.
- Anaerobe Zwischenprodukte - gelöstes Eisen und Methan - werden im Schadensbereich produziert und liegen dort in erhöhten Konzentrationen im Vergleich zum An- und Abstrom vor.

Die den Fahnenzustand bestimmenden Prozesse können durch folgende Faktoren charakterisiert werden:

- Retardation R
- Rückhaltefaktor R_f
- Abbaupotential P_{ges}
- zeitliche und räumliche Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen
- Abbauraten
 - Gesamtabbauraten k
 - Biologische Abbauraten λ

3.1 Retardation R

In Aquiferen mit Gehalten an natürlich vorkommendem Kohlenstoff (f_{oc}) unterliegen Schadstoffe einer Sorption, d.h. Schadstoffe werden beim Transport retardiert. Aus dem Verhältnis der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit und der Retardation läßt sich die scheinbare Schadstoffgeschwindigkeit ableiten:

$$v_c = \frac{v_a}{R} = \frac{v_a}{1 + \frac{(1-n)}{n} p_s K_d} \quad (1)$$

v_c	=	Schadstoffgeschwindigkeit
v_a	=	Grundwasserabstandsgeschwindigkeit
R	=	Retardation
n	=	Porosität
p_s	=	Lagerungsdichte
K_d	=	Bodensorptionskoeffizient für Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff normiert (K_{oc}) x Gew. % organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc})

Eine Retardation von $R = 1$ entspricht einem rein advektiven Transport (z.B. ideale Tracer), ist $R < 1$ entspricht dies einem advektiven und dispersiven Transport. Eine Retardation von $R > 1$ zeigt eine Schadstoffsorption an organischem Kohlenstoff.

Entsprechend Gleichung (1) kann die Schadstoffgeschwindigkeit also größer, gleich oder kleiner der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit sein.

In Aquiferen mit natürlich vorkommenden Gehalten an organischem Kohlenstoff, liegt die Retardation R für BTEX und MKW im Bereich 1 - 3 (Domenico und Schwartz, 1997).

3.2 Rückhaltefaktor R_f

Bei Altschäden und unter der Voraussetzung, daß die Ursache des Schadstoffeintrages beseitigt ist, kann entsprechend Gleichung (1) aus dem Verhältnis der Grundwassertransportstrecke nach Eintritt des Schadens und der tatsächlichen Ausdehnung der Schadstoff-Fahne der spezifische Rückhaltefaktor R_f bestimmt werden:

$$R_f = s_a/s_c \quad (2)$$

R_f	=	Rückhaltefaktor
s_a	=	Grundwassertransportstrecke seit Schadenseintritt
s_c	=	tatsächliche Ausdehnung der Schadstoff-Fahne

Der aus den Fahnenlängen ermittelte spezifische Rückhaltefaktor R_f entspricht der Retardation R , umfaßt aber neben der Sorption auch alle anderen mobilitätsreduzierenden Prozesse, die das Ausbreitungsverhalten der Schadstoff-Fahne bestimmen. Ein Rückhaltefaktor $R_f > 3$ kann nicht allein durch das Sorptionsvermögen des Untergrundes erklärt werden, sondern es müssen auch andere Abbauprozesse im Aquifer stattfinden.

3.3 Gesamtabbaupotential P_{ges}

Das Gesamtabbaupotential P_{ges} leitet sich aus den in Tabelle 6 dargestellten stöchiometrischen Verhältnissen der Redoxreaktionen von Benzol ab. Die Berechnung des Abbaupotentials ergibt sich aus den folgenden Beziehungen:

$$\begin{aligned} P_{O_2} &= 0,32 (C_{O_2}^A - C_{O_2}^{KF}) \\ P_{NO_3} &= 0,21 (C_{NO_3}^A - C_{NO_3}^{KF}) \\ P_{Fe \text{ (gelöst)}} &= 0,05 (C_{Fe \text{ (gelöst)}}^{KF} - C_{Fe \text{ (gelöst)}}^A) \\ P_{SO_4} &= 0,21 (C_{SO_4}^A - C_{SO_4}^{KF}) \\ P_{CH_4} &= 1,28 (C_{CH_4}^{KF} - C_{CH_4}^A) \end{aligned}$$

Hier ist:

P	=	Potential
C	=	Konzentration
KF	=	Kontaminationsfläche
A	=	Anstrom

Das Gesamtabbaupotential P_{ges} setzt sich aus der Summe der einzelnen Potentiale zusammen:

$$P_{\text{ges}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{NO}_3} + P_{\text{Fe (gelöst)}} + P_{\text{SO}_4} + P_{\text{CH}_4}$$

Ergibt die Berechnung ein positives Abbaupotential ist dies ein Anzeichen dafür, daß Redoxreaktionen stattfinden. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß nicht alle Elektronenakzeptoren für den Abbau von Schadstoffen verwendet werden. Natürlich vorkommendes organisches und anorganisches Material kann ebenfalls Elektronenakzeptoren verbrauchen. Übersteigt das Abbaupotential die durchschnittliche Schadstoffbelastung in der Schadstoff-Fahne, besteht die Möglichkeit, die vorhandenen Schadstoffe langfristig vollständig umzusetzen.

3.4 Zeitliche und räumliche Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen

Die Analyse beruht auf der graphischen Auswertung historischer Monitoringdaten und dient der Feststellung des Zustandes der Schadstoff-Fahne.

Im Rahmen einer graphischen Regressionsanalyse stehen zwei Möglichkeiten der Analyse zur Auswahl:

- zeitliche Entwicklung an einzelnen Beobachtungspegel
- räumliche Entwicklung entlang des Fließweges.

Bei der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung wird der natürliche Logarithmus der Schadstoffkonzentration eines einzelnen Beobachtungspegels gegen die Zeit aufgetragen ($\ln C/t$). Dabei werden die Schadstoffkonzentrationen stoffspezifisch betrachtet. Zur Kontrolle ist dieser Vorgang möglichst an mehreren Pegeln durchzuführen.

Zur Auswertung der räumlichen Entwicklung wird der natürliche Logarithmus der Schadstoffkonzentrationen von mindestens drei Beobachtungspegeln gegen die Distanz der Meßstellen aufgetragen ($\ln C/x$). Die ausgewerteten Meßstellen müssen entlang des Fließweges angeordnet sein.

3.5 Abbauraten

Verringert sich die Konzentration von Schadstoffen entlang des Fließweges, kann diese Abnahme durch Verdünnung, Sorptions- und Abbaureaktionen sowie eine Kombination dieser Vorgänge verursacht werden. Aus der reinen Konzentrationsangabe lassen sich diese Prozesse nicht aufgliedern. Aus dem Verlauf der Schadstoffkonzentration lassen sich aber standortspezifische Abbauraten quantifizieren.

Wichtig ist es, aus nachfolgenden Berechnungen zu verstehen, wie sich die Schadstoff-Fahne als Ganzes zeitlich verhält.

Zwei verschiedene Abbauraten können unterschieden werden:

- Gesamtabbauraten k :
beschreibt die Reduzierung von Schadstoffkonzentrationen bedingt durch Sorption, Dispersion, Verdünnung und biologischen Abbau bei stabilen oder schrumpfenden Fahnen
- Biologische Abbauraten λ :
beschreibt die Schadstoffreduzierung durch biologischen Abbau

3.5.1 Gesamtabbauraten k

Die Bestimmung der Gesamtabbauraten k kann im Rahmen der Gefährdungsabschätzung ein wichtiges Argument für die Mobilität von Schadstoff-Fahnen liefern. Nach Kemblowsky et al. 1987 kann die Abbauraten unter folgenden Bedingungen quantifiziert werden:

- Die Schadstoff-Fahne befindet sich im stabilen und/oder schrumpfenden Zustand.
- Die Beobachtungspegel sind entlang der Fließstrecke angeordnet.
- Pegel außerhalb des Belastungsschwerpunktes aber innerhalb der gelösten Phase sind in Betracht zu ziehen.

Der Abbau von MKW und BTEX in stabilen Fahnen lässt sich mathematisch als ein Abbau erster Ordnung (sog. „first order decay“) beschreiben (Kemblowsky et al. 1987):

$$C_x = C_0 e^{-\left(\frac{kx}{v_a}\right)} \quad (3)$$

C_x	=	Schadstoffkonzentration in Abhängigkeit der Wegstrecke
C_0	=	Schadstoffkonzentration bei $x=0$
k	=	„First Order Decay“ Abbauraten pro Tag
x	=	zurückgelegte Wegstrecke (m)
v_a	=	Grundwasserabstandsgeschwindigkeit (m/Tag)

Die Abbaurrate der Schadstoff-Fahne wird mittels einer graphischen Analyse der Schadstoffkonzentrationen mehrerer Pegel abgeleitet. Dabei wird der natürliche Logarithmus der Schadstoffkonzentration gegen die Distanz der Beobachtungspegel zueinander aufgetragen ($\ln C/x$). Die Steigung der Regressionsgeraden multipliziert mit der Grundwasserabstandsgeschwindigkeit ergibt die Gesamtabbaurrate k der Schadstoff-Fahne.

Zur Verifizierung können bisher publizierte Literaturwerte herangezogen werden: Sie belegen durchschnittliche k -Werte für BTEX Fahnen von 0,1-1% pro Tag (Rifai et al. 1995; Kemblowsky et al. 1987).

3.5.2 Biologische Abbaurrate λ

Die Ermittlung der biologischen Abbaurrate λ entlang des Fließweges kann durch Berücksichtigung von Tracersubstanzen oder auf analytischem Weg erfolgen.

Tracermethode

Die Schadstoffkonzentrationen werden in Beziehung zu liegenschaftsspezifischen Tracern gesetzt.

Wilson et al. (1994) konnten mit Hilfe von Trimethylbenzol (TMB) die Schadstoffkonzentrationen entlang der Fließwege auf die Abbauprozesse der Verdünnung, Sorption und Dispersion korrigieren. TMB und dessen Isomere verfügen über vergleichbare physikalisch/chemische Stoffeigenschaften wie andere aromatische Kohlenwasserstoffe. TMB ist unter anaeroben Bedingungen in der Schadstoff-Fahne gegenüber einem biologischen Abbau resistent. Daneben sind als Tracersubstanzen auch Chlorid oder MTBE in Erwägung zu ziehen.

Die Schadstoffkonzentration entlang des Fließweges zwischen zwei Beobachtungsmeßstellen A und B werden wie folgt korrigiert:

$$C_{B, \text{kor}} = C_B \left(\frac{TRAC_A}{TRAC_B} \right) \quad (4)$$

A	=	Oberstromiger Punkt entlang des Fließweges
B	=	Unterstromiger Punkt entlang des Fließweges
$C_{B, \text{kor}}$	=	Korrigierte Konzentration des betreffenden Schadstoffes am Punkt B
C_B	=	Gemessene Konzentration des betreffenden Schadstoffes am Punkt B
$TRAC_A$	=	Gemessene Konzentration des Tracers am Punkt A
$TRAC_B$	=	Gemessene Konzentration des Tracers am Punkt B

Die korrigierten Schadstoffkonzentrationen werden im Rahmen einer Regressionsanalyse logarithmisch gegen die Entfernung der jeweiligen Beobachtungspegel aufgetragen ($\ln C/x$).

Tabelle 7: Veröffentlichte λ Werte für BTEX- Aromaten

Studie	Biologische Abbaurate λ
Chapelle (1994)	0,01
Wilson et al. (1994)	0,0045-0,0075
MacIntyre et al. (1993)	0,01-0,0019
Thierin et al. (1993)	0,004-0,006
Rifai et al. (1998)	0,0002-0,003
Dupont et al. (1998)	0,001-0,0008

Mit Hilfe dieser Methode konnten an Liegenschaften der US Luftwaffe repräsentative biologische Abbauraten λ ermittelt werden (vgl. Tabelle 7).

Analytisches Verfahren

Das analytische Verfahren beruht auf der Veröffentlichung von Buschek und Alcantar (1995) und wurde vielfach auf militärischen Liegenschaften angewendet (Wiedemeier et al. 1996; Rifai et al. 1998; Wilson 1998). Für eine stabile und/oder schrumpfende Schadstoff-Fahne errechnet sich die biologische Abbaurate λ wie folgt:

$$\lambda = \frac{v_c}{4\alpha_x} \left(\left[1 + 2\alpha_x \left(\frac{k}{v_x} \right) \right]^2 - 1 \right) \quad (5)$$

λ	=	Biologische Abbaurate
V_c	=	Scheinbare Schadstoffgeschwindigkeit (V_a/R)
V_a	=	Grundwasserabstandsgeschwindigkeit
R	=	Retardation
α_x	=	Longitudinale Dispersion bestimmbar nach dem Verfahren von Beims (1983)
k/v_x	=	Steigung der Regressionsgeraden bei der Darstellung der Schadstoffkonzentrationen gegen die Entfernung

Bei der Untersuchung von ca. 120 militärischen Liegenschaften wurde mit Hilfe dieser Methode die durchschnittliche biologischen Abbaurate λ für BTEX-Aromaten mit $\lambda = 0,0069$ pro Tag bestimmt (Rifai et al. 1998).

4. Entwicklung von Bewertungsgrundlagen

Wie in Kapitel 2 beschrieben, ergab die Auswertung der Unterlagen, daß die Modellstandorte hinsichtlich ihrer allgemeinen Randbedingungen, ihres Schadensbildes, der Ausdehnung von Schadstoff-Fahnen sowie der Ermittlung und Bewertung des Gefährdungspotentiales vergleichbar sind. Die Bewertung des Gefährdungspotentiales erfolgte über den Vergleich von Schadstoffkonzentrationen mit landesspezifischen Richt- und Orientierungswerten. Für die Empfehlung weiterführender Maßnahmen war vor allem die Bewertung des Schadstofftransportes über den Grundwasserpfad maßgeblich. Es wurde davon ausgegangen, daß zukünftig eine Schadstoffausbreitung mit dem Grundwasserabstrom erfolgen kann. Daher wurden für alle Liegenschaften vorrangig Sanierungs- und/oder Sicherungsmaßnahmen für das Grundwasser gefordert.

Dagegen ergab die Auswertung der Unterlagen, daß bei allen Liegenschaften im Vergleich zu den standortspezifischen Grundwasserabstandsgeschwindigkeiten nur geringe Fahnenlängen gelöster Schadstoffe, d.h. nur geringe Transportweiten von Schadstoffen nachgewiesen werden konnten (vgl. Tabelle 1).

Die Ursachen für die limitierte Ausbreitung von Schadstoff-Fahnen sind heute grundsätzlich bekannt und wurden in Kapitel 3 (Fachlicher Hintergrund) sowie in der Literaturrecherche zum Stand der Technik (Anlage 1) dargelegt.

Eine Bewertung des Gefährdungspotentiales aufgrund von Richt- und Orientierungswerten, welche Schadstoffkonzentrationen zugrunde legen, kann das Ausbreitungsverhalten von Schadstoffen nicht berücksichtigen.

Um das von solchen kontaminationsverdächtigen Flächen ausgehende Gefährdungspotential besser beurteilen zu können, wird daher eine risiko-orientierte Einzelfallbetrachtung vorgeschlagen, welche die liegenschaftsspezifischen Randbedingungen, die Expositionspfade, die physikalisch/chemischen Eigenschaften der Schadstoffe und deren Ausbreitungsverhalten in den Umweltmedien berücksichtigt.

4.1 Grundlagen einer risiko-orientierten Einzelfallbetrachtung

Zur Ermittlung von konkreten und/oder latenten Gefahren für Mensch und Umwelt sind kontaminationsverdächtige Flächen einer Gefährdungsabschätzung zu unterziehen. Die Gefährdungsabschätzung stellt die Gesamtheit aller Untersuchungen und Beurteilungen dar, welche erforderlich sind, um die Gefahrenlage einer Verdachtsfläche abschließend zu klären. Die Feststellung, ob von einer Verdachtsfläche eine Gefahr im polizeirechtlichen Sinn ausgeht und somit die Forderung nach Maßnahmen zur Gefah-

renabwehr begründet ist, kann nur durch eine einzelfallspezifische Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung fachlicher Grundsätze erfolgen.

In diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung sind die Schutzgüter:

- Menschliche Gesundheit
- Gewässer (Grund- und Oberflächengewässer)
- Rechtsverbindliche Schutzgebiete (Wasser-, Natur-, Landschaftsschutzgebiete)
- Sachgüter

Das höchste Schutzgut ist die menschliche Gesundheit. Die Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit und anderer Schutzgüter setzt aber eine Exposition des Rezeptors voraus.

Das bloße Vorhandensein von Schadstoffen reicht allein nicht aus. Für eine Beurteilung der tatsächlichen Exposition müssen nachfolgende Prinzipien beachtet werden:

- Die Bewertung muß einzelfallbezogen erfolgen.
- Die Bewertung erfolgt am Nutzungs- und/oder Expositionsort, nicht am Kontaminationsort.
- Die Bewertung orientiert sich an den physikalisch/chemischen Eigenschaften der Schadstoffe (Migration, Kontaminationsort → Expositionsort).

Das von kontaminationsverdächtigen Flächen ausgehende Risiko einer Schutzgutgefährdung hängt von stoff-, standort- und nutzungsabhängigen Faktoren ab:

- Stoffabhängige Faktoren
 - physikalisch/chemische Stoffparameter (Viskosität, Löslichkeit, Dampfdruck, Toxizität, Mobilität, Persistenz, Akkumulierbarkeit etc.)
- Standortabhängige Faktoren
 - Schadstoffmengen und -konzentrationen
 - Transport und Verhalten der Schadstoffe im Untergrund (Sorption, Desorption, Advektion, Dispersion, Diffusion, biologische Abbaubarkeit etc.)
 - Expositions- und Transferpfade (Transportmedien Boden, Wasser, Luft)
- Nutzungsabhängige Faktoren
 - Liegenschaftsinterne und -externe Nutzungen
 - Expositionsdauer

4.2 Fachlicher Ansatz für eine risiko-orientierte Bewertung

Als fachlicher Ansatz zur Erarbeitung von Bewertungsgrundlagen wurde der Zusammenhang

$$\text{Risiko} = \text{Toxizität} \times \text{Exposition}$$

für die standortrelevanten Schadstoffe und Schadstoffgruppen (AKW, MKW, MTBE) und die relevanten Expositionspfade verfolgt.

Zur Bewertung des von einer Altlast ausgehenden Risikos ist neben Schadstoffart und -menge die Schadstoffexposition eines potentiellen Rezeptors von zentraler Bedeutung. Die Exposition kann direkt, durch den Kontakt mit dem kontaminierten Medium erfolgen, z.B. durch inhalative, orale, und/oder dermale Aufnahme von Schadstoffen oder indirekt durch den Transfer von Schadstoffen zum Rezeptor. Dieser Transfer kann z.B. ausgehend von dem kontaminierten Medium Boden über den Transferpfad Grundwasser - Trinkwasser - Mensch erfolgen. Ob ein Transfer stattfindet und somit eine Gefährdung gegeben ist, wird einerseits von der liegenschaftsinternen und -externen Nutzung andererseits von der Schadstoffmobilität bestimmt.

Insbesondere liegenschaftsspezifische Faktoren, wie z.B. Lage und Nutzung, sowie Faktoren welche die Schadstoffausbreitung limitieren wie z.B. Durchlässigkeit, Retardation und mikrobiologisches Abbaupotential spielen eine wesentliche Rolle zur Charakterisierung der Mobilität von Schadstoffen im Untergrund und bei der Beantwortung der Frage, ob Transferpfade vollständig sind, d.h. ob ein Schadstofftransfer zu einem potentiellen Rezeptor überhaupt stattfindet.

4.3. Vorgehensweise

Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten der altlastenbedingten Gefährdung von tatsächlichen oder potentiellen Rezeptoren, erscheint es nicht sinnvoll, eine starre Vorgehensweise festzulegen, nach der eine Bewertung des Risikopotentials erfolgen kann. Wie oben beschrieben, spielen insbesondere die Schadstoffmobilität sowie die gegenwärtige und die geplante Nutzung eine entscheidende Rolle bei der Bewertung.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei der risiko-orientierten Bewertung von kontaminationsverdächtigen Flächen ist in Abbildung 2 dargestellt und wird nachfolgend näher beschrieben.

Nach Durchführung der Detailuntersuchung der Phase II (entsprechend der Arbeitshilfe Altlasten von 1996) ist zu prüfen, ob die Datenlage ausreichend ist, um die kon-

taminationsverdächtige Fläche modellhaft im Hinblick auf die Einwirkungen auf den Rezeptor zu beurteilen. Wesentlich sind dabei:

- Physische Parameter wie klimatische Faktoren, Standortlage, Nutzung der Umgebung, Standortnutzung, Infrastruktur, Lage von Schutzgebieten
- Geologisch/hydrologische Daten wie: Topographie, Bodenaufbau, Stratigraphie, organischer Kohlenstoffgehalt, hydraulische Parameter, Fließwege, Volumenströme, Einspeisungs-, Transfer- und Entleerungsgebiete
- Feststellung von Schadstoffart, -verteilung, -menge und -mobilität
- Identifizierung von Rezeptoren in Abhängigkeit von der derzeitigen und geplanten Nutzung der Liegenschaft und des Umfeldes
- Festlegung von Kontaminations- und Expositionsort
- Prüfung der Expositionspfade

Dieses konzeptionelle Standortmodell wird mit dem Ziel erstellt, festzustellen, ob die relevanten Schadstoffe mobil sind, d.h. ob ein Risiko besteht, daß diese sich zukünftig weiter ausbreiten werden.

Sind die Schadstoffe nicht mobil, ist die Frage zu beantworten, ob Rezeptoren (in erster Linie der Mensch) direkt oder indirekt (z.B. über den Grundwasserpfad) exponiert sind, oder ob die Folgenutzung Szenarien enthält, welche zu einer zukünftigen Exposition von Rezeptoren führen wird.

Sind gegenwärtig oder zukünftig keine Rezeptoren betroffen, wird eine Langzeitüberwachung der Kontamination vorgeschlagen. Sind jedoch bereits heute Rezeptoren exponiert oder werden diese in Zukunft exponiert sein, sind nach Prüfung auf Verhältnismäßigkeit, Verfahren oder Maßnahmen einzusetzen, welche das Risiko für den Rezeptor minimieren.

Sind dagegen die für den Standort relevanten Schadstoffe mobil, d.h. breiten sich diese in den Umweltmedien zukünftig weiter aus und sind gegenwärtig oder in Zukunft Rezeptoren betroffen, führt dies zum Einsatz von Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen. Es folgen also wie bisher Maßnahmen der Phase III (Sicherung-/Sanierung und Überwachung) mit dem Ziel, eine weitere Ausbreitung von Schadstoffen zu unterbinden.

Sind die Schadstoffe mobil und sind gegenwärtig Rezeptoren nicht betroffen und werden diese auch mittelfristig, insbesondere durch Nutzungsänderungen, nicht betroffen sein, wird ebenfalls eine Langzeitüberwachung vorgeschlagen. Ist unklar, ob Rezeptoren zukünftig exponiert sein werden, besteht also ein Restrisiko, führt dies zur Entwicklung und dem Einsatz geeigneter Managementstrategien zur Risikokontrolle.

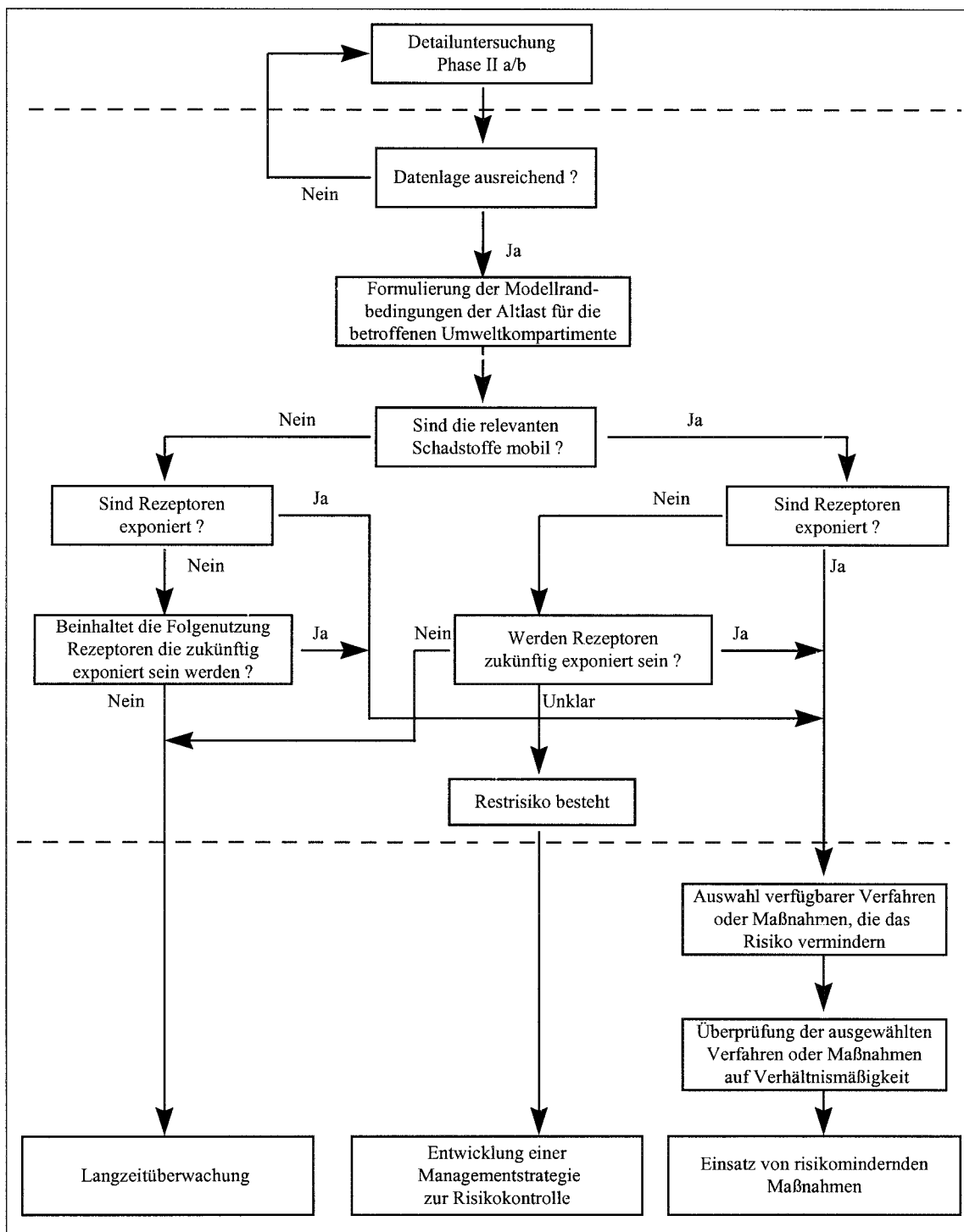


Abbildung 2: Ablauf einer risiko-orientierten Bewertung

5. Anwendung der Bewertungsgrundlagen

Sind, wie in den hier untersuchten Fällen, Schadstoffe bereits vor vielen Jahren und in z.T. erheblichen Mengen in den Untergrund eingedrungen, kann es vor allem durch den Transport im Grundwasser zu Verunreinigungen kommen, die weit über den Schadensherd und unter Umständen über das betroffene Grundstück hinausgehen. Gerade bei flächenhaften Grundwasserverunreinigungen wie sie für militärische Tanklager charakteristisch sind, ist im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung zu prüfen, in welchem Umfang Boden und Grundwasser sanierungsbedürftig sind. Diese Gefährdungsabschätzung soll auf Basis der vorgestellten Bewertungsgrundlagen und der fachlichen Grundlagen durchgeführt werden.

5.1 Feststellungen

Auffällig ist, daß sich an allen betrachteten Liegenschaften die gemessenen Schadstoff-Fahnen unabhängig von der Lithologie nur limitiert ausgebreitet haben. Die Ausdehnung der Fahnen liegt im Bereich von ca. 100 - 300 m. An einigen Standorten wurde festgestellt, daß die BTEX-Aromaten eine unwesentlich größere Ausdehnung als die MKW-Fahnen zeigen. Dieses Verhalten ist bedingt durch die unterschiedlichen Stoffeigenschaften von aromatischen Kohlenwasserstoffen und Mineralölkohlenwasserstoffen. Auch an Standorten mit freier Phase ist die Ausdehnung limitiert und die Transportweiten sind nicht größer als an Standorten ohne freie Phase (vgl. Tabelle 8).

Rezeptoren sind in keinem Fall von den Schadstoff-Fahnen betroffen. In Tabelle 8 wurde die scheinbare Schadstoffgeschwindigkeit v_c ermittelt, d.h. die Geschwindigkeit mit der sich die Schadstoffe unter Berücksichtigung der Sorption ausbreiten und mit der gemessenen Fahnenlänge verglichen. Da von den Liegenschaften keine Daten über den organischen Kohlenstoffgehalt vorliegen und somit die liegenschaftsspezifische Retardation R nicht bestimmt werden konnte, wurde die Berechnung der scheinbaren Schadstoffgeschwindigkeit unter Annahme einer Retardation von $R = 1 - 3$ ermittelt (vgl. Kapitel 3.1). Dieser Vergleich zeigt, daß an allen Standorten die Schadstoff-Fahnen sich nicht so weit ausgebreitet haben, wie dies, auch bei Annahme einer hohen Sorption ($R = 3$), zu erwarten ist. Daher müssen neben der Sorption auch andere Prozesse für die limitierte Ausbreitung der Schadstoff-Fahnen verantwortlich sein.

Tabelle 8: Vergleich von standortspezifischer Grundwasserabstandsgeschwindigkeit v_a , scheinbarer Schadstoffgeschwindigkeit v_c , tatsächlicher Transportweite der Schadstoffe und Entfernung zum nächstgelegenen Rezeptor

Standort	Entfernung zum Rezeptor* [m]	berechnete Fließgeschwindigkeiten [m/20a]		gemessene Fahnenlängen [m]		
		v_a	v_c^{**}	BTEX	MKW	Freie Phase
1a	1.500	730	243 - 730	110	100	90
1b	600	800	266 - 800	190	100	
2	1.500	-	-	300	300	290
3	2.400	1.600	533 - 1.600	160	160	
4	600	1.100	366 - 1.100	270	100	lokal
5	700	13.250	4.416 - 13.250	190	120	
6	1200	-	-	330		250
7	420	15.300	5.100 - 15.300	300	300	

* = Wassergewinnungsanlagen oder Oberflächengewässer

** = unter Berücksichtigung einer Retardation von $R = 1 - 3$

- = Datenlage zur Bestimmung nicht ausreichend

Aufgrund der Tatsache, daß die limitierte Ausbreitung der Schadstoff-Fahnen nicht nur durch Sorption erklärt werden kann, sind entsprechend dem Bewertungsansatz, die den Fahnenzustand bestimmenden Prozesse zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden die in Kapitel 3 beschriebenen, den Fahnenzustand bestimmenden Faktoren aus dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial abgeleitet.

Tabelle 9: Abbaupotential P_{ges} , durchschnittliche Grundwasserbelastung, Rückhaltefaktor R_f , Gesamtabbaurrate k , biologische Abbaurrate λ und aus Monitoringdaten abgeleiteter Zustand der Schadstoff-Fahne für die mobilste Komponente (BTEX)

Liegenschaft Nr.	P_{ges} [mg/l]	Ø Grundwasser- belastung [mg/l]	R_f	k	λ	Zustand der Fahne
1a	15,78	4,3	9,6	0,40	-	→
1b	15,78	4,4	4,2	0,44-0,50	-	→
2	-	-	-	-	-	-
3	-	3,0	10,0	0,06-0,13	-	↓
4	-	26,0	4,1	-	-	-
5	-	2,4	70,0	-	-	-
6	-	2,0	-	-	-	-
7	-	16,0	51,0	-	-	-

- = Datenlage zur Bestimmung nicht ausreichend

→ = stabil

↓ = abnehmend

Diese Faktoren (Abbaupotential P_{ges} , Rückhaltefaktor R_f , Gesamtabbaurrate k , biologische Abbaurrate λ) und der aus Monitoringdaten abgeleitete Zustand der Schadstoff-Fahne für die mobilste Komponente (BTEX) sind in Tabelle 9 zusammengefaßt.

Diese Ergebnisse zeigen, daß:

- Entsprechend den verfügbaren Monitoringdaten, die Schadstoff-Fahnen zumindest einen stabilen Zustand erreicht haben
- Die vorhandenen hydrochemischen Daten ein ausreichendes Abbaupotential anzeigen
- Der Rückhaltefaktor R_f im Bereich von ca. 4 - 70 liegt und für einen stattfindenden natürlichen Abbau von Schadstoffen spricht

Darüber hinaus kann festgestellt werden:

- Es liegen keine Folgenutzungskonzepte vor, bei denen Rezeptoren zukünftig betroffen sein werden.
- Die Schadstoffkonzentrationen verringern sich in Fließrichtung.
- Ein Vergleich der im Grundwasser gelösten Schadstoffmengen mit der an der Bodenmatrix sorbierten Menge zeigt, daß bei diesen Standorten die Hauptmasse der Schadstoffe an der Bodenmatrix sorbiert ist. Das Massenverhältnis liegt zwischen ca. 1:100 bis 1:1000 (vgl. Anhang 1).

5.1 Defizite

Wie Tabelle 9 zeigt, ist die Datenlage, außer an den Standorten 1a und 1b, nicht ausreichend, um die notwendigen Faktoren, mit Ausnahme des Rückhaltefaktors R_f , zu bestimmen. An Standort 3 konnte zusätzlich die Gesamtabbaurrate k bestimmt werden.

Außer an Standort 1b ist es nicht möglich das Abbaupotential P_{ges} zu bestimmen, da die Elektronenakzeptoren (z.B. O_2 , NO_3^-) nicht oder nicht systematisch analysiert wurden. Darüber hinaus ist aufgrund der Meßstellenkonfiguration eine Berechnung von P_{ges} nicht durchführbar. Grundwassermeßstellen wurden meist nur im Bereich der kontaminationsverdächtigen Fläche eingerichtet, Anstrommeßstellen zur Ermittlung von Hintergrundwerten aus unbelasteten Bereichen fehlen (vgl. Tabelle 2).

An den Standorten 2 und 6 kann der Rückhaltefaktor R_f nicht ermittelt werden, da die Grundwasserabstandsgeschwindigkeit v_a nicht bekannt ist.

Historische Monitoringdaten liegen nur von den Standorten 1a, 1b, 2 und 3 vor. Eine Aussage über die räumliche und zeitliche Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen und somit über die Mobilität der Schadstoff-Fahne, kann daher für alle anderen Liegenschaften nicht getroffen werden.

Aufgrund der fehlenden Monitoringdaten kann mit Ausnahme der Standorte 1a und 1b die Gesamtabbaurrate k nicht bestimmt werden. Die an Standort 2, im Rahmen eines Monitoringprogramms, analysierten Schadstoffkonzentrationen variieren sehr stark. Ursache hierfür ist, daß die Probennahmen bei unterschiedlichen Randbedingungen durchgeführt wurden (starke Grundwasserspiegelschwankungen). Diese Daten sind daher für die Ermittlung der Gesamtabbaurrate k nicht geeignet.

Voraussetzung für die Bestimmung der biologischen Abbaurate λ ist die Kenntnis der Gesamtabbaurrate k . Diese kann nur an den Standorten 1a und 1b ermittelt werden. Darüber hinaus ist zur Bestimmung von λ der Dispersionskoeffizient oder die Analyse von Tracersubstanzen notwendig. Diese Daten liegen von keinem Standort vor.

In verschiedenen Tiefen verfilterte Grundwassermeßstellen sind die Ausnahme. Meist wird der gesamte Aquifer oder, durch unvollkommen ausgebaute Pegel, nur dessen oberer Teil erfaßt. Probennahmen sind daher als Mischproben des verfilterten Aquifers zu betrachten und geben nicht die tiefenabhängige Konzentrationsverteilung der Schadstoffe und damit ein genaueres Abbild der Fahne wieder.

In diesem Zusammenhang ist auch die Ermittlung der Fließwege zu betrachten. Bereiche mit verschiedenen, von der Aquifermatrix abhängigen Durchlässigkeiten werden nicht berücksichtigt. Aus dem gleichen Grund kann nur die horizontale Komponente des Grundwasserabstroms bestimmt werden, die vertikale Komponente - und damit ein möglicher vertikaler Schadstofftransport - wird nicht erfaßt.

Massenbilanzierungen liegen in den meisten Fällen nur für die an der Bodenmatrix sorbierten Schadstoffe, jedoch nicht für die im Grundwasser gelösten Mengen vor. Berechnungen unter Berücksichtigung der Schadstoffverteilung, der Fläche von Schadstoff-Fahnen und der Aquifermächtigkeit oder, wenn vorhanden, der vertikalen Ausdehnung, erlauben aber eine grobe Schätzung der gelösten Schadstoffmenge (vgl. Anhang 1).

Darüber hinaus wurde an den Standorten 2 und 4 MTBE im Grundwasser nachgewiesen. Gezielte Analysen auf MTBE wurden nur an Standort 2 durchgeführt. An Standort 4 wurde MTBE bei der Auswertung von GC-Chromatogrammen identifiziert. An den anderen Liegenschaften ist das Grundwasser nicht auf MTBE untersucht worden. Daher kann das Gefährdungspotential, welches von MTBE ausgeht, nicht beurteilt werden.

Aussagen zur Effizienz durchgeführter Sanierungsmaßnahmen (Phasenabschöpfung an Standort 1a) und deren Auswirkung auf das Gefährdungspotential können nicht getroffen werden, da nach Abschluß der Maßnahmen keine Daten, wie z.B. Schadstoffgehalte im Grundwasser, verfügbar waren.

5.2 Bewertung am Beispiel ausgewählter Liegenschaften

5.2.1 Standort 1b

Nach Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen wurde dieser Standort ausgewählt, da hier die benötigten Daten weitgehend vorhanden sind. Im Gegensatz zu anderen Standorten sind hier die hydrochemischen Daten zum Teil verfügbar und die Schadstoffkonzentrationen wurden über einen Zeitraum von ca. 1,5 Jahren beobachtet.

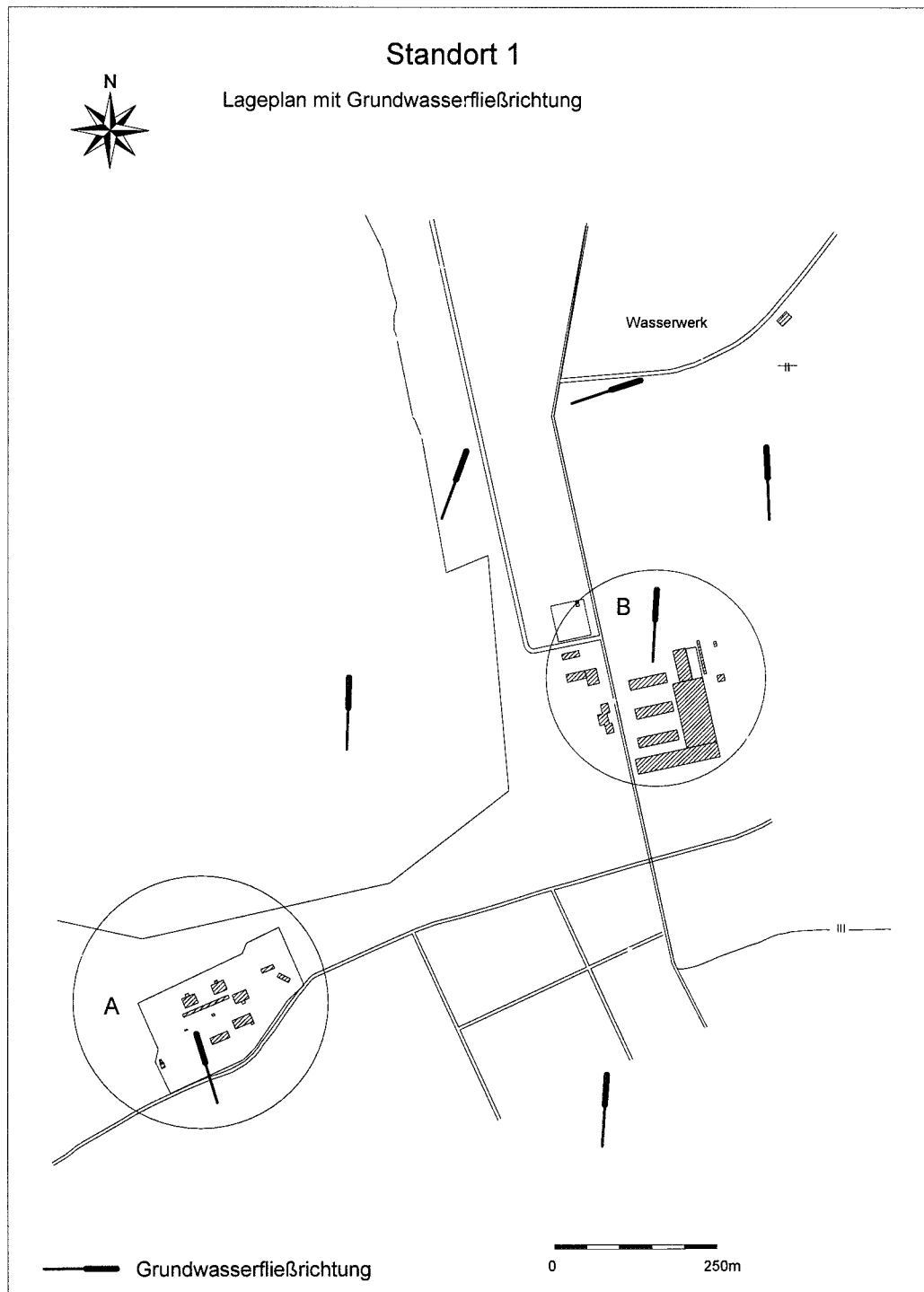


Abbildung 3: Räumliche Lage der Teilflächen 1a und 1b des Standortes 1 in Bezug zum Rezeptor Wasserwerk sowie großräumige Grundwasserfließrichtung.

Historie

Standort 1b ist eine Teilfläche (ca. 12.000 m²) eines großen, ehemals militärisch genutzten Geländes und wurde seit Anfang der 50er Jahre bis etwa 1991 als Tankstelle zur Betankung standort eigener KFZ genutzt.

Neben einem unterirdischen, einwandigen Lagerbehälter für Altöl (6m³) wurden in einem Tankfeld mit Splitterschutzwall zwei einwandige Lagerbehälter mit je 54 m³ Inhalt, welche der Lagerung von DK und VK dienten, sowie ein 10 m³ Tank für 2-Takt-Gemisch betrieben. Die monatlichen Umschlagmengen an DK bzw. VK wurden mit ca. 15 m³ bzw. 10 m³ angegeben.

Die Ersterkundung wurde 1991, Detaillierungen bis 1996 durchgeführt.

Schadensursache sind vermutlich überwiegend Verluste bei Tankbefüllungen, die sich zeitlich nicht näher einordnen lassen. Aufgrund der Nutzungsgeschichte wird davon ausgegangen, daß das Schadensalter mindestens 20 Jahre beträgt.

Schadstoffe und Schadstoffverteilung

Bedingt durch Umschlag und Lagerung von VK und DK wurden Untergrundkontaminationen mit MKW und BTEX festgestellt. Schadensherde sind vor allem die Bereiche der Zapfanlagen (früher südlich der Tanks gelegen, später an deren westlicher Begrenzung). Der Schwerpunkt der Bodenbelastung liegt in einem Teufenbereich von ca. 1 - 2 m unter GOK, unmittelbar über dem Grundwasserspiegel (vgl. Abbildung 8). Die kontaminierte Fläche beträgt ca. 2.800 m², das kontaminierte Volumen ca. 3.000 m³. Auf Basis der festgestellten Schadstoffverteilung und MKW-Gehalte wurde die an der Bodenmatrix sorbierte Schadstoffmenge mit ca. 19.800 kg bestimmt, durchschnittlich also etwa 3.600 mg/kg.

Ausgehend von der Bodenkontamination ist das Grundwasser des 1. Aquifers, in geringerem Maß auch das des 2. Aquifers betroffen. Die MKW- und BTEX-Schadstoff-Fahnen haben sich mit dem Grundwasserabstrom in östliche und nordöstliche Richtung ausgebreitet. Die MKW- und BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. und 2. Aquifers des Jahres 1995 sind in den Abbildungen 5 - 8 dargestellt. Vor allem im östlichen Randbereich wurde die Grundwasserkontamination bisher nicht abgegrenzt. Den 1. Aquifer betreffend wurden folgende Schadstoffmengen und belastete Volumina berechnet:

BTEX: ca. 19,3 kg in 10.130 m³ Grundwasser,
durchschnittliche Belastung ca. 1,9 mg/l
maximale Belastung im Schadenszentrum ca. 12,2 mg/l

MKW: ca. 27,5 kg in 11.140 m³ Grundwasser,
durchschnittliche Belastung ca. 2,5 mg/l
maximale Belastung im Schadenszentrum ca. 7,8 mg/l

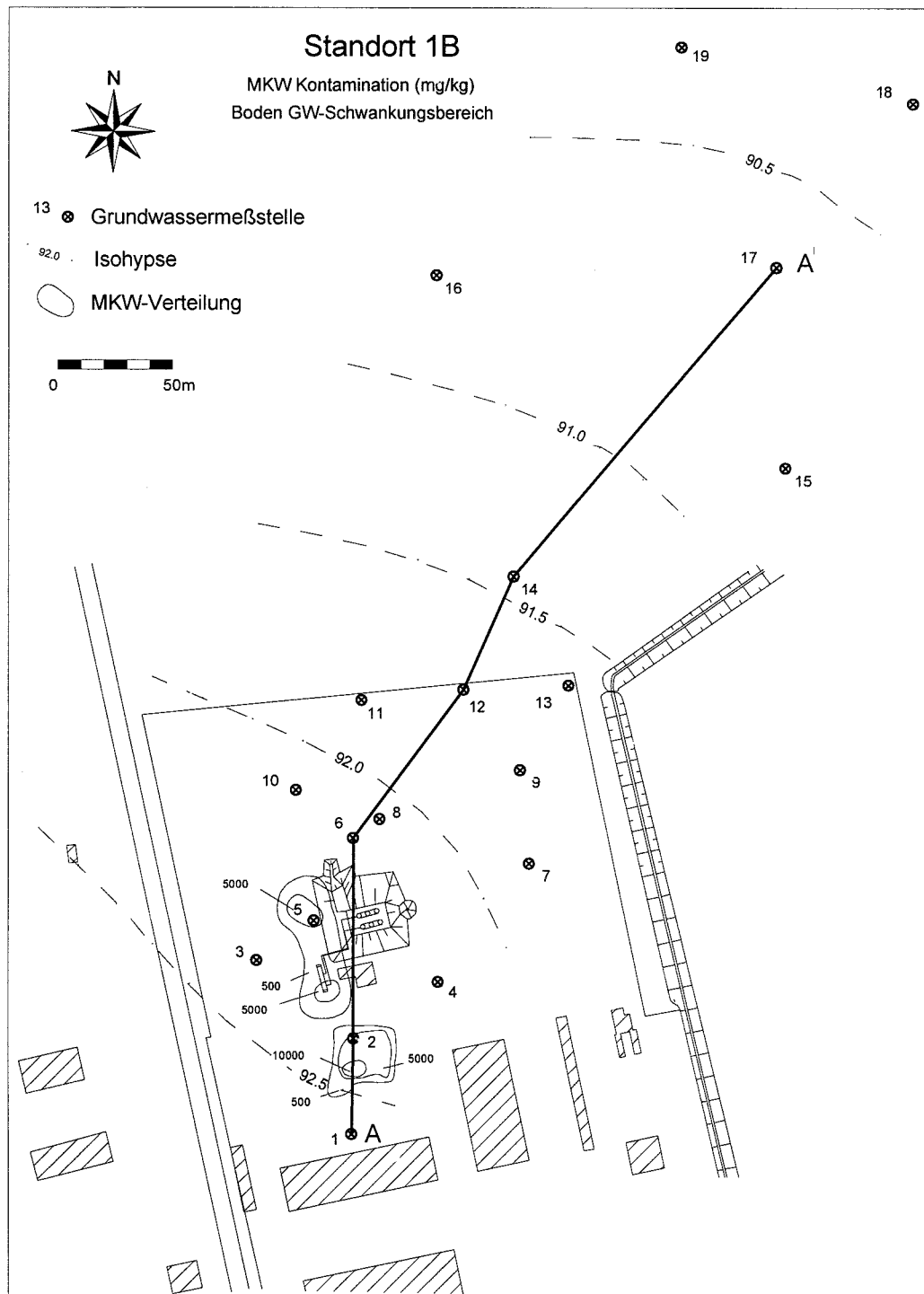


Abbildung 4: MKW-Verteilung im Boden sowie Lage der Grundwassermeßstellen und des hydrochemischen Profils A-A'.

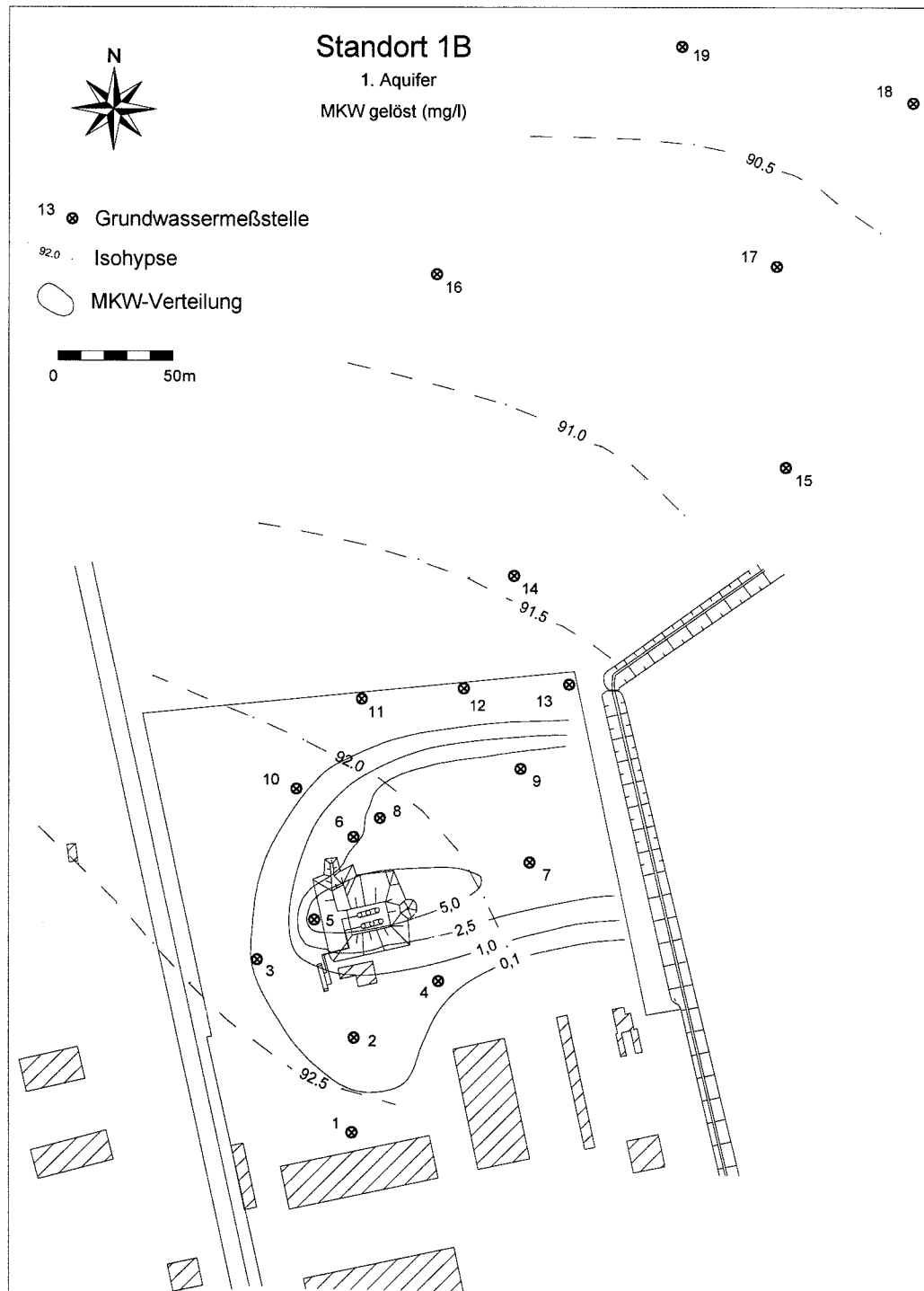


Abbildung 5: MKW-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.

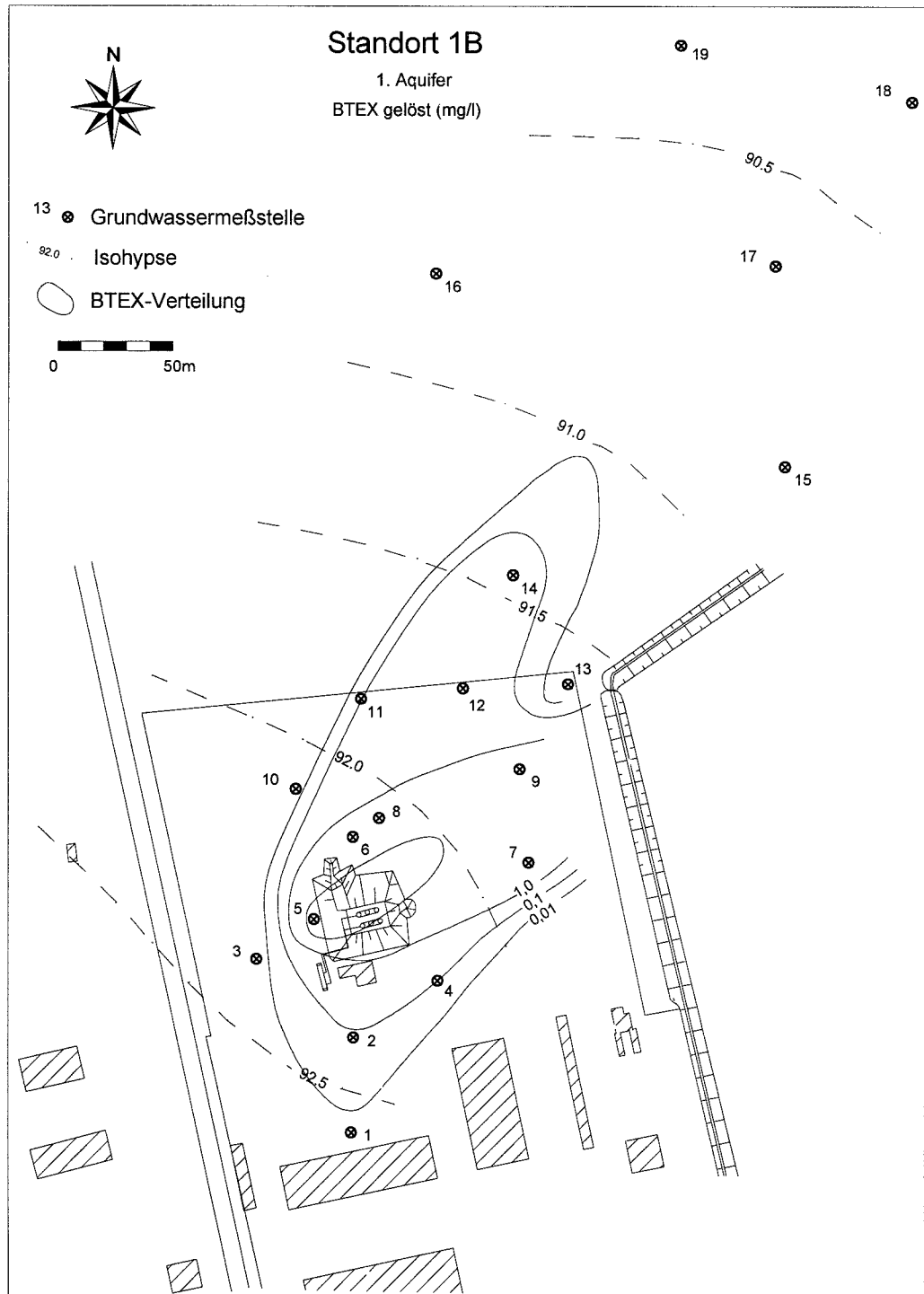


Abbildung 6: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers.

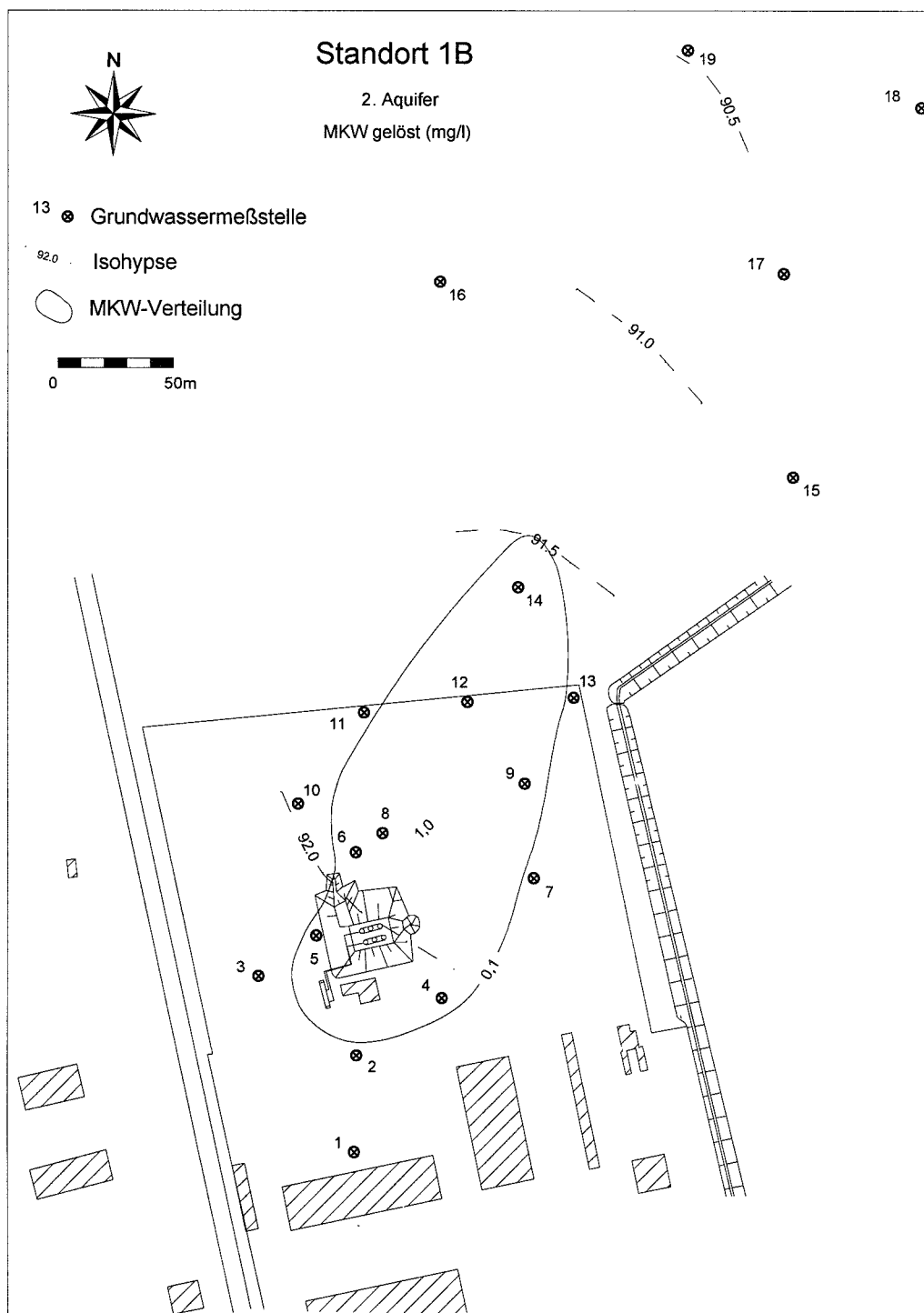


Abbildung 7: MKW-Verteilung im Grundwasser des 2. Aquifers.

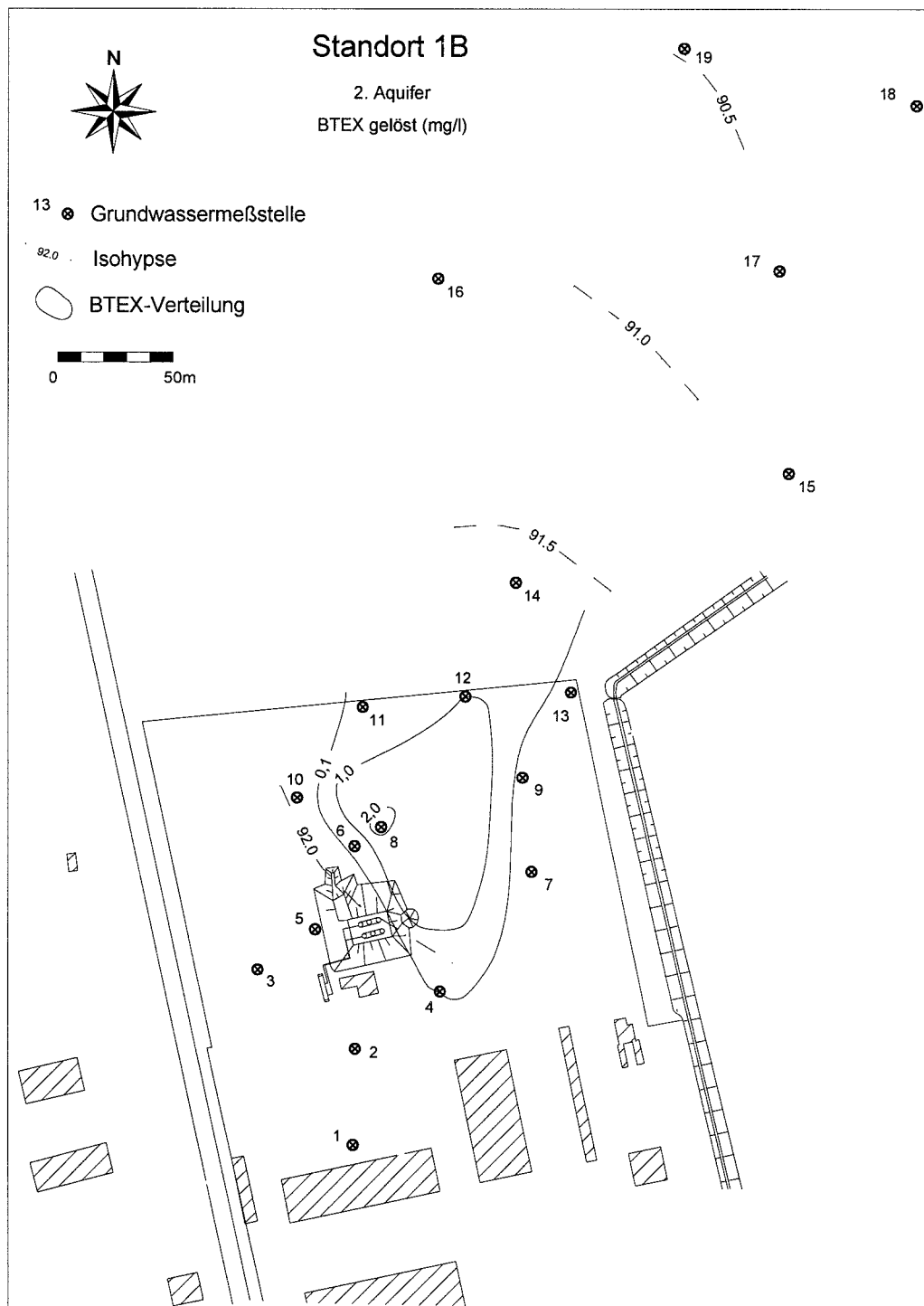


Abbildung 8: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 2. Aquifers.

Rezeptoren

Die Liegenschaft selbst wird gegenwärtig nicht genutzt. Folgende potentielle Rezeptoren wurden außerhalb der Liegenschaft identifiziert:

- Brunnen eines Wasserwerkes ca. 600 m nordöstlich des Schadenszentrums (Kontaminationsort). Die Grundwasserförderung erfolgt in einer Tiefe von 35 - 47 m unter GOK. Der Kontaminationsort liegt innerhalb der Schutzzone III.
- Naturschutzgebiet ca. 800 m nordöstlich des Standortes

Zum Zeitpunkt der letzten Untersuchungen waren genannte Rezeptoren nicht betroffen.

Relevante Transferpfade

Eine Schadstofftransport und eine mögliche Gefährdung der Rezeptoren kann nur über den Grundwasserpfad erfolgen. Daher beschränken sich die folgenden Ausführungen auf das Grundwasser

Geologisch/hydrologische Daten

Der Untergrund der Liegenschaft wird aufgebaut aus stark durchlässigen, schluffigen, feinkiesigen Mittelsanden mit einer Mächtigkeit von ca. 7 - 10 m unter GOK. Unterlagert werden diese Sande von Schluffen mit wechselndem Feinsand- und Tonanteil mit einer Mächtigkeit von ca. 1 - 4 m, welche nach Norden auskeilen. Es folgen ca. 12 - 18 m mächtige stark durchlässige grobsandige bis feinkiesige Mittel- und Feinsande, welche von gering durchlässigen Schluffen und Tonen von mehr als 20 m Mächtigkeit unterlagert werden.

Im Bereich der Tankanlagen wurden 2 Grundwasserleiter unterschieden, während nach Norden, bedingt durch die auskeilenden Schluffe, nur noch ein Aquifer vorliegt.

Nachfolgend sind die Kenndaten beider Aquifere zusammengefaßt:

	1. Aquifer	2. Aquifer
GW-Mächtigkeit	ca. 4,5 m	ca. 8 m
GW-Flurabstand	1,5 - 2,5 m	10 - 15 m
Fließrichtung	SW - NE	SW - NE
Gefälle	5×10^{-3}	5×10^{-3}
kf-Wert	$5,06 \times 10^{-5}$ m/s	$4,0 \times 10^{-4}$ m/s
Transmissivität	19,7 m ² /d	276,5 m ² /d
Abstandsgeschwindigkeit	0,11 m/d	0,86 m/d
	40 m/a	314 m/a

Hydrochemische Daten

Neben den Messungen an gelöstem Sauerstoff wurden an ausgewählten Meßstellen auch Messungen des Fe^{2+} -, Nitrat-, und Sulfat-Gehaltes durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analysen sind in Tabelle 10 zusammengefaßt.

Diese Messungen zeigen, daß im Vergleich zum nicht oder gering kontaminierten Bereich im eigentlichen Schadenszentrum (Umfeld der Meßstelle B6) gelöster Sauerstoff, Nitrat und Sulfat verbraucht und gelöstes Eisen produziert wird.

Tabelle 10: Gehalte an im Grundwasser gelöstem Eisen, Sauerstoff, Nitrat und Sulfat entlang des Profils A-A'.

Meßstelle	Lage	Fe^{2+}	O_2 gelöst	Nitrat	Sulfat
B17	Abstrom	0,02	3,6	0,2	22
B14	Randbereich	0,05	1,5	9,6	56
B12	Randbereich	1,9	0,6	0,0	63
B6	Zentrum	0,31	0,0	0,0	20
B1	Anstrom	0,25	1,2	0,0	83

Mobilität der Schadstoff-Fahne

Ausgehend von der Grundwassermeßstelle mit der höchsten Schadstoffbelastung wurden für BTEX bzw. MKW im 1. Aquifer Fahnenlängen von ca. 190 m bzw. ca. 100 m und im 2. Aquifer von max. 250 m bzw. ca. 150 m ermittelt. Da keine Daten zum organischen Kohlenstoffgehalt zur Bestimmung der standortspezifischen Retardation vorliegen, wurde zur Berechnung der theoretischen Schadstoffgeschwindigkeit eine Retardation von 3 (worst case-Szenario) angenommen. Unter der Annahme eines Schadensalters von 20 Jahren ergibt sich eine scheinbare Schadstoffgeschwindigkeit $V_c = 266 \text{ m/20 a}$ für den 1. Aquifer. Aufgrund der höheren Durchlässigkeit des 2. Aquifers ist hier $V_c = 2.094 \text{ m/20 a}$.

Weder die im Grundwasser gelösten MKW noch die mobileren BTEX erreichen nachweislich derartige Transportweiten.

Der standortspezifische Rückhaltefaktor R_f (1. Aquifer) ermittelt aus dem Quotienten von Grundwasserfließstrecke seit Schadenseintritt (Annahme 20 Jahre) und gemessener Fahnenlänge beträgt 8 (MKW) bzw. 4,2 (BTEX).

In den Abbildungen 9 bis 10 sind die Ergebnisse der Analysen auf MKW und BTEX von drei Probennahmen an Meßstellen entlang des Fließweges in den Jahren 1994 und 1995 dargestellt. Diese Messungen ergeben keine Hinweise auf eine Verlagerung von Schadstoffen in Richtung Grundwasserabstrom. Allerdings erscheint der Beobachtungszeitraum und die Anzahl der Probennah-

men zu gering um die vermutlich jahreszeitlich bedingten Konzentrationschwankungen zu erklären.

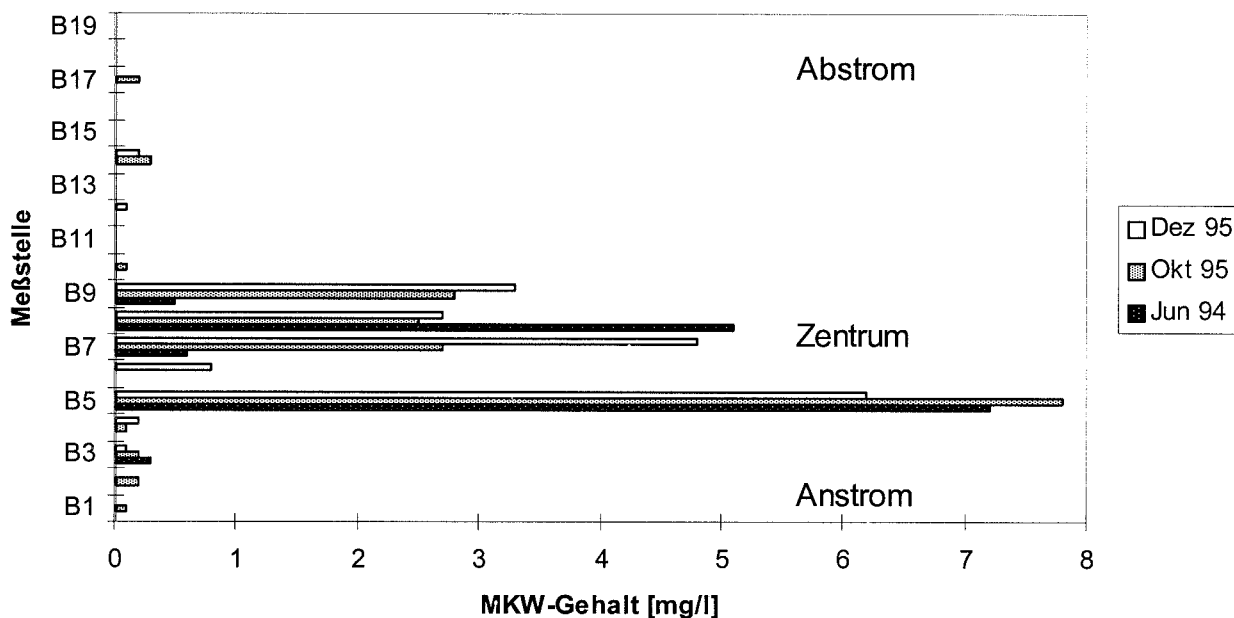


Abbildung 9: MKW-Gehalte des Grundwassers entlang des Fließweges (Profil A-A') von Juni 1994, Oktober 1995 und Dezember 1995.

Abbaupotential

Die Berechnung des Potentials zum Abbau von Kohlenwasserstoffen aus den Gehalten an im Grundwasser gelöstem Sauerstoff, Nitrat, Sulfat und Eisen ergibt sich aus den folgenden Beziehungen:

$$P_{O_2} = 0,32 (3,6 - 0,0) = 1,15$$

$$P_{NO_3} = 0,21 (9,6 - 0,0) = 2,02$$

$$P_{Fe \text{ (gelöst)}} = 0,05 (1,9 - 0,0) = 0,01$$

$$P_{SO_4} = 0,21 (83 - 20) = 12,6$$

Das Gesamtabbaupotential P_{ges} ergibt sich aus der Summe der einzelnen Potentiale:

$$P_{ges} = 15,78 \text{ mg/l}$$

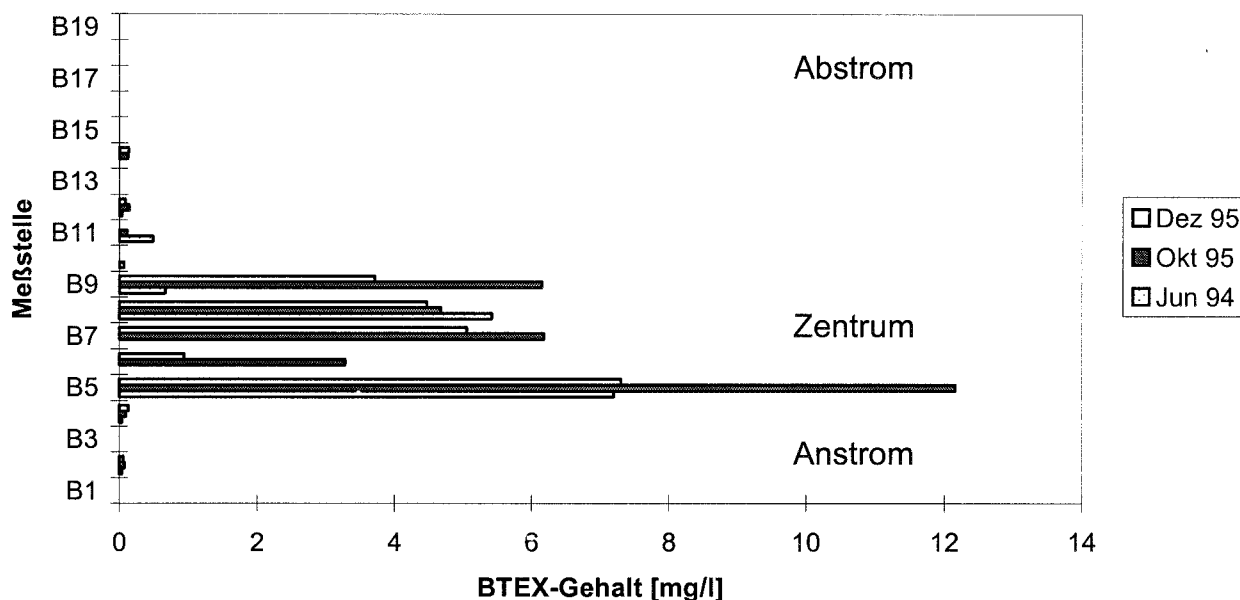


Abbildung 10: BTEX-Gehalte des Grundwassers entlang des Fließweges (Profil A-A') von Juni 1994, Oktober 1995 und Dezember 1995.

Da in diesem Fallbeispiel oberstromige Grundwassermeßstellen in ausreichendem Abstand zum belasteten Bereich fehlen, wurden als Hintergrundwerte mit Ausnahme des Sulfats die Abstrommeßstellen berücksichtigt. Aussagen zum Abbaupotential auf Basis von CH₄-Messungen sind aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Schadstoffgehalt von 4,4 mg/l (durchschnittliche Grundwasserbelastung durch BTEX ca. 1,9 mg/l und MKW ca. 2,5 mg/l) ist das errechnete Abbaupotential etwa um den Faktor 3,5 höher.

Gesamtabbaurate k

Die Grundwassermeßstellen B5, B8 und B12 (Distanz 52 m und 119 m) wurden zur Berechnung der Abbaurate k herangezogen. Die an B5, B8 und B12 gemessenen Schadstoffgehalte und die errechneten Abbauraten sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Für Standort 1b ermittelte Abbauraten k für MKW und BTEX im Juni 1994 und Dezember 1995.

Meßstelle	MKW [mg/l]	k _{MKW} [%/d]	BTEX [mg/l]	k _{MKW} [%/d]
Juni 1994				
B5	7,2	0,44	7,2	0,50
B8	5,1		5,42	
B12	0,08		0,037	
Dezember 1995				
B5	6,2	0,41	7,3	0,44
B8	2,7		4,474	
B12	0,1		0,082	

Bewertung

Diese Ergebnisse zeigen, daß die Schadstoff-Fahne sich unter den gegebenen Bedingungen in einem quasistationären Zustand befindet. Das ermittelte Abbaupotential und die Abbaurate sprechen für eine stattfindende Schadstoffreduzierung im Untergrund. Da die ursächlichen Schadstoffquellen heute beseitigt sind und daher kein weiterer Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund erfolgt, sind die Schadstoffe unter den gegebenen Bedingungen nicht mobil.

Die bei gegenwärtiger Nutzung identifizierten Rezeptoren sind nicht exponiert. Da die relevanten Schadstoffe nicht mobil sind, ist eine zukünftige Exposition bei unveränderter Nutzung nicht zu erwarten. Auch bisher geplante Folgenutzungen beinhalten keine Rezeptoren, die zukünftig exponiert sein könnten. Bei Nutzungsänderungen wäre dies jedoch erneut zu prüfen.

Entsprechend dem in Kapitel 4 dargestellten Bewertungsschema sind bei dem geschilderten Fall keine aktiven Sanierungsmaßnahmen notwendig. Eine Langzeitüberwachung der Schadstoff-Fahne an geeigneten Meßstellen mit Messung der entsprechenden Kontrollparameter ist ausreichend, um eine Nichtgefährdung des Rezeptors sicherzustellen.

5.2.2 Standort 1a

Dieser Standort gehört zur gleichen Liegenschaft wie der oben geschilderte Standort 1b zeichnet sich aber durch das Vorhandensein einer flächenhaften Mineralölphase aus (vgl. Abbildung 11).

Historie

Standort 1a umfaßt eine Teilfläche von ca. 40.000 m² des oben beschriebenen Geländes und wurde ebenfalls seit Anfang der 50er Jahre bis etwa 1990 als Tanklager für Flugtreibstoffe genutzt.

Neben den entsprechenden Betankungseinrichtungen und Nebengebäuden verfügt dieses Lager über insgesamt vier Tankfelder mit Splitterschutzwand und einer Gesamtkapazität von 1.689 m³. Die monatlichen Umschlagmengen an Flugbenzin (TS 1) wurden mit ca. 1.360 m³ angegeben. Die Anlieferung der Treibstoffe erfolgte bis ca. 1979 mit Kesselwagen über eine Gleistrasse, später mit Tankfahrzeugen. Vom Tanklager wurden die Kraftstoffabnehmer per Tankwagen versorgt.

Die Ersterkundung wurde 1991, Detailerkundungen bis 1995 durchgeführt. Eine Teilsanierung der auf dem Grundwasser aufschwimmenden Kerosinphase wurde im Zeitraum 1995 - 1997 durchgeführt.

Entsprechend den vorliegenden Untersuchungsberichten wurden während des Betriebes der Sanierungsanlagen 18,2 m³ Kerosin abgesaugt und 17,6 m³ Kerosin biologisch abgebaut, insgesamt wurden etwa 35,8 m³ Kerosin dem Untergrund entzogen, also etwa die Hälfte der Menge, die in freier Phase vorliegt.

Schadensursache ist wiederholtes Überfüllen der Lagertanks sowie unsachgemäße Handhabung beim Entladen der Kesselwagen wobei mehrfach größere Mengen an Kraftstoff versickerten. Es ist bekannt, daß bereits Mitte der 60er Jahre erhebliche Kraftstoffmengen im Untergrund versickerten. Aufgrund der Nutzungsgeschichte wird auch in diesem Fall davon ausgegangen, daß das Schadensalter mindestens 20 Jahre beträgt.

Schadstoffe und Schadstoffverteilung

Bedingt durch Umschlag und Lagerung von Flugtreibstoffen (hauptsächlich Flugbenzin Typ TS 1 und Flugtrottkraftstoff Typ F 18) wurden Untergrundkontaminationen mit MKW und BTEX verursacht. Schadensherde sind die Bereiche der Lagertanks und der Gleistrasse. Der Schwerpunkt der Bodenbelastung liegt in einem Teufenbereich von ca. 1 - 3 m unter GOK, unmittelbar über dem Grundwasserspiegel. Die kontaminierte Fläche beträgt ca. 10.000 m², das kontaminierte Volumen ca. 30.000 m³. Auf Basis der festgestellten Schadstoffverteilung und MKW-Gehalte von durchschnittlich 3.670 mg/kg in der ungesättigten und durchschnittlich 3.320 mg/kg in der gesättigten Bodenzone, wurde die an der Bodenmatrix sorbierte Schadstoffmenge auf ca. 55.000 kg in der ungesättigten und ca. 50.000 kg in der gesättigten Zone geschätzt.

Im Zuge von Sanierungserkundungen wurde die Ausdehnung der freien Kerosinphase mit 10.500 m² bei einem Volumen von ca. 70 m³ bestimmt. Frühere Schätzungen beliefen sich auf ca. 800 m³.

Ausgehend von der Bodenkontamination und der freien Kerosinphase ist auch das Grundwasser des 1. Aquifers betroffen. Das Grundwasser des 2. Aquifers ist

vergleichsweise gering belastet. Die MKW- und BTEX-Schadstoff-Fahnen haben sich mit dem Grundwasserabstrom in nordnordwestliche Richtung ausgebreitet. Die MKW- und BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers des Jahres 1995 sind in den Abbildungen 12 - 13 dargestellt. Den 1. Aquifer betreffend wurden folgende Schadstoffmengen und belastete Volumina berechnet:

BTEX: ca. 81,5 kg in 40.800 m³ Grundwasser,
durchschnittliche Belastung ca. 2,0 mg/l
maximale Belastung im Schadenszentrum ca. 5 mg/l

MKW: ca. 87 kg in 43.500 m³ Grundwasser,
durchschnittliche Belastung ca. 2,3 mg/l
maximale Belastung im Schadenszentrum ca. 4 mg/l

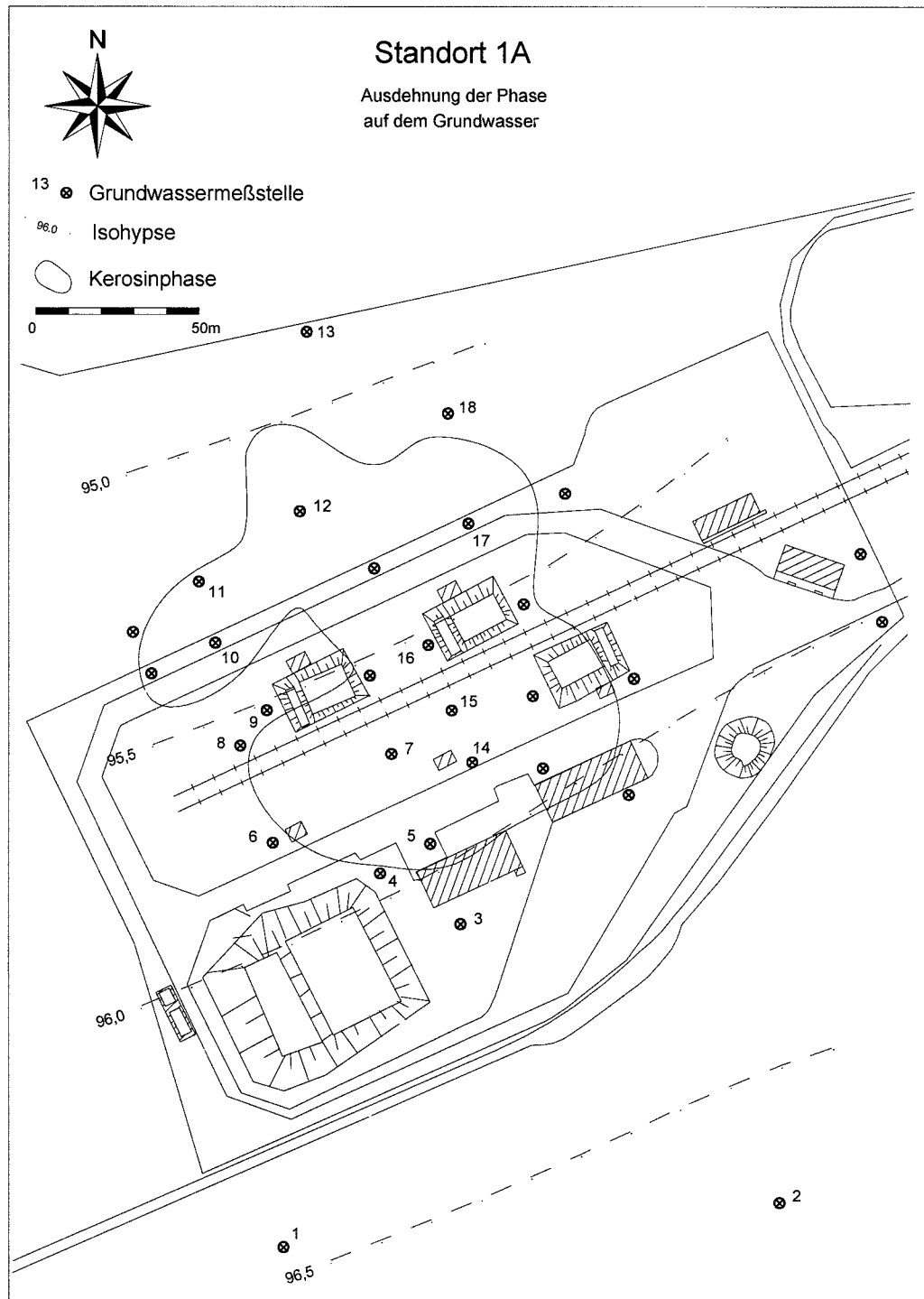


Abbildung 11: Äußere Begrenzung der freien Kerosinphase.

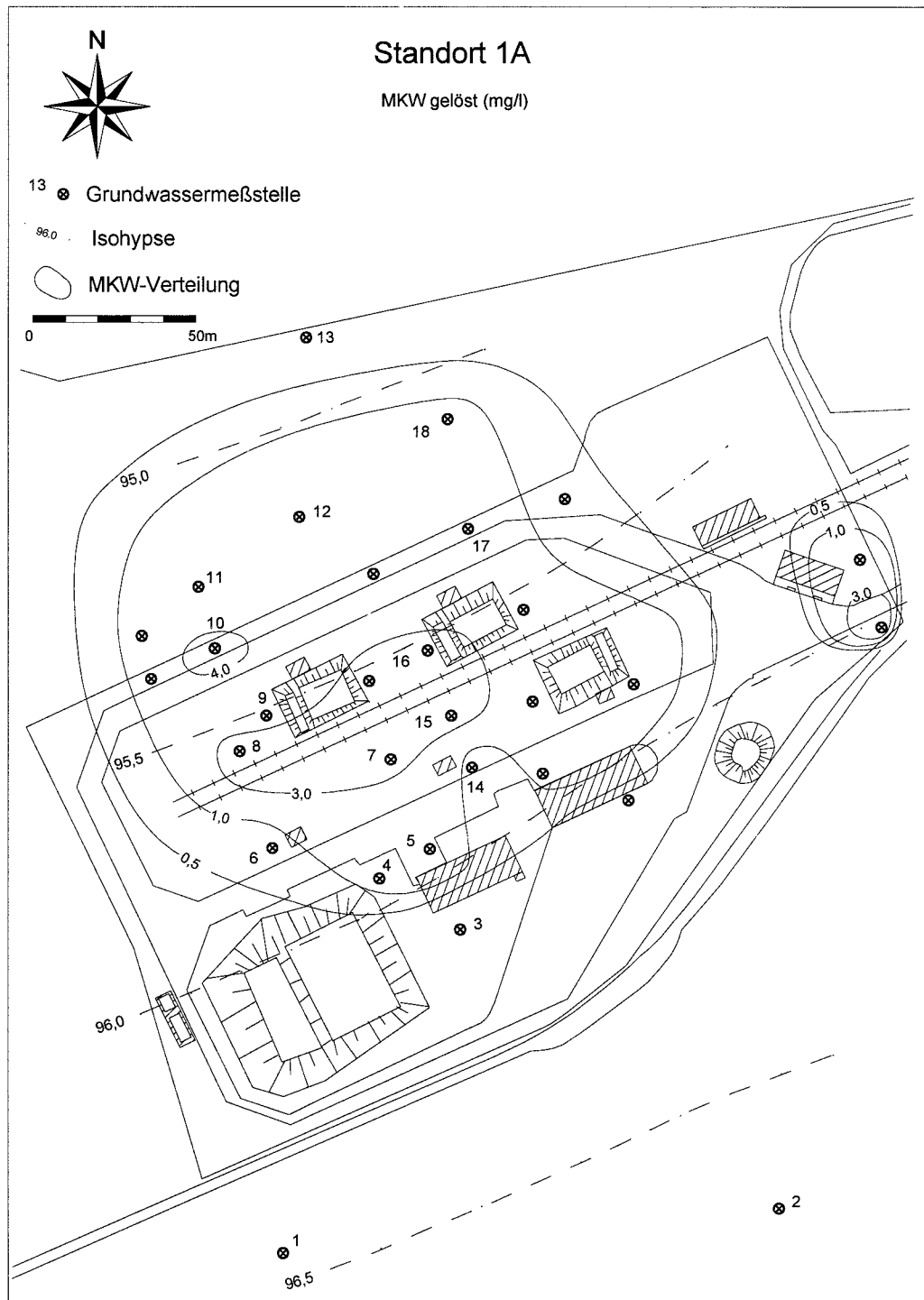


Abbildung 12: MKW-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.

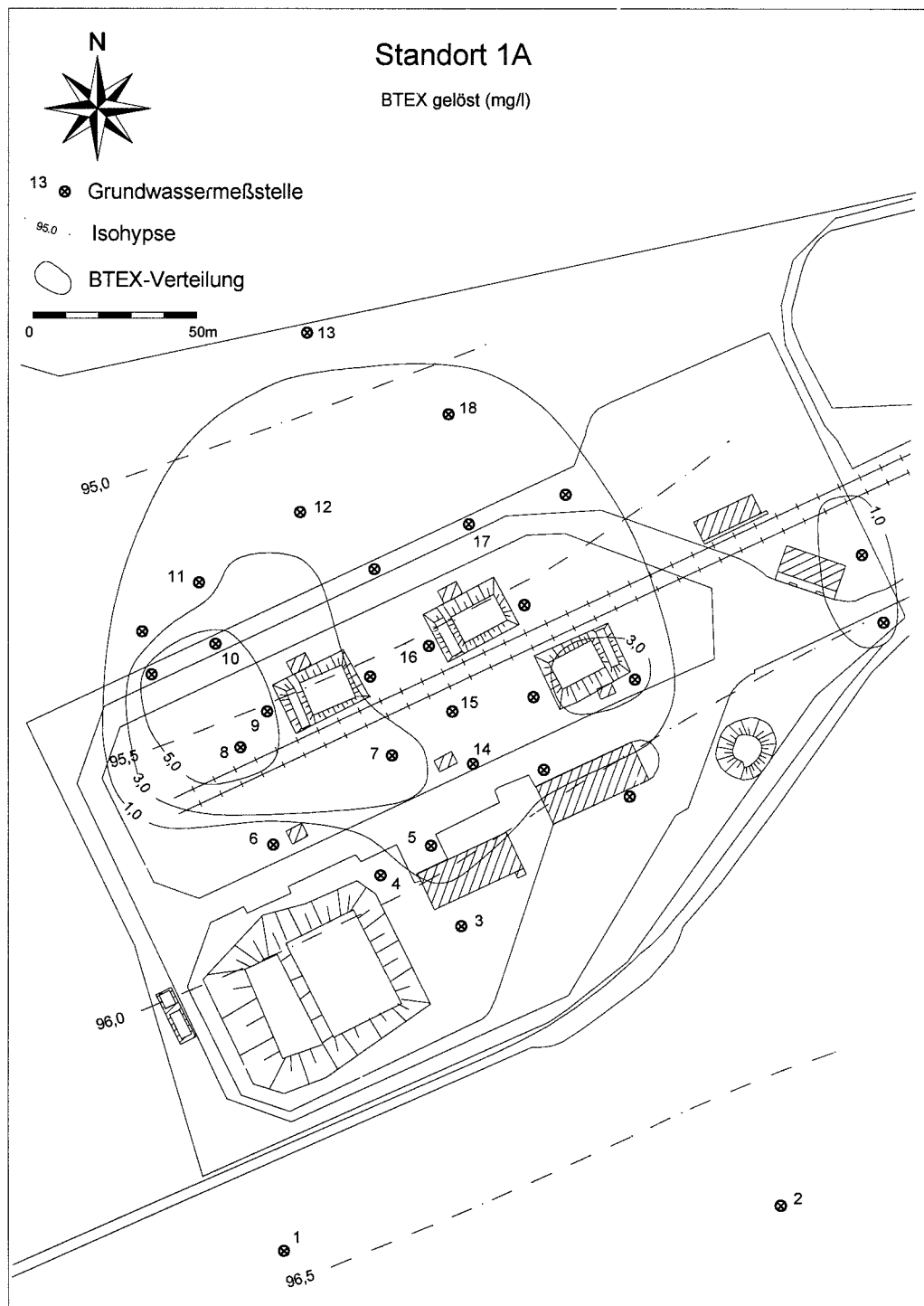


Abbildung 13: BTEX-Verteilung im Grundwasser des 1. Aquifers von 1995.

Rezeptoren

Die Liegenschaft selbst wird gegenwärtig nicht genutzt. Folgende potentielle Rezeptoren wurden außerhalb der Liegenschaft identifiziert:

- Brunnen eines Wasserwerkes ca. 1.500 m nordöstlich des Schadenszentrums (Kontaminationsort). Die Grundwasserförderung erfolgt in einer Tiefe von 35 - 47 m unter GOK.
- Naturschutzgebiet ca. 1.600 m nordöstlich des Standortes

Zum Zeitpunkt der letzten Untersuchungen waren genannte Rezeptoren nicht betroffen.

Relevante Transferpfade

Eine Schadstofftransport und eine mögliche Gefährdung der Rezeptoren kann wie bei Standort 1b nur über den Grundwasserpfad erfolgen. Daher beschränken sich die folgenden Ausführungen auf das Grundwasser.

Geologisch/hydrologische Daten

Der Untergrund dieser Teilfläche zeigt einen ähnlichen Aufbau wie bei Standort 1a. Stark durchlässige, schluffig - feinkiesige Mittelsande mit einer Mächtigkeit von ca. 8 -10 m unter GOK bilden den 1. Aquifer und werden unterlagert von Schluffen mit wechselndem Feinsand- und Tonanteil mit einer Mächtigkeit von ca. 1 - 4 m.

Im Bereich des Tanklagers wurden 2 Grundwasserleiter unterschieden, stark verunreinigt ist jedoch nur der 1. Aquifer.

Nachfolgend sind die Kenndaten des 1. Aquifers zusammengefaßt:

GW-Mächtigkeit	ca. 8 m
GW-Flurabstand	1,0 - 2,5 m
Fließrichtung	SSE - NNW
Gefälle	7×10^{-3}
kf-Wert	$3,2 \times 10^{-5}$ m/s
Transmissivität	22,1 m ² /d
Abstandsgeschwindigkeit	0,10 m/d
	36,5 m/a

Hydrochemische Daten

Außer Messungen des gelösten Sauerstoffs während der Grundwasserprobenahmen liegen von diesem Standort keine zusätzlichen hydrochemischen Daten vor.

Mobilität der Schadstoff-Fahne

Ausgehend vom Schadenszentrum wurden für BTEX bzw. MKW Fahnenlängen von ca. 110 m bzw. ca. 100 m ermittelt. Die Ausbreitung der freien Kerosinphase erstreckt sich in Richtung Abstrom über ca. 80 m. Da auch von diesem Standort keine Daten zum organischen Kohlenstoffgehalt zur Bestimmung der standortspezifischen Retardation R vorliegen, wurde zur Berechnung der scheinbaren Schadstoffgeschwindigkeit, wie bei Standort 1b ein Retardation von $R = 3$ angenommen. Unter der Annahme eines Schadensalters von 20 Jahren ergibt sich eine theoretische Schadstoffgeschwindigkeit $V_c = 243$ m/20 a für den 1. Aquifer.

Trotz der an diesen Standort vorhandenen Kerosinphase erreichen auch hier weder die im Grundwasser gelösten MKW noch BTEX derartige Transportweiten.

Der standortspezifische Rückhaltefaktor (1. Aquifer) ermittelt aus dem Quotienten von Grundwasserfließstrecke seit Schadenseintritt (Annahme 20 Jahre) und gemessener Fahnenlänge beträgt 7,3 (MKW) bzw. 9,6 (BTEX).

In den Abbildungen 14- 15 sind die Ergebnisse der Analysen auf MKW und BTEX von zwei Probennahmen an ausgewählten Meßstellen, etwa entlang des Fließweges, in den Jahren 1994 und 1995 dargestellt. Auch diese Messungen ergeben keine Hinweise auf eine Verlagerung von Schadstoffen in Richtung Grundwasserabstrom.

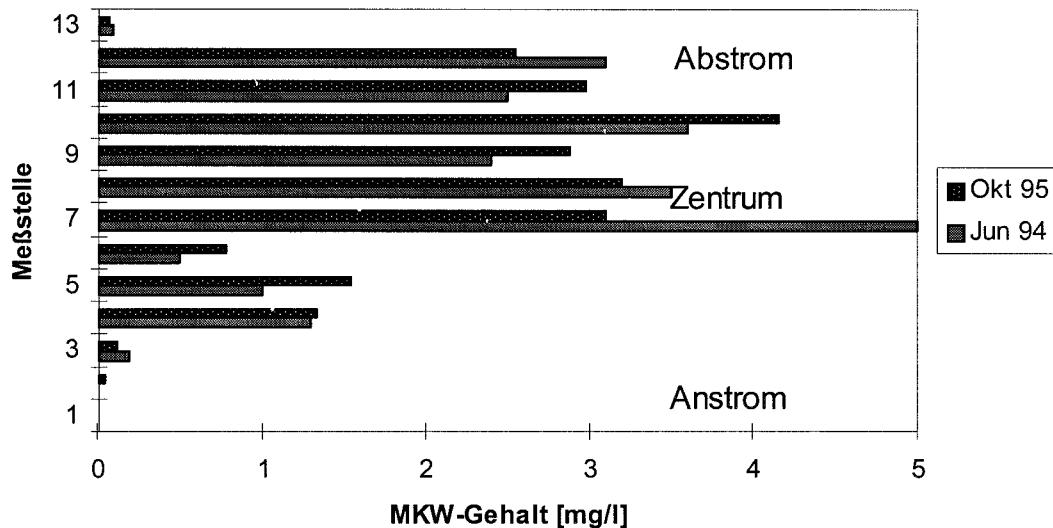


Abbildung 11: MKW-Gehalte des Grundwassers ausgewählter Meßstellen von Juni 1994 und Oktober 1995.

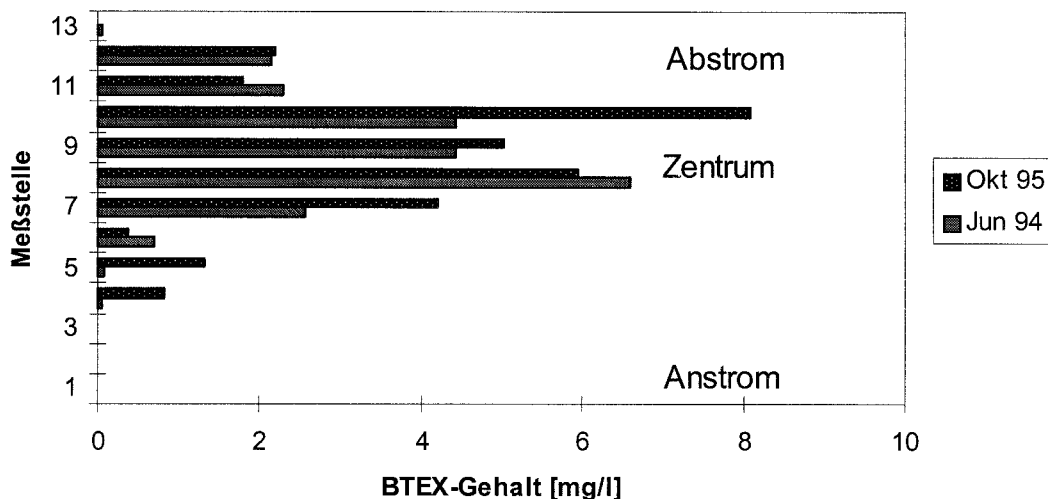


Abbildung 12: BTEX-Gehalte des Grundwassers ausgewählter Meßstellen von Juni 1994 und Oktober 1995.

Abbaupotential

Da von diesem Standort keine hydrochemischen Parameter außer Messungen des Sauerstoffgehalts vorliegen wird aufgrund der räumlichen Nähe zum Standort 1b ein ähnliches Abbaupotential P_{ges} angenommen:

$$P_{ges} = 15,78 \text{ mg/l}$$

Im Vergleich mit dem durchschnittlichen Schadstoffgehalt von 4,3 mg/l (durchschnittliche Grundwasserbelastung durch BTEX ca. 2,0 mg/l und MKW ca. 2,3 mg/l) wäre das errechnete Abbaupotential auch in diesem Fall etwa um den Faktor 3,5 höher.

Abbaurrate

Die Ergebnisse von MKW- und BTEX-Analysen von vier Grundwassermeßstellen nahe dem Schadenszentrum in Richtung Abstrom (Distanz 28 m, 53 m und 115 m) wurden zur Berechnung der Abbaurrate k herangezogen. Die hier gemessenen Schadstoffgehalte und die errechneten Abbauraten sind in Tabelle 12 dargestellt. Da auch hier keine Tracer analysiert wurden, konnten die ermittelten Abbauraten nicht auf Effekte wie Dispersion und Verdünnung korrigiert werden.

Tabelle 12: Für Standort 1a ermittelte Abbauraten k für MKW und BTEX.

Meßstelle	MKW [mg/l]	k _{MKW} [%/d]	BTEX [mg/l]	k _{BTEX} [%/d]
Oktober 1995				
Zentrum	4,15	0,55	8,08	0,40
	2,75		4,58	
	2,55		2,18	
Abstrom	0,07		0,003	

Bewertung

Unter der Voraussetzung, daß die gemachten Annahmen bezüglich des Abbaupotentials P_{ges} richtig sind, zeigend die Ergebnisse, daß, trotz einer flächenhaften, freien Kerosinphase, die Schadstoff-Fahne sich unter den gegebenen Bedingungen in einem quasistationären Zustand befindet. Die Abschätzung des Abbaupotentials und die ermittelte, vergleichsweise hohe Abbaurate k sprechen für eine stattfindende Schadstoffreduzierung im Untergrund. Da die ursächlichen Schadstoffquellen heute beseitigt sind und daher kein weiterer Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund erfolgt, sind die Schadstoffe unter den gegebenen Bedingungen nicht mobil.

Die bei gegenwärtiger Nutzung identifizierten Rezeptoren sind nicht exponiert. Da die relevanten Schadstoffe nicht mobil sind, ist eine zukünftige Exposition bei unveränderter Nutzung nicht zu erwarten. Auch bisher geplante Folgenutzungen beinhalten keine Rezeptoren die zukünftig exponiert sein könnten. Bei Nutzungsänderungen wäre dies jedoch erneut zu prüfen.

Entsprechend dem in Kapitel 4 dargestellten Bewertungsschema sind bei dem geschilderten Fall keine aktiven Sanierungsmaßnahmen notwendig. Auch in diesem Fall ist eine Langzeitüberwachung der Schadstoff-Fahne an geeigneten Meßstellen mit Messung der entsprechenden Kontrollparameter angezeigt, um den Zustand im Untergrund zukünftig zu überwachen.

- Daher sind Sicherungs- und/oder Sanierungsmaßnahmen bei der derzeitigen und geplanten Nutzung nicht notwendig, statt dessen ist eine Langzeitüberwachung der Liegenschaften durchzuführen.
- Aufgrund der Tatsache, daß die Schadstoffe überwiegend an der Bodenmatrix sorbiert sind, sind Sanierungsmaßnahmen, welche nur Bodenluft und/oder Grundwasser betreffen, ohne die Entfernung der Hauptschadstoffmenge im Boden langwierig und können nur den Charakter von Sicherungsmaßnahmen besitzen. Aufgrund der Immobilität der Schadstoffe erscheinen solche Maßnahmen aber als nicht verhältnismäßig.

6. Diskussion einer risiko-orientierten Vorgehensweise

Die hier vorgestellte risiko-orientierte Bewertung von kontaminationsverdächtigen Flächen ist ein empirisches Verfahren, welches auf den Stoffeigenschaften und dem bekannten Ausbreitungsverhalten von Schadstoff-Fahnen beruht. Aus dem historischen Verhalten von Schadstoff-Fahnen wird, unter der Voraussetzung konstanter Randbedingungen, das zukünftige Verhalten prognostiziert.

Veränderungen der Randbedingungen können eine Änderung des Ausbreitungsverhaltens bedingen. Hierbei sind insbesondere anthropogene Einflüsse zu nennen, deren Auswirkungen auf das Ausbreitungsverhalten nicht vorhersagbar sind, wie z.B. Flächenversiegelungen, Grundwasserentnahmen im Umfeld oder Grundwasserkontaminationen im Anstrom. Daher ist, auch wenn gegenwärtig von der kontaminationsverdächtigen Fläche keine Gefährdung ausgeht, eine Überwachung der Schadstoff-Fahne notwendig.

Der Abbau von Schadstoffen durch natürlich vorhandene Prozesse erfordert im allgemeinen einen langen Zeitraum. Eine Verkürzung des Zeitraums durch Beseitigung des Belastungsschwerpunktes ist in einem begrenzten Maße möglich. Der Einsatz von Maßnahmen zur Beseitigung des Belastungsschwerpunktes, wie z.B. Bodenaushub, konventionelle Sanierungsverfahren, etc., ist jedoch unter dem Aspekt der Verhältnismäßigkeit und dem Potential für die Verringerung des Zeitrahmens zu überprüfen (Kosten-/Nutzeneffekt).

Fahnen, die sich in einem mobilen Zustand befinden benötigen Raum, um einen stabilen Zustand zu erreichen. Im Hinblick auf eine eventuelle Ausbreitung von Schadstoffen bei solchen Fahnen, muß während der Überwachung ein zusätzlicher Raumbedarf berücksichtigt werden. Dieser Bedarf hängt von liegenschaftsspezifischen Eigenschaften, wie Grundwasserabstandsgeschwindigkeit, Retardation, etc. ab. Dabei ist die Entfernung zu Nachbargrundstücken und zu Rezeptoren zu beachten. Bei einem Abdriften von Schadstoffen auf Nachbargrundstücke ist u.U. mit zivilrechtlichen Folgen zu rechnen.

Die beschriebene Vorgehensweise erfordert ein grundsätzliches Umdenken bei allen Beteiligten. Nicht die Höhe der Schadstoffkonzentration im Schadenszentrum ist relevant, sondern das Ausbreitungsverhalten an den Rändern, insbesondere am abstromigen Rand der Fahne.

Ein umfassendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen geologischen, hydraulischen, chemisch/physikalischen und mikrobiologischen Prozessen und dem Schad-

stoffverhalten im Untergrund, und damit ein hohes Fachwissen aller an einer Bewertung Beteiligter, ist erforderlich.

Nutzungsänderungen können zu neuen Expositionsorten und -pfaden führen, die bei einer Bewertung berücksichtigt werden müssen.

Die Vorteile gegenüber der bisherigen Vorgehensweise bei Altschäden durch Mineralölprodukte im Untergrund, umfassen im wesentlichen die nachfolgend aufgeführten Punkte:

- Sanierungsentscheidungen werden unter Berücksichtigung einer fachlichen Notwendigkeit einzelfallbezogen begründet.
- Eine Bewertung des Gefährdungspotentials erfolgt nicht allein anhand von Richtwerten, sondern auf Basis des Schadstoffpotentials, der Expositionspfade und der Exposition der jeweiligen Rezeptoren.
- Für verschiedene Standorte und Rezeptoren kann eine Rangfolge für die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen festgelegt werden.
- Aktive Sanierungs- und/oder Sicherungsmaßnahmen können, je nach derzeitiger oder geplanter Nutzung, gezielt und damit kostengünstiger eingesetzt werden, um nutzungsbedingte Gefährdungen auszuschließen oder Risiken zu minimieren.
- Die Erkundung von Verdachtsflächen und die Überwachung von Untergrundverunreinigungen kann mit vergleichsweise kostengünstigen Parametern durchgeführt werden.

Ein methodisch bedingter Nachteil ist:

- Wenn die relevanten Rezeptoren sich in geringer Entfernung zum Fahrenende befinden, ist das Verfahren nur beschränkt einsetzbar.

6.1 Vorhandensein von funikularer Phase

Bei Nachweis einer funikularen Phase wird im allgemeinen von einer erhöhten Gefährdung, insbesondere für das Schutzgut Grundwasser ausgegangen. Daher wird häufig angestrebt, das Gefährdungspotential durch die Entfernung der freien Phase zu verringern. Hierfür stehen verschiedene Sanierungsvarianten zur Verfügung. Im Allgemeinen werden direkte Verfahren (Pumpmaßnahmen) und indirekte Verfahren (Bioslurping, Mehrphasenentnahme) unterschieden. Im Zusammenhang mit der Durchführung von Maßnahmen zur Phasenabschöpfung stellt sich die Frage, welche Ölmengen zurückgewonnen werden können und wie sich durch die Phasenentnahme das Gefährdungspotential verringert.

Der limitierende Faktor für die Fließfähigkeit freier Phase ist die relative Permeabilität des Untergrundes. Die vertikale und laterale Ausbreitung freier Phase erfolgt gravitativ (Grundwassergradient = Ölgradient) und wird durch die Kapillarkräfte des porösen

Mediums limitiert. Dies bedeutet, daß sich die funikulare Phase nur soweit ausbreitet, bis die Kapillarkräfte des porösen Untergrundes die gravitativen Kräfte ausgleichen. Aufgrund dieser Zusammenhänge, breitet sich die freie Phase, nachdem die Quelle des Eintrages beseitigt wurde, nur soweit aus, bis ein Gleichgewicht zwischen Kapillarkräften und hydraulischem Potential erreicht ist. Eine weitere Ausbreitung mit dem Grundwasserabstrom ist dann nur noch als gelöste Phase möglich.

Die Abschätzung der rückgewinnbaren Mengen freier Phase ist mit der Reservoirabschätzung bei der Förderung von Erdöl vergleichbar. Bei Altschäden ist Öl nur bis zu einem gewissen Grad rückgewinnbar. Unter den günstigsten geologischen Verhältnissen können bis zu 30 % wiedergewonnen werden. Bei einem heterogenem Bodenaufbau liegt der Anteil unter 10 %. Der Rest verbleibt als residuale und insulare Sättigung im Boden-/Aquifermaterial.

Eine sehr gute Übersicht über das Ausbreitungsverhalten und die Rückgewinnbarkeit von Öl in porösen Lockersedimenten geben Schwille (1967), Schieg (1978) und Parker (1987).

Aufgrund der Limitierung des Ausbreitungsverhaltens und der Rückgewinnbarkeit ist im Hinblick auf die Ermittlung des Gefährdungspotentials bei vorhandener funikularer Phase folgendes in Betracht zu ziehen:

- Durch Abschöpfmaßnahmen kann nur ein Teil der freien Phase aus dem Untergrund entfernt werden.
- Bei Altschäden kann durch Abschöpfmaßnahmen die Schadstoffmenge im Untergrund reduziert und somit die Lebensdauer der Schadstoff-Fahne verkürzt werden. Ein Einfluß solcher Maßnahmen auf die Mobilität der gelösten Phase, also auch auf das Gefährdungspotential, kann aber nicht abgeleitet werden.
- Die von dem Ölkörper durch Lösungs-, und Diffusionsprozesse ausgehende Beladung des Grundwassers mit Schadstoffen, wird durch Beobachtung der Schadstoff-Fahne im Rahmen einer risiko-orientierten Bewertung mit erfaßt.

6.2 Sauerstoffhaltige Verbindungen als Kraftstoffzusatz

Bei der vorgeschlagenen risiko-orientierten Bewertung ist die Betrachtung der mobilsten Komponente maßgeblich. Bei kontaminationsverdächtigen Flächen mit Mineralölkohlenwasserstoffen ist, aufgrund seiner Stoffeigenschaften, Benzol die mobilste Komponente bei einer Ausbreitung über den Grundwasserpfad. Werden Mineralölprodukten auch andere chemische Verbindungen zugesetzt, ist für die Bewertung des Gefährdungspotentials auch die Mobilität der Zusätze zu prüfen.

Tabelle 13: Vergleich der Stoffeigenschaften von Benzol und MTBE

	Benzol	MTBE
Anteil in Benzin	bis zu 2 %	bis zu 15 %
Wasserlöslichkeit der reinen Phase	1.780 ppm	~ 43.000 ppm
Wasserlöslichkeit im Beisein von Benzin	36 ppm	bis zu 5.100 ppm
Henry Konstante	0,22	0,018
Log K _{oc}	2	1,05
Geschmacksschwelle im Wasser	~ 500 ppb	~ 40 - 140 ppb
Geruchsschwelle im Wasser		15- 40 ppb
Biologischer Abbau	hoch	fraglich

Seit ca. 1984 werden Vergaserkraftstoffen sauerstoffhaltige Verbindungen (vor allem MTBE), zur Verbesserung der Abluftemissionen von Kraftfahrzeugen, zugesetzt. Auf Grund seiner Stoffeigenschaften ist MTBE als erheblich mobiler einzustufen als andere Komponenten der Kraftstoffe, wie zum Beispiel Benzol (vgl. Tabelle 13)

Das Umweltverhalten von MTBE ist derzeit nicht abschließend geklärt. In der Bundesrepublik Deutschland wird MTBE bei der Bewertung von Grundwasserkontaminationen bisher nicht berücksichtigt. In den USA ist die Problematik solcher Kraftstoffzusätze seit längerem bekannt. Hier sind zur Zeit Schadstoff-Fahnen mit BTEX, MKW und MTBE Gegenstand intensiver Untersuchungen (Bushek, 1998; Happel et al. 1998). Im Rahmen dieser Untersuchungen an MTBE-Schadstoff-Fahnen wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Konzentration > 30 ppb lassen sich in der Regel mit punktförmigen Schadensquellen in Beziehung setzen. Sie korrelieren mit BTEX und MKW Schadensfällen
- Konzentrationen < 30 ppb können auch durch diffuse Einträge z.B. durch Niederschlagsereignisse verursacht werden
- MTBE ist unter aeroben und anaeroben Bedingungen nur begrenzt abbaubar (Borden et al. 1997)
- Bei Altschäden werden BTEX- und MKW-Fahnen meist als stabil oder schrumpfend eingestuft, während MTBE als mobil eingestuft wird
- MTBE Fahnen sind im Durchschnitt 30 % länger als BTEX und MKW-Fahnen
- Transportweiten bis zu eintausend Meter sind beobachtet worden
- Im Vergleich zu BTEX und MKW besitzt MTBE das größere Potential abstomige Rezeptoren zu beeinträchtigen

Aufgrund dieser Tatsachen, wäre das Gefährdungspotential der untersuchten Liegenschaften nur unter Berücksichtigung des Ausbreitungsverhaltens von MTBE zu bestimmen. Hierfür ist die Datenlage jedoch nicht ausreichend, da nur wenige Meßstellen an zwei der Liegenschaften (Standort 2 und Standort 4) auf MTBE untersucht wurden, während an den anderen Liegenschaften MTBE überhaupt nicht analysiert wurde.

6.3 Kostenaspekte

Die Sanierungs-/Sicherungskosten der im Rahmen dieser Studie betrachteten Standorte für Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit MKW und BTEX-Aromaten werden bei Einsatz der zur Zeit zur Verfügung stehenden Verfahren auf ca. 5 bis 15 Mio. DM (2,56 bis 7,67 Mio. Euro) geschätzt worden. Die Kosten für Rückbau und Überführung in die zivile Nutzung sind in dieser Schätzung nicht enthalten.

Der für den vorgestellten Ansatz erforderliche Mehraufwand zur Erkundung und Gefährdungsabschätzung (Phasen I bis IIb) im Vergleich zu den bisherigen Erkundungsstrategien liegt bei Liegenschaften dieser Größenordnung im Bereich von ca. 0,5 bis 2 % der zu erwartenden Sanierungs-/Sicherungskosten.

Dieser Mehraufwand ist für eine fachlich begründete risiko-orientierte Bewertung notwendig und kann Argumente für den Einsatz geeigneter, risikomindernder Maßnahmen liefern und den Einsatz solcher Sanierungsmaßnahmen verhindern, die zur Gefahrenabwehr nicht erforderlich sind.

Auch eine risiko-orientierte Gefährdungsabschätzung kann, aufgrund eines hohen Gefährdungspotentials, zu der Notwendigkeit einer umfassenden Sanierung einer Altlast führen. In einem solchen Fall, wäre der durch den für die Erkundung benötigte Mehraufwand teilweise auch Gegenstand der Sanierungsplanung (Phase IIIa), so daß die Mehrkosten insgesamt als marginal bezeichnet werden können.

Ergibt sich aus der Gefährdungsabschätzung jedoch, daß eine umfassende Sanierung nicht notwendig ist, können die Sanierungskosten auf einen Rahmen beschränkt werden, der zur Gefahrenabwehr und/oder Risikominimierung notwendig ist.

Bei fehlendem Gefährdungspotential für Rezeptoren, wird in dem vorgestellten Ansatz eine Langzeitüberwachung der Schadstoff-Fahne vorgeschlagen. Für einen Überwachungszeitraum von 20 Jahren werden die Kosten auf ca. 2 bis 6 % der heutigen Sanierungskosten geschätzt. Diese Schätzung beinhaltet die Kosten für Ingenieurleistungen, Überwachung der notwendigen Kontrollparameter, und Investitionsausgaben (z.B. Ersatz von Meßstellen).

Liegen Szenarien vor, bei denen weitere Schadstoffe vorkommen, die betrachtet werden müssen (LHKW, MTBE), dann erhöhen sich die Sanierungskosten für eine umfassende Sanierung. Analog erhöhen sich auch die Kosten für eine Überwachung.

Letztlich ist die Entscheidung auch davon abhängig, ob durch eine umfassende Sanierung eine Steigerung des Verkehrswertes in einem Maß erzielt werden kann, daß eine Sanierung aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll erscheint.

7. Empfehlungen zur Vorgehensweise bei der Erfassung und Bewertung von Altschäden

Zur Erfassung der notwendigen Daten für die Bewertung von kontaminationsverdächtigen Flächen, wie sie für die hier betrachteten Liegenschaften charakteristisch sind, wird ein schrittweises Vorgehen vorgeschlagen:

1. Schritt: Charakterisierung der Liegenschaft

- A) Klärung der geologischen und hydraulischen Standortverhältnisse
- B) Ermittlung der Schadstoffverteilung
- C) Bestimmung von Schadensbereichen und Rezeptoren
- D) Aufzeigen von möglichen Expositionspfaden

2. Schritt: Erfassung der den Fahnenzustand bestimmenden Prozesse (Ist-Zustand)

- A) Bestimmung der Verteilung der Schadstoffkonzentrationen entlang der Fließwege
- B) Bestimmung des Rückhaltefaktors R_r
- C) Bestimmung der Retardation R
- D) Qualitativer Nachweis von Redoxreaktionen und Bestimmung des Abbaupotentials P_{ges}

3. Schritt: Beobachtung des Verhaltens der Fahne durch Erfassung der:

- A) zeitlichen und räumlichen Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen
- B) zeitlichen Entwicklung des Abbaupotentials und der Abbauraten:
 - Gesamtabbauraten k
 - Biologische Abbauraten λ

4. Schritt: Bewertung des Verhaltens der Schadstoff-Fahne und abschließende Gefährdungsabschätzung

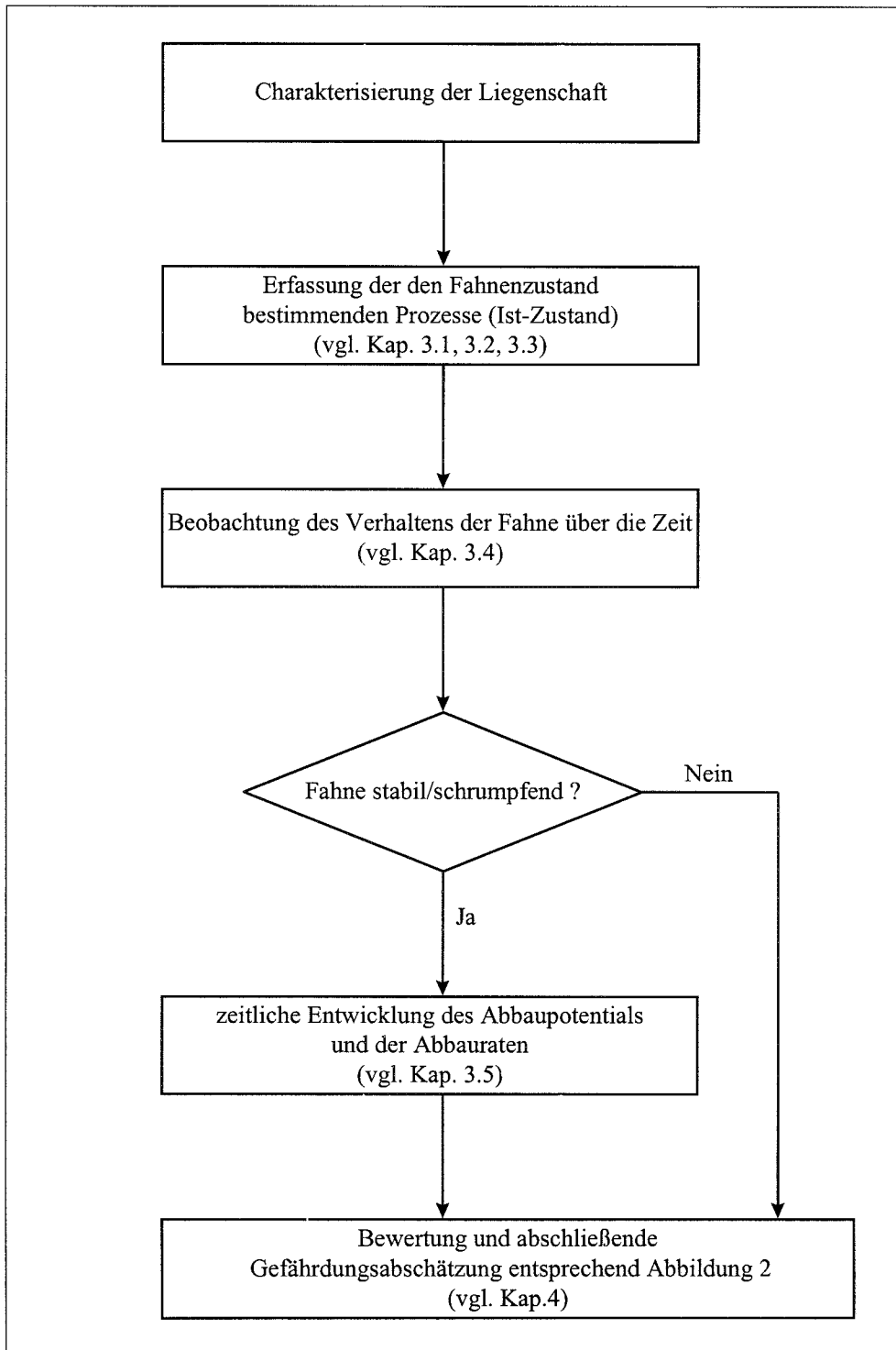


Abbildung 16: Schematische Vorgehensweise bei der Erfassung von kontaminationsverdächtigen Flächen.

Im folgenden wird die oben vorgeschlagene und in Abbildung 16 schematisch dargestellte Vorgehensweise, soweit diese über die allgemein bekannten Vorgehensweise zur Erkundung von Liegenschaften hinausgeht, näher erläutert.

1. Schritt: Charakterisierung der Liegenschaft

A) Klärung der geologischen und hydraulischen Standortverhältnisse

Im Rahmen der geologisch/hydrogeologischen Standorterkundung sollten neben den Standardparametern wie z.B. horizontale Fließrichtung, hydraulische Leitfähigkeit, hydraulischer Gradient auch die Fließwege des Grundwassers bestimmt werden. Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Fließwege ist z.B. in Langguth & Voigt (1980) und Anderson & Woessner (1992) beschrieben. Die Lage der Liegenschaft sollte im Hinblick auf das vertikale Transportpotential klassifiziert werden. Grundsätzlich wird hier zwischen:

- Grundwassereinspeisungsgebieten
- Grundwassertransfergebieten
- Grundwasserentlastungsgebieten

unterschieden.

B) Ermittlung der Schadstoffverteilung

Bei kontaminationsverdächtigen Flächen, bei denen ein Eintrag von Vergaserkraftstoffen vermutet wird, wird empfohlen neben den Standardparametern (MKW, BTEX) zusätzlich sauerstoffhaltige Verbindungen, insbesondere MTBE, zu analysieren. Aufgrund seiner Stoffeigenschaften ist MTBE als erheblich mobiler einzustufen als andere Kraftstoffkomponenten wie z.B. Benzol.

MTBE wird als möglicherweise krebserzeugend eingestuft (USEPA, 1997; CEPA, 1998) und führt ferner zu einer Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung des Wassers. In der Bundesrepublik Deutschland existieren zur Zeit bezüglich MTBE keine Richt- oder Orientierungswerte für Untergrundverunreinigungen. In den USA wurde der Richtwert für MTBE-Konzentrationen im Grundwasser von der CEPA (1998) auf 14 ppb festgelegt, während dagegen die USEPA Werte zwischen 20 und 40 ppb (USEPA, 1997) vorschlägt.

Im Hinblick auf die Bestimmung der biologischen Abbaurate λ nach der Tracermethode, sind die Isomere von TMB ebenfalls zu bestimmen.

2. Schritt: Erfassung der den Fahnenzustand bestimmenden Prozesse (Ist-Zustand)

A) Bestimmung der Verteilung der Schadstoffkonzentrationen entlang der Fließwege

Bei Schadstoff-Fahnen, die natürlichen Abbauprozessen unterliegen verringert sich die Schadstoffkonzentration entlang der Fließwege vom Belastungsschwerpunkt in Richtung Abstrom.

Bei Schadstoff-Fahnen, die solchen Einflüssen nicht unterliegen, verringert sich die Schadstoffkonzentration nicht entlang der Fließwege und endet abrupt am Fahnenende.

Neben der Ermittlung der Schadstoffverteilung in der ungesättigten Bodenzone ist vor allem die Kenntnis der Schadstoffverteilung im Grundwasser und die Abgrenzung der Schadstoff-Fahne wichtig. Daher muß die Platzierung der Grundwassermeßstellen besonders kritisch überdacht sein. Die Anordnung der Meßstellen richtet sich nach den liegenschaftsspezifischen geohydraulischen Parametern (Fließwege, Abstandsgeschwindigkeit, Lage der Rezeptoren). Neben Meßstellen im Bereich der Schadstoff-Fahne sind weitere Meßstellen notwendig:

- Anstrommeßstellen, in einem unbelasteten Bereich des Aquifers. Diese Meßstellen dienen der hydrochemischen Klassifizierung des Grundwassers bevor es durch den Belastungsschwerpunkt fließt.
- Abstrommeßstellen zur Feststellung der Schadstoffmobilität. Die Meßstellen sind außerhalb der gelösten Fahne und außerhalb funikularer Phase zu platzieren. Die räumliche Festlegung dieser Meßstellen richtet sich nach Abstandsgeschwindigkeit und Rückhalte/Abbauvermögen.

Zusätzliche Meßstellen können je nach Monitoringergebnissen und standortspezifischen Eigenschaften (heterogener Bodenaufbau, verschiedene Expositionspfade in besonders durchlässigen Zonen, etc.) benötigt werden.

Zur Abgrenzung der Schadstoff-Fahne gelöster Schadstoffe, insbesondere zur Definition des Fahnenendes, wird die 10 µg/l Isokonzentrationslinie vorgeschlagen (Kerndorf et al. 1993; Rice et al. 1995).

Zur Bestimmung der Fahnenlänge, wird vorgeschlagen, die Grundwassermeßstelle mit der höchsten Schadstoffkonzentration und den abstromigen Fahnenrand heranzuziehen.

B) Bestimmung der Retardation R

Zur Abschätzung der Schadstoffmobilität wird empfohlen die Retardation R des Untergrundes zu bestimmen. Hierzu wird der Gesamtgehalt an organischen Kohlenstoff benötigt. Die Bodenproben sind nach DIN 38409 H3 zu analysieren. Die Retardation R wird entsprechend Gleichung (1) aus Kapitel 3.1 bestimmt.

C) Bestimmung des Rückhaltefaktors R_f

Der ermittelte Rückhaltefaktor R_f ist wie folgt zu interpretieren:

$R_f \leq 3$	die Schadstoff-Fahne unterliegt vorwiegend Sorptionsprozessen
$R_f > 3$	neben der Sorption finden weitere Abbauprozesse statt

Wurde die Retardation R bestimmt, kann aus der Differenz von R_f und R der Anteil der sorptiven Einflüsse an der Ausdehnung der Fahne genauer bestimmt werden.

D) Qualitativer Nachweis von Redoxreaktionen und Bestimmung des

Abbaupotentials P_{ges}

Eine Abschätzung des quantitativen Abbaupotentials kann aus der Verteilung der Elektronenakzeptoren im Anstrom und Schadensbereich sowie der stöchiometrischen Verhältnisse quantifiziert werden. Hierbei werden die Abnahme der Oxidationsmittel im Vergleich zum Anstrom sowie die Zunahme der metabolischen Zwischenprodukte im Bereich der Kontamination betrachtet.

Die im folgenden aufgeführten Feld- und Kontrollparameter dienen der Erfassung des hydrochemischen Zustandes einer Schadstoff-Fahne und müssen durch mindestens eine Stichtagsmessung an allen vorhandenen Meßstellen bestimmt werden. Die Auswahl der zu untersuchenden Parameter ist in Abhängigkeit von den standortspezifischen Gegebenheiten zu präzisieren. Die Indikatoren umfassen:

Feldparameter	
Gelöster Sauerstoff (O ₂)	Sondenmessung
Temperatur	Sondenmessung
Leitfähigkeit	Sondenmessung
Redoxpotential	Sondenmessung
pH-Wert	Sondenmessung
Schwefelwasserstoff (H ₂ S)	Geruch
Methan (CH ₄)	Geruch
Kontrollparameter	
Nitrat (NO ₃ ⁻)	DIN 38 405 D19
Nitrit (NO ₂ ⁻)	DIN 38 405 D19
Ammonium (NH ₄ ⁺)	DIN 38 406 E5-1
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	DIN 38 405 D19
Eisen (Fe)	DIN 38 405 D14-2
Mangan (Mn)	DIN 38 406 E22
Zusätzliche Parameter (optional)	
Methan bei Verdacht auf Methanogenese	GC/FID
Gelöste Sulfide	Feldtestkit, Labor
Organische Säuren	GC
Anzahl der Bakterien/Abbaustudie	

Mit Hilfe der Feld- und Kontrollparameter ist es möglich, die im Untergrund ablaufenden Redoxreaktionen nachzuweisen. Die Verteilung der Schadstoffkonzentrationen und der Kontrollparameter wird in Isolinien dargestellt. Durch diese Darstellung und

den Vergleich mit der Schadstoffverteilung können die nachgewiesenen Redoxreaktionen definierten Bereichen der Fahne zugeordnet werden.

Durch den Konzentrationsvergleich zwischen unbelasteten Anstrom- und Abstrommeßstellen und Meßstellen innerhalb der Schadstoff-Fahne, können diese vergleichsweise kostengünstigen Feld- und Kontrollparameter auch zur Eingrenzung der gelösten Phase verwendet werden, ohne die organischen Schadstoffe analysieren zu müssen.

Das Abbaupotential P_{ges} entspricht der Summe der ablaufenden Redoxreaktionen und wird entsprechend Kapitel 3.3 bestimmt. P_{ges} ist wie folgt zu interpretieren ($C_{\emptyset}$ - durchschnittliche Schadstoffkonzentration):

$P_{ges} \leq C_{\emptyset}$ Abbaupotential nicht ausreichend, um die vorhandenen
Schadstoffe umzusetzen

$P_{ges} > C_{\emptyset}$ Abbaupotential vorhanden, um die Schadstoffe umzusetzen

3. Schritt: Beobachtung des Verhaltens der Fahne

A) Zeitliche und räumliche Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen

Gegenstand dieses Schrittes ist die Analyse der zeitlichen und räumlichen Entwicklung der Schadstoff-Fahne mit dem Ziel den Zustand der Fahne (mobil, stabil, schrumpfend) festzustellen. Die Analyse beruht auf der Auswertung historischer Monitoringdaten der Fahne. Es wird ein Überwachungszeitraum von 2 bis 5 Jahren mit halbjährlichen Meßreihen vorgeschlagen. Dabei ist mindestens der abstromige Rand der Schadstoff-Fahne zu beobachten.

Die Probennahmen sollen unter vergleichbaren Randbedingungen stattfinden (Grundwasserstand, Witterung, etc.). Der Probennahmeplan ist so festzulegen, daß Probenahmen zu einem Zeitpunkt stattfinden, in der von der kontaminationsverdächtigen Fläche wahrscheinlich die höchste Gefährdung ausgeht (höchster und niedrigster Grundwasserstand).

Der Zustand der Schadstoff-Fahne lässt sich durch den Vergleich von Konturkarten und/oder einer graphischen Analyse der Schadstoffkonzentrationen und/oder Kontrollparametern ermitteln:

- **Konturmethode:**
Die Verteilung der Schadstoffkonzentrationen und/oder der Kontrollparameter wird für alle Probennahmen in Isolinien dargestellt. Eine Ausbreitung oder Abnahme der gelösten Phase ergibt sich aus den Vergleich der Konturen für zeitlich unterschiedliche Beprobungen.
- **Graphische Analyse:**
Die graphische Analyse ist entsprechend Kapitel 3.4 durchzuführen. Aufgetragen wird der natürliche Logarithmus der Konzentrationen gegen die Zeit und gegen die Entfernung der Meßstellen. Aus dem Trend der Regressionsgeraden lassen sich eindeutige Schlußfolgerungen ziehen:

Steigung der Regressionsgeraden	Trend	Interpretation des Fahnenzustandes
< 0	abnehmend	schrumpfend
~ 0	stabil	im Gleichgewicht
> 0	zunehmend	ausbreitend

Zur Kontrolle sollte dieser Vorgang möglichst an mehreren Meßstellen durchgeführt werden. Bei der Analyse sind die Lage der Pegel innerhalb der Fahne und hydrologische Variationen (Grundwasserschwankungen, Niederschlagsereignisse) zu berücksichtigen.

B) Zeitliche Entwicklung des Abbaupotentials und der Abbauraten

Nachdem der Nachweis erbracht wurde, daß sich die beobachtete Schadstoff-Fahne im stabilen und/oder schrumpfenden Zustand befindet, kann das Abbaupotential durch Bestimmung der Gesamtabbauraten k und der biologischen Abbauraten λ quantifiziert werden. Aus der Bestimmung dieser Abbauraten kann die Lebensdauer der Schadstoff-Fahne abgeschätzt werden, sofern die gesamte gelöste Schadstoffmenge bekannt ist und kein weiterer Eintrag aus der ungesättigten Bodenzone mehr erfolgt. Dies ist z.B. bei einer bestehenden Immobilität oder nach Entfernung der Schadstoffe aus der ungesättigten Bodenzone gegeben.

Darüber hinaus sollte im Rahmen der Beobachtungsphase auch das Abbaupotential P_{ges} bestimmt werden, um zeitliche Variationen des Abbaupotentials nachweisen zu können.

Grundsätzlich ist auch der Einsatz von Datenverarbeitungsmodellen zur Prognose des Verhaltens der Schadstoff-Fahne geeignet. Diese können vor allem dann zum Verständnis der zeitlichen Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen beitragen, wenn keine stabile und schrumpfende Fahne nachgewiesen werden kann. Aussagefähige Modellprognosen erfordern jedoch Daten, die in der Regel nicht vorhanden sind oder nur mit erheblichem finanziellen Aufwand zu beschaffen sind. Außerdem beruhen die meisten Modelle auf Annahmen wie sie in der Praxis selten anzutreffen sind (Homogene Untergrundverhältnisse, Schadstoffverteilung, etc.). Deshalb sind vor Einsatz eines Modells die tatsächliche Aussagekraft und die Verhältnismäßigkeit kritisch zu prüfen.

Folgende Modelle können zur Abschätzung des Verhaltens der Schadstoff-Fahne verwendet werden:

Mehrphasenmodelle

(z.B. ARMOS, HSSM, MOFAT, MOVER, OILVOL, SPILLCAD)

Anwendung:	Simulation von Abschöpfmaßnahmen; Abschätzung des residualen und funikularen Volumens; Ausbreitungsverhalten der funikularen und gelösten Phase
------------	---

Transportmodelle unter Berücksichtigung der natürlichen Abbauprozesse

(z.B. BIOPLUME, BIOSCREEN, BIOTRANS, BIOMOD 3 D, BIOF&T2-D/3-D)

Anwendung:	Ausbreitungsverhalten der gelösten Phase unter Berücksichtigung von Advektion, Dispersion, Sorption, biologischem Abbau sowie den Kontrollparametern Sauerstoff, Nitrat, Eisen, Sulfat und Methan
------------	---

Modelle zur Expositionsanalyse Risiko- und Gefährdungsabschätzung

(z.B. DSS, MEPAS, MULITIMED, RBCA, SCREEMER, SESOIL-AT123D, SOILRISK)

Anwendung: Aufzeigen von Expositionspfaden und Ermittlung von risiko-orientierten Grenzwerten am Expositions-ort

Transportmodelle für ideale Tracer

(z.B. ASSM, FEFLOW, FLONET, FLOWPATH, MODFOW, MOC, SUTRA)

Anwendung: Simulation der Grundwasserströmung und Ausbreitungsverhalten von idealen Tracern.

In einer Publikation der USEPA (1998) werden Datenverarbeitungsmodelle zur Prognose von Schadstoff-Fahnen näher beschrieben.

8. Forschungs- und Klärungsbedarf

Im Hinblick auf die Optimierung des vorgestellten Ansatzes wird folgender Forschungs- und Klärungsbedarf gesehen:

- Physikalische, chemische und biologische Grundlagen
 - Erforschung der Wechselwirkungen zwischen sauerstoffhaltigen Verbindungen (z.B. MTBE), LHKW und MKW/BTEX im Hinblick auf das Ausbreitungs- und Abbauverhalten im Untergrund
 - Bewertung von Forschungsergebnissen zur Bioverfügbarkeit von Schadstoffen in der gesättigten und ungesättigten Zone. Der limitierende Faktor für den biologischen Abbau von Schadstoffen im Untergrund ist deren Bioverfügbarkeit. Unter welchen Bedingungen Schadstoffe für den biologischen Abbau verfügbar sind, ist heute noch nicht abschließend geklärt. In diesem Zusammenhang wird auf diverse Forschungsprojekte in den USA zu diesem Thema verwiesen (z.B. Gas Research Institute)
 - Einflüsse von anthropogenen Veränderungen, wie z.B. Flächenversiegelung, auf das Verhalten von Schadstoff-Fahnen. Insbesondere gilt es zu klären, ob durch solche Einflüsse Schadstoff-Fahnen mobilisiert werden können
 - Langzeitverhalten von Schadstoffen und Auswirkungen auf das Ökosystem
- Standortcharakterisierung
 - Entwicklung kostengünstiger und schneller Erkundungsmethoden, welche die Schadstoffverteilung, Transpor- und Expositionspfade vor Ort bereits während der Erkundung aufzeigen
 - Anwendbarkeit von in-situ Monitoring-Instrumenten, die das Verhalten der Schadstoff-Fahne erfassen und beobachten (in-situ Sensoren, in-situ Probennahme, Biosensoren)
 - Insbesondere fehlen Verfahren zur Charakterisierung des Expositionspfad Luft. Für eine Bewertung des Gefährdungspotentiales z.B. durch Ausgasungen aus belasteter Bodenluft in Gebäude, sind derzeit kaum geeignete Methoden verfügbar
- Konkrete Anwendung des Bewertungsansatzes mit Erfassung aller notwendigen Daten und Bestimmung der Kennwerte bei realen Schadensfällen.

In diesem Zusammenhang wäre auch eine statistische Auswertung sinnvoll, welche existierende Schadstoff-Fahnen im Hinblick auf deren Ausbreitungsverhalten und deren Kennwerte P_{ges} , R_f , k und λ analysiert, mit dem Ziel bereits aus der Bestimmung der Kennwerte den Fahnenzustand ableiten zu können.

9. Literaturverzeichnis

- Anderson, M.P. & Woessner, W.W. (1992): Applied Groundwater Modeling, Simulation of flow and transport - Academic Press, London, UK
- Arbeitshilfe Altlasten, Band I/II (1996), Hrsg: Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Referat B II 5, Deichmanns Aue 31-37, 53179 Bonn.
- Baedecker, M.J., Cozzarelli, I.M., Eganhouse, R.P., Siegel, D.I. & Bennet, P.C. (1993): Crude Oil in a shallow sand and gravel aquifer - III. Biogeochemical reactions and mass balance modeling in anoxic groundwater - Applied Geochemistry, 8: 569-586
- Barbarao, J.R., Baker, J.F., Lennon, L.A. & Mayfield, C.I. (1991): Biotransformation of BTEX Under Anaerobic, Denitrifying Conditions: Field and Laboratory Observations - J. Cont. Hydrology, 11: 245-272
- Beims, U. (1983): Planung, Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen - Zeitschrift für Angewandte Geologie, 29 (10), 484-492
- Borden, R.C., Daniel, R.A., Lebrun, L.E. IV, & Davis, Ch.W. (1967): Intrinsic Biodegradation of MTBE and BTEX in a Gasoline-contaminated Aquifer – Water Resources Research, 33 (5): 1105-1115
- Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau Abteilung Bauwesen (1992): Richtlinien für die Planung und Ausführung der Sicherung und Sanierung belasteter Böden, 17 S.
- Bushek, T.E. and Alcantar, C.M. (1995): Regression Techniques and Analytical Solutions to Demonstrate Intrinsic Bioremediation - Hincsee, R.E., Wilson, J.T. and Downey, D.C. (Eds.) Intrinsic Bioremediation, pp. 109-116
- Bushek, T. & Sahotra, A. (1998): Assessment and Management of MTBE Impacted Sites - Workshop at Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Conference: Prevention, Detection and Restoration Conference, National Water Well Association and American Petroleum Institute, Houston, TX., Nov., 11-13
- CEPA, (1998): Public health goal for methyl tertiary butyl ether (MTBE) in drinking water. Report by the Pesticide and Environmental Toxicology Section, Office of Environmental Health Hazard Assessment, California Environmental Protection Agency, 93 p.
- Chapelle, F.H. (1994): Assessing the efficiency of intrinsic bioremediation - EPA/540/R-94/515. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. (1997): Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, NY
- Dupont, R.R., Sorensen, D.L., Kemblowski, M., Bertleson, M. McGinnis, D., Kamil, I. & Bertleson, M. (1998): Monitoring and Assessment of In-Situ Biocontainment of Petroleum Contaminated Ground-Water Plumes - EPA/600/SR-98/020. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency
- Happel, A.M. Beckenbach, E.H. & Halden, R.U. (1998): An Evaluation of MTBE Impacts to California Groundwater Resources - Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, Livermore, California, UCRL-AR-130897

- Käss, W.(1969): Gefährdung des Grundwassers durch Mineralöle, Problematik und Experimente - Heilbad u. Kurort, 21, 2:12-17
- Kemblowski, M.W., Salanitro, J.P., Deeley, G.M. & Stanley, C.C. (1987): Fate and Transport of Residual Hydrocarbon in Ground Water- A Case Study - Proceedings of the Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Conference:Prevention, Detection and Restoration Conference, National Water Well Association and American Petroleum Institute, Houston, TX., Nov.,17-22, pp.207-231
- Kerndorf, H., Schleyer, R. & Dieter, H.H. (1993): Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen (Standardisierte Methoden und Maßstäbe) - WaBoLu-H. 1/93
- Langguth, HR. & Voigt, R.(1980): Hydrogeologische Methoden - Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Loveley, D.R., Baedecker, M.J., Lonergan, D.J., Cozarrelli, I.M., Phillips, E.J.P., & Siegel, D.I.(1989): Oxidation of aromatic contaminants coupled to microbial iron reduction - Nature 339: 630-636
- MacIntyre, W.G., Boggs, M., Antworth, C.P. & Stauffer, T.B. (1993): Degradation kinetics of aromatic origin solutes introduced into a heterogenous aquifer - Water Resources Research 29, no 12: 4045-4051
- Parker, J.C (1987): Multiphase Flow and Transport in Porous Media - Review of Geophysics 27, 3: 311 - 328
- Rice, D.W., Grose, R.D., Miachelson, J.C., Dooher, B.P., Macqueen, D.H., Cullen, S.J., Kasten-berg, W.E., Everett, L.G. & Marino, M.A. (1995): California leaking underground fuel tank (LUFT) historical case analyses - Environmental Protection Department, Environmental Restoration Division, Lawrence Livermore Laboratories, UCRL-AR-122207, variously paginated
- Rifai, H.S., Borden, R.C., Wilson, J.T. & Ward, C.H. (1995):Intrinsic bioattenuation for subsurface restoration - In Situ and On-Site Bioreclamation, The third International Symposium, R.E. Hinchee and R.F. Olfenbuttel eds., Batelle Memorial Insitute, Butterworth-Heinemann,, Boston, MA, Intrinsic Bioremediation, pp. 109-116
- Rifai, H.S. & Newell C.J. (1998): Estimating First-Order Decay Rates for BTEX using data from 115 Sites - In Proceedings of the Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Conference: Prevention, Detection and Restoration Conference, National Water Well Association and American Petroleum Institute, Houston, TX., Nov.,11-13, pp. 311-41
- Rittmann, B.E. (1993): Principles of bioremediation - In In-situ Bioremediation When Does IT Work ? Committee on In-Situ Bioremediation. Water Science and Technology Board, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council, National Academic Press, Washington, D.C, pp 23
- Schieg, H.O (1977):Methode zur Abschätzung der Ausbreitung von Erdölderivaten in mit Wasser und Luft erfüllten Boden - Mitt. Versuchsanst. Wasserbau, Hydrol. Glaziol., Eidgenöss. Tech. Hochschule, Zürich, 256 pp
- Schwille, F. (1966): Die Kontamination des Untergrundes durch Mineralöl - ein hydrologisches Problem - Dtsch. gewässerk. Mitt., 8, 1: 1-16
- Schwille, F. (1971): Die Migration von Mineralöl in porösen Medien - Gas- u. Wasserf., 112: 307-311, 331-339, 465-472

- Thierin, J., Davis, G.B., Barker, C., Patterson, B.M., Pribac, F., Power, T.R., & Lambert, M. (1993): Natural degradation rates of BTEX compounds and naphtalene in a sulfate-reducing groundwater environment - Hydrological Sciences Journal, 38 (4): 309-322
- USEPA, (1997): Drinking water advisory- consumer acceptability advice and health effects analysis on methyl tertiary-butyl ether - U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, EPA-822-F-97-009. 36 p
- USEPA (1998): Groundwater and Vadose Zone Models/Manuals - U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research & Development, Ada, Oklahoma, USA
- Wiedemeier, T.H., Swanson, M.A., Wilson, J.T., Kampell, D.H., Miller, R.N. & Hansen, J.E. (1996): Approximation of Biodegradation Rate Constants for aromatic Hydrocarbons (BTEX) - Ground Water, Ground Water Monitoring and Remediation 16 (3): 186-194
- Wilson, J.T. (1994): Presentation at Symposium on Intrinsic Bioremediation of Ground Water, Denver, CO, EPA/600/R-94-162. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency
- Wilson, J.T. (1998): Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons in Ground Water - Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio
- Wilson, J.T. Pfeffer, F.M., Weaver, J.W., Kampbell, D.H., Wiedemeier, T.H., Hansen, J.E. & Miller, R.N. (1994): Intrinsic remediation of JP-4 jet fuel - Proceedings of the EPA Symposium on Intrinsic Remediation in Ground Water, EPA/540 R-94/515,189
- Wilson, J.T., Kampbell, D.H. & Armstrong, J. (1994): Natural bioreclamation of alkylbenzenes (BTEX) from a gasoline spill in methanogenic groundwater - In Hincsee, R.H., Alleman, B.C., Hoeppel, R.E. & Miller, R.N. (eds) Hydrocarbon Bioremediation, Lewis Publishers, Ann Arbor, MI

Anhang 1

Übersichtsdatenblätter

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben	
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Brandenburg (Standorte 1b und 1a)	
Vornutzung:	
Betriebszeitraum:	von: etwa 1950 bis: 1991
Gesamte Betriebsfläche:	12.000 m ² bzw. 40.000 m ²
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen	

Kontamination						
Schadstoff	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser / mg/l		Medium / Einheit	
	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW	10.000		7,8	2,5		
BTEX			12,2	1,9		
LHKW						
PAK						
MTBE						
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft - Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe:						
Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragspunkte) Schadensherde sind vor allem die Bereiche der Zapfanlagen, Lagertanks und der Gleistrasse Schadensursache durch Umschlag und Lagerung von Kraftstoffen und damit verbundenen Sicker- und Tropfverlusten						

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²	2.800 bzw. 10.000	
Kontaminiertes Volumen:	m ³	3.000 bzw. 30.000	
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	
	durchschnittlich	m u. GOK	1,5 - 3,0
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	19.800 bzw. 55.000
	BTEX	kg	
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²	3.000 bzw. 10.000	
Fahnenlänge	m	190 und 100 bzw. 110	
Kontaminiertes Volumen:	m ³	11.000 bzw. 43.500	
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	10
	durchschnittlich	m u. GOK	
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	27,5 bzw. 87,0
	BTEX	kg	19,3 bzw. 81,5
	LHKW	kg	
	MTBE	kg	
	andere	kg	
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ⊗ (1a)	nein ○	
Art:		Kerosin	
Menge		ca. 70 m ³ , davon wurden ca. 36 m ³ zwischen 1995 und 1997 entfernt	
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²		
Kontaminiertes Volumen:	m ³		
Vertikale Ausdehnung:	m u. GOK		

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:			
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:			
Redoxpotential [mV]:			
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:			
gelöster Sauerstoff [mg/l]:	1,2	0,0	3,6
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:	0,0	0,0	0,2
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:	83	20	22
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:	0,25	0,31	0,02
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:			
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Chlor (Cl^-) [mg/l]:			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ○ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone: Zone III)	
○ Oberflächengewässer	
○ Luft /Bodenluft (Ausgasung, Migration, Explosionsgefahr)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m		Lage	
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m		Lage	
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m	200	Lage	
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m	800	Lage	Nordost
	m	1.600	Lage	Nordost
Grundwassernutzungen:	m	600	Lage	Nordost
	m	1.500	Lage	Nordost
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				
Trinkwasserentnahme erfolgt aus einer Tiefe von 35 – 47 m unter GOK				
Standort liegt innerhalb der Schutzzone III				

Geologie/Hydrogeologie	
Ungesättigte Zone	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden	
☐ Auffüllung, homogen	
☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluftarm	
☐ Festgestein, kluftreich	
Gesättigte Zone	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	2,0 und 12,0 bzw. 1,0 - 2,5
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	1,0
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	15,0 (2. GWL)
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	bis 8,0
Grundwasserfließrichtung:	Nordost bzw. Nordnordwest
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	36 - 314
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	$4,0 \times 10^{-4} - 5,1 \times 10^{-5}$ bzw. $3,2 \times 10^{-5}$
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☒ ja ☐ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☒ Schutzzone III
Geologische Kurzbeschreibung	
Untergrund besteht in der Hauptsache aus Sanden und Schluffen	
Profil des Untergrundes	
schluffige, feinkiesige Mittelsande von ca. 7 – 10 m Mächtigkeit, unterlagert von Schluffen mit wechselndem Feinsand- und Tonanteil von ca. 1 – 4 m Mächtigkeit	
darunter folgen ca. 12 – 18 m mächtige grobsandige bis feinkiesige Mittel- und Feinsande	
Unterscheidung von zwei Grundwasserleitern	

Bewertung des Gefährdungspotentials

Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet:

Die primäre Kontamination des Bodens hat eine sekundäre Belastung des Grundwassers zur Folge, wodurch letztendlich auch die Gefährdung des Menschen bestimmt ist

Wurden Bewertungslisten eingesetzt?

☒ ja

☐ nein

Wenn ja welche?

Niederländische Liste für Boden und Grundwasser, Stand Mai 1994

Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?

Boden: Trinkwasserverordnung und I-Wert der Niederländischen Liste

Wasser: I-Wert der Niederländischen Liste

Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?

☐ ja ☒ nein

Wenn ja welche?

Ergebnis der Gefährdungsabschätzung

Wahrscheinlich hat die Schadstoff-Fahne mit ihrer derzeitigen Ausbreitung das Maximum erreicht (quasistationärer Zustand)

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☐ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von:	bis: 1991
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis:
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von:	bis: 1996
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von:	bis:
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von: 1995	bis: 1997
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja ☒ nein	
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen	
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>	
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>	
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM
GESAMTKOSTEN	DM

Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Thüringen (Standort 2)		
Vornutzung:	1935 - 1945 Forschungseinrichtung zur Treibstoffherstellung	
Betriebszeitraum:	von: 1945	bis: 1992
Gesamte Betriebsfläche:	47.900 m ²	
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen		

	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser / mg/l		Medium / Einheit	
Schadstoff	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW	91.700		94			
BTEX	624		2,0			
LHKW			0,5			
PAK			0,37			
MTBE			2,0			

(2) Mögliche Medien:

- Boden
- Grundwasser
- Oberflächengewässer
- Bodenluft
- Eluat

Bemerkungen:

Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe:

Entsprechend einer Simulation mit einem Schadstofftransportmodell (Plume 2D) vermutlich keine weitere Ausbreitung der im Grundwasser gelösten Schadstoffe

Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragspunkte)

Insgesamt existieren ca. 20 Kontaminationsschwerpunkte im Boden
 Insbesondere im zentralen Teil der Liegenschaft wurde eine hohe Grundwasserbelastung mit freier Phase nachgewiesen
 Schadensursache u.a. Standortbomardierung im April 1945

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²	23.500	
Kontaminiertes Volumen:	m ³	47.000	
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	
	durchschnittlich	m u. GOK	1,5 - 3,0
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	130.000
	BTEX	kg	6.000
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²	45.000	
Fahnenlänge	m	200	
Kontaminiertes Volumen:	m ³	unbekannt	
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	35
	durchschnittlich	m u. GOK	
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	
	BTEX	kg	
	LHKW	kg	
	MTBE	kg	
	andere	kg	
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ⊗	nein ○	
Art:	Mineralöl		
Menge		m ³	10 -20
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²	ca. 50.000	
Kontaminiertes Volumen:	m ³		
Vertikale Ausdehnung:	m u. GOK	unbek.	

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:	7,4	7,2	6,6
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	967	648	1.150
Redoxpotential [mV]:			
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:	10,0	10,0	13,2
gelöster Sauerstoff [mg/l]:	8,8	0,1	0,2
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:			
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:			
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:			
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:			
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Chlor (Cl^-) [mg/l]:			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ○ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone: Zone III)	
○ Oberflächengewässer	
○ Luft /Bodenluft (Ausgasung, Migration, Explosionsgefahr)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m	1.500	Lage	Nordost
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m		Lage	im näheren Umfeld
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m	200	Lage	
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m		Lage	
Grundwassernutzungen:	m	1.200	Lage	Ost und Nordost
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				
In nordöstlicher Richtung liegt ein Industriegebiet und ca. 150 m südlich des Geländes eine geschlossene Deponie				
Trinkwasserentnahme erfolgt an mehreren Stellen im Umfeld der Liegenschaft				

Geologie/Hydrogeologie	
Ungesättigte Zone	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden	
☐ Auffüllung, homogen	
☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluftarm	
☒ Festgestein, kluftreich	
Gesättigte Zone	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	25
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	16
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	34
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	75
Grundwasserfließrichtung:	Nordost
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	25,5
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	$1,1 \times 10^{-6}$
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☒ ja ☐ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☒ Schutzzone III
Geologische Kurzbeschreibung	
Untergrund wird aus Sand- und Tonsteinen des Buntsandsteins gebildet	
Profil des Untergrundes	
ca. 0,5 m sandiger Löß überdeckt eine über 60 m mächtige Sandstein-Tonstein	
Wechselfolge des unteren Buntsandsteins, diese wird unterlagert von der als	
Grundwasserstauer angesprochenen Nordhausenfolge (Tonstein und sandiger Tonstein)	

Bewertung des Gefährdungspotentials	
Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet: Die primäre Kontamination des Bodens hat eine sekundäre Belastung des Grundwassers zur Folge, wodurch letztendlich auch die Gefährdung des Menschen bestimmt ist	
Wurden Bewertungslisten eingesetzt?	☒ ja ☐ nein
Wenn ja welche? Niederländische Liste für Boden und Grundwasser, Stand Mai 1994 Trinkwasserverordnung, Stand Dezember 1990	
Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend? Boden: Trinkwasserverordnung und I-Wert der Niederländischen Liste Wasser: I-Wert der Niederländischen Liste	
Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?	☒ ja ☐ nein
Wenn ja welche? Plume 2D zur Schadstofftransportmodellierung	
Ergebnis der Gefährdungsabschätzung Wahrscheinlich hat die Schadstoff-Fahne mit ihrer derzeitigen Ausbreitung das Maximum erreicht. Da das Grundwasser den Anforderungen der Trinkwasserverordnung nicht genügt, besteht kurzfristiger Handlungsbedarf.	

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde: Umweltamt	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt? ☒ ja ☐ nein	
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	
Grundwasser 0,5 mg/l MKW an der Liegenschaftsgrenze dürfen nicht überschritten werden	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von:	bis: 06.1993
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis: 07.1993
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von:	bis: 07.1993
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von:	bis: 12.1996
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von: 1997	bis: vorauss. 2001
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt? ☒ ja ☐ nein		
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		
Grundwasser MKW, BTEX, PAK, LHKW, MTBE vierteljährlich bei gleichzeitigem Abpumpen der freien Phase		

Kosten durchgeführter Maßnahmen	
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>	
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>	
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM
GESAMTKOSTEN	DM

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben	
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Rheinland-Pfalz (Standort 3)	
Vornutzung:	Landwirtschaftliche Nutzfläche
Betriebszeitraum:	von: 1956 bis: 1993
Gesamte Betriebsfläche:	300.000 m ²
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen	

Kontamination						
Schadstoff	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser /mg/l		Medium / Einheit	
	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW	8.100	> 1.000	49	2,0		
BTEX	5.000	500	14	> 1,0		
LHKW						
PAK						
MTBE						
			0,16	0,03		
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft - Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe: Ausgasung von leichtflüchtigen Schadstoffe möglich (BTEX, MKW)						
Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragspunkte) Insgesamt existieren 3 Kontaminationsschwerpunkte im Boden mit Verunreinigungen der gesättigten und ungesättigten Bodenzone Schadensursache sind Tanküberfüllungen und korrodierte Lagerbehälter (Anfang der 80er Jahre)						

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²		15.000
Kontaminiertes Volumen:	m ³		34.500
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	8,0 - 10,0
	durchschnittlich	m u. GOK	3,0
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	60.000
	BTEX	kg	30.000
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²		54.000
Fahnenlänge MKW	m		130 - 260
Fahnenlänge BTEX	m		135 - 250
Fahnenlänge PAK	m		90 - 250
Kontaminiertes Volumen:	m ³		138.000
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	20
	durchschnittlich	m u. GOK	20
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	276
	BTEX	kg	138
	LHKW	kg	
	MTBE	kg	
	PAK	kg	5
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ☐	nein ☒	
Art:			
Menge		m ³	10 -20
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²		
Kontaminiertes Volumen:	m ³		
Vertikale Ausdehnung:		m u. GOK	

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:	6,9	6,2	7,1
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	460	460	480
Redoxpotential [mV]:			
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:	11,7	11,8	10,8
gelöster Sauerstoff [mg/l]:			
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:			
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:			
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:	0,1	33	1,7
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:			
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ○ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone:)	
○ Oberflächengewässer	
○ Luft /Bodenluft (Ausgasung, Migration, Explosionsgefahr)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)			
Wohngebiete:	m	Lage	
Kinderspielplätze:	m	Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m	Lage	im näheren Umfeld
Kleingärten:	m	Lage	
Landwirtschaft	m	Lage	im näheren Umfeld
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m	Lage	
Grundwassernutzungen:	m	4.000	Lage Südost
Sonstige Wasserschutzflächen	m	Lage	
Bemerkungen:			
Nächstes Oberflächengewässer 2.400 m östlich des Standorts			

Geologie/Hydrogeologie	
<i>Ungesättigte Zone</i>	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden	
☒ Auffüllung, homogen	
☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluftarm	
☒ Festgestein, kluftreich	
<i>Gesättigte Zone</i>	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	7,5
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	7,2
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	7,9
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	bis 40
Grundwasserfließrichtung:	Südost
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	180
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	$0,4 - 2 \times 10^{-3}$
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☐ ja ☒ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☐ Schutzzone III
<i>Geologische Kurzbeschreibung</i>	
Lage im Oberrheingraben im Bereich von fluviatilen, quartären Sedimenten der Niederterrasse	
<i>Profil des Untergrundes</i>	
Sande und Kiese des Mittleren Kieslagers (Mächtigkeit bis ca. 40 m)	

Bewertung des Gefährdungspotentials

Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet:

Laterale Ausbreitung des kontaminierten Grundwassers möglich, auch vertikaler Übergang aus der wässrigen Phase in die Atmosphäre denkbar

Wurden Bewertungslisten eingesetzt?

☒ ja

☐ nein

Wenn ja welche?

Merkblatt Alex 02, Altablagerungen und Altstandorte II
Orientierungswerte, herausgegeben vom Landesamt für Umweltschutz und
Gewerbeaufsicht Oppenheim (Mai 1995 und Februar 1996)

Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?

Merkblatt Alex 02, Zielebene 02

Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?

☐ ja ☒ nein

Wenn ja welche?

Ergebnis der Gefährdungsabschätzung

Grundwasserverunreinigungen übersteigen die zulässigen Orientierungswerte,
daher besteht ein Sanierungsbedarf.
Eine weitere Ausdehnung der Grundwasserverunreinigung ist zu besorgen

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☒ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von: 1993	bis: 1995
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis: 07.1993
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von: 06.1996	bis: 11.1997
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von:	bis:
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von:	bis: 1995
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
(Phase IIIb, vorgezogene Bodensanierung, ca. 1400 m ³ durch Bodenwaschanlage gereinigt)		
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja ☒ nein	
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM	keine Angabe
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen und		
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM	761.000
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM	
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM	480.000
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM	
GESAMTKOSTEN	DM	1.241.000

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben	
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Brandenburg (Standort 4)	
Vornutzung:	Bestandteil eines Naturschutzgebietes, ungenutzt
Betriebszeitraum:	von: 1945 bis: 1989
Gesamte Betriebsfläche:	10.000 m ²
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen, evtl. Industriefläche	

Kontamination						
Schadstoff	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser / mg/l		Medium / Einheit Bodenluft / mg/m ³	
	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW	150.000	3.000	308	25		
BTEX			86	1	3.800	
LHKW			86	< 0,1	36	
Phenol			2	< 0,1		
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft - Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe: Migration von Schadstoffen von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone durch Eintrag von Niederschlags- bzw- Sickerwasser Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragungspunkte) Insgesamt 6 Kontaminationsbereiche mit 6 Eintragungspunkten Eintrag von Schadstoffen auch in den unteren Bereich des 1. Grundwasserleiters						

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²		6.900
Kontaminiertes Volumen:	m ³		13.800
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	10
	durchschnittlich	m u. GOK	2
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	74.500
	BTEX	kg	
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²		27.000
Fahnenlänge	m		270
Kontaminiertes Volumen:	m ³		16.200
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	10
	durchschnittlich	m u. GOK	3
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	405
	BTEX	kg	32.400
	LHKW	kg	1,6
	MTBE	kg	
	andere	kg	
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ☒	nein ☐	
Art:			
Menge		m ³	unbekannt, Phasenmächtigkeit bis 10 mm
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²		27.000
Kontaminiertes Volumen:	m ³		54.000
Vertikale Ausdehnung:		m u. GOK	2

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:	5,3	5,8	6,3
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	100	300	245
Redoxpotential [mV]:			
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:	7,3	7,5	6,6
gelöster Sauerstoff [mg/l]:	1,0	0,4	0,3
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:			
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:			
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:			
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:	1,6	0,9	0,55
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Chlor (Cl^-) [mg/l]:			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ○ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone:)	
○ Oberflächengewässer	
⊗ Luft /Bodenluft (Ausgasung, Migration, Explosionsgefahr)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m	100	Lage	Süd
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m		Lage	Nord, Ost, West
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m	200	Lage	Süd
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m		Lage	
Grundwassernutzungen:	m	1.000	Lage	Süd
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				
Lage innerhalb eines ausgedehnten Landschaftsschutzgebietes				

Geologie/Hydrogeologie	
Ungesättigte Zone	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden ☐ Auffüllung, homogen ☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluftarm ☐ Festgestein, kluftreich	
Gesättigte Zone	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	2,0
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	1,4
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	2,7
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	10 - 20
Grundwasserfließrichtung:	West-südwest
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	55 - 110
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	$3,5 \times 10^{-4}$
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☐ ja ☒ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☐ Schutzzone IIIb
Geologische Kurzbeschreibung	
Lage innerhalb des nordbrandenburgisch-mecklenburgischen Jungmoränengebietes mit weichselkaltzeitlichen Bildungen des Brandenburger und Frankfurter Stadiums, oberster Grundwasserleiter durch Geschiebemergel getrennt, hydraulische Kontakte	
Profil des Untergrundes	
5 - 10 m Sande und Kiese werden unterlagert von ca. 5 m mächtigem Geschiebemergel (Weichsel I Grundmoräne), wiederum gefolgt von 5 - 10 m Sande und Kiese, welche von Geschiebemergel der Saale III Grundmoräne unterlagert werden	

Bewertung des Gefährdungspotentials

Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet:

Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser (1. Grundwasserleiter) durch Eintrag von Niederschlags- bzw. Sickerwasser in die belastete ungesättigte Bodenzone und Migration von Schadstoffen in das Grundwasser, Ausbreitung der Schadstoff-Fahne nach Westen über die Liegenschaftsgrenze hinaus

Wurden Bewertungslisten eingesetzt?

☒ ja ☐ nein

Wenn ja welche?

Brandenburgische Liste, Kategorie II

Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?

Boden: MKW 300 mg/kg, AKW 2 mg/kg, CKW 5 mg/kg
Wasser: MKW 500 µg/l, AKW 20 µg/l, CKW 25 µg/l

Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja welche?

Untersuchungen zum Migrations- und Abbauverhalten von Mineralölen, Aromaten und CKW in Boden und Grundwasser

Ergebnis der Gefährdungsabschätzung

Gefahrenabwehr für die Schutzgüter Boden und Grundwasser notwendig, bisherige Untersuchungsergebnisse stellen die Grundlage für die Ausarbeitung eines Handlungskonzeptes

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☐ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von:	bis: 1991
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis: 1992
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von:	bis: 1992
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von: 1992	bis: 1995
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von:	bis:
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja ☒ nein	
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen	
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>	
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>	
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM
GESAMTKOSTEN	DM

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben	
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Hessen (Standort 5)	
Vornutzung:	Lager und Umschlagplatz
Betriebszeitraum:	von: 1961 bis: 1991
Gesamte Betriebsfläche:	96.000 m ²
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen	

Kontamination						
	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser /mg/l		Medium / Einheit Bodenluft / mg/m ³	
Schadstoff	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW	7.450	1.000	2,88	0,4		
BTEX	261	50	7,88	2,0	4.208	1.500
Aliphaten					11.400	3.000
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft -Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe: Migration von Schadstoffen von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone durch Eintrag von Niederschlags- bzw- Sickerwasser Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragspunkte) Belastungszentrum liegt 4 - 5 m unter GOK diffuser, unterirdischer Eintrag durch Leckagen an mehreren Stellen (Tanks und Förderleitungen)						

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²		7.000
Kontaminiertes Volumen:	m ³		7.000
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	6
	durchschnittlich	m u. GOK	4 - 5
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	45.000
	BTEX	kg	2.500
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²		2.500
Fahnenlänge	m		BTEX 190, MKW 120
Kontaminiertes Volumen:	m ³		2.500
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	10
	durchschnittlich	m u. GOK	10
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	1
	BTEX	kg	5
	LHKW	kg	
	MTBE	kg	
	andere	kg	
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ☐	nein ☒	
Art:			
Menge		m ³	
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²		47.000
Kontaminiertes Volumen:	m ³		190.000
Vertikale Ausdehnung:		m u. GOK	4

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:	7,0	6,9	7,5
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	1.213	1.187	1.013
Redoxpotential [mV]:			
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:	13,8	14,3	14,1
gelöster Sauerstoff [mg/l]:	3,9	3,2	3,7
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:			
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:			
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:			
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:			
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Chlor (Cl^-) [mg/l]:			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ⊗ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone:)	
○ Oberflächengewässer	
⊗ Luft /Bodenluft (Ausgasung)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m	500	Lage	Nord
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m		Lage	
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m		Lage	
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m		Lage	
Grundwassernutzungen:	m	700	Lage	Südost
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				
Wasserschutzzone III beginnt ca. 100 m südöstlich				
Erdgasfernleitung auf dem Gelände				

Geologie/Hydrogeologie	
<i>Ungesättigte Zone</i>	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden	
☒ Auffüllung, homogen	
☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☒ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluffarm	
☐ Festgestein, kluffreich	
<i>Gesättigte Zone</i>	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	5,0
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	4,0
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	5,5
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	10
Grundwasserfließrichtung:	Nordwest
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	660
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	$1,6 - 1,9 \times 10^{-3}$
Festgestein, kluffarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluffreich k_f [m/s]:	
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☒ ja ☐ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☐ Schutzzone IIIb
<i>Geologische Kurzbeschreibung</i>	
Lage innerhalb einer Talaue mit flächenhaft verbreiteten, quartären Terrassensedimenten (Sande und Kiese) mit Mächtigkeiten von 10 - 30 m unter Lößbedeckung	
<i>Profil des Untergrundes</i>	
Unter einer geringmächtigen Auffüllung oder einer Überdeckung mit Auelehm oder Löß folgen ab einer Tiefe von ca. 0,5 m unter GOK mittelsandig bis feinkiesige Terrassensedimente	

Bewertung des Gefährdungspotentials

Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet:

Gefährdung durch Ausgasung der leichtflüchtigen und toxischen Bestandteile der aromatischen Kohlenwasserstoffe aus dem Boden bzw. der Bodenluft in die Umgebungs-
luft

Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser aufgrund der hohen Durchlässigkeit und des geringen Flurabstandes

Wurden Bewertungslisten eingesetzt?

☒ ja ☐ nein

Wenn ja welche?

Verwaltungsvorschrift zu § 77 des Hessischen Wassergesetzes vom 19.5.1994
(VwV §77 HWG)

Entwurf der VwV „Altlasten“ vom 1.1.1995

Hessischer Erlaß vom 21.12.1992 zur VwV Erdaushub/Bauschutt

Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?

Boden: MKW 5.000 mg/kg, BTEX 25 mg/kg, Benzol 1 mg/kg

Wasser: MKW 1.000 µg/l, BTEX 120 µg/l

Bodenluft: BTEX 10 mg/m³

Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?

☐ ja ☒ nein

Wenn ja welche?

Ergebnis der Gefährdungsabschätzung

Eine Sanierung von Boden, Bodenluft und Grundwasser ist wegen der andauernden Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser dringend geboten.

Bei einer Folgenutzung des Geländes ist durch Ausgasung mit einer Gefährdung des Schutzgutes „menschliche Gesundheit“ zu rechnen

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☐ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von:	bis: 1992
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis: 1992
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von:	bis: 1996
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von:	bis:
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von:	bis:
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja ☒ nein	
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen	
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>	
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>	
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM
GESAMTKOSTEN	DM

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben		
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Baden-Württemberg (Standort 6)		
Vornutzung:	bewaldete Fläche	
Betriebszeitraum:	von: 1952	bis: 1993
Gesamte Betriebsfläche:	123.000 m²	
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): keine konkreten Planungen		

Kontamination						
Schadstoff	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser /mg/l		Medium / Einheit Bodenluft / mg/m ³	
	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW			12	1,0		
BTEX			76	1,0		
LHKW			1,5			
MTBE						
Benzol	2,0	0,1				
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft -Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe: Ausbreitung freier Phase befürchtet Seit 1989 wird eine Phasenabschöpfung alternierend an verschiedenen Brunnen durchgeführt, bis 1996 wurden insgesamt 6.911 l dem Untergrund entzogen Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragungspunkte) Belastungszentrum liegt im Grundwasserschwankungsbereich ca. 10 m unter GOK, an vermutlich einer Eintragstelle sind Vergaserkraftstoffe versickert, Bodenbelastung meist unter Eingreifwert LHKW nur an einem Brunnen nachgewiesen						

Kontaminationsumfang				
Boden				
Kontaminierte Fläche:		m ²		27.500
Kontaminiertes Volumen:		m ³		66.000
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK		15
	durchschnittlich	m u. GOK		15
Schadstoffmengen, sorbiert				
	MKW	kg		
	BTEX	kg		
	LHKW	kg		
	Benzol	kg		11
Grundwasser				
Kontaminierte Fläche:		m ²		30.000
Fahnenlänge		m		330
Kontaminiertes Volumen:		m ³		11.250
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK		15
	durchschnittlich	m u. GOK		15
Schadstoffmengen, gelöst				
	MKW	kg		11
	BTEX	kg		11
	LHKW	kg		
	MTBE	kg		
	andere	kg		
Schadstoffe in Phase				
vorhanden	ja ☒	nein ☐		
Art:	Benzin			
Menge		m ³	unbekannt	
Bodenluft				
Kontaminierte Fläche:		m ²		
Kontaminiertes Volumen:		m ³		
Vertikale Ausdehnung:		m u. GOK		

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:	7,1	7,0	7,1
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	1.243	1.312	1.730
Redoxpotential [mV]:	246	252	219
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:	11,2	12,4	10,9
gelöster Sauerstoff [mg/l]:			
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:			
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:			
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:			
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:			
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:			
<i>Tracer</i>			
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
☒ Boden:	☒ Menschliche Gesundheit ☒ Inhalativ ☐ Oral ☐ Dermal ☒ Grundwassergefährdung
☒ Grundwasser (evtl. Schutzzone:)	
☐ Oberflächengewässer	
☐ Luft /Bodenluft (Ausgasung)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m	100	Lage	West
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m		Lage	umliegend
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m		Lage	umliegend
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m		Lage	
Grundwassernutzungen:	m		Lage	
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				

Geologie/Hydrogeologie	
<i>Ungesättigte Zone</i>	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden	
☒ Auffüllung, homogen	
☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☒ Festgestein, kluftarm, Störungen	
☐ Festgestein, kluftreich	
<i>Gesättigte Zone</i>	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	10,0
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	8,0
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	12,0
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	5
Grundwasserfließrichtung:	Nordnordost
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	60
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	5×10^{-5} (Annahme)
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☐ ja ☒ nein	
☐ Schutzzone II	☐ Schutzzone IIIa ☐ Schutzzone IIIb
<i>Geologische Kurzbeschreibung</i>	
Lage innerhalb des Gips- und Lettenkeuper aus der Südflanke einer nach Osten aushebenden Muldenstruktur. Der tiefere Untergrund wird aus Gesteinen des Oberen Muschelkalk aufgebaut.	
<i>Profil des Untergrundes</i>	
Unter einer Auffüllung mit Sand, Kies, Schotter und Schluff (bis ca. 3,5 m u. GOK) folgen Löß oder Lößlehme (bis 4,0 m u. GOK) gefolgt von Gipskeuper, Unterer Mergel und Grenzdolomit	

Bewertung des Gefährdungspotentials	
Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet: Ausbreitung freier Phase	
Wurden Bewertungslisten eingesetzt?	☒ ja ☐ nein
Wenn ja welche?	
Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen ,vom 16.9.1993	
Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?	
Prüfwert zum Schutz der Gesundheit von Menschen auf kontaminierten Flächen P-M3 (Gewerbeflächen) Prüfwert zum Schutz des Grundwassers (Gewerbeflächen)	
Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?	☐ ja ☒ nein
Wenn ja welche?	
Ergebnis der Gefährdungsabschätzung	
Gefahrenabwehr durch Entfernung aufschwimmender Öl-/Kraftstoffphase in Verbindung mit einer hydraulischen Sicherung	

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☐ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von:	bis: 1988
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von:	bis: 1996
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von:	bis: 1997
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von:	bis:
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von: 1989	bis: 1997
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja ☒ nein	
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM	60.500
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM	67.500
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM	
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM	40.000
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme (bis Ende 1995)	DM	1.967.000
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM	
GESAMTKOSTEN	DM	2.135.000

Übersichtsdatenblatt zu den Projektliegenschaften

Allgemeine Angaben	
Bezeichnung der Liegenschaft: militärisches Tanklager in Bayern (Standort 7)	
Vornutzung:	Infanteriekaserne und Verpflegungslager der Wehrmacht
Betriebszeitraum:	von: 1945 bis: 1992
Gesamte Betriebsfläche:	28.500 m ²
Zukünftige Nutzung (soweit bekannt): in Planung als Gewerbegebiet	

Kontamination						
Schadstoff	Medium / Einheit Boden / mg/kg		Medium / Einheit Grundwasser /mg/l		Medium / Einheit Bodenluft / mg/m ³	
	max.	Ø	max.	Ø	max.	Ø
MKW			50	15		
BTEX	578	10	21	1,0	5.390	100
(1) Mögliche Medien: - Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer - Bodenluft - Eluat						
Bemerkungen: Mobilität/Mobilisierbarkeit der Schadstoffe: Relativ geringe Mobilität der Aromaten aufgrund teils stark bindiger Bodenhorizonte Schadstoffverteilung (horizontal, vertikal, Eintragspunkte) Verunreinigungen in der gesättigten und ungesättigten Bodenzone, erhebliche Verunreinigungen im Abstrom Einträge durch Befüllungsverluste und Tankunfall (3 Eintragsstellen)						

Kontaminationsumfang			
Boden			
Kontaminierte Fläche:	m ²		4.750
Kontaminiertes Volumen:	m ³		8.670
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	4
	durchschnittlich	m u. GOK	2 - 3
Schadstoffmengen, sorbiert			
	MKW	kg	
	BTEX	kg	160
	LHKW	kg	
	andere	kg	
Grundwasser			
Kontaminierte Fläche:	m ²		35.400
Fahnenlänge	m		300
Kontaminiertes Volumen:	m ³		15.360
Vertikale Ausdehnung	maximal:	m u. GOK	6
	durchschnittlich	m u. GOK	2
Schadstoffmengen, gelöst			
	MKW	kg	150
	BTEX	kg	15
	LHKW	kg	
	MTBE	kg	
	andere	kg	
Schadstoffe in Phase			
vorhanden	ja ☐	nein ☒	
Art:			
Menge		m ³	
Bodenluft			
Kontaminierte Fläche:	m ²		4.750
Kontaminiertes Volumen:	m ³		1.400
Vertikale Ausdehnung:		m u. GOK	1,5

Kontrollparameter			
<u>Boden</u>			
<i>ungesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<i>gesättigte Zone</i>			
organischer Kohlenstoffgehalt (f_{oc}):	keine Angaben		
<u>Grundwasser (Daten aus Pumpversuch)</u>			
	Anstrom	Kontaminations- bereich	Abstrom
<i>Feldparameter</i>			
pH-Wert:		7,3	7,7
Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:		296	334
Redoxpotential [mV]:		418	400
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]:		20,3	8,4
gelöster Sauerstoff [mg/l]:		10	10
<i>Kontrollparameter</i>			
Nitrat (NO_3^-) [mg/l]:		1,3	11
Sulfat (SO_4^{2-}) [mg/l]:		47	37
Eisen (Fe^{2+}) [mg/l]:		2,4	0,002
Ammonium (NH_4^+) [mg/l]:		0,37	0,06
Nitrit (NO_2^-) [mg/l]:		n.n.	n.n.
<i>Tracer</i>			
Chlor (Cl^-) [mg/l]:		19	19
Trimethylbenzol [mg/l]:			

Betroffene Wirkungspfade/ Schutzgüter	
⊗ Boden:	⊗ Menschliche Gesundheit ○ Inhalativ ○ Oral ○ Dermal ⊗ Grundwassergefährdung
⊗ Grundwasser (evtl. Schutzzone:)	
⊗ Oberflächengewässer	
⊗ Luft /Bodenluft (Ausgasung)	

Entfernung zu umliegenden Nutzungen (soweit bekannt)				
Wohngebiete:	m	100	Lage	West
Kinderspielplätze:	m		Lage	
Grün- und Freilandflächen:	m	50	Lage	Nord
Kleingärten:	m		Lage	
Landwirtschaft	m	50	Lage	Süd
Landschafts- oder Naturschutzgebiet:	m		Lage	
Grundwassernutzungen:	m	500	Lage	Nordwest
	m	4.000	Lage	Südwest
Sonstige Wasserschutzflächen	m		Lage	
Bemerkungen:				
Es wird vermutet, daß Werksbrunnen 500 m südwestlich des Standortes aufgrund vom Gelände ausgehender Kontaminationen geschlossen wurden				

Geologie/Hydrogeologie	
<i>Ungesättigte Zone</i>	
☐ Böden mit organischen Kohlenstoffgehalt, organische Böden ☒ Auffüllung, homogen ☐ Auffüllung, heterogen (Fels, Asphalt, Beton, Schlacken, Mauerbruch)	
☐ Lockergestein $k_f > 10^{-4}$ m/s	stark durchlässig
☒ Lockergestein $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s	durchlässig
☐ Lockergestein $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s	gering durchlässig
☐ Lockergestein $k_f < 10^{-8}$ m/s	sehr gering durchlässig
☐ Festgestein, kluftarm ☐ Festgestein, kluftreich	
<i>Gesättigte Zone</i>	
mittlerer Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	1,5
geringster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	1,0
höchster Grundwasserflurabstand [m u. GOK]:	2,0
Mächtigkeit des Grundwasserleiters [m]:	4 - 6
Grundwasserfließrichtung:	Westnordwest
Grundwasserabstandsgeschwindigkeit [m/a]	760
Hydraulische Durchlässigkeit	
Lockergestein k_f [m/s]:	$2,5 \times 10^{-4}$
Festgestein, kluftarm k_f [m/s]:	
Festgestein, kluftreich k_f [m/s]:	
Dient der Grundwasserleiter der Trinkwassergewinnung? ☐ ja ☒ nein	
☐ Schutzzone II ☐ Schutzzone IIIa ☐ Schutzzone IIIb	
<i>Geologische Kurzbeschreibung</i>	
Der tiefere Untergrund wird aus präkambrischen Gneisen, wahrscheinlich oberflächlich verwitterten Biotit-Muskovit-Gneisen gebildet, die Deckschichten aus alluvialen Lockersedimenten (Talterrassen)	
<i>Profil des Untergrundes</i>	
fluviale Fein- und Mittelsande	
Auelehm	
Grobsande und Kiese	

Bewertung des Gefährdungspotentials

Wie wurde die von der Altlast ausgehende Gefahr und die daraus resultierende Gefährdung begründet:

Ausbreitung von Schadstoffen (v.a. BTEX) über den Grundwasserpfad und entlang von Kanälen und Schächten in Oberflächengewässer

Wurden Bewertungslisten eingesetzt?

☒ ja

☐ nein

Wenn ja welche?

Bayrischer Altlastenleitfaden

Welche Listenwerte waren für die Gefährdungsabschätzung ausschlaggebend?

Boden: BTEX 1.000 - 10.000 mg/kg

Wasser: MKW 200 µg/l, BTEX 30 µg/l

Wurden Gefährdungsabschätzungsverfahren eingesetzt?

☐ ja ☒ nein

Wenn ja welche?

Ergebnis der Gefährdungsabschätzung

Schutzgut „menschliche Gesundheit“ beeinträchtigt bei Folgenutzung (Aushubmaßnahmen)

Schutzgut Grundwasser beeinträchtigt, daher Sicherungsmaßnahme mittels Dichtwandssystem vorgeschlagen

Liegt eine Sanierungsanordnung vor	
Behörde:	
Datum:	
Begründung der Sanierungsanordnung:	
Wurden Sanierungsziele festgelegt?	☐ ja ☐ nein
Wenn ja welche (Medium, Parameter, Sanierungsziel)?	

Status durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	von: 08.1993	bis: 09.1993
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	von: 08.1993	bis: 10.1993
Phase IIb: Detailuntersuchungen	von: 10.1994	bis: 11.1994
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	von: 01.1996	bis: 03.1996
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	von:	bis:
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	von:	bis:
Langzeitüberwachung durchgeführt?	☐ ja	☒ nein
Wenn ja welche (Medium, Analytik, Zeitraum)?		

Kosten durchgeführter Maßnahmen		
Phase I Erfassung und Erstbewertung	DM	4.400
<i>Phase II Gefährdungsabschätzung</i>		
Phase IIa: Orientierende Untersuchungen	DM	29.700
Phase IIb: Detailuntersuchungen	DM	158.600
<i>Phase III Sicherung/Sanierung und Überwachung</i>		
Phase IIIa: Sanierungsplanung	DM	635.200
Phase IIIb: Sanierung/Baumaßnahme	DM	4.862.600
Phase IIIc: Nachsorge und Überwachung	DM	
GESAMTKOSTEN	DM	5.690.500