

INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass und Aufgabenstellung	5
2	Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn	7
2.1	Vorhandene Unterlagen und Berichte	7
2.2	Liegenschaftsbeschreibung.....	8
2.3	Standortsituation	10
2.4	Geologie und Hydrogeologie.....	10
3	Grundlagen der Ergebnisbeurteilung.....	11
3.1	Eigenschaften relevanter Schadstoffe	11
3.2	Verhalten im Untergrund	12
4	Methodik durchgeführter Untersuchungen.....	13
4.1	Feldarbeiten.....	13
4.1.1	Geländebegehungen, Kampfmittelfreimessung	13
4.1.2	Errichten von Aufschlüssen	14
4.1.3	Generelle Vorgehensweise bei den Probenahmen	15
4.1.4	Vermessungsarbeiten.....	16
4.2	Begleitender Arbeits- und Emissionsschutz	16
4.3	Chemische Analytik	16
5	Untersuchungsergebnisse und Beurteilung KF Verladebahnhof 2.....	17
5.1	Kontaminationshypothese	17
5.2	Untersuchungsstrategie und Begründung der Vorgehensweise	17
5.3	Recherchen und Datenaufbereitungen.....	18
5.4	Boden- und Untergrundaufbau.....	19
5.4.1	Durchführung der Bohrungen	19
5.4.2	Probleme bei der Probenahme.....	19
5.4.3	Anzahl und Lage der Bohrungen	20
5.4.4	Sensorische Auffälligkeiten bei Probenahme.....	21
5.4.5	Untergrundaufbau.....	22
5.5	Hydrogeologische und hydrologische Besonderheiten	25
5.6	Ergebnisse chemischer Analysen	25
5.6.1	Art und Anzahl der Analysen	25
5.6.2	Analysenwerte.....	26
5.6.3	Eingrenzung und Ermittlung von Schadstoffquellen.....	29
5.7	Bewertung.....	29
5.7.1	Ungesättigte Zone	29
5.7.2	Grundwasserschwankungsbereich	31
5.7.3	Gesättigte Zone.....	32
5.8	Rückhaltevermögen, Abbau, Wirkungspfade	33
5.9	Mengenabschätzung.....	34

5.10	Ergebnisunsicherheit	35
6	Gefährdungsabschätzung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen	37
7	Zusammenfassung.....	40
8	Literatur-/Quellenverzeichnis	42

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Luftbild von 2012	8
Abb. 2:	Verladegleis 1	9
Abb. 3:	Exemplarische Korngrößenverteilungen.....	23
Abb. 4:	Korngrößenverteilung DU Teil 2	24
Abb. 5:	Rammprofil.....	24
Abb. 6:	KW-Verteilungschromatogramm LB 19-3 (Eintragsbereich3,6-4,1 m)	27
Abb. 7:	KW-Verteilungschromatogramm LB 19-13 (Eintragsbereich13,6-14 m)	27
Abb. 8:	KW-Verteilungschromatogramm LB 1-13 (Abstrom, GW-Schwankungsbereich)	28
Abb. 9:	BTEX-Verteilung bis 5 m Tiefe	30
Abb. 10:	BTEX-Verteilung in 13 bis 16 m Tiefe.....	31
Abb. 11:	BTEX-Verteilung in > 15 m Tiefe	32
Abb. 12:	Ergebnisse Kontrollanalytik KW-C10-40.....	35
Abb. 13:	Ergebnisse Kontrollanalytik KW-C10-22.....	36
Abb. 14:	Ergebnisse Kontrollanalytik BTEX	36
Abb. 15:	vorgeschlagene Abgrenzung der Fläche bei Bodenaushub.....	39

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Projektbeteiligte	6
Tab. 2:	Schadstoffeigenschaften.....	12
Tab. 3:	Zusammenstellung der abgeteufte Bohrungen.....	21
Tab. 4:	Mögliche Sanierungs-/Sicherungsverfahren.....	38

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtskarte
- Anlage 2: Lageplan Tanklager mit Trinkwasserschutzgebiet
- Anlage 3: Lageplan mit Profilschnittlinien
- Anlage 4: Schadstoffverteilungskarten KW
- 4-1: Tiefenbereich bis 5 m
 - 4-2: Tiefenbereich 5-10 m
 - 4-3: Tiefenbereich 10-13 m
 - 4-4: Tiefenbereich 13-16 m
 - 4-5: Tiefenbereich > 16 m
- Anlage 5: Schadstoffverteilungskarten BTEX
- 5-1: Tiefenbereich bis 5 m
 - 5-2: Tiefenbereich 5-10 m
 - 5-3: Tiefenbereich 10-13 m
 - 5-4: Tiefenbereich 13-16 m
 - 5-5: Tiefenbereich > 16 m
- Anlage 6: Profilschnitte KW
- 6-1: Schnitt A-A'
 - 6-2: Schnitt B-B'
 - 6-3: Schnitt C-C'
- Anlage 7: Profilschnitte BTEX
- 7-1: Schnitt A-A'
 - 7-2: Schnitt B-B'
 - 7-3: Schnitt C-C'
- Anlage 8: Schichtenverzeichnisse
- Anlage 9: Schlagzahlen
- Anlage 10: Zusammenstellung Analysedaten
- Anlage 11: Prüfberichte
- Anlage 12: Kampfmittelfreigabeprotokolle
- Anlage 13: Deklaration Bohrgut und Entsorgungsnachweis

Anmerkung: Die Anlagen aus dem Bericht zur DU Boden –Teil 1– sind diesem Bericht nicht beigelegt.

Abkürzungsverzeichnis

BlmA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole (aromatische Kohlenwasserstoffe)
DU	Detailuntersuchung nach Stufenplan zur Altlastensanierung
GESA	Gesellschaft zur Entwicklung und Sanierung von Altstandorten mbH
GW	Grundwasser
HB	Hohlbohrschneckenbohrung
KVF	Kontaminationsverdachtsfläche
LB	Linerbohrung
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
MTBE	Methyl-tert-butylether
RB	Rammsondierung

1 Anlass und Aufgabenstellung

Das Tanklager Bremen-Farge liegt im Norden der Hansestadt Bremen an der Grenze zu Niedersachsen (Landkreis Osterholz). Es stellte mit einem Tankvolumen von ca. 320.000 m³ das größte konventionelle, unterirdische Tanklager der Welt dar und wurde bis 2013 aktiv betrieben.

Im Bereich des Verladebahnhofes II ist es zu einer massiven Verunreinigung von Boden und Grundwasser mit Ausbildung einer etwa 800 m langen Schadstofffahne gekommen (i. W. BTEX-Aromaten u. MTBE).

Seit 2009 sind verschiedene Einzeluntersuchungen zur Erkundung der Grundwasserbelastung durchgeführt worden (s. Kapitel 2.1). Dies hatte bereits 2010 zur Inbetriebnahme einer hydraulischen Sicherungsmaßnahme mit Phasenabschöpfung im Bereich von Verladebahnhof 2 geführt.

Für diesen Hauptschadensbereich wird jetzt eine systematische Detailuntersuchung für das Schutzgut „Boden“ durchgeführt.

Das vorrangige Ziel der Detailuntersuchung ist eine Kartierung der Verunreinigung in vertikaler und horizontaler Erstreckung

Im Ergebnis steht die (Neu)Bewertung des Schadens mit Vorschlägen zum weiteren Vorgehen.

Die GEO-data GmbH wurde von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben, vertreten durch die GESA, mit der Durchführung der Detailuntersuchung auf Grundlage des Angebots vom 03.04.2017 mit Auftrag über freiberufliche Leistungen vom 10.04.2017 „BImA Liegenschaft Tanklager Bremen-Farge [(WE147767) (GESA-Nr. 90103)“, Bestellnummer: 4501303305] beauftragt, die Detailuntersuchung durchzuführen.

Zur Herangehensweise wurde zunächst ein Konzept [I] erarbeitet, auf dessen Grundlage die Kampfmittelfreimessungen, Bohrarbeiten und Analytikleistungen ausgeschrieben und in einem ersten Erkundungsschritt im Zeitraum vom November 2017 bis Januar 2018 umgesetzt wurden. Der zu diesem Erkundungsschritt gehörige Bericht der GEO-data GmbH datiert vom 11.06.2018.

Da die Eintragsbereiche noch nicht endgültig abgegrenzt waren, erfolgten jetzt auf der Grundlage von Nachtragsaufträgen weitere Untersuchungen (DU Boden, Teil 2).

In der folgenden Tabelle sind die Projektbeteiligten aufgelistet:

Status	Institution	Ansprechpartner
Auftraggeber	BlmA - ZEPM 4 Fasanenstraße 87 10623 Berlin	Herr Dr. Brede T. 49 30 3181-2518
Vertreter des Flächen- eigentümers	Bundeswehr Dienstleistungs- zentrum Oldenburg Bremer Straße 68 26135 Oldenburg	Herr Meenken T. 495112844430
Projektsteuerer	GESA mbH Schöneberger Ufer 89-91 10785 Berlin	Herr Kopprasch Herr Lichtenheld T. 49 30 2451 3661
KompZ Baumanagement	BAIUDBw Hannover, Hans-Böckler-Allee 16	K1 Herr Ley: Rückbau K3 Herr Sander: Stilllegung
Tanklager-Sicherheit	Fa. WPD	Herr Zettler, T. 0172-727 1705
Zuständige Behörden	Deputation für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen Ansgaritorstraße 2 28195 Bremen	Herr Wessel
Gutachterbüro und örtli- che Bauüberwachung	GEO-data GmbH 30827 Garbsen Carl-Zeiss-Straße 2	Dr. Meyer-Uhlich Andreas Kretschmer 495131-709952
Bohrunternehmer	U & B Wöltjen GmbH	Herr Schramm T. 05021-609911
Labor	Dr. Döring Laboratorien	Dr. Brämer T. 0421-2072275
Kampfmittelfreigabe	KBM Polizei Bremen	Herr Schierenbeck T. 0421-2410990 Herr Richter T. 0421-362 12237

Tab. 1: Projektbeteiligte

2 Kennnisstand vor Untersuchungsbeginn

2.1 Vorhandene Unterlagen und Berichte

Folgende Unterlagen stehen zur Auswertung zur Verfügung:

- [1] Tanklager Bremen-Farge - Erfassung kontaminationsverdächtiger Flächen (KVF) im Rahmen der Phase I. - HPC AG, 30.07.2010
- [2] Orientierende Erkundung von Kontaminationsverdachtsflächen (Phase IIa) im Bereich Tanklager Bremen Farge. - HPC AG, 20.10.2011
- [3] Tanklager Farge: Detailerkundung der Grundwasserkontamination (Phase IIb) im Bereich Verladebahnhof II. - HPC AG, 26.01.2009
- [4] Tanklager Farge: Detailerkundung der Grundwasserkontamination (Phase IIb) im Bereich Verladebahnhof II, Bericht zum 2. Erkundungsschritt. - HPC AG 21.12.2009
- [5] Tanklager Bremen-Farge: Orientierende Bodenluftuntersuchungen im Bereich des Tanklagers sowie im Grundwasserabstrom. - HPC AG 30.04.2013
- [6] Körnungslinien (Anlage 7).- Wehrtechnische Dienststelle für Pionier- und Truppengerät, Koblenz, 2006.
- [7] Tanklager Bremen Farge - Verladebahnhof II - Phase IIb, DU – Boden: Defizitanalyse und Untersuchungskonzept. GEO-data GmbH; Garbsen, 30.06.2017.
- [8] Arbeits- und Sicherheitsplan zu Bohrarbeiten auf dem Verladebahnhof II des Tanklagers Bremen-Farge. GEO-data GmbH; Garbsen, 21.08.2017.
- [9] Tanklager Bremen Farge; Verladebahnhof II; Phase IIb: DU Boden; Defizitanalyse und Untersuchungskonzept; GESA Projekt-Nr.: 90103; WE-Nr. BImA: 147767. GEO-data GmbH; Garbsen, 30.06.2017.
- [10] Tanklager Bremen Farge; Verladebahnhof II; Phase IIb: DU Boden; Kartierung der KW-Belastung in der ungesättigten Zone und im oberen Bereich des GW-Leiters; GESA Projekt-Nr.: 90103; WE-Nr. BImA: 147767. GEO-data GmbH; Garbsen, 15.03.2018.
- [11] Tanklager Bremen Farge; Verladebahnhof II; WE-Nr.: 147767; Hydraulische Betrachtungen und Prüfung der Funktionalität der derzeitigen Abstromsicherung. GEO-data GmbH; Garben, 25.05.2018.

2.2 Liegenschaftsbeschreibung

Das Tanklager Bremen-Farge liegt im äußersten Norden der Hansestadt Bremen an der Grenze zu Niedersachsen (Landkreis Osterholz). Es wurde zwischen 1935 und 1943 errichtet. Erste Produkteinlagerungen fanden ab 1941 statt.

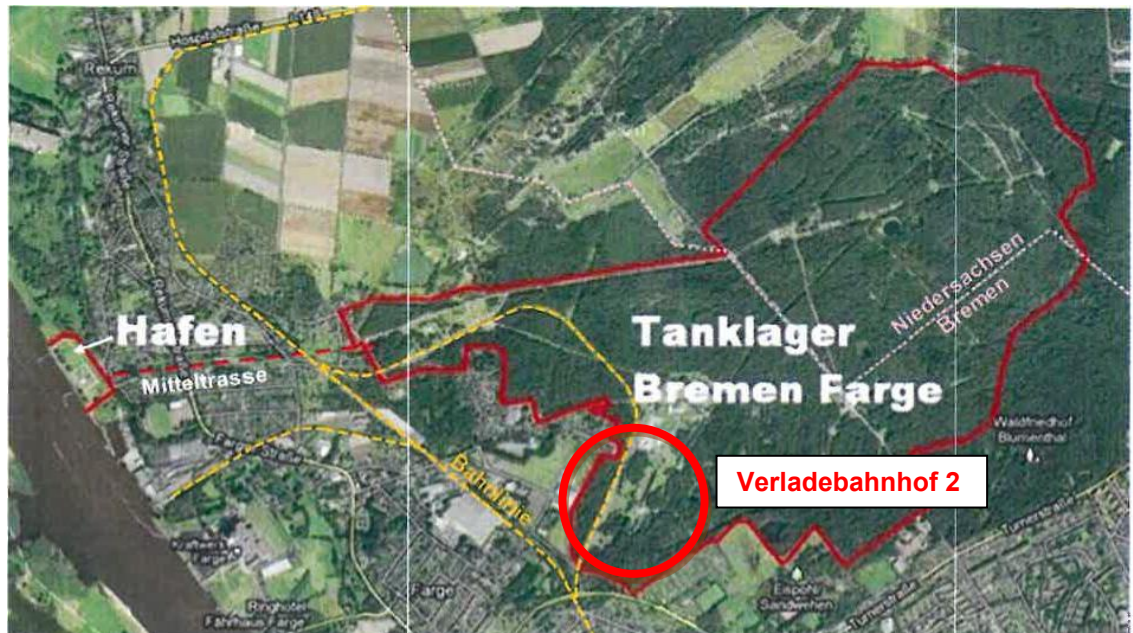


Abb. 1: Luftbild von 2012

Trotz eines Luftangriffes der Royal Air Force am 27.03.1945 blieb das Tanklager weitgehend intakt und wurde nach dem Krieg von der US Army übernommen.

Ab ca. 1960 wurde das Tanklager von der Bundeswehr übernommen und bis 2013 betrieben.

Derzeit wird der Standort von der Bundeswehr stillgelegt. Nach dem Ende der technischen Stilllegung geht das Tanklager vom Ressortvermögen des BMVg ins Eigentum der BImA über, die schon seit 2016 (vorlaufend) für die Altlastenbearbeitung verantwortlich zeichnet.

Das gesamte Gelände ist gegenwärtig durch vollständige Umzäunung und Bewachung durch die Bundeswehr gesichert. Bis zum Ende der technischen Stilllegung ist das gesamte Areal als explosionsgefährdeter Bereich ausgewiesen.

Aufgrund der historischen Nutzung als Tanklager, der Kampfmittelgefahren und der nachgewiesenen Altlasten steht die Liegenschaft im besonderen Fokus der Öffentlichkeit, insbesondere der zuständigen Behörden der Länder Bremen und Niedersachsen sowie einer Bürgerinitiative aus Bremen-Farge.

Die Länder Bremen und Niedersachsen (Flurstücke liegen in beiden Zuständigkeitsbereichen) sehen gegenwärtig keine gewerblichen Nachnutzungsmöglichkeiten und würden eine Renaturierung mit späterer, öffentlicher Zugänglichkeit als Nachnutzungsmöglichkeit bevorzugen.

Das Tanklager hatte eine unterirdische Lagerkapazität von rd. 320.000 m³. Das Tanklager umfasst heute 330 ha, wovon 2/3 auf bremischem und 1/3 auf niedersächsischem Gebiet liegen.

Auf dem Tanklager wurden in der Regel keine fertig konfektionierten Kraftstoffe umgeschlagen, sondern Kraftstoffe nach den Anforderungen der Nutzer aus den Einzelkomponenten gemischt.

Folgende Produkte wurden bis zum Schluss abgegeben:

- Benzin
- Diesel: F54, F75, Gasöl
- Turbinenkraftstoff (Kerosin): JET A1, F34, F44

Der Verladebahnhof 2 wurde zwischen 1936 und 1941 errichtet. Es handelt sich um eine Gleisanlage zum Umschlag von Kraftstoffen. An zwei Gleisen, Verladegleis 1 und 2, erfolgte der Umschlag in Leitungen. Die Leitungen befinden sich in einem betonierten, begehbaren Rohrkanal zwischen den Gleisen. Bis 1966 wurden auch Kanister umgeschlagen.

Die Verladegleise sind seit 1989 auf einer Länge von ca. 225 m mit betonierten, offenen Auffangwannen von etwa 40 cm Tiefe gesichert (s. Abb. 2).



Abb. 2: Verladegleis 1

Die Zufahrt zum Gelände erfolgt über die sogenannte Betonstraße.

2.3 Standortsituation

Klimatisch liegt die Liegenschaft in der gemäßigten Zone. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 732 mm, die durchschnittliche Temperatur 8,8°C [1]. Die vorherrschende Windrichtung ist Nordwest.

Das Tanklager liegt am Westrand der niedersächsischen Geest.

Die Geländeoberfläche ist auf der Liegenschaft relativ eben. Sie liegt im Norden auf einer Höhe von ca. 20 m ü. NN. Im Süden fällt sie auf ca. 16 bis 17 m ü. NN ab.

2.4 Geologie und Hydrogeologie

Der oberflächennahe Untergrund wird aus pleistozänen Lockersedimenten aufgebaut. Im Bereich des Verladebahnhofs 2 besteht der Untergrund unterhalb von künstlichen Auffüllungen und/oder Mutterboden überwiegend aus gut klassiertem Fein- und Mittelsand. Es handelt sich um den Ritterhuder Sand, der als sandige Fazies der Lauenburger Schichten (Beckensedimente aus der Endphase der Elster-Kaltzeit) ausgebildet ist.

Teilweise sind geringmächtige, schluffige, zum Teil auch tonige Lagen eingeschaltet.

Im Osten der Untersuchungsfläche ist oberhalb des Ritterhuder Sandes noch Geschiebelehm anzutreffen, der zum Teil Geschiebedecksand ähnliche Zusammensetzung hat (s. Anlage 3).

Die Basis der Ritterhuder Sande ist in Tiefen von ca. 60 m – 90 m unter GOK zu erwarten.

Das Grundwasser steht bei rund 14 m unter Gelände an, entsprechend etwa 2,5 bis 3 m Höhe ü. NN. Die vertikale Schwankungsbreite beträgt ca. 1 m. Nach dem Jahrhundertsommer in 2018 lagen die Wasserstände ca. 1 m niedriger als im Herbst 2017.

Der Grundwasserabstrom ist nach SSW auf die Weser gerichtet. Diese (horizontale) Abstromrichtung im oberflächennahen Anteil des Grundwasserleiters ist vermutlich nicht durch die Wasserwerksentnahme beeinflusst, da diese ganz überwiegend in den tiefen Teilen der östlich der Liegenschaft gelegenen, quartären Rinnen stattfindet (HPC, Detailerkundung, siehe Anlage 4 in Gutachten [3]).

Obwohl in der Nähe zum Vorfluter ein aufwärts gerichteter hydraulischer Gradient zu erwarten wäre, herrscht im Untersuchungsgebiet ein zur Tiefe ausgerichteter hydraulischer, vertikaler Gradient. Dieser wird – im Gegensatz zur horizontalen Fließrichtung - auf die GW-Entnahme des Wasserwerks Blumenthal zurückgeführt.

Das Tanklagergelände liegt zu großen Teilen innerhalb der Trinkwasserschutzzone III, der Bereich des Verladebahnhofs 2 innerhalb der Schutzzone IIIa des südöstlich gelegenen Wasserwerks (s. Anlage 2).

Westlich und südlich der Liegenschaftsgrenze am Verladebahnhof 2 schließen sich Wohngebiete an (siehe Anlage 1 u. 2).

3 Grundlagen der Ergebnisbeurteilung

3.1 Eigenschaften relevanter Schadstoffe

Bei den eingetragenen Schadstoffen handelt es sich um Kraftstoffe, im Wesentlichen Mitteldestillate.

Als Hauptgruppen sind Aliphate, insbesondere Alkane, (Mineralölkohlenwasserstoffe - MKW) und aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX) zu nennen.

Als Nebengemengteile treten MTBE und untergeordnet PAK und Blei auf.

Nachfolgend sind die zur Beurteilung der ökotoxikologischen Wirkung relevanten Eigenschaften für die Hauptbestandteile zusammengestellt:

	Aliphaten/Alkane	BTEX	MTBE
Strukturformel	C_nH_{2n+2}	Benzol: C_6H_6 , bei den anderen Vertretern sind ein oder mehrere H-Atome durch Methyl-Gruppen ersetzt.	$C_5H_{12}O$
Dichte [g/cm ³]	0,7 (Benzin) 0,8 (Mitteldestillat) 0,9 (Schmieröl)	ca. 0,8 bis 0,9	ca. 0,744
Wasserlöslichkeit [mg/l]	zwischen ca. 2 bis 5 (hohe Kettenlänge) und 100 (Benzin)	zwischen ca. 150 mg/l (Ethylbenzol) und 1780 mg/l (Benzol)	ca. 42.000 mg/l
Siedepunkt [°C]	Siedepunkt steigt mit Anzahl der Kettenlänge. C_4 siedet bei 0°C, C_7 bei ca. 100°C. Danach steigt pro CH_2 -Gruppe der Siedepunkt um etwa 20°C.	Benzol ca. 80°C, andere > 100°C	ca. 55°C

	Aliphaten/Alkane	BTEX	MTBE
Mobilität und Abbauverhalten	Die Mobilität ist anhängig von der Kettenlänge. Aufgrund der relativ geringen Löslichkeit von Alkanen und der geringeren Dichte als Wasser bilden sich in der Regel nur kleinräumige Grundwasserverunreinigungen aus. Aliphaten (gelöst) sind bei Anwesenheit von Sauerstoff relativ leicht mikrobiologisch abbaubar.	BTEX sind gering viskos. Sie besitzen einen hohen Dampfdruck und sind daher flüchtig. Aufgrund ihrer hohen Mobilität dringen BTEX relativ schnell in den Untergrund ein. Benzol ist relativ persistent und kann aufgrund seiner Löslichkeit zu mehreren Hundert m-langen Schadstoffahnen im Grundwasser führen. Die anderen BTEX sind besser mikrobiologisch abbaubar und geringer löslich.	MTBE ist in der Umwelt sehr stabil und kann wegen seiner hohen Wasserlöslichkeit zu Grundwasserverunreinigungen mit erheblicher Ausbreitung führen.
Gefährliche Eigenschaften	entzündlich; hinsichtlich möglicher krebserzeugender Wirkung nicht klassifizierbar; umweltschädigend.	entzündlich; Benzol: krebserzeugend, andere gesundheitsschädlich; umweltschädigend	entzündlich; gesundheitsschädlich bzw. noch nicht bekannt

Tab. 2: Schadstoffeigenschaften

3.2 Verhalten im Untergrund

Alle Kohlenwasserstoffe sind untereinander mischbar. In die ungesättigte Bodenzone dringen KW als Phase nur ein, wenn die Restsättigung überschritten ist.

Als Phase wird ein räumlich-zeitlich begrenzter Bereich definiert, der gleiche physikalische und chemische Eigenschaften aufweist. Bei der Ausbreitung von Kohlenwasserstoffen wird vereinfacht der mit Wasser nicht-mischbare Anteil als Phase angesprochen.

Ölphase kann in Form von Restsättigung (nicht fließfähig) oder in zusammenhängender Form (funikularer Zustand, freies Öl) vorliegen. Ist so viel Öl in den Untergrund eingedrungen, dass sich eine Leichtphase auf dem Kapillarsaum des Grundwassers angesammelt hat, wechselt mit Wasserstandsänderungen das Verhältnis zwischen Restsättigung und freier Phase. Bei Grundwasserniedrigstand steigt in der Regel die Ölschichtdicke an. Dies ist auf das für Öl geringere Rückhaltepotenzial (pendulare Restsättigung, Re_{pend}) in der ungesättigten Zone gegenüber dem wassergesättigten Bereich zurückzuführen: In der ungesättigten Zone ist Öl das benetzende Fluid, in der gesättigten Zone Wasser. Bei Grundwasserhochstand wird das Öl in insularer Restsättigung (Re_{ins}) innerhalb des Grundwassers festgelegt. Das Verhältnis Re_{pend} zu Re_{ins} beträgt etwa 1 : 2 (ca. 10 l/m³ : 20 l/m³).

Die dadurch bedingte unterschiedliche Restsättigung für Öl ist in der ungesättigten Zone (pendulare Restsättigung) kleiner als in der gesättigten Wasserzone (insulare Öl-Restsättigung).

Die Umrechnung von l/m^3 auf die Maßeinheit g/kg erfolgt nach der Formel:

$$C_{\text{Rest}} (\text{g/kg}) = C_{\text{Rest}} (\text{l/m}^3) \cdot \text{Dichte Schadstoff} / \text{Dichte Boden}$$

Mit C_{Rest} = Restsättigungskonzentration,
Dichte Kerosin = ca. 0,8 und
Dichte Boden = 1,8

ergeben sich Werte für die Restsättigung etwa 4,5 g/kg (Re_{pend}) und 9 g/kg (Re_{ins}).

Aufgrund der geringen Dichte dringt KW-Phase in der Regel nur bis zur Grundwasseroberfläche bzw. zum Kapillarsaum in den Untergrund ein (bei ausreichender Durchlässigkeit des Bodens). Dort kann sich bei genügend Nachschub eine aufschwimmende Leichtphase ausbilden. Bei kurzfristigem Phasenaufstau kann auch eine Verdrängung des Grundwassers und somit eine Verlagerung von Phase in den eigentlich wassererfüllten Bereich erfolgen.

Durch versickerndes Niederschlags- und Grundwasser gehen die KW entsprechend ihrer (geringen) Löslichkeit in das Grundwasser über. MTBE und BTEX werden entsprechend vorrangig gelöst. Dies führt auch zu einer Veränderung des Schadstoffspektrums in der verbleibenden Phase.

Im Grundwasser erfolgt ein mikrobiologischer Abbau der gelösten Schadstoffe insbesondere bei den Alkanen und bei den BTEX mit Ausnahme des Benzol. Benzol und auch MTBE sind relativ stabil und zudem relativ gut löslich, was zu einer Dominanz dieser Stoffe im Fahnenbereich führt.

4 Methodik durchgeführter Untersuchungen

4.1 Feldarbeiten

4.1.1 Geländebegehungen, Kampfmittelfreimessung

Die Bauanlaufberatung zur 1. Untersuchungsphase fand am 28.11.2017 mit Vertretern der GESA, BIMA, Polizei Bremen, KMB Kampfmittelbergung, Fa. Wöltjen und GEO-data statt.

Das Vorschachten, die Kampfmittelfreimessungen und die Durchführung der 27 Bohrungen erfolgten im Zeitraum vom 28.11.2017 bis 24.01.2018.

Die Bauanlaufbesprechung zur 2. Untersuchungsphase fand am 12.11.2018 vor Ort mit Vertretern der GESA, der KMB Kampfmittelbergung, der Fa. Wöltjen und GEO-data GmbH statt. Dabei wurden die 18 geplanten Bohransatzpunkte (28 bis 45) ausgepflockt und die Sicherheitsunterweisung durchgeführt.

Die Ansatzpunkte für die Aufschlussbohrungen mussten zunächst mit jeweils 3 Kampfmittelsondierungen mit Fluxgate 3-Achs-Magnetometer bis 6 m Tiefe freigemessen werden.

Bei 7 Bohransatzpunkten in den Verladegleisen musste zunächst die Betonbefestigung in einer Dicke von 45 cm mit Diamantkernbohrgerät geöffnet werden.

Das Vorschachten und die Kampfmittelfreimessungen erfolgten in der Zeit vom 12. bis zum 15.11.2018. Die offizielle Kampfmittelfreigabe erfolgte am 16.11.2018 (Freigabeprotokoll s. Anlage 12).

Mit den Aufschlussbohrungen durch Fa. Wöltjen wurde am 29.11.2018 begonnen.

Da die randlich platzierten Bohrungen noch Belastungen aufwiesen, wurden zur endgültigen weiteren Abgrenzung weitere 8 Ansatzpunkte (46 bis 53) festgelegt, die am 13. und 14. 11 vorgeschachtet und kampfmitteltechnisch freigemessen wurden.

4.1.2 Errichten von Aufschlüssen

Die Erkundungsbohrungen wurden von der Fa. Wöltjen unter fachgutachterlicher Begleitung durch Herrn Dipl.-Geol. Andreas Kretschmer der GEO-data GmbH durchgeführt.

Für die Aufschlussbohrungen war in der 1. Untersuchungsphase die Entnahme von Linern geplant. Aufgrund der sehr festen Lagerung der Sedimente konnte damit wegen zu hoher Schlagzahlen und Materialermüdung jedoch nicht die gewünschte Zieltiefe erreicht werden. Nach Abstimmung mit dem Projektmanager wurde das Bohrverfahren auf Hohlbohrschnecke umgestellt.

Den Erfahrungen aus der ersten Erkundungsphase entsprechend wurden die Bohrungen mit einer Hohlbohrschnecke (HBS), Außendurchmesser 205 mm, bis in Tiefen von ca. 18 m durchgeführt.

Die Feldarbeiten vor Ort umfassten im Einzelnen:

1. Vor Ort erfolgte die Festlegung der Bohransatzstellen durch den Gutachter (örtliche Bauüberwachung) in Abstimmung mit der ausführenden Firma und dem Projektsteuerer.
2. Zur Herstellung der Bodenaufschlüsse wurde im Bereich der Betonwannen die betonierte Oberfläche mittels Kernbohrungen durchbohrt.
3. Nach kampfmitteltechnischer Freigabe wurden die Bohrungen mit begleitender Entnahme von Bodenproben niedergebracht. Dabei wurden zuerst bis zu einer

Tiefe von 1,5 m unter Beachtung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (z.B. Personenschutz, Vorhaltung Luftabsaugung) aufgrund nicht bekannter Leitungsführungen vorgeschachtet (Handbohrung). Das Bohrgut wurde in bereitgestellte Container verbracht. Die Entsorgung erfolgte auf Nachweis nach Beprobung und Deklaration durch die örtliche Bauüberwachung.

Im Bereich der Verladegleise und des Leitungskanals wurde die Zugänglichkeit für das Bohrgerät durch Bohlenverlegung hergestellt.

4. Die Bohrlöcher wurden mit sauberem Sand/Kies verfüllt und die Betonkernlöcher mit Beton geschlossen.
5. Die Arbeiten wurden grundsätzlich gutachterlich begleitet.

Zusätzlich wurden am 20.12.2018 an drei Stellen schwere Rammsondierungen zur Erkundung der Lagerungsdichte durchgeführt. Die Zieltiefe betrug 18 m. Als Abbruchkriterium wurden mehr als 60 Schläge pro 10 cm Eindringtiefe definiert.

4.1.3 Generelle Vorgehensweise bei den Probenahmen

Bei den Linerbohrungen der 1. Untersuchungsphase wurden die Liner mit 2 Längsschnitten (Winkelschleifer) auf dem Schneidtisch geöffnet und das Bohrgut zunächst randlich mit einem Spachtel abgeschält (gesäubert) und organoleptisch geprüft. An ausgewählten Stellen wurden entsprechend den organoleptischen Befunden und bei Schichtwechsel Bodenproben entnommen (mindestens aber 1 Probe pro Bohr-m) und direkt in die für die zu bestimmenden Parameter vorgesehenen Probenahmegefäße gefüllt.

Bei den Erkundungsbohrungen mit Hohlbohrschnecke wurden Bodenproben an ausgewählten Stellen entsprechend den organoleptischen Befunden und bei Schichtwechsel von der Schnecke entnommen (mindestens aber 1 Probe pro Bohr-m) und direkt in die für die zu bestimmenden Parameter vorgesehenen Probenahmegefäße gefüllt.

Der Probentransport zum Labor erfolgte arbeitstäglich.

Für eine Kontroll-Analytik und für die Durchführung von Siebanalysen wurden zusätzlich insgesamt 19 Proben abgefüllt.

Proben, die nicht analysiert wurden, sind als Rückstellproben im Probenlager des Gutachters aufbewahrt.

Das in Container verbrachte Bohrgut wurde für die abfallrechtliche Deklaration am 20.12.2018 beprobt.

4.1.4 Vermessungsarbeiten

Die Bohransatzpunkte wurden am 21.12.2018 nach Lage (GPS) und Höhe (Nivellement) eingemessen (s. Anlage 8).

4.2 Begleitender Arbeits- und Emissionsschutz

Die Bohrarbeiten erfolgten unter Beachtung des „Arbeits- und Gesundheitsschutzplanes zu Bohrarbeiten auf dem Verladebahnhof II des Tanklagers Bremen-Farge“ [8]. Wesentliche Inhalte des A+S-Plans sind eine Gefährdungsbeurteilung und die daraus folgenden Schutzmaßnahmen. Die Schutzmaßnahmen beinhalteten u. A. die Vorhaltung und den Betrieb einer Absaugvorrichtung an den Bohrlöchern, die Einteilung der Baustelle in Schutzzonen, das Vorhalten und Tragen von persönlicher Schutzausrüstung.

Die Bohrlöcher wurden verfüllt (s. Kap. 4.1.2). Das Bohrgut wurde fachgerecht entsorgt (s. Anlage 13).

4.3 Chemische Analytik

Die chemische Analytik erfolgte im Labor Dr. Döring GmbH auf die Parameter KW-Index, $C_{10} - C_{22}$ (Leitparameter) und BTEX.

Die jeweiligen Analyseverfahren sind in den mit Anlage 10 beigefügten Prüfberichten der 2. Untersuchungsphase aufgelistet.

Die Bestimmungsgrenzen betragen (Dr. Döring GmbH):

KW-Index: 10 mg/kg bzw. 5 mg/kg (entsprechend Kalibrierung und eingesetzter Probenmenge)

C_{10-22} : 10 mg/kg bzw. 5 mg/kg (entsprechend Kalibrierung und eingesetzter Probenmenge)

BTEX: 0,01 mg/kg für die einzelnen Komponenten

Zur Qualitätskontrolle erfolgte an 9 Kontrollproben eine Vergleichsmessung im akkreditierten Labor der GEO-data GmbH.

5 Untersuchungsergebnisse und Beurteilung KF Verladebahnhof 2

5.1 Kontaminationshypothese

Der Verladebahnhof 2 wurde in der Zeit von Anfang der 40er Jahre bis 2013 zum Umschlag von Kraftstoffen genutzt. Als Schadstoffeintragsmechanismen sind zunächst Kleckerverluste anzunehmen, die allein aber nicht zu einer so massiven Kontamination wie der vorliegenden geführt haben können. Als weitere Schadensursache sind daher auch kurzfristige Einträge großer KW-Mengen anzunehmen. Diese können Havarie-bedingt gewesen sein oder auch gezielt durchgeführt worden sein (Ablassen von KW vor Luftangriffen).

Die flüssige KW-Phase ist in den Untergrund bis zur GW-Oberfläche vorgedrungen, hat sich dort lateral ausgebreitet und ist zum Teil auch auf der Grundwasseroberfläche in Richtung des hydraulischen Gefälles abgewandert. Die bisherigen Erkundungsergebnisse zeigen, dass die Schadstoffe in größerem Umfang, als es durch Lösungsvorgänge zu erwarten wäre, auch in den oberen Bereich des Grundwasserleiters eingedrungen sind.

Die Schadstoffe gehen entsprechend ihrer Löslichkeit in das Grundwasser über und bilden auch außerhalb der Phasenverbreitung eine Schadstofffahne im Grundwasserabstrom aus.

5.2 Untersuchungsstrategie und Begründung der Vorgehensweise

Im Ergebnis der vorgesehenen Detailuntersuchung -Boden- sollen Aussagen zu folgenden Punkten möglich sein:

- Lage der Belastungsschwerpunkte,
- räumliche Ausdehnung der Kontamination in der ungesättigten und der gesättigten Zone (vertikal u. horizontal),
- Abgrenzung der hotspots (vertikal u. horizontal),
- Verunreinigungsgrad getrennt nach Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen,
- vorhandenes Schadstoffpotenzial (Schadstoffinventar und -menge),
- Grundwasserverfügbarkeiten der eingetragenen Schadstoffe (Löslichkeiten).

Das Vorgehen zur Erkundung der Bodenbelastungen wurde zunächst im Rahmen eines Konzeptes erarbeitet [1].

Dieses beinhaltet im Wesentlichen die Entnahme und Untersuchung von Bodenproben bis in die gesättigte Zone unterhalb der vermutlichen, maximalen Eindringtiefe der KW (Phasenkörper) und die Festlegung des KW-Index als Leitparameter zur Analyse der Bo-

denbelastung. Außerdem werden gezielt Bodenproben auf BTEX und ausgewählte Proben exemplarisch zusätzlich auf Methylbenzole, Styrol, Cumol, C₆ -C₉, KW-Verteilung, MTBE, PAK, Blei und TOC untersucht.

Die Messergebnisse werden durch Kontrollproben überprüft.

Nach den Erfahrungen aus dem ersten Untersuchungsabschnitt der DU Boden werden bei den Untersuchungen Teil 2 als Aufschlussverfahren nur Hohlbohrschneckenbohrungen durchgeführt, da die Entnahme von Linern bei der vorhandenen dichten Lagerung nicht bis in die gewünschte Zieltiefe möglich ist.

Im Ergebnis werden die geologischen und analytischen Befunde in Bezug auf die räumliche Schadstoffverteilung ausgewertet.

Anhand von Massenberechnungen und Betrachtungen zur Schadstoffausbreitung werden

- die künftige Auswirkung der Verunreinigung auf die Umwelt und
- Möglichkeiten von unterstützenden Maßnahmen zur Sicherung oder beschleunigten Besserung der Belastungssituation

betrachtet.

5.3 Recherchen und Datenaufbereitungen

Die Lage der Kontaminationsfläche Verladebahnhof 2 ist wegen der noch bestehenden Verladegleise eindeutig und vor Ort problemlos lokalisierbar.

Die Verladegleise sind seit 1989 auf einer Länge von ca. 225 m mit betonierten, offenen Auffangwannen von etwa 40 cm Tiefe gesichert. In diesem Zuge erfolgte eine oberflächennahe Sanierungsmaßnahme, in der der Boden unterhalb der Gleisanlagen bis in eine Tiefe von ca. 3 m ausgetauscht wurde.

Seitlich der Verladegleise ist die Geländeoberfläche unbefestigt und mit Gras bewachsen.

Die Ergebnisse der bisherigen Grundwassererkundung [4] zeigen die Hauptbelastung auf einer Länge von etwa 100 m im südlichen Abschnitt der Verladegleise. Eine seitliche Ausbreitung des Schadensschwerpunktes ist in Richtung SSW (GW-Abstrom) zu erkennen, eine weitere in Richtung ENE.

Die Fläche mit BTEX-Gehalten im oberen Grundwasserleiter von > 15.000 µg/l beträgt knapp 10.000 m².

Der Verladebahnhof wurde 2013 endgültig außer Betrieb genommen. Die weitere Nutzung ist noch nicht geklärt.

5.4 Boden- und Untergrundaufbau

5.4.1 Durchführung der Bohrungen

Die Bohrungen zur Entnahme der Bodenproben erfolgten in 2 Etappen in der Zeit vom 07.11.2017 bis 24.01.2018 und vom 29.11.2018 bis 20.12.2018 durch einen Bohrtrupp der Fa. Wöltjen (Geräteführer D. Patz) und fachgutachterlicher Begleitung durch Herrn Dipl.-Geol. A. Kretschmer der GEO-data GmbH.

Insgesamt wurden an 53 Stellen Erkundungsbohrungen niedergebracht. Die Lage der Ansatzpunkte ist in Anlage 3 dargestellt.

In der 1. Untersuchungsstufe (27 Bohrungen) war die Entnahme von Linern vorgesehen. Aufgrund der sehr festen Lagerung der Sedimente konnte wegen zu hoher Schlagzahlen und der damit verbundenen Materialermüdung die gewünschte Zieltiefe jedoch nicht erreicht werden. Aus diesem Grund wurde dieses Verfahren nicht mehr angewandt.

Die Bohrungen erfolgten stattdessen im Hohlbohrschneckenverfahren 205 mm mittels eines Raupenbohrgerätes Fa. Nordmeyer, DSB 0/3 mit Kraftdrehkopf 600 Nm. Dabei wurde jeweils m-weise gebohrt und das nach oben beförderte Bohrgut beprobt. In der gesättigten Zone wurde das HBS-Rohr in einem Zug bis zur Endteufe eingebohrt. Die Probenahme erfolgte für diesen Tiefenbereich nach dem Ziehen des Gestänges direkt von der Schnecke.

Das Bohrgut wurde in Container verbracht und die Bohrlöcher mit sauberem Filtersand, der für eine Ringraumverfüllung von Grundwassermessstellen zugelassen ist, verfüllt.

5.4.2 Probleme bei der Probenahme

Leitungsbeschädigung

Beim Vorschachten am Punkt 28 wurden am 15.11.2018 ein PE-Rohr DN50 sowie ein Steuerkabel beschädigt. Es handelte sich dabei um Förder- und Steuerleitungen der Sicherungsbrunnen GWMS 04-09 und GWMS 06-09. Die Auftraggeberin, Fa. Züblin als Betreiber der Grundwassersicherungsmaßnahme und die Versicherung wurden umgehend informiert.

Die beschädigten Leitungen wurden am 21.11.2018 von Fa. Wöltjen repariert. Nach Reparaturanleitungen an der Behandlungsanlage durch Fa. Züblin konnte die Förderung an den Brunnen wieder aufgenommen werden.

Wassergesättigte Bereiche

Bei der Bohrung 29 wurde ebenso wie bei Bohransatzpunkt 5 in der ersten Untersuchungsphase ab ca. 4 m Tiefe Schichtenwasser angetroffen.

Bei der Bohrung LB 2 (HBS) war der Untergrund ab 4,7 m Tiefe wassergesättigt (Schichtwasser). Die Bohrung musste bei 14,3 m Tiefe eingestellt werden, da die Auslastungsgrenze des Drehkopfes erreicht war. Die wassergesättigten Sedimente machen bei dieser Untersuchungsstelle wegen der Vermischung des Bohrguts nur noch eine eingeschränkte Tiefenzuordnung möglich.

Bohrhindernisse

Bei den Kampfmittelsondierungen zur 1. Untersuchungsphase wurden folgende Besonderheiten festgestellt:

LB 1, LB 5, LB 11, LB 25: Leitungen in unmittelbarer Nähe

LB 22: Bohrhindernisse in 4 m Tiefe bei 2 der 3 Sondierungen (Abgrenzung durch weitere Sondierungen)

LB 21: Leitung in 4 m Tiefe (Abgrenzung durch weitere Sondierungen)

Die Bohrhindernisse bei LB 22 wurden auch bei der Erkundungsbohrung angetroffen. In 4 m Tiefe wurde Beton und eine Metallleitung angetroffen. Erst im dritten Ansatz die Bohrung über 4 m tiefe hinaus abgeteuft werden.

In der 2. Untersuchungsphase wurde bei der Rammsondierung RB 29 in 3 m Tiefe ebenfalls ein Bohrhindernis angetroffen, so dass die Sondierung neu angesetzt wurde.

5.4.3 Anzahl und Lage der Bohrungen

Die Lage der Bohrungen ist in Anlage 3 dargestellt. In der nachstehenden Tabelle sind die abgeteuften Bohrungen mit den erreichten Endteufen, Koordinaten und Ansatzhöhen aufgelistet:

Bohrung	Verfahren	Datum	Tiefe	Rechtswert	Hochwert	Ansatzhöhe
1. Untersuchungsphase			m	UTM	UTM	m ü.NN
1	HB	08.01.2018	18,3	469127,6	5894818,5	15,79
2	HB	13.12.2017	14,3	469142,0	5894813,4	17,10
3	HB	14.12.2017	18,3	469136,1	5894849,3	16,10
4	LB	09.01.2018	15,3	469161,0	5894850,3	17,67
5	LB bis 7,3 / HB	16.01.2018	18,3	469161,4	5894873,4	17,77
6	LB	20.12.2017	15,3	469177,6	5894866,8	17,80
7	HB	14.12.2017	18,3	469162,0	5894896,0	17,66
8	LB	17.01.2018	13,3	469168,3	5894889,5	17,77
9	LB	15.01.2018	15,3	469170,8	5894880,7	17,86
10	HB	23.01.2018	18,3	469179,0	5894878,9	17,88

11	HB	21.12.2017	18,3	469184,9	5894879,0	17,80
12	HB	13.12.2017	18,3	469191,9	5894872,9	17,90
13	HB	22.01.2018	18,3	469176,4	5894893,2	17,87
14	HB	10.01.2018	18,3	469175,1	5894904,6	17,76
15	HB	14.12.2017	18,3	469170,3	5894916,2	17,64
16	HB	23.01.2018	18,3	469183,9	5894890,5	17,88
17	LB	19.12.2017	15,3	469193,1	5894894,6	17,79
18	LB bis 8,3 / HB	18.01.2018	17,3	469183,3	5894908,1	17,87
19	HB	23.01.2018	18,3	469190,8	5894905,1	17,88
20	LB	13.12.2017	15	469210,3	5894898,3	17,71
21	HB	08.01.2018	18,3	469234,0	5894909,0	17,97
22	HB	21.12.2017	18,3	469206,1	5894921,9	17,84
23	HB	23.01.2018	18,3	469197,8	5894922,2	17,88
24	HB	22.01.2018	18,3	469191,5	5894925,0	27,86
25	HB	10.01.2018	18,3	469187,3	5894931,9	17,78
26	LB	18.12.2017	15,2	469217,0	5894947,1	17,87
27	LB	11.12.2017	16	469254,2	5894942,1	17,96
2. Untersuchungsphase						
28	HB	12.12.2018	18,3	469115,6	5894799,1	16,47
29	HB	12.12.2018	18,3	469153,6	5894861,9	17,74
30	HB	04.12.2018	18,3	469211,7	5894935,6	17,85
31	HB	10.12.2018	18,3	469200,7	5894945,8	17,78
32	HB	11.12.2018	18,3	469211,3	5894963,2	17,80
33	HB	04.12.2018	18,3	469226,3	5894961,0	17,87
34	HB	03.12.2018	18,3	469232,2	5894938,8	17,55
35	HB	03.12.2018	18,3	469246,8	5894934,6	17,92
36	HB	29.11.2018	17,8	469262,1	5894953,2	18,34
37	HB	30.11.2018	18,3	469281,9	5894972,4	18,39
38	HB	03.12.2018	18,3	469243,6	5894962,6	17,63
39	HB	06.12.2018	18,3	469224,3	5894974,3	17,80
40	HB	11.12.2018	18,3	469220,5	5894985,6	17,79
41	HB	04.12.2018	18,3	469237,2	5894986,7	17,80
42	HB	06.12.2018	18,3	469236,6	5895000,8	17,80
43	HB	06.12.2018	18,3	469250,4	5895008,5	17,91
44	HB	11.12.2018	18,3	469234,9	5895015,3	17,79
45	HB	07.12.2018	18,3	469244,9	5895021,4	17,80
46	HB	20.12.2018	18,3	469260,2	5894935,0	17,78
47	HB	20.12.2018	18,3	469282,8	5894954,9	17,77
48	HB	13.12.2018	18,3	469263,8	5895003,9	17,68
49	HB	13.12.2018	18,3	469273,6	5895028,2	17,74
50	HB	13.12.2018	18,3	469261,9	5895041,6	17,86
51	HB	20.12.2018	18,3	469221,0	5895003,0	17,78
52	HB	20.12.2018	18,3	469235,8	5895034,8	17,82
53	HB	12.12.2018	18,3	469270,5	5895064,8	17,85

Tab. 3: Zusammenstellung der abgeteufte Bohrungen

5.4.4 Sensorische Auffälligkeiten bei Probenahme

Die KW-Kontaminationen im Untergrund weisen direkt bei der Bohrgutförderung einen intensiven, Benzin - artigen Geruch auf. Die Intensität lässt innerhalb von wenigen Minuten deutlich nach.

Die geruchlich stärksten Auffälligkeiten treten in der Regel im Grundwasserschwan-
kungsbereich auf. Unterhalb des Grundwasserspiegels verringert sich der Geruch
merkbar und nimmt teilweise eine muffige/modrige Note an. Farblich sind die ein-
getragenen Kraftstoffe nicht erkennbar.

In Bereichen mit reduzierendem Milieu sind Grauverfärbungen vorhanden.

5.4.5 Untergrundaufbau

Versiegelung, Mutterboden und Auffüllungen

Der Streifen der beiden Verladegleise ist betoniert und unterhalb der Schienenstränge mit bis zu 0,45 m tiefen Betonwannen gesichert. Der Beton der Wannenhöden ist 0,45 m mächtig. Darunter wurde der Boden zumindest im südlichen Gleisabschnitt bis etwa 3 m im Jahr 1989 ausgetauscht. Der neu eingebrachte Sand weist keine Verunreinigungen auf.

Außerhalb der Verladegleise ist in Gleisnähe eine Schotterlage vorhanden, die teilweise Schlackeanteile aufweist.

In den mit Gras bewachsenen Flächen ist ein nur geringmächtiger Bodenhorizont (ca. 0,1 m Grasnarbe) ausgebildet.

Darunter ist der Boden in der Regel bis in Tiefen zwischen etwa 3 und 4 m anthropogen umgelagert.

Geogene Schichtfolge

Im nordöstlichen Untersuchungsbereich (s. Anlage 2) ist bis ca. 4,5 Geschiebelehm vorhanden, der überwiegend sandig ausgebildet ist.

Ansonsten setzt die geogene Schichtenfolge mit Feinsand ein, der Anteile an Mittelsand und Schluff aufweist.

Der Feinsand weist überwiegend eine deutliche Feinschichtung auf. Diese ist an farblichen Unterschieden erkennbar, die zwischen hellgelbbraun, grau und ocker variieren. Die Ockerfärbung ist auf Eisenausfällungshorizonte zurückzuführen, die Mächtigkeiten bis 5 mm aufweisen können.

Es handelt sich generell um kalkfreie Sande, die teilweise auch Glimmer enthalten.

Die Korngrößenverteilung der Sedimente ist relativ einheitlich. Feinsand mit Mittelsand bilden den Hauptbestandteil, seltener treten schluffige Lagen auf.

Korngrößenanalysen aus dem Jahr 2006 [6] zeigen eine Klassierung mit > 90% für die Fraktion 0,125 bis < 0,5 mm an (Fein- bis Mittelsand). Der Ungleichförmigkeitsgrad liegt zwischen 2 bis 3.

Exemplarisch zeigt die folgende Grafik die Kornsummenkurven für den Tiefenbereich 11,9 bis 14,5 m:

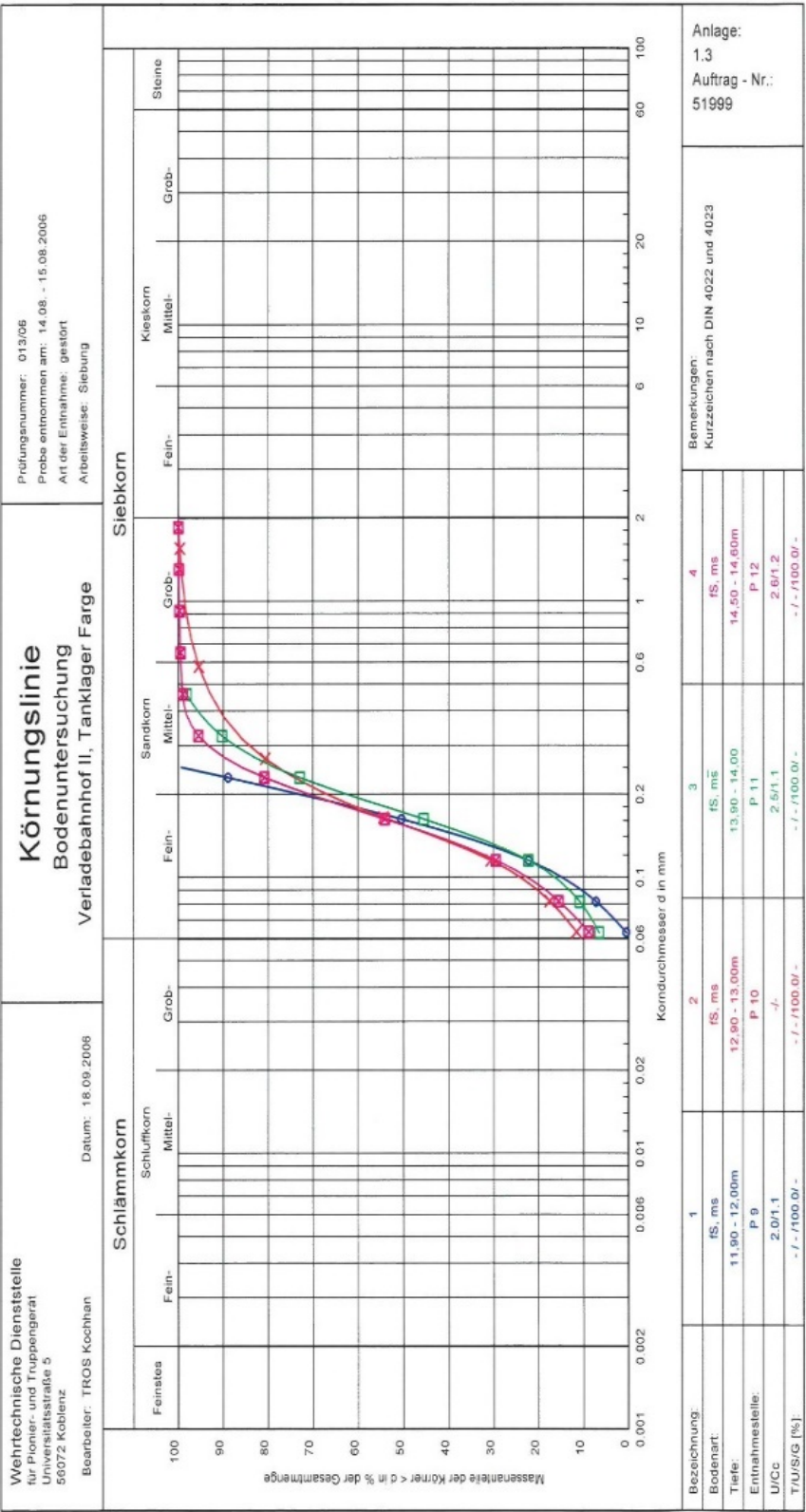


Abb. 3: Exemplarische Korngrößenverteilungen

Zum Abgleich wurden jetzt 9 weitere Korngrößenanalysen aus verschiedenen Bohrungen und Tiefen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Voruntersuchung:

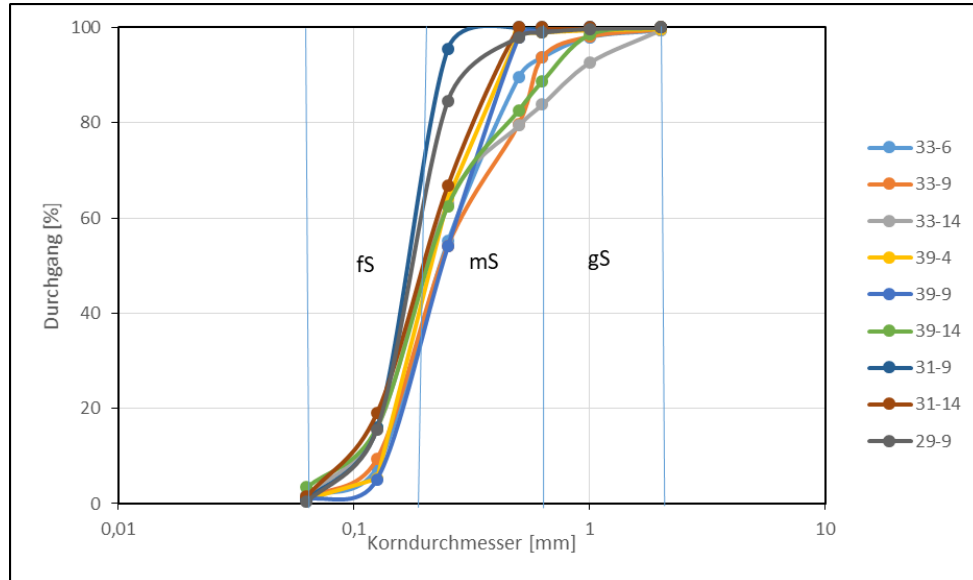


Abb. 4: Korngrößenverteilung (Proben aus der DU, Teil 2)

Die Lagerung ist sehr fest, was auf die Überdeckung mit Inlandeis während des Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse für Proben aus den drei durchgeführten schweren Rammsondierungen sind als Anlage 9 beigelegt. Die nachstehende Grafik zeigt exemplarisch das Rammprofil am Punkt 41.

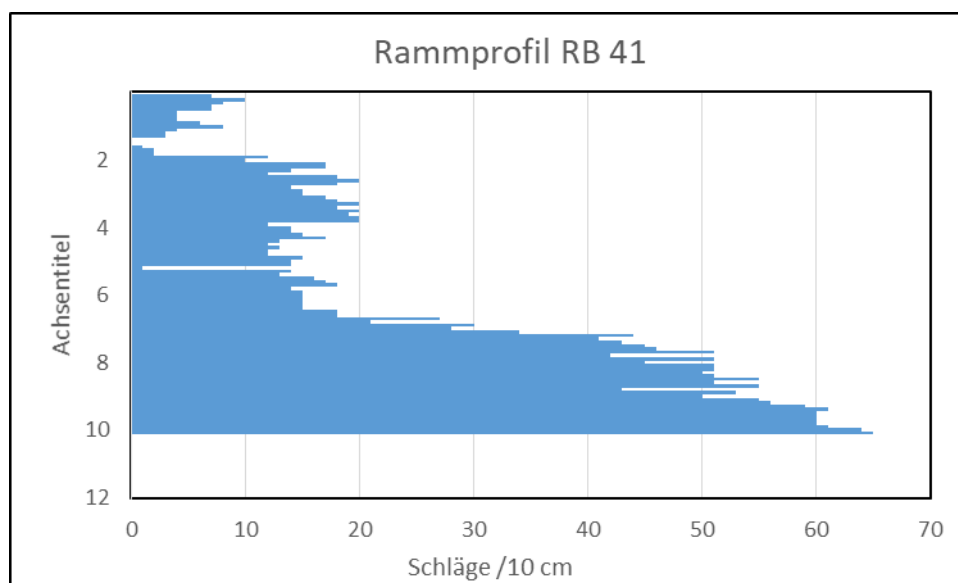


Abb. 5: Rammprofil

Bereits ab Tiefen von 7 m treten Schlagzahlen > 50 pro 10 cm auf und bestätigen somit die sehr feste Lagerung, die bereits bei den Linerbohrungen in der ersten Untersuchungsphase festgestellt wurde.

Das Rammprofil an Punkt 29 zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf. Diese Bohrung musste zweimal angesetzt werden, da hier jeweils in 3 m Tiefe ein Bohrhindernis angetroffen wurde.

Bei Punkt 30 zeigen sich zwischen ca. 7 und 17 m Tiefe nur geringe Schlagzahlen. Vermutlich wurde die Sondierung in das Bohrloch der zuvor durchgeführten Hohlbohrschneckenbohrung abgelenkt, so dass diese Werte nicht die natürliche Lagerungsdichte repräsentieren. Darunter betragen die Schlagzahlen pro 10 cm deutlich mehr als 20 und steigen dann schnell auf Werte > 60 an.

5.5 Hydrogeologische und hydrologische Besonderheiten

In der am Standort vorhandenen Schichtfolge ist ein überwiegend freier Grundwasserleiter ausgebildet, der nur im nordöstlichen Randbereich von Geschiebelehm geschützt ist.

Der generelle GW-Flurabstand beträgt etwa ca. 14 m, entsprechend ca. 2,5 m bis 3 m Höhe ü. NN. Zu beachten ist, dass lokal (und saisonal) Schichtenwasser in nicht unerheblicher Menge auftreten kann (Bohrungen 2, 5, 18, 29). Dieser Effekt wurde im Zeitraum der ersten Untersuchungsphase im Winter 2017/2018 durch die in den Vormonaten hohen Niederschlagsmengen verstärkt [I]:

Oktober 2017: 77,7 mm (130 % des 30-jährigen Mittels)

November 2017: 68,9 mm (121 % des 30-jährigen Mittels)

Dezember 2017: 74,1 mm (126 % des 30-jährigen Mittels)

Das Jahr 2018 waren dagegen sehr niederschlagsarm, so dass die Grundwasserstände im Winter Dezember 2018 etwa 1 m tiefer als im Vorjahr lagen.

5.6 Ergebnisse chemischer Analysen

5.6.1 Art und Anzahl der Analysen

Die Ergebnisse der chemischen Analytik sind in folgenden Anlagen dokumentiert und dargestellt:

Anlagen 4, 5 : Schadstoffverteilungskarten (KW und BTEX)

Anlagen 6, 7: Profilschnitte mit KW und BTEX-Belastung

Anlage 9: Analysenzusammenstellung

Anlage 10: Prüfberichte

Für die grafischen Darstellungen (Karten und Profilschnitte) wurden die Laborwerte auf 2 signifikante Stellen gerundet.

Insgesamt wurden im Chemischen Labor Dr. Döring folgende Analysen durchgeführt:

1. Untersuchungsschritt:

- 329 Analysen auf KW-Index und C₁₀₋₂₂
- 174 Analysen auf BTEX
- 16 Analysen auf Methylbenzole, Styrol, Cumol, C₆-C₉, KW-Verteilung, MTBE, PAK, Blei und TOC
- 10 Kontrollanalysen auf KW, C₁₀₋₂₂ und BTEX (+ 6 Stück C₆₋₉, MTBE)

2. Untersuchungsschritt:

- 311 Analysen aus auf den KW-Index, C₁₀₋₂₂ und BTEX

Im Labor der GEO-data GmbH wurden zur Kontrolle 10 Proben im ersten und 9 Proben im zweiten Untersuchungsschritt untersucht (s. Kapitel 5.10).

An 9 Proben erfolgte eine Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung.

Nicht untersuchte Proben, überwiegend aus organoleptisch unauffälligen Bereichen, sind im Probenlager der GEO-data GmbH zurückgestellt.

5.6.2 Analysenwerte

Die KW-Gehalte betragen zwischen < Bestimmungsgrenze und 5.800 mg/kg, die BTEX Gehalte zwischen < Bestimmungsgrenze und 2.139 mg/kg (Untersuchungsphase 2: KW bis max. 2.700 mg/kg, BTEX bis max. 1.240 mg/kg).

Die Proben mit den höchsten Belastungen in der 1. Untersuchungsphase befinden sich in den am stärksten belasteten Bereichen.

Die C_n-Verteilungskurven der KW-Analytik zeigen, dass die höchsten KW-Konzentrationen im Retentionszeitenbereich der niedriger siedenden KW liegen. Der Hauptanteil entfällt auf den Bereich bis etwa C₂₀. Dieses Spektrum entspricht dem der umgeschlagenen Treibstoffe Benzin, Diesel, Turbinenkraftstoffe.

In den folgenden Abbildungen sind exemplarisch KW-Verteilungschromatogramme dargestellt:

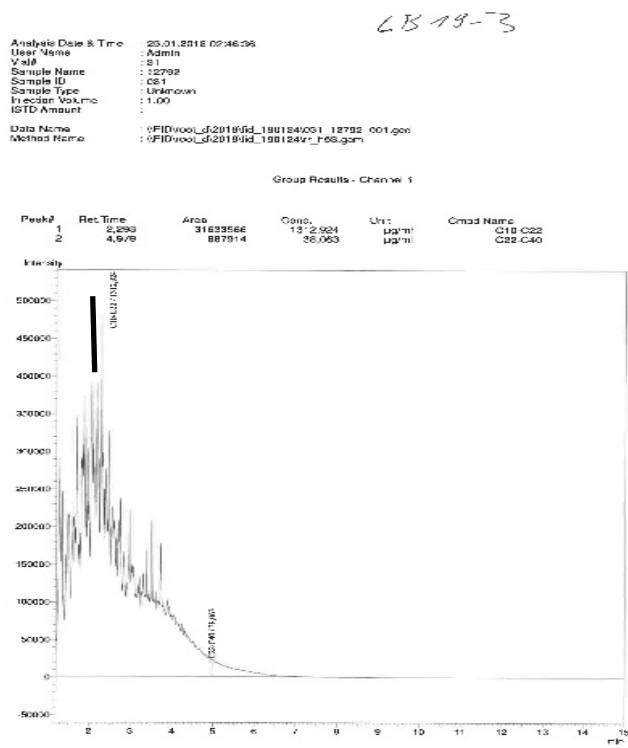


Abb. 6: KW-Verteilungschromatogramm LB 19-3 (Eintragsbereich 3,6-4,1 m)

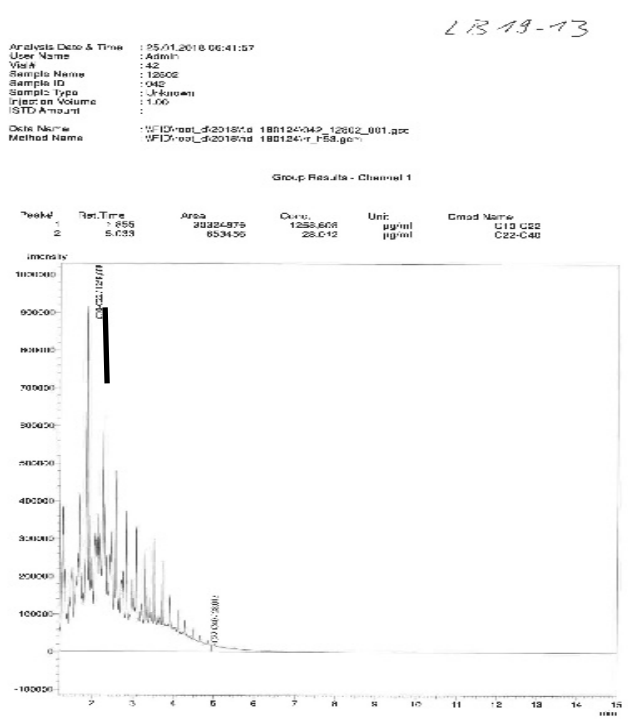


Abb. 7: KW-Verteilungschromatogramm LB 19-13 (Eintragsbereich 13,6-14 m)

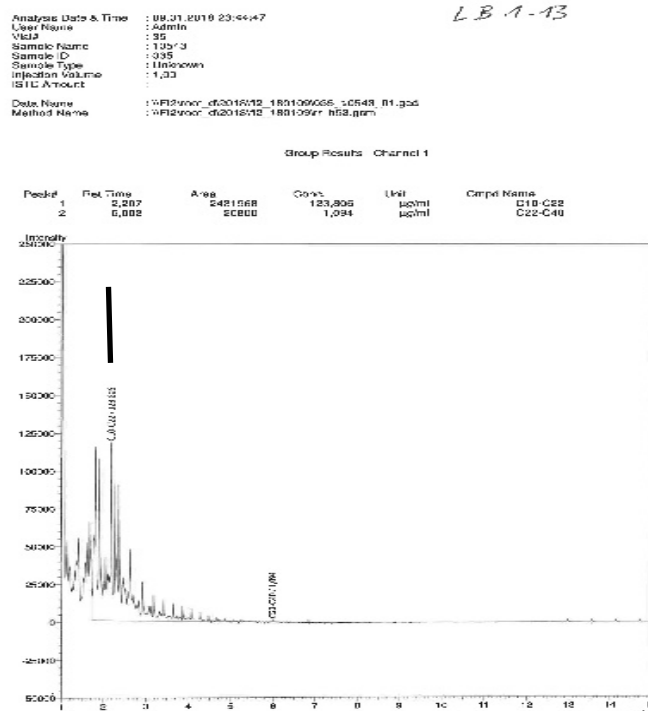


Abb. 8: KW-Verteilungschromatogramm LB 1-13 (Abstrom, GW-Schwankungsbereich)

Die Abbildungen zeigen die Verhältnisse im Eintragsbereich bei LB19 in Tiefen von 3,6-4,1 m und 13,6-14 m sowie im Abstrom bei LB 1, 13,5-14 m. Der senkrechte schwarze Strich steht an der Stelle von C₂₂. Die Kurve beginnt jeweils oberhalb der 0-Linie, wodurch der Anteil an den C-Verbindungen < C₁₀ angezeigt wird.

Im GW-Abstrombereich, in der Probe von LB1, hat sich das Spektrum erwartungsgemäß insgesamt in Richtung der leichteren, mobileren C-Verbindungen verschoben.

Bei den BTEX (bis max. 2.139 mg/kg) dominieren in der Regel die Xylole. Der Anteil an Ethylbenzol und Toluol beträgt jeweils etwa 20% des Xylol-Gehaltes. Benzol ist nur untergeordnet vertreten mit Konzentrationen bis max. 23 mg/kg.

Styrol wird nicht oder nur in geringen Konzentrationen bis max. 1,3 mg/kg gemessen. Die Cumol-Konzentrationen betragen etwa 1 – 5 % des BTEX-Gehaltes (bis max. 70 mg/kg).

Stark vertreten sind Trimethylbenzole mit Gehalten bis 520 mg/kg.

PAK spielen mit Werten von in der Regel < 10 mg/kg eine untergeordnete Rolle. Nur bei LB 6-15 werden mit 25 mg/kg, davon 23,2 mg/kg Naphthalin, etwas höhere Konzentrationen gemessen.

Die Gehalte für Blei als potentieller Zusatzstoff sind mit Werten von max. 30 mg/kg unauffällig.

MTBE werden vom Labor Dr. Döring nicht oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen. Die Kontrollanalysen zeigen Gehalte von max. 200 mg/kg. Eine Erklärung dafür haben wir bisher nicht. Für die Kartierung der Eintragsstellen sind die MTBE-Gehalte jedoch nur von untergeordneter Bedeutung.

Die Sedimente weisen nur einen geringen Anteil an organischem Kohlenstoff auf, der deutlich unter 1 Masse%, ab 5 m Tiefe immer < 0,2 Masse% liegt.

5.6.3 Eingrenzung und Ermittlung von Schadstoffquellen

Ab Werten von > 10 mg/kg BTEX und / oder > 1000 mg/kg KW ist in der ungesättigten Bodenzone aufgrund der räumlichen Verteilung und der Feststellung von Ölschlieren an den untersuchten Proben von vorhandener KW-Phase auszugehen.

Als Haupteintragsstelle zeigen sich die Verladegleise, besonders in den Bereichen um die Bohrungen LB 18, 19, 24 und HB 32 (s. Schadstoffverteilungskarten und Profilschnitte: Anlagen 4, 5, 6 und 7). Hier sind die Schadstoffe bis zur Grundwasseroberfläche vorgedrungen. Weitere Einträge mit geringerem Potenzial treten fast bis ans nördliche Ende der Verladegleise sowie im Grasstreifen östlich der Verladegleise auf.

Etwa auf mittlerer Höhe der Verladegleise (um Punkt 33) ziehen sich die Belastungen nach Osten hin bis zum Hügel der Pumpstation 3 hin. Hier haben im Umfeld der Bohrungen 27 und 36 separate Schadstoffeinträge stattgefunden.

Eine weitere, wesentliche Eintragsstelle befindet sich bei LB 5 und HB 29 an der südwestlichen Ecke der Verladegleise. Hier wurde in Tiefen von etwa 4 bis 5 m Phase im Bereich des Schichtwassers angetroffen.

Die Eintragsbereiche sind für eine Beurteilung mit hinreichender Genauigkeit abgegrenzt.

5.7 Bewertung

5.7.1 Ungesättigte Zone

Als Haupteintragsstellen am Verladebahnhof 2 werden die Verladegleise im mittleren und südlichen Abschnitt lokalisiert. Unterhalb des bis 3 m Tiefe im Jahr 1989 ausgetauschten Bodens sind Kohlenwasserstoffe im Bereich \leq Restsättigung vorhanden.

Daneben existieren noch weitere, untergeordnete Schadstoffeintragsstellen im nördlichen Bereich der Verladegleise sowie auf der Fläche zwischen den Gleisen und der Pumpstation 3.

Der Haupteintragsbereich umfasst eine Fläche von ca. 1.500 m². Insgesamt sind Verunreinigungen auf einer Fläche von ca. 6.000 m² vorhanden.

Bei den eingetragenen Schadstoffen handelt es sich um ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen, wobei leichte Alkane (Mitteldestillat/Benzin) und BTEX dominieren. Die Ausbreitung von mobiler Phase hat bis zur Grundwasseroberfläche stattgefunden. Hier ist heute stellenweise noch fließfähige KW-Phase vorhanden.

Die in Kap. 3.2 abgeleitete, theoretische Restsättigung in der ungesättigten Zone von ca. 4.500 mg/kg wird an den Eintragsstellen erreicht. Der fließfähige Phasenanteil ist bis zum Grundwasser vorgedrungen.

In Abbildung 9 ist die BTEX-Verteilung im Tiefenbereich bis 5 m dargestellt (grün: 0,1-1 mg/kg; blau: 1-10 mg/kg; orange: 10-50 mg/kg; rot: > 50 mg/kg).

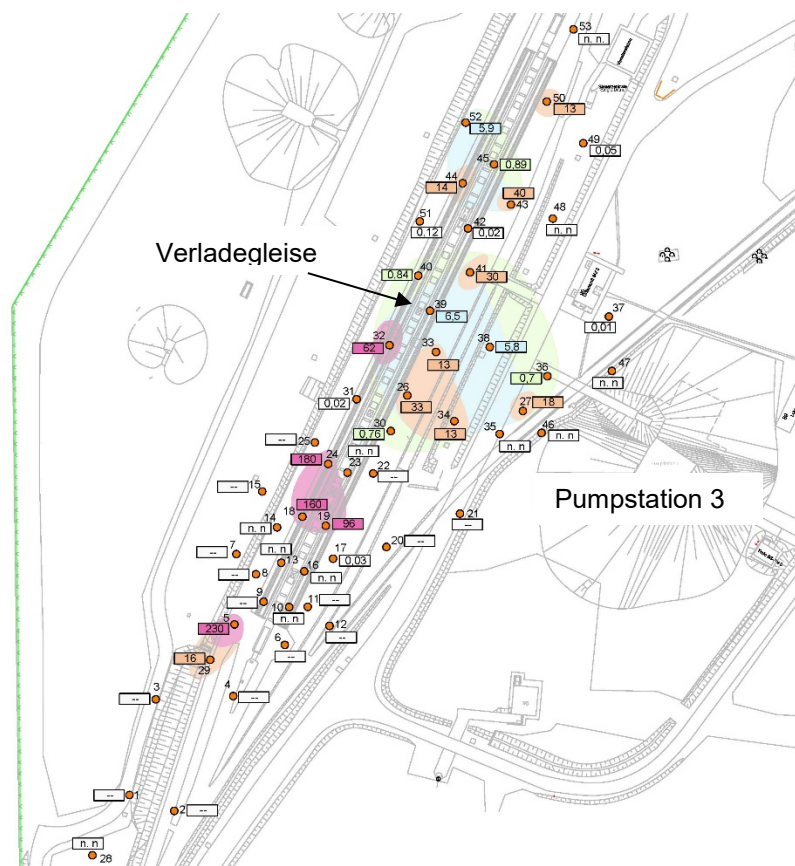


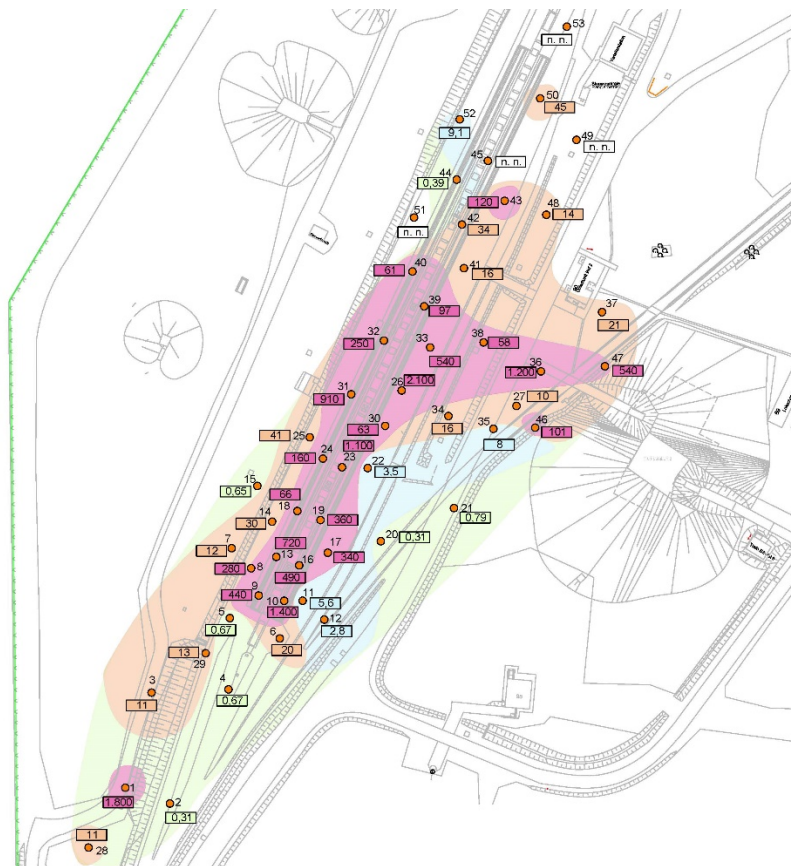
Abb. 9: BTEX-Verteilung bis 5 m Tiefe

Beim Eindringen der Kohlenwasserstoffphase in die ungesättigte Zone hat zum Teil eine seitliche Ausbreitung auf den Grenzflächen der feingeschichteten Sande bzw. auf der Oberfläche der örtlich vorhandenen Schichtwasseroberfläche stattgefunden. Dies ist bei den Bohrungen LB 14, 18, 22 und 23 erkennbar. Hier treten innerhalb der ungesättigten Bodenzone Verunreinigungen in Tiefen zwischen 5 und 13 m außerhalb von Eintragsbereichen auf.

5.7.2 Grundwasserschwankungsbereich

Ein zentraler Bestandteil des im GW-Schwankungsbereich vorhandenen Schadstoffpotentials ist die dem GW aufschwimmende Phase. Von dieser wurden bisher bereits ca. 60 t über die im Rahmen der hydraulischen Sicherungsmaßnahme betriebene Phasenentnahme aus dem Untergrund entfernt. Die Phasenausbreitung auf der Grundwasseroberfläche bzw. deren Kapillarsaum reicht im Abstrom bis über den südlichsten Messpunkt dieser Untersuchung Punkt LB 1 hinaus.

Daneben befinden sich erhebliche Schadstoffmengen im Porenraum des Korngerüsts. In der folgenden Abbildung ist die Verteilung der im Grundwasserschwankungsbereich vorhandenen BTEX (mg/kg) dargestellt:



Von allen untersuchten Bestandteilen des vorhandenen Kontaminationsspektrums nehmen die BTEX im GW-Schwankungsbereich mit etwa 4.100 m² die größte Fläche ein und visualisieren damit das Ausmaß der Verunreinigung am deutlichsten.

5.7.3 Gesättigte Zone

Auch unterhalb des Grundwasserschwankungsbereiches sind im Grundwasserkörper noch deutliche Schadstoffbelastungen vorhanden (vgl. Anlagen 4.5 und 5.5 und Abb. 11).

Insgesamt ähneln sich die Schadstoffverteilungskarten für KW und BTEX, nur besitzt die BTEX-Belastung hier wiederum eine deutlich größere Ausdehnung.

Da Ölphase leichter ist als Wasser, kann eine Verlagerung in den dauerhaft grundwassererfüllten Bereich grundsätzlich nur über Lösung erfolgen. Dies kann durch versickernde Niederschläge geschehen und durch vertikale, abwärts gerichtete hydraulische Gradienten verstärkt werden.

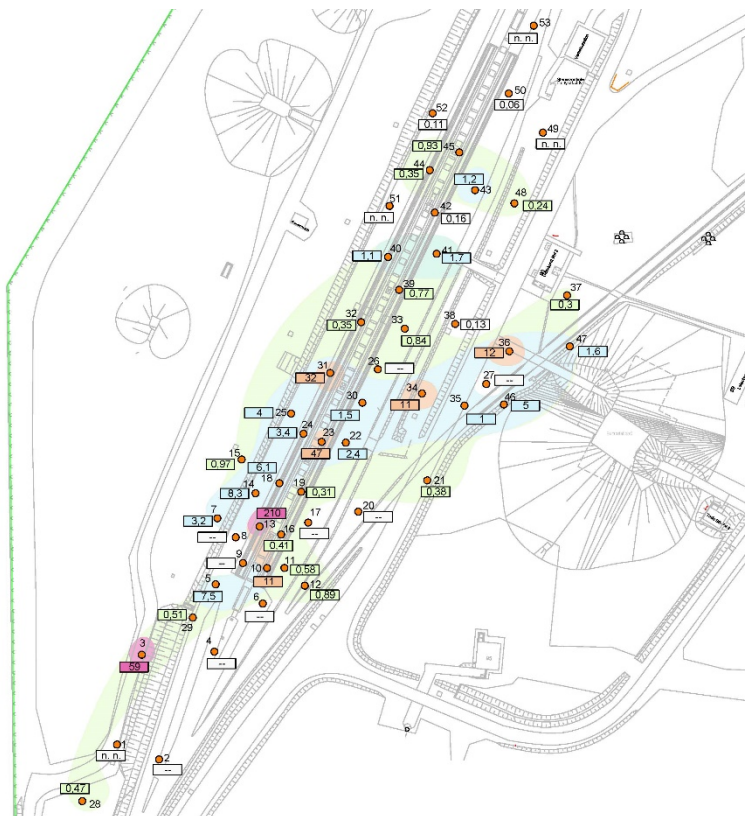


Abb. 11: BTEX-Verteilung in > 15 m Tiefe

Die theoretische BTEX-Konzentration, die in Bodenproben über den im Grundwasser gelösten Anteil hervorgerufen werden kann, beträgt in grober Näherung ca. 140 mg/kg (Löslichkeit BTEX ca. 1000 mg/l, bei 25 % Porenvolumen: 250 mg/1,8 kg = ca. 140 mg/kg über Lösung möglich).

Bei LB 13 werden in 18 m Tiefe, 4 m unterhalb der Grundwasseroberfläche noch 208 mg/kg BTEX gemessen.

Dieser Wert ist allein durch Lösung schwer erklärbar. Es ist anzunehmen, dass hier oder im näheren Umfeld zum Zeitpunkt eines massiven Eintrags eine Phasenüberstau stattgefunden hat und die dadurch vorhandene Auflast ausgereicht hat, Phasentröpfchen in den tieferen, wassererfüllten Untergrund zu „pressen“.

Die Ergebnisse der GW-Untersuchungen lassen sich gut mit den bei dieser DU Boden erhobenen Befunden korrelieren [4]. Nur in Richtung Norden liegen noch Bodenbelastungen vor, die sich im GW so nicht widerspiegeln. Vermutlich hat im Grundwasser eine Verlagerung in Abstromrichtung nach Süden stattgefunden. Die GW-Untersuchungen haben auch gezeigt, dass eine Belastung mit BTEX bis in Tiefen von max. ca. 20 m vorliegt.

5.8 Rückhaltevermögen, Abbau, Wirkungspfade

Das Schadstoffrückhaltevermögen der vorhandenen Sedimente wird in erster Linie von den Adhäsionskräften am Korngerüst bestimmt. Eine Schadstofffestlegung an organischer Substanz ist im vorliegenden Fall so gut wie nicht gegeben (TOC < 0,2 Masse%).

In der Zeit nach den Schadstoffeinträgen und nach Absinken der Phase haben außerhalb der versiegelten Flächen Schadstoffkonzentrationsminderungen über Ausgasung, Auswaschung und biologischen Abbau stattgefunden. Bevorzugt wurden bzw. werden die besser löslichen Anteile wie Benzol und MTBE mit dem versickernden Niederschlagswasser abtransportiert (→ Schadstofffahne). In der verbleibenden Phase reichern sich die schlechter löslichen Verbindungen an.

Der mikrobielle Abbau setzt bevorzugt an den kurzkettigen KW an. Benzol und MTBE sind dagegen relativ persistent und werden nur in untergeordnetem Umfang abgebaut.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schutzgüter Boden und Grundwasser von der Kontamination betroffen sind. Als relevante Schadstofftransferpfade ist die Ausbreitung der Schadstoffe auf und im Grundwasser zu nennen.

Der Grundwasserflurabstand ist mit 14 m so hoch, dass Gefährdungen über ausgasende Schadstoffe im Fahnenbereich als gering einzuschätzen sind. Bodenluftuntersuchungen haben diese Annahme bestätigt [5].

Der oberflächennahe Boden am Verladebahnhof 2 ist weitgehend unbelastet:

Im Bereich der Verladegleise hat ein Bodenaustausch der am stärksten belasteten, oberen 3 m stattgefunden. Außerhalb der versiegelten Flächen ist der oberflächennahe Boden ebenfalls kaum belastet, da hier keine massiven Einträge stattgefunden haben, das Rückhaltevermögen des Bodens relativ gering ist und Ausgasungen und Auswaschungen evtl. früher vorhandene Belastungen weitestgehend reduziert haben.

5.9 Mengenabschätzung

Das vorhandene Schadstoffinventar setzt sich aus den Anteilen in

- der ungesättigten Zone,
- im Grundwasserschwankungsbereich und
- der fließfähigen Phase

zusammen.

1. Ungesättigte Zone

Die Flächengröße der Eintragsbereiche mit BTEX-Gehalten $> 10 \text{ mg/kg}$ bzw. KW-Gehalten $> 1.000 \text{ mg/kg}$ beträgt ca. 1.500 m^2 (s. Kap. 5.7.1).

Da die stärksten Verunreinigungen aber erst ab ca. 6 m Tiefe auftreten, wird für die Massenbereich eine Mächtigkeit von 7 m angesetzt (Tiefenintervall 7 bis 14 m). Hierfür kann im Schnitt ein durchschnittlicher Phasengehalt von 4 kg/m^3 (entspricht 2.222 mg/kg Phase, vgl. Kap. 3.2) angesetzt werden.

Damit berechnet sich die vorhandene Schadstoffmenge in der ungesättigten Bodenzone grob überschlägig zu:

$$1.500 \text{ m}^2 \times 7 \text{ m} \times 4 \text{ kg/m}^3 = 42 \text{ t}$$

2. Grundwasserschwankungsbereich

Für den Grundwasserschwankungsbereich wird die Fläche mit einer BTEX-Belastung $> 50 \text{ mg/kg}$ zur Mengenabschätzung herangezogen. Diese beträgt ca. 4.100 m^2 (s. Kap. 5.7.2). Bei einer vertikalen Schwankungsbreite von 1 m und unter Heranziehung der theoretischen Restsättigung von 9 kg/m^3 berechnet sich die hier vorhandene Schadstoffmenge grob überschlägig zu:

$$4.000 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 9 \text{ kg/m}^3 = 36 \text{ t}$$

3. Fließfähige Phase

Für die Verbreitung der fließfähigen Phase wird eine Fläche von 4.000 m² und eine Höhe von 1 cm angesetzt, was bei einem Porenanteil von 25 % etwa 2,5 kg/m² Phase entspricht. Die Schadstoffmenge ergibt sich grob überschlägig zu:

$$4.000 \text{ m}^2 \times 0,01 \text{ m} \times 0,25 \times 1 \text{ t/m}^3 = 10 \text{ t}$$

Das gesamte noch vorhandene Schadstoffpotential am Verladebahnhof 2 kann somit grob überschlägig auf etwas mehr ca. 80 t abgeschätzt werden.

5.10 Ergebnisunsicherheit

Die Ergebnisse der DU Boden zeigen insgesamt ein stimmiges Bild:

Die durchgeführten Kontrolluntersuchungen für KW und BTEX stimmen weitgehend mit den Erstbefunden überein.

Die Ergebnisse der für die 2. Untersuchungsphase exemplarisch durchgeführten Kontrolluntersuchungen sind in den folgenden drei Grafiken den Erstbefunden vom Labor Dr. Döring gegenübergestellt:

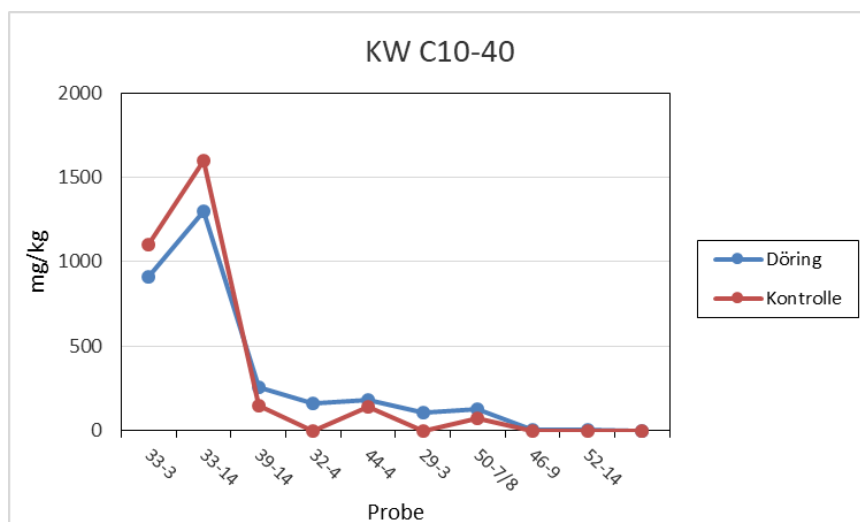


Abb. 12: Ergebnisse Kontrollanalytik KW-C10-40

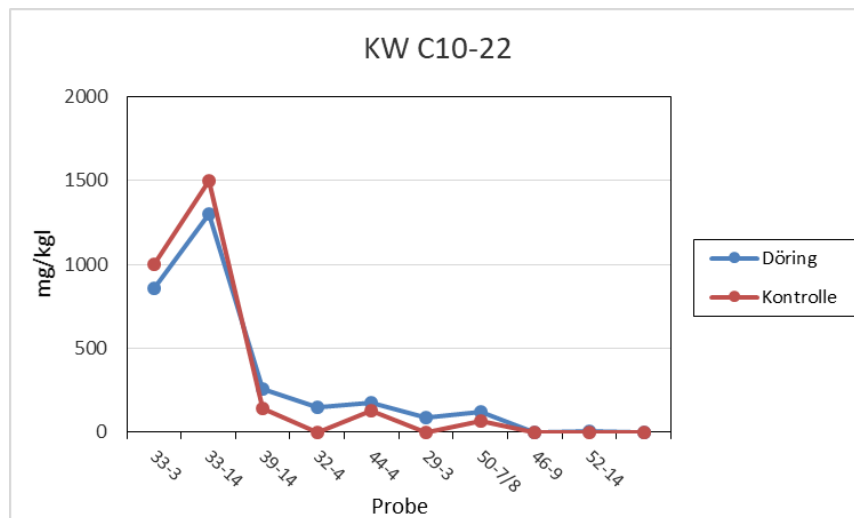


Abb. 13: Ergebnisse Kontrollanalytik KW-C10-22

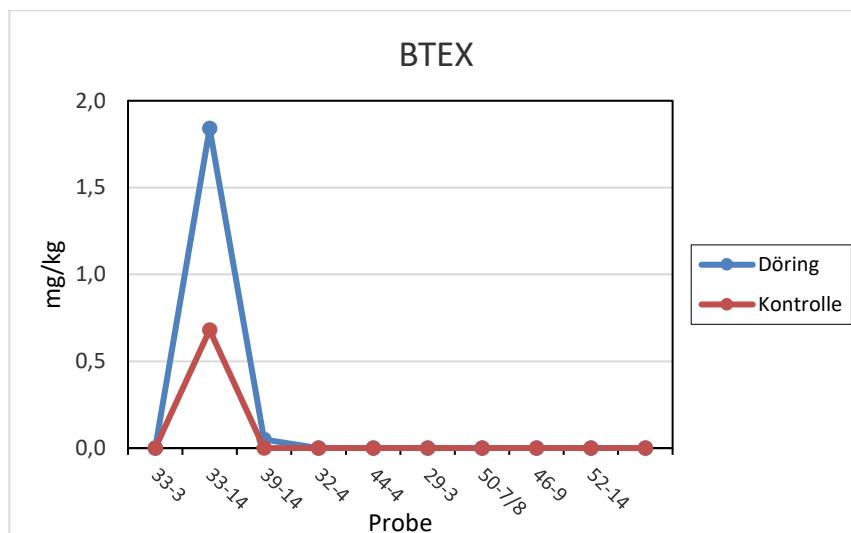


Abb. 14: Ergebnisse Kontrollanalytik BTEX

Die Messergebnisse in den Belastungsschwerpunkten stimmen mit der theoretischen Restsättigung überein. Die Messwerte repräsentieren aber eher den unteren Bereich der tatsächlich vorhandenen Phasengehalte, was sich aus Verlusten durch physikalisch bedingte Abwanderung der Phase während der Bohrung und Probengewinnung sowie Ausgasung der leichtflüchtigen Bestandteile ableiten lässt.

Die Mengenabschätzung der absoluten Schadstoffgehalte im Untergrund kann unter diesen Umständen nur als eine grobe Näherung gesehen werden, gibt aber eine als realistisch anzusehende Größenordnung wider.

6 Gefährdungsabschätzung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass am Verladebahnhof 2 des Tanklagers Bremen-Farge erhebliche Einträge von Kohlenwasserstoffen, im Wesentlichen Kerosin und BTEX, stattgefunden haben.

Als relevanter Schadstoffpfad ist das Abströmen der Schadstoffe auf und mit dem Grundwasser zu nennen. Gefährdungen über die Schadstoffpfade

Boden -> Mensch,

Boden -> Bodenluft -> Mensch und

Boden -> Nutzpflanze

bestehen aufgrund der Tiefenlage der angetroffenen Kontamination und der physikalischen Eigenschaften der eingetragenen Schadstoffe bei derzeitiger Nutzung nicht.

Zur Sicherung des Grundwasserabstroms wird bereits seit einigen Jahren eine hydraulische Sicherungsmaßnahme mit begleitender Phasenabschöpfung durchgeführt.

Eine Prüfung der hydraulischen Sicherung [11] hat gezeigt, dass damit bisher noch keine vollständige Erfassung des Abstromquerschnitts erreicht wird. Wir empfehlen deshalb, die im Bericht [11] vorgeschlagenen, ergänzenden Maßnahmen umzusetzen.

Aufgrund des Ergebnisses der Gefährdungsabschätzung wären darüber hinausgehende Maßnahmen zum Schutz vor Gefährdungen nicht zwingend erforderlich.

Das in Kap. 5.9 abgeschätzte, im Untergrund vorhandene Schadstoffpotential ist mit > 80 t aber noch so groß, dass ein bloßer Weiterbetrieb der hydraulischen Sicherungsmaßnahme allein nicht zielführend erscheint. In diesem Fall wären Laufzeiten von mehreren Jahrzehnten mit entsprechend hohen, über die Betriebsdauer anfallenden Betriebskosten zu erwarten.

Zudem steht das Projekt unter intensiver öffentlicher Beobachtung. Ein Weiterbetrieb der Maßnahme wie bisher könnte dort den Eindruck hervorrufen, es „geschähe hier nichts“ bzw. der Eigentümer „spiele auf Zeit“.

Die Prüfung einer ergänzenden Sanierungsmaßnahme, die zu einer entsprechenden Verkürzung der Laufzeit der Grundwassersanierung/-sicherung erscheint vor diesem Hintergrund sinnvoll. Dies könnte im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung/Machbarkeitsstudie geschehen.

Nachstehend werden einige Randbedingungen für eine solche Machbarkeitsstudie dargestellt. In der folgenden Tabelle sind mögliche Sanierungs-/Sicherungsverfahren aufgelistet:

Sanierungsverfahren		
Ex-Situ	<u>Aushubverfahren:</u> Baugrube Bodenaustausch im Schutz von Großbohrungen Bodenaustausch im Schutz von Rüttelwaben	<u>Behandlungsverfahren/ Entsorgung:</u> Biologische Verfahren Bodenwäsche chemische Transformation Deponierung
In-Situ	<u>Bodenluftabsaugung</u> - Thermisch unterstützte Bodenluftabsaugung - Bioventing	
	<u>pump&treat</u> - pump&treat mit hydraulischer Zelle - pump&treat mit hydraulischer Zelle und Zugabe von Lösungsmittlern oder biologisch wirksamen Substanzen	
	Phasenabschöpfung Physikalische Verfahren Grundwasserzirkulation Passive Verfahren (biologisch, chemisch) Phytoremediation	
Sicherungsverfahren		
Grundbauliche Verfahren	Oberflächenabdichtung Vertikalabdichtung nachträgliche Basisabdichtung Weichgelinjektion	
Immobilisierung	Ex-/ In-Situ	
Hydraulische/pneumatische Sicherungsmaßnahmen	Schluckbrunnen / Sickerschlitze / Einblasen von Luft	

Tab. 4: Mögliche Sanierungs-/Sicherungsverfahren

Das jetzt kartierte Schadensbild zeigt, dass mehr als die Hälfte des vorhandenen Schadstoffpotenzials im Bereich der Grundwasseroberfläche bzw. im Grundwasserschwankungsbereich in Tiefen von etwa 13 bis ca. 16 m liegt. Eine wie auch immer geartete Sanierung muss daher diesen Tiefenbereich gezielt adressieren.

Abb.15 zeigt die nach jetzigem Kenntnisstand auszuhebende bzw. zu behandelnde Fläche (schwarz umrandet):

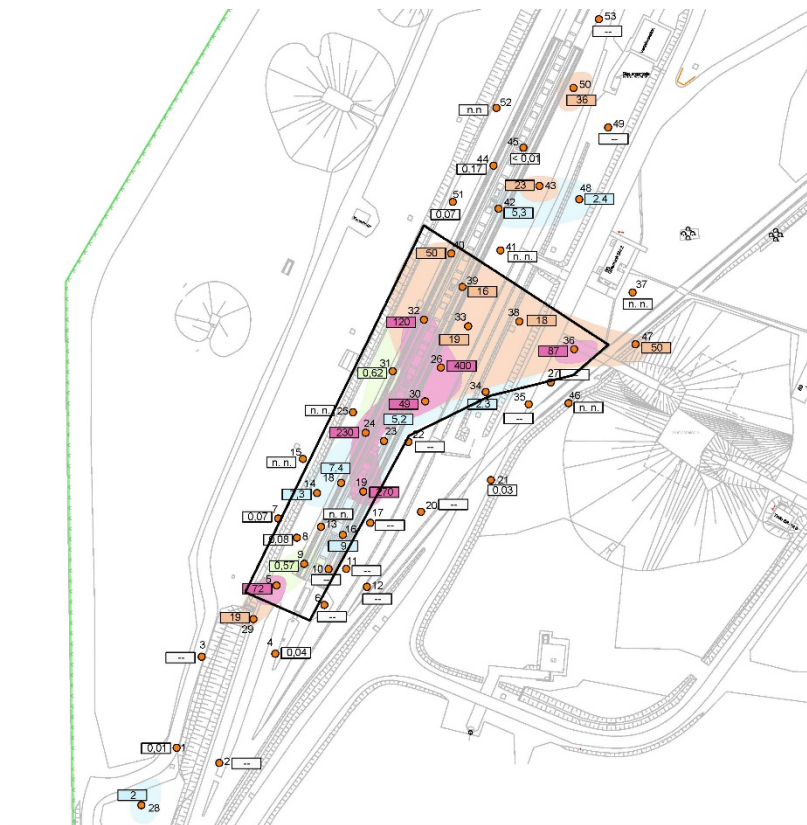


Abb. 15: vorgeschlagene Abgrenzung der Fläche bei Bodenaushub

Es handelt sich um eine ca. 5.000 m² große Fläche. Damit ergibt sich ein Bodenvolumen von

5.000 m² Kontaminationsfläche x 16 m Eindringtiefe = 80.000 m³.

Je nach Ausführungsart der Sanierung kämen weitere Bodenmassen für zu erstellende Böschungen oder Arbeitsräume hinzu.

Eine Abschätzung der Entsorgungskosten gibt einen Eindruck im Hinblick auf die zu erwartenden Gesamtsanierungskosten:

Da die oberen 3 Meter weitgehend unbelastet sind, beträgt das zu beseitigende respektive zu behandelnde Bodenvolumen

ca. 5.000 m² Kontaminationsfläche x 13 m = 65.000 m³.

Bei einer angenommenen Dichte von 1,8 t/m³ ergibt sich eine Bodenmasse von

ca. 117.000 t

kontaminiertem Boden. Allein für dessen Entsorgung würden bei einem geschätzten Einheitspreis von 40 € pro Tonne überschlägig bereits anteilige Kosten von ca. 4,7 Mio. € entstehen.

Die Kosten für die eigentliche Baumaßnahme sind derzeit nicht abzuschätzen, weil sie von dem ausgewählten Verfahren abhängen.

Die dargestellten Sachverhalte zeigen, dass eine wie auch immer geartete Sanierung bereits für sich genommen eine sehr teure Maßnahme darstellen wird. Gleichzeitig muss diese Maßnahme die Anforderung erfüllen, die Laufzeit der noch weiter zu betreibenden hydraulischen Sicherung entsprechend zu so verkürzen, dass die Gesamtmaßnahme wirtschaftlich erscheint.

Die vorgeschlagene Sanierungsuntersuchung/Machbarkeitsstudie kann vor diesem Hintergrund eine wichtige Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen bedeuten.

7 Zusammenfassung

Auf der Liegenschaft Tanklager Bremen Farge wird auf der Kontaminationsfläche „Verladebahnhof 2“ eine Detailuntersuchung zu vorhandenen Bodenverunreinigungen durch Kohlenwasserstoffe durchgeführt.

In diesem Bereich ist es im Zeitraum 1941 bis 2013 nutzungsbedingt zu Schadstoffeinträgen gekommen, die zur Ausbildung einer ca. 800 m langen Schadstofffahne geführt haben.

Bereits im Jahr 2010 wurde zum Schutz des Grundwassers eine hydraulische Maßnahme mit begleitender Entnahme von Öl-Phase in Betrieb genommen.

Die jetzt durchgeführten Untersuchungen hatten die Aufgabe, die innerhalb des Verladebahnhofes 2 vorhandenen, individuellen Eintragsstellen zu lokalisieren und abzugrenzen. Dazu wurden in 2 Untersuchungsphasen insgesamt 56 Erkundungsbohrungen bis in Tiefen von maximal 18,3 m durchgeführt.

Anhand chemischer Bodenanalysen mit Analytik auf die Leitparameter KW und BTEX wurden die Eintragsbereiche abgegrenzt.

Es zeigt sich, dass am Standort des Verladebahnhofes 2 Kohlenwasserstoffe in erheblichem Umfang in den Untergrund eingedrungen sind. Insgesamt sind geschätzt noch etwa 86 t Schadstoff in der gesättigten und ungesättigten Zone vorhanden.

Die Schadensschwerpunkte liegen im Bereich der beiden Verladegleise. In deren östlichem Umfeld haben lokal weitere, kleinräumige Einträge stattgefunden.

Die Kohlenwasserstoffe, im Wesentlichen ein Gemisch aus kurzkettigen Alkanen und BTEX-Aromaten, sind als Phase bis zum Grundwasser bzw. dessen Kapillarsaum in ca. 14 m Tiefe abgesunken und haben sich dort überwiegend lateral ausgebreitet. In diesem Tiefenbereich besitzt die Kontamination ihre größte flächenhafte Ausdehnung. Lokal sind die Schadstoffe auch in die oberen Meter des dauerhaft wassererfüllten Teils des Grundwasserleiters eingedrungen.

Das geschätzt vorhandene Schadstoffpotential setzt sich nach der durchgeführten Kartierung wie folgt zusammen:

- 42 t in der ungesättigten Bodenzone,
- etwa 46 t im Grundwasserschwankungsbereich, davon ca. 10 t in fließfähiger Form.

Für die Schadstoffpfade Boden -> Mensch, Boden -> Bodenluft -> Mensch und Boden -> Pflanze gehen bei derzeitiger Nutzung von der Kontamination keine Gefährdungen aus.

Allerdings ist das Schutzgut Grundwasser in erheblichem Maße verunreinigt. Aus diesem Grund wird seit 2010 in Form einer hydraulischen Sanierung/Sicherung mit begleitender Phasenabschöpfung durchgeführt. Wir schlagen vor, diese Maßnahme zunächst so zu optimieren, dass der belastete Abstromquerschnitt sicher erfasst wird.

Ohne eine ergänzende Sanierungsmaßnahme in der Quelle wird die hydraulische Maßnahme vermutlich Jahrzehnte andauern müssen. Wir empfehlen deshalb, parallel im Rahmen einer Sanierungsuntersuchung zu prüfen, ob eine Möglichkeit besteht, die hydraulische Maßnahme durch eine ergänzende Sanierungsmaßnahme in der Quelle wirksam zu unterstützen und dabei eine Laufzeitverringerung für die hydraulische Maßnahme zu erreichen.

Garbsen, den 30.07.2019
GEO-data GmbH



Dr. Thomas Meyer-Uhlich



Andreas Kretschmer

8 Literatur-/Quellenverzeichnis

[I] Internet: climate-data.org

[II] Kora: Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten; Universität Tübingen; August 2008

[III] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz Bau und Reaktorsicherheit: Arbeitshilfen Boden- und Grundwasserschutz

[IV] AH BoGwS: Arbeitshilfen Boden-Grundwasserschutz; BMUB + BmVg, 11/2014.