

Zeichen R001-2421101DOM-V02

der Korrosionsstelle am 15.04.2015 aktiv war, ist die Leckagedauer als höher eingeschätzt. Unter Berücksichtigung der vergleichbar hohen Viskosität der Naphtha-Phase (wie Wasser) ist bei einer Abstandsgeschwindigkeit von ca. 0,8 – 1,3 m/d davon auszugehen, dass die Leckage möglicherweise schon mit geringer Intensität vor 2-3 Monaten vor der Entleerung der Leitung am 25.04.2015 aktiv war.

Tabelle 3.1 Berechnung der ausgetretenen Naphtha-Menge und der Leckagedauer. Datengrundlage für die Naphthamenge sind die Fläche und Mächtigkeiten am 30.09.2015.

	Naphtha-Phase		Leckagedauer [d]	
	Mächtigkeit [m]	Volumen, Menge [m³]	Leckagerate	Leckagerate
			0,66 m³/h	0,76 m³/h
Medianwert	0,10	250	16	14
Mittelwert	0,17	425	27	23

4 Gefahrenlage

4.1 Bewertungsgrundlagen

Mit dem Bundes-Bodenschutz-Gesetz (BBodSchG) vom 17.03.1998 hat der Gesetzgeber erstmals Richtlinien zum Schutz des Bodens erlassen, um „nachhaltig die Funktion des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen“ [7]. In der zugehörigen Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 werden zur Bewertung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten Prüf- und Maßnahmenwerte und zur Bewertung aller übrigen Flächen werden Vorsorgewerte festgelegt [8].

Ergänzend zu den Werten der BBodSchV sind als Bewertungshilfe auch die Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen der Verwaltungsverordnung Baden-Württemberg zu beachten [9].

Zur Bewertung von Bodenluft-Verunreinigungen werden die Orientierungswerte aus der „Arbeitshilfe Bodenluftsanierung“ des LUA NRW herangezogen [10]. Diese Orientierungswerte liefern eine Entscheidungsgrundlage für weitere Untersuchungen nicht zur Sanierungsnotwendigkeit.

Die BBodSchV enthält nur Vorschriften zur Probenahme und Analytik leichtflüchtiger Schadstoffe, jedoch keine Bewertungskriterien für den Pfad Boden-Luft. Das Umweltbundesamt hat jedoch auf Basis der Ableitungsmaßstäbe der BBodSchV für den Wirkungspfad Bodenluft-Raumluft-Mensch aus der gefahrenbezogenen Raumluftkonzentration (für Kleinkinder als sensibelste Nutzer) und

der Annahmen eines Transferfaktors Bodenluft-Raumluft von 1.000 Prüfwerte für den Boden im Hinblick auf das Schutzgut Mensch berechnet, die jedoch gegenüber einer Raumluftmessung mit Unsicherheiten behaftet sind [11]. Falls keine direkte Bestimmung der Raumluft-Gehalte möglich ist, können aus den Bodenprüfwerten Dringlichkeitswerte (gefahrenbezogene) bzw. Besorgniswerte für die Raumluft (ohne Gefahrenbezug) berechnet werden [11].

Zur Bewertung des Gefährdungspfades Boden-Grundwasser hat der Gesetzgeber in der BBodSchV Sickerwasserprüfwerte festgelegt. Diese Sickerwasserprüfwerte entsprechen den Geringfügigkeitsschwellen nach LAWA [12], bei deren Unterschreiten im und durch das Grundwasser keine relevanten ökotoxikologischen Wirkungen auftreten können. Bei höheren geogenen Hintergrundwerten im Grundwasser sind jedoch die Geringfügigkeitsschwellen und auch die Sickerwasserprüfwerte einzelfallbezogen festzulegen.

Bei Überschreiten der Sickerwasserprüfwerte im Kapillarraum (Übergang Boden-Grundwasser) soll eine Abschätzung der Schadstoffeinträge über das Sickerwasser erfolgen (Sickerwasserprognose), die bei Altlasten und Altstandorten mit ungleichmäßiger Schadstoffverteilung auch aus Rückschlüssen des Zustrom/Abstromvergleiches im Grundwasser erfolgen kann.

Darüber hinaus finden für die Einstufung des Belastungsgrades des Grundwassers auch die unteren und oberen Maßnahmenschwellenwerte nach LAWA [13] Anwendung.

Die Einstufung der Bodenfeststoffbelastungen aus Tiefen >0,6 m im Hinblick auf den Grundwasserschutz ist in erster Näherung nach den Zuordnungswerten für Reststoffe/Abfälle nach LAGA [14] bzw. nach Prüf- und Maßnahmenschwellenwerten nach LAWA für organischen Bodenbelastungen [13] zu erfolgen.

4.2 Bewertung des Gefährdungspotentials

Auf der Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse soll nachfolgend abgeschätzt werden, ob von dem freigesetzten Naphtha eine Gefährdung für relevante Schutzgüter ausgeht. Dabei ist nutzungsspezifisch zwischen Gewerbe-/Industrieflächen, Freizeitflächen und Wohngebieten zu unterscheiden. Für den Eintragsbereich am WP6 ist anzunehmen, dass die Fläche auch zukünftig als Gewerbefläche genutzt wird. Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze braucht dementsprechend hier nicht weiter betrachtet zu werden.

Schadstoffgehalte im Boden (nach BBodSchV gesamte ungesättigte Bodenzone einschließlich Oberboden) können außerdem über den Wirkungspfad Boden-Grundwasser zu einer Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser führen. In Bereich WP 6 erstrecken sich die Bodenbelastungen durch organische Schadstoffe bis in den GW-Leiter und haben über den Sickerwasserpfad zu einer massiven Kontamination des Grundwassers geführt.

Leichtflüchtige Schadstoffe können in erster Linie über den Wirkungspfad Boden-Raumluft-Mensch zu einer Gesundheitsgefährdung führen. Ein solches Gefährdungspotential geht von den Aromatengehalten für unterkellerte Wohnhäuser aus.

4.2.1 Wirkungspfad Boden – Mensch (gem. Anhang 2 Ziffer 1 BBodSchV)

Zur Risikoabschätzung für das Schutzgut menschliche Gesundheit sind nach der BBodSchV auf Industrie- und Gewerbeflächen sowie in Park- und Freizeitanlagen partikelgebundene Schadstoff-Belastungen, wie z.B. durch Schwermetalle oder PAK in den obersten 10 cm Boden maßgeblich. In Wohngebieten sind die oberen 35 cm maßgeblich. Im vorliegenden Fall kann jedoch für alle Nutzungsbereiche eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit über den direkten Wirkungspfad Boden-Mensch ausgeschlossen werden, da der Schadstoff-Eintrag über eine in ca. 3,50 m Tiefe verlegte Pipeline „Trasse Ost“ erfolgte, die organischen Schadstoffe zudem leicht flüchtig sind und kein Überschwemmungsgebiet besteht.

4.2.2 Wirkungspfad Bodenluft – Mensch

Zur Beurteilung der Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch schadstoffhaltige Gase sind im Wesentlichen folgende Aspekte von Bedeutung:

- das Potential (Menge, Zusammensetzung, Druck)
- mögliche Transportwege zu potentiell gefährdeten Objekten
- potentiell gefährdete Objekte oder Nutzungen

Bei den Bodenluftuntersuchungen wurden hauptsächlich im Verbreitungsgebiet der Naphtha-Phase erhöhte Aromatengehalte nachgewiesen, die auf Benzol und Toluol sowie niedrigsiedende Aliphaten beruhen. Davon soll Benzol als toxischer Stoff näher bewertet werden. Hinzukommt, dass Benzol und Toluol ebenso wie niedrigsiedende Kohlenwasserstoffe einen relativ hohen Dampfdruck haben und die Aromaten im Vergleich zu Luft eine höhere Gasdichte ausweisen, so dass eine Tendenz zum Ausgasen vom Boden in die Atmosphäre besteht.

Im Hinblick auf den Wirkungspfad Bodenluft-Raumluft-Mensch ist festzustellen, dass im Randbereich der Kontamination Kellerräume unter den Wohnhäusern im Bereich der Godorfer Hauptstraße existieren. Die im Haus Godorfer Hauptstraße 24 durchgeführten Raumluft-Messungen belegen eine Einwirkung der Naphtha-belasteten Bodenluft. Bezüglich Benzol und Toluol ist jedoch zu konstatieren, dass der jeweilige Dringlichkeitswert für Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft nicht überschritten wird [11].

Dementsprechend sah auch das Gesundheitsamt der Stadt Köln keine Gefährdung. Für benachbarte Wohnhäuser ist von noch geringeren Raumluft-Belastungen auszugehen, da diese in weite-

rer Entfernung von der Phasenverbreitung liegen. Zu vorsorgenden Gefahrenabwehr im Randbereich der Bodenluftbelastung erfolgt jedoch im Bereich des Godorfer Hauptstraße 24 die Installation einer Bodenluftabsaugung.

4.2.3 Wirkungspfad Boden – Grundwasser (gem. Anhang 2 Ziffer 3 BBodSchV)

Zur Bewertung des Gefährdungspfad des Boden-Grundwasser stehen Bodenfeststoffwerte und Grundwasseranalysen zur Verfügung. Die Hauptkontaminanten sind Bestandteile des Naphtha: BTEX/TMB und niedrigsiedende aliphatische Kohlenwasserstoffe. Naphtha zeichnet sich durch eine vergleichbar hohe Viskosität wie Wasser aus. In der Literatur werden Wasserlöslichkeiten von ca. 150 mg/l angegeben [4].

Die BTEX sind bei Umgebungstemperaturen flüssig und besitzen eine hohe Wasserlöslichkeit bzw. Mobilität. In der ungesättigten Bodenzone reichern sich die BTEX auf Grund ihres hohen Dampfdrucks in der Bodenluft an.

Aus den Ergebnissen der Grundwasseruntersuchungen ist bekannt, dass bereits ein Grundwasserschaden eingetreten ist. Eine Beurteilung des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser nach den Prüfwerten für Sickerwasser nach BBodSchV erübrigt sich daher.

Schon an Hand der Verbreitung der aufschwimmenden Naphtha-Phase lässt sich belegen, dass durch die Leckage ein signifikanter Eintrag an BTEX und niedrig siedenden Aliphaten in das Grundwasser erfolgt ist. Dabei überschreiten die im Abstrom der Eintragsstelle gemessenen Konzentrationen an gelösten Schadstoffen die nach LAWA festgelegten Geringfügigkeitsschwellenwerte meist um mehrere Größenordnungen (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Gegenüberstellung der Geringfügigkeitsschwellenwerte [13] mit dem im Abstrom gemessenen Schadstoffkonzentrationen in GWM 16, GWM17 und GWM25

Parameter /	GFS [$\mu\text{g/l}$]	Schadstoffkonzentration [$\mu\text{g/l}$]		
		GWM16	GWM17	GWM25
Messstelle				
Datum		24.09.2015	08.09.2015	17.09.2015
Summe BTEX ohne	20	63,6	65,0	6.070
Benzol				
Benzol	1	4.200	320	9.800

GFS Geringfügigkeitsschwelle

Die aufschwimmende Phase stellt eine stetige Emissionsquelle für Belastungen des Aquifers durch lösliche Schadstoffe dar, wobei insbesondere der obere Teil des Grundwasserleiters belastet wird. Das natürliche Selbstreinigungspotential (Umsetzung der organischen Verbindungen

durch Mikroorganismen unter aeroben Bedingungen) hat somit kaum Auswirkungen, d.h. führt nur zu geringfügigen Schadstoffabnahmen im Verlauf der Fließstrecke.

Die Grundwassernutzung durch die ca. 200 m südwestlich liegende Brunnengalerie der Basell ist in jedem Fall gefährdet, zumal die Eintragsstelle an WP6 im Südwest gerichteten Zustrom der nördlichen Brunnen liegt. Kurzfristig kann sich bei Rheinhochwasser auch eine westliche Strömungsrichtung einstellen, welche zur Ausbreitung der Schadstofffahne bis zur ca. 120 – 150 m nach West entfernten Godorfer Hauptstraße geführt hat. Daher ist nach derzeitigem Kenntnisstand keine Gefährdung für andere Grundwassernutzer zu besorgen. Zudem ist generell ist eine Abnahme der Fahnausbreitung zu prognostizieren, da der Schadstoffeintrag ins Grundwasser schon seit Ende April unterbunden wurde und die Fahne im Entnahmebereich der Brauchwasser-Brunnen liegt.

Die aufschwimmende Phase drifftet, dem Grundwassergefälle folgend, ebenfalls auf die Brauchwasserbrunnen zu. Dabei fungiert der Rohrleitungstunnel als Sperr- und Leitwand. Durch Drosselung der Förderung an den Betriebsbrunnen, insbesondere beim Brunnen 1340, konnte bisher verhindert werden, dass Phase ins Förderwasser gelangt. Bei extremem Niedrigwasser (Grundwasserstand unter ca. 40,5 m NN in der Messstelle KBE) besteht die Gefahr, dass die Phase den Tunnel unterspült. Dabei würde sie jedoch nicht aus dem Entnahmebereich von SB02 oder den nördlichen Brunnen herausdriften, d.h. eine hydraulische Sicherung bleibt auch dann bestehen (Anlage 15, 16).

Die GW-Verunreinigung liegt außerhalb einer TW-Schutzzone und kann aufgrund der Brauchwasser-Förderung durch die Basell sich auch nicht weiter ausdehnen. Eine Gefährdung übergeordneter Schutzgüter (Mensch, Tier, Pflanze) in Folge der Grundwasserkontamination ist daher nach derzeitigem Kenntnisstand nicht zu besorgen.

5 Durchgeführte Erkundungen

5.1 Chronologie der durchgeführten Erkundungen

Zur Eingrenzung der Ausbreitung der Naphtha-Phase am WP6 und der sich ausgebildeten Schadstofffahne, die in enger Abstimmung mit der Behörde erfolgte, wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Boden
- Phase

- Bodenluft
- Grundwasser

Im Folgenden ist eine chronologische Auflistung der kurz- bis mittelfristig erfolgten Umsetzung der Maßnahmen zusammengestellt (Anlage 4/2).

Tabelle 5.1 Chronologische Auflistung der Maßnahmen unter Einbeziehung der Entscheidungsgrundlagen im Rahmen der orientierenden Erkundung bis zur Detailerkundung

Zeitraum	Maßnahme	Entscheidungsgrundlage
06.05.	Rammkernsondierungen RKS01, 02, 04, 05 (Fa. Tauw)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft und Naphtha-Phase
08.05.	Rammkernsondierungen RKS02, 03, 04, 06, 08 (Fa. Wagner)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft und Naphtha-Phase
26.05.+27.05.	Errichtung Messstellen GWM01, 05, 06, 08 (Fa. Siemetzki)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft, Naphtha-Phase und Schadstofffahne
29.05.	Rammkernsondierungen RKS09, 10, 11, 12 (Fa. Wagner)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft und Naphtha-Phase
06.07.	Rammkernsondierungen RKS13, 14, 15, 16 (Fa. Wagner)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft und Naphtha-Phase
20.07.-23.07., 24.07.-06.08.	Membran Interface Probe (MIP15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 32, 36) und tiefenabhängige Grundwasser- (AP16, 18, 20, 21, 25, 28, 32, 36, 39, 41) und Rammkernsondierungen (RKS17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 28) (Fa. Furgo)	Eingrenzung Ausbreitung Naphtha-Phase
27.07.+28.07	Rammkernsondierungen RKS29, 30, 31 (Fa. Wagner)	Eingrenzung Ausbreitung Bodenluft und Naphtha-Phase
03.08.-26.08. 03.09.-16.09.	Errichtung Messstellen GWM02a, 03, 04, 17, 18, 19, 20, 32, 39 und 21, 23, 25, 27 (Fa. van Dornick)	Eingrenzung Ausbreitung Naphtha-Phase und Schadstofffahne
12.08.2015	Erweiterung Untersuchungsgebiet nach Nord bis West (#1)	
10.08.-12.08., 12/13.08, 24/25.08.	Grundwassersondierungen an AP34, 35 (Fa. GEOTec), Errichtung von Messstellen GWM34, 35 (Fa. van Dornick)	Eingrenzung Naphtha-Phase und Schadstofffahne nach Nordwesten
17.08.	Errichtung Messstelle BL07, 42, 43, 44 (Fa. Wagner)	Sicherung Ausbreitung Bodenluft

Zeitraum	Maßnahme	Entscheidungsgrundlage
21.08.-28.08.	Errichtung Messstellen GWM09, 12, 14, 29 und BL02, 10, 11, 13 (Fa. Siemetzki)	Eingrenzung Bodenluft, Naphtha-Phase und Schadstoff-fahne nördlich der Grube WP6
27.08, 26.08.	Errichtung Messstellen GWM15, 16 (Fa. Siemetzki)	Eingrenzung Naphtha-Phase und Schadstofffahne nach Westen
25.08. und 08.09.	Errichtung Messstellen GWM37, 38 (Fa. van Dornick)	Eingrenzung Ausbreitung Naphtha-Phase nach Südwest mit Phasenschöpfung
21.09.	Fertigstellung des Sanierungsbrunnens WP6-SB01 (Fa. van Dornick)	Sicherung vor Abstrom aus dem Eintragsbereich
17.09.2015	Erweiterung Untersuchungsgebiet nach Nord bis West (#2)	
17.09.-23.09.	Errichtung Messstellen GWM45, 46, 47, 48 und 30	Eingrenzung Schadstofffahne nach Nordwesten und Osten
43.KW.	Errichtung Messstelle BL50 (Fa. Siemetzki)	Sicherung Ausbreitung Bodenluft
42./43.KW	Errichtung von Grundwassermessstellen GWM51-58 im Bereich WP4 und Brunnen 1340 und 1330 (Fa. van Dornick)	Eingrenzung Ausbreitung Naphtha-Phase nach Südwest mit Phasenschöpfung
44./45.KW	Errichtung einer Grundwassermessstelle GWM49 (Fa. van Dornick)	Eingrenzung Ausbreitung Naphtha-Phase nach Norden
44./45.KW	Errichtung des Sanierungsbrunnens WP4-SB02 (Fa. van Dornick)	Sicherung vor Abstrom Naphtha-Phase und Schadstoff-fahne

5.2 Geologie / Boden (RKS)

Im ersten Schritt wurden im Eintragsbereich (Wendepunkt WP6) 7 Rammkernsondierungen (RKS01-RKS08) niedergebracht [2].

Zur weiteren Eingrenzung erfolgte die Festlegung von 16 Ansatzpunkten (AP09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 25, 27, 28) nördlich bis südwestlich von Wendepunkt 6 in einem Radius von ca. 100 m nördlich des Tunnels, der eine Südwest – Nordost gerichtete Achse vom Wendepunkt WP4 zum Wendepunkt WP7 aufweist.

Des Weiteren wurden zur nördlichen Eingrenzung der Bodenluft und Naphtha-Phase an den Ansatzpunkten AP29, 30, 31 Probenahmen durchgeführt.

Die Durchführung der Rammkernsondierungen mit 50-60 mm Durchmesser erfolgte bis ca. 12,0 m Tiefe durch die Fa. Wagner und Fa. GEOTec an den in der Tabelle 5.1 aufgeführten Tagen.

5.3 Membran Interface Probe - Sondierungen (MIP)

Im Zeitraum vom 20.07.2015 bis 06.08.2015 wurden insgesamt 13 MIP-Sondierungen an den Ansatzpunkten 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 27, 28, 32 und 36 bis in Tiefen zwischen 8,0 m bis 14,5 m unter GOK abgeteuft (Anlage 2/2). Die zugehörigen Profile befinden sich in Anlage 5.

Die MIP-Sondiertechnik erlaubt eine halbquantitative Bestimmung von Schadstoffen in einem kontinuierlichen Tiefenprofil. Mit einer an der Spitze des Sondiergestänges befindlichen Spezialsonde wird der Boden bis ca. 125 °C erhitzt und die verdampfbaren Verbindungen mobilisiert und über die Membran in einem Trägergas verteilt, welches über ein Kapillarschlauchsystem zum Detektor (PID, FID, DELCD) transportiert wird. Die Ausgabe der Messdaten erfolgt direkt vor Ort und ermöglicht in Kombination der verschiedenen Detektoren und der Messung des Leitfähigkeitsprofils des Bodens eine Identifikation von Phasenkörpern sowie eine tiefenabhängige Erfassung der Schadstoffverteilung.

Im Photo-Ionisations-Detektor (PID) werden die meisten aromatischen Verbindungen (Benzol, Toluol, Xylol etc.) und zahlreiche andere Verbindungen (H₂S, Hexan, Ethanol, CKW) detektiert.

Der Flammen-Ionisations-Detektor (FID) detektiert Moleküle mit einer C-H Bindung, jedoch nicht oder nur eingeschränkt Verbindungen wie H₂S, CCl₄ oder NH₃.

Die „Electrolytic Conductivity“ (EC) erfasst die Leitfähigkeit im Medium, so dass mit Anstieg der Messwerte die Grundwasseroberfläche detektiert wird.

5.4 Raumluf

Aufgrund von Beschwerden der Bewohner im Haus Godorfer Hauptstr. 24 führte die Fa. Tauw am 17.08.2015 erstmals eine Raumlufbeprobung in diesem Haus in den Räumen Keller, Wohnzimmer, FlurEG und Flur OG.

Eine zweite Beprobung der Raumluf wurde durch die Fa. Tauw am 04.09.2015 in den Räumen Keller und FlurOG und in ca. 2 m Entfernung zum Gebäude (Bez. Hof24) vorgenommen.

5.5 Bodenluf

Ergänzend zur Durchführung der Rammkernsondierungen erfolgte durch die Fa. Wagner an den Ansatzpunkten AP13, 14, 15 und 16 am 06.07.2015, an den AP29, 30 und 31 am 27.+28.07.2015 und an den AP07, 42, 43 und 44 am 18.08.2015 die Probenahme der Bodenluf.

Darüber hinaus wurden die Bodenluft am 27.08. und 03.09.2015 durch die Fa. Wagner unter Einbeziehung der neu errichteten Messstellen im Eintragsbereich entnommen.

Des Weiteren führte die Fa. Tauw am 01.09.2015 an den Messstellen GWM15 und 16 die Probenahme der Bodenluft und in der Luft der Umgebung dieser beiden Messstellen (Bez. Luft2420) eine Probenahme durch.

5.6 Grundwasser

Zwecks Eingrenzung der Naphtha-Phase und zur Ermittlung der Schadstoffausbreitung wurden 10 tiefenabhängige Grundwasserproben (Grundwassersondierungen) im Bereich der Grundwasseroberfläche und ca. 2,0 m darunter durch die Fa. Fugro an den Ansatzpunkten der MIP-Sondierungen (AP16, 18, 20, 21, 25, 28, 32, 36, 39, 41) in der Zeit vom 20.07.2015 bis 06.08.2015 durchgeführt.

Aufgrund der Ergebnisse der MIP- und Grundwasser-Sondierungen wurden zur regelmäßigen Überwachung der Naphtha-Phase und der Schadstoffahme weitere Grundwassermessstellen errichtet und in das Monitoringprogramm überführt.

Das regelmäßige Grundwassermonitoring mit der Entnahme von Pumpproben erfolgt seit Feststellen der Naphtha-Phase am 23.04.2015 an der Messstelle GWMS1Neu in den bestehenden Messstellen im Bereich des WP6 und unter Hinzuführen der neu errichteten Messstellen im abgestimmten wöchentlichen, 14tägigen und monatlichen Turnus (Anlage 4/3).

Der Untersuchungsumfang bezieht sich auf die Bestimmung der Mineralölkohlenwasserstoffe (KW10-40), die aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTEX/TMB) und die Siedebereiche. Für die in Summe in der Naphtha-Phase vorkommenden Kohlenwasserstoffe - insbesondere die leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe <C6 erfolgt die Bestimmung der drei Siedebereiche in 0-50°C, 50-150°C und 150-200°C.

An den Grundwassermessstellen im Ausbreitungsgebiet der aufschwimmenden Naphtha-Phase wird die Phasenstärke 2mal pro Woche gemessen.

6 Ergebnisse Erkundungen

6.1 Geologie / Hydrogeologie

Mit Ausnahme der Sedimente der Bohrung zur Errichtung des Sanierungsbrunnen SB01, liegen zur Lithologie die Ergebnisse der Sondierungen und Grundwassermessstellen bis ca. 15 m Tiefe vor (Anlage 17 und 18). Im Untersuchungsgebiet werden Bereiche der Auffüllung zwischen 0,4-0,8 m Tiefe von einem ca. 1,6-4,8 m mächtigen sandigen Schluffhorizont (Auen- und Hochflut-sedimente, Tiefe zwischen 0,8-4,8 m u.GOK) unterlagert. Der Grundwasserleiter wird im Eintragsort an WP6 von bis zu ca. 25 m mächtigen Kiesen und Sanden gebildet, die im Pleistozän als Mittel- und Niederterrasse vom Rhein abgelagert wurden (Anlage 18). Die Aquiferbasis bilden tonige, schluffige und feinsandige Sedimente des Tertiärs, die auch Reste von Holz aufweisen.

Das Grundwasser bewegt sich überwiegend im freien Porenraum (ungespannter Aquifer).

Die Ergebnisse des Untergrundaufbaus sind in den Vertikalprofilen A-F dargestellt (Anlage 05).

6.2 Ergebnisse Bodenuntersuchungen

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen sind für die Parameter Mineralölkohlenwasserstoffe (C10-C40), BTEX und Siedebereiche in den Vertikalprofilen A-F (Anlage 05).

Die MKW-Gehalte liegen mit Ausnahme der beiden folgenden Bereiche unterhalb der Bestimmungsgrenze von 40 mg/kg:

- Am Ansatzpunkt GWM15 westlich der Industriestraße L300 wurden in der ungesättigten Zone in ca. 5,0-5,3 m Tiefe erhöhte MKW-Gehalte von 2.800 bis 4.600 mg/kg gemessen (Profile A-A'- und F-F'). Die GWM15 befindet sich im Bereich einer ehemaligen Abwassergrube, welche vermutlich ab den 60iger Jahren verfüllt wurde. Nachfolgende Boden- und Bodenluftuntersuchungen haben keine Gefährdung für den Emissionspfad Bodenluft – Luft definiert [5].
- An den Ansatzpunkten GWM03 und GWM04 an WP6 wurden in ca. 10 m Tiefe MKW-Werte mit ca. 1.800 mg/kg und zwischen 7 bis 12 m Tiefe MKW-Werte zwischen 530 bis 2.400 mg/kg gemessen. Die Ansatzpunkte befinden sich unmittelbar nördlich und südlich des Tunnels, der zwischen dem WP4 und WP7 verläuft. Im Rahmen des Tunnelbaus 2008 wurde dieser Bereich durchbohrt. Der im Bereich der GWM03 und 04 nachgewiesene MKW-Schaden wurde auf den Schaden an Leitung 16 zurückgeführt [6].

Die höchsten Gehalte sind für BTEX und die Siedebereiche mit Werten zwischen 11-254 mg/kg und zwischen 113-7.175 mg/kg im Bereich des Grundwasserspiegels zwischen 7 und 12 m u. GOK zu beobachten. Die Bodenwerte mit den höchsten BTEX-Gehalten weisen auch auf die höchsten Gehalte für den Parameter Siedebereiche hin.

Durch Korrelation der Bodengehalte und Erkenntnisse aus Errichtung der Grundwassermessstellen ist eine weitere Aussage zur Eingrenzung der Phase gegeben. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen verdeutlichen aufgrund der höchsten Werte im Bereich der Grundwasserspiegelschwankungen die Ausbreitung der Naphtha-Phase. Ob die Naphtha-Phase zusammenhängend (funikular) oder nicht zusammenhängend (residual) vorkommt, kann zurzeit abschließend nicht beurteilt werden.

6.3 Ergebnisse Phase – Eingrenzung der Phase

Membran-Interface-Probe

Anhand der Ergebnisse der MIP-Sondierung konnte eine erste Abschätzung der Ausbreitung der Naphtha-Phase getroffen werden. An sieben (AP17, 18, 19, 20, 21, 23 und 25) der insgesamt 13 Ansatzpunkten der MIP-Sondierung wurden in den PID-Profilen starke Signale über 1 V (entspricht ca. 1 ppm=1.000 µg/m³) detektiert, die deutliche Hinweise auf das Vorkommen der Phase gaben.

Auswertung: Anhand der MIP-Sondierungen konnte die Ausbreitung der Naphtha-Phase nach Norden und nach Westen erfolgen. Südlich der AP19 und 20 nach Südwesten in Richtung Grundwasserströmung konnte jedoch noch nicht vollständig eingegrenzt werden. Im Südwesten wurden aufgrund der PID-Signale an den AP19 und 20 Phasenstärken von 0,7 m vermutet.

Grundwassermessstellen

Mit Errichtung von derzeit 40 Grundwassermessstellen wurde die Ausbreitung der Phase verifiziert (Anlage 7). Die Entwicklung der Phasenstärke und eine tabellarische Übersicht der Ergebnisse ist in Anlage 10 dargestellt.

Nach Westen wurde in ca. 80 m Entfernung zum Eintragsort an WP6 noch eine Phase mit ca. 0,02 m erstmals am 01.09.2015 festgestellt werden (GWM18). An der ca. 100 m westlich vom Eintragsort gelegenen Messstelle GWM16 liegt keine Phase vor.

Nach Nordwesten und Norden wurde in der ca. 75 m zum Eintragsort entfernten GWM15 erstmals am 23.09.2015 ca. 0,01 m gemessen. An den ca. 115 m bzw. 135 m nordwestlich des Eintragsortes gelegenen GWM 34 und 35 und an der ca. 105 m nördlich gelegenen Messstelle GWM32 wurde keine Phase festgestellt.

Das Maximum der Naphtha-Phase hat sich vom WP6 nach Südwesten hin verlagert. Mit Fertigstellen der Messstellen wurden in der GWM37 am 02.09.2015 ca. 0,59 m und in der GWM38 am 08.09.2015 ca. 0,56 m aufschwimmende Phase gemessen. Diese beiden Messstellen werden in die laufende Phasenschöpfung (Standort B) einbezogen (Abschn. 7.1).

Aufgrund auffälliger Bodengehalte im Ansatzpunkt 30, der sich ca. 80 m östlich des Eintragsortes WP6 befindet, wurde dort eine weitere Grundwassermessstelle errichtet (GWM30). An dieser wurde am 07.10.2015 eine Phasenstärke von 0,06 m und am 12.10.2015 von 0,03 m gemessen. Die Eingrenzung der Phase nach Nordosten ist durch zusätzliche Errichtung von zwei Grundwassermessstellen vorgesehen.

6.4 Ergebnisse Bodenluftuntersuchungen

Die Verteilung der Bodenluftgehalte zeigt im Bereich des WP6 und bis ca. 100 m vom Eintragsort eine flächenhafte Ausbreitung. Die höchsten Gehalte an BTEX/TMB und der Siedebereiche treten in der Messstelle GWM01 mit ca. 1.670 mg/m³ und ca. 114.220 mg/m³ auf. Die Summe der BTEX/TMB ist im Wesentlichen durch den Leitparameter Benzol charakterisiert. Die Siedebereiche erfassen alle leichtflüchtigen organischen Verbindungen mit Siedebereichen zwischen 0-200°C. Den wesentlichen Anteil stellen Kohlenwasserstoffverbindungen mit den Siedebereiche zwischen 0-50 °C und 50-150°C dar. Hierzu zählen die kurzkettigen Kohlenwasserstoffe wie Butan und Pentan.

Ausgehend vom Eintragsort der Leitung 7 nehmen die Bodenluftgehalten in alle Richtungen für BTEX/TMB bis auf ca. zwischen 8 mg/m³ bis unterhalb der Bestimmungsgrenze ab.

Zur Unterbindung der weiteren Ausbreitung der Bodenluftgehalte wurde am 30.07.2015 eine Bodenluftabsaugung an drei Grundwassermessstellen in Betrieb genommen (Abschn. 7.2). Aufgrund der anhaltend hohen Bodenluftgehalte ist die Erweiterung der Bodenluftabsaugung ab Dezember 2015 durch eine leistungsfähigere, katalytische Abluftreinigung geplant.

6.5 Ergebnisse Grundwasseruntersuchungen

Die Eingrenzung der Benzol-Schadstofffahne konnte mit Errichtung der Messstellen wie folgte vorgenommen werden (Anlage 7):

In den ca. 315 m bzw. 335 m westlich des Eintragsortes gelegen Grundwassermessstellen GWM48 und GWM47 liegt die Benzolkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l.

In den ca. 240 m bzw. 350 m nordwestlich des Eintragsortes gelegen Grundwassermessstellen GWM45 und GWM46 liegt die Benzolkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l.

In den ca. 105 m nördlich des Eintragsortes gelegen Grundwassermessstelle GWM32 liegt die Benzolkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l.

In den ca. 80 m östlich des Eintragsortes gelegen Grundwassermessstelle GWM30 liegt die Benzolkonzentration bei ca. 32 µg/l. Eine abschließende Eingrenzung ist mit Errichtung zusätzlicher Messstellen nördlich des WP7 vorgesehen. In den ca. 260 m östlich des Eintragsortes befindlichen Messstellen CP3, CP4 und CP5 (WP9) und in der östlich des WP7 gelegenen Messstellen südlich des Tunnels WP7/5 liegt die Benzolkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l.

Die Entwicklung der BTEX-Konzentration und eine tabellarische Übersicht der Ergebnisse ist in Anlage 11 dargestellt.

6.6 Ergebnisse Hydraulik

6.6.1 Grundwasserströmung und Grundwasserdynamik

Um die lokale Grundwasserströmung festzustellen, wurden seit Juni 2015 im Rahmen des Monitorings 14tägig Stichtagsmessungen durchgeführt. Anhand der Grundwassergleichenpläne wird deutlich, dass für die seit Juni bestehenden Mittel- bis Niedrigwasserwasserstände des Rheins die Hauptströmung nach Südwest, in Richtung der Betriebsbrunnen, gerichtet ist. Bei hohen bzw. ansteigenden Wasserständen des Rheins ist eine stärker nach West bis Westnordwest ausgeprägte Strömungsrichtung zu erwarten.

Für Strömungsrichtungen zu Niedrig- und Mittelwasserständen des Rheins schwankt der hydraulische Gradient zwischen 1,4-2,9 ‰. Mit Anlaufen bzw. Durchgang von Hochwasserständen des Rheins ist eine Drehung der Grundwasserströmung von Südwest nach West verbunden, bei der mit höheren hydraulischen Gradienten zu rechnen ist (Anlage 12). Dies hat unmittelbaren Einfluss auf die Abstandsgeschwindigkeit, die im Bereich des WP6 im Durchschnitt (Strömungssituation Juni 2015) zwischen 0,8-1,3 m/d liegt.

Tabelle 6.1 Förderraten in den nördlichen Betriebsbrunnen und hydraulische Gradienten im Bereich WP6 und WP4

Datum	Förderraten					Hydraulischer Gradient [‰]	
	1340	1330	1320	1310	1300	WP6	WP4
23.06.2015 ^[2]	101	7	0	508	138	1,4 - 2,1	43 - 50
14.07.2015 ^[1]	102	1	0	399	278	1,9 - 1,9	20 - 25
06.08.2015 ^[1]	158	7	0	355	273	1,5 - 2,1	9 - 10
19.08.2015 ^[1]	250	200	0	350	270	2,1 - 2,4	15 - 20
02.09.2015 ^[1]	88	1	0	355	275	2,4 - 2,9	5 - 9
17.09.2015 ^[1]	74	11	0	355	125	1,9 - 2,1	5 - 11
30.09.2015 ^[1]	52	97	0	352	249	4,0 - 5,0	5 - 7

^[1] Niedrigwasser, ^[2] Mittelwasser

Der Rheinpegel variiert mit der Zeit sehr stark und weist hohe Schwankungsamplituden auf, die sich in den Grundwassermessstellen – je nach Entfernung zum Rhein - um wenige Stunden bis Tage verzögert in gedämpfter Form beobachten lassen (Anlage 13/2). Damit steuert die Dynamik des ca. 150 m östlich der Eintragsstelle an WP6 entfernten Rheins (Anlage 13) wesentlich die Strömungsrichtung, -gradienten und -geschwindigkeit im Grundwasserleiter.

6.6.2 Grundwassermodell

Der Tunnel ist für die gelösten Bestandteile keine Barriere und hat hydraulische auf die Grundwasserströmung keine messbare Auswirkungen.

Mit dem vorhandenen Grundwassermodell wurden verschiedene Entnahmeszenarien zur Sicherung und Sanierung der Naphtha-Phase und der im Wasser gelösten Schadstoffe gerechnet und die Wirksamkeit der geplanten Entnahmebrunnen (Standorte und Entnahmemengen) überprüft und optimiert.

Die hierfür erforderlichen Simulationen wurden mit dem für instationäre hydraulische Verhältnisse kalibrierten Grundwasserströmungsmodell durchgeführt. Der mit dem Modell erfasste und kalibrierte Zeitraum reicht von 01.11.1997 bis 31.12.2011. Eingangsdaten für dieses Modell sind u.a. die täglichen Wasserstände des Rheins, mindestens monatliche Entnahmemengen der Brunnen und monatliche Werte für die Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Der Zeitraum beinhaltet sowohl hohe als auch mittlere und niedrige Rhein- und Grundwasserstände in verschiedenen Abfolgen.

Auswertung stationäre Strömungszustände

Für die verschiedenen hydraulischen Situationen (Hoch-, Mittel- und Niedrigwassersituation) wurde jeweils ein repräsentatives Ereignis ausgewählt, für das die Strömungsrichtungen (als zeitlich stationäre Bahnlinien) und Grundwasserstände ausgewertet wurden.

Die Auswertungen der Bahnlinien zu verschiedenen Zeitpunkten und hydraulischen Situationen zeigen, dass bei länger andauernden niedrigen Grundwasserstände die Naphtha-Phase und die gelösten Schadstoffe mit den Sanierungsbrunnen SB01 und SB02 mit den Förderraten von 100 m³/h bzw. 130 m³/h erfasst werden (Anlage 15/1).

Bei länger andauernden mittleren Grundwasserständen und der dazugehörigen Strömungsrichtung werden das Schadenszentrum und die hochbelasteten Bereiche durch die Sanierungsbrunnen SB01 und SB02 mit den Förderraten von 100 m³/h bzw. 200 m³/h erfasst (Anlage 15/2) und somit ein weiteres Ausbreiten der Fahne unterbunden. Die bislang Richtung Nordwesten bis Südwesten abgedrifteten Belastungen von ca. 500 µg/l (Benzol-Konzentration in GWM35 und Bassell1) können aufgrund der Inbetriebnahme der Sanierungsbrunnen SB01 im Oktober 2015 und

SB02 im November 2015 sowie der notwendigen und unvorhergesehenen Reduzierung der Fördermenge am Brunnen 1340 weiter in Richtung der südwestlich gelegenen Betriebsbrunnen (1310, 1300) transportiert werden. Diese gering belasteten Wässer machen dort einen Anteil von ca. 15% der Fördermenge je Betriebsbrunnen aus und werden in diesen Brunnen mit Uferfiltrat stark verdünnt, so dass die Benzol-Werte dann im Bereich von etwa 75-100 µg/l liegen dürften. Ein natürlicher Abbau der Schadstoffe ist dabei unberücksichtigt.

Bei hohen Wasserständen bzw. steilen, Richtung West bis Westnordwest abfallenden Gradienten lässt sich ein Abstrom belasteten Grundwassers aus dem Eintragsbereich nach Westen/Nordwesten nur durch die beiden Brunnen SB01 und SB02 jedoch nicht verhindern (Anlage 15/3).

Auswertung instationäre Schadstoffausbreitung bei Hochwassersituation

Wie in Abbildung 6.1 dargestellt, während Hochwassersituationen bzw. die von der Hochwasserführung des Rheins verursachten steilen hydraulischen Gradienten nur kurzzeitig.

Anfang April 2015 konnte im Rhein ein starker Anstieg des Wasserstandes gemessen werden, gefolgt von einem Absinken auf etwa mittlere Wasserstände bis Ende April. Bis zum Herbst 2015 konnte eine für diese Jahreszeiten typische Abnahme der Rhein- und Grundwasserstände beobachtet werden. Ein ähnlicher Verlauf konnte für das Frühjahr 2001 beobachtet werden, wenn auch mit höheren Rhein-Wasserständen (Abbildung 6.1). Deshalb wurde für ein dem Hochwasserereignis folgender Zeitraum vom Tag 11 (31.03.2001 bzw. entsprechend 08.04.2015) an als Referenz – Simulationszeitraum gewählt.

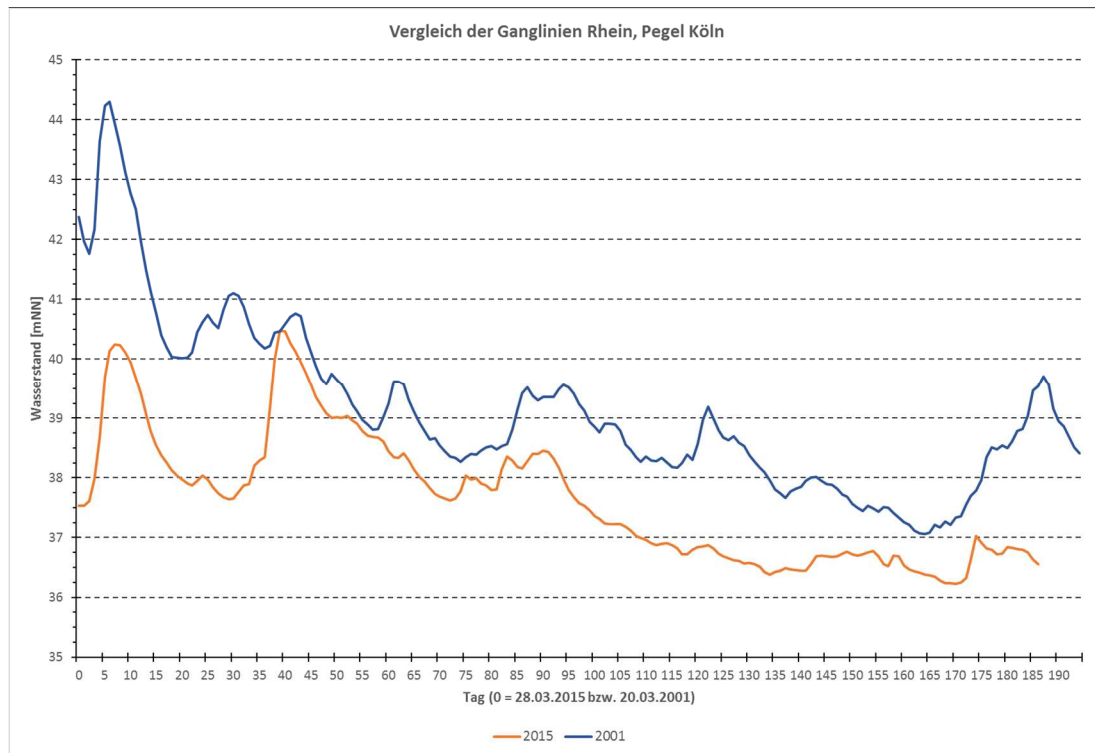


Abbildung 6.1 Vergleich Ganglinie des Rheins nach Hochwassersituation im instationären Modell (2001) und im aktuellen Zeitraum (2015)

Die Ausbreitung der Schadstoffe wurde vereinfachend anhand der Grundwasser - Strömungslinien (Bahnlinien), ohne Berücksichtigung von Dispersion und Sorption, ermittelt (Anlage 15/4). Startzeitpunkt war der 31.03.2001, nach „Hochwasserscheitelpunkt“ (entspricht der Situation am 08.04.2015). Der Partikeltransport beginnt an der Grenze der aktuellen Benzolfahne (Stand 30.09.2015).

Das Ergebnis zeigt zunächst eine Ausbreitung der Grundwasserbelastung um ca. 8 - 10 m je Tag (ohne Sorption) in westliche Richtungen. Bei einer durchgängigen Dauer dieser hydraulischen Situationen von etwa 10 bis 12 Tagen errechnet sich eine Fließlänge zwischen ca. 80 bis 120 m. Bei Rückgang der Wasserstände dreht die Grundwasserströmung dann wieder in südliche bis südwestliche Richtungen (Anlage 15/4). Die Schadstoffe erreichen die beiden nördlichen Brunnen 1340 und 1330 aus westlicher Richtung. Die Dauer des Transportes (ohne Sorption und ohne Förderung SB01 und SB02) bis zum Erreichen der Betriebsbrunnen liegt bei ca. 19 Tagen. Beides, sowohl das Erreichen der Brunnen als auch die Transportzeit, entspricht den Beobachtungen und kann die gemessene Ausbreitung der Schadstoffe erklären.

Die beobachtete Schadstoffausbreitung Richtung Norden kann allein mit der Hydraulik des Bereichs ab 08.04.2015 nicht schlüssig erklärt werden. Ursache hierfür könnte eine größere Ausbreitung einer, im Bereich der Eintragsstelle Anfangs einige Dezimeter mächtigen, Naphtha-Phase entgegen dem hydraulischen Gradienten sein.

7 Auswertung der bisher durchgeführten Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen

7.1 Phasenschöpfung

Die Phasenschöpfung erfolgt im Schadenszentrum und im Abstrom des Schadenszentrums über folgende Maßnahmen:

- Phasenschöpfung in Grundwassermessstellen im Zustrombereich der Sanierungsbrunnen WP6-SB01 und WP4-SB02
- Phasenschöpfung über einen Zwei-Phasen-Extraktionsbrunnen im Sanierungsbrunnen WP4-SB02 (ist in der Umsetzung)

Das Prinzip ist, mittels pneumatisch betriebener Unterwasserpumpen oder Druckluftmembranpumpe die aufschwimmende Naphtha-Phase zu fördern. Je nach Schichtdicke und Lage der Pumpe kann bei kurzzeitigen Grundwasserstandsänderungen die organische Phase alleine oder zusammen mit wässriger Phase gefördert werden.

Die pneumatische Pumpe besteht aus einem aus Edelstahl gefertigten und somit leitfähigem Rohr als Pumpenkörper, in den aufschwimmende Phase schwerkraftbedingt zufließt. Ist der Pumpenkörper mit Leichtphase gefüllt, wird über einen Schwimmer innerhalb des Pumpenkörpers der Phasenzufluss gestoppt. Der Inhalt wird über Druckluft aus einer externen Kompressoranlage verdrängt und in einen oberirdisch aufgestellten Sammelbehälter gefördert.

Die Druckluftmembranpumpe fördert in zwei Stufen. Die Druckluft, die hinter der Membran, welche je Stufe zwischen medium- bzw. luftberührte Membran wechselt, zugeführt wird, drückt das Medium aus der Pumpenkammer in Richtung Druckanschluss. Gleichzeitig wird durch die Anschlusswelle die Membran mitgenommen, wodurch die Ansaugung bewirkt wird.

Aufgrund der flächigen Ausbreitung der Naphtha-Phase erfolgt die Phasenschöpfung an mehreren Standorten, die im Folgenden erläutert werden (Anlage 4).

Standort A (WP6)

Die Phasenschöpfung erfolgt in ca. 2,0 m und ca. 6,0 m Entfernung zum Sanierungsbrunnen SB01 an drei Grundwassermessstellen GWMS1Neu, GWM02a und GWM03. Die Förderung erfolgt in einen 20 m³ Sammelntank. Es ist vorgesehen zwei weitere Phasenpumpen in ca. 18 und ca. 24 m Entfernung zum Sanierungsbrunnen an den Messstellen GWM01 und GWM09 zu installieren.

Standort B (WP4)

Am Standort B wird in der Messstelle GWM38 die sich ca. 7 m nördlich des Betriebsbrunnens 1340 befindet in einen 20 m³ Sammelntank gefördert. Erweiterungen sind hinsichtlich des neuen Zwei-Phasen-Extraktionsbrunnens SB02 und der folgenden Messstellen vorgesehen: Brunnen 1340, GWM53, GWM54 und GWM55.

Standort C (WP4)

Die Phasenschöpfung ist an zwei Messstellen GWM20 und GWM19 ca. 100 m in südwestliche Richtung vom Eintragsort entfernt nördlich des Tunnels installiert. Die Förderung erfolgt in einen 1 m³ Sammelntank.

Standort D

Die Phasenschöpfung ist an zwei Messstellen GWM17 und GWM18 in ca. 80 m westlich vom Eintragsort entfernt installiert. Die Förderung erfolgt in einen ca. 1 m³ Sammelntank.

Die Phasenschöpfung ist erstmals am 18.06.2015 in Betrieb gegangen und wurde sukzessive dem Untersuchungsstand folgend erweitert. Die seit dem 18.06.2015 zurückgewonnen Menge an Naphtha-Phase-Wasser-Gemisch beträgt ca. 210 m³ (Anlage 4, Abbildung 7.1).

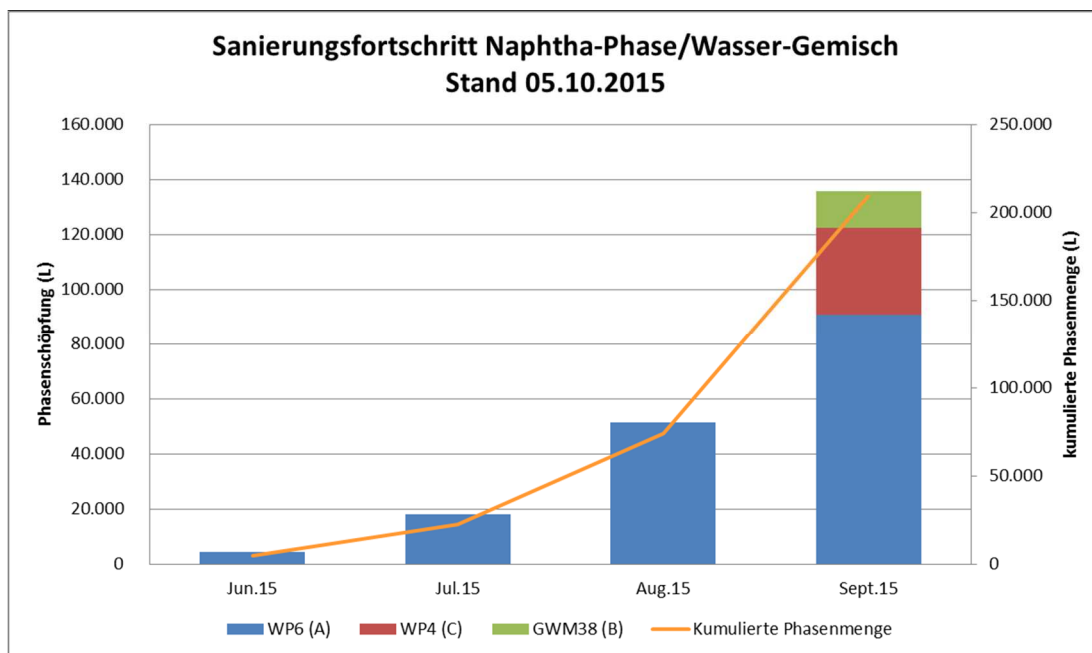


Abbildung 7.1 Sanierungsfortschritt zurückgewonnenes Naphtha-Phasen/Wasser-Gemisch [Angabe in L], Stand 05.10.2015

7.2 Bodenluftabsaugung

Im Rahmen des Betriebes der Bodenluftabsaugung saugt ein Verdichter über eine elektrisch leitende HDPE-Leitung aus einem bzw. drei Grundwassermessstellen die Bodenluft ab. Die angesaugte Luft wird über einen Wasserabscheider geführt, bevor sie den Verdichter durchströmt. Mit einer Saugleistung von ca. 100 m³/h wird im Porenraum der ungesättigten Zone ein Unterdruck erzeugt. Dadurch entstehen Gasströmungen, die entsprechend des Druckgradienten auf den Absaugpegel gerichtet sind. Durch den Luftstrom wird die mit leichtflüchtigen organischen Verbindungen beladene Bodenluft aus dem Porenraum befördert und es strömt ständig nicht oder geringer belastete Bodenluft in den Sanierungsbereich. Die Durchspülung der Kontaminationszone mit „Frischluff“ führt, hervorgerufen durch die Änderung der Gleichgewichtsverhältnisse zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen (flüssig/gasförmig), zu einer „erzwungenen Verdampfung“. Zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes wird infolgedessen ständig Gas aus der flüssigen Naphtha-Phase nachgebildet. Der Schadstoffaustrag erfolgt im Wesentlichen durch folgende Prozesse:

- Stoffübergang von der freien und der sorbierten Naphtha-Phase in die Dampfphase
- Stoffübergang von den im Haft- und Grundwasser gelösten leichtflüchtigen organischen Verbindungen in die Dampfphase

Aufgrund des hohen Dampfdruckes von > 10.000 Pa zählen die in der Naphtha-Phase festgestellten Hauptkomponenten der aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffverbindungen zu den Verbindungen, die durch Bodenluftabsaugung gut bis sehr gut erfassbar sind.

Die Bodenluftabsaugung wird an WP6 an drei Messstellen GWM05, 06 und 08 seit dem 30.07.2015 betrieben. Unter Einhaltung der unteren Explosionsgrenze (UEG) wird vor Einleitung in die in Reihe geschalteten Luftaktivkohle-Filter (Arbeits- und Polizeifilter) Frischluft hinzugegeben, so dass im Durchschnitt eine Durchflussrate zwischen ca. 8 bis 55 m^3/h gegeben ist (Anlage 9/2).

Die Entwicklung der BTEX/TMB-Gehalte und der Siedebereiche in der Bodenluft ist in Anlage 9/1 dargestellt. Zur Ermittlung der Ergiebigkeit erfolgte vom 30.07.2015 bis 20.08.2015 die Bodenluftabsaugung an jeder einzelnen Messstelle (Anlage 9/2). Die höchsten Werte wurden während dieses Zeitraums an der Messstelle GWM05 für Benzol zwischen ca. 21-71 mg/m^3 und für Siedebereiche mit ca. 69.900-153.000 mg/m^3 beobachtet (Anlage 9/1).

Ab dem 20.08.2015 erfolgte die Umstellung auf Intervallbetrieb, d.h. alle 15 min erfolgt ein Wechseln der Absaugung zwischen den drei Messstellen. Im Zeitraum des Intervallbetriebes weist die GWM08 die höchsten Gehalte an BTEX/TMB und Siedebereichen mit bis zu ca. 0,5 g/m^3 und ca. 377 g/m^3 auf. Die Entwicklung der Bodenluftgehalte an den Messstellen ist in der Anlage 9/1 dargestellt.

Zur Reichweitenbestimmung der Bodenluftabsaugung wurden die Luftströmungen in den umliegenden Grundwassermessstellen und Bodenluftpegeln mittels Rauchgasprüfrohre kontrolliert. Es konnte eine Reichweite von ca. 20 m ermittelt werden.

Um die Effektivität der Bodenluftabsaugung zu überprüfen, wurden die ausgetragenen Schadstoffmengen bilanziert. Die Überprüfung der Auswirkungen zur Maßnahme erfolgt im regelmäßigen Monitoring.

Durch Multiplikation der Schadstoffkonzentration mit dem geförderten Bodenluftvolumenstrom wurden die zurückgewonnenen Schadstoffmengen berechnet. Die Summe der zurückgewonnenen leichtflüchtigen organischen Kohlenwasserstoffe beträgt pro Monat ca. 2.000 kg. In Summe wurden vom 30.07.2015 bis 30.09.2015 ca. 4.400 kg (entspricht bei der Dichte von Naphtha 679,4 kg/m^3 ca. 6,5 m^3) der leichtflüchtigen organischen Verbindungen zurückgewonnen (Anlage 4, Abbildung 7.2).

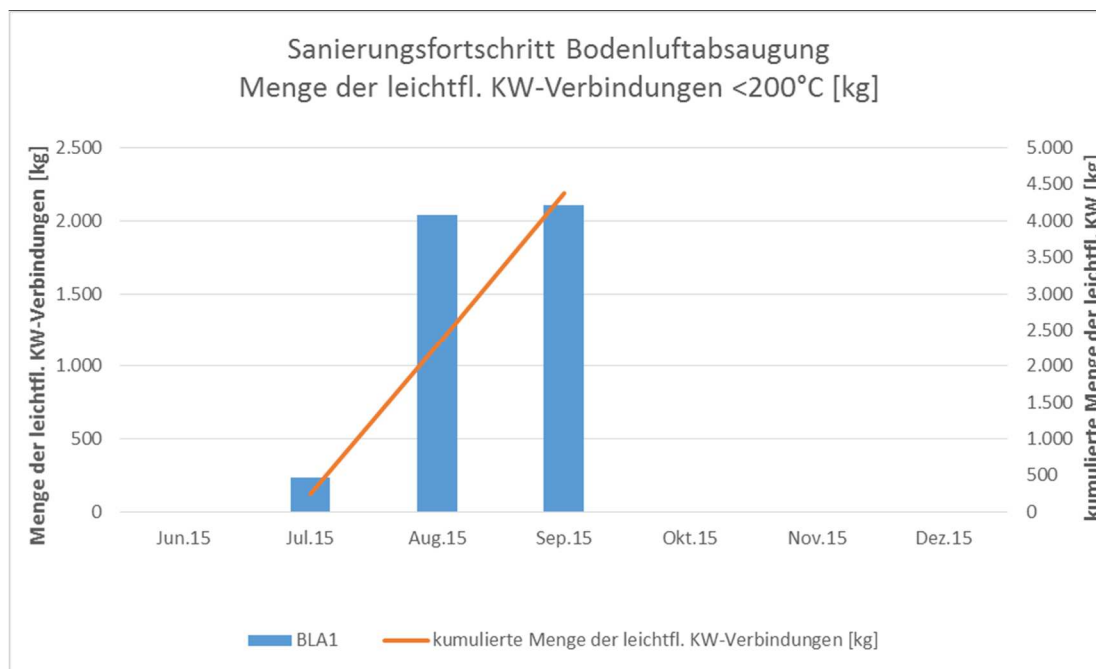


Abbildung 7.2 Sanierungsfortschritt Bodenluftabsaugung der zurückgewonnenen Menge an leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffverbindungen mit Siedebereichen bis 200 °C [Angabe in kg], Stand 30.09.2015

Zur Sicherung und Abwehr von Gefahren im Bereich von Wohngebäuden wird an der Messstelle GWM16 und BL50 eine zweite Bodenluftabsaugung installiert.

7.3 Grundwassersanierung mit anschließender Reinigung in Aktivkohleanlage

Im Rahmen des Naphtha-Schadens an WP6 sind auf dem Werksgelände der Basell Polyolefine GmbH zwei Anlagen zur Grundwasseraufbereitung vorgesehen:

- Standort A508 – Betriebsbrunnen 1340/1330 und WP4-SB02
- Standort A443 – Sanierungsbrunnen WP6-SB01

Das kontaminierte Grundwasser wird über die Brunnen, die sich im Schadenszentrum an WP6 (SB01) bzw. im Abstrom des Schadensherdes an WP4 (SB02) befinden und den Betriebsbrunnen 1340/1330 an die Oberfläche gefördert, wo anschließend in einer Aktivkohlebehandlungsanlage die Elimination der Schadstoffe erfolgt. Eine semi-mobile 2-straßige Wasseraktivkohlefilteranlage, bestehend aus 4 Adsorbieren mit 2 parallel betriebenen zweistufigen Filteranlagen mit einem Durchsatz von jeweils ca. 50 m³/h, ist je Standort zur Entfernung gelöster Kohlenwasserstoffe vorgesehen. Nach der Reinigungsanlage erfolgt die Ableitung in den Rhein.

Die Inbetriebnahme der Wasseraktivkohleanlage am Standort A508 erfolgte am 14.10.2015 mit einem Volumenstrom von ca. 100 m³/h aus den Brunnen 1330.

Die Inbetriebnahme der Wasseraktivkohleanlage am Standort A443 ist in der 43.KW mit einem Volumenstrom von ca. 100 m³/h aus dem Sanierungsbrunnen WP6-SB01 geplant.

8 Historie der hydraulischen Sicherungs- und Abwehrmaßnahmen

Vor Eintreten des Naphtha-Schadens am WP6 erfolgte an der nördlichen Brunnengruppe der Betriebsbrunnen der Basell Polyolefine GmbH (1340, 1330 und 1320) die Förderung von summa-
risch ca. 450 m³/h. Diese wurde nach Feststellen des eingetretenen Naphtha-Schadens am WP6 am 23.04.2015 und mit Beobachtung der Zunahme der Benzol-Konzentrationen am nördlichsten Betriebsbrunnen 1340 von ca. 260 µg/l am 05.05.2015 auf 2.000 µg/l am 18.05.2015 am 19.05.2015 eingestellt. Aufgrund der begrenzten Reinigungsleistung der Kläranlage wurde die Förderung mit zunächst 100 m³/h am 20.05.2015 wiederaufgenommen. Nach Überprüfung der Leistungskapazität der Kläranlage wurde die Förderleistung bis zum 31.07.2015 auf ca. 150 m³/h erhöht.

Mit Reduzierung der Förderung an der nördlichen Brunnengruppe von ca. 450 m³/h - ab 19.05.2015 zunächst auf ca. 100 m³/h und ab 16.07.2015 um sukzessive Erhöhung bis 31.07.2015 - auf ca. 150 m³/h bleibt bei den im April vorherrschend mittleren Wasserständen die Grundwasserströmung vom Wendepunkt WP6 ausgehend nach Südwest bestehen. Jedoch aufgrund des verringerten Einzugsgebietes des Brunnens 1340 im Vergleich zur Gesamtförderung der nördlichen Brunnengruppe erfolgt der Abstrom belasteten Grundwassers über einen weiter nach West-Südwest verlaufenden Strömungspfad [Tauw 19.06.2015], der dann in den südlichen Betriebsbrunnen der Gesamtbrunnengalerie gefasst wird.

Mit dem Ziel, eine weitere west-südwestlich orientierte Verlagerung der gelösten Kohlenwasserstoffe zu verhindern, sollte mit Inbetriebnahme zusätzlicher Reinigungskapazitäten die ursprüngliche Förderung von ca. 450 m³/h an der nördlichen Brunnengruppe wieder aufgenommen werden. Der Erhöhung auf die ursprüngliche Förderung in den Brunnen 1340 auf ca. 250 m³/h und in 1330 auf ca. 200 m³/h wurde unter Berücksichtigung maximaler Benzolkonzentration im Gesamtablauf der Brunnengalerie (Mischungsbetrachtung) bis Ende August 2015 durch die genehmigende Behörde stattgegeben, so dass ab 17.08.2015 die ursprüngliche Förderung in der nördlichen Brunnengruppe realisiert werden konnte.

Aufgrund stark ansteigender CSB-Werte musste die Förderleistung des Brunnens 1340 am 19.08.2015 auf ca. 150 m³/h und am 13.09.2015 auf ca. 50 m³/h reduziert werden. Die Überprüfung der eingangs vorausgesetzten Leistung des Betriebsbrunnens 1340 ließ die im Rahmen des hydraulischen Konzepts – aufgrund seiner ursprünglich erzielten Förderleistung - für diesen Brunnen vorgesehene Funktion als Abwehrbrunnen (auch Möglichkeit einer Phasenschöpfung) nicht aufrechterhalten. Nach Überprüfung der hydraulischen Funktionsweise (stufenweiser Kurzpumpversuch am 24.09.2015) des ca. 35 m südlich gelegenen Brunnens 1330 konnte dieser ab 24.09.2015 kurzfristig die vorgesehene Abwehrfunktion des 1340 übernehmen.

Seit Mitte Juni / Anfang Juli 2015 erfolgte die Planung zur Errichtung eines Sanierungsbrunnens im Eintragsbereich **WP6-SB01** unter folgenden Anforderungen:

- Verhindern des Abstoms belasteten Wassers aus dem Eintragsbereich (Anhörung Stadt Köln vom 17.06.2015) und
- Unterstützung der seit 18.06.2015 laufenden Phasenschöpfung an der Messstelle GWMS1Neu, an welcher am 23.04.2015 erstmals die Phasenstärke von ca. 0,71 m beobachtet wurde und an weiteren noch zu errichtenden Messstellen am WP6.

Aufgrund der geringen Leistungsfähigkeit des nördlichsten Brunnen 1340 und der Eingrenzung der Phase erfolgte seit dem 24.09.2015 die Planung zur Errichtung eines zweiten Sanierungsbrunnens **WP4-SB02** nördlich des Wendepunkt WP4.

Im Rahmen der Planungen zur unverzüglichen Erhöhung der Förderleistung an der nördlichen Brunnengruppe und der Errichtung eines Sanierungsbrunnens im Bereich der Eintragsortes WP6 erfolgte seit Ende Juni 2015 die Überprüfung alternativer Einleitung kaum bzw. gering belasteten, phasenfremen Wasser.

Da im Bereich des Eintragsortes keine Einleitmöglichkeiten zur Aufnahme kontaminierten Wassers bestanden, wurden die folgenden Einleitstellen unter Berücksichtigung der Vorgaben zur Einleitung gering belasteten, phasenfrem geförderten Wassers überprüft:

- Einleitung in Straßenablauf der Landesbetrieb Straßenbau NRW
- Einleitung über Bodeneinlässe auf dem Gelände der Fa. Alpha Compound zur Kläranlage der Häfen und Güterverkehr Köln AG (HGK)
- Einleitung über eine bestehende und als geeignet geprüfte Leitung der Basell Polyolefine GmbH in der „Trasse Ost“

Die Variante der Reinigung kontaminierten Wassers im Bereich des WP6 und anschließender Einleitung in den Rhein wurde erörtert, jedoch aufgrund der zu erwartenden Betriebsdauer und der damit verbundenen Standzeit auf dem Fremdgelände der Häfen und Güterverkehr Köln AG

(HGK) nicht weiter verfolgt. Außerdem hätte die dortige Errichtung der Anlage keine Zeitersparnis mit sich gebracht.

Von den genannten Möglichkeiten stellte sich die Ableitung des geförderten Wassers über die Leitung 2 auf das Gelände der Basell Polyolefine GmbH mit anschließender Reinigung als kurz- bis mittelfristig umzusetzende Maßnahme heraus. Neben der Planung der Ableitung des über Leitung 2 auf das Gelände der Basell Polyolefine GmbH geförderten – wie auch immer beschaffenen - Wassers zu einer mobilen bzw. stationären Anlage wurden auch die folgenden Möglichkeiten zur Ableitung aus dem WP6 überprüft:

- Ableiten vom WP6, Zwischenspeichern in Tank 406 und sukzessive Reinigung über Kläranlage
- Ableiten vom WP6 und Einleiten mit dem Wasser der Betriebsbrunnen über nicht behandelungsbedürftigen Wassers (nbba) in den Rhein

9 Sanierungskonzept

Das vorliegende Konzept zu hydraulischen Sicherungs- und Abwehrmaßnahmen umfasst die Abschöpfung der aufschwimmenden Naphtha-Phase als auch die Sicherung der Fahne an gelösten Kohlenwasserstoffen (Schadstofffahne). Es wurde dem Stand der Untersuchungsergebnisse entsprechend angepasst und fortschreitend weiter entwickelt.

Ziel des Sanierungs-/Sicherungskonzeptes ist die vollständige Entfernung der eingetragenen Naphtha-Menge aus dem Untergrund sowie die Sicherung der Betriebsbrunnen gegen einen Zustrom von belastetem Wasser. Die Sicherung muss dabei bei jeder hydraulischen Situation (Hoch-, Mittel-, Niedrigwasser) gegeben sein.

9.1 Phasen-Extraktion

Der Prozess der Phasenausbreitung erfolgt generell nach drei Prinzipien, die je nach Betrachtungs- und Zeitskala unterschiedliche Relevanz besitzen:

- Ausbreitung in Richtung und Geschwindigkeit entsprechend dem hydraulischen Gradienten. Die der Grundwasseroberfläche aufschwimmende Naphtha-Phase folgt den variierenden Grundwasserströmungsrichtungen durch die etwas geringere Viskosität etwas retardiert. Makroskaliger Effekt.
- Ausbreitung der Phase aufgrund der unterschiedlichen Phasenmächtigkeit. Die Anfangs am Eintragsort größere Phasenmächtigkeit führt zu einer Ausbreitung/Verteilung der Phase in

alle Richtungen (Potentialausgleich innerhalb der Naphtha-Phase). Dieser Effekt ist im mesoskaligen Bereich, um auch im weiteren Umfeld des Eintragsortes zu beobachten.

- Bevorzugte Ausbreitung der Phase in gut durchlässigen Bodenbereichen bzw. Umgehung von geringer durchlässigen oder undurchlässigen Bereichen. Dieser Effekt kann in der Regel nur im mikro- bis mesoskaligen Bereich messbar erfasst werden. Ausnahme bildet hier der oben beschriebene Tunnel, der eine Barriere für die Ausbreitung der Naphtha-Phase in südliche und östliche Richtung darstellt.

Ausgangssituation und Randbedingungen zur Naphtha-Phasen-Extraktion:

- Die Naphtha-Phase besitzt eine mit Wasser ($1,002 \text{ mm}^2/\text{s}$ bei 20°C , 1 bar) vergleichbare Viskosität von $1,0 \text{ mm}^2/\text{s}$ (bei 20°C)
- Trotz geringem hydraulischen Gradienten von ca. 0,002 erfolgt eine Verlagerung der Phase von der Eintragsstelle an WP6 bis zum Brunnen 1340
- Erkenntnisse aus vergleichbarem Schadensfall in Schwedt/Oder, dass in Fein- bis Mittelsanden bei hydraulischem Gradient von 0,0017 die Naphtha-Phase mobilisierbar ist [4]
- Der Tunnel besitzt auf die Ausbreitung der Phase eine Barrierewirkung
- Die Eingrenzung der Naphtha-Phase ist erfolgt.

Bei der Rückgewinnung der Naphtha-Phase (Phase) sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- Die Phase darf nicht in den Brunnen 1330 oder in weiter südlich gelegene Brauchwasserbrunnen gelangen.
- Die Kläranlage und auch die Aktivkohle-Anlagen dürfen nicht mit Phase belastet werden.
- Aus dem nördlichen Betriebsbrunnen 1340 soll die Phase möglichst schnell entfernt werden.

Das hydraulische Konzept sieht sowohl die lokale Phasenschöpfung in belasteten Grundwassermessstellen als auch die flächenhafte Erfassung der Phase in Absenktrichtern der Brunnen SB01, SB02, 1340 und 1330 vor und wird aktuell in drei Bereichen (Standorte A, B und C, siehe Anlage 4) ausgeführt (Abschn. 7.1). Die Phasenschöpfung basiert darauf, dass die aufschwimmende Phase sehr mobil ist und über Skimmersysteme gefördert wird. Aufgrund der sich ändernden Tiefenlage der Phase, erfolgt 2-3mal pro Woche eine manuelle Justierung der Phasenpumpen. Um die regelmäßig erforderliche Pumpenjustierung zu optimieren, werden an den Standorten B und C Skimmersysteme mit automatischer Justierung getestet und eingesetzt.

9.2 Sanierungskonzept Bodenluft

Die Sanierung der ungesättigten Bodenzone unterstützt die Phasen-Extraktion.

Aktuell erfolgt am Eintragsort die Bodenluftabsaugung über der Messstellen GWM05, GWM06 und GWM08. Diese wird ab Dezember 2015 durch die Errichtung einer katalytischen Abluftreinigungs-Anlage (KatOX) um weitere Messstellen im Eintragsgebiet erweitert.

Des Weiteren ist zur Abwehr von Immission über die Bodenluft in Wohngebäude die Errichtung einer Bodenluftabsauganlage im Bereich der Messstelle GWM16 und BL50 in der Umsetzung.

9.3 Hydraulische Sicherung Grundwasserschaden

Im nördlichen Bereich des Werksgeländes (WP4) herrscht überwiegend eine nach Südsüdwesten bis Südwesten gerichtete Grundwasserströmung mit Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 5 m/d vor. Lediglich bei schnellen Anstiegen des Rhein – Wasserstandes um mehrere Meter, vor allem bei Durchlauf einer Hochwasserwelle, kommt es für einen Zeitraum von etwa 10 bis 20 Tagen zu einer nach Westen bis Westnordwesten gerichteten Grundwasserströmung mit Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 15 m/d.

Zur Planung der Sicherung wurde das Grundwasserströmungsmodell als wesentliches Werkzeug verwendet. Die Planung erfolgte sukzessive entsprechend des Kenntnisstandes bezüglich der gemessenen Ausbreitung (Fahnen- und Phasenabgrenzung).

Hydraulische Sicherung Niedrigwasser (Strömungszustand NW ca. 25 % im Jahr)

Wie in Kapitel 6.6.2 beschrieben, kann bei länger andauernden niedrigen Grundwasserstände die Naphtha-Phase und die gelösten Schadstoffe mit den Sanierungsbrunnen SB01 und SB02 mit den Förderraten von 100 m³/h bzw. 130 m³/h erfasst werden (Anlage 15/1).

Hydraulische Sicherung Mittelwasser (Strömungszustand MW ca. 65 % im Jahr)

Bei länger andauernden mittleren Grundwasserständen und der dazugehörigen Strömungsrichtung werden das Schadenszentrum und die hochbelasteten Bereiche durch die Sanierungsbrunnen SB01 und SB02 mit den Förderraten von 100 m³/h bzw. 200 m³/h erfasst (Anlage 15/2) und somit ein weiteres Ausbreiten der Fahne unterbunden. Aus den randlichen Belastungsbereichen ist bei diesen Förderraten mit einem Anstrom von belasteten Grundwasser in den Brunnen 1310 zu rechnen, welches einen Anteil von etwa 15% der Gesamtfördermenge der Brunnen ausmachen würde.

Hydraulische Sicherung Hochwasserereignis (Strömungszustand HW ca. 10 % im Jahr)

Bei hohen Wasserständen bzw. steilen, Richtung West bis Westnordwest abfallenden Gradienten lässt sich ein Abstrom belasteten Grundwassers aus dem Eintragsbereich nach Westen/Nordwesten nur durch die beiden Brunnen SB01 und SB02 jedoch nicht verhindern (Anlage 15/3).

Für die hydraulische Sicherung des Abstroms von belasteten Grundwassers sind folgende Varianten möglich:

Variante 1 (V1)

Entlang der Süd-Nord verlaufenden Industriestraße bzw. Eisenbahn werden etwa drei bis vier weitere Brunnen (SB-Ind-1 bis SB-Ind-4) mit einer Förderrate von je ca. 100-130 m³/h errichtet (Anlage 16/1, bei den dargestellten Zustrombereichen zu den SB-Ind-1 bis SB-Ind-4 handelt es sich nicht um Modellergebnisse sondern um, aufgrund der Zustombereiche WP4-SB02 bzw. WP6-SB01 und der Grundwassergleichen, interpolierte Zustrombereiche), die bei Hochwasserereignissen und steilen Gradienten in Betrieb genommen werden. Diese drei bis vier zusätzlichen Sanierungsbrunnen bilden dann zusammen mit dem WP6-SB01 und dem WP4-SB02 eine Brunngalerie, die eine Ausbreitung des hoch belasteten Grundwassers in Richtung Westen verhindern. Die westlich dieser Brunnen gelegenen, geringer belasteten Grundwasserbereiche werden durch diese Brunnen nicht erfasst, so dass die Grundwasserbelastung bei Hochwasserereignissen weiter nach Westen verlagert wird. Da jedoch kein hochbelastetes Grundwasser mehr nachströmen kann und der Grundwasserleiter eine gute Durchlässigkeit aufweist, ist in diesen Bereichen eine rasche Verringerung der Konzentrationen zu erwarten.

Variante 2 (V2)

Es wird ein Sicherungsbrunnen (SB03) im Bereich des Parkplatzes (nordöstliches Werksgelände) mit einer Förderrate von ca. 150 m³/h installiert. Dieser Brunnen fängt nach Durchlaufen einer „Hochwasserwelle“ das aus dem Schadensbereich Richtung Westen abgedriftete belastete Grundwasser vor Erreichen der Betriebsbrunnen ab (Anlage 16/2). Die Betriebsdauer dieses Sanierungsbrunnen ist auf die Dauer und die Zeit nach einem Hochwasserereignis abzustimmen, so dass diesem Brunnen nur eine temporäre Förderung angedacht ist.

Tabelle 9.1 Übersicht der alternativen Varianten 1 und 2 für Hochwasserereignisse

Variante	Vorteil	Nachteil
Variante 1: SB-Industriestraße	Nähe zum Eintragsort, Schadstoff wird über kurze Fließstrecken gefasst	Zeitaufwändige Schaffung von Infrastruktur (Leitungen, Stromversorgung etc.)
	Keine Erhöhung der Konzentration westlich der Brunnen, somit Sicherung der Wohnbebauung	Westliche Ausbreitung geringerer belasteter Fahnenbereiche
	Keine zusätzlichen Bodenverunreinigungen	Hohe Förderraten von 400-520 m ³ /h erforderlich
	Evtl. Nutzung als Infiltrationsbrunnen zur biologischen Stimulation	Vorhalten großer Grundwasserreinigungskapazitäten notwendig

12 Abkürzungsverzeichnis

AP	Ansatzpunkt
Bez.	Bezeichnung
BTEX/TMB	monoaromatische Kohlenwasserstoffe mit Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole und Trimethylbenzole
CCl ₄	Tetrachlormethan
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf (chemical oxygen demand)
GCMS	Gas-Chromatographie im Massen-Spektrometer
GFS	Geringfügigkeitsschwellenwert
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
MIP	Membran Interface Probe
NH ₃	Ammoniak
u. GOK	unter Geländeoberfläche