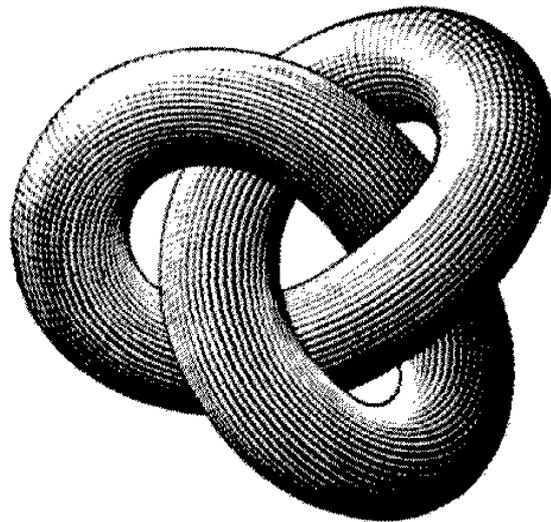


# **Entwurfs- und Genehmigungsplanung**

## **Sanierungsplanung Tempelhofer Freiheit Teilfläche „Alter Hafen“**



**vorgelegt von :**

**Susanne Schwabe (Dipl. Ingenieur)**

**Ralf Okon (Staatl. gepr. Lebensmittelchem.)**

**November 2014**

**IMAGO** Umwelt- Consult OHG  
Christburger Str. 4 ♦ 10405 Berlin  
Tel. : 030 - 44 38 54 - 0  
Fax.: 030 - 44 38 54 – 19

---

## INHALTSVERZEICHNIS

1	Aufgabenstellung .....	4
2	Ausgangssituation .....	4
2.1	Vorzugsvariante für die Grundwassersanierung und vorläufige Sanierungsziele .....	4
2.2	Lage, Nutzung und Infrastruktur .....	7
2.3	Kurzdarstellung der Grundwasser- und Bodenbelastung und Festlegung der Sanierungsbereiche .....	8
2.4	Ergebnisse der 2014 durchgeführten Grundwasseruntersuchungen .....	10
2.5	Untergrundaufbau und Grundwasserdynamik im Sanierungsbereich .....	10
3	Sanierungsrelevante Randbedingungen .....	12
3.1	Einleit- und Abluftgrenzwerte .....	12
3.2	Schadstoffmengen, -eigenschaften und Sanierungsverlauf .....	14
3.3	Grundwasserbeschaffenheit .....	18
4	Planung der Sanierungsanlage .....	21
4.1	Sanierungsbrunnen und Überwachungsmessstellen .....	21
4.2	Leitungsführung und -auslegung .....	24
4.3	Förderregime und Ausrüstung der Sanierungsbrunnen .....	27
4.4	Auslegung der Grundwasserreinigungsanlage .....	31
4.5	Anforderungen an die Anlagensteuerung .....	36
4.6	Inbetriebnahmephase und Anlagendokumentation .....	38
4.7	Überwachen der Grundwassersanierung .....	40
4.7.1	Anlagenüberwachung .....	40
4.7.2	Überwachung des Sanierungsverlaufs .....	44
4.8	Kostenschätzung .....	46
4.9	Zeitplanung .....	47
5	Verwendete Unterlagen .....	49

---

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Festlegung der Sanierungsbereiche.....	9
Tabelle 2: BTEX - Schadstoffmenge im Grundwasserhorizont .....	14
Tabelle 3: Mengenanteile der einzelnen Substanzen an der $\Sigma$ Monoaromaten .....	15
Tabelle 4: Chemisch – physikalische Eigenschaften der Hauptschadstoffe .....	15
Tabelle 5: Konzentrationen an Grundwasserinhaltsstoffen.....	18
Tabelle 6: Ausbau der vorhandenen und neu zu errichtenden Sanierungsbrunnen .	22
Tabelle 7: Auslegung der Versorgungsleitungen der Grundwasserreinigungs- anlage .....	26
Tabelle 8: Abschätzung der erforderlichen Anzahl an Sanierungsbrunnen .....	27
Tabelle 9: Vorhandene Sanierungsbrunnen und vorgesehene Förderraten für die hydraulische Sanierung.....	29
Tabelle 10: Leistungsdaten der Grundwasserreinigungsanlage .....	32
Tabelle 11: Wesentliche Anlagenteile der Grundwasserreinigungsanlage .....	34
Tabelle 12: Mindestumfang der Mess- und Sicherheitseinrichtungen.....	37
Tabelle 13: Probenahme- und Messstellen in der Grundwasserreinigungsanlage ...	40
Tabelle 14: Mess- und Probenahmestellen sowie Parameter und Beprobungsintervalle der Sanierungsüberwachung.....	43
Tabelle 15: Kostenschätzung Grundwassersanierung.....	46
Tabelle 16: Kostenschätzung in – situ Mikrobiologie.....	47
Tabelle 17: Zeitplan bis zur Anlageninbetriebnahme .....	48

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Geologischer Profilschnitt im Sanierungsbereich (SW – NO) .....	11
Abbildung 2: Abgeschätzter Sanierungsverlauf.....	17
Abbildung 3: Skizze eines Brunnenschachts.....	24

---

## ANLAGENVERZEICHNIS

- Anlage 1 : Übersichtslageplan „Alter Hafen“ und Umgebung mit Anlagenstandort und Stromanschluss
- Anlage 2 : Konzentrationsverteilung der BTEX, Lage und Ausdehnung der Sanierungsbereiche sowie Wirkradien der Förderbrunnen
- Anlage 3 : Sanierungsbereiche mit Standort der Reinigungsanlage, Förder- und Infiltrationsbrunnen sowie Trassenführung der Anschlussleitungen
- Anlage 4: Fließbild der Grundwasserreinigungsanlage
- Anlage 5 : Ausbaudaten, Vorpumpvolumina, Einbautiefe Probenahmepumpe und Belastung der im Rahmen der Sanierungsüberwachung zu beprobenden Grundwassermessstellen und Brunnen
- Anlage 6 : Beprobungsplan für die Grundwasserreinigungsanlage
- Anlage 7: Kostenschätzungen: Anlagenaufbau und Betrieb, Fremdüberwachung der Grundwassersanierung und Errichtung der Sanierungsbrunnen
- Anlage 8: Probenahmeprotokolle und Prüfbericht Messstellen GWMP, GWMQ, GWMR 11/2014

## 1 Aufgabenstellung

Bei ersten Grundwasseruntersuchungen im Bereich des „Alten Hafens“ 1984 /G1/ wurden Kontaminationen des Grundwassers mit Mineralölkohlenwasserstoffen und BTEX festgestellt.

Im Zuge der Umwidmung des ehemaligen Flughafens Tempelhof zu einer Grün- und Freifläche wurde 2010 /G9/ im Bereich der Teilfläche „Alter Hafen“ eine Detailuntersuchung von Bodenluft, Boden und Grundwasser durchgeführt. Bei dieser Untersuchung wurden eine BTEX -, sowie untergeordnet eine LCKW – Belastung des Grundwassers nachgewiesen.

Lt. Schreiben der zuständigen Ordnungsbehörde /G10/, des Bezirksamts Tempelhof – Schöneberg von Berlin, wurde anhand der hohen BTEX – und insbesondere Benzolkonzentrationen im Grundwasser sowie der räumlichen Ausdehnung der Kontamination ein „erheblicher Gewässerschaden nach § 23 a BWG eindeutig nachgewiesen“. „Um eine Verlagerung von Schadstoffen sicher auszuschließen sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr im Sinne des § 4 (3) BBodSchG erforderlich“ /G10/.

Die IMAGO OHG wurde von der Grün Berlin GmbH mit der Sanierungsplanung für die Grundwassersanierung beauftragt.

Gegenstand des vorliegenden Berichts sind die Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Sanierung der BTEX – Grundwasserbelastung, basierend auf der in /G15/ abgeleiteten Vorzugsvariante.

## 2 Ausgangssituation

### 2.1 Vorzugsvariante für die Grundwassersanierung und vorläufige Sanierungsziele

Im Rahmen der Sanierungsvorplanung /G15/ wurde für die Grundwassersanierung folgende Vorzugsvariante abgeleitet und nachfolgend mit dem Auftraggeber und der zuständigen Ordnungsbehörde, dem Bezirksamt Tempelhof – Schöneberg, abgestimmt:

- Durchführung einer pump & treat Maßnahme für eine Dauer von ca. 2 Jahren im Schadenszentrum: Sanierungsbereich 1 (Strippung des mit BTEX belasteten Grundwassers und Reinigung der Strippluft mittels KatOx – Anlage bzw. Luftaktivkohle)
- nach etwa 2 Jahren pump & treat Maßnahme: Bewertung der verbliebenen Restbelastung und der Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahme sowie Erarbeitung eines Vorschlags für das weiteres Vorgehen (Übergang zu MNA oder ENA)

Aufgrund der großen Konzentrationsunterschiede und der teilweise sehr hohen BTEX - Konzentrationen bei den 2013 /G14/ durchgeführten Bodenuntersuchungen und der demzufolge möglicherweise sehr hohen Schadstoffmenge im

Sanierungsbereich, wurde zu Sanierungsbeginn einer p & t Maßnahme der Vorzug vor einer etwas günstigeren mikrobiologischen in – situ Sanierung gegeben.

Durch Reduzierung der Konzentrationsmaxima und Abreinigung einer wesentlichen Schadstoffmenge mittels p & t werden die Bedingungen für eine ggf. im Anschluss erforderliche mikrobiologische Sanierung verbessert, sodass eine höhere Verfahrenssicherheit erreicht werden kann.

Als Grundwasserreinigungsverfahren ist eine Desorption der leichtflüchtigen Schadstoffe, aufgrund des zu erwartenden Konzentrationsniveaus, in einer zweistufigen Strippanlage vorgesehen.

Aufgrund der sensiblen Nutzung des Sanierungsbereichs und dessen Umgebung als öffentliche Grünanlage ist zu Sanierungsbeginn, bei hohen Grundwasserkonzentrationen, der Einsatz einer KatOx – Anlage vorgesehen. Bei diesem Verfahren werden die Schadstoffe durch Oxidation an einem Katalysator zerstört, sodass eine weitgehende Emissionsfreiheit erreicht werden kann.

Zudem erscheint dieses Verfahren aufgrund des zu erwartenden hohen Luftaktivkohleverbrauchs zu Sanierungsbeginn etwas günstiger, als der Einsatz von Luftaktivkohle.

Nachdem ein deutlicher Rückgang der BTEX – Konzentration und insbesondere der Konzentration an Benzol, welches von den vorhandenen Schadstoffen am schlechtesten an Luftaktivkohle bindet, stattgefunden hat, ist aufgrund der höheren Anlagen- und Energiekosten einer KatOx - Anlage eine Umstellung der Abluftreinigung auf Luftaktivkohle vorgesehen.

Der Zeitraum bis zu dieser Umstellung wird gegenwärtig mit maximal 1 Jahr abgeschätzt. Eine Präzisierung erfolgt während des Sanierungsverlaufs anhand der Entwicklung der laufenden Kosten.

Die Einsatzdauer der p & t Maßnahme wird gegenwärtig mit 2 Jahren prognostiziert. Nach dieser Zeit wird voraussichtlich auch bei einem hohen Schadstoffpotenzial ein deutlicher Rückgang der BTEX – Konzentrationen, erfolgt sein (s. Pkt. 3.2).

Zielstellung einer technischen Maßnahme zur Sanierung des Schadenszentrums ist es, mit verhältnismäßigen Mitteln die Schadstoffmenge im Grundwasserhorizont soweit zu reduzieren, dass eine weitere Konzentrationsabnahme durch die natürlichen schadstoffmindernden Prozesse stattfindet und eine Überleitung in MNA erfolgen kann.

Eine vollständige Sanierung der Grundwasserbelastung bis auf das Niveau der Geringfügigkeitsschwellenwerte von 20 µg/l für die alkylierten Benzole und 1 µg/l für Benzol wird für den Standort mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht möglich sein.

Da die Entscheidung, ob eine Überleitung zu ENA oder MNA stattfinden kann, erst im Ergebnis des Verlaufs der p & t – Maßnahme erfolgt, kann der genaue Zeitpunkt hierfür gegenwärtig noch nicht festgelegt werden.

Ob nach Beendigung der p & t Maßnahme eine Nachsanierung mittels in – situ Mikrobiologie erforderlich wird, hängt von dem am Bodenkorn im

Grundwasserhorizont gebundenen Schadstoffpotenzial und dem daraus resultierenden Konzentrationsniveau im Grundwasser ab, bei welchem sich ein Plateau im Konzentrationsverlauf der BTEX im geförderten Grundwasser einstellen wird.

Diese Entscheidung kann voraussichtlich zu Beginn des 2. Sanierungsjahres getroffen werden.

Bei unterschiedlichen Konzentrationsverläufen an den vier Sanierungsbrunnen kann eine mikrobiologische Nachsanierung ggf. auch nur gezielt in einem Teilbereich des aktuellen Sanierungsbereichs 1, wie beispielsweise die Umgebung der Bohrung GWMR, an welcher die höchsten BTEX – Konzentrationen im Boden nachgewiesen wurden, erforderlich sein.

Als Grundlage für diese Entscheidung wird ein Bericht erarbeitet, in welchem ein Verfahrensvorschlag, sowie die Erfolgsaussichten und der voraussichtliche Verlauf einer ENA – Maßnahme dargelegt werden. Die p & t Sanierung wird bis zur endgültigen Entscheidung über das weitere Vorgehen fortgeführt.

Falls nach den für eine p & t Maßnahme veranschlagten 2 Jahren Sanierungsdauer noch kein Konzentrationsniveau erreicht ist, welches eine Beendigung der technischen Sanierungsmaßnahme und die Überleitung zu MNA erlaubt, wird aufgrund der guten mikrobiologischen Abbaubarkeit der vorhandenen Schadstoffe im Anschluss eine mikrobiologische in – situ Sanierung (ENA) favorisiert. Hierfür sollten der Abbau der Strippanlage und die Installation eines hydraulischen Kreislaufs zur mikrobiologischen in – situ Sanierung erfolgen.

Bei der Konzipierung der p & t Sanierung wird bereits berücksichtigt, dass die technischen Einrichtungen, wie Brunnen und Leitungssystem, im Anschluss auch für eine mikrobiologische Sanierung genutzt werden können.

Außerdem werden, um die Machbarkeit von ENA oder MNA im Anschluss an die p & t Sanierung beurteilen zu können, bereits während der 1. Sanierungsphase die erforderlichen Begleitparameter zur Beurteilung des mikrobiellen BTEX – Abbaus an den Grundwassermessstellen im Sanierungsbereich bestimmt (s. Pkt. 4.7.2).

Um die technische Sanierungsmaßnahme (p & t, in – situ Mikrobiologie) endgültig beenden und zu MNA übergehen zu können, muss mikrobieller BTEX – Abbau im Sanierungsbereich 2 (Schadensrand) nachgewiesen werden. Außerdem müssen die Konzentrationen an Benzol deutlich reduziert worden sein und die Bedingungen für einen mikrobiologischen Benzol – Abbau, d.h. eine Verschiebung der Grundwassermilieubedingungen hin zu weniger reduzierenden, stärker oxidierenden Verhältnissen vorliegen.

Soweit der Übergang zu MNA erfolgen soll, müssen die Art und der Umfang dieser Maßnahme in einem gesonderten Konzept dargelegt werden.

Außerdem wird für die Entscheidung, ob eine Einstellung der technischen Sanierungsmaßnahme und die Überleitung zu MNA erfolgen können, deren Verhältnismäßigkeit berücksichtigt. Hierzu werden die spezifische Verfahrenskosten in € / kg Schadstoff ermittelt.

Zunehmend unverhältnismäßig wird eine pump & treat Maßnahme nachdem sich in der Konzentrationsentwicklung in den Sanierungsbrunnen ein Plateau eingestellt hat und über einen langen Zeitraum kein weiterer Rückgang der BTEX – Konzentrationen d.h. kein weiterer Fortschritt im Sanierungsverlauf erfolgt, während die Sanierungskosten unverändert hoch bleiben.

## 2.2 Lage, Nutzung und Infrastruktur

### Lage

Das Gelände des „Alten Hafens“ liegt im zentralen, nördlichen Teil des ehem. Flughafens Tempelhof, welcher sich etwa 4 km südlich des Berliner Stadtkerns, im Bereich des Zusammentreffens der Bezirke Tempelhof – Schöneberg, Kreuzberg und Neukölln befindet.

Die Teilflächen KF 1 (östliche Flugzeugwerft) und KVF2 (Tanklager Werft Ost, Flughafenvorfeld östliche Werft), welche Gegenstand der Sanierungsvorplanung sind, liegen im Bezirk Tempelhof – Schöneberg und umfassen eine Fläche von etwa 43.000 m<sup>2</sup>.

Größe des Belastungsbereichs:	ca. 11.500 m <sup>2</sup>
Geländehöhe:	ca. 47,80 m NHN
Nördlich direkt angrenzend:	Fahrbahn (Taxi Way)
nördlich in ca. 450 m Entfernung:	Columbiadamm
nordöstlich in ca. 200 m Entfernung:	Friedhof Columbiadamm, dahinter Columbiadamm
westlich, östlich, südlich angrenzend:	Grünflächen der Parkanlage

Der Sanierungsbereich „Alter Hafen“ befindet sich unter einer Rasenfläche, welche mit Baumgruppen und Buschwerk bestanden ist. Die Oberflächenbefestigung des Vorfelds des „Alten Hafens“ sowie Gebäudereste sollen unter einer mehrere Dezimeter mächtigen Bodenschicht teilweise noch vorhanden sein /G9/.

### Aktuelle Nutzung

Der Sanierungsbereich ist Teil der öffentlichen Park- und Freizeitanlage Tempelhofer Freiheit.

### Geplante Nachnutzung

Änderungen der aktuellen Nutzung als öffentlichen Park- und Freizeitanlage sind gegenwärtig nicht vorgesehen.

### Historische Nutzung

Der „Alte Hafen“ war von 1923 – 1945 in Betrieb. Im Krieg wurde er stark zerstört und in den 50iger Jahren des letzten Jahrhunderts die Reste der Gebäude und technischen Einrichtungen abgetragen.

## Anlagenstandort, Energie, Wasser, Abwasser, Zuwegung

Die Aufstellung einer Sanierungsanlage soll am südwestlichen Schadensrand erfolgen (s. Anlage 1). Die Zufahrt ist über einen teilweise befestigten Weg möglich.

Der vorgesehene Anlagenstandort befindet sich auf einer Rasenfläche.

Die Einfahrt in die Parkanlage erfolgt von Westen, vom Haupttor Tor 11 am Tempelhofer Damm.

Ein Stromanschluss (125 A) ist in etwa 320 m Entfernung vom vorgesehenen Standort der Sanierungsanlage vorhanden.

Ein Unterflurhydrant der Feuerwehrringleitung befindet sich in etwa 80 m Entfernung vom vorgesehenen Anlagenstandort. Dessen Wasser kann für Reinigungsarbeiten in der Grundwasserreinigungsanlage und als Auflastwasser bei den Brunnenbohrungen genutzt werden.

Der nächstgelegene Einleitschacht in einen S – Kanal der BWB befindet sich am Tor 5a am Columbiadamm.

Ein Frischwasseranschluss ist in der näheren Umgebung des Anlagenstandorts nicht vorhanden.

### **2.3 Kurzdarstellung der Grundwasser- und Bodenbelastung und Festlegung der Sanierungsbereiche**

Die höchsten BTEX – Konzentrationen von > 10.000 µg/l wurden seit 2003 /G3/ durchgehend an den Messstellen P39, P47, P72 und GWMB sowie zuletzt zusätzlich an den 2013 errichteten Messstellen GWMQ und GWMR analysiert (s. Anlage 2.1). Diese Messstellen charakterisieren das Schadenszentrum der BTEX, in welchem vermutlich der Schadstoffeintrag in den Untergrund stattgefunden hat. Das Schadenszentrum hat eine max. W – O – Ausdehnung von ca. 60 m und eine N – S – Ausdehnung von 40 m und umfasst insgesamt eine Fläche von etwa 1.300 m<sup>2</sup>.

Um dieses Schadenszentrum herum erstreckt sich in alle Richtungen ein schmaler Belastungsbereich mit BTEX – Konzentrationen von 1.054 µg/l (P38) bis 4.989 µg/l (GWMP). Eine Schadstofffahne nach Nordosten, in Grundwasserfließrichtung hat sich nicht ausgebildet.

Beide Flächen zusammen, Schadenszentrum und unmittelbarer Schadensrand umfassen eine Fläche von 6.800 m<sup>2</sup> (1.000 µg/l – Isokonze) und werden als Sanierungsbereich 1 festgelegt.

Um dieses Belastungszentrum herum befindet sich ein Bereich von etwa 4.500 m<sup>2</sup>, in welchem die Grundwassermessstellen BTEX – Konzentrationen von 247 µg/l (GWMS) bis max. 759 µg/l (P66,) zeigen. Dieser Bereich innerhalb der 100 µg/l – Isokonze wird als Sanierungsbereich 2 betrachtet (s. Anlage 2).

Vertikal erstreckt sich die BTEX - Grundwasserverunreinigung im Ergebnis der teufenorientierten Grundwasserprobenahmen an GWMP und GWMQ /G14/ bis zu einer Tiefe von etwa 28 m u GOK (425 µg/l).

Das Belastungsmaximum mit BTEX – Konzentrationen von etwa 10.000 µg/l reicht an GWMP und GWMQ bis 21 m u GOK, an GWMR bis 26 m u GOK (9.429 µg/l).

Im Grundwasser ist damit insgesamt von einem kontaminierten Horizont von etwa 13 m bzw. von einem hoch belasteten Horizont von etwa 6 - 10 m Mächtigkeit im Sanierungsbereich 1 auszugehen.

Bei Bodenuntersuchungen an GWMH /G4/ und GWMP, Q, R /G14/, welche im Sanierungsbereich 1 liegen, wurden BTEX – Konzentrationen von etwa 5 -64 mg/kg festgestellt. Eine extrem hohe BTEX – Konzentration wurde an GWMR mit 1.255 mg/kg im Horizont von 17 – 18 m u GOK nachgewiesen.

Der mit BTEX belastete Horizont im Boden mit Konzentrationen > 4 mg/kg erstreckt sich im Ergebnis der Untersuchungen an den Linerproben /G14/ von etwa 15 m (Grundwasseranschnitt) bis etwa 21 m u GOK (GWMQ) über 6 m. Signifikante BTEX – Konzentrationen im Boden wurden ausschließlich im grundwassergesättigten Bodenhorizont analysiert.

Neben dem Hauptbelastungsparameter BTEX wurden untergeordnet Überschreitungen des sanierungsbedürftigen Schadenswerts (SSW, s. /U1/) für Naphthalin, sowie zuletzt 2013 an einer Messstelle für MKW nachgewiesen.

Die maximale Konzentration an Naphthalin beträgt 21,8 µg/l an P47 (4 x SSW von 5 µg/l) und für MKW 1.360 µg/l an P72 (2,7 x SSW von 500 µg/l) bzw. 4.606 µg/l für kurzkettinge MKW bis C<sub>10</sub>.

LCKW wurden bei den 2013 durchgeführten Grundwasseruntersuchungen nicht nachgewiesen.

In Anlage 2.1 ist eine Darstellung der aktuellen BTEX - Verteilung im Grundwasser enthalten.

Unter Berücksichtigung der Schadstoffverteilung, den zu erwartenden unterschiedlichen Schadstoffmengen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Sanierungsverläufen werden folgende Sanierungsbereiche festgelegt:

**Tabelle 1: Festlegung der Sanierungsbereiche**

	<b>Ausdehnung</b>	<b>Besonderheiten</b>
Sanierungs- bereich 1: Belastungs- zentrum	Messstellen: P5, P6, P39, P47, P72, GWMA, GWMB, GWMH, GWMQ, GWMR, GWMT Fläche etwa 7.000 m <sup>2</sup> (etwa 1.000 µg/l Isokonze) Horizont: 10 m kontaminierter Bodenbereich: 70.000 m <sup>3</sup> Grundwasservolumen bei effektiver Porosität 0,15: 10.500 m <sup>3</sup>	vermuteter Eintragsort hohe Schadstoffmenge, vorwiegend am Bodenkorn gebunden, längerfristige Nachlieferung zu erwarten mikrobielle Abbaupaktivität auf der Stufe der Eisenreduktion, Sulfidogenese und Methanogenese nachgewiesen, kein Konzentrationsrückgang bei Pumpversuchen an P47, P72 und GWMB /G7/
	<b>Schadstoffbelastung</b>	
	BTEX: 1.180 µg/l bis 15.475 µg/l, überwiegend > 1.000 µg/l	

	<b>Ausdehnung</b>	<b>Besonderheiten</b>
Sanierungs- bereich 1: Belastungs- zentrum	Naphthalin: 1,9 – 21,8 µg/l	
	MKW: 2013 max. 1,36 mg/l, bei Voruntersuchungen max. 2,8 mg/l an P72	
	LCKW: 2013 < BG, bei Voruntersuchungen max. 600 µg/l DP18, 87 µg/l an GWMB	
	<b>Ausdehnung</b>	
Sanierungs- bereich 2: horizontaler und vertikaler Schadens- rand	Messstellen P7, P38, P66, GWMS Fläche 11.500 m <sup>2</sup> - 7000 m <sup>2</sup> = 4.500 m <sup>2</sup> (etwa 100 µg/l Isokonz.) Horizont Schadensrand: 10 m unterhalb Sanierungsbereich 1: 21 – 26 m u GOK, 5 m kontaminierter Bodenbereich: 45.000 m <sup>3</sup> + 35.000 m <sup>3</sup> = 80.000 m <sup>3</sup> Grundwasservolumen bei eff. Porosität 0,15: 12.000 m <sup>3</sup>	niedrigere Schadstoffkonzentrationen vorwiegend gelöste Schadstoffe, kaum Nachlieferung zu erwarten mikrobielle Abbauaktivität voraussichtlich auf Stufe der Nitratatmung
	<b>Schadstoffbelastung</b>	
	BTEX: 247 µg/l bis 759 µg/l, überwiegend > 100 µg/l	

## 2.4 Ergebnisse der 2014 durchgeführten Grundwasseruntersuchungen

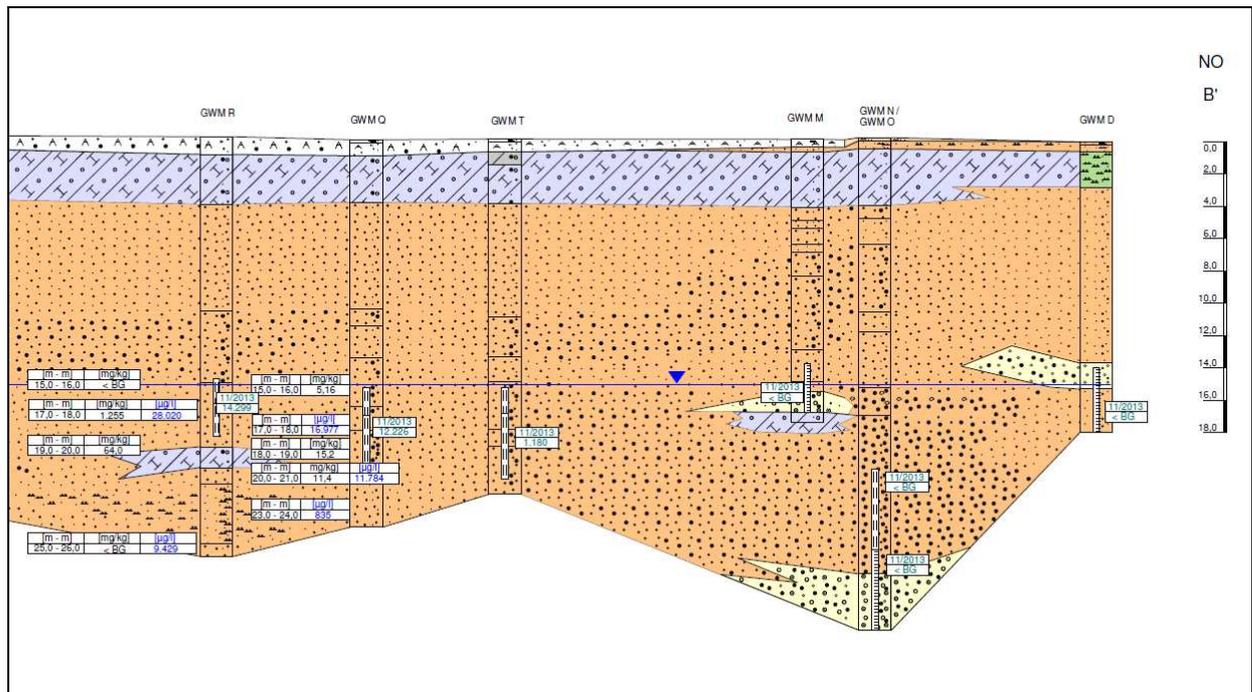
Am 06.11.14 wurden die 2013 errichteten Messstellen GWMP, GWMQ und GWMR, welche von den neu errichteten die höchsten BTEX – Konzentrationen aufwiesen, etwa ein Jahr nach der ersten Untersuchung erneut beprobt. Die analysierten BTEX – Konzentrationen lagen an GWMP (5.653 µg/l) und GWMQ (11.088 µg/l) leicht über den 2013 analysierten, an GWMR (12.255 µg/l) etwas darunter (s. Anlage 2.1). Der Kohlenwasserstoffindex lag an allen drei Grundwassermessstelle unter der Bestimmungsgrenze. Die maximale PAK – Konzentration betrug 16,1 µg/l (16 µg/l Naphthalin) an GWMQ und überschreitet leicht den sanierungsbedürftigen Schadenswert (SSW /U1/) von 5 µg/l für Naphthalin. Die höchste LCKW – Konzentration liegt mit 9,04 µg/l an GWMQ unter dem SSW von 100 µg/l und dem Geringfügigkeitsschwellenwert /U1/ von 20 µg/l. Insgesamt ist das Konzentrationsniveau, wie an den bereits vorhandenen Grundwassermessstellen, auch an den 2013 neu errichteten vergleichsweise konstant.

Die Prüfberichte und Probenahmeprotokolle sind in Anlage 8 enthalten

## 2.5 Untergrundaufbau und Grundwasserdynamik im Sanierungsbereich

Abbildung 1 zeigt einen geologischen Profilschnitt in Grundwasserfließrichtung (SW – NO) durch den Sanierungsbereich, beginnend an der Messstelle GWMR im Schadenszentrum bis zur Messstelle GWMD im nordöstlichen Abstrom.

**Abbildung 1: Geologischer Profilschnitt im Sanierungsbereich (SW – NO)**



Der Grundwasserleiter im Bereich der BTEX – Kontamination ist im überwiegenden Teil ungegliedert. Mit Ausnahme der Leitfähigkeitssondierung LF2 (s.u.) sowie vereinzelter Reste des Saalegeschiebemergels, welche an den Messstellen GWM E und GWM L sowie an GWM M und GWM R erbohrt wurden, wurde kein flächig aushaltender stauender Horizont oberhalb des Grundwassergeringleiters des Holstein – Interglazial (52,40 m u GOK an FB Süd) nachgewiesen.

Die an der Leitfähigkeitssondierung LF 2 für den gesamten Grundwasserhorizont von 15 – 30 m u GOK interpretierte Schluffschicht /G9/ wurde bei den vorangegangenen und aktuellen Messstellenbohrungen nicht angetroffen, sodass davon ausgegangen wird, dass im Sanierungsbereich keine aushaltende Mergelbank, sondern lediglich lokal gering mächtige Schichten bindigen Materials (GWMR: 19,2 – 20,50 m u GOK Geschiebemergel, 21,5 – 25,2 m u GOK: Schluff- und Geschiebemergellagen) vorhanden sind.

Anhand der aktuellen Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit ist von durchlässigem bis stark durchlässigem Material, überwiegend bestehend aus Mittel- und Grobsanden, teilweise mit Feinsandlagen im Grundwasserhorizont auszugehen (s. /G13/). Allerdings wird aus dem Profilschnitt in /G15/ Anlage 3 und Abbildung 1 auch der inhomogene Aufbau des Grundwasserleiters im Schadensbereich mit Sanden unterschiedlicher Körnung und schluffigen Beimengungen deutlich. Bei der Grundwassersanierung wird dies eine ungleichmäßige Abreinigung des Aquifer zur Folge haben.

Folgende Durchlässigkeitsbeiwerte wurden anhand der Sieblinien ermittelt (s. /G13/):

- $2,6 \times 10^{-4}$  bis  $2,3 \times 10^{-3}$  m/s (Mittel- / Grobsand)
- $4,2 \times 10^{-5}$  bis  $5,3 \times 10^{-5}$  m/s (Feinsand, schluffig)

An einer Reihe von Bohrungen wurde im Grundwasserhorizont Kohle („Kohlegestein“, „Kohleflitter“) angetroffen, was für eine starke Rückhaltung der Schadstoffe am Aquifermaterial spricht.

Wie bei den bisherigen Stichtagsmessungen, wurde auch 2013 /G14/ eine nordöstliche Grundwasserfließrichtung festgestellt.

Ähnlich zu der 2010 /G9/ durchgeführten Stichtagsmessung, wurde auch 2013 ein geringes Gefälle von  $J = 0,00016$  m/m (November, Dezember 13) bis  $J = 0,0004$  m/m (Mai 13) und demzufolge eine geringe Abstandsgeschwindigkeit von  $v_a = 11 - 28$  m/a (Mittelsand) bzw.  $2,5 - 7$  m/a (Schluff) ermittelt.

### 3 Sanierungsrelevante Randbedingungen

#### 3.1 Einleit- und Abluftgrenzwerte

Um eine stärkere Durchströmung des Sanierungsbereichs zu erzielen und bereits in der 1. Sanierungsphase Sauerstoff für die Intensivierung des mikrobiellen BTEX – Abbaus zuzuführen, soll das gereinigte Grundwasser im Randbereich des BTEX – Schadens (Sanierungsbereich 2) versickert werden. In der Sanierungsvorplanung /G15/ wurden hierfür folgende Einleitgrenzwerte vorgeschlagen:

BTEX	100 µg/l
Benzol	10 µg/l

In der Besprechung vom 20.08.14 /G16/ wurde abgestimmt, dass Reinwasser mit diesen BTEX – Konzentrationen nur anstromig der Förderbrunnen versickert werden darf, um sicherzustellen, dass kein Grundwasser mit diesem Konzentrationsniveau aus dem Sanierungsbereich abströmt.

Im Anschluss nach Abreinigung des Belastungsmaximums, wenn die BTEX – Konzentrationen im Anlagenablauf auf folgende Werte gefallen sind:

BTEX	25 µg/l
Benzol	5 µg/l

können auch die abstromig gelegenen Brunnen GWMS und GWMT für die Versickerung des gereinigten Grundwassers verwendet werden.

Neben den Hauptschadstoffen BTEX sind im zu fördernden Grundwasser noch Naphthalin und MKW mit geringeren Konzentrationen enthalten. Für diese Co – Kontaminationen wurden mit dem BZA Tempelhof – Schöneberg folgende Einleitgrenzwerte für die Versickerung abgestimmt:

Naphthalin:	5 µg/l
MKW (C <sub>10</sub> – C <sub>40</sub> ):	500 µg/l
kurzkettige MKW bis C <sub>10</sub> :	100 µg/l

Bei einer mikrobiologischen in – situ Sanierung, wie diese für eine ggf. erforderliche 2. Sanierungsphase vorgesehen ist, wird mit Sauerstoff bzw. Sauerstoffträgern

angereichertes Grundwasser im Schadenszentrum (Sanierungsbereich 1) versickert und an den Brunnen am Schadensrand (Sanierungsbereich 2 bzw. außerhalb) gefördert, ggf. auch nur in Teilbereichen des aktuellen Sanierungsbereichs 1. Eine Reinigung des Grundwassers auf dem Gelände ist in der 2. Sanierungsphase nicht vorgesehen.

Da bei diesem Förderregime ein weitgehender hydraulischer Einschluss der dann verbliebenen BTEX – Restbelastung erreicht wird, sollten sich die zulässigen Einleitkonzentrationen in der 2. Sanierungsphase an dem an den als Förderbrunnen betriebenen Brunnen GWMS, T, GWMV, W, X vorliegenden Konzentrationsniveau der Schadstoffe orientieren.

Hinsichtlich des erforderlichen Grads der Abreinigung der Abluft einer Desorptionsanlage wurde vom BZA Tempelhof – Schöneberg folgende Information übermittelt:

Benzol – Immissionsgrenzwert (EU bzw. 39. BImSchV) für den Schutz der menschlichen Gesundheit: 5 µg/m<sup>3</sup> (Jahresmittelwert)

Bei einer abgeschätzten Grundwasserkonzentration von maximal etwa 5.500 µg/l Benzol zu Sanierungsbeginn und einem Luft : Wasser – Verhältnis von 50 : 1, resultieren in der ungereinigten Abluft der Strippanlage Konzentrationen von 110 mg/m<sup>3</sup> Benzol.

Zwar kann mit einer Aktivkohle – Reinigungsstufe für die Strippluft eine sehr weitgehende Reduzierung der Schadstoffemissionen erreicht werden, jedoch steigt bei zunehmender Beladung der Luftaktivkohlefilter die Schadstoffkonzentration in deren Ausgang.

Eine höhere Sicherheit bei hohen zu Sanierungsbeginn erwarteten Schadstoffkonzentrationen ist mit einer katalytischen Oxidationsanlage (KatOx – Anlage) zu erreichen, da hier die Schadstoffe zerstört werden. Zu Sanierungsbeginn ist daher der Einsatz einer KatOx – Anlage vorgesehen.

Da bei Einsatz einer KatOx – Anlage das Risiko, dass Schadstoffe in die Umgebung abgegeben werden äußerst gering ist, wurde vorgeschlagen, die Einhaltung des Immissionsgrenzwerts von 5 µg/m<sup>3</sup> nach Umstellung der Abluftreinigung auf Luftaktivkohle mittels Umgebungsluftmessung im Lee der Reinigungsanlage nachzuweisen.

Daneben sind direkt am Ausgang der Abluftreinigungsstufe, zur Prüfung von deren Wirksamkeit, ebenfalls Luftuntersuchungen vorgesehen.

Für deren Bewertung wurden folgende Abluftgrenzwerte vorgeschlagen, welche sich an der TA – Luft orientieren und mit dem BZA Tempelhof – Schöneberg abgestimmt:

BTEX	50 mg/m <sup>3</sup> (bezogen auf Gesamtkohlenstoff nach TA - Luft)
Vorschlag:	20 mg/m <sup>3</sup> für Σ BTEX
Benzol	1 mg/m <sup>3</sup>

Aufgrund der Lage des Sanierungsbereichs in einer öffentlichen Grünanlage wird empfohlen, die Immissionsrichtwerte für Wohngebiete /U10/ von 55 dB(A) tagsüber und 40 dB(A) nachts, d.h. da es bei den Sanierungsanlagen keinen Unterschied von Tag- und Nachtbetrieb gibt, 40 dB(A), einzuhalten.

Bei Bedarf ist die Einhaltung des Lärmgrenzwertes durch das Sanierungsunternehmen nachzuweisen.

### 3.2 Schadstoffmengen, -eigenschaften und Sanierungsverlauf

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der in /G13/ durchgeführten Mengenabschätzung tabellarisch zusammengefasst.

**Tabelle 2: BTEX - Schadstoffmenge im Grundwasserhorizont**

	Fläche	Horizont	kont. Volumen	Ø Konzentration	Menge
am Bodenkorn adsorbiert im max. belasteten Bodenhorizont	6.800 m <sup>2</sup>	2 m	13.600 m <sup>3</sup> Boden	50 mg/kg (Konzentrationen analysiert)	1.200 kg
am Bodenkorn adsorbiert im gesamten kontaminierten Grundwasserbereich	6.800 m <sup>2</sup>	10 m	68.000 m <sup>3</sup> Boden	0,72 mg/kg (Konzentrationen aus K <sub>d</sub> – Wert abgeschätzt)	88 kg
im Grundwasser gelöst	11.500 m <sup>2</sup>	10 m	17.250 m <sup>3</sup> Grundwasser (Porosität 0,15 %)	6.100 µg/l (Konzentrationen analysiert)	105 kg
Summe					1.395 kg

Die Abschätzung zeigt, dass von der gesamten im Grundwasserhorizont vorhandenen BTEX – Menge der bei Weitem höchste Anteil im Schadenszentrum am Bodenkorn adsorbiert vorliegt. Abhängig davon, welche Ausdehnung das an der Bohrung GWMR mit 1.255 mg/kg BTEX nachgewiesene Belastungsmaximum aufweist, können zu der abgeschätzten Schadstoffmenge noch 0,7 t - 3 t (1/4 – 1/1 Anteil der Fläche innerhalb der 10.000 µg/l Isokonze von 1.300 m<sup>2</sup>, 1 m Horizont) hinzu kommen.

Für die Co – Kontaminante Naphthalin wird aufgrund des wesentlich geringeren Konzentrationsniveaus (max. 21,8 µg/l an P47) auf eine Mengenabschätzung verzichtet, für die Verunreinigungen mit MKW (Kohlenwasserstoffindex, max. 1.360 µg/l an P72) und mit kurzkettigen MKW < C<sub>10</sub> (max. 4.606 µg/l an P5) aufgrund des nur lokalen Auftretens ebenso.

In der folgenden Tabelle sind die Mengenanteile der einzelnen BTEX an den am höchsten mit > 10.000 µg/l belasteten Grundwassermessstellen zusammengefasst:

**Tabelle 3: Mengenanteile der einzelnen Substanzen an der  $\Sigma$  Monoaromaten**

	<b>Benzol [%]</b>	<b>Toluol [%]</b>	<b>Ethylbenzol [%]</b>	<b>o- Xylol [%]</b>	<b>m-, p- Xylol [%]</b>	<b><math>\Sigma</math> BTEX [%]</b>
P39	32,45	9,67	3,75	2,96	43,83	92,66
P47	21,35	17,21	8,63	2,24	42,35	91,79
P72	4,74	29,19	8,83	5,15	45,45	93,35
GWM B	49,97	11,16	7,14	1,21	25,13	94,60
GWMQ	10,95	9,54	14,18	6,86	48,30	89,83
GWMR	8,45	47,02	8,01	6,71	24,96	95,14

Obige Tabelle zeigt die bereits 2010 festgestellte, unterschiedliche Zusammensetzung. Die Hauptbestandteile der BTEX sind mit unterschiedlichen Schwerpunkten Benzol (max. 50 % an GWMB), Toluol (max. 47 % an GWMR) und m,-p- Xylol (max. 48 % an GWMQ).

Trimethylbenzole machen nur einen geringen Anteil an der Summe der Monoaromaten aus.

In der folgenden Tabelle sind die chemisch physikalischen Eigenschaften der Hauptschadstoffe zusammengefasst:

**Tabelle 4: Chemisch – physikalische Eigenschaften der Hauptschadstoffe**

<b>Substanz</b>	<b>Wasserlöslichkeit [mg/l]</b>	<b>Siedepunkt [°C]</b>	<b>Henry – Koeffizient [-]</b>	<b>Adsorbierbarkeit an <math>C_{org}</math> (<math>K_{OC}</math>)</b>	<b>Wassergefährdungsklasse</b>
Benzol	1.780	80	0,23	ca. 80	3
Toluol	550	111	0,26	ca. 100	2
Xylole	175 – 198	138 – 144	0,21 – 0,28	ca. 210	2
Ethylbenzol	168	136	0,35	ca. 200	1
Naphthalin	31	218	0,084	1.300	2

aus /U4/, /U5/

Die großen Unterschiede in der Wasserlöslichkeit und der Adsorbierbarkeit an organischem Material ( $K_{OC}$  – Wert) haben zur Folge, dass bei vergleichbaren Konzentrationen im Grundwasser bei Xylole eine wesentlich höhere Menge am Bodenkorn adsorbiert vorliegt, als bei Benzol. Die Verfügbarkeit von Benzol für eine pump & treat Maßnahme ist dagegen am höchsten und nach deren Beendigung für diese Substanz von dem geringsten rebound – Effekt auszugehen.

Allerdings führt der vergleichsweise niedrige  $K_{OC}$  – Wert von Benzol dazu, dass Benzol im Vergleich zu den anderen BTEX schlechter an Wasser- oder Luftaktivkohle bindet, was für den Einsatz einer KatOx – Anlage für die Strippluftreinigung bei hohen Konzentrationen zu Sanierungsbeginn spricht.

Naphthalin weist von den vorhandenen Schadstoffen die stärkste Bindung an Aktivkohle oder organischen Bestandteilen im Boden und die niedrigste Flüchtigkeit auf.

Für die vorhandenen Naphthalin - Konzentrationen von zuletzt max. 22 µg/l ist jedoch von einer ausreichenden Wirksamkeit einer Desorptionsanlage zum Erreichen des Einleitgrenzwertes auszugehen.

Bei den MKW, welche ein Stoffgemisch mit unterschiedlichen Kettenlängen und daraus resultierenden Siedepunkten darstellen, ist die Flüchtigkeit von der konkret vorliegenden Fraktion abhängig. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass während der Grundwassersanierung MKW mobilisiert werden, wird die Nachrüstung einer Wasseraktivkohlereinigungsstufe als Option mit anfragen.

Im Folgenden ist die Abschätzung des Sanierungsverlaufs für die p & t Maßnahme für die beiden unterschiedlich stark am Sediment bindenden Schadstoffe Benzol und Xylol sowie anhand der in Boden und Grundwasser analysierten BTEX – Konzentrationen aus /G15/ kurz zusammengefasst.

Die Abnahme der Schadstoffkonzentration ( $C_W$ ) im Grundwasser im Schadenszentrum (Sanierungsbereich 1) wird in Abhängigkeit vom erfolgten Schadstoffaustrag ( $\sum C_{W,n} * V_{W,n}$ ) nach folgender Beziehung (analog zu /U12/, Gleichung 5-6) ermittelt:

$$C_{W,n+1} = C_{W,n} - (1 / (K_d * m_B)) * \sum C_{W,n} * V_{W,n}$$

$C_W$  - Konzentration im Wasser [mg/t]

$C_{W,0}$  - Ausgangskonzentration im Wasser [mg/t] – 10.000 mg/t

$K_d$  - Verteilungskoeffizient zwischen Bodenmatrix und Wasser

$m_B$  - Masse Boden [t] – 42.000 m<sup>3</sup>, 75.600 t

$V_W$  - geförderttes Grundwasservolumen [t], pro Tag – 4 Brunnen a 1,5 m<sup>3</sup>/h – 144 m<sup>3</sup>/d

Diese Beziehung geht von der vereinfachten Annahme aus, dass nach Abpumpen des kontaminierten Grundwasservolumens unbelastetes Wasser aus der Umgebung nachströmt, welches beim Durchströmen des kontaminierten Bodens erneut bis zur Gleichgewichtskonzentration mit Schadstoffen beladen wird und die an der Bodenmatrix adsorbierten Schadstoffe durch mehrfache Wiederholungen dieses Austausches extrahiert werden.

Die Dauer der Sanierung ist hierbei abhängig von der Schadstoffmenge / Startkonzentration sowie wesentlich von dem Sorptionsvermögen des Bodens für die Schadstoffe, welches durch den Verteilungskoeffizienten ( $K_d$ ) beschrieben wird.

Der Verteilungskoeffizient der Schadstoffe zwischen Boden ( $C_B$ ) und Wasser ( $C_W$ );  $K_d$  – Wert) wird häufig aus der Sorption von Schadstoffen an organischen Bodenbestandteilen nach folgender Formel abgeschätzt:

$$K_d = K_{OC} * f_{OC} = C_B / C_W$$

Aus dem  $K_{OC}$  – Wert (s. Tabelle 4) und dem 2013 /G14/ max. analysierten Organikgehalt von 0,001 g/g ergeben sich  $K_d$  - Werte von 0,08 (Benzol) bis 0,21 (Xylole), welche sehr gering sind und die analysierten BTEX - Bodenkonzentrationen nicht widerspiegeln (nach obiger Formel max. 2,1 mg/kg BTEX (Xylole) als

Gleichgewichtskonzentration für 10.000 µg/l BTEX im Grundwasser). Analysiert wurden 5 - 70 mg/kg, bzw. max. 1.255 mg/kg BTEX an GWMR (s. /G14/, Pkt. 6.1).

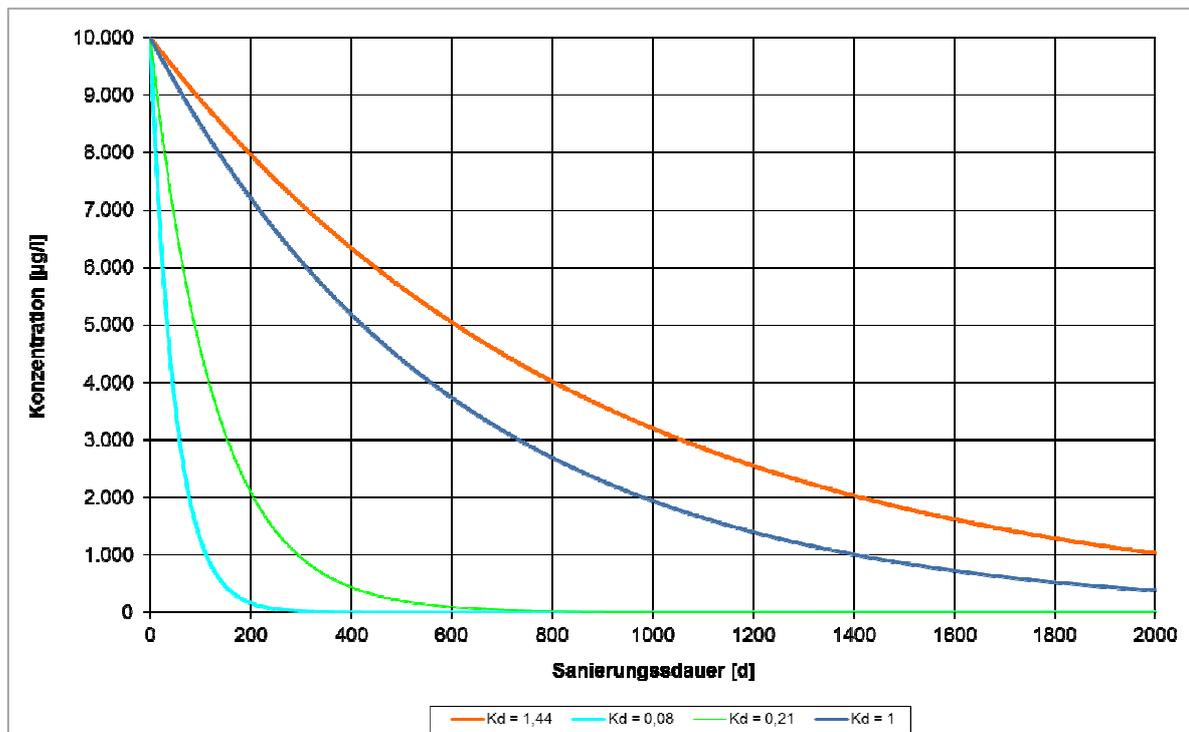
Zusätzlich wurde daher der Verteilungskoeffizient der BTEX zwischen Boden und Wasser aus den 2013 /G14/ im Schadenszentrum entnommenen Boden- und Grundwasserproben wie folgt abgeschätzt:

$$K_d = C_{\text{Boden}} / C_{\text{Wasser}}$$

Für die an den Messstellen GWMP und GWMQ maximal belasteten Horizonte ergeben sich  $K_d$  – Werte von 1,0 – 1,4. Die Messstelle GWMR wurde aufgrund der extrem hohen BTEX - Bodenkonzentration nicht berücksichtigt, da dies zu einem unplausibel hohen  $K_d$  - Wert geführt hätte.

In der Grafik in Abbildung 2 wurde der Konzentrationsverlauf der BTEX während der Sanierung mit den unterschiedlichen Verteilungskoeffizienten abgeschätzt.

**Abbildung 2: Abgeschätzter Sanierungsverlauf**



Mit den niedrigen  $K_d$  – Werten von  $< 1$  für Xylole und Benzol, welche anhand des  $K_{OC}$  – Werts abgeschätzt wurden, erfolgt der Konzentrationsrückgang sehr rasch, mit einer Abnahme auf 1/10 der Ausgangskonzentration innerhalb von 290 (Xylole) bzw. 110 Tagen (Benzol). Bei der bekannten starken Bindung am Sediment wird dies für die Xylole voraussichtlich nicht der Fall sein.

Ob das in Abbildung 2 für eine weitgehende Abreinigung von Benzol ( $K_d$  – Wert = 0,08) auf das Niveau des SSW von 5 µg/l (sanierungsbedürftiger Schadenswert der Berliner Liste /U1/) abgeschätzte eine Jahr ausreicht ist ebenfalls nicht sicher. Allerdings wird für Benzol die Abreinigung wesentlich schneller erfolgen, als für die Xylole. Da diese Substanz unter den natürlichen anaeroben Bedingungen voraussichtlich nur untergeordnet abgebaut wird, ist eine weitgehende Abreinigung mittels p & t hier von besonderer Bedeutung.

Bei  $K_d$  – Werten von 1,0 bis 1,4, welche aus den analysierten Boden- und Grundwasserkonzentrationen ermittelt wurden, dauert es etwa 420 bzw. 600 Tage bis sich die Ausgangskonzentration halbiert hat.

Innerhalb der veranschlagten Sanierungsdauer von 2 Jahren hat danach ein Rückgang auf etwa 1/3 bzw. auf knapp die Hälfte der Ausgangskonzentration stattgefunden. Eine endgültige Einstellung der technischen Sanierungsmaßnahme kann bei diesem Konzentrationsniveau voraussichtlich noch nicht erfolgen. Bei einem den Kurvenverläufen für  $K_d$  – Werte von 1,0 bis 1,4 vergleichbaren Sanierungsverlauf wäre daher im Anschluss an p & t eine mikrobiologische Sanierung erforderlich.

Der flache Kurvenverlauf bei einem  $K_d$  – Wert von 1,44 verdeutlicht zudem das Risiko, dass bei einer hohen, am Bodenkorn adsorbierten Schadstoffmenge (1.255 mg/kg BTEX an GWMR) bereits bei hohen Grundwasserkonzentrationen ein Plateau im Konzentrationsverlauf erreicht wird und über lange Zeit kein wesentlicher Konzentrationsrückgang erfolgt, sodass die Wirtschaftlichkeit einer pump & treat Maßnahme sinkt.

Für die Kostenschätzung unter Pkt. 4.8 wird weiterhin von einer Dauer der p & t Maßnahme von 2 Jahren ausgegangen, da nach diesem Zeitraum voraussichtlich eine deutliche Abnahme der BTEX – Konzentrationen und eine weitgehende Abreinigung des toxikologisch besonders relevanten und mikrobiologisch unter den natürlichen, leicht reduzierenden Grundwassermilieubedingungen nur bedingt abbaubaren Benzols erfolgt sein werden, was die Erfolgsaussichten für eine nachfolgende mikrobiologische Sanierung oder für MNA deutlich verbessern wird.

### 3.3 Grundwasserbeschaffenheit

In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht über die die Grundwasserbeschaffenheit bestimmenden Parameter enthalten, welche 2013 /G14/ und bei den vorangegangenen Untersuchungen ermittelt wurden.

**Tabelle 5: Konzentrationen an Grundwasserinhaltsstoffen**

Parameter	Einheit	Min.	Max.	Mittelwert	Median
Gesamthärte	[°dH]	14,7	35,4	20,8	20,0
Hydrogenkarbonat	[mg/l]	323	500	431	438
Sulfid leicht freisetzb.	[mg/l]	0,01	5,64	0,81	0,30
Sulfat	[mg/l]	1,7	297	43,3	24,3
Phosphat	[mg/l]	0,04	1,34	0,30	0,19
Nitrat	[mg/l]	0,01	117	9,25	1,24
Nitrit	[mg/l]	0,01	0,43	0,09	0,02
Ammonium	[mg/l]	0,01	0,87	0,28	0,22
Methan	[µg/l]	0,1	18.600	5.035	1.307
Eisen ges.	[mg/l]	0,03	9,51	3,19	2,90
Eisen (II)	[mg/l]	0,02	40,4	3,37	2,24
Mangan	[mg/l]	0,01	7,20	0,49	0,29

Parameter	Einheit	Min.	Max.	Mittelwert	Median
DOC	[mg/l]	2,10	20,8	5,91	4,15
TOC	[mg/l]	2,10	20,9	6,29	4,20

Das Grundwasser im Sanierungsbereich ist mit  $\text{D} 21 \text{ } ^\circ\text{dH}$  für Berlin und Brandenburg typisches hartes Wasser. Mit Werten von  $> 30 \text{ } ^\circ\text{dH}$  we ist das Grundwasser teilweise sehr hohe Härtegrade auf.

Die Eisen- und Mangankonzentrationen sind ebenfalls vergleichsweise hoch, ebenso die im Grundwasser gelöste organische Substanz (DOC) mit Konzentrationen von überwiegend  $> 4 \text{ mg/l}$ .

An allen Messstellen im Sanierungsbereich wurde zudem Methan mit Konzentrationen von einigen mg/l nachgewiesen, was beim Betrieb der KatOx – Anlage und unter dem Gesichtspunkt des Explosionsschutzes zu berücksichtigen ist.

Neben der Gesamthärte, welche die Konzentration an Kalzium- und Magnesium - Ionen wiedergibt, ist auch die Karbonathärte (Anteil der Kalzium- und Magnesium - Ionen, für welchen eine äquivalente Konzentration an Hydrogenkarbonat - Ionen vorliegt) sehr hoch.

Durch die vorgesehene Reinigung des Grundwassers durch Strippung der leichtflüchtigen Schadstoffe kommt es zur Störung des Kalk- / Kohlensäuregleichgewichts im geförderten Grundwasser. Mit der nahezu  $\text{CO}_2$  – freien Umgebungsluft (0,04 %) wird  $\text{CO}_2$  aus dem Grundwasser ausgetrieben und hierdurch das im Grundwasser natürlich vorliegende Kalk-Kohlensäuregleichgewicht, in der nachfolgenden Reaktionsgleichung nach rechts, zum Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) hin, verschoben.



In der Folge bilden die im natürlichen Grundwasser gelösten Hydrogenkarbonate, u.a. mit dem ebenfalls im Grundwasser gelösten Kalzium, unlösliches Kalziumkarbonat, welches ausfällt und zusammen mit Eisen- und Manganoxiden Ablagerungen in der Reinigungsanlage, Leitungen, Pumpen und in den Versickerungsbrunnen bildet.

Bei einer Grundwasserentnahme von  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer Hydrogenkarbonat - Konzentration von  $430 \text{ mg/l}$  (Mittelwert) könnten maximal  $100 \text{ kg/d}$  Kalziumkarbonat ausfallen. Auch wenn die Reaktion nicht quantitativ verläuft und nur  $1 - 10 \text{ kg}$  Kalziumkarbonat entstehen, ist dies eine große Menge an Ablagerung. Zum Erhalt der Funktionsfähigkeit von Reinigungsanlage, Leitungssystem und Versickerungsbrunnen sind daher zusätzliche Verfahrensstufen sowie zusätzliche, regelmäßige Reinigungszyklen erforderlich.

Aufgrund der vorhandenen Grundwasserbeschaffenheit sind mindestens an folgenden Punkten im Grundwasserstrom zusätzliche Aufbereitungsstufen erforderlich:

- Entfernung des mit dem Grundwasser geförderten, gelösten Eisens und Mangans vor der Reinigungsstufe, um Ablagerungen in dieser zu vermeiden

- Entfernung des in der Reinigungsstufe (Desorption) oxidierten Eisens und Mangans, sowie teilweise des Kalziumkarbonats vor der Einleitung in die Versickerungsbrunnens, um Verockerungen in diesen zu reduzieren

Vor der Reinigung des geförderten Grundwassers ist eine Enteisung / Entmanganung erforderlich. Hierbei werden das mit dem Grundwasser geförderte Fe(II) und Mn(III) oxidiert und als Eisen(III)oxid bzw. Mangan(IV)oxid abgetrennt. Ein Teil des Kalziumkarbonats fällt bei der Enteisung voraussichtlich ebenfalls mit aus. Trotz Enteisung wird voraussichtlich eine regelmäßige Reinigung der Desorptionsstufe erforderlich sein. Für die Entsorgung der hierbei entstehenden Spülwässer bestehen folgende Möglichkeiten:

- Einleitung in S – Kanalschacht am Columbiadam
- Abfuhr mittels Saugwagen zu einer externen Entsorgung

Vor der Einleitung des gereinigten Grundwassers in die Versickerungsbrunnen ist eine weitere Abtrennung des oxidierten Eisens, Mangans sowie des Kalziumkarbonats erforderlich, um eine möglichst hohe Standzeit der Brunnen zu erreichen.

Die konkrete Gestaltung und Auslegung dieser Aufbereitungsstufen liegt in der Verantwortung des Sanierungsunternehmens. Aufgrund der Intensivierung des mikrobiellen BTEX – Abbaus während der p & t Maßnahme, wird sich die Grundwasserqualität voraussichtlich noch verschlechtern (Zunahme Fe, Mn,  $\text{HCO}_3^-$ ), sodass für die Anlagenauslegung durch die Bieter auch bis zu 30 % höhere Konzentrationen der relevanten Grundwasserinhaltsstoffe berücksichtigt werden sollten.

Zusätzlich werden voraussichtlich eine regelmäßige Reinigung der Versickerungsbrunnen und möglicherweise auch der Förderbrunnen erforderlich. Hierbei wird eine verdünnte Säure, aus Umweltschutzgründen Zitronensäure, in den Brunnen eingeleitet. Ablagerungen aus Kalziumkarbonat und Eisen- / Manganoxiden lösen sich auf und werden im Anschluss, nach einer Standzeit von einigen Tagen, zusammen mit der Zitronensäurelösung wieder abgepumpt und entsorgt.

Trotz der vorgesehenen Reinigung der Brunnen, ist nicht sicher auszuschließen, dass während der Sanierung Brunnen ersetzt werden müssen. In die Kostenschätzung in Anlage 7.3 wurde ein Ersetzen von Versickerungsbrunnen bisher nicht aufgenommen.

Da die für die Grundwasserförderung üblicherweise eingesetzten PEHD – Druckrohrleitungen nicht gasdicht sind und möglicherweise bereits eine Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit in den Förderbrunnen auftritt, können auch Verockerungen im Leitungssystem nicht ausgeschlossen werden. Die Gestaltung des Leitungssystem von den Förder- und Versickerungsbrunnen zur Anlage muss daher dessen Reinigung erlauben (s. Pkt. 4.2).

Abhängig davon, wie die Kinetik der Kalziumkarbonatausfällung verläuft, kann zusätzlich zu den aufgeführten Maßnahmen optional eine Härtestabilisierung erforderlich werden. Bei Härtestabilisatoren handelt es sich u.a. um

Polyphosphatlösungen oder Acrylate, welche das Wachstum der Kristallkeime verhindern oder verzögern, sodass Ablagerungen oder Inkrustierungen von Kalziumkarbonat vermieden oder zumindest verringert werden.

Die maximal analysierte Methan – Konzentration im Grundwasser von etwa 20.000 µg/l an GWME und GWMF (30.000 ml/m<sup>3</sup>  $\cong$  3 Vol %) liegt knapp unter der UEG von 4,4 Vol %. Bereits bei einem Luft : Wasserverhältnis von 10 : 1 beträgt die Methan – Konzentration in der Strippluft nur noch weniger als 1/10 der UEG, sodass davon ausgegangen wird, dass keine zusätzlichen Maßnahmen zum Explosionsschutz erforderlich sind. Dennoch sollten in der Grundwasserreinigungsanlage aus Vorsorgegründen ein Luft - Wasser – Verhältnis von > 30 : 1 realisiert und zusätzlich durch die Gestaltung der Reinigungsanlage sicher gestellt werden, dass keine Anreicherung von Methan im Luftstrom erfolgen kann (keine Kreisgasführung). Zudem liegen die Messstellen mit den höchsten Methan – Konzentrationen außerhalb des Sanierungsbereichs. An den Sanierungsbrunnen wurden Methan – Konzentrationen von < 10.000 µg/l analysiert.

Das Konzept zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit der Grundwasserreinigungsanlage liegt in der Verantwortung des Sanierungsunternehmens. Um eine Vergleichbarkeit der Angebote zu ermöglichen werden folgende Leistungen abgefragt:

- regelmäßige Reinigung der Desorptionsstufe ist in Miete und Betrieb einzukalkulieren
- Reinigung eines Förder- oder Versickerungsbrunnens
- Reinigung einer Förder- oder Versickerungsleitung mit bis zu 200 m Länge
- regelmäßige, monatliche Aufwendungen für Rückspülung bzw. Reinigung von Filtereinheiten
- Nachrüstung einer Härtestabilisierung (Dosierstation), der Verbrauch des Härtestabilisators wird als Nachweisposition angefragt, da dessen Bedarf nur anhand von Versuchen belastbar ermittelt werden kann

## **4 Planung der Sanierungsanlage**

### **4.1 Sanierungsbrunnen und Überwachungsmessstellen**

Unter Pkt. 4.3 wird abgeschätzt, welche Anzahl an Förderbrunnen und welche Förderraten notwendig sind.

Die folgende Tabelle 6 enthält eine Übersicht über die vorhandenen und noch zu errichtenden Entnahme- und Versickerungsbrunnen. Anlage 2.2 zeigt die vorgesehenen Brunnenstandorte. Diese werden vor Beginn der Bohrarbeiten durch einen Vermesser im Gelände abgesteckt.

**Tabelle 6: Ausbau der vorhandenen und neu zu errichtenden Sanierungsbrunnen**

Bezeichnung	Ausbau HDPE Ø [mm]	Bohr Ø [mm]	Filterkies [m u GOK]	Filterrohr [m u GOK]	Ton [m u GOK]	Endteufe, (gebohrt) [m u GOK]	Aktueller Abschluss
<b>vorhanden:</b>							
GWMP	140 x 8	324	15,0 – 21,5	17,04 – 21,04	2,0 – 5,0	28	rechteckige Straßenkappe
	63 x 5,8			15,15 – 17,15			
GWMQ	140 x 8	324	14,5 – 21,5	17,07 – 21,07	2,0 – 4,0	24	rechteckige Straßenkappe
	63 x 5,8			15,35 – 17,35			
GWMR	140 x 8	324	14,5 – 18,7	16,53 – 18,53	1,0 – 4,0	26	rechteckige Straßenkappe
	63 x 5,8			15,01 – 17,01			
GWMS	140 x 8	324	14,5 – 22,0	17,02 – 21,02	1,0 – 4,5	22	rechteckige Straßenkappe
	63 x 5,8			15,17 – 17,17			
GWMT	140 x 8	324	14,5 – 22,0	17,02 – 21,02	1,0 – 4,0	22	rechteckige Straßenkappe
	63 x 5,8			15,37 – 17,37			
<b>neu zu errichten, geplanter Ausbau:</b>							
GWMU	140 x 8	324	16,0 – 22,0	17,0 – 21,0	1,0 – 4,5	22	Brunnen- schacht
GWMV	63 x 5,8			15,0 – 17,0			
GWMW							
GWMX							

Der Ausbau der noch zu errichtenden Sanierungsbrunnen in Tabelle 6 stellt eine Planungsgrundlage dar und wird anhand der angetroffenen Schichtenfolge und der festgestellten, vertikalen Schadstoffverteilung präzisiert.

Die Errichtung weiterer Grundwassermessstellen ist gegenwärtig nicht vorgesehen. In Anlage 5 ist eine Übersicht der vorhandenen, für die Sanierungsüberwachung zur Verfügung stehenden Grundwassermessstellen enthalten.

Sollten an der noch auszuführenden Bohrung GWMV, welche am südöstlichen Schadensrand vorgesehen ist, hohe BTEX – Konzentrationen festgestellt werden, ist in diesem Bereich eine weitere Brunnenbohrung zur Eingrenzung und zur Nutzung als Versickerungsbrunnen zu empfehlen. In der Zusammenfassung der Kostenschätzung in Tabelle 15 wurde eine zusätzliche Brunnenbohrung angegeben.

Die Bohrarbeiten zur Errichtung der Sanierungsbrunnen werden als verrohrte Trockenbohrungen mit vorgeschobener Hilfsverrohrung im Durchmesser von Ø 324 mm ausgeführt. Der Enddurchmesser der Bohrungen muss mindestens Ø 324 mm betragen, wobei eine maximale Endteufe der Bohrungen von 30 m gerätetechnisch gewährleistet werden muss. Bei den Brunnenbohrungen ist ein Teleskopieren zulässig. Dies liegt im Ermessen des Bieters.

An den Sanierungsbrunnen ist eine Länge des Filters von 4 m vorgesehen. Die Filterstrecken werden jeweils mit 1,0 m Filterkies über- und unterschüttet. Oberhalb der Filterschüttung ist etwa 0,5 m Gegenfilter einzubauen.

Als Ausbaumaterial für die Sanierungsbrunnen wird PEHD 140 x 8,0 mm verwendet. Neben dem Brunnenrohr wird jeweils ein Peilrohr im Durchmesser 63 x 5,8 mm, ebenfalls aus PEHD – Material in jede Bohrung mit eingebaut.

Um weitere Informationen zur Schadstoffverteilung im Sanierungsbereich zu erhalten, sollten bei Errichtung der Sanierungsbrunnen ab 15 m u GOK (Grundwasseranschnitt) sowie im Anschluss bis 21 m u GOK alle 2 Meter und zusätzlich bei sensorischen Auffälligkeiten Bodenuntersuchungen auf BTEX durchgeführt werden (ca. 4 Stk. / Bohrung). Hierzu sind die Abfüllung von Bodenmaterial in Methanolgläschen und deren Untersuchung im Labor vorgesehen.

Zur Feststellung der vertikalen Schadstoffverteilung und Präzisierung der Filterlage sollten bei der Errichtung der Sanierungsbrunnen jeweils ca. 2 - 3 teufenorientierte Grundwasserproben in folgenden Intervallen entnommen werden:

- 17 – 18 m u GOK
- 20 – 21 m u GOK
- (optional, falls von 17 zu 20 m u GOK kein Konzentrationsrückgang auftritt:  
23 – 24 m u GOK)

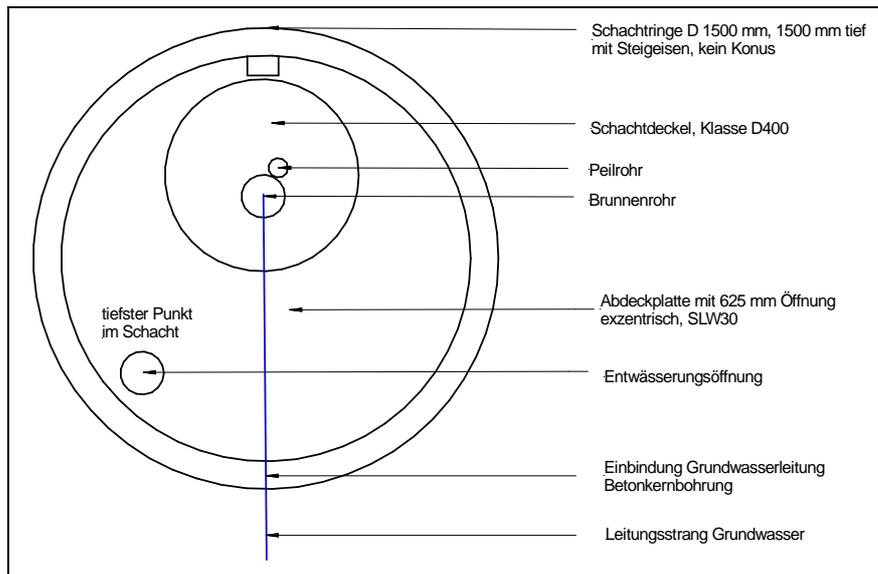
Gering durchlässige Horizonte im Bereich des Grundwasserleiters werden mit Tonsperren abgedichtet, um keine Wegsamkeiten zu schaffen. Unmittelbar unter der Geländeoberfläche bzw. oberhalb der Filterstrecke wird an allen Brunnen eine Tonschicht eingebaut.

Die erbohrten Schichten und der Ausbau der Brunnen werden durch Fachpersonal erfasst und in Schichtenverzeichnissen, Bohrprofilen und Ausbauplänen dokumentiert. Der konkrete Ausbau der Sanierungsbrunnen wird durch das begleitende Ingenieurbüro festgelegt.

Nach Fertigstellung werden die Brunnen bis zum Erreichen der Schwebstofffreiheit des Wassers klargepumpt. Das voraussichtlich mit BTEX belastete Grundwasser wird über Aktivkohle (mind. 100 kg) gereinigt und auf dem Gelände versickert.

Die vorhandenen und neu zu errichtenden Förder- und Versickerungsbrunnen werden in einen Betonschacht  $\varnothing$  1,5 m, 1,5 m tief eingebaut. Dieser wird mit Steigeisen ausgestattet. Der Schacht wird mit einem Schachtdeckel Belastungsklasse D400, im Durchmesser von  $\varnothing$  0,6 m verschlossen. Das Brunnenrohr wird mit einer Kappe oder Ähnlichem gesichert. Um den Einbau von Brunnenpumpe mit Steigeleitung sowie den Anschluss der Förderleitung zu erleichtern, werden die Brunnenrohre asymmetrisch, unterhalb des Schachtdeckels in den Schacht eingebaut. Um eine Entwässerung der Brunnenstuben zu erleichtern, für den Fall, dass Niederschlagswasser oder, bei Arbeiten an der Steigeleitung, Grundwasser eindringt, ist deren Sohle zu einer Seite hin abzuschrägen und ein Pumpensumpf einzubauen. In der folgenden Abbildung 3 ist der Ausbau eines Brunnenschachts skizziert.

### Abbildung 3: Skizze eines Brunnenschachts



Die neu errichteten Brunnen werden nach Fertigstellung nach Lage (Soldner) und Höhe (DHHN92 (NHN)) eingemessen.

Die Kostenschätzung für die Bohrarbeiten ist in Anlage 7.3 enthalten.

#### 4.2 Leitungsführung und -auslegung

Es sind insgesamt 4 Förder- und 5 Infiltrationsbrunnen an die Grundwasserreinigungsanlage anzuschließen. Außerdem muss das Hauptstromkabel vom Bau Nr. 153 zum Anlagenstandort verlegt werden.

In Anlage 3 ist die Trassenführung der Anschlussleitungen von den Brunnen zur Anlage, in Anlage 1 vom Stromanschluss zum Anlagenstandort skizziert. Der Anlagenstandort ist am südlichen Schadensrand geplant, um Beeinträchtigungen der Besucher der Parkanlage möglichst gering zu halten. Gegenüber der Vorplanung /G15/ wurde der Anlagenstandort etwa 70 m nach Osten versetzt, um Geräuschbelästigungen des Interreligiösen Projekts zu reduzieren.

Eine weitere Präzisierung der Trassenführung mit Abstecken der Leitungstrassen, insbesondere der Stromzuleitung vom Bau Nr. 153, erfolgt gemeinsam mit einem Vertreter des AG und dem ausführenden Unternehmen unmittelbar vor Baubeginn.

Alle Leitungen werden frostsicher, unterflur in Verlegegräben eingebaut. Bei den Erdarbeiten zum Aushub der Gräben ist eine baubegleitende Kampfmittelfreimessung erforderlich.

Von den Förderbrunnen zur Anlage werden jeweils Elektro- und Steuerkabel sowie PEHD – Druckrohrleitung für Rohwasser verlegt. Sollte eine mikrobiologische Nachsanierung erforderlich werden, kann die PEHD – Rohrleitung für den Transport des mit Sauerstoff(trägern) angereicherten Grundwassers zur Versickerung genutzt werden.

Von den Versickerungsbrunnen zum Anlagenstandort sind jeweils 2x PEHD – Rohre vorgesehen, 1x zur Reinwasserableitung, 1x als Leerrohr zum späteren Einzug eines

Elektro- und Steuerkabel. Dieses zweite Leerrohr soll optional genutzt werden, falls in der 2. Stufe der Sanierung eine Umstellung zu einer in – situ Mikrobiologie erforderlich wird und die Brunnen im Schadenszentrum für die Versickerung von mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> angereichertem Grundwasser genutzt werden, welches aus den ursprünglichen Versickerungsbrunnen am Schadensrand gefördert wird.

Die Auslegung der Wasserleitungen erfolgt für eine Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s, um den dynamischen Druckverlust und damit den Stromverbrauch der Brunnenpumpen zu minimieren. Jeder Brunnen erhält eine eigene Anschlussleitung zum Anlagenstandort (keine Sammelleitungen), um diesen optional für eine Grundwasserentnahme oder Versickerung nutzen zu können.

Als Rohrleitungsmaterial für die Roh- und Reinwasserleitungen wird HDPE der Druckklasse PN 10 (PE100) oder 12,5 (PE80) verwendet. Bei der Gestaltung des Leitungssystems ist zu beachten, dass dieses für eine Reinigung mit verdünnter Säurelösung geeignet ist. Zum Spülen der Roh- und Reinwasserleitungen sind folgende Einrichtungen vorzusehen:

- Anschlüsse für Reinigungslösung im Brunnenschacht und in der Anlage
- Armaturen zum Absperren von Brunnenpumpe und Grundwasserreinigungsanlage gegen die Reinigungslösung
- temporär während der Reinigung: Pumpe, 2x Tankbehälter zum Ansetzen / Auffangen der Säurelösung

Zudem müssen alle Armaturen, Messaufnehmer etc., welche sich in dem zu reinigenden Leistungsstrang befinden, beständig gegen die zum Einsatz kommende Säurelösung sein bzw. alternativ für die Reinigung ausgebaut werden können.

Als Kalkulationsgrundlage wurde in der Kostenschätzung Anlage 7.1 als Anschlusskabel für die Brunnenpumpen Erdkabel NYY-J 5 x 2,5 mm<sup>2</sup> und als Hauptstromkabel NYY-J, 4 x 70 mm<sup>2</sup> angesetzt. Die Steuerleitungen für die Brunnenpumpen sind mindestens 6adrig (z.B. A2YL2Y) auszulegen. Es ist geschirmtes Kabel zu verwenden. Die konkrete Auslegung der Elektro- und Steuerkabel obliegt dem Sanierungsunternehmen. Die Elektroleitungen sind so auszulegen, dass ein max. Spannungsabfall zwischen Zähler und Anlage bzw. zwischen Anlage und Geräteanschlussklemmen der Brunnenpumpen von 3 % eingehalten wird.

Für alle Leitungen wird, soweit möglich, ein gemeinsamer Verlegegraben genutzt. Die erforderlichen Sohlbreiten der Rohrgräben werden an die je Strangabschnitt einzulegende Anzahl an Leitungen nach DIN 4124 angepasst.

Die Roh- und Reinwasserleitungen werden frostsicher bei 1,3 m u GOK, die Elektro- und Steuerleitungen darüber eingebaut. Oberhalb der Leitungen wird Warnband verlegt. Nach Einbau der Leitungen werden die Gräben lagenweise verfüllt und verdichtet. Nach Fertigstellung werden die Leitungstrassen lagemäßig eingemessen.

Vor Verfüllung der Leitungsgräben werden für jeden Rohrstrang eine Druckprüfung (9 Stück) und eine Funktionsprüfung der Elektro- und Steuerleitungen (angeschlossene Pumpen und Brunnenniveaus) durchgeführt.

Die Stromversorgungsleitung der Grundwasserreinigungsanlage wird von einem Verteilerkasten am Gebäude Nr. 153, etwa 320 m westlich des vorgesehenen Anlagenstandorts durch eine mit Buschwerk bestandene Grünfläche zur Anlage verlegt (s. Anlage 1). Es ist ein Stromanschluss von 125 A vorhanden.

Im Verlauf der Stromtrasse ist ein historischer, aus den 1920iger Jahren stammender Weg zu queren. Um das Bauwerk zu erhalten, ist die Verlegung der Elektroleitung in diesem Abschnitt (ca. 8 m) in geschlossener Bauweise mittels Erdrakete vorgesehen.

In der folgenden Tabelle sind die Auslegung und Längen der zu verlegenden Leitungen zusammengefasst. Bei den Leitungslängen wurden jeweils 5 m Überstand an beiden Enden für die Montage berücksichtigt.

**Tabelle 7: Auslegung der Versorgungsleitungen der Grundwasserreinigungsanlage**

	Abschnitt	Roh-/Reinwasserleitung		Elektro- / Steuerkabel	Länge [m]
		Auslegung:	Ø [mm]		
<b>Rohwasser- leitungen</b>  <b>Steuer-, Elektrokabel</b>	GWMP - Anlage	1,0 – 2,0 m³/h	32	NYY-J	76
	GWMQ - Anlage	1,0 – 2,0 m³/h	32	4x2,5mm²,	60
	GWMR – Anlage	1,0 – 2,0 m³/h	32	mind. 5adriges	39
	GWMU – Anlage	1,0 – 2,0 m³/h	32	Steuerkabel	76
	<b>Summe</b>	<b>8 m³/h</b>			<b>251</b>
<b>Reinwasser- leitungen</b>  <b>2 x</b>	Anlage – GWMS	1,0 - 2,0 m³/h	32	-	114
	Anlage - GWMT	1,0 - 2,0 m³/h	32	-	90
	Anlage – GWMV	1,0 - 2,0 m³/h	32	-	35
	Anlage – GMMW	1,0 - 2,0 m³/h	32	-	104
	Anlage – GMMX	1,0 - 2,0 m³/h	32	-	132
	<b>Summe</b>	<b>8 m³/h</b>			<b>2 x 475</b>
<b>Kostenschätzung Leitungsverlegung</b>					
		<b>[m]</b>	<b>[€/m]</b>		<b>[€]</b>
Σ Ø 32 HPEHD Druckrohrleitung		1.200	3,00	HDPE, PN12,5	3.600,00
Σ Elektrokabel		250	3,00	NYY-J 4x2,5mm²	750,00
Σ Steuerleitung		250	2,00	mindestens 6adrig	500,00
Σ Hauptstromkabel Anschlusspunkt – Anlage (18 kW)		342	50,00	NYY-J 4x70mm²	17.100,00
Verlegegraben		630	25,00	1 m u GOK	15.750,00
Erdrakete		8	pauschal:		1.800
<b>Gesamtsumme:</b>					<b>39.500,00</b>

Die obige Kostenschätzung beruht darauf, dass die Verlegegräben mittels Maschinenschachtung angelegt werden.

Aufgrund der Lage des Sanierungsbereichs auf dem Gelände des ehem. Alten Hafens, ist auf dem gesamten Gelände mit größeren Bauschutteinlagerungen bzw. mit Resten der ursprünglichen Oberflächenbefestigung zu rechnen.

Ebenso kann nicht ausgeschlossen werden, dass der im Bereich der Leitungstrassen ausgehobene Boden nicht wieder eingebaut werden kann bzw. als gefährlicher Abfall entsorgt werden muss. In diesem Fall kommen zu den Entsorgungskosten noch die Kosten für die Anlieferung von Füllboden im Umfang des nicht wiedereinbaufähigen Bodens dazu. Da der Umfang dieser Leistungen gegenwärtig nicht genauer spezifiziert werden kann, konnte dies in der Kostenschätzung in Anlage 7.1 nicht berücksichtigt werden.

### 4.3 Förderregime und Ausrüstung der Sanierungsbrunnen

Für eine wirksame Abreinigung des Sanierungsbereichs mittels p & t ist eine intensive Durchströmung des belasteten Aquiferhorizonts erforderlich. Zur Extraktion der von den nachgewiesenen BTEX am stärksten am Sediment bindenden Xylole wird daher ein mindestens 5 – 6 facher Austausch des kontaminierten Grundwasservolumens im Sanierungsbereich pro Jahr angesetzt.

Nach der Aufstellung in Tabelle 8 wird mit einer Grundwasserentnahme von in  $\Sigma 6 \text{ m}^3/\text{h}$  ein 5 facher Austausch des kontaminierten Grundwasservolumens im Sanierungsbereich 1 pro Jahr erreicht.

An den Sanierungsbrunnen sollen zur Vermeidung einer starken Absenkung, welche die Verockerung der Filterstrecke beschleunigen und zur Freilegung des Belastungshorizont führen kann, nur Förderraten von 1 – 2  $\text{m}^3/\text{h}$  realisiert werden.

**Tabelle 8: Abschätzung der erforderlichen Anzahl an Sanierungsbrunnen**

<b>Sanierungsbereich 1</b>	
Fläche	7.000 $\text{m}^2$
Horizont	Grundwasserspiegel 15 m u GOK – 25 m u GOK (10 m)
Bodenvolumen	70.000 $\text{m}^3$
Porosität	15 %
kontaminiertes Grundwasservolumen	10.500 $\text{m}^3$
Austausch Porenvolumen /Jahr	5 x /a bzw. 6 x / a
Austausch Porenvolumen	1 x in 73 Tagen bzw. 1 x in 61 Tagen
Förderrate	$\Sigma 6 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. 7,2 $\text{m}^3/\text{h}$
Anzahl Brunnen bei 1,5 $\text{m}^3/\text{h}$ je Brunnen	4 – 5 Brunnen

Soweit möglich, soll durch die Versickerung des gereinigten Grundwassers am Schadensrand die Durchströmung des Sanierungsbereichs 1 verbessert und eine Förderrate von 1,5  $\text{m}^3/\text{h}$  an den Entnahmebrunnen sichergestellt bzw. diese auf 2  $\text{m}^3/\text{h}$  erhöht werden.

Die Aufstellung in Tabelle 8 zeigt, dass auch bei dieser Limitierung der Förderrate mit 4 Sanierungsbrunnen bei je 1,5 m<sup>3</sup>/h Förderrate ein intensiver Austausch des kontaminierten Porenvolumens im Sanierungsbereich erzielt werden kann.

Eine geringere Grundwasserentnahme führt dagegen voraussichtlich zu einer Verlängerung der Sanierungsdauer.

Die aus der Grundwasserförderung resultierende Reichweite (R) wird voraussichtlich deutlich über den Sanierungsbereich 1 hinaus reichen, wie die folgende Abschätzung der Reichweite (R) aus den beim Pumpversuch /G7/ gemessenen Absenkungsbeträgen (s = 1,3 – 3,5 m) in den Brunnen P72 und GWMB bei Förderraten von max.: 2,1 bzw. 1,2 m<sup>3</sup>/h und den 2013 /G14/ aus der Sieblinie ermittelten kf – Werten von:

- 2,6 x 10<sup>-4</sup> bis 2,3 x 10<sup>-3</sup> m/s (Mittel- / Grobsand)
- 4,2 x 10<sup>-5</sup> bis 5,3 x 10<sup>-5</sup> m/s (Feinsand, schluffig)

zeigt. Nach folgender Formel (Sichardt) ergeben sich theoretische Reichweiten von 67 m bis 182 m für Mittel- und Grobsand und 27 m bis 74 m für den schluffigen Feinsand:

$$R = 3000 \times s \times \text{Wurzel}(kf);$$

Allerdings ist am Rand dieses Entnahmetrichters nur noch von einer sehr geringen Durchströmung des Grundwasserleiters und nicht mehr von einer wirksamen Abreinigung auszugehen.

Der Radius um einen der Sanierungsbrunnen, in welchem ein 5facher Austausch des kontaminierten Grundwasservolumens pro Jahr erfolgt beträgt, vereinfachend nach der Zylinderformel abgeschätzt, etwa 24 m.

In Anlage 2.2 sind die Sanierungsbrunnen und die Wirkradien um diese skizziert. Der Sanierungsbereich 1 wird hiermit weitgehend abgedeckt.

Im Unterschied zu der durch die Grundwasserförderung an den Sanierungsbrunnen induzierten Grundwasserbewegung (Retardation = 1) erfolgt der Transport der Schadstoffe zum Sanierungsbrunnen verzögert, da bei diesen eine Wechselwirkung mit dem Aquifersediment (Retardation) existiert.

Im Folgenden wird unter Berücksichtigung einer Retardation von R = 2,2 für Xylol die Zeitdauer abgeschätzt, welche die BTEX aus 24 m Entfernung bei vorgegebener Förderrate Q (1,5 m<sup>3</sup>/h), Höhe des belasteten Horizonts h = 10 m und effektiver Porosität n = 0,15 zum Brunnen benötigen.

$$r_t = \frac{\sqrt{Q * t}}{\pi * h * n}$$

Es berechnet sich eine Dauer von etwa 350 d bis BTEX vom Rand des 24 m betragenden Wirkradius bzw. vom Rand des Sanierungsbereichs 1 zum Sanierungsbrunnen gelangen. Aus einem Radius von 10 m um den Sanierungsbrunnen benötigen die BTEX (Xylol) nur etwa 60 Tage zum Brunnen,

hier sind die Durchströmung und damit auch die Abreinigung der BTEX wesentlich intensiver. Die Gegenüberstellung verdeutlicht das Risiko, dass bisher unentdeckte Schadstoffquellen am Rand des Sanierungsbereichs die Sanierungsdauer wesentlich verlängern. Diesem Problem könnte mit einem weiteren Brunnen südlich von GWMV, wenn bei dessen Errichtung hohe BTEX – Konzentrationen analysiert werden bzw. falls der Konzentrationsverlauf während der Sanierung auf einen weiteren Belastungsschwerpunkt hindeutet, mit der Installation eines zusätzlichen Brunnens begegnet werden.

Die Grundwasserförderung wird mit den in Tabelle 9 genannten Förderraten begonnen. Da zu Sanierungsbeginn nur die anstromigen Brunnen GWMV, GMMW und GMMX für die Versickerung genutzt werden können, kann eine weitere Erhöhung der Förderraten der verschiedenen Brunnen auf bis zu 2 m<sup>3</sup>/h, bis der maximale, ausgeschriebene Anlagendurchsatz von 8 m<sup>3</sup>/h erreicht ist, möglicherweise erst nach Abreinigung der Belastungsmaxima, im Verlauf der Inbetriebnahmephase (s. Pkt. 4.6) erfolgen.

Der Flurabstand des Grundwassers im Sanierungsbereich liegt bei etwa 15 m u GOK.

**Tabelle 9: Vorhandene Sanierungsbrunnen und vorgesehene Förderraten für die hydraulische Sanierung**

	Brunnen	Förder- / Versickerungsrate	Q zu Sanierungsbeginn	Filter	Einbautiefe [m u GOK]		
					Brunnenpumpe*	Brunnenniveaus	
Entnahmebrunnen	vorhanden:	<b>von - bis</b>	<b>[m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>[m u GOK]</b>			
	GWMP	1,0 – 2,0 m <sup>3</sup> /h	1,5	17,0 – 21,0	18,0	16,5 / 15	
	GWMQ	1,0 – 2,0 m <sup>3</sup> /h	1,5	17,1 – 21,1	18,0	16,5 / 15	
	GWMR	1,0 – 2,0 m <sup>3</sup> /h	1,5	16,5 – 18,5	17,0	16 / 15	
	neu zu errichten (geplanter Ausbau)						
	GWMU	1,0 – 2,0 m <sup>3</sup> /h	1,5	17,0 – 21,0	18,0	16,5 / 15	
Summe:	<b>4 – 8 m<sup>3</sup>/h</b>		<b>6,0</b>				
Versickerungsbrunnen	vorhanden:				<b>Einleitung</b>		
	GWMS	1,0 - 2,0 m <sup>3</sup> /h	-	17,0 – 21,0	16,0	12 / 15	
	GWMT	1,0 - 2,0 m <sup>3</sup> /h	-	17,0 – 21,0	16,0	12 / 15	
	neu zu errichten (geplanter Ausbau)						
		GMMV	1,0 - 2,0 m <sup>3</sup> /h	2,0	17,0 – 21,0	16,0	12 / 15
		GMMW	1,0 - 2,0 m <sup>3</sup> /h	2,0	17,0 – 21,0	16,0	12 / 15
	GMMX	1,0 - 2,0 m <sup>3</sup> /h	2,0	17,0 – 21,0	16,0	12 / 15	
Summe:	<b>5 – 8 m<sup>3</sup>/h</b>		<b>6,0</b>				

\* bezogen auf Ansaugöffnung der Pumpe, Brunnenniveaus: aus / ein

Die Förderraten aus den einzelnen Sanierungsbrunnen sind so einzustellen, dass eine kontinuierliche Grundwasserförderung erfolgt und die Brunnenpumpen nur in Ausnahmefällen aus-/einschalten. Vorzugsweise wird dies mittels Einsatz frequenzgesteuerter Brunnenpumpen, verbunden mit Druckmessdosen, realisiert.

Alternativ sind auch eine Eindrosselung der Pumpen und die Installation einer Niveausteuerung denkbar, wobei folgende Anforderungen erfüllt sein müssen:

- kontinuierlicher Betrieb der Brunnenpumpen
- Einhaltung eines maximalen Absenkziels von vorläufig 1,5 m bzw. 1 m (GWMR)
- Anpassung des max. Absenkziels, bei Bedarf
- Begrenzung der maximalen Förderrate je Brunnen auf 2 m<sup>3</sup>/h.

Falls eine Niveausteuerung für die Schaltung der Brunnenpumpe eingesetzt wird, sind die Niveaus so zu installieren, dass keine Freilegung der Filterstrecke der Brunnen erfolgen kann.

Für die Versickerungsbrunnen wird eine max. Überstauung des Grundwasserspiegels von 3 m angesetzt, um die hydraulische Belastung der Filterstrecken zu begrenzen. Bei zunehmender Verockerung der Versickerungsbrunnen im Sanierungsverlauf wird geprüft, ob die Stauhöhe vergrößert wird.

Die Einleitung des gereinigten Grundwassers soll 1 m unterhalb des Wasserspiegels erfolgen, um den Eintrag von Sauerstoff zu verhindern. Es ist eine gleichmäßige Beaufschlagung der betriebenen Versickerungsbrunnen mit dem gereinigten Grundwasser sicherzustellen.

Das Regelungskonzept zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Förderung und Versickerung des Grundwassers wird im Rahmen der Ausschreibung bei den Sanierungsunternehmen abgefragt und bei der Angebotsauswertung bewertet.

Jeder Sanierungsbrunnen wird mindestens mit einer Brunnenpumpe mit Rückschlagklappe, einem Manometer zur Ablesung des Drucks an der Förderleitung im Brunnen und einem Absperrhahn sowie bei Frequenzsteuerung, mit einer Druckmessdose bzw. alternativ bei Niveausteuerung, mit zwei Brunnenniveaus zur Messung des Wasserstands (3 Elektroden: Min., Max. Masse), ausgerüstet. Zudem müssen Möglichkeiten für eine Spülung der Anschlussleitung zur Sanierungsanlage vorgesehen werden.

Hinsichtlich der erreichbaren Förderhöhen sind die Brunnenpumpen so auszulegen, dass der gesamte Arbeitsbereich im Betrieb der Anlage sicher abzudecken ist. Außerdem müssen die Pumpen über eine Leistungsreserve von ca. 30 % hinsichtlich des bei der Nennförderrate erreichbaren Betriebsdrucks verfügen, um bei fortschreitender Sanierungsdauer, auch bei Verockerungen etc., den geforderten Volumenstrom zu gewährleisten. Mit dem Angebot sind durch die Bieter daher die Kennlinien der angebotenen Brunnenpumpen vorzulegen, um deren Bemessung prüfen zu können.

Aufgrund der Lage des Belastungsmaximums der BTEX im oberen Horizont des Grundwasserleiters, muss die Brunnenpumpe im Horizont der Filterstrecke eingebaut werden. Bei Bedarf ist diese daher, zur Sicherstellung einer ausreichenden Kühlung, mit einem Kühlmantel auszustatten, damit die Lebensdauer der Pumpen nicht verkürzt wird. Zur Kontrolle sind im Rahmen der Sanierungsüberwachung Temperaturmessungen im geförderten Grundwasser vorgesehen.

#### 4.4 Auslegung der Grundwasserreinigungsanlage

Der für die Grundwasserreinigungsanlage vorgesehene Aufstellungsort befindet sich in einer Rasenfläche. Es wird von einem Platzbedarf von etwa 150 - 200 m<sup>2</sup> ausgegangen. Die Aufstellungsfläche für die Reinigungsanlage ist entsprechend den statischen Anforderungen der vorgesehenen Anlagentechnik durch das Sanierungsunternehmen zu befestigen. Diese Oberflächenbefestigung ist nach Beendigung der Sanierung wieder rückzubauen.

Aufgrund der exponierten Lage in einer öffentlichen Grünfläche ist eine vollständige Einhausung der Anlagentechnik erforderlich, um den Zugriff Unbefugter auf Anlagenteile, welche schadstoffhaltige Medien enthalten, auszuschließen. Es ist eine kompakte Anlagentechnik, welche vollständig in z.B. in 20ft Seecontainer einzuhausen ist, vorgesehen.

Zusätzlich ist der Anlagenstandort inkl. benötigter Lagerflächen, Aufenthaltscontainer etc. einzuzäunen.

Die Grundwasserreinigungsanlage wird winterfest ausgelegt.

Aufgrund der Lage des Sanierungsbereichs in einer öffentlichen Grünanlage sollen die Lärmgrenzwerte für allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete /U10/ von 55 dB(A) tagsüber und 40 dB(A) nachts, d.h. da es bei der Grundwasserreinigungsanlage keinen Unterschied von Tag- und Nachtbetrieb gibt, 40 dB(A), eingehalten werden.

Bei Bedarf ist zum Nachweis der Einhaltung des Lärmgrenzwertes durch den Anlagenbetreiber zu Sanierungsbeginn eine Lärmmessung durch ein hierfür qualifiziertes Unternehmen zu veranlassen.

Es ist eine Anlageverfügbarkeit von 98 % bezogen auf ein Quartal sicherzustellen. Darüber hinaus gehende Stillstandzeiten werden von der Anlagenmiete / -wartung abgezogen. Erforderliche Zeiten für Reinigungsarbeiten und Aktivkohlewechsel werden im Rahmen der Angebotseinholung abgefragt und bei der Abrechnung nicht auf die Anlagenverfügbarkeit angerechnet.

Alle Anlagenteile werden geschlossen ausgeführt, sodass ein Kontakt mit den vorhandenen Schadstoffen ausgeschlossen ist. Pendelluftvolumina werden in den Luftstrom der Grundwasserreinigungsanlage geführt.

Alle Anlagenteile werden beständig gegen die vorhandenen Schadstoffe und die vorhandenen Grundwasserinhaltsstoffe (s. Tabelle 5) ausgelegt. Alle dem Tageslicht ausgesetzten Materialien müssen UV-beständig sein. Die Grundwasserreinigungsanlage wird für den Dauerbetrieb, für den Fall der einfachen Betriebssicherheit ausgelegt.

Vor allen Pumpen werden Absperrarmaturen eingebaut, um diese ohne Strangentwässerung ausbauen zu können. Inwiefern in der Reinigungsanlage frequenzgesteuerte Pumpen eingesetzt werden, wird den Bietern freigestellt und anhand deren Funktionalität im Regelungskonzept und der Wirtschaftlichkeit bewertet.

An allen Druckbehältern (z.B. Kiesbettfilter, optional: Wasseraktivkohlefilter) müssen Überdrucksicherungen eingebaut werden. Dabei ist durch geeignete technische Maßnahmen sicherzustellen, dass bei Ansprungen der Überdruckventile austretendes Wasser nicht in die Umgebung gelangt, sondern in die Grundwasserreinigungsanlage geleitet bzw. separat aufgefangen wird. Bei Auslösen einer Überdrucksicherung muss die Anlage automatisch außer Betrieb genommen und eine Fernmeldung ausgelöst (s. Pkt. 4.5) werden.

Luftaktivkohle- und optional Wasseraktivkohlefilter sind so zu gestalten und anzuschließen, dass bei Wechsel der Aktivkohle eines Filters (1. Filter) dieser an der zweiten Stelle der jeweiligen Adsorptionseinheit angeschlossen werden kann und der bisherige zweite Filter an die erste Stelle vorrückt, sodass sich die unbeladene, frische Aktivkohle im Luft- oder Wasserstrom immer am nächsten zum Anlagenausgang befindet.

Durch ausreichende Dimensionierung der Gebläse, Leitungen, Desorptionsstufe etc. ist sicherzustellen, dass im Betriebszustand der Anlage (z.B. nasse, verschmutzte Siebböden) der für die erforderliche Reinigungsleistung benötigte Luftstrom dauerhaft erreicht wird. Entsprechende Leistungsreserven der Gebläse sind vorzusehen. Kontrollmessungen sind in der Sanierungsüberwachung eingeplant.

An der Reinigungsanlage werden Installationen vorgesehen, welche die Einleitung des Vorpump- bzw. Vorlaufwassers aus den Grundwasser- und Anlagenbeprobungen der Sanierungsüberwachung ermöglichen, wie beispielsweise ein Absperrhahn und Schlauchanschluss auf der Saugseite der Stufenpumpe.

Bei der Gestaltung der Anlagentechnik, Anlagencontainer und ggf. vorhandenen Aufenthaltscontainern sind die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung, des Produktsicherheitsgesetzes, der Richtlinien (insb. Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Druckgeräte richtlinie 97/23/EG, Produktsicherheitsrichtlinie 2001/95/EG) und Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz (insb. Maschinenverordnung 9. ProdSV, Druckgeräteverordnung 14. ProdSV) sowie der Arbeitsstättenverordnung einzuhalten.

In der folgenden Tabelle sind die erforderlichen Leistungsdaten der Grundwasserreinigungsanlage zusammengefasst. Die angesetzten Maximalkonzentrationen orientieren sich an den maximal in 2013 /G14/ und 2014 im Sanierungsbereich an Grundwassermessstellen und Brunnen analysierten.

**Tabelle 10: Leistungsdaten der Grundwasserreinigungsanlage**

Arbeitsbereich Wasserdurchsatz:	6 – 8 m³/h	
Max. Schadstoffkonzentrationen	Benzol:	6.000 µg/l
	Toluol:	7.500 µg/l
	Xylol:	8.000 µg/l
	Ethylbenzol:	2.000 µg/l
	Σ BTEX:	16.000 µg/l
	Cumol:	100 µg/l

	Styrol: 20 µg/l 1, 2, 3 TMB: 200 µg/l 1, 2, 4, TMB: 800 µg/l 1, 3, 5, TMB: 400 µg/l Σ Monoaromaten: 17.000 µg/l Naphthalin: 25 µg/l MKW: 500 µg/l
Einleitgrenzwerte:  Ausnahme: zu Sanierungsbeginn, Versickerung ausschließlich GWMV, GWMW, GWMX	Benzol : 5 µg/l Σ BTEX : 25 µg/l Naphthalin: 5 µg/l MKW: 500 µg/l MKW bis C <sub>10</sub> 100 µg/l Benzol : 10 µg/l Σ BTEX : 100 µg/l
Immissionsgrenzwert	Benzol : 5 µg/m <sup>3</sup>
Reinluftgrenzwert	Benzol : 1 mg/m <sup>3</sup> Σ BTEX : 20 mg/m <sup>3</sup>

Nachdem nachgewiesen wurde, dass die Einleitgrenzwerte im in die Versickerungsbrunnen eingeleiteten, gereinigten Grundwasser sicher eingehalten werden, erfolgt die Versickerung, zusätzlich zu GWMV, GWMW und GWMX auch an den beiden abstromigen Brunnen GWMS und GWMT.

Neben den in Tabelle 10 aufgeführten Schadstoffen wurden zuletzt 2010 /G9/ noch LCKW, lokal an DP3, DP11, DP18, mit einer maximalen Konzentration von 400 µg/l an DP3, nahezu ausschließlich Tetrachlorethen, nachgewiesen. Aufgrund der Lage der direct push Sondierungen, an welchen LCKW nachgewiesen wurden, außerhalb des Sanierungsbereichs (s. Anlage 2.1), wird nicht davon ausgegangen, dass signifikante LCKW - Konzentrationen im geförderten Rohwasser enthalten sind. Kontrolluntersuchungen im Anlagenablauf sind jedoch vorgesehen.

In Anlage 4 ist ein Fließbild der Grundwasserreinigungsanlage enthalten. Diese wird aus folgenden Hauptbaugruppen bestehen:

1. Förderbrunnen
2. Rohwasserverteilung am Anlageneingang
3. Enteisungs- / Entmanganungsstufe 1
4. Desorptionsstufe
5. Enteisungs- / Entmanganungsstufe 2
6. Reinwasserverteilung am Anlagenausgang
7. Versickerungsbrunnen
8. Strippluftreinigung

Aufgrund der festgestellten Grundwasserinhaltsstoffe wurde eine Enteisungs- / Entmanganungsstufe im Rohwasser (1) und eine weitere im Reinwasser (2), vor Ableitung des gereinigten Grundwassers in die Versickerungsbrunnen vorgesehen. Die Bauart der Filter und der Oxidationsstufe, welche zumindest am Anlageneingang erforderlich sein wird, liegt im Ermessen des Sanierungsunternehmens. Ebenso ob zusätzliche Reaktionsbehälter eingebaut werden.

Unabhängig davon, welche Verfahrensstufen gewählt werden, dürfen diese die Grundwasserqualität für den mikrobiellen BTEX - Abbau nicht verschlechtern, sondern sollen diesen durch Anreicherung von Sauerstoff im infiltrierten Grundwasser verbessern.

In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Aggregate der Reinigungsanlage zusammengefasst, wobei die Aufstellung einen Mindestumfang darstellt.

**Tabelle 11: Wesentliche Anlagenteile der Grundwasserreinigungsanlage**

Nr.	Bez. s. Anlage 4	Bauteil	Funktion
1	P1.1 – P1.4	Unterwassermotor-pumpen	Förderung des Grundwassers zum Anlagenstandort
	H1.1 – H1.4	Absperrarmatur	Absperrung des Rohwasserstroms direkt am Förderbrunnen
	RL1.1 – RL1.5	Anschlüsse für Spüllösung	Anschluss für Reinigungslösung zur Spülung einer Rohwasserleitung
2	RoWV	Rohwasserverteilung	Regelung der Förderraten und Absenkziele der einzelnen Sanierungsbrunnen, Begrenzung der Förderraten der Sanierungsbrunnen
	H2.1 – H2.4	Absperrarmatur	Absperrung des Rohwasserstroms am Anlageneingang
	R1.1 – R1.4	Rückschlagklappe	Verhindern des Zurücklaufens von Grundwasser in die Förderbrunnen
	RV2.1 – RV2.4	Regelventil	Regelung der Rohwasserströme für jeden Brunnen, Bestandteil der Rohwasserverteilung
3	M1	statischer Mischer	Vereinigung der Rohwasserströme aus den angeschlossenen Sanierungsbrunnen
	F1	Enteisungs- / Entmanganungsstufe 1	Oxidation und Abtrennung des im Grundwasser gelösten Eisen, Mangan und teilweise Kalk
4	DS1, DS2	Desorptionsstufe	Reinigung des geförderten Grundwassers
	P1.5	Stufenpumpe	Förderung des Grundwassers von DS1.1 auf DS2.2
	H4.1 – H4.4	Absperrarmaturen	Absperrung der Grundwasserstroms vor und nach der Stufen- und Austragspumpe
	P1.6	Austragspumpe	Förderung des gereinigten Grundwassers zu den Versickerungsbrunnen
5	F2	Enteisungs- / Entmanganungsstufe 2	Abtrennung des in der Grundwasserreinigungsstufe oxidierten Eisen, Mangan und teilweise Kalk
6	ReiWV	Reinwasserverteilung	Regelung der Infiltrationsmengen und der Einhaltung der max. Überstauhöhen je Versickerungsbrunnen, Begrenzung der max. Infiltrationsmenge je Brunnen

Nr.	Bez. s. Anlage 4	Bauteil	Funktion
	H6.1 – H6.5	Absperrarmaturen	Absperrung des Reinwasserstroms für jeden Infiltrationsbrunnen am Anlagenausgang
	RV6.1 – RV6.5	Regelventil	Einstellung der Reinwasserströme für jeden Brunnen, Bestandteil der Reinwasserverteilung
7	RL7.1 – RL7.6	Anschlüsse für Spüllösung	Anschluss für Reinigungslösung zur Spülung einer Reinwasserleitung
	H7.1 – H7.5	Absperrarmaturen	Absperrung des Reinwasserstroms für jeden Infiltrationsbrunnen am Brunnen
8	V1.1	Strippluftgebläse	Förderung der Strippluft über die Luftreinigungsstufe
	A1.1	Wasserabscheider	Abtrennung von Kondenswasser aus der Strippluft
	H1.1	Wärmetauscher / Heizregister	Erwärmung der Strippluft mit der Abluft des Katalysators, Erwärmung auf Reaktionstemperatur
	KAT	Festbettkatalysator	Reinigung der Strippluft

Die Auswahl der Bauart der zum Einsatz kommenden Aggregate sowie deren konkrete Auslegung obliegen dem Sanierungsunternehmen.

Zusätzlich zu der ausgeschriebenen Desorptionsstufe wird die Nachrüstung einer Wasseraktivkohle – Reinigungsstufe optional abgefragt, falls im Verlauf der Grundwassersanierung die MKW – Konzentrationen ansteigen und diese mit der Stripplung nicht in ausreichendem Maß entfernt werden können.

Nach einer Dauer von etwa 1 Jahr erfolgt die Umstellung der Strippluftreinigung auf Luftaktivkohlefilter. Die Kosten für diesen Umbau (Tausch des Festbettkatalysators gegen mind. 2 Stk. Luftaktivkohlefilter, Tausch des Heizregisters gegen ein Gerät mit geringerer Leistungsaufnahme, da nur noch über Taupunkttemperatur erwärmt werden muss) werden im Rahmen der Angebotseinholung mit abgefragt.

Für die voraussichtlich erforderlichen regelmäßigen Reinigungszyklen werden in der Kostenschätzung in Anlage 7.1 folgende Intervalle angesetzt:

- Filtereinheiten monatliche Rückspül- bzw. Reinigungszyklen
- Versickerungsbrunnen jährlich
- Roh- / Reinwasserleitungen 1x in 2 Jahren

Die Rückspülwässer aus der Reinigung der Filter der Enteisungs- / Entmanganungsstufe halten voraussichtlich die Einleitgrenzwerte für den S – Kanal ein und können in einen S – Kanalschacht am Columbiadamm eingeleitet werden. Die Einholung der Einleitgenehmigung obliegt dem Sanierungsunternehmen. Es wird jedoch eine Voranfrage an die BWB durchgeführt.

Alternativ kann das Rückspülwasser aufgefangen und zu einer externen Entsorgung abgefahren werden.

Bei den Spüllösungen aus der Brunnenreinigung (verdünnte Zitronensäure) und aus der Spülung der Roh- und Reinwasserstränge (verdünnte Schwefel- oder Salzsäure) wird eine Ableitung in einen S – Kanalschacht voraussichtlich nicht möglich sein.

#### 4.5 Anforderungen an die Anlagensteuerung

Die Grundwasserreinigungsanlage wird für den unbeaufsichtigten automatischen Betrieb ausgelegt. Entsprechende Sicherheitseinrichtungen innerhalb der Anlage, welche im Havariefall ein automatisches Abfahren der Anlage gewährleisten, werden vorgesehen (s. Tabelle 12). Die Messeinrichtungen und die Anlagensteuerung werden zentral am Anlagenstandort in einem Container untergebracht.

Die Funktion des Strippluftgebläses (FCZ1.1) muss kontinuierlich überwacht werden, da bei dessen Ausfall eine Reinigung des kontaminierten Grundwassers nicht mehr gewährleistet ist. In diesem Fall muss die Reinigungsanlage automatisch abgefahren und eine Fernmeldung (s.u.) ausgelöst werden. Falls die Funktion des Katalysators beeinträchtigt ist, muss die Reinigungsanlage ebenfalls außer Betrieb genommen werden, da in diesem Fall keine ausreichende Reinigung der Strippluft mehr gewährleistet ist. Für die Funktionsüberwachung ist die Temperatur des Katalysators maßgeblich.

Ebenso müssen Leckagen in den Roh- und Reinwasserleitungen und in den anlageninternen Verrohrungen durch geeignete Messeinrichtungen detektiert werden. Leckagen am Anlagenstandort müssen ebenfalls eine automatische Außerbetriebnahme der Sanierungsanlage auslösen und zu einer Fernmeldung führen. Bei fehlendem Durchfluss oder Druck in den Roh- /Reinwasserleitungen, welche ein Indiz für einen Defekt der entsprechenden Leitung sein könnten, ist der jeweilige Strang außer Betrieb zu nehmen (Brunnenpumpe abschalten, Motorventil schließen etc.) und eine Fernmeldung auszulösen.

Um in den Versickerungsbrunnen, in welche das gereinigte Grundwasser eingeleitet wird, eine Überfüllung zu vermeiden, muss der Grundwasserstand überwacht und die Überstauhöhe begrenzt werden. Es soll maximal eine Überstauung um 3 m erfolgen, um Beschädigungen der Filterstrecke zu vermeiden und die Verockerung der Filterstrecke zu reduzieren. Neben der Überstauung in den Infiltrationsbrunnen wird auch die Einleitmenge in jeden Versickerungsbrunnen begrenzt, um eine gleichmäßige Verteilung des gereinigten Grundwassers zu gewährleisten.

Ein Überlaufen der Versickerungsbrunnen und ein Austritt von Grundwasser auf der Geländeoberfläche muss ebenfalls vermieden und der jeweilige Reinwasserstrang zuvor außer Betrieb genommen werden.

Daneben muss sichergestellt werden, dass kein Leerlaufen der Leitungen zu den Infiltrationsbrunnen erfolgen kann, da dies einen zusätzlichen Lufteintrag sowie eine unkontrollierte hydraulische Belastung der Filterstrecke zu Folge hat.

Die konkrete regelungstechnische Lösung für die Grundwasserförderung und Versickerung obliegt dem Sanierungsunternehmen und wird im Rahmen der Angebotsauswertung bewertet.

Desweiteren muss ein Anspringen von Überdrucksicherungen in Druckbehältern (z.B. F1, F2, s. Pkt. 4.4) zu einer Außerbetriebnahme der Reinigungsanlage führen.

Bei den aufgeführten Anlagenzuständen, welche zu einem automatischen Abfahren der Grundwasserreinigungsanlage oder einzelner Brunnen führen, ist vor dem

Wiederanfahren der Anlage ein Eingriff des Anlagenbetreibers erforderlich. Die Fernmeldungen sind neben dem Anlagenbetreiber auch an das die Sanierung begleitende Ingenieurbüro abzusenden.

Die Grundwasserreinigungsanlage ist mit einer Fernüberwachung mit Prozessvisualisierung auszustatten. Mit der Prozessvisualisierung müssen mindestens folgende Informationen an das sanierungsbegleitende Ingenieurbüro übermittelt werden:

- Durchflüsse der einzelnen Förder- und Versickerungsbrunnen und der gesamten Anlage
- Grundwasserstände in allen Förder- und Versickerungsbrunnen
- Schaltzustände aller Pumpen und des Strippluftgebläses
- Drücke vor und nach der Desorptionsstufe und den Filtereinheiten

Über die Fernüberwachung muss weiterhin ein Zugriff auf die aufgeführten, registrierten Betriebsparameter der letzten 3 Monate möglich sein.

**Tabelle 12: Mindestumfang der Mess- und Sicherheitseinrichtungen**

Bezeichnung lt. Anlage 4	Funktion	Information
<b>Messeinrichtungen mit Anzeige und z.T. regelnder bzw. registrierender Funktion:</b>		
LIC 1.1 – 1.4	Wasserstandsmessung	Regelung der Förderraten der Brunnenpumpen auf ein konstantes Absenkziel, Zählung des Erreichens des Abschaltniveaus, Registrierung des Wasserstands
PI1.1 – PI1.4	Manometer	Anzeige des Drucks der Brunnenpumpe im Brunnenschacht
PI2.1 – PI2.4	Manometer	Anzeige des Drucks in jedem Rohwasserstrang am Anlageneingang
FIQ 1.1 – FIQ 1.4	Volumenstrom- / Mengenmessgerät	Messung und Registrierung der geförderten Grundwassermengen je Entnahmebrunnen
PIC3.1 – PIC3.5	Druckmessgerät mit Analogausgang	Anzeige und Messung des Drucks in der Anlage vor und nach den Enteisungsstufen und den Desorptionsstufen
FIQ2.1	Volumenstrom- / Mengenmessgerät	Messung und Registrierung der geförderten $\Sigma$ Grundwassermenge aller Brunnen
LIC 2.1-2.2	Füllstandsmessung	Füllstand in der Desorptionsstufe zur Schaltung der Brunnen-, Stufen- und Austragspumpen
FIQ 3.1 – FIQ 3.5	Volumenstrom- / Mengenmessgerät	Messung und Registrierung der versickerten Grundwassermengen je Infiltrationsbrunnen
LIC 3.1 – 3.5	Wasserstandsmessung	Regelung der Infiltrationsrate je Brunnen auf eine konstante Überstauhöhe, Zählung des Erreichens des Abschaltniveaus, Registrierung des Wasserstands
KR1	Betriebsstundenzähler	Laufzeit von z.B. V1.1 oder Laufzeit aller Brunnenpumpen
-	Stromausfall	Auslösung einer Fernmeldung

Bezeichnung lt. Anlage 4	Funktion	Information
-	Stromzähler	verbrauchte Energie
-	Impulszähler	Schalhäufigkeit aller einzelnen Pumpen, ohne Reset
-	Fernmeldeeinrichtung	automatische Meldung von Anlagenstillständen (z.B. per SMS) an den Betreiber und Planer (mind. 2 frei konfigurierbare Meldungsempfänger)
<b>Sicherheitseinrichtungen, welche ein automatisches Abfahren der Reinigungsanlage bzw. einzelner Brunnenpumpen auslösen müssen</b>		
TCZ1.1	Funktionskontrolle Katalysator	Einhaltung der min. Reaktionstemperatur
FC1.1 – FC1.4 FC2.1 – FC2.5 (oder PC)	Leckagesicherungen der Roh-/ Reinwasserleitungen	Minstdurchfluss bzw. Mindestdruck in jeder Roh- / Reinwasserleitung vorhanden / nicht vorhanden
Feuchtefühler oder FC/PC	Leckagesicherung der Leitungen in der Anlage	Austritt von Wasser am Anlagenstandort, im Anlagencontainer
FCZ1.1	Funktionskontrolle der Strippluftgebläse	Minstdurchfluss vorhanden / nicht vorhanden
<b>Sicherheitseinrichtungen, welche ein automatisches Abfahren der Reinigungsanlage bzw. einzelner Brunnenpumpen auslösen müssen (nicht im Fließbild)</b>		
Ü1 – Ü3	Überdrucksicherung	Überdruck Wasseraktivkohle- und Kiesbettfilter

Die Auswahl geeigneter Messaufnehmer sowie die Planung und Ausführung der Anlagensteuerung obliegen dem Sanierungsunternehmen, wobei die beschriebene Funktionalität gewährleistet sein muss.

Alle registrierten Parameter sind kontinuierlich aufzuzeichnen und dem begleitenden Ingenieurbüro zur Verfügung zu stellen (per e – mail mindestens 14 – täglich bzw. im Rahmen der Prozessvisualisierung fortlaufend).

#### 4.6 Inbetriebnahmephase und Anlagendokumentation

Vor Beginn des regulären Sanierungsbetriebs ist eine einmonatige Inbetriebnahmephase vorgesehen, in welcher verstärkt Anlagenbeprobungen durchgeführt und die erforderlichen Einstellungen und Programmierungen an der Anlage vorgenommen werden.

Zu Beginn der Inbetriebnahmephase wird eine generelle Funktionsprüfung aller Aggregate und Sicherheitseinrichtungen durchgeführt. Außerdem sind vor Anlageninbetriebnahme alle Wasser führenden Rohrleitungen einer Druckprüfung nach DIN 4279/7 zu unterziehen und diese zu dokumentieren.

Die Versickerung des gereinigten Grundwassers erfolgt bis zum Nachweis der Einhaltung der Einleitgrenzwerte (s. Tabelle 10) nur in den anstromigen Brunnen GWMV, GMMW und GWMX.

Bei Anlageninbetriebnahme, nach einer Grundwasserentnahme von mindestens 10 m<sup>3</sup>, wird die erste Anlagenbeprobung lt. Beprobungsplan (s. Anlage 6) durchgeführt und mit dieser die Einhaltung der geforderten Einleit- und

Abluftgrenzwerte sowie das Erreichen der für die einzelnen Aggregate geforderten Reinigungsleistungen nachgewiesen.

Die Anlageninbetriebnahme findet in Anwesenheit des begleitenden Ingenieurbüros statt und ist vom Sanierungsunternehmen zu protokollieren. Das Protokoll muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- Zeitpunkt Inbetriebnahme, Zeitpunkt Probenahme
- Anfangszählerstände der Durchflussmessgeräte
- Betriebsdrücke in der Wasserstrecke an den Brunnenpumpen, an den einzelnen Stufen der Desorptionseinheit und an den Enteisungsstufen
- Luftvolumenstrom in der Luftstrecke vor und nach den einzelnen Desorptionsstufen bei Betriebszustand
- Luftfeuchtigkeit, Temperatur vor der KatOx - Anlage zu Beginn und Ende
- Temperatur des Katalysators
- Funktionskontrollen der Sicherheitseinrichtungen (s. Tabelle 12)
- Wasserstände in den Förder- und Infiltrationsbrunnen vor Beginn
- Analyseergebnisse der 1. Anlagenbeprobung (1 Tag)
- Zählerstände der Betriebsstundenzähler

In der Inbetriebnahmephase im 1. Sanierungsmonat ist die Einhaltung der geforderten Anlagenspezifikation nachzuweisen. Dies betrifft insbesondere das Erreichen der geforderten Volumenströme, Reinigungsleistungen und des stabilen Anlagenbetriebs. Dieser Nachweis ist die Voraussetzung für die Abnahme der Leistungen zum Anlagenaufbau.

Während der Inbetriebnahmephase erfolgen alle zur Gewährleistung eines automatischen, kontinuierlichen Betriebs erforderlichen Einstellungen an der Anlagensteuerung (z.B. Einstellung der Schaltpunkte der verschiedenen Messgeräte). Außerdem werden die zu Beginn der Sanierung vorgegebenen Absenkziele und Überstauhöhen sowie die Förder- und Versickerungsraten je Brunnen überprüft und sind nach Vorgabe des begleitenden Ingenieurbüros durch den Anlagenbetreiber bei Bedarf anzupassen.

Während der Inbetriebnahmephase wird die Funktion und Wirkungsweise aller Aggregate und Einrichtungen geprüft und ist bei Bedarf zu optimieren.

Spätestens zum Ende der Inbetriebnahmephase ist eine Anlagendokumentation mit folgendem Umfang vorzulegen:

- komplette Fließschemata der installierten Anlagen mit Kennzeichnung sämtlicher Leitungen, Armaturen, Aggregate, Apparate, Mess- und Regeleinrichtungen
- Druckprüfungs- und Beschichtungsprotokolle der Filtereinheiten
- detaillierte Betriebsanleitung der Gesamtanlage (In- / Außerbetriebnahme, Wartungsarbeiten)

- Geräteliste mit Betriebsanweisungen und Funktionsbeschreibungen
- Betriebsanweisung zu vorgesehenen Wartungs-, Reinigungs- und Kontrollarbeiten
- Festlegung der innerhalb eines Betriebsjahres vorgesehenen Wartungs-, Reinigungs- und Kontrollarbeiten an der Sanierungsanlage
- Handlungsanweisungen zur Fehlersuche und –behebung
- Notfallplan
- Festlegung der verantwortlichen Mitarbeiter

Während der Inbetriebnahmephase ist eine Einweisung des begleitenden Ingenieurbüros und des die Fremdüberwachung durchführenden Labors in die generelle Funktionalität der Reinigungsanlagen durchzuführen. Zum Ende der Inbetriebnahmephase muss ein kontinuierlicher, automatischer Anlagenbetrieb nachgewiesen werden.

## 4.7 Überwachen der Grundwassersanierung

### 4.7.1 Anlagenüberwachung

In den Grundwasserreinigungsanlagen sind mindestens die in Tabelle 13 beschriebenen Probenahme- und Messstellen für die Wasser- und Luftprobenahme, sowie für diskontinuierliche Messungen der Strippluftvolumenströme, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit zu installieren.

Durch das Sanierungsunternehmen sind alle Probenahmestellen eindeutig, unverwechselbar und dauerhaft in Übereinstimmung mit der Bezeichnung auf dem mitzuliefernden Anlagenfließbild (Anlagendokumentation, s. Pkt. 4.6) zu beschriften. Es ist eine Einweisung der Mitarbeiter des die Sanierungsüberwachung durchführenden Labors an den Probenahmestellen der Reinigungsanlage durch das Sanierungsunternehmen durchzuführen und nachzuweisen. Basierend hierauf werden durch das die Sanierungsüberwachung ausführende Labor Arbeitsanweisungen zur Anlagenbeprobung erarbeitet und mit dem begleitenden Ingenieurbüro abgestimmt.

**Tabelle 13: Probenahme- und Messstellen in der Grundwasserreinigungsanlage**

Bezeichnung lt. Anlage 4	Lage / Funktion der Probenahmestelle
<b>Wasser:</b>	
Pw1.1 – Pw1.4	Probenahmestellen Rohwasser, Beprobung des Grundwassers aus jedem Förderbrunnen
Pw2.1	Probenahmestelle Mischwasser, Beprobung des Mischwassers aller angeschlossenen Förderbrunnen am Anlageneingang
Pw3.1	Probenahmestelle Mischwasser, Beprobung des Mischwassers nach der 1. Enteisungsstufe

Bezeichnung lt. Anlage 4	Lage / Funktion der Probenahmestelle
Pw4.1	Probenahmestelle vorgereinigtes Grundwasser, Beprobung des Ablaufs der 1. Desorptionsstufe
Pw5.1	Probenahmestelle gereinigtes Grundwasser, Beprobung des Ablaufs der 2. Desorptionsstufe
Pw6.1	Probenahmestelle Anlagenablauf, Beprobung des gereinigten Grundwassers nach der 2. Enteisungsstufe, Kontrolle der Einhaltung der Einleitgrenzwerte
<b>Luft:</b>	
PL1.1	Probenahmestelle Strippluft, bei Bedarf: Beprobung der BTEX belasteten Rohluft, Volumenstrommessung, Temperatur- u. Luftfeuchtheitsmessungen, Druck- / Unterdruckmessungen
PL1.2	Probenahmestelle entfeuchtete Strippluft, bei Bedarf: Volumenstrommessung, Temperatur- u. Luftfeuchtheitsmessungen, Druck- / Unterdruckmessungen
PL1.3	Probenahmestelle Reinluft, Kontrolle der Einhaltung des Abluftgrenzwertes

Probenahme- bzw. Messstellen, für welche in Tabelle 14 keine regelmäßige Beprobung vorgesehen ist, sollen für Diagnosezwecke während der Sanierung zur Verfügung stehen, um bei Bedarf die Probenahme oder Messungen zu ermöglichen.

Die geforderten Mess- und Probenahmeeinrichtungen sind zentral am Standort der Reinigungsanlage zu installieren. Außerdem ist durch eine entsprechende Einhausung (Anlagencontainer) sicherzustellen, dass Unbefugte keinen Zugriff auf die Probenahmeöhne und die Anlagensteuerung haben.

Alle Wasserprobenahmestellen werden in den Anlagencontainern untergebracht, die Luftprobenahmestellen, bei späterem Einsatz der Luftaktivkohlereinigungsstufe, soweit es sich nicht vermeiden lässt, außerhalb an den Luftaktivkohlefiltern. Die Probenahmestellen an den Luftaktivkohlefiltern müssen gefahrlos und ohne weitere Hilfsmittel zugänglich sein.

Die Probenahmestellen für die Wasserprobenahme werden als Probenahmeöhne (ca. 3/8“ Ausgang) auf der Druckseite der Förderpumpen eingebaut und mit einem ca. 30 cm langen Schlauch (z.B. Teflon) versehen. Bei der Entnahme der Wasserproben muss sichergestellt sein, dass die entnommenen Proben für das zu untersuchende Wasser repräsentativ sind. Hierzu muss vor der Probenahme geprüft werden, ob die jeweilige Förderpumpe zur Probenahme in Betrieb ist. Handhabungen der Proben, die geeignet sind, die ursprüngliche chemische Zusammensetzung zu verändern, wie z.B. Belüften durch Umfüllen der Proben, sind zu vermeiden. Vor Abfüllung der Probe muss das Probengefäß mehrfach mit dem zu beprobenden Wasser gespült werden. Die Einstellung des Probenahmeöhns an der Anlage ist so zu wählen, dass eine gleichmäßige Befüllung der Probengefäße ohne Lufteintrag oder Verspritzen erfolgt. Verlusten an leicht flüchtigen Wasserinhaltsstoffen ist durch eine geeignete Probenahmetechnik vorzubeugen. Anfallendes Vorlaufwasser wird in einem geeigneten Behälter gesammelt und in die Reinigungsanlage eingeleitet.

Ebenso sind für die Luftprobenahmen und diskontinuierlichen Messungen mittels mobilen Messgeräten geeignete Probenahmestellen zu schaffen. Diese müssen geeignet sein, zeitweise ein Adsorptionsröhrchen für die Luftprobenahme bzw. einen Messkopf (2 cm Durchmesser) für die Volumenstrommessung, die Feuchte- und die Temperaturmessung in die Luftleitung einzubauen und z.B. mittels Stopfen gegen die Umgebung abzudichten.

Zur Gewährleistung einer geradlinigen Strömung vor und nach den Volumenstrommessstellen zur Messung der Strippluftvolumenströme sind diese in einer festen, geraden Rohrleitung mit mindestens 1 m Abstand vor und 0,5 m nach der Messstelle (10 x d vor der Messstelle, 5 x d nach der Messstelle) zu Bögen oder Armaturen einzubauen.

Für jede Entnahme von Wasser- bzw. Luftproben aus den Grundwasserreinigungsanlagen wird ein Probenahmeprotokoll geführt, welches mindestens folgende Angaben enthält:

- Bezeichnung der Probenahmestellen
- Name des Probenehmers
- Zeitpunkt der Probenahme, Zeitpunkt der Übergabe an das Labor
- Betriebszustand der Anlage (z.B. nach Wiederinbetriebnahme)
- Anzahl und Art der abgefüllten Probenahmegefäße bzw. der beladenen Aktivkohleröhrchen (Typ, Anzahl der Hübe)
- Art der Konservierung
- Besonderheiten bei der Probenahme
- organoleptischer Befund der Wasserproben (Farbe, Trübung, Bodensatz, Geruch etc.)
- Zählerstände der Betriebsstundenzähler und der Rohwasserzähler der Reinigungsanlage

Die Ergebnisse der Anlagenüberwachung sind spätestens 3 Werktage nach Probenahme vorab per e-mail an das begleitende Ingenieurbüro zu übermitteln. Jeweils 2-monatlich sind die Prüfberichte und Probenahmeprotokolle in 5 facher Ausfertigung sowie digital zu übergeben.

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht über die Intervalle, in welchen die einzelnen Probenahmestellen zu beproben sind und die zu untersuchenden Parameter:

**Tabelle 14: Mess- und Probenahmestellen sowie Parameter und Beprobungsintervalle der Sanierungsüberwachung**

Mess- /Probenahmestelle	Parameter	Zielstellung	Beprobungsintervall
<b>Sanierungsbrunnen</b> Pw1.1 – Pw1.4	BTEX – Konzentration C [ $\mu\text{g/l}$ ]	Überwachung und Dokumentation des Sanierungsverlaufs anhand der Konzentrationsentwicklung an den einzelnen Sanierungsbrunnen	1. Monat, Inbetriebnahmephase: nach 2h,1, 2, 4 Wochen ab 2. Monat: monatlich
	MKW, Naphthalin, LCKW	Kontrolle des Rohwassers	zur Inbetriebnahme, dann quartalsweise
	Eisen(II), Eisen <sub>ges.</sub> , Mangan, Hydrogencarbonat, Gesamthärte	Kontrolle der Veränderungen der Rohwasserbeschaffenheit	
<b>Anlageneingang</b> Pw2.1 / Pw3.1	BTEX – Konzentration C [ $\mu\text{g/l}$ ]	Bestimmung des Schadstoffausstrags im Mischwasser der angeschlossenen Brunnen zur Überwachung und Dokumentation des Sanierungsfortschritts und der Effizienz der Sanierung	1. Monat, Inbetriebnahmephase: nach 1, 4 Wochen ab 2. Monat: monatlich
	Eisen(II), Eisen <sub>ges.</sub> , Mangan, Hydrogencarbonat, Gesamthärte	Überprüfung der Wirksamkeit der 1. Enteisungstufe	zur Inbetriebnahme, dann quartalsweise
<b>vorgereinigtes Grundwasser</b> Pw4.1	BTEX – Konzentration C [ $\mu\text{g/l}$ ]	Überprüfung der Reinigungsleistung der einzelnen Reinigungsstufen	1. Monat, Inbetriebnahmephase: nach 1 Woche ab 2. Monat: quartalsweise
<b>vorgereinigtes Grundwasser</b> Pw4.1	Eisen(II), Eisen <sub>ges.</sub> , Mangan, Hydrogencarbonat, Gesamthärte	Überprüfung der Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit in der Desorptionsstufe	zur Inbetriebnahme, dann quartalsweise
<b>Anlagenausgang</b> Pw5.1, Pw6.2	BTEX – Konzentration C [ $\mu\text{g/l}$ ]	Nachweis und Dokumentation der Einhaltung der Einleitgrenzwerte	1. Monat, Inbetriebnahmephase: nach 2h,1, 2, 4 Wochen ab 2. Monat: 14tägig
	Eisen(II), Eisen <sub>ges.</sub> , Mangan, Hydrogencarbonat, Gesamthärte	Überprüfung der Wirksamkeit der 2. Enteisungstufe	zur Inbetriebnahme, dann quartalsweise
<b>Strippluft</b> PL1.1 PL1.2	BTEX – Konzentration C [ $\text{mg/m}^3$ ] Volumenstrom V [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] Luftfeuchtigkeit $\phi$ [%]	Diagnosezwecke (z.B. bei unzureichender Reinigungsleistung)	V zur Inbetriebnahme, dann quartalsweise sonstige Parameter optional bei Bedarf

Mess- /Probenahmestelle	Parameter	Zielstellung	Beprobungsintervall
	Temperatur T [%] Druck / Unterdruck [mbar]		
<b>Reinluft nach KAT bzw. LAK2</b> PL1.3	BTEX – Konzentration C [mg/m <sup>3</sup> ]	Nachweis und Dokumentation der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte	1. Monat, Inbetriebnahmephase: nach 2h, 1, 2, 4 Wochen ab 2. Monat: 14täglich

Neben den Grundwasser- und Luftprobenahmen aus der Reinigungsanlage werden 14täglich zu den Anlagenwartungen die Betriebsparameter erfasst und in einem Betriebstagebuch dokumentiert. Durch den Anlagenbetreiber sind hierbei mindestens folgende Betriebsparameter zu erfassen:

- Zählerstände aller Volumenstrommessgeräte
- Drücke in allen Rohwasserleitungssträngen, Drücke vor und nach den Enteisungs- und Desorptionsstufen
- Zählerstand des Stromzählers
- Zählerstände der Betriebsstundenzähler
- Störungen und Auffälligkeiten während des Anlagenbetriebs
- durchgeführte Wartungsarbeiten, ausgetauschte Aggregate

Außerdem sind im Rahmen der Anlagenkontrollen mindestens quartalsweise Funktionskontrollen der Sicherheitseinrichtungen (s. Tabelle 12) durchzuführen und im Betriebstagebuch zu dokumentieren.

In Anlage 6 ist ein Beprobungsplan für die Anlagenüberwachung enthalten, welcher während der Sanierung, abhängig von der Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen, angepasst wird. Es ist vorgesehen, die Beprobungen und Messungen in der Reinigungsanlage abwechselnd vom Sanierungsunternehmen (Eigenüberwachung) und einem externen Labor (Fremdüberwachung) ausführen zu lassen.

#### 4.7.2 Überwachung des Sanierungsverlaufs

Zur Kontrolle des Sanierungserfolges und zur Überwachung des Sanierungsverlaufes sind Grundwassermonitoringkampagnen erforderlich. Es wird vorgeschlagen, hierzu halbjährlich die Grundwassermessstellen zu beproben und auf die Schadstoffe zu untersuchen. In Anlage 5 ist eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Messstellen enthalten. Deren Lage ist aus Anlage 2.2 ersichtlich.

Vor jeder Monitoringkampagne ist eine Stichtagsmessung der Grundwasserstände an allen Messstellen durchzuführen.

Da bereits während der p & t Maßnahme die für die Entscheidung über die Machbarkeit von ENA / MNA notwendigen Begleitparameter analysiert werden

sollen, wird, neben der Untersuchung der BTEX, auch die Untersuchungen der Milieuparameter:

- Hydrogencarbonat, Mangan, Eisen ges., Eisen II, Methan, Sulfat, Sulfid, Nitrat (Optional: Ammonium)

in jeder Monitoringkampagne einkalkuliert.

Für PAK, MKW und LCKW wurde dagegen nur eine einmalige Untersuchung im Rahmen des Monitorings einkalkuliert. Diese sollte durchgeführt werden, wenn diese Substanzen in den Förderbrunnen nachgewiesen werden bzw. ansonsten zum Ende des 2. Sanierungsjahres, um zu prüfen, ob durch die Grundwasserentnahme Veränderungen des Schadstoffspektrums aufgetreten sind.

Es sind insgesamt 5 Monitoringkampagnen, jeweils ½, 1, 1½ und 2 Jahre nach Sanierungsbeginn, sowie eine weitere Monitoringkampagne ½ Jahr nach Beendigung der p & t Sanierung zu Nachsorge vorgesehen. Nach dem ersten im Rahmen der Sanierung durchgeführten Grundwassermonitoring kann voraussichtlich eine Reduzierung des Umfangs der untersuchten Grundwassermessstellen um die bisher unbelasteten, im An- /Abstrom bzw. Nebenstrom gelegenen GWMC – GWMG und GWML - GWMO erfolgen. Für diese Grundwassermessstellen ist voraussichtlich eine Untersuchung im jährlichen Rhythmus ausreichend.

Nach Beendigung der technischen Sanierungsmaßnahme und Überleitung in MNA ist mittelfristig eine Überwachung der fortschreitenden natürlichen Selbstreinigung erforderlich. Zu diesem Zweck werden vorerst jährliche Monitoringkampagnen mit Untersuchung der Schadstoffe und der Milieuparameter an allen Messstellen vorgeschlagen.

Eine Präzisierung des Untersuchungsumfangs und der dafür dann anfallenden Kosten kann erst gegen Ende der Sanierungsmaßnahme erfolgen. Ebenso ist für die Überleitung in MNA die Aufstellung eines MNA – Konzeptes erforderlich.

Die Grundwasserprobenahme an den Messstellen und die Analytik sollen durch das die Fremdüberwachung ausführende Analysenlabor durchgeführt werden.

Zur Überprüfung der Grundwasserströmungsverhältnisse bei Betrieb der Förder- und Infiltrationsbrunnen sollten innerhalb der Inbetriebnahmephase in folgenden Intervallen Stichtagsmessungen der Grundwasserstände an den Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet vorgenommen werden:

- vor Beginn der Grundwasserförderung
- 1 d nach Beginn der Grundwasserförderung
- bis zum Ende des 1. Betriebsmonats wöchentlich
- nach dem 2. und 3. Betriebsmonat

Abhängig davon, ob Änderungen im Förder-/ Infiltrationsregime vorgenommen werden, kann der Abstand der Stichtagsmessungen nach dem 1. Quartal auf ½ jährlich verlängert und diese zusammen mit den Monitoringkampagnen durchgeführt werden.

## 4.8 Kostenschätzung

Für die Kostenschätzung des Aufbaus und Betriebs der Grundwasserreinigungsanlage (s. Anlage 7.1) wurden jeweils ein Jahr Betrieb der katalytischen Oxidationsanlage (1. Sanierungsjahr) und ein Jahr Luftaktivkohlereinigungsstufe (2. Sanierungsjahr) berücksichtigt. Der Ansatz für die Stromkosten wurde aus der Vorplanung beibehalten. Der Bedarfstitel 10 der Kostenschätzung für die Grundwassersanierung wurde in der Gesamtsumme nicht berücksichtigt.

Neben der Grundwassersanierung sind in Anlage 7 die Kostenschätzungen für die Errichtung der weiteren Sanierungsbrunnen (Anlage 7.3) und für die Fremdüberwachung der Grundwassersanierung durch ein Labor (Anlage 7.2) enthalten.

Für die Ingenieurleistungen zur Sanierungsbegleitung wurde von folgenden Ansätzen ausgegangen:

- Fachtechnische Begleitung Anlagenaufbau und Bohrarbeiten: Bauleitung, Mitwirkung bei der Abnahme der Leistungen und Rechnungsprüfung (4.000 €)
- Fachtechnische Begleitung des Anlagenbetriebs: fortlaufende Erfassung und Bewertung der Betriebsdaten, Vorschläge zu Änderungen und Anpassungen während des Sanierungsbetriebs, Rechnungsprüfung (1.200 € / Monat)
- Berichtswesen: Erstellung von halbjährlichen Sanierungsberichten, Darstellung des Sanierungsfortschritts, Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise, Abstimmung (3.000 €/Bericht)

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Kostenschätzung zusammengefasst.

**Tabelle 15: Kostenschätzung Grundwassersanierung**

Bohrarbeiten		<b>45.156 €</b>
	optional: zusätzliche Bohrung südlich von GWMV	(8.200 €)
Aufbau und Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage für 2 Jahre		<b>264.935 €</b>
	Baustelleneinrichtung und Leitungsverlegung	52.000 €
	Ausrüstung der Sanierungsbrunnen	6.600 €
	Antransport und Aufbau der Grundwasserreinigungsanlagen	16.100 €
	Probelauf und Inbetriebnahme	3.720 €
	Anlagenmiete und Betrieb für 2 Jahre	161.880 €
	Abbau der Grundwasserreinigungsanlagen	6.800 €
	Arbeitsschutz	1.200 €
	Dokumentation	6.080 €
	Eigenüberwachung der Grundwassersanierung	10.555 €
	optional: Nachrüstung Wasseraktivkohle und Härtestabilisierung	(40.000 €)
Fremdüberwachung der Grundwassersanierung		<b>18.565 €</b>
Ingenieurleistungen		<b>44.800 €</b>

Stromkosten		<b>50.000 €</b>
	Zwischensumme, netto	<b>423.456 €</b>
	10 % Sicherheitszuschlag für Unvorhergesehenes	42.346 €
	<b>Gesamtsumme, netto</b>	<b>465.802 €</b>

	Zwischensumme, netto, inkl. optionaler Leistungen	<b>471.656 €</b>
	10 % Sicherheitszuschlag für Unvorhergesehenes	<b>47.166 €</b>
	<b>Gesamtsumme, netto inkl. optionaler Leistungen</b>	<b>518.822 €</b>

Für die im Anschluss an die p & t Sanierung möglicherweise erforderliche Nachsanierung mittels in – situ Mikrobiologie können die Kosten nur sehr grob abgeschätzt werden, da deren erforderlicher Umfang nicht bekannt ist. Im Folgenden werden grob die Kosten für eine mikrobiologische in – situ Sanierung des gesamten Sanierungsbereichs 1 abgeschätzt:

**Tabelle 16: Kostenschätzung in – situ Mikrobiologie**

Vorbereitende Arbeiten		3.000 €
Anlagenaufbau		4.000 €
Anlagenmiete und Betrieb für 2 Jahre		36.000 €
Verbrauch Wasserstoffperoxid (700 kg/ Monat)		8.400 €
Stromkosten		15.500 €
Abbau der Anlage		3.000 €
Anlagenüberwachung		17.300 €
Grundwassermonitoring		31.000 €
Ingenieurleistungen		42.800 €
	Zwischensumme, netto	161.000 €
	10 % Sicherheitszuschlag für Unvorhergesehenes	16.100 €
	<b>Gesamtsumme, netto</b>	<b>177.100 €</b>

#### 4.9 Zeitplanung

Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass folgende Ausschreibungen durchgeführt werden:

- Bohrarbeiten zur Errichtung der noch erforderlichen Sanierungsbrunnen (beschränkte Ausschreibung nach VOB)
- Aufbau und Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage (VOL: EU weite öffentliche Ausschreibung oder beschränkte Ausschreibung nach öffentlichem Teilnahmewettbewerb)

- Fremdüberwachung der Grundwassersanierung (beschränkte Ausschreibung nach VOL)

Es wird empfohlen die Tiefbauarbeiten zur Leitungsverlegung gemeinsam mit dem Aufbau und Betrieb der Grundwasserreinigungsanlage auszuschreiben und zu vergeben, da zwischen beiden Leistungen eine Reihe von Schnittstellen existiert.

Unter der Annahme, dass die Grundwassersanierung im öffentlichen Verfahren EU weit ausgeschrieben werden muss, ist eine Frist von knapp 8 Wochen von der Veröffentlichung bis zur Angebotseröffnung einzuhalten. Im Folgenden Zeitplan wurde dies berücksichtigt.

**Tabelle 17: Zeitplan bis zur Anlageninbetriebnahme**

2015 / KW	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
Abstimmung VDU`s															
Grundwassersanierung															
Veröffentlichung		◆													
Versendung VDU`s Sanierung															
Angebotseröffnung, Vergabeempfehlung															
Beauftragung										◆					
Anlagenaufbau															
Inbetriebnahme															◆
Bohrarbeiten, Fremdüberwachung															
Ausschreibung Bohrarbeiten															
Ausschreibung Fremd- überwachung (FÜ)															
Angebotseröffnung, Vergabeempfehlung Bohrarbeiten, FÜ															
Ausführung Bohr- arbeiten															
Ausführung Fremd- überwachung															

## 5 Verwendete Unterlagen

### Gutachten und Unterlagen

Lfd. Nr.	Datum	Gutachter / Quelle	Titel
G1	16.08.84	Ingenieurbüro f. Umweltschutz Laboratorium f. Geotechnik Dipl. Ing. H. Knausenberger	Bericht 1858 – Grundwasseruntersuchungen Flughafen Tempelhof
G2	31.10.94	WIB Ingenieurgesellschaft mbH	Erfassung, Bewertung und Gefährdungsabschätzung von Altlastenverdachtsflächen im Bereich des Flughafens Tempelhof
G3	30.06.03	AnalyTech GmbH	Ergebnisbericht: Zur Funktionsprüfung und Beprobung von Grundwassermessstellen sowie zur Untersuchung der Grundwasserproben auf MKW, BTEX und LHKW im Bereich des Flughafens Tempelhof
G4	10 / 2004	Terracon Laboratorium für Umwelt- und Pestizidanalytik GmbH	BV Technische Erkundung im Rahmen der Gefährdungsabschätzung Flughafen Berlin – Tempelhof – „Alter Hafen“
G5	01.08.05	Prof. Dr. Macholz Umweltprojekte GmbH	Kurzfassung – Gefährdungsabschätzung 2005 – Alter Hafen, Flugplatz Tempelhof
G6	13.09.05	Prof. Dr. Macholz Umweltprojekte GmbH	Gefährdungsabschätzung nach Sanierungsuntersuchung – Alter Hafen, Flugplatz Tempelhof
G7	25.08.07	Prof. Dr. Macholz Umweltprojekte GmbH	Abschlussbericht – Pumpversuch und Schlussfolgerungen für die Planung Alter Hafen, Flugplatz Tempelhof
G8	17.06.11	CDM Consult GmbH	Orientierende Untersuchung Phase II a - Ehem. Flughafen Berlin Tempelhof - frühere Bundesflächen, Liegenschaftsnummer 5097
G9	24.11.10	CDM Consult GmbH	Altlastenuntersuchungen Flughafen Berlin Tempelhof – Fläche des Landes Berlin – Teilfläche Alter Hafen -
G10	13.01.11	BZA Tempelhof - Schöneberg	Schreiben: Flughafen Tempelhof, Detailuntersuchungen „Alter Hafen“, Gutachten der Fa. CDM vom 24.11.10
G11	29.01.10	CDM Consult GmbH	Orientierende Altlastenuntersuchungen Flughafen Berlin Tempelhof – Fläche des Landes Berlin
G12	20.12.11	GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH	Endbericht – Altlastenuntersuchungen auf dem Gelände Tempelhofer Freiheit (ehemaliger Flughafen Tempelhof) in 12101 Berlin
G13	Dezember 12	IMAGO Umwelt Consult oHG	Sanierungsplanung Tempelhofer Freiheit, Teilfläche „Alter Hafen“ / Grundlagenermittlung, Defizitanalyse und Untersuchungskonzept
G14	Dezember 13	IMAGO Umwelt Consult oHG	Sanierungsplanung Tempelhofer Freiheit, Teilfläche „Alter Hafen“ / Gefahrenbeurteilung
G15	Septem- ber 14	IMAGO Umwelt Consult oHG	Sanierungsplanung Tempelhofer Freiheit, Teilfläche „Alter Hafen“ / Sanierungsvorplanung
G16	20.08.14		Besprechungs- Abstimmungstermin mit BZA Tempelhof - Schöneberg

## Literatur

- /U1/ Bewertungskriterien für die Beurteilung von Grundwasserverunreinigungen in Berlin, Berliner Liste 2005, ABI. 35 / 22.07.2005
- /U2/ Entscheidungsgrundlagen für Sicherungs- und Sanierungskonzepte für militärische Tanklager, Band 1 und 2, Dr. Andreas Agel, Eckhard Löbel, Alstom Environmental Consult GmbH Stuttgart, Umweltbundesamt Berlin April 1999
- /U3/ Leitfaden Natürliche Schadstoffminderungsprozesse bei mineralölkontaminierten Standorten; Kora – Themenverbund 1: Raffinerien, Tanklager, Kraftstoffe / Mineralöl, MTBE, Helmholtz Zentrum für Umweltschutz UFZ, August 2008
- /U4/ Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen; LABO/ALA Unterausschuss Sickerwasserprognose, Juli 2003
- /U5/ Fachliche Grundlagen zur Beurteilung von flüchtigen organischen Substanzen in der Bodenluft bei Altlasten; Schriftenreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 263, Wiesbaden 1999
- /U6/ Bundes – Bodenschutz – und Altlastenverordnung (BBodSchV), 12.07.1999
- /U7/ Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil II: Technische Regeln für die Verwertung 1.2 Bodenmaterial (TR Boden), Stand 05.11.2004
- /U8/ Chemie.de, Entwicklung der Ottokraftstoffe
- /U9/ Leitfaden „Biologische Verfahren zur Bodensanierung“, J. Michels, T. Track, U. Gehrke, D. Sell; Dechema e.V., Umweltbundesamt, Fachgebiet III, 3.6
- /U10/ Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm vom 26.08.98
- /U12/ Verteilung unpolarer organischer Verbindungen in der wasserungesättigten Bodenzone am Beispiel leichtflüchtiger aliphatischer Chlorkohlenwasserstoffe (Modellversuch), Lehrstuhl für Allgemeine und Angewandte Geologie der Universität Tübingen, Peter Grathwohl, 1989
- /U13/ Altlastensymposium 26./27. Juni 2008; 15 Jahre Ökologisches Großprojekt Berlin: „Erfolge und Grenzen der hydraulischen Sanierung von Grundwasserschäden“, Dipl. Geol. A. Zimmermann, GESA mbH / BvS
- /U14/ Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft vom 24.07.2002