

# FORTSCHREIBUNG DES SANIERUNGSPLANS


Altstandort ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim

Fortschreibung des bestehenden Sanierungsplans für Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ und technische Anpassungen des bestehenden Sanierungsplans

Auftraggeber: MVV RHE GmbH

---

MANNHEIM, 25. NOVEMBER 2018



## Ansprechpartner

**CHRISTIAN SCHREIBER**  
Dipl.-Ing. (DH)

T 0721/98580-16  
M 0151-17143 868  
E [christian.schreiber@arcadis.com](mailto:christian.schreiber@arcadis.com)

Arcadis Germany GmbH  
Griesbachstraße 10  
76185 Karlsruhe  
Deutschland

---

# INHALT

<b>1</b>	<b>VORGANG UND VERANLASSUNG</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>VERWENDETE UNTERLAGEN</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>DARSTELLUNG AUSGANGSLAGE</b>	<b>11</b>
3.1	Lage, Nutzung, Bebauung, Eigentumsverhältnisse	11
3.2	Bestehende und planungsrechtlich zulässige Nutzungen	11
3.3	Geologie	12
3.4	Hydrogeologie	13
3.5	Gefahrenlage	13
3.5.1	Ursache der Boden- und Grundwasserverunreinigungen	13
3.5.2	Darstellung der Verunreinigungen in Bereichen B, D, E, G	14
3.5.2.1	Schadstoffspektren im Grundwasser	14
3.5.2.2	Verteilung der Boden- und Grundwasserbelastungen	14
3.5.3	Darstellung der Verunreinigungen in Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“	17
3.6	Betroffene Wirkungspfade	19
3.6.1	Wirkungspfad Boden-Mensch	19
3.6.2	Wirkungspfad Boden-Grundwasser	20
3.7	Sanierungsziele und Sanierungsbereiche	20
3.7.1	Festlegung der Sanierungsziele	20
3.7.2	Festlegung der Sanierungsbereiche	21
3.8	Bisher getroffene behördliche Entscheidungen	21
3.9	Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung Teilsanierungsbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“	22
<b>4</b>	<b>DARSTELLUNG DER DURCHZUFÜHRENDEN MASSNAHMEN</b>	<b>23</b>
4.1	Einwirkungsbereich und Gebiet des Sanierungsplans	23
4.2	Betroffene	23
4.3	Elemente und Ablauf der Sanierung	24
4.3.1	Allgemeine Verfahrensbeschreibung	24
4.3.2	Grundwasserentnahmen und -infiltrationen	25
4.3.3	Oberirdische Wasserreinigung	28
4.3.3.1	Aufbereitungsprozess	28
4.3.4	Anbindung des Sanierungsteilbereichs „Carl-Zuckmayer-Straße“	33
4.3.5	Regenerierung der Infiltrationsbrunnen	34
4.3.6	Grundwasseraufbereitung an MST 10	35

4.3.7	Nachweis der Eignung des Verfahrens	35
4.4	Behördliche Zulassungserfordernisse	35
<b>5</b>	<b>DARSTELLUNG DER EIGENKONTROLLMAßNAHMEN</b>	<b>36</b>
5.1	Überwachung Routinebetrieb	36
<b>6</b>	<b>NACHWEIS DES SANIERUNGSERFOLGS</b>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>DARSTELLUNG ZEITPLAN UND KOSTEN</b>	<b>42</b>
7.1	Zeitplan	42
7.2	Kostenschätzung	42

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Abströmende Schadstofffahne/Schadstofffracht	19
Tabelle 2:	Entnahmemengen	25
Tabelle 3:	Infiltrationsmengen	26
Tabelle 4:	Bandbreiten Zulaufkonzentrationen	31
Tabelle 5:	Übersicht Grundwassermessstellen	36
Tabelle 6:	Überwachung „mikrobiologische in-situ-Sanierung“	37
Tabelle 7:	$E_{\max}$ -Werte	41
Tabelle 8:	Zu beprobenden Messstellen zum Nachweis des Sanierungserfolgs	41

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Schema bisher bestehende Grundwasseraufbereitungsanlage	28
Abbildung 2	Schema modifizierte Grundwasseraufbereitungsanlage (nach Umbau)	29
Abbildung 3	Bisheriger Probenahmeplan (alle Beprobungen monatlich)	38
Abbildung 4	Neuer Probenahmeplan	38

## ANLAGENVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Standortverhältnisse</b>
1.1	Übersichtslageplan
1.2	Gebiet Sanierungsplan mit Belastungsbereichen
1.3	Eigentumsverhältnisse
1.4	Hydrogeologische Übersicht
1.5	Untergrundaufbau
<b>2</b>	<b>Gefahrenlage</b>
2.1	Lage Grundwassermessstellen und Brunnen
2.2.	Detaillageplan mit Belastungssituation Grundwasser Carl-Zuckmayer-Straße
<b>3</b>	<b>Kontrollmaßnahmen und Nachweis Sanierungserfolg</b>
3.1	Messstellen und Brunnen für Kontrollmaßnahmen
3.2	Lage Stromröhren
<b>4</b>	<b>Vorgesehenes Sanierungsverfahren</b>
4.1.	Darstellung der Grundwasserkreisläufe
4.1.1	Grundwasserkreislauf Variante 1
4.1.2	Grundwasserkreislauf Variante 2
4.2	Schematische Darstellung der Grundwasserreinigungsanlage
4.3	Lage neue Brunnen
4.4	Fließschema Zulauf neue Entnahmebrunnen in Anlage

## 1 VORGANG UND VERANLASSUNG

Auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerksstandortes Luzenberg in Mannheim existiert infolge einer jahrzehntelangen Nutzung eine sanierungsbedürftige Verunreinigung des Grundwassers mit gaswerksspezifischen Schadstoffen.

Die mikrobiologische in-situ-Sanierung wird seit dem Jahr 2010 durchgeführt. Als genehmigungsrechtliche Grundlage liegt ein in zwei Teilen für verbindlich erklärter Sanierungsplan vor. Teil 1 umfasst die Sanierungsbereiche D1 und E, der Teil 2 die Sanierungsbereiche B, D2 und G. Die zwei Teile wurden mit den Bescheiden des Regierungspräsidiums Karlsruhe vom 25.07.2006 (Teils 1) und 14.12.2006 (Teil 2) für verbindlich erklärt.

Für den Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ (CZS) wurde später, nach Abschluss der Sanierungsuntersuchung im Jahr 2016 ebenfalls ein Sanierungsbedarf festgestellt. Außerdem gibt es nach den Erfahrungen der bisherigen Sanierungspraxis den Bedarf von technischen Anpassungen.

Entsprechend der Nebenbestimmung III.1 der bestehenden Verbindlichkeitserklärung vom 14.12.2006 für den Teil 2 sind „eine Fortschreibung für weitere Sanierungsbereiche sowie technische Anpassungen, die mit der Zeit erforderlich werden, ... möglich und können gegebenenfalls durchgeführt werden.“ Diese Vorgehensweise soll nach den Ergebnissen einer Besprechung am 29. Oktober 2018 (Teilnehmer: Regierungspräsidium Karlsruhe, Stadt Mannheim, MVV RHE, Arcadis) für die Fortschreibung und die technischen Anpassungen gewählt werden.

Bei der Besprechung herrschte Konsens darüber, dass die Fortschreibung für einen Sanierungsbereich und die technischen Anpassungen des bereits verbindlich erklärten Sanierungsplans (Teil 2) bei der Stadt Mannheim einzureichen sind. Diese prüft und gibt diese formlos zur Ausführung frei. Das Regierungspräsidium braucht nicht beteiligt zu werden. Lediglich eine wasserrechtliche Erlaubnis ist für die neuen Bohrungen bei der Stadt Mannheim einzureichen. Das Regierungspräsidium wird erst bei Einwendungen hinzugezogen. Im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnis ist eine UVP-Vorprüfung durchzuführen. Beide Vorgänge sind inzwischen schon durchgeführt worden.

Die Stadt Mannheim beauftragte mit Schreiben vom 04.08.2016 die Arcadis Germany GmbH auf Grundlage des Angebotes vom 18.04.2016 mit den Planungsleistungen für die Sanierung des Teilbereiches Carl-Zuckmayer-Straße. Die MVV RHE GmbH beauftragte mit Schreiben vom 23.11.2017 die ARCADIS Germany GmbH auf Grundlage des Angebotes vom 08.08.2017 mit der Fortschreibung und Anpassung des bestehenden Sanierungsplans.

Dieser Antrag umfasst die Fortschreibung für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ und technischen Anpassungen.

Aus Praktikabilitätsgründen werden die schon genehmigten Inhalte der laufenden Sanierung zusammengefasst und die neuen Inhalte beschrieben. Dabei werden die neuen, genehmigungstechnisch relevanten Inhalte durch eine Umrandung hervorgehoben.

Gemäß den Vorgaben in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung [U1] ist die Fortschreibung in die Teile

- Darstellung der Ausgangslage,
- textliche und zeichnerische Darstellung der durchzuführenden Maßnahmen und Nachweis ihrer Eignung,
- Darstellung der Eigenkontrollmaßnahmen zur Überprüfung der sachgerechten Ausführung, der Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen und im Rahmen der Nachsorge einschließlich der Überwachung,
- Darstellung des Zeitplans und der Kosten

gegliedert.

## 2 VERWENDETE UNTERLAGEN

- [U1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1999): Bundes-Bodenschutz und Altlastenverordnung (BBodSchV) in der Fassung vom 16.06.1999, Berlin
- [U2] Umweltministerium Baden-Württemberg: Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen vom 16.09.1993 in der Fassung vom 01.03.1998
- [U3] Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Der Hessische Minister für Umwelt und Reaktorsicherheit, Ministerium für Umwelt und Gesundheit Rheinland-Pfalz (1987): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar- Raum
- [U4] Trischler und Partner GmbH: Bericht zur Ergänzenden Untersuchung, 30.03.1994
- [U5] Trischler und Partner GmbH: Pilotvorhaben Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Ergebnisse der Versuchsfeldeinrichtung - Zwischendokumentation April - Juli, 1995, 29.09.1995
- [U6] Trischler und Partner GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Instationäres Grundwassermodell: Dokumentation der Modelleichung, 29.09.1995
- [U7] Trischler und Partner GmbH: Bau neuer Grundwassermeßstellen und Grundwasserbeprobungen im November/Dezember 1996, 19.02.1997
- [U8] Trischler und Partner GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Immissions- und Emissionsberechnung, 14.03.1997
- [U9] Trischler und Partner GmbH: Pilotvorhaben Sanierung ehem. Gaswerk Mannheim Luzenberg, Abschlussbericht, 30.06.1998
- [U10] ARCADIS Trischler & Partner: Bericht zur Ergänzenden Sanierungsvorplanung (E3-4), 10.08.1999
- [U11] ARCADIS Consult: Bericht zur Durchführung der Sanierungsvoruntersuchungen, Entwurf von 2004
- [U12] MVV: Zuordnung der Boden- und Grundwasserkontaminationen im Bereich des ehemaligen Gaswerks Mannheim-Luzenberg für die Betriebszeit zwischen 1900 und 1968.
- [U13] Schreiben der Stadt Mannheim: Bewertungsergebnis der Bewertungssitzung vom 16.04.1997 zum ehem. Gaswerk Luzenberg, K 62/5, Mannheim-Luzenberg, 25.11.1997
- [U14] Stadt Mannheim, FB 63 Baurecht und Umweltschutz: Besprechungsniederschrift zum ehemaligen Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Sitzung der Bewertungskommission am 27.10.1999 (Protokoll der Bewertungssitzung auf Beweinsniveau 4), 18.04.2000
- [U15] ARCADIS Trischler & Partner: Antrag auf Genehmigung der Entnahme von kontaminiertem Grundwasser aus dem Untergrund und Wiederversickerung des gereinigten Wassers auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerks Luzenberg in Mannheim, 05.01.2000
- [U16] Stadt Mannheim, Amt für Baurecht und Umweltschutz: Erlaubnis zur Entnahme von kontaminiertem Grundwasser und Wiederversickerung des gereinigten Wassers auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerks Mannheim-Luzenberg, 24.01.2001
- [U17] ARCADIS Consult: Sanierung des ehemaligen Gaswerks Mannheim-Luzenberg, Sanierungsplanung, Mikrobiologische Laborversuche (Sanierungsvoruntersuchung), 08.11.02
- [U18] ARCADIS Consult: Sanierung des ehemaligen Gaswerks Mannheim-Luzenberg, Optimierungen für die geplante mikrobiologische In-situ- und On-site-Sanierung des ehemaligen Gaswerksgeländes, 28.04.03

- [U19] ARCADIS Consult GmbH: Protokoll der Besprechung am 18.06.03 Sanierung ehem. Gaswerk Luzenberg bzgl. Festlegung der Sanierungsziele, Weiteres Vorgehen im Bereich Teergrubenräumung, 16.07.03
- [U20] ARCADIS Consult GmbH: Protokoll der 4. Arbeitskreissitzung am 19.06.02 zur Sanierung des ehem. Gaswerks Mannheim-Luzenberg, 28.08.02
- [U21] ARCADIS Consult GmbH: Sanierung ehem. Gaswerk Luzenberg: Erkundungsbohrung im Bereich südliche Teergrube, 03.07.03
- [U22] Trischler & Partner GmbH: Pilotvorhaben Sanierung ehem. Gaswerk Luzenberg: Ergebnisse der Versuchsfeldeinrichtung Zwischendokumentation April-Juli 1995, 29.09.95
- [U23] ARCADIS Consult GmbH: Sanierung ehem. Gaswerk Luzenberg: Grundwassermodellierung im Bereich Freizeitheim-Berechnung der Grundwasserabsenkungen bei verschiedenen Entnahmeszenarien, 22.11.01
- [U24] ARCADIS Consult GmbH: Protokoll der 5. Arbeitskreissitzung am 24.04.03 zur Sanierung des ehem. Gaswerks Mannheim-Luzenberg, 16.07.03
- [U25] TÜV Ecoplan Umwelt GmbH: Technischer Bericht über die am 12.07.99 durchgeführten Innenraummessungen auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) und PAK, 14.07.1999
- [U26] TÜV Ecoplan Umwelt GmbH: Technischer Bericht über die am 21.07.99 durchgeführten Innenraummessungen auf flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Phenol, 05.08.1999
- [U27] Stadt Mannheim, Amt für Baurecht und Umweltschutz: Protokoll zur Sitzung der Bewertungskommission ehem. Gaswerk Mannheim-Luzenberg am 01.07.2004, Entwurf vom 06.07.04
- [U28] Harald Oster: Spurenstoffuntersuchungen an Messstellen/Brunnen im Bereich des ehem. Gaswerks Luzenberg, 28.01.2004
- [U29] ARCADIS Consult GmbH: Sanierung ehem. Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Optimierte Planung der Wasseraufbereitungsanlage, 29.05.2006
- [U30] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft), 24.07.2002
- [U31] ARCADIS Consult GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Sanierungsplan Sanierungsbereiche D1 und E, 07.05.2004
- [U32] ARCADIS Consult GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Sanierungsplan Sanierungsbereiche B, D2 und G, 13.07.2006
- [U33] Regierungspräsidium Karlsruhe: Verbindlichkeitserklärung des Sanierungsplans „Sanierung ehemaliges Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Sanierungsplan Sanierungsbereiche D1 und E vom 07.05.2004“, 25.07.2006
- [U34] Regierungspräsidium Karlsruhe: Verbindlichkeitserklärung des Sanierungsplans „Sanierung ehemaliges Gaswerk Mannheim-Luzenberg, Sanierungsplan Sanierungsbereiche B, D2 und G vom 13.07.2006“, 14.12.2006
- [U35] ARCADIS Consult GmbH: Carl-Zuckmayer-Straße, Mannheim, Vertiefte Aktenrecherche, 22.02.2007
- [U36] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung Gaswerk Luzenberg, Aktualisierung Grundwassermodell, 01.06.2012

- [U37] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Versickerungsfläche südliches Gaswerk, Carl-Zuckmayer-Straße, Sanierungsuntersuchung gemäß BBodSchV (Sand November 2013), 19.11.2013
- [U38] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Bereich Carl-Zuckmayer-Straße, Historie – Zeitraum des Schadstoffeintrages, 24.08.2015
- [U39] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Bereich Carl-Zuckmayer-Straße, Historie – Zeitraum des Schadstoffeintrages, Ergänzung zum Aktenvermerk vom 24.08.2015, 17.05.2016
- [U40] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Bereich Carl-Zuckmayer-Straße, Historie – Zeitraum des Schadstoffeintrages, Zweite Ergänzung zum Aktenvermerk vom 24.08.2015, 21.11.2016
- [U41] Drees&Sommer Infra Consult und Entwicklungsmanagement GmbH: Ergebnisprotokoll Nr. 30, Sanierung ehe. Gaswerk Mannheim-Luzenberg, 33. Arbeitskreissitzung am 01.06.2017, 20.07.2017
- [U42] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Untersuchungsstrategie Grundwasser, 2008
- [U43] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Monitoring-Ergänzungsuntersuchung 2013 – Chemische Vollanalysen (16.01.2014)
- [U44] ARCADIS Deutschland GmbH: Sanierung ehemaliges Gaswerk Luzenberg, Mannheim, Untersuchung der räumlichen Schadstoffverteilung und Redoxverhältnisse und hydrochemische Modellierung (06.06.2016)

## 3 DARSTELLUNG AUSGANGSLAGE

### 3.1 Lage, Nutzung, Bebauung, Eigentumsverhältnisse

Das ehemalige Gaswerk Luzenberg liegt im Nordosten von Mannheim, 300m östlich des Altrheinarmes und ca. 1,4 km nördlich des Neckars. Das gesamte Gelände umfasst eine Fläche von ca. 15 ha.

Die mittlere Höhenlage des ebenen Geländes beträgt ca. 92 m bis 94 m ü. NN [U3].

Das Gelände befindet sich heute zu einem großen Teil im Besitz der MVV. Die Eigentumsverhältnisse sind in Anlage 1.3 dargestellt.

Genutzt wird das Gelände ebenfalls von der MVV. Der nordwestliche Bereich wurde von der EvoBus GmbH (einer Tochter der Daimler AG) angemietet und wird als Verkaufsfläche für Busse (inkl. Parkflächen für neue und gebrauchte Busse) genutzt. Der nordöstliche Bereich befindet sich im Besitz der Firma EvoBus GmbH und wird überwiegend als Kfz-Parkplatz für Firmenangehörige verwendet. Ein angrenzender Teilbereich im Süden (im Besitz der MVV) wurde von der Daimler AG angemietet und ebenfalls als Parkplatz genutzt. Das im Osten angrenzende Grundstück südlich der Hafenbahnstraße ist im Besitz der Autorecycling und Abschleppdienst GmbH. Diese liegt jedoch außerhalb des Sanierungsbereichs.

Im Südosten grenzt an das ehemalige Gaswerksgelände die Justizvollzugsanstalt an.

Südlich grenzt an das Betriebsgelände der MVV das heutige Wohngebiet zwischen Carl-Zuckmayer-Straße, Herzogenriedstraße und Waldhofstraße an. Diese gehörte ursprünglich zum Betriebsgelände des ehemaligen Gaswerks.

### 3.2 Bestehende und planungsrechtlich zulässige Nutzungen

Für das ehemalige Gaswerksgelände in der Akazienstraße (Betriebsgelände MVV) wurde bisher von der Stadt Mannheim kein Bebauungsplan aufgestellt.

Für den südlich angrenzenden Bereich der Carl-Zuckmayer-Straße existiert der Bebauungsplan Nr. 32/21 b aus dem Jahr 1984. Der Belastungsbereich südlich des Betriebsgeländes MVV ist als öffentliche und private Park- und Stellplatzfläche für PKW ausgewiesen. Die Belastung im Grundwasserleiter außerhalb des Betriebsgeländes MVV (Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“) ist nach Süden abgegrenzt. Wegen der nicht möglichen „scharfen“ Abgrenzbarkeit ist es möglich, dass Belastungen im Grundwasserleiter auch unterhalb des, an die Park- und Stellplatzareale angrenzenden Wohngebietes vorhanden sein können. Siehe hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 3.6.1.

### 3.3 Geologie

Der Standort befindet sich im Oberrheingraben auf der Niederterrasse des Rheins. Der Untergrund ist durch jungquartäre Lockersedimente des oberen Kieslagers gekennzeichnet. Die kiesig-sandigen Abfolgen haben eine Mächtigkeit von ca. 25 bis 30 m. Die Mächtigkeiten nehmen nach Osten hin zu.

Im Liegenden des oberen Kieslagers befindet sich der ca. 10 bis 20 m mächtige Ton-Schluff des Oberen Zwischenhorizontes, der ebenfalls nach Osten einfällt und den Oberen Grundwasserleiter von den tieferen Grundwasser-Stockwerken abtrennt. Im weiteren Umfeld sind Bereiche mit deutlich reduzierter Mächtigkeit bekannt. Die vertikale Durchlässigkeit des Oberen Zwischenhorizontes liegt bei etwa  $10^{-8}$  m/s.

Unter dem Zwischenhorizont folgen feinkörnigere Sedimentabfolgen des mittleren Kieslagers, die durch eine untere tonige Zwischenschicht von den altquartären sandigen, schluffigen Ablagerungen des unteren Grundwasserleiters getrennt sind [U3].

Die bisher durchgeführten Bodenaufschlüsse zeigen auf dem Gaswerksgelände unter einer bis zu 3 m starken Auffüllung eine ca. 2,5 bis 3,0 mächtige, schluffige Auelehmschicht (im weiteren als Obere Schluffschicht bezeichnet), die aber stellenweise infolge Bodenaustausch und natürlicher Unterbrechungen Fenster aufweist.

Der darunter anstehende Kies-Sand-Aquifer des Oberen Grundwasserleiters besitzt im Bereich des ehemaligen Gaswerks Luzenberg eine Mächtigkeit von ca. 25 bis 30 m, wobei der Aquifer in eine obere Kies-/Sand-Schicht (ca. 5 bis 18m) und in eine untere Fein-Mittelsand-Schicht (ca. 18 bis 32 m) unterteilt werden kann (siehe Anlage 1.5). Der Übergangsbereich zwischen Aquifer und dem Oberen Zwischenhorizont markiert stellenweise eine 20 bis 30 cm mächtige Torfschicht, die eine maximale Mächtigkeit von 1,40m erreicht. Darunter folgt stellenweise eine mehrere Dezimeter mächtige Schluffschicht, die an der südlichen Gaswerksgrenze eine Mächtigkeit von bis zu 2,40 m aufweist. Schließlich folgt der Ton des Oberen Zwischenhorizontes (vereinzelt war zwischen Schluff- und Tonschicht noch eine Feinsandschicht festzustellen) [U11].

Der Obere Zwischenhorizont (OZH) steht in etwa 32 m Tiefe an. Im Untersuchungsgebiet weist der obere Zwischenhorizont einen kleinen Höhenversatz von rd. 7 m auf, der in etwa Nord-Süd-Richtung orientiert ist. Der Versatz lässt sich bis zur nördlichen Grundstücksgrenze des MVV-Geländes nachvollziehen und beträgt hier rd. 4 m. Der Verzahnungsbereich der Schichten in der Zone des Höhenversatzes ist dadurch geprägt, dass im höhergelegenen Teil des oberen Zwischenhorizontes zunächst eine mehrere Meter mächtige Schluffschicht folgt. Darunter steht eine ebenfalls mehrere Meter mächtige Schicht aus schluffigen Sanden an, die in den Zwischenhorizont hinein feinsandig wird. Unter dieser Schicht folgen wiederum die Schluffe des oberen Zwischenhorizontes [U37].

### 3.4 Hydrogeologie

Die Grundwasserströmung ist durch die Wasserstände im Altrhein dominiert. Die mittlere Grundwasserfließrichtung ist rheinwärts, das heißt nordwestlich gerichtet. Bei Rheinhochwasser kann es zur Strömungsumkehr kommen [U10].

Entscheidend für die Transportprozesse der Schadstoffe im Grundwasser sind die Verhältnisse im oberen Grundwasserleiter (oberes Kieslager). Er besteht aus einer Wechsellagerung von sandigen Kiesen und kiesigen Sanden, in denen teilweise, lokal begrenzt auch Schlufflagen eingelagert sind. Die Durchlässigkeit wird großräumig mit  $4 \times 10^{-4}$  bis  $3 \times 10^{-3}$  m/s angegeben [U11]. Bei Pumpversuchen im Rahmen der Pilotsanierung (Bereich der ehemaligen Teergruben am Freizeitheim im Nordwesten des Geländes) ergaben sich Werte von  $5 \times 10^{-4}$  m/s (für die gesamte Mächtigkeit) bis  $9 \times 10^{-4}$  (für die Kieslage) [U12, U9]. Die Sanierungsvoruntersuchungen bestätigten diese Ergebnisse. Die Durchlässigkeiten des Bodens (für die gesamte Mächtigkeit) nehmen tendenziell von Osten ( $9 \times 10^{-4}$  bis  $1 \times 10^{-3}$  m/s) nach Westen ( $4\text{-}6 \times 10^{-4}$  m/s) ab. Der Flurabstand liegt zwischen 4,5 m und 6,5 m u. GOK, die Grundwasserwechselzone zwischen 5 und 7 m u. GOK. Bei höheren Grundwasserständen sind wegen der überdeckenden oberen Schluffschicht lokal gespannte Verhältnisse vorhanden.

### 3.5 Gefahrenlage

#### 3.5.1 Ursache der Boden- und Grundwasserverunreinigungen

Die Untergrundverunreinigungen [U12], [U38, U39, U40] resultieren aus

- dem Betrieb der Gasproduktion insbesondere in den Jahren vor dem 2. Weltkrieg,
- dem unsachgemäßen Umgang mit Produktionsrückständen,
- Leckageverluste im Rohrleitungssystem und Tankanlagen,
- und vor allem aus den Kriegseinwirkungen. Das Gaswerk war infolge von mehreren Luftangriffen im 2. Weltkrieg zu 80% zerstört.

Insbesondere durch die Kriegseinwirkungen wurden die Schadstoffe zum Teil flächig über das gesamte Gelände verteilt. Zwar lassen sich noch Belastungsschwerpunkte im Bereich der ehemaligen Produktionsanlagen identifizieren, in der ungesättigten Bodenzone (Auffüllung) muss jedoch auf dem gesamten Betriebsgelände mit mehr oder weniger starken Bodenkontaminationen gerechnet werden.

### 3.5.2 Darstellung der Verunreinigungen in Bereichen B, D, E, G

#### 3.5.2.1 Schadstoffspektren im Grundwasser

Aromatische Kohlenwasserstoffe (AKW) sind im Grundwasser in den meisten Messstellen durch den Hauptparameter Benzol (untergeordnet Toluol) vertreten.

Bei den Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) werden in den meisten Messstellen vor allem Naphthalin und Acenaphthen nachgewiesen.

Ammonium ist flüchtig vorhanden. In einer erweiterten Grundwasseruntersuchung 2014 [U43] wurden im zentralen Sanierungsbereich Konzentrationen kleiner 100 mg/l (niedrigster Wert 9 mg/l) und nördlich bzw. südlich Konzentrationen von rund 100 bis rund 400 mg/l festgestellt.

Phenolindex: Teilweise wurde im Rahmen der Sanierungsvoruntersuchungen 2004 [U11] im Grundwasser hohe Phenolindex-Werte nachgewiesen. Weitergehende Analysen ergaben, dass in Wasserproben mit einem hohen Phenolindex-Wert geringe Konzentrationen von Phenolen vorhanden waren. Die Bestimmung des Phenolindex wird über ein photometrisches Verfahren durchgeführt, bei dem alle aromatischen Verbindungen mit einer OH-Gruppe nachgewiesen werden. Der Phenolindex erfasst im vorliegenden Fall somit hauptsächlich noch andere Verbindungen. Bei diesen Verbindungen mit OH-Gruppen handelt es sich offenbar um Abbauprodukte der PAK und AKW oder um Heterocyclen [U37]. Dies bestätigte sich bei späteren Untersuchungen [U43], [U44]. Hier wurde z. B. bei B 3-13 ein Phenolindex zwischen 37 und 64 µg/l analysiert. Die Phenolkonzentration lag nach GC-Auswertung bei 0,34 µg/l.

#### 3.5.2.2 Verteilung der Boden- und Grundwasserbelastungen

In den nachfolgenden Beschreibungen ist die Belastungssituation, gegliedert in einzelne Bereiche beschrieben. Diese „Bereichs“-Gliederung dient zur besseren Orientierung und wurde in früheren Erkundungsstufen eingeführt.

Die Analysenergebnisse stammen aus allen bisher durchgeführten Bodenaufschlüssen seit den 80iger Jahren bis zu den im Zuge der Sanierungsuntersuchung für den Bereich Carl-Zuckmayer-Str. 2013 errichteten Grundwassermessstellen. Allgemein zeigt sich am Standort eine räumlich und in ihrer Höhe sehr heterogene Schadstoffverteilung.

#### BEREICH B

Die Schluffschicht ist stellenweise hoch belastet (> 1.590 mg/kg bzw. 890 µg/l EPA-PAK und > 248 µg/l AKW). An der Unterkante der Schluffschicht wurden bis zu 1.040 mg/kg EPA-PAK o.N. und 1.558 mg/kg AKW festgestellt. In anderen Bereichen in diesem Sanierungsbereich sind die Gehalte deutlich geringer und liegen teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenzen.

In der gesättigten Zone liegen die höchsten Belastungen punktuell bei 3.710 mg/kg EPA-PAK o.N. bzw. 2.149 mg/kg AKW. In den anderen Bereichen wurden maximal 86 mg/kg EPA-PAK o.N. und 19 mg/kg AKW analysiert.

In der Schluff- bzw. Torfschicht des OZH wurden max. 6,7 mg/kg AKW, bzgl. der EPA-PAK lediglich 5 mg/kg Naphthalin angetroffen, die restlichen EPA-PAK lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Im Grundwasser wurden vor Beginn der Sanierung als höchste Konzentrationen (gewichteter Mittelwert der tiefenzonierten Beprobung) 329 µg/l Naphthalin, 4.855 µg/l BTEX und 3.973 µg/l Benzol festgestellt. In anderen Grundwassermessstellen schwankten die Konzentrationen bei Naphthalin zwischen 1,6 und 270 µg/l, bei BTEX zwischen 6,5 und 448 µg/l und bei Benzol zwischen 6,5 und 412 µg/l. Die höchsten BTEX - Konzentrationen waren in Tiefen von 25,5 bis 31,7 m u. GOK festzustellen. Die Konzentrationen liegen hier bei 766 bis 10.580 µg/l (BTEX) und 628 bis 8.600 µg/l (Benzol). In dem darüber befindlichen Aquifer waren deutlich geringere bis keine Konzentrationen nachweisbar, d.h. der Großteil der Schadstoffe befindet sich im unteren Bereich des Aquifers.

Die höherkernigen EPA-PAK (wie Acenaphthen) waren bei den meisten Messstellen über den gesamten Aquifer fast gleichmäßig verteilt. Dahingegen war das aus 2 Ringen bestehende Naphthalin meistens entweder in der obersten oder in der untersten Probenahmetiefe zu finden. Lagen hohe Naphthalin-Konzentrationen im unteren Bereich des Aquifers vor, so fand man dort in der Regel auch hohe Benzol-Konzentrationen.

## **BEREICH D1**

Die Belastung der Schluffschicht, die mit Ausnahme des Bereichs der ehem. Teergrube nicht durchgängig ausgebildet ist, liegt für EPA-PAK o.N. bei max. 270 mg/kg, für AKW bei max. 220 mg/kg.

In der gesättigten Zone traten die höchsten Belastungen bis etwa 9 m u. GOK auf (EPA-PAK o.N. bis max. 670 mg/kg, AKW bis max. 18.400 mg/kg). In den darunterliegenden Tiefenbereichen nehmen die Gehalte ab, um im Bereich 13 bis 17 m nochmals anzusteigen (EPA-PAK o.N. bis max. 1.100 mg/kg, AKW bis max. 500 mg/kg). Dort ist der Übergangsbereich zwischen Kies/Sand- und Feinsand-Aquifer. Im Feinsand-Aquifer finden sich Gehalte von weniger als 31 mg/kg EPA-PAK o.N. und 11 mg/kg AKW.

In den ersten 60 cm des OZH im Bereich der Teergrube wurden Gehalte von 1,3 mg/kg EPA-PAK o.N. und 2,7 mg/kg AKW angetroffen.

Im Hauptbelastungsbereich (ehem. Teergruben) waren vor der Sanierung Grundwasserkonzentrationen von bis zu 11.300 µg/l BTEX, 6.800 µg/l Benzol, 1.900 µg/l EPA-PAK o.N. und 6.500 µg/l Naphthalin festzustellen. Westlich des Bereichs in Grundwasserfließrichtung nahmen die Grundwasserkonzentrationen auf 1.400 µg/l BTEX und 1.200 µg/l Naphthalin ab, Benzol und EPA-PAK o.N. lagen im Bereich 300 µg/l.

Östlich der Teergrube, d. h. im Zustrombereich zur Grube lagen die Konzentrationen für EPA-PAK o.N. bei max. 280 µg/l, die anderen Parameter lagen unterhalb 6 µg/l.

Sehr hohe und mit der Tiefe zunehmende Konzentrationen von BTEX und Benzol waren im nördlichen Sanierungs-Randbereich oberhalb der ehemaligen Teergruben vorhanden. Die Konzentrationen stiegen um das 8-fache aus dem Probenahmebereich 10 m u. GOK bis zu 32,5 m u. GOK auf etwa 7.070 µg/l an. Die Benzolkonzentrationen stiegen ebenfalls um das 8-fache auf 6.350 µg/l an. Bei den EPA-PAK o.N. waren Konzentrationen bis max. 1.000 bis 1.600 µg/l festzustellen, wobei sich die höchsten Konzentrationen im mittleren Probenahmebereich (20 m Tiefe) befanden. Die höchsten Naphthalin-Konzentrationen fanden sich im oberen Probenahmebereich (10 m Tiefe) mit 4.050 µg/l und ab ca. 30 m Tiefe mit max. 1.850 µg/l.

**BEREICH MESSSTELLE 10 (NEU)**

Im Rahmen des Abstrommonitorings wurden im Abstrom von Bereich D1 in der Grundwassermessstelle MST 10 hohe, starken Schwankungen unterliegende BTEX- und PAK-Konzentrationen bis rd. 1.800 µg/l (BTEX) bzw. rd. 1.000 µg/l (PAK) festgestellt. Derzeit erfolgen noch Untersuchungen zur Herkunft der Belastung.

**BEREICH D2**

In der Schluffschicht des Sanierungsbereichs D2 wurden kleinräumig maximal 9.000 mg/kg EPA-PAK o.N. und 126 mg/kg BTEX gefunden. An der Schluffschichtunterkante wurden keine Schadstoffe nachgewiesen.

In der gesättigten Zone liegen die punktuell höchsten Belastungen bei 5.624 mg/kg EPA-PAK o.N. bzw. 593 mg/kg AKW. Die Schadstoffgehalte aus den Untersuchungen 2002 bis 2004 lagen bei maximal 10,3 mg/kg AKW, EPA-PAK wurden nicht nachgewiesen.

In der Tonschicht des OZH wurden 5,4 mg/kg Naphthalin festgestellt, andere Parameter der 16 EPA-PAK wurden nicht nachgewiesen, AKW sind in Gehalten von <0,85 mg/kg vorhanden.

Im Grundwasser wurden vor der Sanierung max. rd. 20 µg/l EPA-PAK o. N. und rd. 13 µg/l Naphthalin angetroffen. Die EPA-PAK sind über den gesamten Aquifer verteilt und nehmen zur Tiefe hin leicht zu.

BTEX sind lediglich punktuell nachgewiesen worden. Sie sind in fast allen Tiefen vorhanden, die höchsten Konzentrationen mit 12,6 µg/l fanden sich in der größten Tiefe.

**BEREICH E**

Die Auffüllung zeigt Gehalte bei EPA-PAK o. N. bis zu max. 25.500 mg/kg und bei AKW bis zu max. 700 mg/kg. Die darunter anstehende Schluffschicht ist nahezu vollständig durchgängig ausgebildet und weist Gehalte bei EPA-PAK o.N. bis zu 9.200 mg/kg und bei AKW bis zu 480 mg/kg auf.

In der gesättigten Zone liegen bis zu einer Tiefe von rd. 9 m u. GOK die Gehalte von EPA-PAK o.N. bei bis zu 5.600 mg/kg und von AKW bis zu 75 mg/kg vor.

Darunter nehmen die Gehalte zur Tiefe hin stetig ab. Die höchsten Gehalte in der Feinsandschicht liegen im Bereich um 60 mg/kg EPA-PAK, bei den meisten Aufschlüssen sind dort keine Schadstoffe nachweisbar. Im OZH bzw. in den darüber liegenden Schluffschicht wurden keine EPA-PAK und max. 4,7 mg/kg AKW nachgewiesen.

Die maximal festgestellten Konzentrationen im Grundwasser betrugen vor der Sanierung bei EPA-PAK o.N. bis zu 900 µg/l, bei Naphthalin bis zu 160 µg/l, bei BTEX bis zu 470 µg/l und bei Benzol bis zu 370 µg/l. Die vertikale Verteilung im Sanierungsbereich war sehr heterogen. Die höchsten BTEX- und Benzolkonzentrationen wurden in einigen Bereichen an der Aquiferbasis (130 bis 270 µg/l) in anderen Bereichen in einer Tiefe von 7 m bis 15 m (BTEX 50 bis 1.840 µg/l, Benzol 45 bis 1.470 µg/l) gemessen.

Die höchsten EPA-PAK o.N. Konzentrationen wurden in Tiefen von 7 – 14 m festgestellt. Die Konzentrationen nahmen zur Aquiferbasis hin unterschiedlich stark ab.

Naphthalin war bis 11 m mit maximalen Konzentrationen bis 280 µg/l vorhanden. Punktuell lagen in 32,5 m Tiefe die höchsten Konzentrationen (37 µg/l) vor.

## BEREICH G

An der Schluffschichtunterkante des Sanierungsbereichs G wurden keine bzw. geringe Gehalte (max. 3,3 mg/kg EPA-PAK o.N., 0,14 mg/kg BTEX) nachgewiesen.

In der gesättigten Zone liegen die höchsten Schadstoffgehalte direkt unterhalb der Schluffschicht (41,1 mg/kg EPA-PAK o.N. bzw. 0,12 mg/kg AKW). In den Bodenproben der Sanierungsvoruntersuchungen wurden über den gesamten Aquifer keine AKW und minimale Gehalte der EPA-PAK o.N. von 0,2 mg/kg analysiert.

In der Tonschicht des OZH wurden <1,6 mg/kg AKW und keine EPA-PAK nachgewiesen.

Die Hauptbelastung im Grundwasser lag vor der Sanierung im Zentrum des Schadensbereichs bei 154 µg/l BTEX und 143 µg/l Benzol. EPA-PAK waren geringfügig mit rd. 1 µg/l enthalten. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen fanden sich im unteren Aquiferbereich (EPA-PAK rd. 33 µg/l, Benzol 2.310 µg/l).

### 3.5.3 Darstellung der Verunreinigungen in Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“

Nach Auswertung der Messungen aus Direct-Push-Sondierungen lässt sich ein Belastungsbereich im unteren Abschnitt des Aquifers erkennen. Die Lage des Belastungsbereichs ist in Anlage 1.2 dargestellt.

Die Kontamination beginnt zwischen 17,5 und 21 m u. GOK (zwischen 75 m und 71,3 m über NN) und reicht bis zum Grundwasserstauer, der bei 32 m u. GOK (60,5 m über NN) liegt. Im oberen Bereich des Aquifers ist bei 13 von 16 Sondierungen eine geringere Verunreinigung vorhanden, die i. d. R. von ca. 9 bis 14 m u. GOK reicht (83 m bis 78,5 m über NN). Die flächenhafte Ausdehnung des Belastungsbereiches beträgt gerundet 9.800 m<sup>2</sup>.

Die Ergebnisse bestätigen Analysen aus Bohrungen. In der gesättigten Zone liegen vereinzelt erhöhte Gehalte der EPA-PAK bis max. 19,7 mg/kg vor. Die überwiegenden Gehalte sind nur gering bzw. liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze. AKW wurden punktuell an der Aquiferbasis mit Gehalten bis max. 16,8 mg/kg festgestellt. Lediglich in einem Aufschluss wurden AKW in geringen Gehalten (max. 0,67 mg/kg) über die gesamte Aquifermächtigkeit ermittelt.

Anhand von Bodenanalysen und Direct-Push-Ergebnissen wurde das Schadstoffinventar für Benzol mit 4 bis 15 t, wahrscheinlich 8 t, grob abgeschätzt [U37]. Eine zunächst vermutete Anreicherung von Benzol im Bereich des Höhenversatzes des oberen Zwischenhorizontes wurde nicht vorgefunden.

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Grundwasser-Untersuchungen [U37] ist eine in Grundwasserfließrichtung nach Nordwesten orientierte Schadstofffahne ausgebildet. In der Schadstofffahne paust sich die Charakteristik des Schadensherdes durch. Die höchsten Schadstoffkonzentrationen befinden sich in der

unteren Hälfte des Aquifers (Grundwassermessstellen 17/13, 18/13). Noch in rd. 400 m Entfernung vom Schadensherd sind in diesem Bereich noch Benzolkonzentrationen von bis rd. 2.000 µg/l vorhanden.

Die Zusammensetzung der Schadstoffe im Grundwasser entspricht weitgehend der des Schadensherdes und besteht vorwiegend aus Benzol und in relativ geringeren Konzentrationen aus Naphthalin. Stellenweise treten weitere PAK auf, jedoch in relativ geringen Konzentrationen.

Über die gesamte Aquifermächtigkeit wurden max. 24,5 µg/l EPA-PAK festgestellt. Im Abstrom des Sanierungsbereichs wurden punktuell an der Aquiferbasis rd. 350 µg/l EPA-PAK gemessen. BTEX mit dem Hauptbestandteil Benzol wurden bis max. 2.405 µg/l analysiert. Eine BTEX-Belastung ist über die gesamte Aquifermächtigkeit vorhanden, wobei die Belastungen überwiegend zur Aquiferbasis hin zunehmen.

Eine Probe aus GWM I5 fällt aus dem eben beschriebenen Rahmen. Diese Grundwassermessstelle liegt innerhalb der Kernzone der Schadstofffahne und müsste sehr hohe Konzentrationen aufweisen. Die ermittelten Konzentrationen aus der tiefenintegrierten Probe liegen jedoch in einem sehr niedrigen Bereich von rd. 9 µg/l Benzol. Außerdem weist diese Messstelle erstaunlicherweise noch relativ hohe Nitratkonzentrationen auf. Möglicherweise ist die „Schadstoffsenke“ bei GWM I5 auf einen starken mikrobiologischen Abbau zurückzuführen. Woher die Nitrate stammen, ist nicht bekannt.

Im Schadensbereich und dessen unmittelbaren Abstrom stellen die Sulfat Reduktion und die Methanogenese die dominierenden mikrobiologische Abbauprozesse dar. Die Redoxzonen anzeigenden Parameterverteilungen deuten auf einen erheblichen mikrobiellen Abbau am Standort hin, welcher durch die vollständige flächenhafte Zehrung der Elektronenakzeptoren Sauerstoff und Nitrat sowie die bereichsweise Anreicherung von Fe(II), Mn(II) und Methan und die teilweise Zehrung von Sulfat belegt wird.

Die zulässige Immission von 1 µg/l ist mit tiefengemittelten Benzolkonzentrationen zwischen 92 µg/l bis 912 µg/l weit überschritten. Bestimmt man die von der Schadstoffquelle ausgehende Schadstofffracht für Benzol ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$\begin{aligned}
 E &= k_f \times i \times A \times c \\
 &= 5 \times 10^{-4} \text{ m/s} \times 0,0015 \times (26 \text{ m Tiefe} \times 150 \text{ m Breite}) \times 0,34 \text{ g/m}^3 \times 86.400 \text{ s/d} \\
 &= \mathbf{86,5 \text{ g/d}}
 \end{aligned}$$

<sup>1)</sup> arithmetisches Mittel aus:

340 µg/l bei GWM-I 1 (18.09.2003)

912 µg/l bei GWM-I 3 (18.09.2003)

222 µg/l bei GWM-I 2 (18.09.2003)

94 µg/l bei GWM-I 8 (01.03.2007)

Die abströmende Schadstofffahne und damit Schadstofffracht kann in 3 Stromröhren unterteilt werden (siehe Anlage 3.2). Die Einzelfrachten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Die Emission liegt weit über der maximal zulässigen Schadstofffracht von 2 g/d. Hieraus ergibt sich ein Sanierungsbedarf.

**Tabelle 1: Abströmende Schadstofffahne/Schadstofffracht**

Stromröhre	Breite [m]	Tiefe [m]	Q [m³/Tag]	Konzentr. [g/m³]	Emission [g/Tag]
1	65	26	109,5	0,34 (GWM-I1)	37,2
2	45	26	75,8	0,567 (GWM-I3)	43,0
3	40	26	67,4	0,094 (GWM-I8)	6,3
<b>Gesamt</b>	150	26	252,7	0,34	<b>86,5</b>

## 3.6 Betroffene Wirkungspfade

### 3.6.1 Wirkungspfad Boden-Mensch

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind die Prüfwerte aus der BBodSchV [U1] heranzuziehen. Da das Betriebsgelände ausschließlich gewerblich genutzt wird, gelten die Prüfwerte für Industrie- und Gewerbegrundstücke. Das Gelände ist zu einem Großteil versiegelt (Betriebsgebäude, Parkplätze, Verkehrsflächen), im Bereich von Freiflächen besteht eine durchgängige Oberflächenabdeckung [U13]. Laut Protokoll der Bewertungssitzung am 16.04.1997 war eine Oberbodenuntersuchung (Untersuchung der obersten Zentimeter des Bodens) bei der derzeitigen Nutzung aus Sicht des Gesundheitsamtes nicht erforderlich [U13].

Bei Änderung der Versiegelungs- und Abdeckungssituation ist eine Neubewertung erforderlich.

Bei Erdarbeiten auf dem Werksgelände anfallendes kontaminiertes Bodenmaterial ist zu separieren und ordnungsgemäß zu entsorgen, die Arbeitsschutzmaßnahmen sind zu beachten [U13].

Nach [U35] wurde das südliche an die jetzige Betriebsfläche anschließende Gelände, das auch den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ umfasst, nach der Nutzung des Gaswerks (Schließung 1968) bis etwa 1975 um bis zu 3 m aufgefüllt und danach ab etwa 1975 bis 1982 bebaut. Dies ist auch in den Profilen der neueren Altlastenuntersuchungen erkennbar. Eine mögliche Gefährdung von Menschen wurde Ende der 1980er Jahre von der Stadt Mannheim überprüft. Nach mündlicher Information des Gesundheitsamtes der Stadt ergaben sich keine Hinweise auf mögliche Gefährdungen von Menschen [U37]. Der Wirkungspfad Boden-Mensch ist für den Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ somit nicht relevant.

Der Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ ist durch eine AKW-Schadstoffbelastung im unteren Teil der gesättigten Bodenzone definiert, die nach oben hin durch eine Auelehmschicht begrenzt wird. Darüber finden sich die über den Bereich weit hinausgehenden Auffüllungen, die flächig verteilt sind. Diese sind -von ihrer Herkunft und Ausbreitung her- losgelöst von der AKW-Belastung zu betrachten und wurden bereits bewertet (siehe oben).

Es gibt keine Anhaltspunkte für weitere Maßnahmen im Sanierungsteilbereich.

### 3.6.2 Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Die zulässigen Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser aus der BBodSchV werden für EPA-PAK o. Naphthalin, Naphthalin, BTEX und Benzol in allen Bereichen überschritten. Die Emissionen werden weit überschritten.

## 3.7 Sanierungsziele und Sanierungsbereiche

### 3.7.1 Festlegung der Sanierungsziele

Im Protokoll der Sitzung der Bewertungskommission am 27.10.1999 zur Bewertung des Standortes auf BN4 [U14] bzw. in der Sitzung der Bewertungskommission am 01.07.2004 [U27] wurden die Sanierungsziele wie folgt festgelegt:

- Für den **Oberen Grundwasserleiter** gilt die Einhaltung der Emissionsbedingungen ( $E_{\max}$ ) als Sanierungsziel (Bewertungskommission am 27.10.1999 zur Bewertung des Standortes auf BN4 [U14])
- Für den Mittleren Grundwasserleiter gilt die Geringfügigkeitsschwelle. Auf die formale Festlegung eines Sanierungsziels wird verzichtet (Bewertungskommission am 01.07.2004 [U27]). Ein Grund für diese Entscheidung war das sehr hohe Risiko, den Oberen Zwischenhorizont mit dem Bau von tiefen Grundwassermessstellen nicht sicher abdichten zu können.

Für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ wird analog zum Schadensbereich „Hauptsanierung“ als Sanierungsziel die Einhaltung des  $E_{\max}$ -W-Wert für den gesamten Schadensbereich im oberen Grundwasserleiter angesetzt. Der über die Voruntersuchungen abgegrenzte Schadensbereich wurde in drei Stromröhren im oberen Grundwasserleiter unterteilt. Für die Einhaltung des Sanierungsziels dürfen die Frachten aus den einzelnen Stromröhren aufsummiert den  $E_{\max}$ -W-Wert nicht überschreiten.

Für den Parameter Ammonium ist flächig der vorläufige Prüfwert von 0,5 mg/l [U42] tiefenintegriert überschritten. In einer erweiterten Grundwasseruntersuchung 2014 [U43] wurden im zentralen Sanierungsbe-  
reich Konzentrationen kleiner 100 mg/l (niedrigster Wert 9 mg/l) und nördlich bzw. südlich Konzentrationen von rund 100 bis rund 400 mg/l festgestellt. Die Bewertungskommission hatte in der Sitzung am 27.10.1999 [U14] den Verzicht einer Ammoniumabreinigung beschlossen. Diese hätte zu unverhältnismäßig hohen Kosten geführt.

### 3.7.2 Festlegung der Sanierungsbereiche

Zur Festlegung der Sanierungsbereiche (Schadstoffherde) für den Oberen Grundwasserleiter wurde in Abstimmung mit dem Arbeitskreis [U24, U19] wie folgt vorgegangen:

1. Der  $E_{\max}$ -W-Wert wurde als Sanierungsziel für den Bereich „Hauptsanierung“ angesetzt, d.h. die Frachten aus den einzelnen Stromröhren dürfen aufsummiert den  $E_{\max}$ -W-Wert nicht überschreiten.
2. Einteilung des Gaswerksgeländes in 10 Stromröhren mit einer Stromröhrenbreite von 36 m, das bedeutet bei einem im Schnitt 28 m mächtigen Grundwasserleiter eine durchströmte Fläche von ca. 1.000 m<sup>2</sup>. Berechnung einer maximal möglichen Durchschnittsgrundwasserkonzentration  $c_{\max}$  für jede Stromröhre, bis zu der kein Sanierungsbedarf besteht, da der  $E_{\max}$ -W-Wert für das Gesamtgelände dann gerade noch eingehalten wird.
3. Abgrenzung der Sanierungsbereiche mit Hilfe des  $c_{\max}$ -Wertes.

Die Schadensherde wurden mit Hilfe des  $c_{\max}$ -Wertes in dem teilweise flächenhaft belasteten Grundwasser abgegrenzt. Zur Eingrenzung der Sanierungsbereiche wurden Stromröhren mit einer durchströmten Querschnittsfläche von 1.000m<sup>2</sup> gebildet, in 10 Stromröhren traten Grundwasserbelastungen auf. Für die Einhaltung des Sanierungsziels dürfen die Frachten aus den einzelnen, insgesamt 10 Stromröhren aufsummiert den  $E_{\max}$ -W-Wert nicht überschreiten.

Im Rahmen des Monitorings an der Gaswerksgrenze wurden in der Grundwassermessstelle MST 10 hohe BTEX- und EPA-PAK-Konzentrationen festgestellt. Die Lage des Schadensbereiches wurde anhand des Grundwassermodells großräumig abgegrenzt. Derzeit erfolgt die weitere Eingrenzung des Schadensbereiches. Der Bereich wird als Ergänzung der Hauptsanierung zugeschlagen.

Für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ wurde der Schaden mit Hilfe von Direct-Push-Sondierungen und Grundwasserergebnissen abgegrenzt. Eine Berechnung des  $c_{\max}$ -Wertes war nicht erforderlich.

## 3.8 Bisher getroffene behördliche Entscheidungen

Folgende behördliche Entscheidungen wurden bereits getroffen:

1. Regierungspräsidium Karlsruhe: AZ.: 51a4-8914.51-21/MA-Luzenberg, Verbindlichkeitserklärung des Sanierungsplanes für die Sanierungsbereiche D1 und E des ehemaligen Gaswerkes Mannheim Luzenberg, 25.07.2006 [U33]  
  
befristet bis 31.12.2030
2. Regierungspräsidium Karlsruhe: AZ.: 51a4-8914.51-21/MA-Luzenberg, Verbindlichkeitserklärung des Sanierungsplanes für die Sanierungsbereiche B, D2 und G des ehemaligen Gaswerkes Mannheim Luzenberg, 14.12.2006 [U34]  
  
befristet bis 31.12.2030

Den Entscheidungen lagen zu Grunde:

- Sanierungspläne Teil 1 vom 28.02.2005 und Teil 2 vom 13.07.2006
- Gutachten zu UVP-Pflicht gemäß §3c UVPG vom 28.05.2005
- Wasserrechtliche Erlaubnis der Stadt Mannheim vom 24.01.2001

Neu eingereicht wurde der Antrag einer wasserrechtlichen Erlaubnis zum Bau von Entnahme- und Versickerungsbrunnen für die Sanierung des Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“. Diese ist nach den Ergebnissen einer Besprechung am 29. Oktober 2018 (Teilnehmer: Regierungspräsidium Karlsruhe, Stadt Mannheim, MVV RHE, Arcadis) von der Stadt Mannheim zu entscheiden. Im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnis ist eine UVP-Vorprüfung durchzuführen. Diese ist inzwischen schon abgeschlossen.

Bei den Genehmigungen wurden auch die Abfallströme, insbesondere die anfallenden Schlamm-mengen betrachtet. Die zulässigen Mengenschwelle für belasteten Schlamm von 150 m<sup>3</sup> nach BlmSchG wird mit der unveränderten Lagerkapazität von 15 bis 20 m<sup>3</sup> nach wie vor eingehalten.

### 3.9 Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung Teilsanierungsbe-reich „Carl-Zuckmayer-Straße“

Die Sanierungsuntersuchung gemäß BBodSchV ist mit dem Bericht vom 19.11.2013 [U37] dokumentiert und wurde am 12.04.2014 von der Bewertungskommission bewertet.

Bei der Sanierungsuntersuchung wurden nach einer Verfahrensvorauswahl, die vorausgewählten, grund-sätzlich geeigneten Sanierungs- und Verfahrensvarianten

- „Abwehr- und Versickerungsbrunnen“,
- „Mikrobiologische Sanierung“ (Zugabe von Elektronenakzeptoren mit hydraulischem Kreislauf oder Infiltration),
- „In-Situ-Oxidation“ (ISCO),
- „Funnel-and-Gate“

vorgeplant, die Kosten geschätzt und die Kostenwirksamkeit analysiert.

In der Gesamtbeurteilung der Sanierungsuntersuchung wurde ursprünglich das Verfahren „In-Situ-Oxidation“ mit einem vorgeschalteten Pilotversuch vorgeschlagen. Die Bewertungskommission folgte diesem Vorschlag nicht und empfahl den ebenfalls in der Sanierungsuntersuchung dargestellten Bau von Abwehr- und Infiltra-tionsbrunnen. Ein wesentlicher Grund für diese Entscheidung war, dass bei nahezu gleichrangiger Bewer-tung der beiden Verfahren die Infrastruktur für die „In-Situ-Oxidation“ nahezu vollständig auf Fremdgrundstü-cken liegen würde und nach Erfahrungen mit den Grundstückseigentümern in der Vergangenheit mit erheb-lichen Schwierigkeiten und Widerständen zu rechnen wäre. Außerdem spielte bei der Entscheidung die bes-sere Anbindung an die bestehende Grundwassersanierungsanlage eine Rolle.

## 4 DARSTELLUNG DER DURCHZUFÜHRENDEN MASSNAHMEN

### 4.1 Einwirkungsbereich und Gebiet des Sanierungsplans

Die bisherigen, über den bestehenden Sanierungsplan abgedeckten Maßnahmen befinden sich hauptsächlich auf dem Betriebsgelände der MVV.

Nördlich des Betriebsgeländes befinden sich weitere, bestehende Entnahme- und Versickerungsbrunnen sowie Leitungstrassen. Der nordwestliche Bereich wurde von der EvoBus GmbH angemietet und wird als Verkaufszentrum für Busse (inkl. Parkflächen für neue und gebrauchte Busse) genutzt. Der nordöstliche Bereich befindet sich im Besitz der Firma EvoBus GmbH und wird überwiegend als Kfz-Parkplatz für Firmenangehörige verwendet.

Die neu geplanten Baumaßnahmen und Inanspruchnahmen von Flächen erfolgen ausschließlich auf dem Betriebsgelände der MVV. Im Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ außerhalb des Betriebsgeländes der MVV finden keine aktiven Maßnahmen statt. Deshalb endet das Gebiet des Sanierungsplans südlich an der Werk- und Grundstücksgrenze der MVV.

### 4.2 Betroffene

Alle geplanten Baumaßnahmen während der Sanierung finden auf dem Betriebsgelände der MVV Energie AG statt. Das Gelände wird von der MVV Energie AG entweder selbst genutzt oder innerbetrieblich vermietet. Die MVV Energie AG wurde MVV intern und im Rahmen einer gemeinsamen Ortsbegehung über die geplanten Sanierungsmaßnahmen informiert und die geplanten Maßnahmen abgestimmt.

Südlich der Grenze des Betriebsgeländes finden keine Baumaßnahmen und aktive Sanierungsmaßnahmen statt. Die Eigentümer und Bewohner sind durch die Sanierungsmaßnahmen nicht betroffen, da hier keine Auswirkungen haben.

Auf dem nördlich gelegenen Gelände existieren bereits Entnahme- und Versickerungsbrunnen sowie Leitungstrassen aus der Hauptsanierung. Hier existieren Gestattungsverträge zwischen MVV und EvoBus GmbH aus der Hauptsanierung.

## 4.3 Elemente und Ablauf der Sanierung

### 4.3.1 Allgemeine Verfahrensbeschreibung

Am Standort wird für den Bereich „Hauptsanierung“ seit 2010 eine mikrobiologische in-situ Sanierung der gesättigten Zone über die Installation von Grundwasserkreisläufen durch 11 Entnahme- und 31 Infiltrationsbrunnen betrieben. Das entnommene Grundwasser wird in einer zentralen on-site Grundwasseraufbereitungsanlage von organischen Schadstoffen (PAK, BTEX) sowie von Eisen und Mangan (damit keine Verockerungen in den Infiltrationsbrunnen auftreten) gereinigt und wieder infiltriert. Es besteht die Möglichkeit bei Bedarf Nährstoffe (Nitrat) und einen Sauerstofflieferanten (z.B. Wasserstoffperoxid  $H_2O_2$ ) zuzugeben [U31, U32]. Die Anlage ist auf eine Umsatzmenge von 55 m<sup>3</sup>/Std. ausgelegt und maximal 70 m<sup>3</sup>/Std. genehmigt. Mit dem Betrieb der Anlage wurden weitere Kenntnisse über den Grundwasserleiter gewonnen und die Grundwasserkreisläufe optimiert. Die optimierte Umsatzmenge beträgt aktuell 40 m<sup>3</sup>/Std.

Im Rahmen des Betriebs kam es unerwartet zu Ausfällungen (mehrheitlich Calcit) in den Infiltrationsbrunnen und dadurch zu einer teilweise erheblichen Reduzierung der Infiltrationskapazitäten der einzelnen Infiltrationsbrunnen. Um die Infiltrationsleistung aufrecht zu erhalten, wurde eine CO<sub>2</sub>-Dosierung in die Anlage eingebunden. Durch die CO<sub>2</sub>-Zugabe wird der pH-Wert im Infiltrationswasser auf ca. pH 6,7 abgesenkt und die Ausfällungen in den Infiltrationsbrunnen reduziert. Ergänzend werden die Infiltrationsbrunnen bei Bedarf regeneriert. Hierzu werden die Brunnen in einem ersten Schritt mechanisch mit einem kombinierten Bürsten-Pumpen-System von aufgewachsenem mikrobiologischem Bewuchs und anhaftenden Ausfällungen gereinigt. Anschließend werden die Brunnen zur Lösung von Calcit-Ausfällungen im Ringraum mit Salzsäure beaufschlagt und umgewälzt, um eine gleichmäßige Verteilung der Säure innerhalb der Brunnen zu erreichen.

Der Bereich „Messstelle 10“ liegt hinter dem Belastungsbereich D1 und wird derzeit mit einer Grundwasserentnahme von 2 m<sup>3</sup>/Std. und einer Abreinigung des Grundwassers über Aktivkohle in einer mobilen Grundwasserreinigungsanlage gesichert. Nach einer noch ausstehenden abschließenden Abgrenzung des Schadens wird der Bereich bei Bedarf ebenfalls an die Sanierungsanlage angeschlossen. Derzeit ist bis zum Vorliegen noch ausstehender weiterer Erkundungen zur Eingrenzung des Schadensbereiches von einer maximalen Breite des Schadens von ca. 70 m auszugehen. In Abhängigkeit der Ergebnisse der weiteren Erkundungen kann der Schadensbereich vermutlich enger gefasst und die Entnahme angepasst werden.

Der neue Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ wird in die Sanierung integriert und an die bestehende Anlage angeschlossen. Hierzu werden zusätzlich 3 Entnahmebrunnen und 6 Infiltrationsbrunnen sowie die zugehörigen Zu- bzw. Ableitungen errichtet. Die Brunnen werden an die bestehende Anlage angebunden und die Anlage erweitert.

Die Umsatzerhöhung beträgt für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ rund 4,5 m<sup>3</sup>/Std., für den Bereich „Messstelle 10“ rund 2 m<sup>3</sup>/Std., die Gesamtumsatzmenge dann rd. 46,5 m<sup>3</sup>/Std. Die Anlage ist auf eine Umsatzmenge von 55 m<sup>3</sup>/Std. ausgelegt und für maximal 70 m<sup>3</sup>/Std. genehmigt. Die vorhandene und genehmigte Anlagenkapazität reicht für die Umsatzmengen aus.

#### 4.3.2 Grundwasserentnahmen und -infiltrationen

Im Zuge der Untersuchungen im Bereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ wurde in der 21. Sitzung des Arbeitskreises beschlossen, das bestehende Grundwassermodell zu aktualisieren und die neuen Erkenntnisse einfließen zu lassen. Hierbei konnte modelltechnisch eine Optimierung des Entnahme- und Infiltrationsbetriebes für den Bereich „Hauptsanierung“ auf rd. 40 m³/h erreicht werden [U36].

Für den Bereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ wurde anhand des mit den Daten der Sanierungsuntersuchung aktualisierten Grundwassermodells für eine vollständige Erfassung des Schadensbereiches eine notwendige Entnahme von insgesamt rd. 4,5 m³/h aus 3 Entnahmefrünten ermittelt. Zur Infiltration des abgereinigten Wassers sind im unbelasteten Abstrom insgesamt 6 Infiltrationsbrunnen vorgesehen.

Die Grundwasserentnahme für den Bereich „Messstelle 10“ beträgt derzeit 2 m³/h in der Messstelle 10. Das Wasser wird über eine eigene Reinigungsanlage gereinigt und in die Kanalisation abgeleitet.

Die aktualisierten Entnahme- und Infiltrationsmengen sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

Mit den beschriebenen zwei Betriebsweisen (Varianten 1 und 2) ist eine Redundanz vorhanden und die Brunnen können für Regenerationen außer Betrieb genommen werden.

**Tabelle 2: Entnahmemengen**

Brunnen	Variante 1 m³/ Std.	Variante 2 m³/ Std.	Bemerkung
Entnahme "Hauptschaden"			
B3-13	-4,0	-4,0	
B3-14	-5,0	-5,0	
B3-15	-2,0	-2,0	
B3-16	-5,0	-5,0	
B3-17	-3,0	-3,0	
B3-18	-1,8	-1,8	
B4-5	-5,5	-5,5	
B4-6	-3,5	-3,5	
B4-7	-3,0	-3,0	
B4-8	-4,1	-4,1	
B4-9	-4,0	-4,0	
Teil-Summe	<b>-40,9</b>	<b>-40,9</b>	

Brunnen	Variante 1 m³/ Std.	Variante 2 m³/ Std.	Bemerkung
Entnahme "Messstelle 10"			
MST10	-2,0	-2,0	Derzeit Einleitung in Kanalisation, deshalb nicht in Gesamtsumme eingerechnet. Zukünftig ist die Anbindung an die Grundwasserreinigungsanlage und die Infiltration über die Versickerungsbrunnen angestrebt.
Entnahme "Carl-Zuckmayer-Str."			
B6.1	-1,5	-1,5	
B6.2	-1,5	-1,5	
B6.3	-1,5	-1,5	
Teil-Summe	-4,5	-4,5	
Gesamtsumme Entnahme	-45,4	-45,4	

Tabelle 3: Infiltrationsmengen

Brunnen	Variante 1 m³/ Std.	Variante 2 m³/ Std.	Bemerkung
Infiltration			
V1-1		2,5	außerhalb Kreislauf
V1-2	2,0		
V1-3	2,3		
V2-1	2,0		
V2-2		2,0	
V2-3	3,0		
V2-4		1,7	
V2-5	2,0	2,0	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .
V2-6	2,5	2,5	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .

Brunnen	Variante 1 m³/ Std.	Variante 2 m³/ Std.	Bemerkung
V2-7	1,5	1,5	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .
V2-8	2,5	2,5	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .
V2-9	2,5	2,5	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .
V2-10		3,5	Bei Regeneration Umschalten auf Infiltrationen außerhalb Kreislauf .
V3-1	0,5	0,5	außerhalb Kreislauf
V3-2	2,0	2,0	außerhalb Kreislauf
V3-3	0,5	0,5	außerhalb Kreislauf
V3-4	1,7	1,7	außerhalb Kreislauf
V3-5	1,5		In Bereich V3-5 bis V3-8 darf die Summe in der Variante nicht überschritten werden
V3-6		1,5	In Bereich V3-5 bis V3-8 darf die Summe in der Variante nicht überschritten werden
V3-7	1,0		In Bereich V3-5 bis V3-8 darf die Summe in der Variante nicht überschritten werden
V3-8		1,0	In Bereich V3-5 bis V3-8 darf die Summe in der Variante nicht überschritten werden
V3-9	3,0	3,0	In Bereich V3-9 bis V3-12 darf die Summe der Variante nicht überschritten werden.
V3-10	1,7		In Bereich V3-9 bis V3-12 darf die Summe der Variante nicht überschritten werden.
V3-11		3,0	In Bereich V3-9 bis V3-12 darf die Summe der Variante nicht überschritten werden.
V3-12	2,5		In Bereich V3-9 bis V3-12 darf die Summe der Variante nicht überschritten werden.
V4-1	1,0	1,0	Bei Regeneration V4-1 Umschalten auf V4-2 und/oder V4-4
V4-2	1,5	1,5	außerhalb Kreislauf
V4-3	1,5		
V4-4		1,5	außerhalb Kreislauf
V5-1	1,0		können auch parallel betrieben werden. Bei vorgegebener Entnahmerate B4-9

Brunnen	Variante 1 m <sup>3</sup> / Std.	Variante 2 m <sup>3</sup> / Std.	Bemerkung
V5-2		1,6	können auch parallel betrieben werden. Bei vorgegebener Entnahmerate B4-9
V6-1	1,5		außerhalb Kreislauf
V6-2	1,5		außerhalb Kreislauf
V6-3	1,5		außerhalb Kreislauf
V6-4		1,5	außerhalb Kreislauf
V6-5		1,5	außerhalb Kreislauf
V6-6		1,5	außerhalb Kreislauf
Gesamtsumme Infiltration	44,2	44,0	Differenz zu Entnahmerate wird in Brunnen außerhalb der Kreisläufe verteilt

### 4.3.3 Oberirdische Wasserreinigung

#### 4.3.3.1 Aufbereitungsprozess

Die 2010 in Betrieb genommene dreistraßige Wasseraufbereitungsanlage [U31, U32] und deren Umbau werden kurz beschrieben und sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

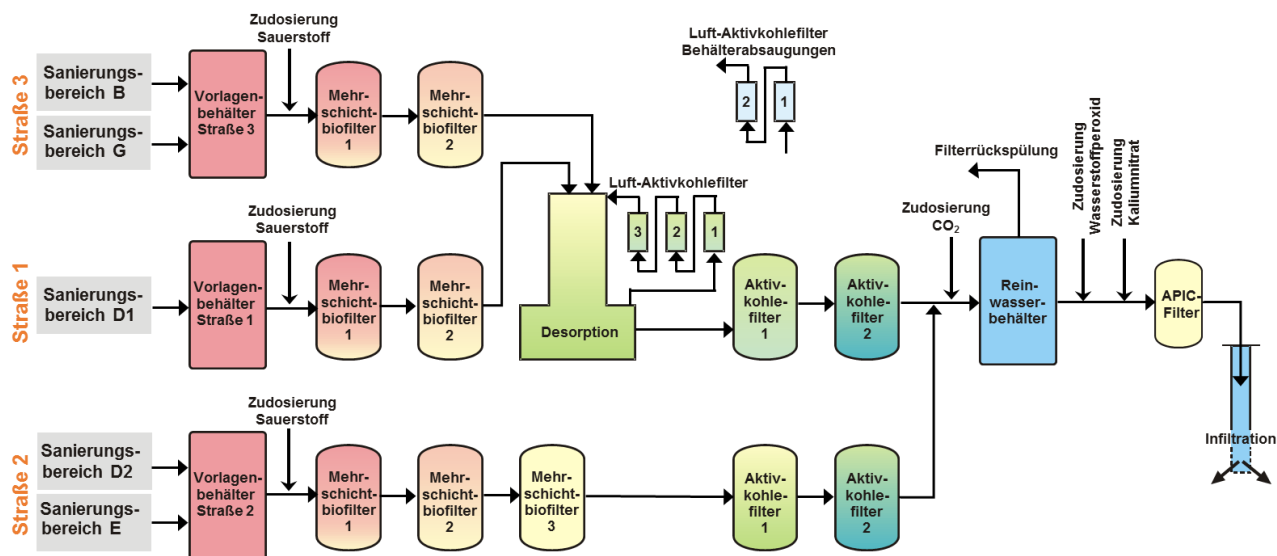
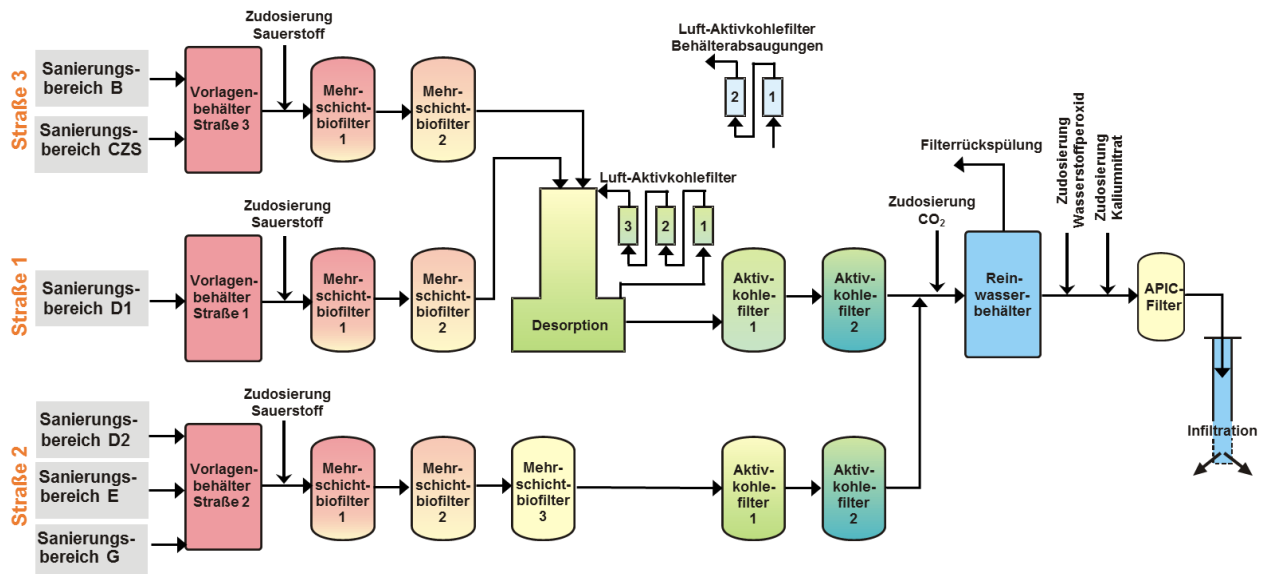


Abbildung 1 Schema bisher bestehende Grundwasseraufbereitungsanlage



**Abbildung 2 Schema modifizierte Grundwasseraufbereitungsanlage (nach Umbau)**

Die StraÙe 1 besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- 1 Vorlagebehälter,
- Oxidationsstufe,
- 2 Mehrschichtfilter, parallel geschaltet.

Die AnlagenstraÙe 1 ist so ausgelegt, dass sie in einem kontinuierlichen Belastungsintervall von 5 bis 12 m<sup>3</sup>/Std. frei betriebsfähig ist (Regelung) und die Gewährleistungswerte (Tabelle 4, letzte Spalte, maximal zulässige Ablaufkonzentration) unter den maximal erwarteten Zulaufbedingungen noch (Tabelle 4, Bereich D1) erreicht werden.

Die StraÙe 2 besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- 1 Vorlagebehälter,
- 3 Oxidationsstufen vor jedem Mehrschichtfilter,
- 3 Mehrschichtfilter, in Reihe geschaltet,
- 2 Wasseraktivkohlefilter, in Reihe geschaltet.

Die AnlagenstraÙe 2 ist so ausgelegt, dass sie in einem kontinuierlichen Belastungsintervall von 18 bis 30 m<sup>3</sup>/Std. frei betriebsfähig ist (Regelung) und die Gewährleistungswerte (Tabelle 4, letzte Spalte, maximal zulässige Ablaufkonzentration) unter den maximal erwarteten Zulaufbedingungen noch (Tabelle 4, Bereiche D2 und E) erreicht werden. Darüber wird durch die bedarfsabhängige Regelung der Sauerstoffkonzentration gewährleistet, dass eine Raumabbauleistung der Schadstoffe von mind. 60 g Schadstoffe pro m<sup>3</sup> Filtervolumen und Tag erreicht wird.

Die StraÙe 3 besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- 1 Vorlagebehälter,
- Oxidationsstufe,
- 2 Mehrschichtfilter (parallel geschaltet)

Die Anlagenstraße 3 ist so ausgelegt, dass sie in einem kontinuierlichen Belastungsintervall von 15 bis 25 m<sup>3</sup>/Std. frei betriebsfähig ist (Regelung) und die Gewährleistungswerte (Tabelle 4, letzte Spalte, maximal zulässige Ablaufkonzentration) unter den maximal erwarteten Zulaufbedingungen (Tabelle 4, Bereiche B und G) erreicht werden.

Von den Straßen 1 und 3 werden gemeinsam genutzt:

- 2 Wasseraktivkohlefilter, in Reihe geschaltet,
- Desorption,
- 3 Aktivkohlefilter zur Reinigung der Abluft aus der Desorption, in Reihe geschaltet.

Die gemeinsamen Komponenten der Anlagenstraßen 1 und 3 sind so ausgelegt, dass sie in einem kontinuierlichen Belastungsintervall von 23 bis 42 m<sup>3</sup>/Std. frei betriebsfähig ist (Regelung) und die Gewährleistungswerte unter den maximal erwarteten Zulaufbedingungen (Tabelle 4, Bereiche B, D1 und G) erreicht werden.

Von allen drei Straßen werden gemeinsam genutzt:

- Rein- und Rückspülwasservorlage
- Rückspülwasserabsetzbecken
- Schlammstapelbehälter
- Lagertank für Wasserstoffperoxid, doppelwandig
- Lagertank für Kaliumnitrat, doppelwandig
- Lagertank für technischen Sauerstoff (vom AN beim Lieferanten gemietet, nicht Eigentum des AG)
- Lagertank für Kohlendioxid (vom AN beim Lieferanten gemietet, nicht Eigentum des AG)
- Rückspülaggregate (Pumpe und Verdichter)
- Behälterabsaugung (Wasserabscheider, Verdichter, Lufterhitzer, Adsorptionsstufen für Luftaktivkohle)
- Ausrüstung des Pumpensumpfs
- CO<sub>2</sub>-Dosierung im Anlagenablauf
- Kerzenfilter im Anlagenablauf

Die zentralen Aufbereitungsstufen sind so ausgelegt, dass diese in einem kontinuierlichen Belastungsintervall von 40 bis 65 m<sup>3</sup>/Std. frei betriebsfähig sind (Regelung) und die Gewährleistungswerte (Tabelle 4, letzte Spalte, maximal zulässige Ablaufkonzentration) unter den maximal erwarteten Zulaufbedingungen (Tabelle 4) erreicht werden.

Die Anlage wird vollautomatisch gesteuert. Als Messsignale werden u. a.

- der Durchfluss je Sanierungsbrunnen,
- der Durchfluss je Anlagenstraße,
- der Durchfluss je Infiltrationsbrunnen,
- die Füllstände der Entnahmepumpen (Brunnenpumpen werden über die Einhaltung eines konstanten Brunnenfüllstands gesteuert),
- die Füllstände der Infiltrationsbrunnen (Infiltrationsdauer hängt ab von der Entwicklung der Brunnenfüllstände während der Infiltration),
- die Füllstände aller Behälter,
- der Differenzdruck der Mehrschichtfilter,
- der Differenzdruck der Aktivkohlefilter
- der Sauerstoffgehalt nach jedem Mehrschicht-/Biofilter,

- die Luftmenge der Desorption,

kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Bei Bedarf wird automatisch steuernd in den Anlagenbetrieb eingegriffen (z.B. Rückspülung der Mehrschichtfilter bei Erreichen des vorgegebenen Differenzdrucks, Regelung der Zugaben des technischen Sauerstoffs, der Nährsalze oder Regelung der Infiltrationsraten je Brunnen). Die Infiltrationsraten und die Infiltrationszeiten der einzelnen Brunnen sind je Brunnen frei wählbar, so dass hier eine vollständige flexible Bedienung möglich ist.

Bei Störungen des Anlagenbetriebs, die zu einer Durchsatzreduktion oder Abschaltung der Gesamtanlage oder einer Anlagenstraße führen, wird automatisch an den Betreiber (und den Überwacher) der Wasseraufbereitung eine Meldung abgesetzt. Die Störung kann per Ferndiagnose bearbeitet und in den Anlagenbetrieb eingegriffen werden. Die Anlage wird bei Störungen, die eine Beeinträchtigung der Reinigungsleistung bedingen können, automatisch außer Betrieb genommen und dürfen erst nach Diagnose und Fehlerbehebung wieder durch einen Verantwortlichen in Betrieb genommen.

Die Bandbreite der Zulaufkonzentrationen ist in Tabelle 4 dargestellt:

**Tabelle 4: Bandbreiten Zulaufkonzentrationen**

Belastungsbereich	Parameter	Konzentration im Zulauf [µg/l]	Max. Konzentration im Ablauf [µg/l]
Belastungsbereich B	Eisen	100 - 8.500	250 *
	EPA-PAK o.N.	5 – 20	0,2
	Naphthalin	1 – 130	2
	BTEX	50 – 1.400	20
	Benzol	50 – 1.200	1
Belastungsbereich D1  Belastungsbereich D2	Eisen	300 – 3.500	250 *
	EPA-PAK o.N.	40 – 1.200	0,2
	Naphthalin	100 – 2.500	2
	BTEX	400 - 4.000	20
	Benzol	100 – 1.000	1
	Eisen	100 – 14.000	250 *
	EPA-PAK o.N.	100 – 620	0,2
	Naphthalin	1 – 170	2
	BTEX	10 – 100	20
	Benzol	5 – 65	1
Belastungsbereich E	Eisen	200 – 4.700	250 *
	EPA-PAK o.N.	50 – 1.500	0,2
	Naphthalin	1 – 130	2
	BTEX	25 - 370	20
	Benzol	25 - 260	1
Belastungsbereich G	Eisen	100 – 5.000	250 *
	EPA-PAK o.N.	5 - 470	0,2
	Naphthalin.	1 - 8	2
	BTEX	5 - 160	20

Belastungsbereich	Parameter	Konzentration im Zu- lauf [µg/l]	Max. Konzentration im Ablauf [µg/l]
	Benzol	5 - 160	1
Belastungsbereich CZS	Eisen	8.000	250 *
	EPA-PAK o.N.	10 – 150	0,2
	Naphthalin	9 – 120	2
	BTEX	500 – 2.500	20
	Benzol	400 – 2.000	1

\* nicht genehmigungsrelevant

Die Straßen 1 und 3 werden nach der Enteisung über eine gemeinsame Desorption und Adsorption geführt.

Aufgrund der in den Brunnen festgestellten Ausfällungen wurde nachträglich vor dem Reinwasserbehälter eine CO<sub>2</sub>-Dosierung zur Absenkung des pH-Wertes im Infiltrationswasser und einer damit verbundenen Reduzierung der Ausfällung installiert. Ergänzend dazu wurden im Anlagenablauf zwei parallel geschaltete APIC-Filter (Kerzenfilter) zur Abscheidung schon in der Anlage ausgefallener Partikel installiert.

Zur Einbindung des Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ wird das Wasser aus Sanierungsbereich G von Straße 1 auf Straße 3 umgelegt und das Wasser aus dem Sanierungsbereich „CZS“ wird über Straße 1 geführt.

Ergänzend wird ein zusätzlicher Rückspülwasserabsetztank installiert, um die bestehende Kapazität für die Sedimentation des Rückspülwassers zu erweitern.

Ein Verfahrensfließschema ist in Anlage 4 beigefügt.

#### 4.3.4 Anbindung des Sanierungsteilbereichs „Carl-Zuckmayer-Straße“

Zur Anbindung des Sanierungsteilbereichs sind die errichteten Entnahme- und Infiltrationsbrunnen auszurüsten und an Wasseraufbereitungsanlage anzubinden. Des Weiteren ist die Wasseraufbereitungsanlage zu erweitern.

Von den drei Förderbrunnen B6-1, B6-2 und B6-3 wird eine Wassermenge von jeweils 1,5 m<sup>3</sup>/Std. erwartet. Auf den Bau eines vierten Brunnens mit einer Wassermenge von 3 m<sup>3</sup>/Std. wird vorerst verzichtet. Ein solcher Brunnen wäre dann erforderlich, wenn vom Seitenstrom stammendes unbelastetes Wasser (oxidativ) zu Ausfällungsprozessen in den Brunnen führen würde. Eine spätere Realisierung dieses vierten Brunnens ist bei der Dimensionierung der Behälter und Rohrleitungen innerhalb der Anlage jedoch hydraulisch berücksichtigt. Der maximale Durchsatz der Anlagenerweiterung ist somit auf 7,5 m<sup>3</sup>/h festgelegt.

Die drei Entnahmebrunnen und sechs Infiltrationsbrunnen werden erstellt und an die Anlage angebunden (Anlage 4.3).

Die Umbauten erfolgen gemäß der beigefügten Fließbilder (Anlage 4.4).

Übergabepunkt für zulaufendes Wasser aus dem Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ ist die südlich in unmittelbarer Nähe zur Anlageneinhausung aus dem Boden kommende Sammelleitung. Für die Aufrechterhaltung der Flexibilität im Betrieb ist die Möglichkeit vorgesehen, das Wasser aus dem Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ auch auf die Reinigungsstraßen 2 und 3 zu schalten. Zudem wird eine Durchflussmessung und eine Probenahmestelle im Zulauf installiert, um die zulaufende Wassermenge aus Bereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ zu erfassen und zu beproben.

Anstatt der Einbindung in die Sammelleitung kann auch eine direkte Verbindung zu den jeweiligen Vorlagebehältern hergestellt werden.

#### Nitrifikation

Im Rahmen der Voruntersuchungen [U18] im Jahr 2013 wurde optional ein mögliches Generieren des Elektronenakzeptors Nitrat (zum mikrobiologischen Abbau im Grundwasser) durch Installation einer Nitrifikationsstufe mit einer Nitrat-Ablaufkonzentration von bis zu 100 mg/l vorgeschlagen und genehmigt. Als Vorteil wurde die gleichzeitige Verringerung des Ammoniums genannt. Eine eigene Nitrifikationsstufe wurde nicht installiert. Die Nitrifikation findet in der bestehenden Grundwasserreinigungsanlage statt. Untersuchungen 2014 [U43] zeigen eine Nitrat-Ablaufkonzentration von rund 50 mg/l, während die Konzentrationen in den Entnahmebrunnen bei 1 mg/l bzw. kleiner 1 mg/l lagen.

#### Zugabe von Stoffen zur Förderung der Mikrobiologie bei der Infiltration

Zur Unterstützung des mikrobiologischen Abbaus der Schadstoffe im Boden können nach der bestehenden Genehmigung Nährstoffe und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bzw. Zudosierung von technischem Sauerstoff (nach Bedarf) in den Spülkreislauf eingebracht werden:

1. Infiltration von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bis zu 100mg/l als Sauerstofflieferant bzw. Zudosierung von techn. Sauerstoff nach Bedarf

2. Nitrat bis zu 100 mg/l als Elektronenakzeptor sofern an der Grundstücksgrenze 50 mg/l unterschritten werden (Begründung: Nitrat unterstützt die Mikrobiologie und wird bis zur Grundstücksgrenze gezehrt.)

3. Alternative Nährlösungsgemische (Art und Menge in Abstimmung mit Wasserrechtsbehörde)

### Abluft

Die Luft in der Desorptionsstufe zum Ausstrippen von leichtflüchtigen Stoffen wird im Kreislauf gefahren, d.h. in dieser Anlagenstufe entsteht keine Abluft. Über Aktivkohlefilter, die regelmäßig ausgetauscht werden, wird die Stripluft gereinigt.

Abluft entsteht lediglich über die sog. Behälterabsaugung. Die Luft aus den Behältern der Enteisung, der biologischen Stufe und der Adsorption wird kontinuierlich abgesaugt, über einen Aktivkohlefilter geleitet und gereinigt.

In der Abluft werden gemäß TA-Luft [U30] folgende Schadstoffkonzentrationen bzw. -frachten eingehalten:

	Konzentrationen	Frachten
<u>Organische Schadstoffe</u>		
C <sub>org</sub> gemessen als Gesamtkohlenstoff	50 mg/m <sup>3</sup>	500 g/h
<u>Krebserzeugende Schadstoffe</u>		
Klasse I (z.B. Benzo(a)pyren)	0,05 mg/m <sup>3</sup>	0,15 g/h
Klasse III (z.B. Benzol, Trichlorethen, 1,2-Dichlorethan, Vinylchlorid)	1 mg/m <sup>3</sup>	2,5 g/h

### 4.3.5 Regenerierung der Infiltrationsbrunnen

Seit dem Sommer 2012 hatte zwischenzeitlich die Infiltrationsleistung der Brunnen stark abgenommen. Aus diesem Grund wurde den Ursachen nachgegangen und Maßnahmen zur Verbesserung der Infiltrationskapazität ergriffen.

Als am besten geeignet, erwies sich die chemische Regeneration. Die Regeneration erfolgt mit 37%-iger Salzsäure (chem. rein). Die Salzsäure wird über einen Schlauch von unten nach oben, unter Ziehen des Schlauches in den Brunnen eingebracht. Nach dem Einbringen der Salzsäure wird der Brunnen für eine Einwirkzeit von 1 Woche nicht betrieben. Nach Abschluss der Einwirkzeit, wird die nicht umgesetzte Säure im Brunnen belassen und danach die Infiltration wieder in Betrieb genommen. Die verbliebene Säure wird durch den umgebenden kalkhaltigen Kiessand verbraucht. Die Salzsäure wird in IBC-Gebinden angeliefert und in einem abschließbaren Container mit Auffangwanne (Volumen umfasst mindestens das gelagerte Volumen) gelagert. Für die Regeneration liegt bereits ein Arbeits- und Sicherheitsplan vor.

#### 4.3.6 Grundwasseraufbereitung an MST 10

In der Grundwassermessstelle MST 10 wurden hohe BTEX- und PAK-Konzentrationen im Grundwasser festgestellt. Derzeit wird dort eine angemietete temporäre Grundwasseraufbereitung, bestehend u.a. aus einem Kiesfilter und zwei Aktivkohlefiltern (je 1,5 m<sup>3</sup>) betrieben, bis die Erkundung des Schadens abgeschlossen ist.

Der Betrieb umfasst auch eine analytische Eigenüberwachung. Die Eigenüberwachung umfasst die mindestens monatliche Entnahme von Wasserproben im Zulauf der Wasseraufbereitungsanlage sowie nach dem Kiesfilter und nach jedem Aktivkohlefilter inkl. der Analytik der entnommenen Proben auf die Parameter EPA-PAK und AKW.

#### 4.3.7 Nachweis der Eignung des Verfahrens

Das Verfahren wird mittlerweile seit 2010 am Standort betrieben. Die Ergebnisse der durchgeführten Eigen- und der Fremdüberwachung zeigen die Wirksamkeit des Verfahrens. Auf Grund der nahezu identischen Belastungssituation und des Grundwasserchemismus im Bereich Carl-Zuckmayer-Straße ist davon auszugehen, dass das Verfahren auf diesen Bereich erweitert werden kann.

### 4.4 Behördliche Zulassungserfordernisse

Als behördliches Zulassungserfordernis ist der Antrag der wasserrechtlichen Erlaubnis zum Bau der Brunnen erforderlich. Dieser wurde bereits eingereicht.

## 5 DARSTELLUNG DER EIGENKONTROLLMAßNAHMEN

Alle Grundwasserprobenahmen erfolgen nach dem Leitfaden Grundwasserprobenahme - Grundwasserüberwachungsprogramm Baden-Württemberg- der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in der jeweils aktuellsten Fassung (derzeit Februar 2013).

Bei den Aromaten (AKW) werden folgende Parameter analysiert:

Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol, Propylbenzol (n-Propylbenzol, Isopropylbenzol), Ethyltoluole (o-, m- und p-Ethyltoluol), Diethylbenzole (1,2-, 1,3- und 1,4-Diethylbenzol), Trimethylbenzole (1,2,3- 1,2,4- und 1,3,5-Trimethylbenzol), Tetramethylbenzole (1,2,3,4-, 1,2,3,5- und 1,2,4,5-Tetramethylbenzol)

### 5.1 Überwachung Routinebetrieb

Zur Kontrolle und Effizienz des mikrobiologischen in-situ-Schadstoffabbaus und des direkten Abstroms sind folgende Programme festgelegt:

#### Überwachung Grundstücksgrenze

Es ist vorgesehen, das Monitoring auf die Grundwassermessstellen GK 30, GWM19/18, GWM20/18, GWM21/18 und GWM22/18 zu erweitern. Damit wird eine zusätzliche Kontrollebene für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Straße“ definiert.

**Tabelle 5: Übersicht Grundwassermessstellen**

Messstelle	Beprobungsrhythmus	Parameterumfang
GK11	halbjährlich	PAK, AKW, Ammonium, Nitrat
GK12		
GK18		
GK30		
GK32		
GK36		
GK37		
MST10		
GWM 19/18		
GWM 20/18		
GWM 21/28		
GWM 22/18		

**Tabelle 6: Überwachung „mikrobiologische in-situ-Sanierung“**

Belastungsbereich	Messstelle	Beprobungsrhythmus	Parameterumfang
B	B3-13, B4-14, B3-15	halbjährlich	PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Nitrat, Eisen, Mangan
	GWM-B3		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter
D1	B4-5, B4-6		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Eisen, Mangan
D2	B3-16, B3-17, B3-18		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Eisen, Mangan
E	B4-7, B4-8		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Eisen, Mangan
G	B4-9		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Eisen, Mangan
	GWM-G1		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter
CZS	B6-1, B6-2, B6-3		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter, Ammonium, Eisen, Mangan
	GWM-I3		PAK, BTEX, PAK-/ BTEX-Verwerter
B	Anlagenzulauf	vierteljährlich	PAK, AKW
D1	Anlagenzulauf		PAK, AKW
D2	Anlagenzulauf		PAK, AKW
E	Anlagenzulauf		PAK, AKW
G	Anlagenzulauf		PAK, AKW
CZS	Anlagenzulauf		PAK, AKW
	Anlagenablauf		PAK, AKW

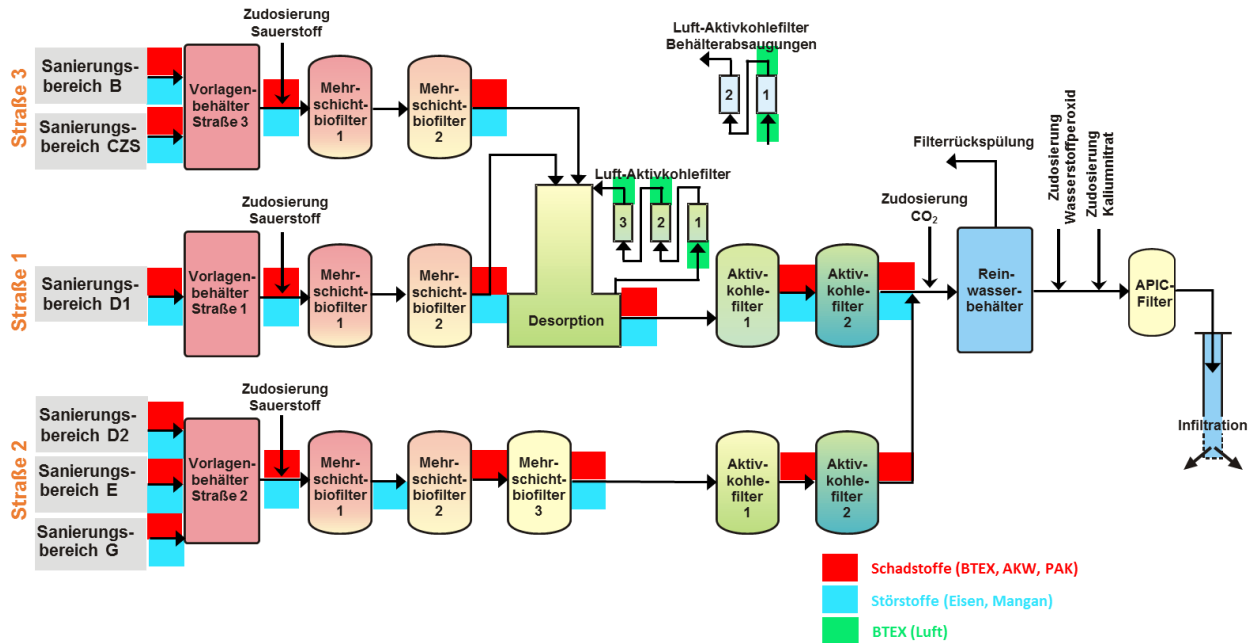
### Grundwasserstandsmessungen

Im Rahmen des Monitorings (oben) werden auch die Grundwasserstände gemessen. Alle 6 Monate sind parallel zu den Grundwasserstandsmessungen im Rahmen des Monitorings zusätzlich die Grundwasserstände an folgenden Grundwassermessstellen zu messen:

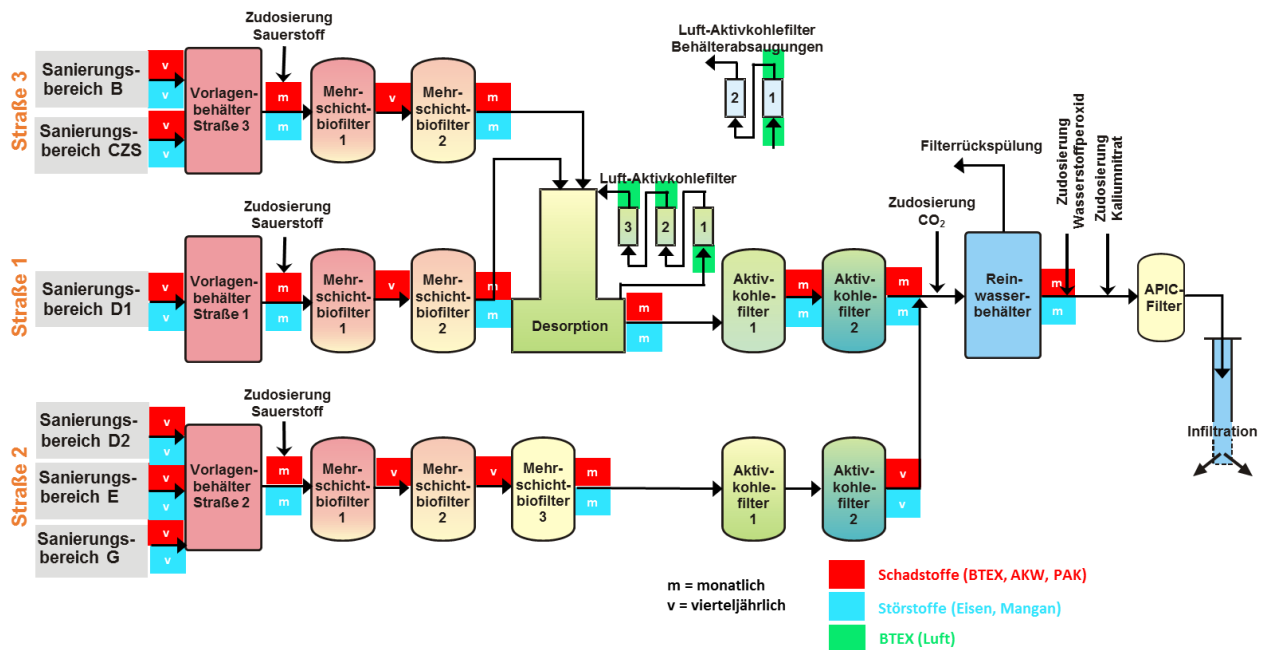
- GK17, GK19, GK21, GK23, GK24, GK28, GK29, GK30, GWM-I4, GWM-I8, GWM-I9

### Überwachung Anlagenbetrieb

Nach insgesamt 8 Jahren Routinebetrieb können auf Grundlage der gesammelten Erfahrungen die Probenahme-Intervalle für den Wasserpfad reduziert werden. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen den bisherigen und den neuen Probenahmeplan.



**Abbildung 3 Bisheriger Probenahmeplan (alle Beprobungen monatlich)**



**Abbildung 4 Neuer Probenahmeplan (teils monatliche, teils vierteljährliche Beprobungsintervalle)**

## Aktivkohlewechsel

Nach der ursprünglichen Genehmigung soll der Aktivkohlewechsel der Luft- oder Wasseraktivkohle bei 50 % der genehmigten Grenzwerte vor dem einzelnen Polzeifilter erfolgen. Dies hat sich als nicht zweckmäßig erwiesen.

Zukünftig ist der Aktivkohlewechsel der Luft- oder Wasseraktivkohle bei Erreichen von gewichtet gemittelten 50 % der genehmigten Grenzwerte nach den Polzeifiltern, nach denen Wasser infiltriert oder Luft in die Atmosphäre gegeben wird, durchzuführen. Durch den Vorschlag wird insbesondere bei den sehr niedrigen Grenzwerten z. B. für PAK o. N. von 0,2 µg/l vermieden, dass die einzelnen Hauptfilter zu früh gewechselt werden müssen, ohne dass technisch eine Notwendigkeit bestehen würde.

Ein Aktivkohlewechsel erfolgt dann innerhalb von zwei Wochen, sodass keine Gefahr einer Ableitung von Luft oder Wasser mit Konzentrationen oberhalb der Grenzwerte besteht.

## Dokumentation Sanierungsbetrieb

Zur Dokumentation des Sanierungsbetriebs werden bisher Halbjahresberichte erstellt, in denen Folgendes dokumentiert wird:

- Darstellung der in Betrieb befindlichen Brunnen
- Entnahme- und Infiltrationsmengen
- Messung der Grundwasserstände bei jeder Beprobung inkl. Auswertung
- Darstellung der Ergebnisse der Kontrollbeprobungen an der Anlage und den Messstellen
- Auswertung und Darstellung der Menge an abgereinigten Schadstoffen in der Wasseraufbereitungsanlage
- Betriebsstörungen/Betriebsstillstände
- Maßnahmen an der Wasseraufbereitungsanlage (z.B. Austausch Aktivkohlefilter)
- Auswertung und Darstellung der Ergebnisse des Monitorings an der Gaswerksgrenze
- Kostenbetrachtung zur Effizienz

Die Inhalte werden als Sachstandsbericht zukünftig in einem Jahresbericht am Ende eines Betriebsjahres der MVV (Oktober – September) dokumentiert. In diesem werden auch Empfehlungen für den Weiterbetrieb der Sanierung gegeben. Die bisherigen Halbjahresberichte entfallen und werden durch einen Kurzbericht in Form eines Aktenvermerks ersetzt, in dem die wichtigsten Ereignisse kurz skizziert sind. Verteiler der Berichte sind die Mitglieder des Projektarbeitskreises.

## 6 NACHWEIS DES SANIERUNGSERFOLGS

Als Sanierungsziele für die Sanierungsteilbereiche „Hauptsanierung“ und „Carl-Zuckmayer-Straße“ werden für den Oberen Grundwasserleiter (OGWL) jeweils die Einhaltung der Emissionsbedingungen für die Parameter EPA-PAK ohne Naphthalin, Naphthalin, BTEX und Benzol festgelegt.

Der Nachweis über die Einhaltung der Emissionsbedingungen erfolgt in jedem Sanierungsteilbereich über die Grundwasserbeprobung einer Zustrom- und einer Abstrommesssstelle. Es werden die Schadstoffkonzentrationen ermittelt, die sich mit dem Grundwasser in horizontaler Richtung ausbreiten.

Die Berechnung der Emission für jeden Sanierungsbereich im Oberen Grundwasserleiter erfolgt über

$$E_1 = (c_{A-SH1} - c_{Z-SH1}) \cdot Q_{A-SH1}$$

wobei

$$E_1 = \text{Emission im OGWL [g/d]}$$

$$c_{A-SH1} = \text{Schadstoffkonzentration im Abstrom des Schadensherdes (im OGWL) [\mu\text{g/l}]}$$

(Beprobung Abstrommesssstelle)

$$c_{Z-SH1} = \text{Schadstoffkonzentration im Zustrom des Schadensherdes (im OGWL) [\mu\text{g/l}]}$$

(Beprobung Zustrommesssstelle)

$$Q_{A-SH1} = \text{Kontaktgrundwasservolumenstrom im Abstrom des Schadensherdes (im OGWL)}$$

[m<sup>3</sup>/h]

$Q_{A-SH1}$  ergibt sich aus:

$$Q_{A-SH1} = A_1 \cdot v_{A1} \cdot n_{S1}$$

$$v_{A1} = \text{Abstandsgeschwindigkeit im OGWL}$$

$$A_1 = \text{durchströmte kontaminierte Querschnittsfläche im OGWL}$$

(Stromröhrenbreite x Mächtigkeit) [m<sup>2</sup>]

$$n_{S1} = \text{durchflusswirksames Porenvolumen im OGWL [0,25]}$$

Die Emissionsbegrenzung im Oberen Grundwasserleiter ergibt sich zu

$$\sum_{x=1}^n E_x < E_{\max} - W \quad n = \text{alle Stromröhren}$$

In nachfolgender Tabelle sind die  $E_{\max}$ -W-Werte dargestellt.

**Tabelle 7: E<sub>max</sub>-W-Werte**

Parameter	E <sub>max</sub> -W-Wert [g/d]
<b>EPA-PAK (ohne Naphthalin)</b>	0,32
<b>Naphthalin</b>	4,5
<b>BTEX</b>	20
<b>Benzol</b>	2

Die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Messstellen sind für den Nachweis der Einhaltung der Emissionswerte auf die Parameter EPA-PAK, Naphthalin, BTEX, Benzol vorgesehen.

**Tabelle 8: Zu beprobenden Messstellen zum Nachweis des Sanierungserfolgs**

Sanierungsbereich	Messstelle im Zustrom	Messstelle im Abstrom
<b>B</b>	V1-1 V1-3	B3-14 B3-15
<b>D1</b>	B3-16 B3-18	B4-5 B4-6
<b>D2</b>	GK19	B3-17
<b>E</b>	V2-10 GK17	B4-7 GK18
<b>G</b>	V5-1	GWM-G3
<b>Carl-Zuckmayer-Straße</b>	GWM-I6 GWM-I12 GWM-I9	GWM-I1 GWM-I3 GWM-I8

Alle Wasser- und Grundwasserprobenahmen erfolgen nach dem Leitfaden Grundwasserprobenahme - Grundwasserüberwachungsprogramm Baden-Württemberg- der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg in der jeweils aktuellsten Fassung (derzeit Februar 2013).

Die Analysemethoden und die Einzelparameter legt die genehmigende Behörde nach den anerkannten Regeln der Technik und der Altlastenbearbeitung fest.

Wird die Emissionsbegrenzung bei einer Beprobung unterschritten, so werden diese Grundwasserbeprobungen nach 3, 6, 12, 24 und 36 Monaten wiederholt.

Das Sanierungsziel für den Oberen Grundwasserleiter gilt dann als erreicht, wenn kumulativ für den gesamten Abstrom aller Sanierungsbereiche 3 Jahre in Folge (1 Ausreißer ist zugelassen) die zulässigen Schadstofffrachten aus Tabelle 2 eingehalten werden.

## 7 DARSTELLUNG ZEITPLAN UND KOSTEN

### 7.1 Zeitplan

Die Sanierung des Bereiches Hauptsanierung ist seit 2010 im Regelbetrieb. Der Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ kann nach Vorliegen der Verbindlichkeitserklärung voraussichtlich im 1. Halbjahr 2019 in den Sanierungsbetrieb aufgenommen werden. Eine hinreichend genaue Prognose über den Sanierungsverlauf für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ ist nach den vorliegenden Daten noch nicht möglich.

### 7.2 Kostenschätzung

Für den Sanierungsteilbereich „Carl-Zuckmayer-Str.“ werden Investitionskosten von rund 700.000 € netto und jährliche Betriebskosten von rund 60.000 € netto pro Jahr geschätzt.

**Im Übrigen gelten die Bestimmungen des verbindlich erklärten Sanierungsplans.**

**AUFTRAGGEBER**  
MVV RHE GmbH

**AUTOR**  
Christian Schreiber  
Michael Reinhard

**DATUM**  
25. November 2018

**Arcadis Germany GmbH**

Griesbachstraße 10  
76185 Karlsruhe  
Deutschland  
0721 98580-0

[www.arcadis.com](http://www.arcadis.com)