



Vishay Electronic GmbH
Hofmark-Aich-Str. 36
84030 Landshut

BMI-Standort Klötzlmüllerstraße 140, Landshut PCB- Bodensanierung

Sanierungserfolg und Zustand des Bodens
und des Grundwassers nach Abschluss der
Sanierungsmaßnahme


16. September 2021

Projekt Nr.: 0027473


16. September 2021

BMI-Standort Klötzlmüllerstraße 140, Landshut PCB-Bodensanierung

Sanierungserfolg und Zustand des Bodens und des Grundwassers nach
Abschluss der Sanierungsmaßnahme


Dr. Klaus Schnell
Partner


Olaf Filzinger
Principal Consultant


Dr. Andrea Herch
Technical Director
Sachverständige
§18 BBodSchG

ERM GmbH
Siemensstraße 9
63263 Neu-Isenburg

© Copyright 2021 by ERM Worldwide Group Ltd and / or its affiliates ("ERM").
All rights reserved. No part of this work may be reproduced or transmitted in any form,
or by any means, without the prior written permission of ERM

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	1
1. EINFÜHRUNG	4
1.1 Hintergrund und Veranlassung	4
1.2 Gliederung des Berichts	5
1.3 Zitierte Unterlagen	6
1.4 Haftungsausschluss	8
2. AUSGANGSLAGE	9
2.1 Lage	9
2.2 Geologie / Hydrogeologie	9
2.3 Sanierungsziele	10
2.4 Sanierungshistorie und Ist-Zustand	10
3. UNTERSUCHUNGSKONZEPT - METHODIK	12
3.1 Ziele der Untersuchungen	12
3.2 Untersuchungen zur Restbelastung im Boden	12
3.3 Untersuchung zur PCB-Belastung im Grundwasser	14
3.4 Chemische Analysen Boden und Grundwasser	19
3.5 Abbauverhalten PCB	19
3.6 Toxikologisches Gutachten	20
3.7 Abschließende Gefährdungsbeurteilung	20
4. ERGEBNISSE	21
4.1 PCB-Konzentrationen im Boden	21
4.2 Grundwasser	26
4.3 Verbleibende PCB-Restbelastungen	40
4.4 Abbauverhalten von PCB	43
5. BEWERTUNG DES ERFOLGES DER BODENSANIERUNG	46
6. GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG FÜR PCB-RESTBELASTUNGEN	47
6.1 Zielstellung	47
6.2 Beurteilungsgrundlagen	47
6.3 Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148	49
6.4 BMI-Liegenschaft und Bereich der PCB-Fahne	50
6.5 Toxikologisches Gutachten	53
6.6 Auswirkungen der PCB-Restbelastung auf die Bodenfunktion	54
6.7 Zusammenfassung der Gefährdungsabschätzung	58
7. SANIERUNGSVARIANTENVERGLEICH	60
7.1 Randbedingungen	60
7.2 Variantenvergleich	61
8. EMPFEHLUNGEN ZUM WEITEREN VORGEHEN	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse Bodenanalysen Direct Push.....	21
Tabelle 2: Ergebnisse Bodenanalysen Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148.....	24
Tabelle 3: Ergebnisse der Auswertung mit C-SET	32
Tabelle 4: Ergebnisse Grundwasserbeprobung Direct Push.....	36
Tabelle 5: Grundwasserentnahme BMI 2002 - 2012	37
Tabelle 6: Chemisch-physikalische Daten zu ausgewählten PCB /6/	43
Tabelle 7: Übersicht der Restbelastungen mit PCB	46
Tabelle 8: Übersicht der Beurteilungskriterien für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser	48
Tabelle 9: Errechnete Expositionen durch Ausgasung von PCB aus dem Grundwasser (Quelle: /15/, S. 36).....	53
Tabelle 10: Auswirkung der PCB-Bodenbelastung auf die Bodenfunktionen.....	55
Tabelle 11: Bewertungskriterien für die Auswahl der Vorzugsvariante	61
Tabelle 12: Bewertungsmatrix von Sanierungsvarianten	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Offene Wasserfläche nahe Bohransatzpunkt DP 2	13
Abbildung 2: PCB-Restbelastung im Boden bei DP 3	22
Abbildung 3: Lage der Sondierpunkte Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148	23
Abbildung 4: Ganglinien der PCB-Gehalte im quartären Grundwasserleiter.....	26
Abbildung 5: PCB-Gehalte im quartären Grundwasserleiter seit Ende der Bo densanierung	27
Abbildung 6: PCB-Konzentration und -Austrag Pumpversuch	28
Abbildung 7: IPV an Messstelle P12Q: Ergebnisse der Auswertung mit C-Set	28
Abbildung 8: Modellierung der Fassungsgebiete für die Bauwasserhaltung.....	30
Abbildung 9: Bauwasserhaltung: PCB-Konzentrationen in BR4, BR5 und BR7	31
Abbildung 10: Modellierung des Einzugsgebiets von P11Q, P14Q und P15Q	32
Abbildung 11: Abgrenzung der PCB-Fahne mit Werten über dem Stufe-1-Wert durch die Stadt Landshut (/36/). Karte ergänzt durch Markierung der Sanierungsbereiche SB1 und SB2.	33
Abbildung 12: PCB-Gehalte im tertiären Aquifer.	34
Abbildung 13: PCB-Konzentration in den BMI-Betriebsbrunnen	38
Abbildung 14: PCB-Konzentration in den rückgebauten Tertiärmessstellen.....	39
Abbildung 15: Strukturformel eines PCB-Moleküls ($C_{12}H_{10-x}Cl_x$)	44

ANHÄNGE

ANHANG A PLÄNE

Anhang A1:	Lageplan des Standorts
Anhang A2:	Standortplan mit alten und neuen Grundwassermessstellen und Brunnen
Anhang A3:	Ehemalige Sanierungsbereiche
Anhang A4:	Plan mit Lage der Grundwassermessstellen, Grundwassergleichen und Ganglinien der PCB-Konzentrationen
Anhang A5:	GW-Belastungen
Anhang A6:	Plan mit Direct Push Sondierungen Boden und Grundwasser
Anhang A7:	Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148
Anhang A8:	Aufbau des Immissionspumpversuchs an Messstelle P12Q
Anhang A9:	Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs
Anhang A10:	PCB-Restbelastungen im Boden auf dem BMI-Gelände
Anhang A11:	Historischer Plan alter Bachlauf Klötzlmühlbach

ANHANG B SCHICHTENVERZEICHNISSE UND AUSBAUPLÄNE

Anhang B1:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne ehemalige BMI Betriebsbrunnen
Anhang B2:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne ehemalige Tertiärmessstellen P4, P5A, P5B, P5C
Anhang B3:	Schichtenverzeichnis und Ausbauplan ehemalige Tertiärmessstelle P6
Anhang B4:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne aller vorhandenen Messstellen im quartären und tertiären Grundwasserleiter: PQ 9 bis PQ 17, P10T, P11T und P15T
Anhang B5:	Schichtenverzeichnisse und Bodenprofile RKS 1 bis RKS 8 zur Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148
Anhang B6:	Schichtenverzeichnisse und Bodenprofile Direct Push Linersondierungen DP1 bis DP5 und Protokolle Grundwassersondierungen GWS1 bis GWS5

ANHANG C DOKUMENTE

Anhang C1:	Auswertung IPV an P12Q durch Hydrotech Karch
Anhang C2:	Prinzipskizzen des Aushubs und der Wiederverfüllung bis zum aktuellen Ist-Zustand

ANHANG D LABORBERICHTE

Anhang D1:	Laborberichte Bodenerkundung Klötzlmüllerstr. 148
Anhang D2:	Laborberichte Grundwasser Immissionspumpversuch an P12Q
Anhang D3:	Laborberichte Direct Push (Boden)
Anhang D4:	Laborberichte Direct Push (Grundwasser)
Anhang D5:	Laborbericht Boden Bau Messstelle P15T
Anhang D6:	Laborbericht Beprobung Tertiärmessstellen Juli 2021 (Grundwasser)

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

BayBodSchG	Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes
BayBodSchVwV	Verwaltungsvorschrift zum Vollzug des Bodenschutz- und Altlastenrechts in Bayern
BayWG	Bayerisches Wassergesetz
BBodSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG)
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BGBI	Bundesgesetzblatt
BLA	Bodenluftabsaugung
BMI	Bayerische Milch Industrie eG
C-SET	Concentration-Superposition Evaluation Tool
DIN	Deutsches Institut für Normung
dm	Dezimeter
E _{max}	Maximale Schadstoff-Emission bzw. –Fracht
ERH	Electrical-resistance heating
et al.	et alii; und Andere
GIS	Geographisches Informationssystem
GOK	Geländeoberkante
ISTD	In-situ thermal Desorption, In-situ thermische Sanierung mit festen Wärmequellen
l	Liter
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LfU	Landesamt für Umwelt
m ü. NN	Meter über Normalnull
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
n.b.	nicht bestimmbar
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
P&T	Pump and Treat
s	Sekunde
SEE	Steam-enhanced extraction
d	Tag
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert
PCB	Polychlorierte Biphenylverbindungen
RKS	Rammkernsondierung
DP	Direct Push-Bohrung

ZUSAMMENFASSUNG

Auf dem Betriebsgelände der Bayerischen Milchindustrie eG (BMI) in Landshut, Klötzlmüllerstraße 140, wurde bis Juli 2018 eine quellenorientierte Bodensanierung einer PCB-Altlast durchgeführt. Die Verunreinigung geht im Wesentlichen auf einen Brand im Jahr 1960 zurück, nach dem PCB-belastetes Material auf einem Teil der heutigen BMI-Liegenschaft, Flurstück 2329, aufgefüllt wurde.

Nach erfolgter Bodensanierung wurden abschließend weitere Untersuchungen des Bodens und des Grundwassers durchgeführt, die auch eine im Westen an das BMI-Gelände angrenzende Liegenschaft einbezog. Ziel der Untersuchungen war die abschließende Gefährdungsabschätzung für alle relevanten Wirkungspfade und Schlussfolgerung, ob Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig sind.

Die folgenden übergeordneten Ziele wurden im Rahmen der Gefährdungsabschätzung verfolgt:

- Prüfung, ob die durchgeführte PCB-Bodensanierung erfolgreich war,
- Prüfung, ob von im Boden verbliebenen PCB-Restbelastungen noch eine Gefahr ausgeht,
- Prüfung, ob von im Grundwasser vorhandenen PCB-Restkonzentrationen noch eine Gefahr ausgeht,
- Prüfung, ob weitere Maßnahmen in Bezug auf einer Verbesserung der gegenwärtigen Situation notwendig, angemessen und verhältnismäßig sind,
- Prüfung, welche Maßnahmen in Bezug auf einer Verbesserung der gegenwärtigen Situation geeignet sind (Variantenvergleich),
- abschließende Bewertung und Empfehlungen für das weitere Vorgehen.

Bei der Bodensanierung durch Aushub wurden 1.105 kg an PCB entfernt. Die verbliebene Restbelastung lässt sich mit rund 4 kg abschätzen. Daraus ergibt sich eine rechnerische Effizienz der Bodensanierung von rund 99,6 %. Die Untersuchungen bestätigen insgesamt, dass die Sanierungsziele des genehmigten Sanierungsplanes für den Boden vom 23.11.2012 in hinreichenden Maß erfüllt sind. Die Bodensanierung wird damit als erfolgreich abgeschlossen bewertet.

Auf dem Nachbargrundstück Klötzlmüllerstraße 148 liegt nur ganz lokal eine geringe Restbelastung mit PCB-Konzentrationen von maximal 5,9 mg/kg vor. Die Restmasse wird insgesamt auf 66 g geschätzt. Im Eluat einer Probe aus dem Grundwasserschwankungsbereich wurde zwar mit 1,15 µg/l eine PCB-Konzentration über dem Prüfwert von 0,05 µg/l gemessen. Die Sickerwasserprognose ergab jedoch für eine 1 m mächtige Einmischzone nur eine PCB-Konzentration von 0,00061 µg/l. Dieser Wert liegt unter dem Geringfügigkeitsschwellenwert für PCB von 0,01 µg/l. Es lässt sich schlussfolgern, dass von der Restbelastung auf dem Grundstück Klötzlmüllerstraße 148 weder eine Gefahr über den Wirkungspfad Boden - Grundwasser ausgeht, noch für die Wirkungspfade Boden - Mensch und Boden - Pflanze. Es wird empfohlen, im Falle von Tiefbaumaßnahmen auf dem Grundstück die Restbelastung mit zu entfernen.

Auf dem BMI-Gelände überschreiten im quartären und im tertiären Grundwasserleiter die PCB-Konzentrationen den Stufe-1-Wert und teilweise den Stufe-2-Wert (0,5 µg/l). Das heißt, es liegt eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vor. Insgesamt zeigt sich aber ein abnehmender Trend der Grundwasserkonzentrationen.

Die PCB-Fahne mit Konzentrationen über dem Stufe-1-Wert (0,05 µg/l) erstreckt sich im quartären Grundwasserleiter ausgehend von der Quelle mit einer Breite von rund 65 m bis etwa 350 m in den Abstrom des BMI-Geländes. Belastbare Daten über die Länge der Schadstofffahne im tertiären Grundwasserleiter sind nicht vorhanden. Jedoch ist im Vergleich zum quartären Grundwasserleiter die Durchlässigkeit um den Faktor 60 niedriger und die Fracht um den Faktor 10 geringer. Es ist daher naheliegend, dass die Fahnenlänge im tertiären Grundwasserleiter erheblich kürzer sein muss als die Fahne im Quartär.

Trotz der PCB-Konzentrationen über dem Stufe-1- bzw. Stufe-2-Wert auf dem BMI-Gelände ist die abströmende PCB-Fracht mit insgesamt rund 0,09 g/d als „gering“ einzustufen.

Bei der Gefährdungsabschätzung wurden die folgenden Wirkungspfade berücksichtigt:

- Wirkungspfad Boden – Mensch,
- Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze,
- Wirkungspfad Boden – Grundwasser,
- Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Mensch,
- Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer,
- Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft / Gebäude – Mensch.

Für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden - Nutzpflanze ergeben sich keine Gefährdungen. Wie aus den Grundwasserkonzentrationen hervorgeht, liegt gemäß Merkblatt 3.8/1 über den Wirkungspfad Boden-Grundwasser eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vor. Von den nachgeordneten Wirkungspfaden ergibt sich lediglich für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Mensch eine potentielle Gefährdung („...tolerable Dosis überschritten...“), falls Grundwasser mit Konzentrationen über 0,1 µg/l als Trinkwasser genutzt würde. Dies ist nicht der Fall. Da nicht ausgeschlossen werden konnte, dass über Privatbrunnen eine PCB-Exposition erfolgt, hat die Stadt Landshut 2021 aus Vorsorgegründen die Nutzung des Grundwassers aus Privatbrunnen im Abstrom des BMI-Geländes mit Grundwasserkonzentrationen oberhalb von 0,1 µg/l PCB verboten.

Da auf dem BMI-Gelände nach wie vor der Stufe-2-Wert in einzelnen Messstellen überschritten wird, ist gemäß Merkblatt 3.8/1 zu prüfen, inwieweit Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig, geeignet und verhältnismäßig sind. Es wurde daher ein Vergleich möglicher Sanierungsmaßnahmen durchgeführt.

Die folgenden Maßnahmen wurden geprüft:

- Hydraulische Sicherung durch Grundwasserentnahme und -reinigung („Pump & Treat“),
- Passive Grundwassersanierung mittels Sorptionswand oder reaktiver Wand,
- Bodenaustausch durch Aushub und Entsorgung,
- Langzeitüberwachung der natürlichen Schadstoffminderung in Verbindung mit einer Nutzungsbeschränkung,
- In-Situ Thermische Sanierung.

Aus der Gesamtschau ergibt sich die Empfehlung für eine Langzeitüberwachung der natürlichen Schadstoffminderung in Verbindung mit einer Nutzungsbeschränkung. Die Ergebnisse der Überwachung sind regelmäßig einer Neubewertung zu unterwerfen. Die Nutzungsbeschränkung ist eine Schutz- und Beschränkungsmaßnahme im Sinne § 2 Abs. 8 BBodSchG, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindert. Die Kombination aus Langzeitüberwachung in Verbindung mit einer Nutzungsbeschränkung ist die mildeste und nachhaltigste der geprüften notwendigen und geeigneten Maßnahmen.

Die bereits für die Abstromfahne verfügte Nutzungsbeschränkung müsste auch auf das BMI-Gelände ausgeweitet werden. Sie ist solange aufrechtzuerhalten, bis die PCB-Restbelastung dauerhaft unter den Wert von 0,1 µg/l sinkt.

Die Nutzung des Grundwassers als Brauchwasser durch die Industrie, durch Gewerbe sowie für Grundwasserwärmepumpen ist nicht zwingend eingeschränkt, sie ist im Einzelfall zu prüfen und zu bewerten. Baumaßnahmen auf dem BMI-Gelände und der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 sind möglich. Im Falle einer Wasserhaltung muss das geförderte Wasser voraussichtlich vor der Ableitung gereinigt werden.

Es wird empfohlen, ausgewählte Grundwassermessstellen und Brunnen im Abstrom der Liegenschaft sowie alle Messstellen auf der Liegenschaft im Rahmen eines Grundwasserüberwachungsprogramms zu überwachen. Alle 5 Jahre sollte basierend auf der Entwicklung der PCB-Konzentrationen eine Neubewertung der Situation erfolgen. Dabei ist auch zu entscheiden, ob und wie lange die Nutzungseinschränkung aufrechterhalten werden muss.

Im nächsten Schritt sollte das Konzept der Grundwasserüberwachung mit genauer Definition der Messstellen, der Probenahmetechnik und der Beprobungshäufigkeit entwickelt und abgestimmt werden.

1. EINFÜHRUNG

1.1 Hintergrund und Veranlassung

Auf dem Betriebsgelände der Bayerischen Milchindustrie eG (BMI) in Landshut, Klötzlmüllerstraße 140, wurde von April 2013 bis Juli 2018 in mehreren Etappen eine quellenorientierte Bodensanierung einer PCB-Altlast durchgeführt. Die Verunreinigung geht auf PCB-belastetes Material zurück, das nach einem Brand im Jahr 1960 auf einem Teil der heutigen BMI-Liegenschaft, Flurstück 2329, aufgefüllt wurde. Basierend auf Boden- und Grundwasseruntersuchungen im Zeitraum 1999 bis 2012 wurde der Sanierungsplan vom 23.11.2012 (/1/) der Unteren Bodenschutzbehörde bei der Stadt Landshut (Stadt Landshut) eingereicht und mit Bescheid vom 13.12.2012 genehmigt (/40/). Die im Einzelnen durchgeführten Sanierungsmaßnahmen sind ausführlich in den von ERM erstellten Dokumentationen vom 19.10.2018 (/20/), vom 09.07.2019 (/17/) und vom 18.11.2019 /18/ beschrieben, die den Behörden vorliegen. Im Bericht /18/ ist auch der zusätzliche Aushub von BMI im Oktober 2019 mit dokumentiert.

Mit Schreiben vom 22.04.2020 (/39/) wurde seitens der Stadt Landshut zum Bericht (/18/) vom 18.11.2019 Stellung bezogen. Bis zum Frühjahr 2021 fand ein weiterer Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten statt (/19/, /23/, /10/, /11/ /37/). Demnach ist eine abschließende Gefährdungsabschätzung für die nach der Bodensanierung noch verbleibenden Restbelastungen im Boden und Grundwasser durchzuführen, sowie zu bewerten, ob weitere Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen im Sinne §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG erforderlich sind.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse der abgestimmten Untersuchungen, die darauf aufbauende abschließende Gefährdungsabschätzung und Bewertung von Sanierungsmaßnahmen sowie die abgeleiteten Empfehlungen betreffend

- Restbelastung auf dem westlich benachbarten Grundstück Klötzlmüllerstraße 148,
- Ausbreitungsverhalten der verbliebenen PCB-Belastung im quartären und tertiären Grundwasserleiter,
- Mögliche Auswirkungen früherer Grundwasserentnahmen als Bauwasserhaltung oder Abstromsicherung.

Es wurden weitere Fragen zur Sanierung aufgeworfen sowie folgende Maßnahmen mit Bezug zur PCB-Restbelastung in Grundwasser und Boden gefordert:

- Bodenuntersuchungen auf dem westlich benachbarten Grundstück Klötzlmüllerstraße 148,
- Weitere Untersuchung des Grundwassers auf der Liegenschaft im quartären und tertiären Aquifer mit umfassender Gefährdungsbeurteilung,
- Überprüfung der Notwendigkeit und der Wirksamkeit von Maßnahmen der Sanierung des Bodens und des Grundwassers oder der Sicherung,
- Durchführung eines Immissionspumpversuchs (quartärer Aquifer),
- Errichtung einer weiteren Tertiärmessstelle,
- Weitere Untersuchung des Ausbreitungsverhaltens von PCB im Grundwasser basierend auf Daten
 - einer früheren Bauwasserhaltung (auf dem Grundstück nördlich des BMI-Geländes),
 - der Grundwasserentnahme über mehrere Monate im Zeitraum Mai 2019 bis November 2020 aus den Messstellen P11Q, P14Q und P15Q, sowie
 - des durchzuführenden Immissionspumpversuchs an Grundwassermessstelle P12Q.

Mit Schreiben vom 19.05.2020 (/19/) bezog ERM Stellung zu den o.g. Forderungen. Mit einem weiteren Schreiben vom 25.05.2020 (/23/) wurden Fragen des Wasserwirtschaftsamts sowie des Baureferats der Stadt Landshut (im Anhang zu /39/ enthalten) beantwortet.

Am 08.03.2021 fand ein Gespräch mit der Stadt Landshut, Vishay, BMI und ERM statt (/10/). In diesem Gespräch wurde seitens ERM der gegenwärtige Status des Projektes erläutert. Anschließend diskutierten die Teilnehmer, welche Maßnahmen bezüglich der verbleibenden PCB-Belastung noch umzusetzen wären. Es wurde vereinbart, zeitnah im Rahmen eines technischen Gesprächs einvernehmlich die Details weiterer abschließender Untersuchungen festzulegen.

Das technische Gespräch fand am 25.03.2021 statt (/11/). Teilnehmer waren das Amt für Umwelt-, Klima- und Naturschutz, das WWA, ERM, PGA, BMI und Vishay. Es wurde einvernehmlich die Durchführung der folgenden Maßnahmen festgelegt:

- Durchführung von 5 Linersondierungen bis auf 9 m unter aktuellem Gelände (12 m unter Ursprungsgelände) mit Bodenprobenahme zur Überprüfung des Sanierungserfolges der Bodensanierung,
- Durchführung von 5 Direct-Push-Sondierungen bis auf 15 m unter aktuellem Gelände (18 m unter Ursprungsgelände) mit Grundwasserprobenahme jeweils in 3 Tiefen aus dem tertiären Aquifer zur Untersuchung des Grundwassers in Tertiär,
- Errichtung einer Grundwassermessstelle im Tertiär nahe der quartären Messstelle P15Q,
- Durchführung von 8 Bodensondierungen auf dem westlich angrenzenden Grundstück Klötzlmüllerstraße 148 zur Bewertung von möglichen Restbelastungen im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Grundwasser,
- Durchführung eines Immissionspumpversuchs an Messstelle P12Q,
- Auswertung der Daten des langfristigen Bepumpens der Messstellen P11Q, P14Q und P15Q (Daten wurden von der Stadt Landshut zur Verfügung gestellt),
- Auswertung der Daten einer Bauwasserhaltung auf der nördlichen Seite des Klötzlmühlbachs (Daten wurden von der Stadt Landshut zur Verfügung gestellt).

Zudem wurde über die weitere Überwachung ausgewählter Messstellen außerhalb des BMI-Geländes diskutiert und Einvernehmen erzielt. Eventuell kann die Stadt Landshut wie in der Vergangenheit die festgelegten Messstellen im Rahmen einer jährlichen Untersuchungskampagne beproben.

Die Stadt Landshut hat mit Schreiben vom 08.04.2021 (/37/) ihr Einverständnis zum o.g. Vorgehen auf dem BMI-Gelände und dem westlich angrenzenden Nachbargrundstück Klötzlmüllerstraße 148 gegeben.

Die vertiefenden Boden- und Grundwasseruntersuchungen wurden nachfolgend im Zeitraum April bis Juli 2021 durchgeführt.

1.2 Gliederung des Berichts

Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

- | | |
|-----------|--|
| Kapitel 1 | gibt Informationen zum <i>Hintergrund</i> , zur <i>Zielsetzung des Berichtes</i> , zur Art der abschließenden Untersuchungen, zum Aufbau des Berichtes, zu den <i>zitierten Unterlagen</i> und zum <i>Haftungsausschluss</i> . |
| Kapitel 2 | beschreibt die <i>Ausgangslage</i> . |
| Kapitel 3 | beschreibt das <i>Untersuchungskonzept</i> der abschließenden Boden- und Grundwasseruntersuchungen und Gefährdungsabschätzung. |
| Kapitel 4 | stellt die <i>Ergebnisse</i> der Boden- und Grundwasseruntersuchungen vor. |

- Kapitel 5 enthält eine *Bewertung des Erfolges der Bodensanierung*.
- Kapitel 6 enthält die wirkungspfad-bezogene *Gefährdungsabschätzung* für den Ist-Zustand nach der Sanierung.
- Kapitel 7 enthält einen *Sanierungsvariantenvergleich*.
- Kapitel 8 gibt *Empfehlungen zum weiteren Vorgehen*.

1.3 Zitierte Unterlagen

- /1/ Amtsblatt der Stadt Landshut, 16.03.2020: Allgemeinverfügung zur Untersagung der Benutzung des Grundwassers im Gebiet nordöstlich des früheren Standorts der Bayerischen Milchindustrie eG in der Stadt Landshut.
- /2/ Bayerischer Landtag, 27.11.2020: Drucksache 18/10486: Antwort des Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz auf eine schriftliche Anfrage der Abgeordneten Rosi Steinberger BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN vom 14.07.2020 bezüglich der Grundwasserneubildung in Niederbayern.
- /3/ Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008: Hydrogeologische Karte von Bayern 1:50.000, Blatt L 7538 Landshut.
- /4/ Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2017: Leitfaden zur Bewertung natürlicher Bodenfunktionen – Kurzfassung.
- /5/ Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2021: Mittlere Grundwasserneubildung in den Bezirken der bayerischen Wasserwirtschaftsämter.
- /6/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 31.10.2001: Merkblatt Nr. 3.8/1: Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer.
- /7/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 15.2.2010, Stand: 15.11.2017: Merkblatt Nr. 3.8/4: Probenahme von Boden und Bodenluft bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Gewässer.
- /8/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 17.5.2002, Stand: 21.4.2017: Merkblatt Nr. 3.8/5: Untersuchung von Bodenproben und Eluaten bei Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen für die Wirkungspfade Boden - Mensch und Boden - Gewässer.
- /9/ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 17.5.2002, Stand: 17.2.2010: Merkblatt Nr. 3.8/6: Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen.
- /10/ BMI, 08.03.2021: Gesprächsnotiz Stadt Landshut / Sanierung PCB-Schaden.
- /11/ BMI, 25.03.2021: Gesprächsnotiz Stadt Landshut / Sanierung PCB-Schaden.
- /12/ Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, 17.03.1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).
- /13/ Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, 17.07.1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).
- /14/ Dai, S. et al., 2002. Identification and analysis of a bottleneck in PCB biodegradation. Nature Structural Biology. Vol. 9, n. 12.
- /15/ Dr. Gerd Rippen, Dezember 2019: Klötzlmüllerstraße 140 – Humantoxikologische Beurteilung der Restbelastungen mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) im Hinblick auf die relevanten Wirkungspfade.

- /16/ ERM, 03.05.2007: Kurzbericht zur Beprobung der Liegenschaft BEER, Klötzlmüllerstr. 148 in Landshut.
- /17/ ERM, 09.07.2019: Stellungnahme zum Schreiben der Stadt Landshut vom 17.05.2019
- /18/ ERM, 18.11.2019: BMI-Standort Klötzlmüllerstr. 140, Landshut – PCB-Bodensanierung: Sanierungserfolg und Zustand des Bodens und des Grundwassers nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme.
- /19/ ERM, 19.05.2020: Stellungnahme zum Schreiben der Stadt Landshut vom 22.04.2020.
- /20/ ERM, 19.10.2018: BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140: Dokumentation der PCB-Bodensanierung.
- /21/ ERM, 21.08.2009: Sanierungsuntersuchung zur quellenorientierten Sanierung.
- /22/ ERM, 23.11.2012: BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140: PCB-Bodensanierung – Sanierungsplan.
- /23/ ERM, 25.05.2020: Stellungnahme zum Schreiben des Baureferats und des WWA der Stadt Landshut (Anhang von /7/).
- /24/ Hutzinger, I. G. G et al., 1985: Formation of Polychlorinated Dibenzofurans and Dioxins during Combustion, Electrical Equipment Fires and PCB incineration. Environmental Health Perspectives. V. 60, p. 3-9.
- /25/ Jing R., S. Fusi, and B. V. Kjellerup, 2018: Remediation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Contaminated Soils and Sediment: State of Knowledge and Perspectives. Frontiers in Environmental Science. V. 6, n. 79.
- /26/ Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, September 2008: Untersuchungsstrategie Grundwasser – Leitfaden zur Untersuchung bei belasteten Standorten.
- /27/ Landesanstalt für Umweltweltschutz Baden-Württemberg, 1995: Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB) – Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung 16/95.
- /28/ Matturro, B. et al., 2015: Polychlorinated biphenyl (PCB) anaerobic degradation in marine sediments: microcosm study and role of autochthonous microbial communities. Environmental Science and Pollution Research.
- /29/ Pathiraja, P. M. G., 2018: Bioremediation of Commercial Polychlorinated Biphenyl Mixture Arochlor 1260 by Naturally Occurring Microorganisms. PhD Dissertation, Queensland University of Technology.
- /30/ Robinson G. K. and M. J. Lenn. 2013. The Bioremediation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Problems and Perspectives. Biotechnology and Genetic Engineering Reviews.
- /31/ Stadt Landshut, 09.06.2021: E-Mail mit Vorschlägen zum Ausbau der geplanten Tertiär-messstelle.
- /32/ Stadt Landshut, 11.03.2021: E-Mail mit Daten zur Bauwasserhaltung und Tabellen.
- /33/ Stadt Landshut, 15.04.2021: E-Mail mit Daten zu PCB-Messungen.
- /34/ Stadt Landshut, 24.06.2021: E-Mail mit Forderung nach Berücksichtigung früherer Untersuchungsergebnisse.
- /35/ Stadt Landshut, 26.10.2020: Satzung für die öffentliche Entwässerungseinrichtung der Stadt Landshut.
- /36/ Stadt Landshut, 27.02.2020: Ehemaliges BMI-Gelände, Klötzlmüllerstr. 140 in 84043 Landshut – Erkundung von PCB-Belastungen im abströmigen quartären Grundwasserleiter.

- /37/ Stadt Landshut, Amt für öffentliche Ordnung und Umwelt, 08.04.2021: Einverständnis zum vorgelegten Untersuchungskonzept.
- /38/ Stadt Landshut, Amt für öffentliche Ordnung und Umwelt, 17.05.2019: Stellungnahme zur Dokumentation der PCB-Bodensanierung.
- /39/ Stadt Landshut, Amt für öffentliche Ordnung und Umwelt, 22.04.2020: Anhörung gemäß Art. 28 Abs. 1 BayVwVfG.
- /40/ Stadt Landshut, Fachbereich Umweltschutz, 13.12.2012: Bescheid zum Sanierungsplan vom 13.12.2012.
- /41/ WHO, 2003: Polychlorinated Biphenyls: Human Health Aspects (<https://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad55.pdf?ua=1>)
- /42/ WWA Landshut, 09.12.2019: Bodensanierung BMI-Gelände, Landshut: Dokumentation Ist-Zustand Bodensanierung; Aktenzeichen 1.2-8182-LA St-18747/2019.
- /43/ WWA Landshut, 25.03.2021: E-Mail mit Plan vorgeschlagener Bohrpunkte.

1.4 Haftungsausschluss

Dieser Bericht ist das Ergebnis von unter Anwendung wissenschaftlicher Prinzipien und sachverständiger Beurteilung gewonnenen subjektiven Einschätzungen.

Die in diesem Bericht zum Ausdruck gebrachten sachverständigen Beurteilungen basieren auf den gegenwärtig vorhandenen Tatsachen im Rahmen der vorhandenen Informationen und des Leistungsumfangs. Der Bericht basiert auf dem Zustand und der Verfassung des betreffenden Standorts zum Zeitpunkt der Untersuchungen.

Dieser Bericht einschließlich aller Anhänge, Anlagen und sonstigen in Bezug genommenen Dokumente wurde einzig und allein zur Nutzung durch den Kunden, dessen Berater und Vertreter sowie die konkret bezeichneten und bestätigten Empfänger des Berichts zum Zwecke des Projekts, insbesondere die zuständigen Ämter und Behörden, erstellt. Der Bericht ist vom Kunden vertraulich zu behandeln und darf vom Kunden nicht ohne Rücksprache weitergegeben werden. Andere Parteien dürfen auf den Bericht nur auf der Grundlage eines mit ERM abgeschlossenen schriftlichen „Reliance Letter“ zu denselben Vertragsbedingungen wie mit dem Kunden vertrauen. Soweit die Weitergabe ohne einen solchen „Reliance Letter“ erfolgt, haftet ERM gegenüber den anderen Parteien nicht. Einer allgemein zugänglichen Verbreitung des Berichts zur Information der Öffentlichkeit unter Hinweise auf den vorstehenden Haftungsausschluss steht diese Regelung nicht entgegen.

Der Bericht ist auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Berichtserstellung geltenden Rechtslage erstellt. Sofern nicht vom Kunden aufgefordert, ist ERM nicht verpflichtet, nach diesem Zeitpunkt eintretende Änderungen der einschlägigen Gesetze zu berücksichtigen oder auf sie hinzuweisen.

2. AUSGANGSLAGE

2.1 Lage

Der Standort der BMI befindet sich am südöstlichen Stadtrand von Landshut in Niederbayern in der Klötzlmüllerstraße 140. Das Umfeld ist durch Wohnbebauung, Kleingärten sowie landwirtschaftliche Nutzung geprägt. Die ursprüngliche Geländehöhe liegt bei etwa 392,7 m ü. NN. Wegen der durchgeführten Bodensanierung liegt das sanierte Gelände heute bei etwa 389,7 m ü. NN und somit im Bereich der Grundwasseroberfläche.

Die Isar verläuft etwa 750 m südlich des Geländes. An der nördlichen Geländegrenze verläuft der Klötzlmühlbach. Er wurde von seiner ursprünglichen Position quer durch das BMI-Gelände (s. Anhang A11) nach Norden verlegt. Das alte Bachbett wurde verfüllt. Der Klötzlmühlbach verläuft heute in einem künstlichen Bachbett.

Das nächste Oberflächengewässer in Grundwasserströmungsrichtung ist die Pfettrach-Flutmulde in einer Entfernung von 1,5 km.

2.2 Geologie / Hydrogeologie

Regionalgeologisch befindet sich der BMI-Standort im Bereich einer mehrere Meter mächtigen, pleistozänen Isarterrasse, die über mehrere 100 Meter mächtigen oligozänen bis miozänen Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) abgelagert wurden.

Der Standort war aufgrund der ursprünglich geringen Flurabstände vor der Bebauung aufgefüllt worden. In der bis zu 4 m mächtigen sandig-kiesigen Aufschüttung waren bereichsweise Ziegelschutt, Holzreste und Bitumenresten eingeschaltet. Unter der Auffüllung folgten bis etwa 9 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau quartäre, sandige, z.T. schluffige Mittel- und Grobkiese der Isar-Terrassenschotter. Darunter folgen die tertiären Sande, Kiese und Schotter der Oberen Süßwassermolasse. Sie wurden in der Messstelle P15T bis in eine Tiefe von 40 m erbohrt.

Vor der Sanierung lag der Flurabstand zum Grundwasser bei etwa 3 Metern u GOK. Seit dem Aus-hub steht saisonal das Grundwasser bis über das Gelände an. Der Grundwasserspiegel in den flachen Messstellen, die im quartären Grundwasserleiter ausgebaut sind und die tiefen Messstellen im tertiären Grundwasserleiter unterscheiden sich nicht, da es keine hydraulische Stockwerkstrennung gibt.

Stichtagsmessungen an den vorhandenen Grundwassermessstellen zeigen für das Grundwasser im Quartär eine Grundwasserströmungsrichtung in Richtung Nordosten. Das Grundwasser unterströmt den Klötzlmühlbach, der 1953 nördlich des Standorts in ein künstlich geschaffenes Flussbett verlegt (kanalisiert) wurde. Die Flussbettsohle liegt etwa 2 m oberhalb des Grundwasserspiegels. Der Bach steht somit nicht mit dem vom Standort abströmenden Grundwasser in Kontakt. Die Grundwasserströmungsrichtung ist Richtung Nordost gerichtet, was sich sehr gut mit dem durch die Stadt Landshut ermittelten Verlauf einer PCB-Schadstofffahne in Richtung Nordosten deckt (/35/).

Gemäß der hydrogeologischen Karte von Bayern 1:50.000, Blatt L 7538 Landshut (/3/) ist die Grundwasserfließrichtung im Tertiär nach Ostnordost gerichtet.

Der Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) von $5,9 \cdot 10^{-3}$ m/s für die quartären, sandigen Kiese ist nach DIN 18130-1 qualitativ als stark durchlässig zu klassifizieren (siehe auch Kapitel 4.2.1). Für die tertiären Sedimente wurde mittels einer Pumpversuchs im März 2009 der Durchlässigkeitsbeiwert mit $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s ermittelt. Er ist somit etwa um den Faktor 60 kleiner als der k_f -Wert der quartären Sedimente. Gemäß DIN 18130-1 ist die Durchlässigkeit mit „durchlässig“ zu qualifizieren.

Zwischen den quartären und den tertiären Sedimenten gibt es keine Stockwerkstrennung. Dennoch wird innerhalb der quartären Sedimente bis in eine Tiefe von ca. 9 Meter unter

Ursprungsgelände der „quartäre Grundwasserleiter“ von dem darunter folgenden „tertiären Grundwasserleiter“ unterschieden. Ein lokaler Stauhorizont aus sehr schlecht durchlässigen Tonen findet sich erst in einer Tiefe von ca. 40 m unter Ursprungsgelände.

2.3 Sanierungsziele

Die Sanierungsziele sind im Sanierungsplan vom 23.11.2012 (/1/, S. 23 – 25) beschrieben, der mit Bescheid vom 13.12.2012 /40/) von der Unteren Bodenschutzbehörde genehmigt wurde. Diese sind auch in der Sanierungsdokumentation vom 19.10.2018 (/20/, S. 18 – 20) und in dem Schreiben der Unteren Bodenschutzbehörde vom 17.05.2019 (/38/) wiederholt.

Die Sanierungsziele sind wie folgt:

- | | |
|---|--------------|
| ■ Boden, ungesättigte Bodenzone 0,0 m – 0,6 m unter zukünftiger GOK | <= 0,4 mg/kg |
| ■ Boden, ungesättigte Bodenzone bis 389,7 m ü. NN | <= 0,5 mg/kg |
| ■ Boden, gesättigte Bodenzone unter 389,7 m ü. NN | <= 10 mg/kg |
| ■ Grundwasser (Stufe-1-Wert) | 0,05 µg/l |
| ■ Alternativer Sanierungszielwert Grundwasser (Stufe-2-Wert) | 0,5 µg/l |

Der alternative Sanierungszielwert findet Anwendung, wenn der Stufe-1-Wert (0,05 µg/l) nicht erreicht werden kann, aber der Stufe-2-Wert (0,5 µg/l) dauerhaft unterschritten wird.

Das Höhenniveau von 389,7 m ü. NN wurde als sog. Referenzniveau festgelegt. Oberhalb und unterhalb dieses Referenzniveaus gelten die o.g. unterschiedlichen Sanierungsziele für den PCB-Gehalt im Boden.

2.4 Sanierungshistorie und Ist-Zustand

Die PCB-Bodensanierung durch Bodenaustausch wurde mit Unterbrechungen zwischen Frühjahr 2013 und Sommer 2019 durchgeführt. Die umfangreichsten Arbeiten in Bereichen mit den höchsten PCB-Belastungen fanden zwischen April und Oktober 2013 statt. Der Bodenaustausch erfolgte hier mit hexagonalen Senkkästen (sog. „Waben“), als konventioneller Aushub, sowie im Nachgang auch mittels überschnittener Großbohrungen.

Von Januar bis Juni 2018 wurde das gesamte Areal - mit Ausnahme des Parkplatzes und des Bürogebäudes – unter der Regie der BMI auf ein Niveau von 389,7 m ü. NN abgetragen. Im nord-westlichen Bereich des Geländes fand der Aushub sogar bis auf eine Höhe von 388,5 m ü. NN und in einigen Teilbereichen im zentralen Teil des Grundstücks bis auf eine Höhe von 389,2 m ü. NN, also 0,5-1,2 m unter das Referenzniveau von 389,7 m ü. NN, statt. Da in diesen tieferen Bereichen an der Aushubsohle bereits Grundwasser angeschnitten wurde, wurde das Gelände im Anschluss an die Aushubarbeiten flächendeckend mit unbelastetem Material bis auf das Referenzniveau von ca. 389,7 m ü. NN rückverfüllt und planiert. Die ausgehobenen Bodenmassen waren bis maximal Zuordnungsklasse Z1.2 nach LAGA mit PCB belastet.

Eine ausführliche Beschreibung der Aushubarbeiten und eine Darstellung der nach diesen Maßnahmen noch verbliebenen Restbelastungen im Boden ist in der ERM-Sanierungsdokumentation vom 19.10.2018 enthalten (/20/).

Durch die BMI wurden zuletzt noch bis Oktober 2019 alle in (/20/) benannten verbliebenen PCB-Restbelastungen vollständig ausgekoffert, mit Ausnahme eines kleinen Bereiches unterhalb des ehemaligen Zaunfundaments unmittelbar an der Grenze zum westlichen Nachbargrundstück Klötzlmüllerstraße 148. Hier befinden sich auf einem schmalen Streifen noch PCB-Restbelastungen im Boden. Bei dieser Zone handelt es sich augenscheinlich um einen schmalen Kontaktbereich, in dem der gewachsene Boden des Nachbargrundstücks mit dem ehemals vorhandenen, belasteten Auffüllungsmaterial auf dem BMI-Gelände in Kontakt stand. Ein Ausräumen dieser

Restbelastung war unter den seinerzeit vorhandenen Gegebenheiten nicht möglich, ohne eine Schädigung des Nachbarhauses durch Bodensetzungen zu riskieren.

Alle Aushubmaßnahmen einschließlich der zuletzt von BMI durchgeführten Auskofferungsmaßnahmen sind im ERM-Bericht vom 18.11.2019 (/18/) ausführlich dokumentiert. In Anhang A7 wird anhand von schematischen Schnitten der Aushub und die Wiederverfüllung bis zum aktuellen Ist-Zustand skizziert. Ein Übersichtsplan der hier beschriebenen Ausgangssituation ist im vorliegenden Bericht als Anhang A10 beigelegt.

Zur PCB-Belastungssituation im Grundwasser am Standort und im Abstrom liegt eine umfassende humantoxikologische Beurteilung vor (/15/). Laut des Autors Dr. Rippen ergibt die humantoxikologische Bewertung, dass die aus verschiedenen Nutzungen des Grundwassers resultierende PCB-Aufnahme in der Regel unter der durchschnittlichen Hintergrundbelastung liegt. Lediglich die Nutzung von PCB-haltigem Grundwasser in Kinderplanschbecken oder zur Tränke von Hühnern kann durch den Verzehr der dadurch belasteten Eier bis zu 10 % der tolerierbaren Körperbelastung beitragen. Basierend auf den Ergebnissen dieser Expositionsabschätzung empfiehlt Rippen, aus Vorsorgegründen auf Grundstücken im Bereich der PCB-Grundwasserbelastung eine sparsame Nutzung des Grundwassers zur Bewässerung oder als Badewasser oder einen Verzicht, solange PCB-Konzentrationen deutlich über 0,1 µg/l vorliegen.

Die geplante Bebauung des BMI-Geländes ist hinsichtlich der PCB-Belastung im Grundwasser uneingeschränkt möglich, wenn auf eine derzeitige Nutzung des Grundwassers weitgehend verzichtet wird.

3. UNTERSUCHUNGSKONZEPT - METHODIK

3.1 Ziele der Untersuchungen

Die folgenden übergeordneten Ziele wurden im Rahmen der durchgeführten abschließenden Untersuchungen verfolgt:

- Bewertung, ob die durchgeführte PCB-Bodensanierung erfolgreich war,
- Wirkungspfad-bezogene Bewertung, ob von den im Boden verbliebenen PCB-Restbelastungen noch ein Gefahren ausgehen,
- Bewertung, ob von den im Grundwasser gelösten PCB Gefahren für nachgeordnete Schutzgüter ausgehen,
- Bewertung, ob weitere Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG in Bezug auf eine Verbesserung der gegenwärtigen Situation notwendig, geeignet und verhältnismäßig sind.

Grundlage für die abschließende Bewertung sind Untersuchungen zu der verbleibenden PCB-Belastung im Boden und im Grundwasser, Recherchen zum Abbauverhalten der PCB und die bereits vorliegende toxikologische Bewertung. Das Konzept der Untersuchungen wird in den nachfolgenden Kapiteln 3.2 bis 3.7 vorgestellt.

Konkret waren noch folgende Fragestellungen zu beantworten und Informationen einzubeziehen, um die abschließende Bewertung durchzuführen:

- Ermittlung der Restbelastung von PCB im Boden im Sanierungsperimeter, d.h. im Bereich der aktuellen Baugrube, und zwar in den quartären und auch in den tieferen tertiären Sedimenten,
- Ermittlung der Restbelastung von PCB im Boden auf dem unmittelbar an den Sanierungsperimeter anschließenden Grundstück Klötzlmüllerstraße 148,
- Untersuchung zu der Belastung an PCB im Grundwasser im quartären und im tertiären Grundwasserleiter auf dem Standort und im Abstrom,
- Bewertung des Abbauverhaltens für PCB anhand einer Literaturrecherche,
- Einbeziehung der bereits vorliegenden toxikologischen Bewertung der Restbelastung in Boden und Grundwasser.

3.2 Untersuchungen zur Restbelastung im Boden

3.2.1 Restbelastung im Boden in der Baugrube unterhalb der Aushubsohle (Direct Push)

Zur Ermittlung der verbliebenen Restbelastung im Aushubbereich wurden in Abstimmung mit der Stadt Landshut /43/ insgesamt 5 Direct-Push-Bohrungen (DP1 bis DP5) zur Gewinnung von Bodenproben durchgeführt. Die Bodenproben wurden mithilfe von Linern gewonnen, um einer möglichen Verschleppung von Schadstoffen zu begegnen. Die Arbeiten fanden zwischen dem 17. und dem 20.05.2021 statt und wurden fachgutachterlich durch ERM begleitet.



**Abbildung 1: Offene Wasserfläche
nahe Bohransatzpunkt DP 2**

Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen vor den Feldarbeiten war der Grundwasserspiegel bis über das Gelände angestiegen und es hatten sich offene Wasserflächen im Erkundungsgebiet gebildet. Daher mussten zwei der 5 Bohrungen gegenüber den von der Stadt Landshut vorgeschlagenen Ansatzpunkten um wenige Meter verschoben werden (s. Plan in Anhang A6 sowie Abbildung 1).

Die Bohrungen erreichten Endteufen zwischen 9 m und 12 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau, bzw. zwischen 6 m und 9 m unter dem aktuellen Geländeniveau. Vier der 5 Bohrungen reichten zwischen 1 m und 3 m bis in die tertiären Sedimente, so dass auch Bodenproben aus dem Tertiär gewonnen werden konnten.

Bodenproben wurden schichtenweise, mindestens aber meterweise gewonnen und in luftdicht verschließbare Glasgefäße abgefüllt. Sie wurden bis zur Überführung in das Labor gekühlt und lichtgeschützt aufbewahrt. Nach Entnahme der Kerne wurden die Bohrkanäle mit Tonpellets verfüllt.

Insgesamt wurden 41 Bodenproben entnommen. Pro Bohrung wurden zunächst zwischen 3 und 4

Bodenproben, insgesamt 18 Proben, auf PCB im Feststoff analysiert. Die übrigen Proben wurden zunächst rückgestellt. Nach Vorliegen der Analyseergebnisse wurden noch 3 weitere Bodenproben auf PCB nachanalysiert.

Die Laboranalysen erfolgten im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg* gemäß DIN EN 15308: 2016-12 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg per PCB-Kongener.

3.2.2 Restbelastung im Boden auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

Das Grundstück Klötzlmüllerstraße 148 in Landshut wird als Altlastenverdachtsfläche im Bayerischen Altlastenkataster (Art. 3 BayBodSchG) mit der Katasternummer 26100639 geführt. Aus Sicht der Fachstellen der Stadt Landshut bestand der hinreichende Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung. Auf der Liegenschaft wurde bereits 2007 eine altlastentechnische Erkundung durchgeführt, die den Wirkungspfad Boden - Mensch thematisierte (/16/). Im Ergebnis wurde damals bereits festgestellt, dass für den Wirkungspfad Boden - Mensch keine Gefährdung vorliegt.

Im Zuge der abschließenden technischen Erkundungen auf dem BMI-Gelände wurden auch auf dem Grundstück Klötzlmüllerstraße 148 insgesamt 8 Rammkernsondierungen durchgeführt. Ziel war, die bekannte Restbelastung im Boden an der Grundstücksgrenze zum BMI-Gelände (Anhang A7) einzugrenzen und abschließend hinsichtlich dem Wirkungspfad Boden-Grundwasser zu bewerten.

Die Lage der Sondierpunkte wurde einvernehmlich mit der Stadt Landshut festgelegt /23/ und ist in Anhang A7 veranschaulicht.

Sechs der 8 Sondierungen wurden unmittelbar an der Grenze zum BMI-Grundstück angesetzt (RKS3 bis RKS8). Die beiden Sondierungen RKS1 und RKS2 wurden südlich des Wohnhauses im Bereich des früheren Verlaufs des Klötzlmühlbachs abgeteuft. Mit diesen Bohrungen sollte geklärt werden, ob der verfüllte, ehemalige Bachlauf Einfluss auf die Ausbreitung der PCB hatte. Auch RKS4 befindet sich noch im Randbereich des alten Bachlaufs.

Die Rammkernsondierungen wurden am 28.04. von der Firma GEOscan unter der fachgutachterlichen Leitung von ERM durchgeführt. Die 8 Sondierungen erreichten Endteufen zwischen 3 m und 4 m u. GOK. Alle Sondierungen erreichten das Grundwasser und deckten somit den Schwankungsbereich des Grundwassers mit ab. Nach der Probennahme wurden die Sondierkanäle mit Tonpellets verfüllt und die ursprüngliche Oberfläche wiederhergestellt.

Bodenproben wurden schichtenweise, mindestens aber meterweise gewonnen und in luftdicht verschließbare Glasgefäße abgefüllt. Sie wurden bis zur Überführung in das Labor gekühlt und lichtgeschützt aufbewahrt.

Insgesamt wurden 32 Bodenproben entnommen, von denen 18 Proben auf PCB im Feststoff untersucht wurden.

Zusätzlich wurde aus der RKS 4 von der Bodenprobe aus 2,4 – 3,0 m u. GOK aus dem Grundwasserschwankungsbereich eine Eluatanalyse gemäß Merkblatt 3.8/5 (/9/) durchgeführt (Schüttelverfahren nach DIN 19529: 2009-01, Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg).

Die Laboranalysen erfolgten im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg*. Die *Feststoffanalyse* erfolgte gemäß DIN EN 15308: 2016-12 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg per PCB-Kongener. Die Eluatanalyse erfolgte gemäß DIN 38407-3: 1998-07, Bestimmungsgrenze 0,01 µg/l per PCB-Kongener.

3.3 Untersuchung zur PCB-Belastung im Grundwasser

3.3.1 Quartärer Grundwasserleiter

3.3.1.1 Grundwasserüberwachung 2013 bis 2021

Anfang 2013 wurden auf der BMI-Liegenschaft insgesamt 9 Grundwassermessstellen (P9Q bis P17Q) in den quartären Sedimenten abgeteuft und verfiltert. Ziel dieser Messstellen war es, die PCB-Konzentration vor, während und nach der Bodensanierung im quartären Grundwasserleiter, insbesondere im Abstrom der Sanierungsbereiche, zu überwachen und zu dokumentieren.

Die Positionen der Messstellen war zusammen mit der Stadt Landshut und in Anlehnung an die geplante Bebauung und das spätere Wegenetz so festgelegt worden, dass die Messstellen trotz der geplanten Baumaßnahmen erhalten werden können. Die Lage der Messstellen geht aus Anhang A2 hervor. In Anhang B4 sind Bohrprofile und Ausbaupläne der Messstellen beigelegt.

Die Messstellen waren erstmals am 10.04.2013 vor Beginn der Bodensanierungsmaßnahmen beprobt worden (Nullbeprobung). Bis Ende 2013 wurden die Messstellen dann monatlich überwacht. In 2014 und 2015 wurden die Messstellen in Abständen zwischen ein und drei Monaten beprobt, seit 2016 vierteljährlich (März – Juni – September – Dezember).

Die letzte Stichtagsbeprobung fand am 15. Juni 2021 statt. Mittels einer Grundfos SQ-Tauchpumpe wurden Grundwasserproben entnommen gemäß LfU-Merkblatt 3.8/6 (/9/) nach mindestens 3-fachem Austausch des Wassers der Messstelle bei annähernder Konstanz der gemessenen physiko-chemischen Feldparameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential. Das geförderte Wasser wurde über einen Aktivkohlefilter gereinigt und auf dem Standort versickert.

Die Messstelle P9Q ist mit Pumpen nicht erreichbar und wurde, wie bislang, mittels Schichtenheber beprobt, so dass hier keine Feldparameter gemessen wurden.

Die Grundwasserproben wurden jeweils in drei 0,5 l fassende Braunglasflaschen überführt und bis zur Übergabe an das Labor gekühlt gelagert. Die Probennahmeprotokolle vom Juni 2021 sind in Anhang D4 beigelegt.

Die Laboranalysen erfolgten im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg* gemäß DIN 38407-3: 1998-07 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l per PCB-Kongener (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180).

Der vorliegende Bericht berücksichtigt alle bis Juni 2021 vorliegenden Daten. Die Daten der Messstellen P9Q, P10Q und P11Q der Juni-Beprobung konnten in der Bewertung nicht berücksichtigt werden, da nach Angaben des Labors Matrixeffekte bzw. Substanzüberlagerungen eine Quantifizierung erschweren und daher die geforderte Bestimmungsgrenzen von 0,001 µg/l nicht erreicht werden konnten.

3.3.1.2 Immissionspumpversuch an Grundwassermessstelle P12Q

In Abstimmung mit der Stadt Landshut (/11/) wurde an der Grundwassermessstelle P12Q von der Firma *HydroTest Karch* zwischen dem 12.05.2021 und dem 22.05.2021 ein 10-tägiger Immissionspumpversuch durchgeführt. Die Gesamtlaufzeit des Versuchs betrug insgesamt 242,6 Stunden.

Die geförderte Wassermenge wurde mittels Durchflussmessgerät aufgezeichnet. Insgesamt wurde eine Wassermenge von 1.958 m³ gefördert, entsprechend einer durchschnittlichen Förderleistung von 8,07 m³/h. Die Förderrate war somit etwas höher als ursprünglich geplant (2 l/s bzw. von 7,2 m³/h).

Das geförderte Wasser wurde über einen Aktivkohlefilter gereinigt, bevor es über einen Kanaleinlass auf der Klötzlmüllerstraße in die städtische Kanalisation eingeleitet wurde. Die Einleitstelle war vor Beginn des Pumpversuchs mit den Stadtwerken Landshut im Rahmen eines Ortstermins abgestimmt worden.

Während des Pumpversuchs waren insgesamt 7 Proben des ungereinigten Rohwassers sowie 2 Proben des gereinigten Wassers entnommen und auf PCB untersucht worden. Die Analyse auf PCB erfolgte wie auch der anderen Wasserproben durch das chemischen Labor *Agrolab* in Bruckberg.

Zur weiteren Auswertung des Versuchs waren die Grundwasserstände im Pumpbrunnen P12Q und in der nächstgelegenen Grundwassermessstelle P13Q mit Dataloggern aufgezeichnet worden. Der Aufbau des Versuchs sowie die Lage der Messstellen geht aus Anhang A8 hervor.

Die Auswertung der Daten aus dem Immissionspumpversuch mit dem Ziel der Frachtberechnung erfolgte mit der Windows-Software C-SET (Concentration-Superposition Evaluation Tool).

C-SET ist ein Windows-Programm zur Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen und enthält Tools für die Planung und Auswertung von Immissionspumpversuchen, wie z.B.:

- Berechnung des Erfassungsbereichs eines Pumpversuchs zu beliebigen Zeitpunkten und Darstellung als Isochronen,
- Berechnung und Darstellung möglicher Konzentrationsverteilungen über den erfassten Kontrollquerschnitt (Schadstoffimmission) als Stromstreifenkonzentrationen,
- Berechnung der maximalen Fahnenkonzentration, der mittleren Konzentration sowie des Grundwasservolumenstroms über den erfassten Kontrollquerschnitt,
- Berechnung der Schadstofffracht über den erfassten Kontrollquerschnitt (Schadstoffemission);
- Ausgabe eines Berichts mit Versuchsdaten, Ergebnissen sowie Isochronen- und Konzentrationsdarstellungen als pdf-Datei,
- Ausgabe der berechneten Stromstreifenkonzentrationen und Stromstreifenfrachten als Excel-Tabelle,
- Ausgabe von Isochronen, Stromstreifenkonzentrationen und –frachten als shp-Dateien und damit möglicher Datentransfer in GIS-Anwendungen.

3.3.1.3 Auswertung von Daten der Bauwasserhaltung nördlich des BMI-Geländes

Auf der Liegenschaft nördlich des Klötzlmühlbachs – Flurstücke 2306/2 und 2306/7 - wurden im Jahr 2019 Wohnhäuser errichtet. Zwischen dem 04.04. und dem 11.07.2019 wurde zur Bauwasserhaltung über einen Zeitraum von insgesamt 98 Tagen aus 7 Schachtbrunnen Grundwasser aus dem quartären Grundwasserleiter abgepumpt. Die Lage der Entnahmebrunnen (BR1 – BR7) geht aus Anhang A9 hervor. Das entnommene Grundwasser wurde in zwei Becken („Absetzbecken West“, „Absetzbecken Ost“) aufgefangen und von dort in den Klötzlmühlbach gepumpt. Nach Datenlage wurden insgesamt 1.046.333 m³ an Grundwasser gefördert. Hieraus errechnet sich eine mittlere Förderrate von 445 m³/h.

Von den Betreibern wurden regelmäßig Wasserproben aus den Absetzbecken, teilweise auch aus einzelnen Brunnen gewonnen und auf PCB untersucht. Die Analysen der Wasserproben ergaben, dass das geförderte Wasser PCB enthielt. Das heißt, dass unter dem Klötzlmühlbach hindurch PCB-belastetes Wasser vom BMI-Grundstück beigezogen wurde und auch aus der von Südwest nach Nordost verlaufenden PCB-Grundwasserfahne im Abstrom des BMI-Geländes.

Die Daten zur Bauwasserhaltung wurden von der Stadt Landshut per E-Mail vom 11.03. und 15.04.2021 (/32/, /33/) übermittelt. Auf Anregung der Stadt Landshut sollten die Daten geprüft werden und soweit sie sich als geeignet herausstellen, in der Gesamtbeurteilung der Grundwasserbelastung Berücksichtigung finden.

Die Auswertung der bereitgestellten Daten der Bauwasserhaltung umfasste eine Prüfung, ob die Datenqualität hinreichend ist, um in der Gesamtbeurteilung der Grundwasserbelastung Berücksichtigung zu finden. Zusätzlich erfolgte eine Auswertung der PCB-Frachten bzw. Visualisierung der Entnahme mittels C-SET.

3.3.1.4 Auswertung der Pumpmaßnahme an den 3 Messstellen P11Q, P14Q, P15Q

Während und nach der im vorigen Abschnitt 3.3.1.3 beschriebenen Bauwasserhaltung wurden von dem Betreiber der Bauwasserhaltung die Grundwassermessstellen P11Q, P14Q und P15Q auf dem BMI-Gelände kontinuierlich abgepumpt. Die Pumpmaßnahme war von der Stadt Landshut veranlasst mit dem Ziel, eine Schadstoffverschleppung vom BMI-Grundstück zu minimieren.

Die Pumpmaßnahme erfolgte zwischen dem 02.05.2019 und 30.11.2020 über insgesamt 578 Tage. Nach Angabe der Stadt Landshut lag die Förderrate bei 2,52 m³/h pro Brunnen (insgesamt 7,56 m³/h aus den drei Brunnen). Hieraus errechnet sich eine Gesamtfördermenge von 104.872 m³ über die gesamte Laufzeit.

Während der Pumpmaßnahme waren von der Neues Wohnen GmbH wöchentlich Proben von dem geförderten Wasser entnommen und auf PCB untersucht worden. Die Analysenergebnisse wurden von der Stadt Landshut per E-Mail vom 11.03. und 15.04.2021 (/32/, /33/) an ERM übermittelt. Auf Anregung der Stadt Landshut sollten die Daten geprüft werden und soweit sie sich als geeignet herausstellen, in der Gesamtbeurteilung der Grundwasserbelastung Berücksichtigung finden.

Die Auswertung der bereitgestellten Daten aus der Maßnahme erfolgte in Form von Ganglinien und mittels C-SET.

3.3.1.5 Erkundung der PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter durch die Stadt Landshut

Die Stadt Landshut hat im Umfeld und besonders im Abstrom des BMI-Geländes vorhandene private Gartenbrunnen beprobt, um die PCB-Fahne einzugrenzen (/36/). Die Daten (/32/, /33/) (/36/) wurden ERM zur Berücksichtigung bei der Beurteilung der Gesamtsituation nach der Sanierung zur Verfügung gestellt.

3.3.2 Tertiärer Grundwasserleiter

3.3.2.1 Grundwasserüberwachung 2013 bis 2021

Anfang 2013 wurden zwei Tertiärmessstellen (P10T, P11T) auf der BMI-Liegenschaft errichtet. Ziel war es, die PCB-Konzentration vor, während und nach der Bodensanierung im tertiären Grundwasserleiter zu überwachen und zu dokumentieren.

Die Positionen der Messstellen wurden zusammen mit der Stadt Landshut und in Anlehnung an die geplante Bebauung und das spätere Wegenetz festgelegt, damit die Messstellen trotz der geplanten Baumaßnahmen erhalten werden können. Die Lage der Messstellen ist in Anhang A2 gezeigt. In Anhang B4 finden sich die Bohr- und Ausbauprofile.

Die erste Beprobung (Nullbeprobung) erfolgte am 10.04.2013 vor Beginn der Bodensanierungsmaßnahmen. Bis Ende 2013 wurden die Messstellen monatlich, in 2014 und 2015 in Abständen zwischen ein und drei Monaten beprobt. Seit 2016 gilt ein vierteljährlicher Beprobungsturnus (März – Juni – September – Dezember). Im Juli 2021 wurden die Tertiärmessstellen P10T und P11T nochmals mitbeprobt. Im vorliegenden Bericht werden alle Daten von 2013 bis Juli 2021 berücksichtigt, mit Ausnahme der Daten der Messstelle P11T im Juni 2021. Nach Angaben des Labors haben im Juni 2021 Matrixeffekte bzw. Substanzüberlagerungen eine Quantifizierung erschwert und die geforderte Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l konnte nicht erreicht werden.

Die Beprobung und Analytik erfolgt analog zur Beprobung der Messstellen im Quartär (siehe Kapitel 3.3.1.1).

3.3.2.2 Hydraulische Kenndaten des tertiären Aquifers

Durch die Stadt Landshut wurde angeregt, auch einen Immissionspumpversuch im Tertiär durchzuführen. Nach fachlicher Diskussion mit allen Beteiligten der Stadt und des WWA wurde entschieden, keinen Pumpversuch im Tertiär durchzuführen. Es sollte kein hydraulischer Gradient vom quartären zum tertiären Grundwasserleiter erzeugt werden, durch den die PCB vom Quartär ins Tertiär verschleppt werden könnten.

Es wurde daher auf hydraulische Kenndaten aus (/21/) zurückgegriffen, die aus einem 2-stufigen Pumpversuch an P6 stammen (Anhang B2). Brunnen P6 wurde im März 2009 nördlich des Klötzlmühlbachs errichtet, um den möglichen Standort eines weiteren BMI-Betriebsbrunnens zu erkunden. P6 erschließt den gesamten tertiären Grundwasserleiter bis zu einer Tiefe von 33 m. Die Messstelle P6 wurde nur während des Pumpversuchs beprobt. Sie wies keine PCB im gefördertem Wasser auf und ist im November 2016 wieder rückgebaut worden.

Die hydraulischen Kenndaten aus (/21/) sind:

Durchlässigkeitsbeiwert:	$k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
Transmissivität:	$T = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
Effektive Porosität:	$n_{\text{eff}} = 0,2$
Abstandsgeschwindigkeit:	$v_a = 1,334 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ (0,12 m/d)

3.3.2.3 Bau der dritten Tertiärmessstelle P15T

Mit den in 2013 errichteten beiden Grundwassermessstellen P10T und P11T war es nicht möglich, die Grundwasserfließrichtung im tertiären Grundwasserleiter abzuleiten. Es wurde daher von der Stadt Landshut die Errichtung einer weiteren Tertiärmessstelle in unmittelbarer Nachbarschaft zu der Quartärmessstelle P15Q vorgeschlagen (/43/). Die Messstelle sollte analog zu den beiden bereits bestehenden Tertiärmessstellen ausgebaut werden. Der Ausbau sollte bis zur Basis des tertiären Grundwasserleiters reichen, der in einer Tiefe ab 35 m unter Ursprungsgelände (d.h. 32 m unter aktuellem Gelände) erwartet wurde.

Die Grundwassermessstelle P15T wurde zwischen dem 01.06. und dem 18.06.2021 von der Firma *Stockbauer Bohr und Brunnenbau* errichtet. Der Messstellenbau wurde fachgutachterlich von der Firma *PGA*, Frau Müller, begleitet.

Die Bohrung wurde mit einer Außenverrohrung im Durchmesser von ca. 250 mm als verrohrte Trockenbohrung ausgeführt. Endteufe der Bohrung war bei 40,5 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau, bzw. bei rund 37,5 m unter dem aktuellen Geländeniveau. Zwischen 40,0 m und 40,5 m unter Ursprungsgelände wurde ein tonig-sandiger, dunkler Horizont erbohrt, der als Basis des tertiären Grundwasserleiters interpretiert wurde.

Entsprechend dem Vorschlag der Stadt Landshut (/31/) wurden zwei Filterstrecken eingebaut, um ggf. den tertiären Grundwasserleiter zoniert beproben zu können. Die Filterstrecken wurden von 12 m - 24 m und von 27 m – 40 m unter Ursprungsgelände installiert. Zwischen den Filterstrecken wurden 3 m Vollrohr mit Abdichtung des Ringraums mit Dämmerzement-Injektion eingebaut. Die Messstelle hat einen Ausbaudurchmesser von 5" (125 mm). Schichtenverzeichnis und Ausbauplan der Messstelle sind in Anhang B4 beigefügt.

Bodenproben wurden schichtenweise, mindestens aber meterweise gewonnen und in luftdicht verschließbare Glasgefäße abgefüllt. Sie wurden bis zur Überführung in das Labor *Agrolab* gekühlt und lichtgeschützt aufbewahrt. Alle Bodenproben wurden zunächst rückgestellt, da sensorisch keinerlei Auffälligkeiten festgestellt wurden, die auf eine Belastung hindeuteten.

Auf Wunsch der Stadt Landshut wurden 3 der Rückstellproben auf PCB analysiert. Die Proben stammen aus den Tiefenbereichen 11-12 m, 14-15 m und 17-18 m unter Ursprungsgelände, entsprechen also den vorgesehenen Entnahmetiefen der Direct Push Grundwasserentnahme (siehe Kapitel 3.3.2.4).

Die Laboranalysen erfolgten im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg* gemäß DIN EN 15308: 2016-12 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg per PCB-Kongener.

3.3.2.4 Tiefenzonierte Grundwasserbeprobung im tertiären Grundwasserleiter

Um Informationen über den PCB-Gehalt im Grundwasser im tertiären Grundwasserleiter zu gewinnen, wurden in Abstimmung mit der Stadt Landshut /43/ mittels 5 Direct Push-Sondierungen (GWS1 bis GWS5) Grundwasserproben aus dem oberen Bereich des tertiären Grundwasserleiters gewonnen. Die Arbeiten fanden zwischen dem 11.05. und dem 13.05.2021 statt. Die Arbeiten wurden fachgutachterlich durch ERM begleitet.

Mit Ausnahme von GWS4 waren die Proben aus den Tiefenbereichen 11-12 m, 14-15 m und 17-18 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau gewonnen worden. An Sondierung GWS 4 konnte wegen mangelnden Bohrfortschritts nur eine Bohrtiefe von 16,30 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau erzielt werden. Daher wurden an GWS4 nur die beiden oberen Horizonte beprobt. Die Laboranalysen erfolgten wie im vorherigen Kapitel beschrieben.

3.3.2.5 Ergebnisse früherer Untersuchungen von Messstellen und BMI-Betriebsbrunnen

Auf Anregung der Stadt Landshut /34/ wurden die Ergebnisse früherer Untersuchungen im tertiären Grundwasserleiter in der Bewertung der Gesamtsituation mit berücksichtigt, sofern diese geeignet waren.

Auf dem Gelände wurden früher drei Betriebsbrunnen (B2, B3, B4) durch die BMI zur Brauchwassergewinnung genutzt. Sie förderten Wasser aus dem tertiären Grundwasserleiter. Es gab noch einen weiteren Brunnen B5 nördlich des Klötzlmühlbachs, der sowohl den quartären Grundwasserleiter und auch den oberen Bereich des tertiären Grundwasserleiters erschloss. Nach Kenntnislage war er von der BMI nicht zur Brauchwasserversorgung genutzt worden. Alle Brauchwasserbrunnen waren 2013 vor der Bodensanierung von der BMI rückgebaut worden. Zwischen 1999 und 2012 waren die Brunnen B2, B3, B4 halbjährlich durch ERM beprobt und das Wasser

auf PCB analysiert worden. Die Entnahme der Proben erfolgte hier aus dem Förderstrom der fest eingebauten Förderpumpen der BMI als Zapfprobe an Entnahmehähnen.

Neben den Betriebsbrunnen gab es auf dem Gelände noch die Grundwassermessstellen P5a, P5b und P4, die ebenfalls im tertiären Grundwasserleiter verfiltert waren. Die Bohr- und Ausbauprofile sind in Anhang B2 beigelegt. Die Messstelle P5b erschloss jedoch nur den oberen Teil des tertiären Grundwasserleiters zwischen 13,7 m und 18,7 m Tiefe. Die Messstellen P5a, P5b und P4 wurden Anfang 1999 errichtet und Anfang 2013 rückgebaut. Zwischen 1999 und 2012 wurden sie halbjährlich durch ERM beprobt und das Wasser auf PCB analysiert. Für die Probenahme wurde eine Unterwassermotorpumpe genutzt.

Die Lage der Brunnen und Messstellen geht aus dem Plan in Anhang A2 hervor. Es ist ersichtlich, dass die Messstellen P5a und P5b etwa auf halber Strecke zwischen dem ehemaligen PCB-Schadenszentrum im Boden und dem BMI-Betriebsbrunnen B4 errichtet wurden. Sie befanden sich gleichzeitig auch im späteren Bodensanierungsbereich SB4. Die Messstelle P4 befand sich etwa mittig zwischen dem ehemaligen Schadenszentrum (spätere Bodensanierungsbereiche SB1 und SB2) und dem BMI-Betriebsbrunnen B2. Somit lagen diese älteren Tertiärmessstellen P5a, P5b und P4 alle in Bereichen, in denen möglicherweise durch die Nutzung der BMI-Brunnen PCB-belastetes Wasser aus dem quartären in den tertiären Aquifer hätte gelangen können.

Schließlich gab es mit dem Brunnen P6 noch einen weiteren Aufschluss im tertiären Grundwasserleiter nördlich des Klötzlmühlbachs. Er wurde im März 2009 nördlich des Klötzlmühlbachs errichtet, um den möglichen Standort eines weiteren BMI-Betriebsbrunnens zu erkunden. Er erschließt den gesamten tertiären Grundwasserleiter bis zu einer Tiefe von 32,6 m. Laut /21/ ist die Messstelle P6 nur während des Pumpversuchs beprobt worden und wies keine PCB auf. Sie ist nach Kenntnis von ERM inzwischen rückgebaut. Von P6 liegen weiterhin Aquiferkenndaten aus einem 2-stufigen Pumpversuch vor (/21/), die in der Auswertung mit berücksichtigt werden.

3.4 Chemische Analysen Boden und Grundwasser

Die Laboranalysen der Bodenproben erfolgten im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg* gemäß DIN EN 15308: 2016-12 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg per PCB-Kongener. Die PCB-Konzentration wurde entsprechend Merkblatt 3.8/1 des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft aus der Summe der 6 Ballschmitter-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180, multipliziert mit dem Faktor 5, errechnet.

Die Laboranalysen der Wasserproben erfolgten ebenfalls im Labor *Agrolab Labor GmbH, Bruckberg*. Bis 15. Juni 2020 erfolgte die Wasseranalytik nach DIN 38407-3 (F 3) mit einer Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l. Ab 16. Juni 2020 erfolgte die Analytik auf Wunsch der Stadt Landshut nach DIN 38407-3: 1998-07 mit einer niedrigeren Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l. Die PCB-Konzentration wurde ebenfalls entsprechend Merkblatt 3.8/1 des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft aus der Summe der 6 Ballschmitter-Kongenere 28, 52, 101, 138, 153 und 180 durch Multiplikation mit dem Faktor 5 errechnet.

Probenahme- und Laborprotokolle sind als Anhang D beigelegt.

3.5 Abbauverhalten PCB

Im Schreiben der Stadt Landshut vom 22.04.2020 (/39/) wird auf die Möglichkeit des Vorhandenseins von PCB-Abbauprodukten in Boden und Grundwasser – insbesondere von hydroxylierten PCB-Metaboliten – hingewiesen. Ferner regte die Stadt Landshut an, den PCB-Abbau und mögliche Zwischenprodukte bei der Gefährdungsabschätzung und der Beurteilung der Gesamtsituation zu berücksichtigen.

Hierzu wird in Kap. 4.4 ein Überblick über die Stoffeigenschaften und den aktuellen Kenntnisstand zum natürlichen Abbau von PCB-Verbindungen gegeben, die aus einer Literatur-Recherche zusammengetragen wurden.

3.6 Toxikologisches Gutachten

Zu der nach der Bodensanierung verbliebenen PCB-Restbelastung im Grundwasser liegt eine umfassende humantoxikologische Beurteilung von Dezember 2019 vor (/15/, s. auch Kap. 1.3). Die im vorliegenden Bericht neu hinzugekommen Daten wurden dem Gutachter Dr. Rippen zur Verfügung gestellt werden, um zu prüfen, ob die Aussagen des humantoxikologischen Gutachtens und seine Empfehlungen ihre Gültigkeit behalten oder angepasst werden müssen.

3.7 Abschließende Gefährdungsbeurteilung

Die Daten aller hier beschriebenen technischen Erkundungen sollten zusammen mit den bereits vorliegenden Erkenntnissen im Sinne einer abschließenden Gefährdungsbeurteilung beurteilt werden.

Sofern sich aus den im Boden und im Grundwasser verbliebenen PCB-Restbelastungen eine Gefährdung von Wirkungspfaden ableiten ließe, sollte anhand eines Sanierungsvariantenvergleichs die Notwendigkeit, Geeignetheit und Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen im Sinne §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG bzw. § 5 BBodSchV untersucht werden, mit dem Ziel, eine Vorzugsvariante herauszuarbeiten.

4. ERGEBNISSE

4.1 PCB-Konzentrationen im Boden

4.1.1 Boden unterhalb Aushubsohle (Direct Push)

Die Ergebnisse der PCB-Analysen von den 21 Bodenproben, die mittels Liner-Sondierungen aus den 5 Direct Push-Sondierungen (DP1 bis DP5) unterhalb der Aushubsohle entnommen wurden, sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die detaillierten Laborberichte finden sich in Anhang D3.

Tabelle 1: Ergebnisse Bodenanalysen Direct Push

Sondier- punkt	Probenname	Entnahmetiefe [m u. Ursprungs- gelände]	Stratigrafische Zuordnung	Sanierungs- zielwert [mg/kg]	PCB-Gehalt [mg/kg]
DP1	DP1/3	5,00 - 6,00	Quartär	10	0,3
	DP1/5	7,00 - 7,20	Quartär	10	n.b.
	DP1/6	7,20 - 8,00	Quartär	10	n.b.
	DP1/8	9,00 - 10,00	Tertiär	10	n.b.
DP2	DP2/1	3,00 - 4,00	Quartär	10	0,2
	DP2/4	6,00 - 7,00	Quartär	10	n.b.
	DP2/6	8,00 - 9,00	Quartär	10	n.b.
	DP2/8	9,80 - 10,00	Tertiär	10	n.b.
DP3	DP3/3	4,00 - 5,00	Quartär	10	n.b.
	DP3/5	6,00 - 7,00	Quartär	10	0,4
	DP3/6	7,00 - 8,00	Quartär	10	3,9
	DP3/7	8,00 - 9,00	Quartär	10	22,9
	DP3/8	9,00 - 9,70	Tertiär	10	0,85
	DP3/9	9,70 - 10,00	Tertiär	10	0,10
	DP3/11	11,00 - 12,00	Tertiär	10	n.b.
DP4	DP4/3	5,00 - 6,00	Quartär	10	n.b.
	DP4/5	7,00 - 8,00	Quartär	10	n.b.
	DP4/7	9,00 - 10,00	Tertiär	10	n.b.
DP5	DP5/3	5,00 - 6,00	Quartär	10	n.b.
	DP5/5	7,00 - 8,00	Quartär	10	n.b.
	DP5/7	8,80 - 9,00	Quartär	10	n.b.

n.b.: nicht bestimmbar; Messwerte der Einzelkongenere jeweils unter der Bestimmungsgrenze.

22,9 fett-gedruckte Zahlen bedeuten eine Überschreitung des Sanierungszielwertes für Boden (siehe Kapitel 2.3)

In den Sondierungen DP4 und DP5 waren in keiner Bodenprobe PCB nachzuweisen.

In den Sondierungen DP1 und DP2 wurde jeweils in der obersten Probe mit 0,3 mg/kg und 0,2 mg/kg noch Spuren von PCB nachgewiesen. Beide Proben wurden unterhalb des Referenz-niveaus von 389,7 m NN entnommen, das etwa 3 m unter dem ursprünglichen Geländeniveau entspricht. In beiden Proben wurde der Sanierungszielwert für PCB von 10 mg/kg, der für Boden unterhalb des Referenzniveaus gilt, bei weitem nicht erreicht. In den tieferen Proben dieser beiden Sondierungen waren PCB nicht mehr nachzuweisen.

In Sondierung DP3 wurde in der Probe aus 8,00 – 9,00 m unter Ursprungsgelände ein PCB-Gehalt von 22,9 mg/kg gemessen. Der Sanierungszielwert ist in dieser Probe überschritten. In den Proben aus den Probenintervallen unmittelbar darüber und darunter zeigen mit 3,9 mg/kg bzw. 0,85 mg/kg PCB-Gehalte deutlich unter dem Sanierungszielwert von 10 mg/kg.

Die Sondierung DP3 befindet sich in dem Bereich, in dem der Bodenaustausch innerhalb hexagonaler Senkkästen erfolgte (Wabensanierung, s. Abbildung 10 bzw. Anhang A10). Die Waben reichten bis auf den Tiefenbereich von 8 m unter Ursprungsgelände (/18/, /19/). Wie bereits erwähnt, stammt die Probe DP3/7, in der 22,9 mg/kg PCB gemessen wurde, aus dem Tiefenintervall von 8,00 – 9,00 m unter Ursprungsgelände. Sie repräsentiert offenbar einen lokalen Bereich, in dem die Bodenbelastung maximal 1 m tiefer reichte als die Zieltiefe der Wabensanierung. Mit den Proben DP3/6 und DP3/8 darüber und darunter zeigt sich, dass hier diese Restbelastung maximal eine Mächtigkeit von 1 m aufweist.

Die laterale Ausdehnung ist durch die benachbarte Sondierung DP5 sowie die Erkundungsbohrungen zum Bodenaustausch mittels Großbohrungen (/20/, dort Anhang A3-4) ebenfalls hinreichend eingegrenzt und lässt sich mit etwa 25 m² abschätzen.

Legt man für den Bereich mit der Überschreitung des Sanierungszielwertes eine Mächtigkeit von 1 m und eine Fläche von 25 m² zugrunde, ergibt sich ein Volumen von maximal 25 m³. Setzt man für dieses Volumen eine mittlere Konzentration von 15 mg/kg PCB an, so lässt sich die verbleibende Restmasse an PCB mit rund 600 g in dem Tiefenintervall von 8 – 9 m Tiefe abschätzen.

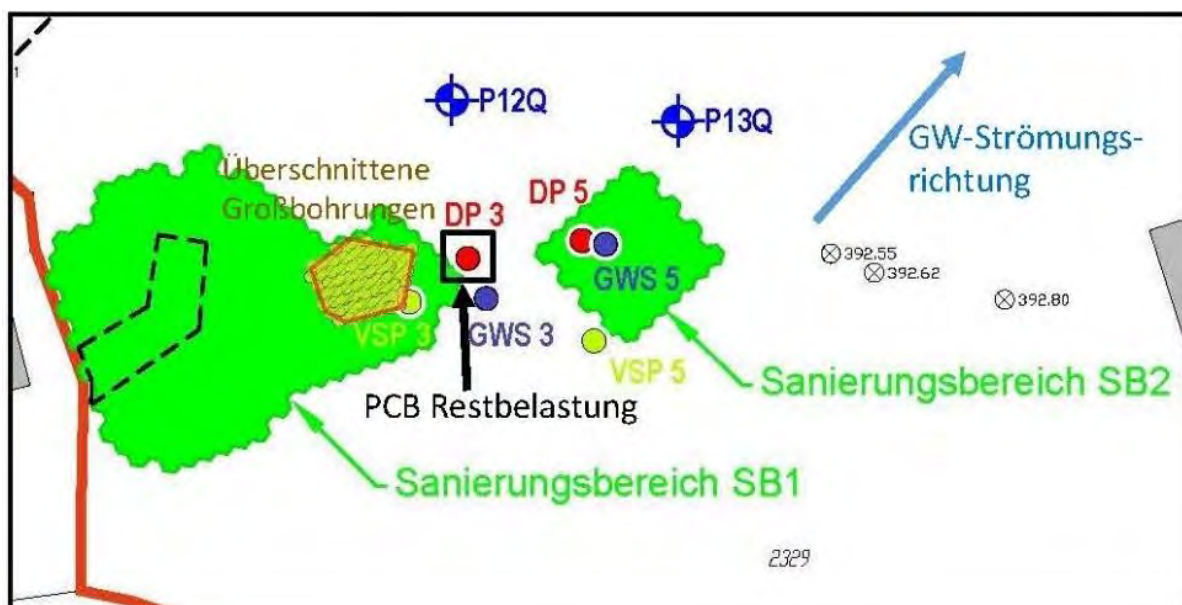


Abbildung 2: PCB-Restbelastung im Boden bei DP 3

Weitere Informationen zu dieser Restbelastung ergeben sich aus der Messstelle P13Q. Diese liegt in Etwa im Abstrom von DP3. Der Stufe-2-Wert wurde hier seit 2017 an nur einem einzigen Mess-tag (27.11.2019) mit 0,6 µg/l knapp überschritten. Danach wurde der Stufe-2-Wert immer eingehalten (s. Ganglinien; Abbildung 4).

Fazit:

In den quartären Sedimenten wurde lediglich an einer Bohrung und somit für einen lokal begrenzten Bereich von rund 25 m² im Boden eine PCB-Restbelastung oberhalb des Sanierungszielwertes festgestellt. Die Masse der Restbelastung lässt sich mit rund ca. 600 g abschätzen.

In den Linerproben aus dem Tertiär waren PCB nicht nachweisbar.

4.1.2 Tertiäre Sedimente aus der Messstelle P15T

In den drei Proben der tertiären Sedimente aus der neuen Messstellen P15T aus den Tiefenintervallen 11 – 12 m, 14 – 15 m und 17 – 18 m unter Ursprungsgelände waren keine PCB nachweisbar.

Aus den gleichen Tiefenintervallen wurden Grundwasserproben entnommen (s. Kapitel 4.2.2.3).

Die PCB-Gehalte der 3 untersuchten Bodenproben lagen alle unter der Bestimmungsgrenze (Laborberichte in Anhang D5).

Fazit:

Wie bereits in den Linerproben der Direct Push-Bohrungen (siehe vorheriges Kapitel 4.1.1) waren auch in den Proben der tertiären Sedimente aus der Messstelle P15T keine PCB im Feststoff nachweisbar.

4.1.3 Boden auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

Die 8 Rammkernsondierungen RKS1 bis RKS8 auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 erreichten Endteufen zwischen 3 m und 4 m. Alle erreichten das Grundwasser. Die Positionen der Sondierungen sind in Abbildung 3 ersichtlich.

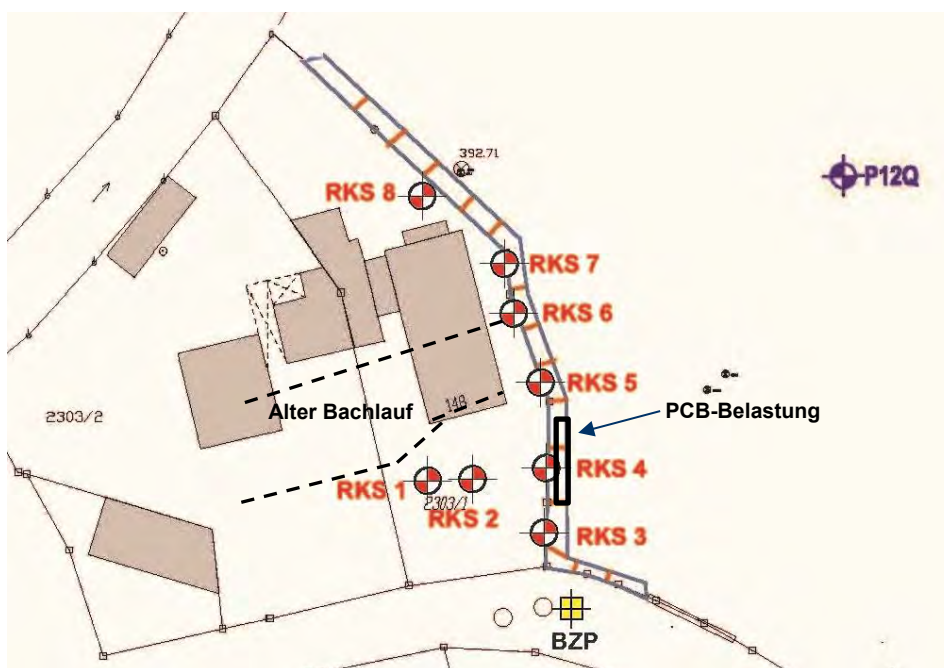


Abbildung 3: Lage der Sondierpunkte Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

Insgesamt wurden 31 Bodenproben entnommen, von denen 18 auf PCB im Feststoff analysiert wurden. Bei einer Probe aus RKS4 wurde zusätzlich eine Eluatanalyse durchgeführt. Alle Analyseergebnisse sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Detaillierte Laborprotokolle finden sich in Anhang D1.

Tabelle 2: Ergebnisse Bodenanalysen Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

Sondierpunkt	Probenname	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Entnahmetiefe [m ü. NN]	Sanierungszielwert* (s. Kapitel 2.3) [mg/kg]	PCB-Gehalt Feststoff [mg/kg]	PCB-Gehalt Eluat [µg/l]
RKS1	RKS1/3	0,70 – 1,30	391,40 – 390,80	0,5	n.b.	-
	RKS1/6	2,60 – 3,00	389,50 – 389,10	10	n.b.	-
RKS2	RKS2/2	0,40 – 1,40	391,70 – 390,70	0,4 / 0,5 (ab 0,6 m u. GOK))	n.b.	-
	RKS2/4	2,40 – 3,50	389,70 – 388,60	10	n.b.	-
RKS3	RKS3/2	1,00 – 2,00	391,29 – 390,29	0,5	n.b.	-
	RKS3/4	2,60 – 3,00	389,69 – 389,29	10	n.b.	-
RKS4	RKS4/1	0,40 – 1,40	391,89 – 390,89	0,4 / 0,5 (ab 0,6 m u. GOK))	2,90	-
	RKS4/2	1,40 – 2,40	390,89 – 389,89	0,5	5,90	-
	RKS4/3	2,40 – 3,00	389,89 – 389,29	0,5 / 10 (ab 389,7 m. ü. NN)	4,05	1,15
	RKS4/4	3,00 – 4,00	389,29 – 388,29	10	2,10	-
RKS5	RKS5/2	1,30 – 2,30	390,90 – 389,90	0,5	n.b.	-
	RKS5/3	2,30 – 3,00	389,90 – 389,20	0,5 / 10 (ab 389,7 m. ü. NN)	n.b.	-
RKS6	RKS6/3	2,00 – 2,50	390,14 – 389,64	0,5 / 10 (ab 389,7 m. ü. NN)	n.b.	-
	RKS6/4	2,50 – 3,00	389,64 – 389,14	0,5	n.b.	-
RKS7	RKS7/1	0,30 – 1,30	391,88 – 390,88	0,4 / 0,5 (ab 0,6 m u. GOK)	0,20	-
	RKS7/3	2,30 – 3,00	389,88 – 389,18	0,5 / 10 (ab 389,7 m. ü. NN)	n.b.	-
RKS8	RKS8/3	0,80 – 1,80	391,22 – 390,22	0,5	n.b.	-
	RKS8/5	2,50 – 3,00	389,52 – 389,02	10	n.b.	-

n.b.: nicht bestimmbar; Messwerte der Einzelkongenere jeweils unter der Bestimmungsgrenze
- keine Analyse

4,05 fett-gedruckte Zahlen bedeuten eine Überschreitung des Sanierungszielwertes für Boden

* Sanierungszielwerte:
0,4 mg/kg: ungesättigte Bodenzone bis 0,6 m u. GOK
0,5 mg/kg: ungesättigte Bodenzone 0,6 m u. GOK bis max. 389,7 m ü. NN
10 mg/kg: gesättigte Bodenzone ab 389,7 m ü. NN

Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben und aus Abbildung 3 bzw. Anhang A7 ersichtlich, wurden die Sondierungen RKS1 und RKS2 im alten Bachlauf des Klötzlmühlbachs und die Sondierung RKS5 im Randbereich des alten Bachlaufs niedergebracht. Alle anderen Sondierungen auf der Liegenschaft befinden sich außerhalb des ehemaligen Bachlaufs. Es wurde bei den Feldarbeiten deutlich, dass der ehemalige Bachlauf auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 mit sandig-kiesigen Materialien verfüllt wurde. In keiner Sondierung waren Produktionsrückstände, Bauschutt oder standorttypische Materialien des Nachbargeländes angetroffen worden. Das Bohrgut zeigte auch keine sensorischen Hinweise für Belastungen, was durch die PCB-Analysen bestätigt wurde.

In den 6 Sondierungen RKS1, RKS2, RKS3, RKS5, RKS6 und RKS8 war in keiner Bodenprobe PCB nachgewiesen worden. Die PCB-Konzentrationen lagen ausnahmslos unter der Bestimmungsgrenze. Dies schließt alle Proben aus dem ehemaligen Bachlauf mit ein.

In der RKS7 wurde in der Probe aus 0,30 – 1,30 m Tiefe der PCB-Gehalt mit 0,2 mg/kg ermittelt. In der Probe aus dem Tiefenintervall zwischen 2,30 – 3,00 m u. GOK, d.h. aus der Grundwasserschwankungszone, lag die PCB-Konzentration unter der Bestimmungsgrenze.

Wie aus dem Plan in Anhang A7 hervorgeht, liegt die Sondierung RKS4 am nächsten zum BMI-Gelände. In allen vier Proben aus der RKS4 wurden PCB nachgewiesen. Der mit 5,9 mg/kg höchste PCB-Gehalt wurde in der aus 1,40 – 2,40 m Tiefe stammenden Probe gemessen. Zur Endteufe von 4 m hin nahm der PCB-Gehalt auf 2,10 mg/kg ab (s. Tabelle 2). Der Sanierungszielwert von 0,4 mg/kg wurde in den oberen drei Proben bis 3 m u. GOK überschritten.

Fazit

Die Bodenuntersuchungen ergaben, dass auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 PCB nur in einem lokal begrenzten Bereich unmittelbar an der Grundstücksgrenze zum BMI-Gelände vorkommen (Abbildung 3). Der Bereich ist lateral durch die benachbarten Sondierungen RKS2, RKS3 und RKS5 hinreichend abgegrenzt.

Überschreitungen des Sanierungszielwerts von 0,4 mg/kg sind nur in der Bohrung RKS 4 zwischen 0,4 und 3 m u. GOK zu konstatieren. Unterhalb des Referenzniveaus von 389,7 m ü. NN, entsprechend etwa 3 m u. GOK, wird der hier gültige Sanierungszielwert von 10 mg/kg nicht überschritten. In der untersten Probe aus RKS4 aus dem Tiefenintervall zwischen 3,0 m und 4,0 m lag der PCB-Gehalt von 2,1 mg/kg unterhalb des hier geltenden Sanierungszielwerts.

Als Grundlage für die weitere Bewertung des Befundes an RKS4 wurde an der Bodenprobe RKS4/3 aus dem Tiefenintervall zwischen 2,40 – 3,00 m u. GOK, d.h. aus dem Grundwasserschwankungsbereich, eine PCB-Eluatanalyse durchgeführt. Das Tiefenintervall der Probe RKS4/3 entspricht etwa dem Ort der Beurteilung für die Gefährdungsabschätzung bezüglich des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser. Die Eluatanalyse ergab eine PCB-Konzentration von 1,15 µg/l. Dieser Wert überschreitet den Prüfwert zur Beurteilung des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser von 0,05 µg/l (siehe Kapitel 6.2).

4.2 Grundwasser

4.2.1 Quartärer Grundwasserleiter

4.2.1.1 Grundwasserüberwachung 2013 bis 2021

In den insgesamt 9 Grundwassermessstellen (P9Q bis P17Q), die im April 2013 vor dem Start der Bodensanierung beprobt wurden (Nullbeprobung), lagen die PCB-Konzentrationen zwischen 1,85 µg/l bis unter der Bestimmungsgrenze. In vier der neun Messstellen wurde der Stufe-2-Wert (0,5 µg/l) überschritten.

In der Abbildung 4 sind die Ganglinien der PCB-Konzentrationen im quartären Grundwasserleiter seit 2013 dargestellt. Die Abbildung 5 zeigt die Entwicklung ab August 2019, also kurz vor und dann nach Abschluss der Bodensanierungsmaßnahmen im Oktober 2019.

Im Verlaufe der Bodensanierung, die über mehrere Etappen zwischen 2013 bis 2019 erfolgte, zeigte sich eine deutliche Fluktuation der Messwerte (s. Abbildung 4) bis zum Ende des Jahres 2016. Diese sind möglicherweise auf eine PCB-Mobilisierung durch Eingriff in die wassergesättigte Bodenzone ab 2013 zurückzuführen. Die höchsten Werte von bis 1,85 µg/l PCB wurden 2013 und 2015 gemessen.

Seit 2017 haben die Fluktuationen in ihrer Höhe erkennbar abgenommen. Die Konzentrationen im Grundwasser auf der BMI-Liegenschaft haben sich mehrheitlich einem Niveau knapp unter dem Stufe-2-Wert angenähert. Dennoch sind immer wieder Überschreitungen des Stufe-2-Wertes und damit des alternativen Sanierungszieles für das Grundwasser zu verzeichnen. Eine Sonderstellung nimmt die Messstelle P12Q ein. Hier zeigt sich ein Anstieg der Werte von 2018 bis Ende 2020 von 0,5 µg/l auf knapp 1,3 µg/l. Erst die letzten beiden Beprobungen im März und im Juni 2021 zeigen einen deutlichen Rückgang bis auf 0,77 µg/l im Juni 2021. Mit Stand Juni 2021 wurde der Stufe-2-Wert somit nur in einer Messstelle (P12Q) überschritten (Abbildung 5).

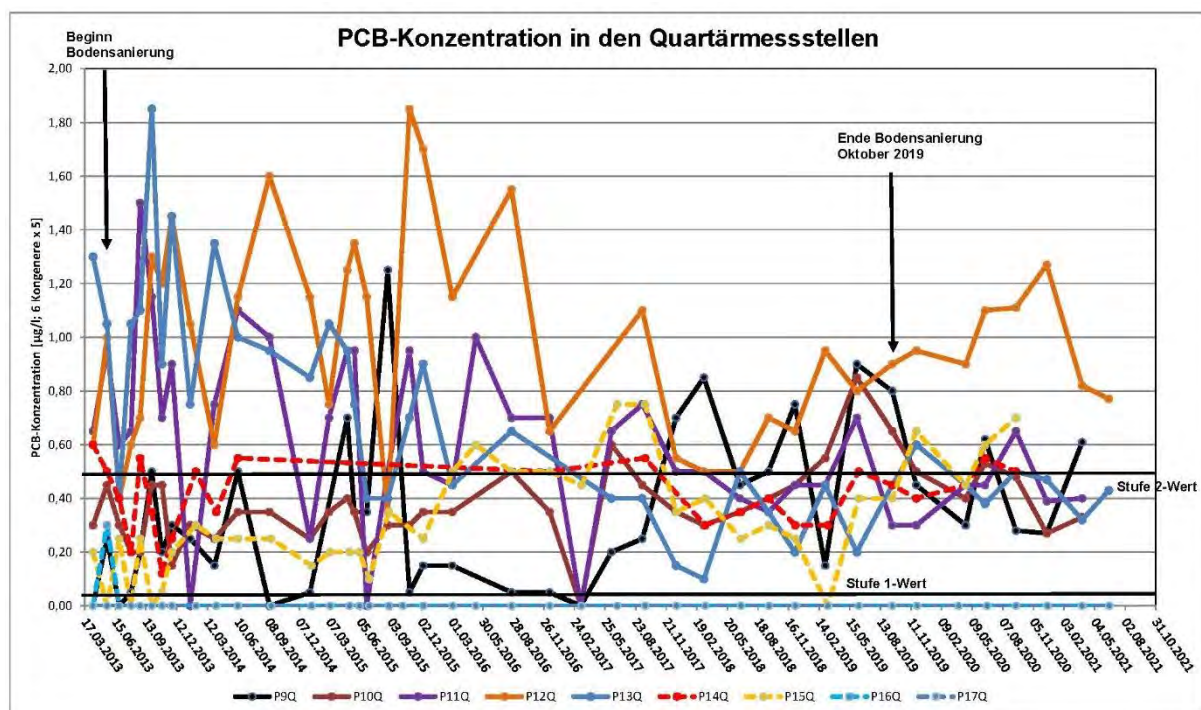


Abbildung 4: Ganglinien der PCB-Gehalte im quartären Grundwasserleiter

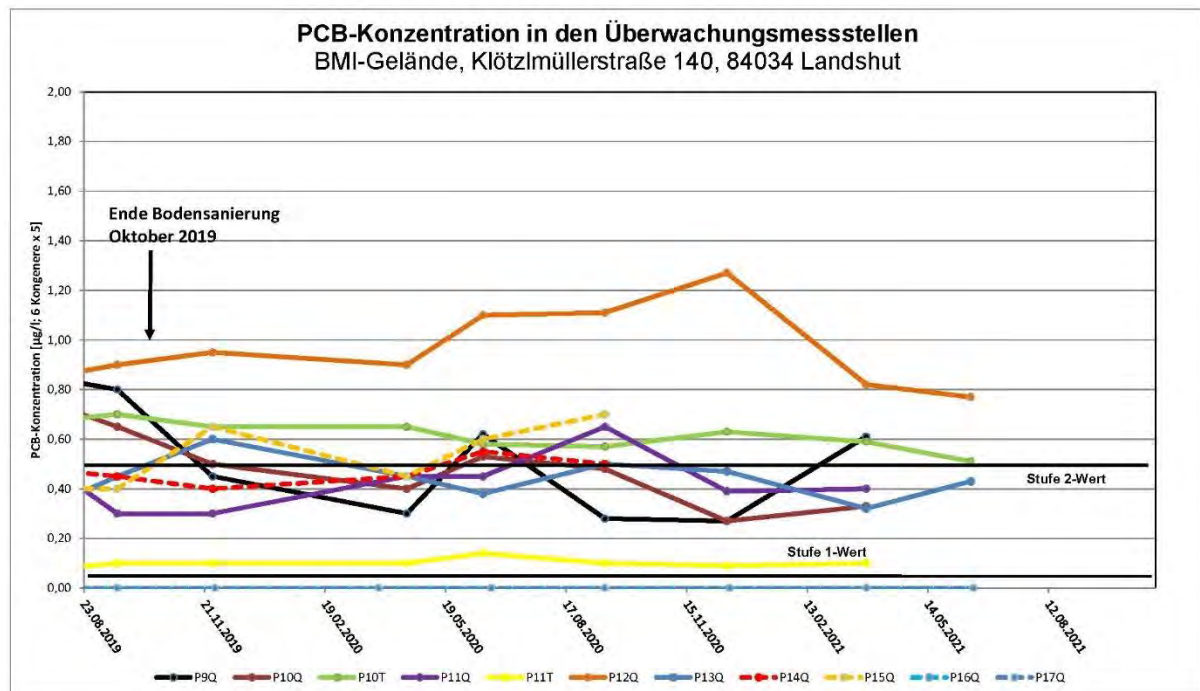


Abbildung 5: PCB-Gehalte im quartären Grundwasserleiter seit Ende der Bodensanierung

Die Messstellen P14Q und P15Q werden gegenwärtig 2-monatig von der *BGU GbR* beprobt und die Ergebnisse an die Stadt Landshut geschickt. Die Messwerte für März, Mai und Juli 2021 liegen uns nicht vor, weshalb sie in den Abbildungen 4 und 5 nicht dargestellt sind.

4.2.1.2 Immissionspumpversuch an Grundwassermessstelle P12Q

Die Messstelle P12Q wurde mit einer Förderrate von 2,22 Liter/sec abgepumpt. Das Pumpen mit 2,22 Liter/sec führte zu einer Absenkung von 0,084 m und zur Ausbildung von quasi-stationären Absenkungsverhältnissen. Das bedeutet, dass sich der Fassungsbereich nicht mehr weiter ausbreitet und die Zuströmung zum Entnahmebrunnen ein hydraulisches Gleichgewicht erreicht hat.

Das Reinwasser hinter dem Aktivkohlefilter wurde an zwei Terminen zum Anfang und zum Ende des Pumpversuchs beprobt und auf PCB untersucht. Es wurden zu Beginn 0,005 $\mu\text{g/l}$ und zum Ende ein Gehalt unter der Bestimmungsgrenze gemessen. Der Einleitgrenzwert für PCB von 1 $\mu\text{g/l}$ gemäß Entwässerungssatzung (/35/) wurden somit eingehalten (Laborberichte in Anhang D2).

Die Entwicklung der PCB-Konzentrationen im geförderten Grundwasser (Rohwasser) und des Austrags sind in der Abbildung 6 dargestellt.

Im Rohwasser wurde zu Beginn des Versuchs eine PCB-Konzentration von 0,34 $\mu\text{g/l}$ gemessen, die dann innerhalb von 48 Stunden auf einen Wert von 0,95 $\mu\text{g/l}$ anstieg. Danach ging die PCB-Konzentration des Rohwassers stetig zurück. Zum Ende des Pumpversuchs wurde eine PCB-Konzentration von 0,66 $\mu\text{g/l}$ gemessen. Während des Pumpversuchs wurden insgesamt 1,47 g PCB mit dem Grundwasser ausgetragen.

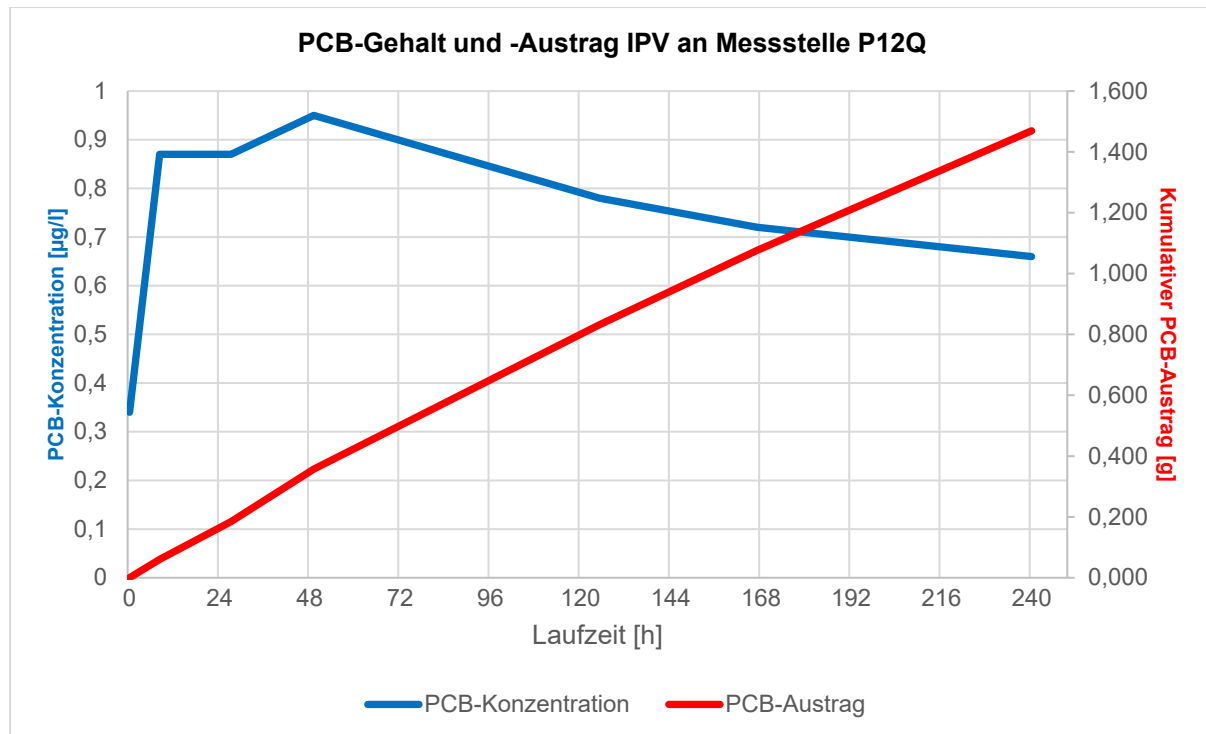


Abbildung 6: PCB-Konzentration und -Austrag Pumpversuch

Aus den Pumpversuchsdaten wurden die hydraulischen Kennwerte des quartären Grundwasserleiters sowie das Einzugsgebiet für den IPV ermittelt. Wie in der Abbildung 7 gezeigt, erfasste der IPV fast vollständig den ehemaligen Kernbereich der Belastung.

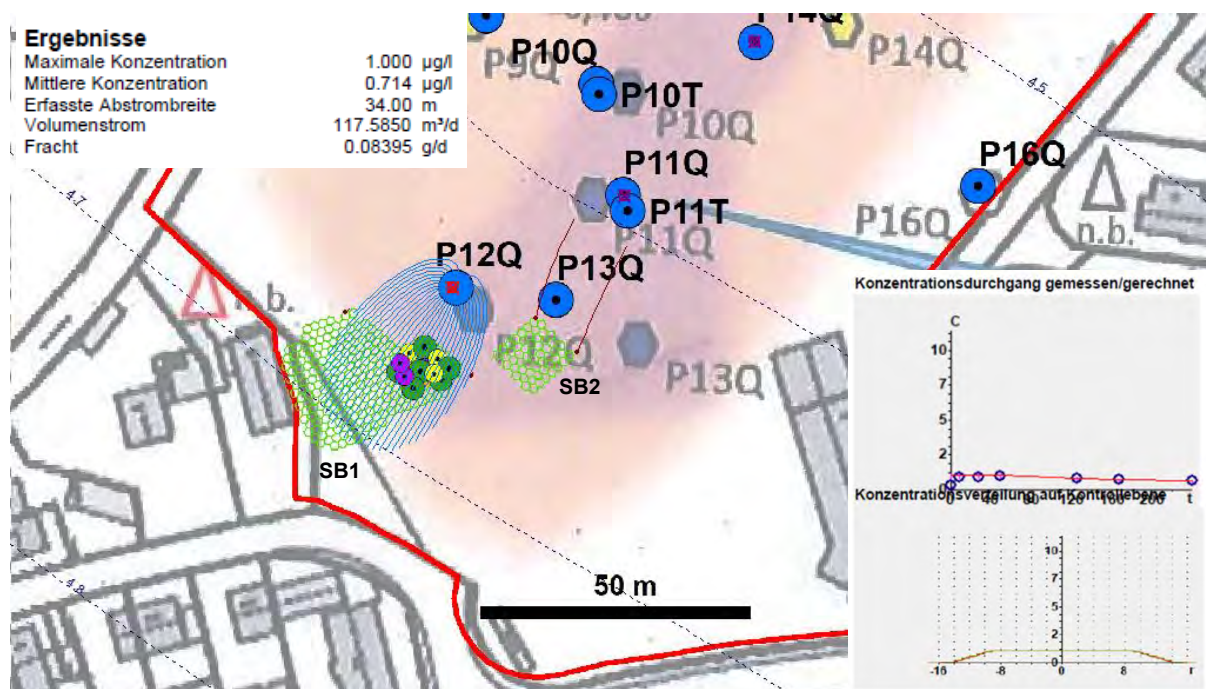


Abbildung 7: IPV an Messstelle P12Q: Ergebnisse der Auswertung mit C-Set

Die Transmissivität T wurde mit $0,027 \text{ m}^2/\text{s}$ ermittelt. Unter Ansatz einer Mächtigkeit von $4,5 \text{ m}$ ergibt sich der Durchlässigkeitsbeiwert k_f -Wert mit $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

k_f -Wert, Porosität (0,36) und hydraulischer Gradient (0,00115) sowie die gemessenen PCB-Konzentrationen gehen in die Berechnung mit C-Set ein.

Die Ergebnisse weisen eine maximale Fahnenkonzentration von 1 µg/l und bei einer erfassten Abstrombreite von 34 m eine mittlere Konzentration von 0,714 µg/l auf. Rückgerechnet auf natürliche Strömungsbedingungen, d.h. ohne Beeinflussung durch eine Grundwasserentnahme, strömen über die erfasste Entnahmebreite von 34 m etwa 118 m³/d Wasser ab. Die PCB-Fracht beträgt 0,084 g/d.

Fazit

Basierend auf dem Immissionspumpversuch lässt sich schlussfolgern, dass aus dem sanierten Bereich SB1 nur noch eine geringe PCB-Fracht von 0,084 g/d abströmt.

Die PCB-Quelle im Boden wurde bis auf einen kleinen Bereich mit einer geringen Restbelastung (s. Kapitel 4.1.1) vollständig entfernt. Hier werden PCB weiter langsam ausgetragen. Die PCB-Konzentrationen im Grundwasser als auch die PCB-Fracht werden im Abstrom des Sanierungsbereiches SB1 künftig immer weiter abnehmen. Es ist daher künftig nicht mit einer Verschlechterung der Situation im Grundwasser zu rechnen.

4.2.1.3 Auswertung der Bauwasserhaltung

Während der Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs und somit nördlich des BMI-Geländes zwischen 04.04. und 11.07.2019 wurde Grundwasser aus insgesamt 7 Schachtbrunnen gefördert und in 2 Absetzbecken und von dort in den Klötzlmühlbach geleitet.

Eine Prüfung der übermittelten Daten ergab folgendes:

- An das Absetzbecken West waren die 4 Brunnen BR1, BR2, BR6 und BR7, an das Absetzbecken Ost die 3 Brunnen BR3, BR4 und BR5 angeschlossen (s auch Abbildung 8).
- Analysiert wurden Wasserproben (Mischproben) aus den beiden Absetzbecken sowie Proben des aus den Brunnen BR4, BR5 und BR6 geförderten Wassers.
- Die geförderten Wassermengen sind jeweils für die beiden Absetzbecken bekannt, nicht jedoch für die einzelnen Brunnen.
- Der Ausbau der Brunnen, insbesondere die Tiefe, ist nicht bekannt.

Da die Datenlage lückenhaft ist, mussten zur Auswertung die folgenden vereinfachenden und nicht überprüfbaren Annahmen getroffen werden:

- Jeder Einzelbrunnen förderte 1/4 (Absetzbecken West) bzw. 1/3 (Absetzbecken Ost) der Wassermenge des jeweiligen Beckens.
- Die Wasserförderung erfolgte gleichmäßig über die gesamte Laufzeit der Bauwasserhaltung.

Mit den bekannten Informationen und den genannten Annahmen wurden die Fassungskbereiche für die Wasserentnahme in C-SET modelliert. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 gezeigt. Auf der Abbildung ist im Hintergrund durch die rötliche Schattierung auch die PCB-Fahne im Grundwasser auf Grundlage der Daten der Stadt Landshut abgebildet (/36/).

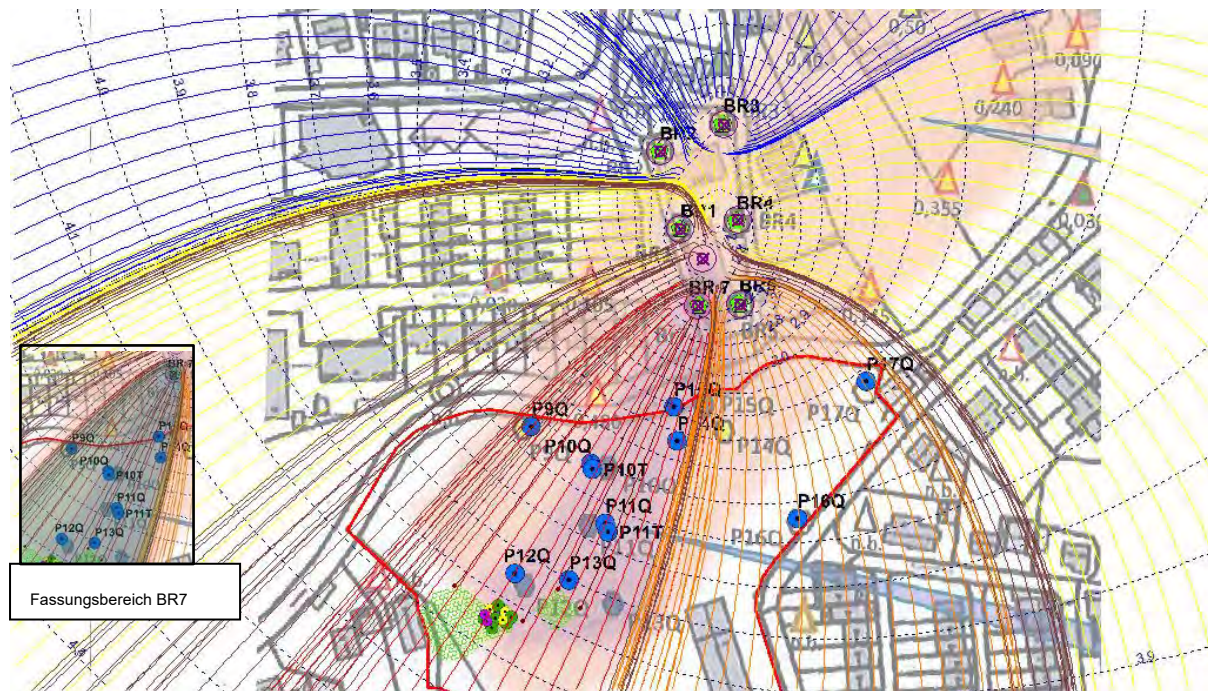


Abbildung 8: Modellierung der Fassungsbereiche für die Bauwasserhaltung.

Trotz der Unsicherheiten in der Datenlage, lässt die Modellierung erkennen, dass durch die sehr hohen Grundwasserentnahmen von im Mittel 440 m³/h oder 122 l/s das Grundwasser aus der gesamten Umgebung der Baustelle beigezogen wurde. Laut C-SET Simulation übersteigt die Fördermenge der Bauwasserbrunnen das Grundwasserdargebot des quartären Grundwasserleiters im Einzugsgebiet. Das heißt, dass während der Bauwasserhaltung auch Grundwasser aus dem Tertiär gefördert wurde.

Gemäß der Modellierung, erstreckt sich der Fassungsbereich des Brunnen BR7 im Südwesten des Baufeldes annähernd über den gesamten Bereich der ehemaligen Bodensanierungsfläche. Die PCB-Fahne im Abstrom der Sanierungsbereiche wurde durch die Brunnen BR3, BR4 und BR5 erfasst.

Die PCB-Konzentrationen in den 49 Wasserproben aus den Absetzbecken lagen unter dem Stufe-2-Wert.

Die drei Brunnen BR4, BR5 und BR7 wurden im Verlauf der Wasserhaltung und danach auch separat beprobt. Die Ganglinien der PCB-Konzentrationen in den drei Brunnen sind in der Abbildung 9 gezeigt.

Von BR4 liegen Ergebnisse von 19 Proben aus dem Zeitraum während der Wasserhaltung und von einer Probe, die nach Beendigung der Wasserhaltung entnommen wurde, vor. Die Werte variierten während der Wasserhaltung zwischen unter der Bestimmungsgrenze und 0,35 µg/l. Alle PCB-Konzentrationen lagen unter dem Stufe-2-Wert. Nach Beendigung der Bauwasserhaltung war im Wasser des BR4 eine PCB-Konzentration zwischen 0,25 µg/l und 0,30 µg/l gemessen worden.

Der Brunnen BR5 wurde insgesamt 63-mal während und nach der Wasserhaltung beprobt. Der Fassungsbereich von BR5 erstreckt sich in südliche Richtung und erfasst einen Teil der PCB-Fahne. Die Messwerte überschritten in vier von 63 Proben den Stufe-2-Wert mit einem Spitzenwert von 0,6 µg/l. Seit 2021 wird ein abnehmender Trend der PCB-Konzentrationen in BR5 beobachtet (Abbildung 9).

Der Brunnen BR7 wurde insgesamt 77-mal während und nach der Wasserhaltung beprobt. Da dieser Brunnen die PCB-Fahne erfasst, zeigten sich hier erwartungsgemäß die höchsten PCB-

Konzentrationen mit einem Spitzenwert von 0,8 µg/l. Seit 2021 setzte auch hier ein rückläufiger Trend der PCB-Konzentrationen ein und der Stufe-2-Wert ist unterschritten.

In allen drei Brunnen BR4, BR5 und BR7 lagen in 2021 die PCB-Konzentrationen unter dem Stufe-2-Wert.

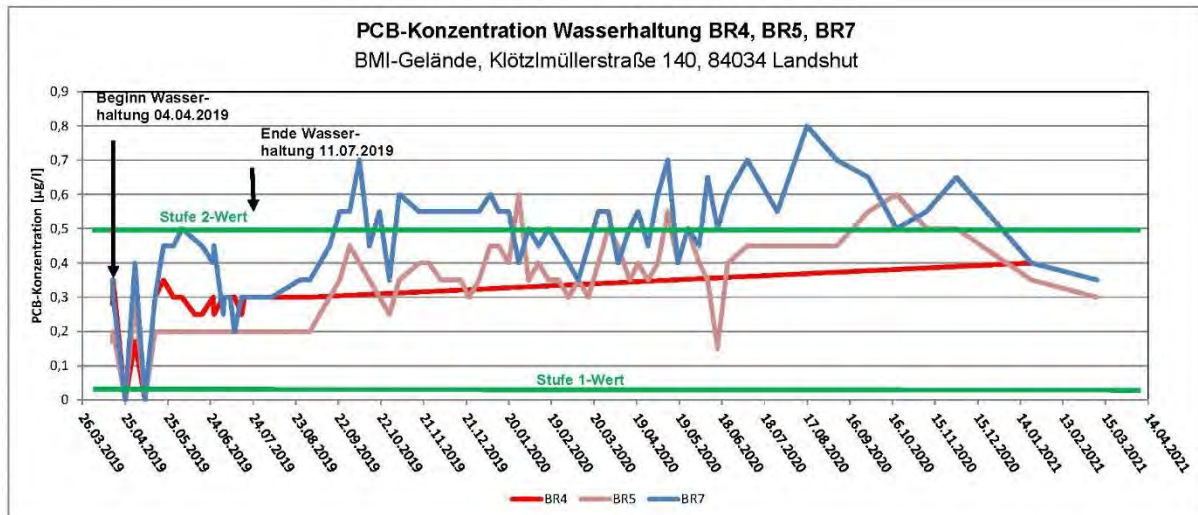


Abbildung 9: Bauwasserhaltung: PCB-Konzentrationen in BR4, BR5 und BR7

Unter der Annahme, dass alle Brunnen mit der gleichen Förderrate abgepumpt worden waren, ergibt sich für BR7 eine Fracht von 0,33 g/d. Diese Fracht erscheint im Vergleich zur Fracht von 0,08 g/d im Immissionspumpversuch an P12Q (Kapitel 4.2.1.2) und 0,085 g/d an P11Q, P14Q und P15Q (Kapitel 4.2.1.4) unplausibel hoch.

Die Frachtabschätzung in BR7 ist unter folgenden Vorbehalten zu sehen:

- PCB neigen zur sorptiven Bindung an Bodenpartikel der Schluff- und Tonfraktion. Durch die extrem hohen Förderraten muss von turbulenten Strömungsbedingungen im Umfeld der Brunnen ausgegangen werden. Hierdurch können an Feinkorn und Kolloide gebundene PCB-Verbindungen in die Brunnen gelangt sein. Wie später in Kapitel 4.2.2.3 gezeigt, können aufgrund turbulenter Strömung mitgerissene Partikel bei der analytischen Bestimmung im Labor zu Überbefunden für PCB führen. Trübungsmessungen des Wassers wurden nach unserer Kenntnis für die Proben aus der Bauwasserhaltung nicht durchgeführt.
- Die tatsächliche Förderrate an BR7 ist nicht bekannt. Es wurde wie vereinfacht angenommen, dass alle Brunnen zu gleichen Teilen an der Förderung beteiligt waren.

4.2.1.4 Auswertung der Pumpmaßnahme an den Grundwassermessstellen P11Q, P14Q, P15Q

Die drei Quartärmessstellen P11Q, P14Q und P15Q wurden über insgesamt 578 Tage mit einer Förderrate von jeweils rund 2,5 m³/h (0,7 l/s) bepumpt. Das geförderte Wasser wurde wöchentlich beprobt, so dass eine gute Datenbasis zur Frachtbetrachtung mittels C-SET vorliegt.

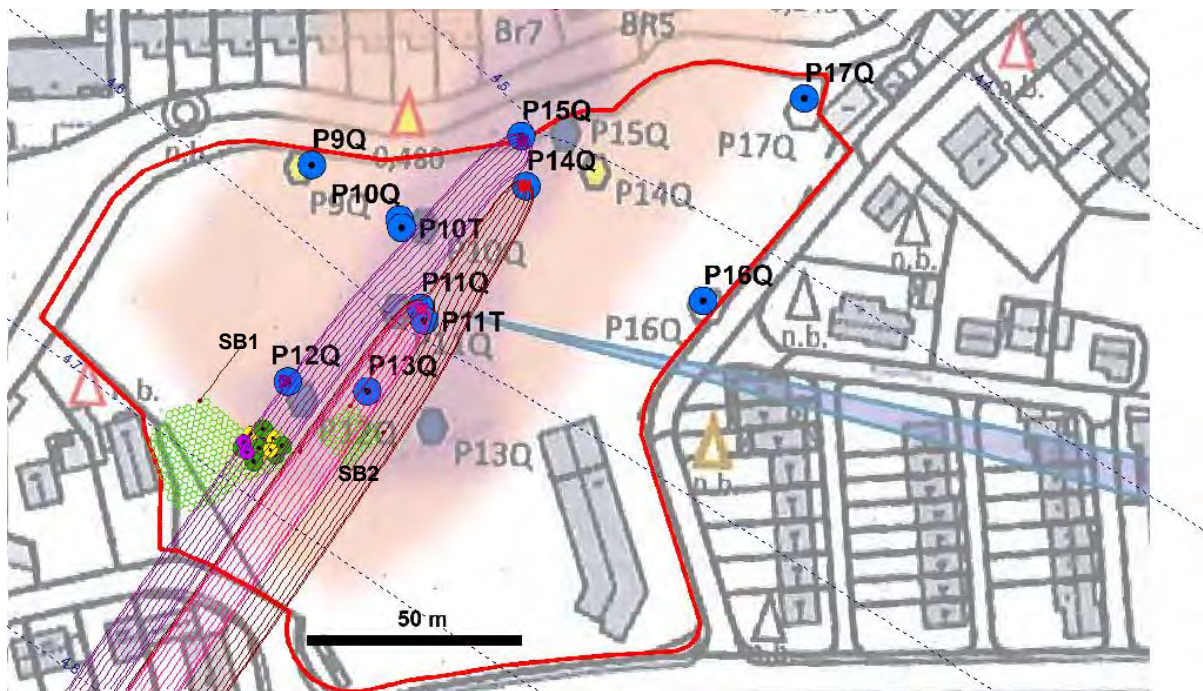


Abbildung 10: Modellierung des Einzugsgebiets von P11Q, P14Q und P15Q

In der Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Modellierung der Fassungsbereiche mittels C-SET gezeigt. Demnach grenzen die drei Fassungsbereiche aneinander an, bzw. umschließen die Fassungsbereiche von P15Q und P14Q den Fassungsbereich von P11Q. Die gesamte Fassungsbreite aller drei Brunnen beträgt ca. 40 m. Mit der Pumpmaßnahme wurde der Kernbereich der PCB-Fahne erfasst sowie der östliche Abstrom der ehemaligen Bodensanierungsbereiche SB1 und der Abstrom von Bodensanierungsbereich SB2 vollständig.

Die Ergebnisse der Berechnungen mit C-SET sind in Tabelle 3 aufgeführt. Da sich P11Q am nächsten zur ehemaligen Quelle im Sanierungsbereich SB2 befindet, weist er auch die höchste Fracht auf.

Tabelle 3: Ergebnisse der Auswertung mit C-SET

Parameter	P11Q	P14Q	P15Q	Summe
Max. Konzentration [µg/l]	0,91	0,50	0,38	
Mittlere Konzentration [µg/l]	0,75	0,50	0,33	
Volumenstrom [m³/Tag]	60,2	113,5	166,9	
PCB-Fracht [g/Tag]	0,045	0,011	0,029	0,085

Insgesamt decken die Einzugsbereiche den Kernbereich der PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter ab. Die PCB-Fracht beträgt in Summe 0,085 g/d, und liegt somit unter dem in Baden-Württemberg herangezogenen Beurteilungswert E_{\max} -Wert für PCB von 0,1 g/d /26/.

4.2.1.5 PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter durch die Stadt Landshut

Die Daten zur Fahnenenerkundung im Umfeld und besonders im Abstrom des BMI-Geländes durch die Stadt Landshut wurden zur Verfügung gestellt (/32/, /33/) (/36/) und sind in Anhang A5 dargestellt. Demnach wurde der Stufe-2-Wert nur in der aus BR7 gewonnenen Wasserprobe überschritten, aber in keinem der untersuchten Gartenbrunnen. In einem Fall (Liegenschaft Watzmannstr. 47) wurde der Stufe-2-Wert (0,5 µg/l) erreicht.

Die Abbildung 11 gibt die von der Stadt Landshut übermittelte Fahnenendarstellung wieder. Als Abgrenzungskriterium wurde hier der Stufe-1-Wert gewählt. Demnach erstreckt sich die PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter von der ehemaligen Quelle ausgehend in nordöstliche Richtung über eine Länge von ca. 350 m und eine Breite von 65 m.

Mit den Daten der Stadt Landshut ist die PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter im Abstrom der BMI-Liegenschaft sehr gut und hinreichend abgegrenzt. Aufgrund des hohen Alters der Belastung sowie der Tatsache, dass die primäre Schadstoffquelle im Boden auf der BMI-Liegenschaft nunmehr entfernt wurde, ist nicht mit einem progressiven Verhalten der Fahne zu rechnen.

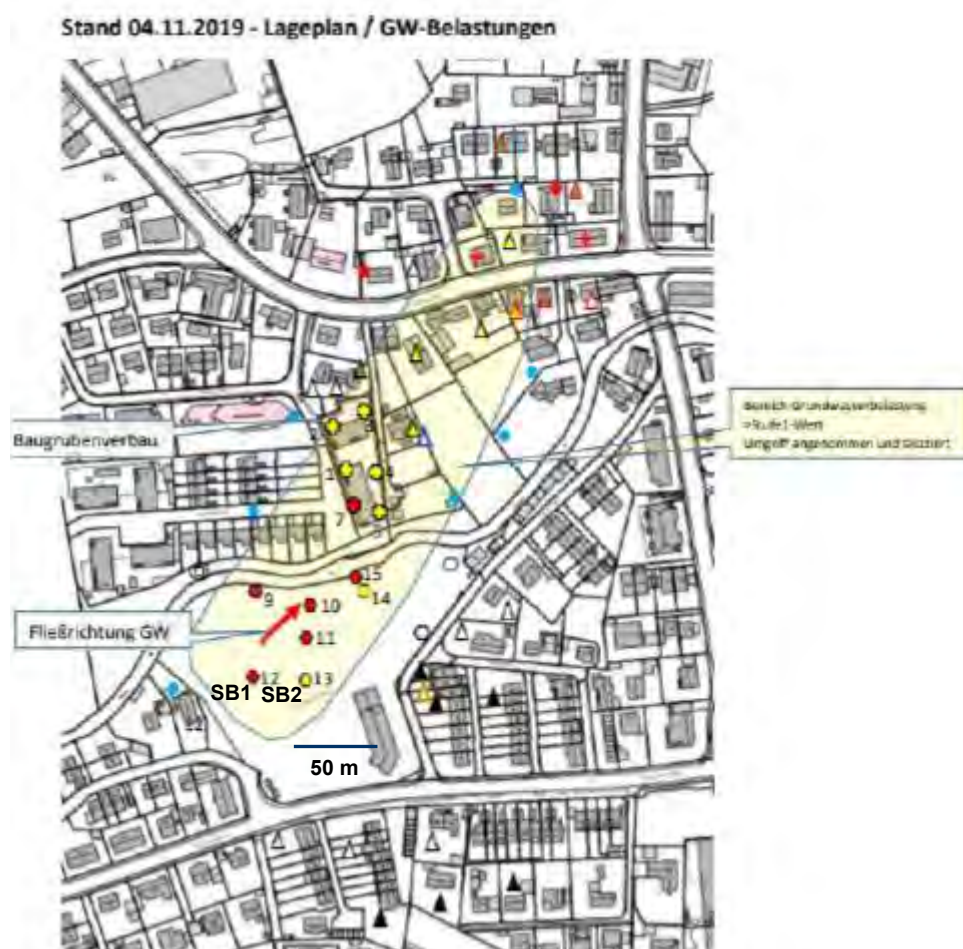


Abbildung 11: Abgrenzung der PCB-Fahne mit Werten über dem Stufe-1-Wert durch die Stadt Landshut (/36/). Karte ergänzt durch Markierung der Sanierungsbereiche SB1 und SB2.

4.2.2 Tertiärer Grundwasserleiter

4.2.2.1 Grundwasserüberwachung 2013 bis Juli 2021

In der Abbildung 12 sind die Ganglinien der PCB-Konzentrationen im tertiären Grundwasserleiter für die Tertiär-Messstellen P10T, P11T und P15T dargestellt. Die Messstelle P15T wurde im Juni 2021 errichtet und es liegen bisher erst 2 Messwerte vor. Zur Lage der Messstellen siehe Anhang A2.

Bei der Erstbeprobung (Nullbeprobung) im April 2013 vor dem Start der Bodensanierung lagen die PCB-Konzentrationen in der Messstellen P10T bei 0,35 µg/l und in der Messstelle P11T unter der Bestimmungsgrenze.

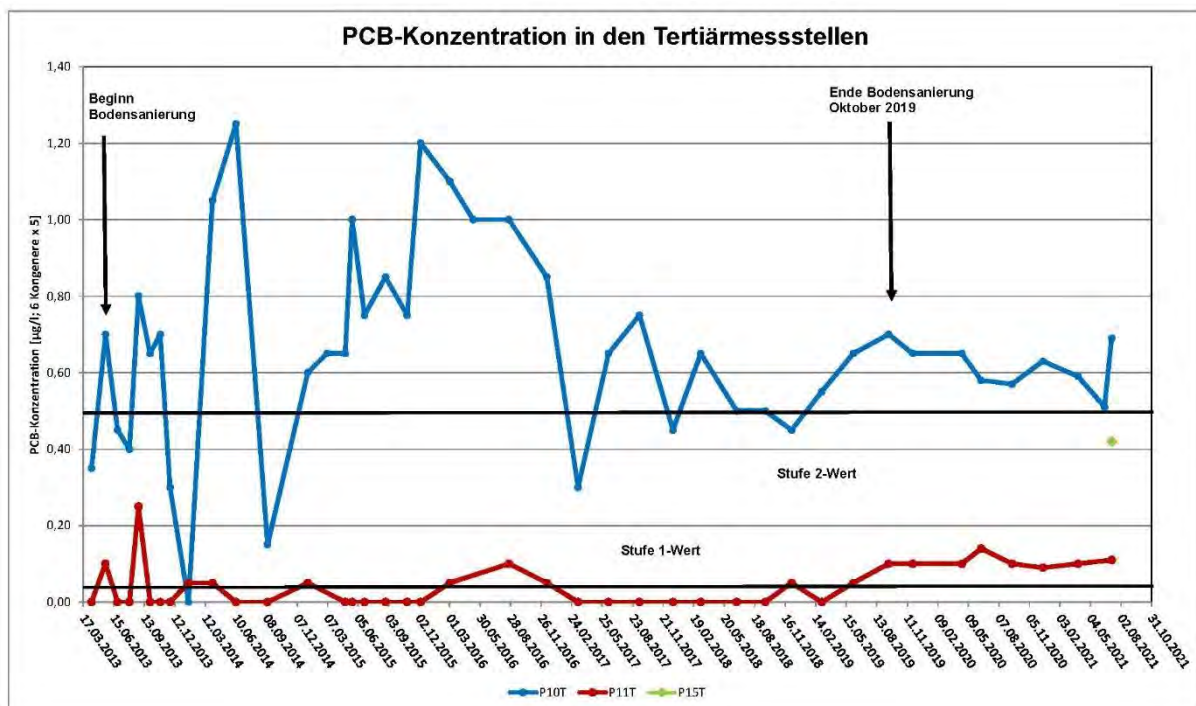


Abbildung 12: PCB-Gehalte im tertiären Aquifer.

Während der Bodensanierung zeigten sich in der Messstelle P10T stärkere Fluktuationen der PCB-Konzentrationen zwischen nicht bestimmbar und 1,25 µg/l. Augenscheinlich ist die Variationsbreite der PCB-Konzentrationen an dieser Messstelle um oder knapp oberhalb des Stufe-2-Wertes (Abbildung 12). Ähnlich wie im quartären Grundwasserleiter (s. Kapitel 4.2.1.1) nehmen in der Messstelle P10T die Schwankungsbreite der PCB-Konzentrationen ab 2017 deutlich ab und es stellt sich ein annähernd stabiles Konzentrationsniveau im Bereich zwischen 0,45 µg/l und 0,70 µg/l ein. Nach dem Ende der Bodensanierung im Oktober 2019 zeigte sich in P10T zunächst ein rückläufiger Trend zu 0,5 µg/l hin (Stufe-2-Werte). Im Juli 2021 wurde mit 0,69 µg/l wieder ein Wert am oberen Ende des Schwankungsbereichs gemessen. Insgesamt liegen die Messwerte nach wie vor in dem gleichen Konzentrationsbereich wie seit 2017 und mehrheitlich über dem Stufe-2-Wert.

An der Messstelle P11T blieben die PCB-Konzentration während des gesamten Sanierungszeitraums unter dem Stufe-2-Wert. Der höchste Messwert von 0,25 µg/l war zu Beginn der Sanierung zu messen. Ähnlich wie in P10T liegen in 2017 und 2018 die PCB-Konzentrationen auf einem stabilen niedrigen Niveau – hier sogar meist unter der Bestimmungsgrenze. Seit Ende der Boden-

sanierung werden wieder geringfügig höhere PCB-Konzentrationen zwischen unter der Bestimmungsgrenze und 0,14 µg/l gemessen. In der jüngsten Probe vom Juli 2021 wurden 0,11 µg/l gemessen. Insgesamt liegen die Messwerte deutlich unter dem Stufe-2-Wert.

Bei der neuen Messstelle P15T wurden bei der Erstbeprobung am 06. Juli 2021 eine PCB-Konzentration von 0,42 µg/l gemessen. In der Probe vom 22.06.2021 (Klarspülen der Messstelle) lag die PCB-Konzentration bei 0,19 µg/l.

4.2.2.2 Strömungsverhältnisse und PCB-Fracht im Tertiär

Wegen des Hochwassers konnten für die Stichtagsmessungen im Mai, Juni und Juli 2021 keine aussagekräftigen Grundwassergleichenspläne für den tertiären Grundwasserleiter ermittelt werden. Mit den im Juli gemessenen Wasserständen hätte sich eine Fließrichtung nach Süden ergeben, was in Anbetracht der regionalen Kenntnisse (/3/) unplausibel ist. Offenbar beeinflusste das Hochwasser die Verhältnisse im tertiären Grundwasserleiter derart, dass keine repräsentativen Verhältnisse vorherrschten. Für eine Frachtbetrachtung wurde daher auf die Angaben aus der regionalen hydrogeologischen Karte Bayerns (/3/) zurückgegriffen und die folgenden konservativen Annahmen getroffen:

- Die Grundwasserströmungsrichtung ist nach Ostnordost gerichtet (/3/);
- Der Gradient ist 0,0011 (/3/);
- Die Schadstofffahne hat an der abstromigen Grundstücksgrenze der BMI Liegenschaft eine vergleichbare Breite B von 65 m wie die Schadstofffahne im Quartär;
- Die Mächtigkeit M des Grundwasserleiters beträgt 31 m;
- Die durchschnittliche PCB-Konzentration c_{PCB} ist 0,4 µg/l (Mittelwert der Messungen Juli 2021);
- Der Durchlässigkeitsbeiwert beträgt $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s, gemäß Pumpversuch an P6 (s. Kap. 3.3.2.2)
- Die nutzbare Porosität ist 0,3.

Aus den o.g. Daten lässt sich die PCB-Fracht $E_{Tertiär}$ im tertiären Grundwasserleiter mit folgender Formel berechnen:

$$E_{Tertiär} = c_{PCB} \times k_f \times I \times A = 0,4 \mu \frac{g}{l} \times 0,0001 \frac{m}{s} \times 0,0011 \times 60m \times 32m = 0,008 \text{ g/d}$$

Im tertiären Grundwasserleiter strömen demnach etwa 0,008 g an PCB pro Tag an der abstromigen Grenze der BMI-Liegenschaft in Richtung Ostnordost ab.

Belastbare Daten über die Länge der Schadstofffahne im tertiären Grundwasserleiter sind nicht vorhanden. Jedoch ist im Vergleich zum quartären Grundwasserleiter die Durchlässigkeit um den Faktor 60 niedriger und die Fracht um den Faktor 10 geringer. Es ist daher naheliegend, dass die Fahnenlänge im tertiären Grundwasserleiter erheblich kürzer sein muss als die Länge von 350 m im Quartär (Kapitel 4.2.1.5).

Die Gesamtfracht liegt somit bei rund 0,093 g/d (0,085 g/d im Quartär und 0,008 g/d im Tertiär) und damit knapp unter dem in Baden-Württemberg herangezogenen Beurteilungswert E_{max} -Wert für PCB von 0,1 g/d (/26/).

4.2.2.3 Grundwasserbeprobung mittels Direct Push im Tertiär

Die aus den Direct Push Sondierungen gewonnenen Wasserproben sind methodisch bedingt sehr trübe. Das heißt, bei der Probenahme werden Schwebstoffe der Tonfraktion und kolloidale Partikel mit ausgetragen.

Gemäß LfU-Merkblatt 3.8/6 (/9/) wurde die Trübung im Labor an allen Wasserproben mit einem Nephelometer gemessen. Das Ergebnis wird als NTU (Nephelometric Turbidity Unit) angegeben.

Bei NTU-Werten >20 wurden die Wasserproben vor der PCB-Analyse mit einer Ultrazentrifuge Typ Sigma 8KS maximal 35 Minuten lang bei 9.600 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert. Hierbei werden Beschleunigungswerte von etwa 168.000 m*s⁻² erreicht.

Insgesamt wurden mittels Direct Push 14 Wasserproben entnommen. Da die Analysen der Direct Push Proben vergleichsweise deutlich höher waren als in den Grundwasserproben aus den Messstellen im Tertiär (siehe Kapitel 4.2.2.1), wurde an allen Proben nochmals eine Nachanalyse durchgeführt. Auch vor der Nachanalyse wurde nochmal eine Trübungsmessung durchgeführt. Die Ergebnisse der Erstanalysen und der Nachanalysen sind in Tabelle 4 aufgeführt. Für die Proben aus GWS1 bis GWS4 ist auffällig, dass sich die Trübungswerte zwischen der Erstanalysen und der Nachanalyse z.T. sehr deutlich unterscheiden. Dabei gibt es bei der Nachanalyse sowohl niedrigere Trübungswerte, was man erwarten würde, aber auch höhere Trübungswerte. Bei GWS5 lagen die Trübungswerte bei Erst- und Zweitanalysen in etwa auf dem gleichen Niveau.

Tabelle 4: Ergebnisse Grundwasserbeprobung Direct Push

Sondier- punkt	Proben- name	Entnahmetiefe [m unter Ursprungs- gelände]	PCB-Gehalt [µg/l] Erstanalysen	PCB-Gehalt [µg/l] Nachanalysen	Trübung [NTU] Erstanalysen	Trübung [NTU] Nachanalysen
GWS1	GWS1/3	11 – 12	0,70	0,36	891	312
	GWS1/2	14 – 15	0,85	0,40	947	845
	GWS1/1	17 – 18	12,7	8,70	12 ¹⁾	>1000
GWS2	GWS2/3	11 – 12	1,74	0,95	142	700
	GWS2/2	14 – 15	1,48	0,90	378	399
	GWS2/1	17 – 18	6,25	0,76	6 ¹⁾	28
GWS3	GWS3/3	11 – 12	3,32	2,63	905	841
	GWS3/2	14 – 15	10,9	6,21	254	222
	GWS3/1	17 – 18	6,76	4,00	687	224
GWS4	GWS4/2	11 - 12	1,09	0,71	209	909
	GWS4/1	15,3 – 16,3	0,40	0,34	20	62
GWS5	GWS5/3	11 – 12	0,12	0,41	902	855
	GWS5/2	14 – 15	0,13	0,07	841	895
	GWS5/1	17 – 18	0,09	0,12	709	815

¹⁾ Nicht zentrifugiert

Insgesamt zeigten sich PCB-Konzentrationen zwischen 0,09 µg/l und 12,7 µg/l, womit alle Ergebnisse oberhalb des Stufe-1-Wertes liegen. Zehn der 28 Analysen liegen zwischen dem Stufe-1- und dem Stufe-2-Wert und 18 Analysen liegen oberhalb des Stufe-2-Wertes. Generell lässt sich an den Messwerten aber für den tertiären Grundwasserleiter eine zur Tiefe hin abnehmende Tendenz der PCB-Konzentrationen feststellen.

Die PCB-Konzentrationen in den Direct-Push-Proben liegen im Allgemeinen deutlich über den PCB-Konzentrationen aus den Grundwassermessstellen des Tertiärs. Dieser Befund ist konsistent mit Ergebnissen aus anderen Projekten mit Messwerten aus Direct-Push-Sondierungen und konventionellen Messstellen. Dies ist damit zu erklären, dass die Direct-Push-Proben aus einem eng begrenzten und vergleichsweise kurzen Tiefenintervall entnommen werden und in der Regel Trübstoffe mitreißen, an denen Schadstoffe sorbiert sind. Dagegen liefern Pumpproben aus Grundwassermessstellen eine integrale Konzentration über den gesamten Filterbereich der Messstelle.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Direct-Push-Proben, dass im Grundwasser des tertiären Grundwasserleiters eine PCB-Belastung vorliegt. Die zur Tiefe hin abnehmenden PCB-Konzentrationen erscheinen plausibel vor dem Hintergrund des Eintragsmechanismus, nach dem die PCB im quartären Grundwasserleiter durch die Entnahme von Brauchwasser in den tertiären Grundwasserleiter gezogen wurden (/18/).

Für die abschließende Gefährdungsabschätzung für das Grundwasser im tertiären Grundwasserleiter sind aus o.g. Gründen die Konzentrationswerte aus den Probenahmen der drei Messstellen P10T, P11T und P15T heranzuziehen.

4.2.2.4 Ergebnisse früherer Untersuchungen von Messstellen und BMI-Betriebsbrunnen

Wie in Kapitel 3.3.2.5 erläutert, förderten früher drei Brunnen (B2, B3, B4) Brauchwasser aus dem tertiären Grundwasserleiter. Für den Zeitraum zwischen 1999 und 2012 liegen halbjährliche PCB-Analysen des geförderten Grundwassers vor. In 2013 waren die Brunnen rückgebaut worden.

Aus dem gleichen Zeitraum liegen Wasseranalysen von den Grundwassermessstellen P5a, P5b und P4 vor. Während P4 und P5a nur im Tertiär bis fast 34 m unter GOK verfiltert waren, war P5b nur im oberen Teil des tertiären Grundwasserleiters zwischen 13,7 und 18,7 m unter GOK verfiltert.

Die Lage der Brunnen und Messstellen geht aus dem Plan in Anhang A2 hervor. Die Sanierungsbereiche sind aus Anhang A3 ersichtlich.

In der Tabelle 5 sind die jährlichen Grundwasserentnahmen durch die BMI zwischen 2002 und 2012 aufgelistet, die uns per E-Mail von der BMI übermittelt wurden. B4 war mit zwei unterschiedlich leistungsfähigen Brunnenpumpen ausgerüstet („B4“ und „B4 klein“). Zu den Jahren davor liegen keine Daten vor. Laut BMI¹ soll die Entnahmemenge in den Jahren davor deutlich höher gewesen sein.

Tabelle 5: Grundwasserentnahme BMI 2002 - 2012

Jahr	B2 [m³]	B3 [m³]	B4 [m³]	B4 klein [m³]	B5 [m³]	Summe [m³]	Leistung [m³/h]
2002	3.521	69.331	179.770	31.200	0	283.822	32,4
2003	38.650	97.071	88.220	27.604	0	251.545	28,7
2004	50	135.884	198.590	44.094	1.497	380.115	43,3
2005	2.585	120.788	215.675	31.823	3.130	374.001	42,7
2006	3.180	72.834	106.764	12.028	3.640	198.446	22,7
2007	2.940	105.995	137.680	13.716	3.180	263.511	30,1
2008	3.055	191.661	150.303	37.073	3.290	385.382	43,9
2009	3.000	73.639	60.237	16.297	3.000	156.173	17,8
2010	3.030	53.990	53.406	4.258	3.030	117.714	13,4
2011	3.070	68.330	76.407	8.417	3.160	159.384	18,2
2012 ¹⁾	650	2.795	4.099	848	740	9.123	4,2

¹⁾ Januar - März

In Abbildung 13 sind die Ganglinien der PCB-Konzentrationen im Wasser der drei Betriebsbrunnen aufgetragen. Mit Ausnahme eines Ausreißers bei B3 lagen alle Werte durchgängig unter dem Stufe-2-Wert. Die PCB-Konzentrationen scheinen an B2 über die Zeit relativ konstant geblieben zu

¹ Mitteilung BMI (Herr Kreisel in Email an ERM (Herr Filzinger)).

sein. An Brunnen B3 sind die Konzentrationen ab 2006/ 2007 leicht angestiegen und an B4 leicht abgefallen. Dies ist möglicherweise auf den relativen Anstieg an der Gesamtförderrate von B3 gegenüber B4 zurückzuführen. Insgesamt lagen die PCB-Messwerte im Wasser aus den ehemaligen Betriebsbrunnen der BMI zwischen 1999 und 2012 stabil in einem Konzentrationsbereich unterhalb des Stufe-2-Wertes.

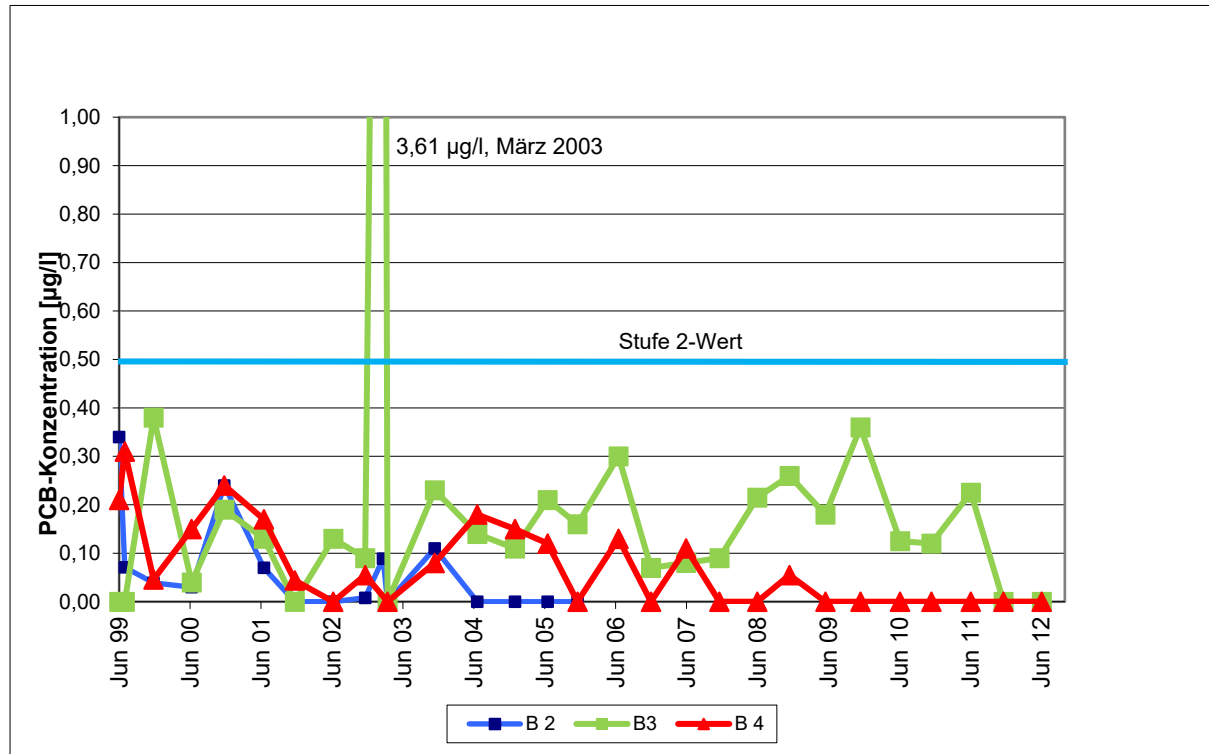


Abbildung 13: PCB-Konzentration in den BMI-Betriebsbrunnen

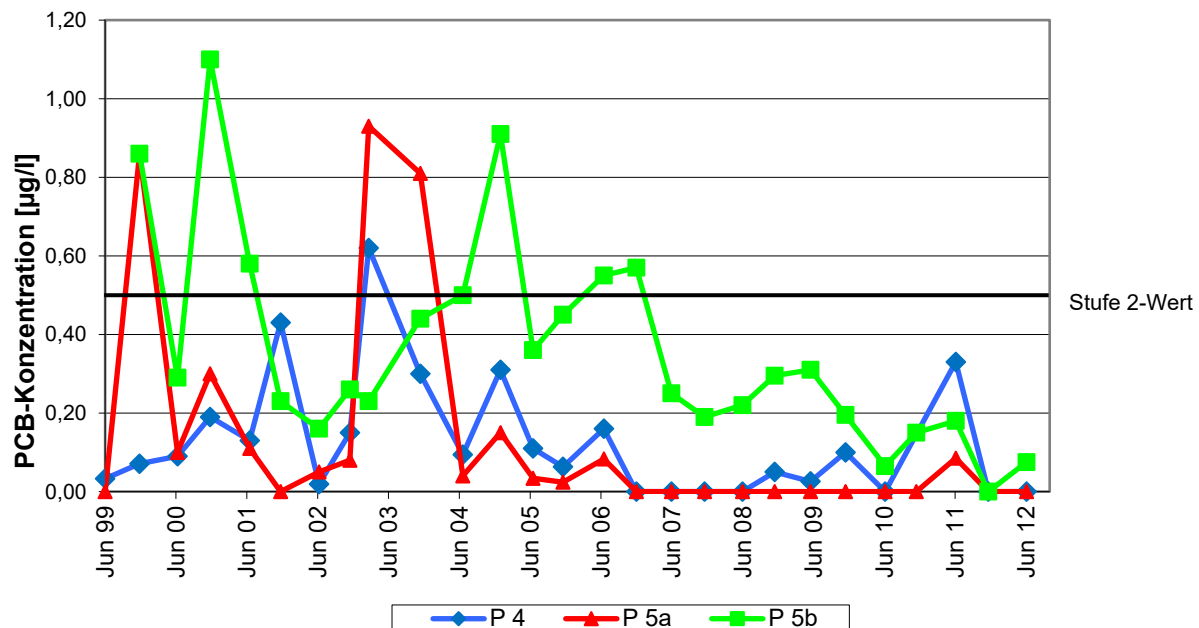


Abbildung 14: PCB-Konzentration in den rückgebauten Tertiärmessstellen

In der Abbildung 14 sind die Ganglinien der PCB-Konzentration von den früheren Tertiärmessstellen P4, P5a und P5b für den Zeitraum zwischen 1999 und 2012 aufgetragen. Die höchsten PCB-Konzentrationen bis über 1 µg/l waren an der Messstelle P5b gemessen worden. An den Messstellen P4 und P5a waren die Messwerte nur vereinzelt über denen von P5b. Nach 2006 zeigt die Entwicklung der PCB-Konzentrationen an allen Messstellen einen deutlichen Rückgang. Der Stufe-2-Wert wurde letztmalig im Jahr 2006 in P5b überschritten, bis zum Rückbau dieser Messstellen dann nicht mehr. Es gab daher zum damaligen Zeitpunkt (2012) kein Erfordernis für weitere Erkundungen des tertiären Grundwasserleiters oder andere Maßnahmen.

Wie aus der Anlage A2 hervorgeht, lagen die Messstellen P5a und P5b etwa auf halber Strecke zwischen dem ehemaligen PCB-Schadenszentrum im Boden und dem BMI-Betriebsbrunnen B4 errichtet wurden. Sie befanden sich gleichzeitig auch späteren Bodensanierungsbereich SB4. Die Messstelle P4 befand sich etwa mittig zwischen dem ehemaligen Schadenszentrum (spätere Bodensanierungsbereiche SB1 und SB2) und dem BMI-Betriebsbrunnen B2. Etwa 2006/2007 wurde das Förderregime der Betriebsbrunnen geändert. Der relative Anteil an der Gesamtförderung an B4 ging zurück, während der relative Anteil von B3 anstieg. Wie in Kapitel 2.2 erläutert, liegt zwischen dem quartären und dem tertiären Grundwasserleiter keine hydraulische Stockwerkstrennung vor. Bei einer kontinuierlichen Grundwasserentnahme aus dem tieferen tertiären Grundwasserleiter wird somit ein vertikaler hydraulischer Gradient aus dem quartären in den tertiären Grundwasserleiter erzeugt.

Die ehemaligen Tertiärmessstellen P5a, P5b und P4 liegen alle zwischen früheren Bodensanierungsbereichen und den Betriebswasserbrunnen. Die an diesen Messstellen gemessenen PCB-Konzentrationen gingen auf die Jahrzehnte andauernde Brauchwasserentnahme aus dem tertiären Grundwasserleiter zurück und wurden zudem durch das Förderregime der Brunnen beeinflusst.

4.2.2.5 Prognose der PCB-Konzentrationsentwicklung im tertiären Grundwasserleiter

Die primäre PCB-Quelle im Boden ist durch die Bodensanierung beseitigt worden. Momentan findet zudem keine Entnahme von Grundwasser aus dem tertiären Grundwasserleiter statt. Daher kommt es nicht mehr zur PCB-Verfrachtung vom quartären in den tertiären Grundwasserleiter.

Die Belastung im tertiären Grundwasserleiter muss räumlich an die Belastungen im quartären Grundwasserleiter gekoppelt sein, da die Belastung im Quartär ursprünglich als Schadstoffquelle fungiert hat. Die Fläche mit der verbliebenen Restbelastung im Boden (Überschreitungen des Sanierungszielwerts) ist nach erfolgter Bodensanierung allerdings nur klein, sie wird zu 25 m² (Restbelastungen um DP3) geschätzt. Die abströmende PCB-Fracht ist daher gering. PCB-Fracht und –Konzentration werden über die Zeit abnehmen und damit auch die Fahnenausdehnung. Über den Zeitrahmen lässt sich allerdings keine belastbare Prognose erstellen. Nach unserer Einschätzung wird dies mehrere Jahre bis Jahrzehnte dauern.

4.3 Verbleibende PCB-Restbelastungen

Wie aus dem Schlussbericht zur Bodensanierung (/18/) hervorgeht, wurden ca. 45.000 t Bodenmaterial ausgehoben und einer Verwertung oder Beseitigung zugeführt. Mit der Maßnahme wurden rund 1,1 Tonnen PCB-Verbindungen (rechnerisch: 1.105 kg) entfernt.

4.3.1 PCB-Restbelastung in Boden und Grundwasser auf der BMI-Liegenschaft

4.3.1.1 Restbelastung in den Sanierungsbereichen

Zur Abschätzung der nach der Bodensanierung noch verbliebenen Restmasse an PCB werden zunächst die Bereiche betrachtet, in denen die Sanierungszielwerte im Boden zwar erreicht wurden, aber die PCB-Konzentrationen noch über der Bestimmungsgrenze liegen. Mit Ausnahme eines kleinen Bereichs auf dem angrenzenden Grundstück Klötzlmüllerstraße 148 (Kapitel 4.1.3) sind auf dem BMI Grundstück PCB ausschließlich im Boden unterhalb des Referenzniveaus von 389,7 m ü. NN zu finden. Denn sämtlicher PCB-haltiger Boden oberhalb des Referenzniveaus ist entfernt worden.

Der Abschätzung für die verbliebene Masse der PCB-Restbelastungen im Boden liegen folgende konservative Annahmen zugrunde:

- Restmengen an PCB befinden sich noch unterhalb der Sanierungsbereiche SB1 und SB4.
- Für Sanierungsbereich SB1 erstreckt sich die Restbelastung über eine Fläche von 25 m x 20 m und eine Mächtigkeit von 0,5 m, woraus sich ein Volumen von 250 m³ ergibt. Diesem Volumen wird eine durchschnittliche Konzentration von 3 mg/kg PCB zugeordnet. An der Direct Push-Sondierung DP3, die im Sanierungsbereich SB1 liegt, wurden zwischen 7,0 m und 9,7 m u GOK PCB-Konzentrationen zwischen 0,85 mg/kg und 22,9 mg/kg gemessen (Kapitel 4.1.1). Zur Berücksichtigung dieser lokalen Belastung wird zur Massenabschätzung für den Sanierungsbereich SB1 zusätzlich für eine Fläche von 1 m x 5 m, mit einer Mächtigkeit von 5 m, d.h. einem Volumen von 25 m³, eine mittlere PCB-Konzentration von 15 mg/kg angesetzt.
- Für Sanierungsbereich SB4 erstreckt sich die Restbelastung über eine Fläche von 12 m x 5 m mit einer Mächtigkeit von 1 m, woraus sich ein Volumen von 60 m³ ergibt. Die durchschnittliche Konzentration an PCB beträgt 5 mg/kg.
- Die Dichte des Bodens beträgt 1.600 kg*m⁻³.

Unter Berücksichtigung der genannten Annahmen ergibt sich im Boden unterhalb des Referenzniveaus eine PCB-Masse von insgesamt 2,9 kg. Davon befinden sich rund 2/3 im Bereich SB4.

Bereich	Volumen [m³]	Restmasse [kg]
SB1	25 m x 20 m x 0,5 m = 250 m³	0,3
SB1 um DP3	1 m x 5 m x 5 m = 25 m³	0,6
SB4	12 m x 5 m x 1 m = 60 m³	2
	Summe	2,9 kg

4.3.1.2 Restbelastung im quartären Grundwasserleiter

In der Grundwasserfahne im Abstrom der Sanierungsbereiche werden PCB in gelöster Form nachgewiesen (Kapitel 4.2.1). Da PCB dazu neigen (/6/), sich per Sorption an Bodenpartikel bzw. Huminsäuren und Eisenoxide zu binden, kommen PCB nicht nur in gelöster Form vor, sondern auch in gebundener Form. In den Feststoffproben aus dem Bereich der Grundwasserfahne waren PCB nicht nachweisbar, bzw. unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,01 mg/kg (Kapitel 4.1.1, 4.1.2). Als konservativer Ansatz wird deshalb die halbe Bestimmungsgrenze (0,005 mg/kg) für die Abschätzung der sorbierten PCB-Masse angesetzt.

Eine erste Abschätzung der im Grundwasser gelösten PCB-Masse auf dem BMI-Gelände war bereits schon einmal in /18/ erfolgt und wird hier aktualisiert. Für die PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter auf dem BMI-Gelände wird eine Erstreckung über 110 m x 65 m mit einer Mächtigkeit von 6 m, bzw. Volumen von 42.900 m³ angesetzt. Bei einer Porosität von 0,36 (/18/) beträgt das Grundwasservolumen darin ca. 15.450 m³. Bei einer mittleren PCB-Konzentration von 0,47 µg/l (/18/), errechnet sich die gelöste Masse mit ca. 7,3 g PCB.

Die im Grundwasserleiter an Bodenpartikel sorbierte Masse lässt sich für das Volumen von 42.900 m³, einer Dichte von 1,600 kg/m³ und einer mittleren PCB-Konzentration von 0,005 µg/kg (halbe Bestimmungsgrenze) mit etwa 340 g abschätzen.

Insgesamt ergibt sich damit für die BMI-Liegenschaft im quartären Grundwasserleiter eine PCB-Restbelastung von rund 0,35 kg.

Im Grundwasser gelöste PCB-Masse	7 g
An Bodenpartikel sorbierte PCB-Masse	340 g
Summe	~ 350 g (0,35 kg)

4.3.2 PCB-Restbelastung an der Grundstücksgrenze zur Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

Die Abschätzung der Restbelastung auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 im Grenzbereich zum BMI-Gelände (Kapitel 4.1.3) basiert auf folgende Annahmen:

- Der durchschnittliche PCB-Gehalt im betrachteten Volumen liegt bei 4,3 mg/kg (arithmetischer Mittelwert aus 3 Bodenproben der Sondierung RKS4, Kapitel 4.1.3).
- Das Volumen der Restbelastung an der westlichen Grundstücksgrenze beträgt 9,6 m³ (8 m x 0,4 m x 3 m).
- Die Dichte des Bodens beträgt 1.600 kg*m⁻³.

Hieraus ergibt sich eine PCB-Masse von insgesamt 66 g bzw. 0,066 kg im Boden auf der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148.

4.3.3 PCB-Restbelastung im Tertiär

Die gelöste PCB-Masse im tertiären Grundwasserleiter lässt sich anhand verschiedener Annahmen orientierend abschätzen.

- Die gelöste PCB-Konzentration wird im Mittel mit 0,3 µg/l angesetzt. Dieser Wert basiert auf dem arithmetischen Mittel der PCB-Gehalte in den drei Tertiärmessstellen P10T, P11T und P15T seit dem Abschluss der Bodensanierung im Oktober 2019 (siehe Kapitel 4.2.2.1) und den Messwerten an den drei ehemaligen Betriebsbrunnen B2, B3 und B4 sowie den drei ehemaligen Tertiärmessstellen P4, P5a und P5b (siehe Kapitel 4.2.2.4).
- Der Perimeter der PCB-Fahne wird mit 110 m x 65 m dem der Fahne im quartären Grundwasserleiter gleichgesetzt.
- Die Mächtigkeit der PCB-Fahne wird mit der Mächtigkeit des tertiären Grundwasserleiters von 31 m gleichgesetzt.

Die Porosität wird mit 0,30 angesetzt. Daraus ergibt sich die im tertiären Grundwasserleiter gelöste PCB-Masse mit rund 20 g.

In die Abschätzung der innerhalb der gelösten Fahne an das Aquifermaterial sorbierten PCB-Masse fließen folgende Annahmen ein:

- Als Feststoffkonzentration wird ein Wert von 0,0025 mg/kg angenommen. Dies entspricht einem Viertel der Bestimmungsgrenze. Die tertiären Sedimente weisen augenscheinlich keine organischen Bestandteile auf und die Grundwasserkonzentrationen sind deutlich niedriger als im quartären Grundwasserleiter, weshalb die Annahme einer geringeren Feststoffbelastung gerechtfertigt ist.
- Die Feststoffbelastung wird den oberen 15 m der tertiären Sedimente zugeordnet und als gleichmäßig verteilt angenommen.
- Als Dichte wird für das Aquifermaterial ein Wert von 1.600 kg/m³ angenommen.

Damit ergibt sich für die tertiären Sedimente auf dem BMI-Gelände eine Restmasse von geschätzt etwa 430 g PCB.

Insgesamt lässt sich die PCB-Masse im tertiären Grundwasserleiter mit insgesamt rund 0,45 kg abschätzen.

Im Grundwasser gelöste PCB-Masse	20 g
An Bodenpartikel sorbierte PCB-Masse	430 g
Summe	~ 450 g (0,45 kg)

4.3.4 PCB-Restbelastung in der Fahne im Abstrom der BMI-Liegenschaft

Die PCB-Fahne im Abstrom nordöstlich der BMI-Liegenschaft nimmt nach den Daten der Stadt Landshut (Kapitel 4.2.1.5 und /36/) eine Fläche von ca. 15.750 m² ein. Bei einer Mächtigkeit des quartären Grundwasserleiters von rund 6 m und einer Porosität von 0,36 (/18/) sind damit ca. 34.000 m³ an Grundwasser mit PCB belastet. Setzt man für dieses Volumen eine mittlere PCB-Konzentration von 0,3 µg/l (Mittelwert aus Stufe-1- und Stufe-2-Wert) an, so lässt sich die darin gelöste PCB-Masse mit rund 10 g abschätzen.

Zur orientierenden Abschätzung der PCB-Masse im Feststoff im Fahnenbereich wird vereinfachend die konservative Annahme getroffen, dass die Feststoffbelastung des Bodens im gesamten Volumen der Grundwasserfahne gleichförmig mit PCB belastet ist. Als Höhe der Belastung wird

ein Viertel der Nachweisgrenze, also 0,0025 mg/kg, angenommen. Die Grundwasserfahne außerhalb des BMI-Geländes zeigt deutlich niedrigere PCB-Konzentrationen als auf der BMI-Liegenschaft, weshalb der Ansatz einer entsprechend geringeren Feststoffbelastung gerechtfertigt ist. Die Annahmen zum Volumen der Grundwasserfahne (34.000 m³) und der Dichte des Aquifermaterials (1.600 kg/m³) bleiben unverändert. Damit ergibt sich für die Fahne im Abstrom des BMI-Geländes eine sorbierte PCB-Masse von etwa 260 g.

Insgesamt liegt somit im Abstrom der BMI-Liegenschaft im quartären Grundwasserleiter überschlägig eine Restbelastung von 0,27 kg vor.

Im Grundwasser gelöste PCB-Masse	10 g
An Bodenpartikel sorbierte PCB-Masse	260 g
Summe	~ 270 g (0,27 kg)

4.4 Abbauverhalten von PCB

Die nachfolgende Zusammenfassung basiert auf folgender Literatur: /14/, /24/, /25/, /28/, /29/, /30/, /41/.

4.4.1 Allgemeine Eigenschaften von Polychlorierten Biphenylen (PCB)

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind chemische Verbindungen, bei denen zwischen 1 und 10 Chloratome an ein Biphenylmolekül gebunden sind (Positionen 2 bis 6 in Abbildung 15). Je nachdem, wo die Chloratome an das Biphenylmolekül gebunden sind, sind insgesamt 209 Kongenere möglich. In der Tabelle 6 sind beispielhaft für einige PCB chemisch-physikalische Daten aufgelistet /6/.

PCB weisen eine vergleichsweise geringe Wasserlöslichkeit auf, die im Allgemeinen mit der Abnahme der Chloratome zunimmt. Sie sind hydrophob und sorbieren bevorzugt an organischem Material. PCB weisen eine niedrige Flüchtigkeit auf. Sie sind auch bei höheren Temperaturen stabil, können aber durch Verbrennung zerstört werden. Durch diese Eigenschaften sind PCB im Allgemeinen in der Umwelt stabil oder persistent und in der Umwelt weit verbreitet. Der Abbau von PCB in der Umwelt ist verlangsamt oder verhindert.

Tabelle 6: Chemisch-physikalische Daten zu ausgewählten PCB /6/

	2,4,4' – Trichlor- biphenyl (41 % Chlor)	2,2,4,5,5' – Pentachlor- biphenyl (54 % Chlor)	2,2',3,4,4',5,5' - Heptachlorbiphenyl (63 % Chlor)	PCB Bandbreite von ... bis (19 bis 71 % Cl)
Wasserlöslichkeit [mg/l]	0,14	0,01	0,004	0,001 bis 6 mg/l
Oktanol-Wasser- Verteilungskoeffizient	740.000	2.500.000	5.000.000	Ca. 20.000 bis 150.000.000
Viskosität	Zähflüssig	Zähflüssig	Zähflüssig	
Adsorbierbarkeit an C _{org} (KOC)	-/-			
Wassergefährdungsklasse	3	3	3	3

Die Toxizität von PCB basiert auf der Anzahl der Chloratome und deren Position in der Molekularstruktur. Eine höhere Chlorierung erhöht die Toxizität. Wenn an den Positionen 2 und 6 keine Chloratome gebunden sind, ist das PCB toxischer. Die Stabilität in der Umwelt wird auch durch die Anzahl und Position der Chloratome gesteuert, wobei ein höherer Chlorierungsgrad das PCB in der Umwelt stabiler macht, jedoch sind die Chloratome in den Positionen 3, 4 und 5 in der Molekularstruktur leichter abspaltbar und zu ersetzen /41/.

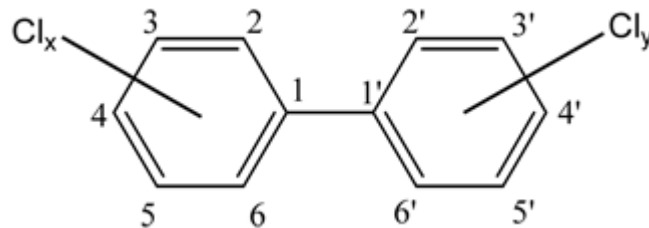


Abbildung 15: Strukturformel eines PCB-Moleküls ($C_{12}H_{10-x}Cl_x$)

4.4.2 Abbau von PCB

4.4.2.1 Biotischer Pfad

Der PCB-Abbau ist in erster Linie ein biologischer Prozess, der durch die Entfernung von Chloratomen aus dem Biphenylmolekül oder die vollständige Zerstörung des Biphenylmoleküls erfolgt. Bei PCB mit höherer Chlorierung geschieht dies durch anaerobe Dehalogenierung, Bei Kongeneren mit geringerer Chlorierung (3 oder weniger) kann der Abbau auch aerob erfolgen.

Der **anaerobe Abbau** erfolgt, wenn dehalogenierende Mikroorganismen Chloratome aus der Biphenylstruktur entfernen und durch Wasserstoffatome ersetzen. Die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, hängt von der Zusammensetzung der mikrobiellen Population sowie von der Position der Chloratome in der Molekülstruktur ab. Zum Beispiel entfernen die meisten Mikroorganismen bevorzugt Chloratome aus den Positionen 3, 4 und 5. Dies kann zu einer Anhäufung von PCB mit Chlor in den Positionen 2 und 6 führen, die als ortho-chlorierte Kongenere bekannt sind. Obwohl sie für Säugetiere weniger toxisch sind, können diese PCB-Kongenere für die mikrobielle Population toxischer sein und den weiteren Abbau hemmen. Da es jedoch eine große Vielfalt an Mikroorganismen gibt, die zur Dehalogenierung von PCB fähig sind, kann dies mit einem vielfältigen Konsortium von Mikroorganismen überwunden werden (/14/, /29/). Wenn nach dem anaeroben Abbau nur noch drei Chloratome übrig sind, kann der Abbau auch aerob erfolgen (s.u.).

Der **aerobe Abbau** von PCB in der Umwelt erfolgt durch Biphenyl-Co-Metabolismus. Dabei handelt es sich um einen 4-stufigen Prozess, bei dem spezifische Enzyme die verbleibenden Chloratome abspalten und die Biphenyl-Ringstruktur aufbrechen, wobei nicht-toxische Nebenprodukte zurückbleiben. Dieser Prozess kann jedoch im dritten Schritt durch die Bildung von 2,3-Dihydroxybiphenyl gehemmt werden, das für die mikrobielle Population, die es selbst erzeugt hat, toxisch ist (/14/). Eine Kombination aus aeroben und anaeroben Prozessen durch eine angepasste mikrobielle Population kann diese Einschränkung überwinden, aber insgesamt ist der Prozess langsam (/29/).

4.4.2.2 Abiotischer Pfad

Die abiotische Dehalogenierung von PCB ist kein in der Natur üblicher Prozess, sondern eine Sanierungsmethode, bei der die Behandlung mit nullwertigem Eisen oder in Kombination mit anderen Metallen Hydroxybiphenyle erzeugt, in welchen die Chloratome in der Biphenylstruktur ersetzt

sind. In der Atmosphäre können niedermolekulare PCB in wenigen Tagen durch OH-Radikale abgebaut werden.

PCB können auch durch Verbrennung zerstört werden. Bei nicht ausreichend hoher Verbrennungstemperatur besteht jedoch die Gefahr einer unvollständigen Zerstörung der PCB und der Bildung hochgiftiger polychlorierter Dibenzofurane (PCDF).

4.4.3 Fazit

In der gesichteten Literatur /14/, /24/, /25/, /28/, /29/, /30/, /41/ finden sich einige Studien zum Abbau von PCB. Darin wird auch die Hydroxylierung von PCB als ein möglicher Abbauprozess beschrieben. Insgesamt ergibt sich, dass die Abbauprozesse ein komplexes Zusammenspiel zwischen aeroben und anaeroben mikrobiellen Prozessen sind. Die resultierenden Zwischen- und Abbauprodukte werden als weniger bis höher toxisch als die Ausgangsprodukte beschrieben, die Beurteilung hängt jedoch auch vom betrachteten Rezeptor ab.

Im Schreiben der Stadt Landshut vom 22.04.2020 (/39/) wird auf die Möglichkeit des Vorhandenseins von PCB-Abbauprodukten in Boden und Grundwasser – insbesondere von hydroxylierten PCB-Metaboliten – hingewiesen. Insgesamt kommen wir jedoch zu dem Schluss, dass der PCB-Abbau nicht hinreichend erforscht und bekannt ist, um etwaige Zwischen- und Abbauprodukte in eine Gefährdungsbeurteilung sinnvoll mit einzubeziehen. Für die Berücksichtigung von Abbauprodukten fehlen zudem belastbare Stoffdaten und Beurteilungsgrundlagen. Hinzu kommt, dass der belastete Boden (Quellterm) am Standort bereits entfernt und entsorgt wurde.

Wir sind daher der Ansicht, dass sich die Gefährdungsbeurteilung nur auf die bekannten PCB-Kongenere stützen sollte.

5. BEWERTUNG DES ERFOLGES DER BODENSANIERUNG

Die in den vorangegangenen Unterkapiteln hergeleiteten PCB-Restbelastungen lassen sich wie folgt übersichtlich darstellen:

Tabelle 7: Übersicht der Restbelastungen mit PCB

Parameter	Schicht	Boden Ungesättigte Zone [g]	Boden Gesättigte Zone [g]	Gelöst im Grund- wasser [g]	Summe gerundet [g]
BMI-Liegenschaft	Quartär	entfernt	2.900 (Sanierungs- bereiche) 340 (Fahne)	- 7	2.900 350
BMI-Liegenschaft	Tertiär	n.v.	430	20	450
Grundstücksgrenze BMI / Klötzlmüller Str. 148	Quartär	66	k.B.	k.B.	70
Abstrom (Fahnen- bereich)	Quartär	k.B.	260	10	270
Abstrom (Fahnen- bereich)	Tertiär	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.
Summen (gerundet)		70	3.930	40	4.040

n.v. = nicht vorhanden oder vernachlässigbar

k.B. = keine Belastung nachweisbar

Aus den Daten der Restbelastung mit einer PCB-Masse von ca. 4 kg und unter Berücksichtigung der mittels Aushub entfernten PCB-Masse von 1.105 kg (über 1 Tonne) ergibt sich eine rechnerische Effizienz der Sanierung von rund 99,6 %.

Die Masse der im Grundwasser gelösten PCB-Verbindungen liegt insgesamt bei etwa 40 g gegenüber ca. 4 kg, die im Boden verblieben sind (gebunden an Feststoffpartikel).

Die Untersuchungen aus der Abschlussdokumentation /18/ in Ergänzung mit den in diesem Bericht beschriebenen Nacherkundungen im Quartär und Tertiär bestätigen, dass die Sanierungsziele des Sanierungsplanes für den Boden in hinreichenden Maß erfüllt sind.

Die Bodensanierung wird damit als erfolgreich abgeschlossen bewertet.

6. GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG FÜR PCB-RESTBELASTUNGEN

6.1 Zielstellung

Im vorliegenden Kapitel werden die in Kapitel 4 beschriebenen Erkenntnisse über die noch vorhandenen PCB-Restbelastungen bewertet. Dies erfolgt vor dem Hintergrund der maßgeblichen Gesetze und Verordnungen sowie des Merkblattes 3.8/1 des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft.

Ziel ist die abschließende Gefährdungsabschätzung für alle relevanten Wirkungspfade mit jeweiliger Schlussfolgerung, ob Maßnahmen nach § 2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig sind. Sofern Maßnahmen für notwendig erachtet werden, erfolgt in Kapitel 7 eine Auswahl und Bewertung von geeigneten Maßnahmen und Empfehlung einer Vorzugsvariante.

6.2 Beurteilungsgrundlagen

Maßgeblich für eine Bewertung von schädlichen Bodenveränderungen ist das BBodSchG vom 17. März 1998, das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist (/12/). Die BBodSchV (/13/) konkretisiert die Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Verdachtsflächen und altlastverdächtigen Flächen.

Im BBodSchG werden die Wirkungspfade Boden – Mensch, Boden – Nutzpflanze und Boden – Grundwasser definiert. Für diese Wirkungspfade werden in der BBodSchV, Anhang 2, Prüf- und Maßnahmenwerte vorgegeben.

Aus den Wirkungspfaden ergeben sich die nachgeordneten Wirkungspfade Grundwasser – Mensch und Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft/Gebäude – Mensch. Im vorliegenden Fall werden diese nachgeordneten Wirkungspfade im toxikologischen Gutachten /15/ bewertet und die Ergebnisse informationshalber mit angeführt.

Im Weiteren wird insbesondere der Wirkungspfad Boden – Grundwasser bewertet. Hierzu wird das Merkblatt Nr. 3.8/1 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (heute LfU) herangezogen /6/. Dieses Merkblatt gibt Hinweise für die Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfades Boden – Gewässer nach Bodenschutzrecht sowie für die Untersuchung und Bewertung von Gewässerverunreinigungen nach Wasserrecht. Es konkretisiert in fachlicher Hinsicht die Vorgaben des BBodSchG, der BBodSchV, des BayBodSchG und der BayBodSchVwV für den Wirkungspfad Boden – Gewässer sowie die Regelungen des Art. 68a BayWG für Gewässerverunreinigungen.

Tabelle 8: Übersicht der Beurteilungskriterien für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser

Beurteilungsgrundlagen für PCB für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser nach BBodSchV bzw. Merkblatt 3.8/1 /6/		
PCB, gesamt² Sickerwasser am Ort der Beurteilung (Abgeleitet aus Sickerwasserprognose)	0,05 µg/l	Prüfwert Die Prüfwerte und vorläufigen Prüfwerte (für Einzelstoff, siehe nächste Zeile) für Sickerwasser dienen zur Beurteilung von Altlasten und schädlichen Bodenveränderungen. Bei prognostizierten Konzentrationen unter dem Prüfwert am Ort der Beurteilung liegt derzeit grundsätzlich keine Altlast oder schädliche Bodenveränderung vor, d. h. sie haben die Funktion einer Geringfügigkeitsschwelle. Wird der Prüfwert am Ort der Beurteilung überschritten, so besteht der hinreichende Verdacht auf eine schädliche Bodenveränderung oder Altlast. In diesem Fall hat der Prüfwert auch die Funktion einer Erheblichkeitsschwelle.
PCB, Einzelstoff Sickerwasser am Ort der Beurteilung (Abgeleitet aus Sickerwasserprognose)	0,01 µg/l	Vorläufiger Prüfwert Für Parameter, die in der BBodSchV nicht enthalten sind, wurden die abgeleiteten Geringfügigkeitsschwellen als vorläufige Prüfwerte in das Merkblatt 3.8/1 übernommen. Die Bedeutung ist wie oben.
Grundwasser	PCB _{ges} 0,05 µg/l PCB _{Einzelstoff} 0,05 µg/l	Stufe-1-Wert , entsprechend der Regelung im Merkblatt 3.8/1 dem Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS) gleichgesetzt. Nach der Konzeption des Merkblattes 3.8/1 liegt bei der Überschreitung des Stufe-1-Wertes eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vor; i. d. R. sind Untersuchungs- und Bewertungsmaßnahmen erforderlich. Der Stufe-1-Wert hat den gleichen Zahlenwert wie der Prüfwert für Sickerwasser bzw. GFS.
Grundwasser	PCB _{ges} 0,5 µg/l PCB _{Einzelstoff} 0,1 µg/l	Stufe-2-Wert. Nach der Konzeption des Merkblattes 3.8/1 sind bei Überschreitung des Stufe-2-Wertes in der Regel Sanierungsmaßnahmen erforderlich.
Grundwasser	E _{MAX-PCB} 0,1 g/d	E_{max} (Maximale Schadstoff-Emission bzw. –Fracht) /26/ Da das LfU-Merkblatt für die Beurteilung der Fracht keine konkreten Angaben macht, wird hilfsweise das Frachtkriterium E _{max} aus Baden-Württemberg /26/ herangezogen. Das Kriterium E _{max} hat die Bedeutung einer Erheblichkeitsschwelle für die Schadstofffracht. Es kann insbesondere dann zur vertiefenden Beurteilung herangezogen werden, wenn Überschreitungen von Konzentrationskriterien nur lokal begrenzt oder vorübergehend auftreten

² Ist die Summe der 6 PCB-Kongeneren größer als der Prüfwert, so ist der PCB-Typ (techn. Produkt) und die Menge nach DIN 38407-3-2 bzw. -3-3 zu bestimmen.

6.3 Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148

6.3.1 Wirkungspfad Boden - Grundwasser

Von einer Bodenprobe, die aus dem Übergangsbereich von der ungesättigten zur wassergesättigten Bodenzone entnommen wurde, ist eine Eluatanalyse durchgeführt worden. Im Eluat wurde eine PCB-Konzentration von 1,15 µg/l gemessen, die über dem Prüfwert (0,05 µg/l) und dem Stufe-2-Wert (0,5 µg/l) liegt.

Da die Probe aus dem Bereich des Orts der Beurteilung entnommen wurde, gibt sie einen ersten Hinweis auf das Vorliegen einer erheblichen Grundwasserbelastung.

Zur anschließenden Beurteilung ist im konkreten Fall auch die PCB-Fracht sowie das Schadstoffpotenzial, d.h. das konkretes Nachlieferungs- bzw. Mobilisierungspotenzial zu berücksichtigen.

Die Fläche des Bereichs mit PCB-Restbelastungen an der westlichen Grundstücksgrenze zur BMI beträgt etwa 3,2 m² (Abbildung 3). Laut /2/ lag die Grundwasserneubildungsrate in Niederbayern im Zeitraum 1971 bis 2000 bei bis zu 186,4 mm pro Jahr und im Zeitraum 2015 bis 2019 bei bis zu 132,6 mm pro Jahr.

Für eine Überschlagsrechnung wurde konservativ die höhere Neubildungsrate von 186,4 mm pro Jahr angenommen. Bei einer Fläche von 3,2 m² ergibt sich so eine versickernde Wassermenge von 596 Liter pro Jahr.

Unter der Annahme, dass die Eluatanalyse (1,15 µg PCB pro Liter) repräsentativ für die PCB-Konzentration im Sickerwasser am Ort der Beurteilung ist, lässt sich überschlägig ableiten, dass über versickerte Niederschlagswässer etwa 685 µg PCB pro Jahr (oder $1,9 \cdot 10^{-6}$ g/d) aus dieser Restbelastung in den quartären Grundwasserleiter gelangen können. Diese Fracht ist gegenüber der PCB-Gesamtfracht im quartären Grundwasserleiter (ca. 0,09 g/d, Kapitel 4.2.1) um mehr als vier Größenordnungen niedriger und daher vernachlässigbar.

Der Belastungsbereich wird auf einer wirksamen Breite von etwa 4 m durchströmt, da der Belastungsbereich gegen die Grundwasserströmungsrichtung um mehr als 45° geneigt ist. Durch die Einmischung in den Grundwasserleiter ergäbe sich unter Annahme einer 1 m mächtigen Mischungszone bei 4 m wirksamer Breite eine resultierende Grundwasserkonzentration von 0,00061 µg/l. Dies liegt deutlich unter dem Geringfügigkeitsschwellenwert für PCB von 0,01 µg/l.

Trotz Überschreitung des Stufe-2-Wertes im Eluat ist aufgrund der Kleinräumigkeit der Restbelastung (ca. 0,4 m x 8 m x 3 m), der vernachlässigbar geringen Fracht und der sehr geringen resultierenden Grundwasserkonzentration, die unter dem Geringfügigkeitsschwellenwert liegt, nicht von einer Grundwassergefährdung durch diese Restbelastung auszugehen. Folglich sind für die Restbelastung an PCB im Boden der Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 keine Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich des Schutzgutes Grundwasser notwendig.

6.3.2 Wirkungspfad Boden - Mensch

Auf dem Nachbargrundstück Klötzlmüllerstraße 148 wurde der Wirkungspfad Boden – Mensch bereits 2007 untersucht (/16/). Die folgende Aussage wurde im Bericht /16/ getroffen: „...*Bedingt durch die gemessenen, geringen PCB-Gehalte selbst in größtmöglicher Nähe zum Belastungsbereich auf dem BMI-Gelände sieht ERM keinerlei Veranlassung für weitere Maßnahmen auf der Liegenschaft BEER in der Klötzlmüllerstraße 148...*“. Der Prüfwert für Wohngebiete wurde bei dieser Untersuchung nicht überschritten. Die Untersuchungen in 2020 geben keinen Anlass zu einer Änderung der Aussage in /16/.

Sollte der Bereich mit Restbelastungen im Boden an der Grundstücksgrenze zwischen Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 und BMI-Gelände im Zuge von künftigen Baumaßnahmen zugänglich sein, ist aus Vorsorgegründen eine Entfernung mittels Aushub zu empfehlen.

6.4 BMI-Liegenschaft und Bereich der PCB-Fahne

6.4.1 Wirkungspfad Boden - Mensch

Im Rahmen der Sanierungsarbeiten wurde die Geländeoberfläche des BMI-Geländes vollflächig um etwa 3 m tiefer gelegt. Im Rahmen der geplanten Baumaßnahmen soll das Gelände dann wieder mit 3 m unbelastetem Bodenmaterial aufgefüllt werden. Ein direkter Kontakt mit der dann ab 3 m Tiefe verbliebenen Restbelastungen (Kapitel 4.1.1) ist deshalb für die geplante Nutzung als Wohnbebauung nicht möglich.

Während der geplanten Bauarbeiten werden Bauarbeiter im Bereich der Baugrubensohle mit Arbeiten zum Bau und zur Gründung von Gebäuden beschäftigt sein. Zu den geplanten Bauarbeiten macht das vorliegende humantoxikologische Gutachten /15/ die folgende Aussage: „...Für zukünftige Bauarbeiter in der Baugrube sind die PCB-Belastungen des gesättigten Bodens und des Grundwassers nicht von Bedeutung; dies gilt auch für PCB-Ausgasungen aus dem Grundwasser. Eine messtechnische Überwachung der PCB ist nicht erforderlich. Aus Vorsorgegründen wird herkömmliche Schutzkleidung (Handschuhe, Stiefel) empfohlen...“ (/15/, S. 44).

Die oberflächennahe Bodenbelastung war bis zur Sanierung nur für die BMI-Liegenschaft relevant. Außerhalb des BMI-Geländes liegt keine oberflächennahe Bodenbelastung vor. Insgesamt ist der Wirkungspfad Boden-Mensch nicht relevant.

6.4.2 Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze

Auf dem BMI-Gelände werden derzeit keine Nutzpflanzen angebaut. Im aktuellen Zustand ist dieser Wirkungspfad deshalb nicht relevant.

Die künftige Nutzung als Wohnbebauung beinhaltet möglicherweise auch die Nutzung von Teilflächen als Kleingärten. Wie bereits in vorherigen Abschnitt 6.4.1 ausgeführt, wird das Gelände für die Nutzung mit Wohnbebauung mit etwa 3 Meter mächtigem, unbelastetem Bodenmaterial aufgefüllt. Für die übliche Vegetation in Kleingärten ist somit sichergestellt, dass die Wurzeln nicht bis in Bereiche mit potenziell belastetem Bodenmaterial gelangen.

Abschließend ist für den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze keine Gefährdung zu konstatieren, eine weitere Betrachtung ist nicht notwendig.

6.4.3 Wirkungspfad Boden - Grundwasser

Der Wirkungspfad Boden – Grundwasser sowie seine nachgeordneten Wirkungspfade werden nachfolgend behandelt. Nachgeordnete Wirkungspfade sind:

- Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Mensch: Nutzung von Grundwasser, z.B. zum Bewässern von Gärten, zum Befüllen von Swimmingpools oder zum Tränken von Haustieren.
- Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer.
- Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft / Gebäude - Mensch.

6.4.3.1 Boden - Grundwasser

Frühere Bodenbelastungen mit PCB haben durch Auswaschung mit dem Sickerwasser zu einer Belastung des Grundwassers mit PCB-Verbindungen geführt. Nach erfolgter Bodensanierung sind noch Restbelastungen im Boden und im Grundwasser des quartären und des tertiären Grundwasserleiters verblieben.

Quartärer Grundwasserleiter

Die Grundwasserkonzentrationen im quartären Grundwasserleiter überschreiten auf dem BMI-Gelände nach wie vor in weiten Bereichen den Stufe-1-Wert und teilweise den Stufe-2-Wert. Auch wenn die PCB-Konzentrationen insgesamt einen abnehmenden Trend in Richtung des

Stufe-1-Wertes zeigen, liegt im quartären Grundwasserleiter eine nach wie vor erhebliche Grundwasserverunreinigung vor.

Zur weiteren Beurteilung der Grundwasserverunreinigung im Quartär wurden Frachtbetrachtungen durchgeführt. Es ergaben sich Frachten zwischen 0,084 g/d (Kapitel 4.2.1.2) und 0,085 g/d (4.2.1.4), die von den ehemaligen Sanierungsbereichen abströmen.

Zur Einordnung der Frachten kann hilfsweise der sog. E_{\max} -Wert aus Baden-Württemberg (/26/) herangezogen werden. Ist der E_{\max} -Wert überschritten, kann von einer erheblichen Fracht gesprochen werden, während bei Unterschreitung eine geringe Schadstofffracht vorliegt. Für PCB liegt der E_{\max} -Wert bei 0,1 g/Tag, weshalb die ermittelten Frachten im konkreten Fall als gering einzustufen wären.

Die PCB-Quellen im Boden wurden bis auf einige Restbelastungen (s. Kapitel 4.1.1) vollständig entfernt. Daher ist davon auszugehen, dass sowohl die PCB-Konzentrationen im Grundwasser als auch die PCB-Fracht im Abstrom der Sanierungsbereiche künftig abnehmen werden.

Dies wird durch die Ergebnisse der Grundwasserüberwachung angezeigt. Die Messwerte nehmen insgesamt ab. Die im Untergrund verbliebenen PCB-Restbelastungen (s. Kapitel 4.1.1) führt künftig nicht zu einer Verschlechterung der Situation im Grundwasser, sondern die Fahne wird sich langfristig verkleinern.

Tertiärer Grundwasserleiter

Die Ausführungen in Kapitel 4.2.2 zeigen, dass im tertiären Grundwasserleiter eine Überschreitung des Stufe-1-Wertes für PCB vorliegt. Zur vertiefenden Beurteilung wurde auch hier eine Frachtbetrachtung durchgeführt. Im tertiären Grundwasserleiter strömen etwa 0,008 g an PCB pro Tag an der von der BMI-Liegenschaft in Richtung Ostnordost ab. Die im tertiären Grundwasserleiter abströmende Fracht beträgt nur etwa 10 % der Fracht, die im quartären Grundwasserleiter abströmt. Sie liegt etwa um den Faktor 100 unterhalb des baden-württembergischen Frachtkriteriums für eine erhebliche Fracht.

Weiterhin ist die im Tertiär verbliebene PCB-Restmasse zu berücksichtigen. Wie in Kapitel 4.3.3 ausgeführt, waren die Feststoffwerte der Proben aus dem Tertiär unauffällig. Die gelöste Restmasse war mit rund 20 g abgeschätzt worden. Im Vergleich zu der geschätzten Gesamtsumme an verbliebenen PCB von ca. 3 kg, erscheint die PCB-Masse im Tertiär vernachlässigbar gering. Allerdings ist zu beachten, dass PCB auch weiterhin vom Quartär in das Tertiär über Grundwasserentnahmen im Tertiär verfrachtet werden könnten. Nach Kenntnislage findet jedoch aktuell keine Grundwasserentnahme aus dem Tertiär statt.

Die Länge der Schadstofffahne im tertiären Grundwasserleiter ist nicht bekannt. Im tertiären Grundwasserleiter ist die hydraulische Durchlässigkeit etwa um den Faktor 60 geringer als im quartären Grundwasserleiter und die Fracht ist um den Faktor 10 kleiner. Dies erlaubt die Schlussfolgerung, dass die Länge der Fahne im Tertiär erheblich kürzer als die 350 m ist, über die sich im quartären Grundwasserleiter erstreckt (Kapitel 4.2.1.5).

Gesamtbeurteilung

Insgesamt ist festzustellen, dass im quartären Grundwasserleiter auf dem BMI-Gelände bezüglich PCB mit Konzentrationswerten über dem Stufe-1-Wert eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vorliegt. Diese dürfte noch über Jahre bis Jahrzehnte bestehen bleiben, trotz der rückläufigen Trends. Die PCB-Fracht, die vom BMI-Gelände im quartären Grundwasser abströmt, ist unter Zugrundelegung der in Baden-Württemberg entwickelten Bewertungskriterien als gering zu bezeichnen. Aufgrund der Grundwasserkonzentrationen über dem Stufe-1-Wert ist zu prüfen, inwieweit Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig, geeignet und verhältnismäßig sind.

Für das Grundwasser im Tertiär ist aufgrund der Konzentrationswerte über dem Stufe-1-Wert ebenfalls eine erhebliche Grundwasserverunreinigung festzustellen. Die abströmende PCB-Fracht ist allerdings gering (s. Kap. 4.2.2.5). PCB-Fracht und -Konzentration werden über die Zeit abnehmen und damit auch die Fahnenausdehnung. In Anbetracht der geringen Fracht, der geringen PCB-Restmasse, der nicht mehr vorhandenen Grundwasserentnahme im Tertiär sowie des Fehlens nachgeordneter Gefährdungen sind nach unserer Ansicht allerdings keine weiteren Erkundungen erforderlich. Zudem halten wir die weitergehende Prüfung, ob Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig sind, für nicht notwendig.

6.4.3.2 Boden – Grundwasser – Mensch

Auf dem Gelände der BMI findet derzeit keine Nutzung des Grundwassers statt. Es ist geplant, das Grundstück einer Wohnbebauung zuzuführen. Dann ist es denkbar, dass Grundwasser an Privatbrunnen zur Bewässerung von Gärten oder von Schwimmbädern genutzt würde. Diesbezüglich wird auf die Gefährdungsabschätzung im Gutachten Dr. Rippen /15/ verwiesen.

Im Abstrom des BMI-Geländes befinden sich im Bereich der Schadstofffahne mehrere Gartengrundstücke mit Brunnen, die möglicherweise zur Bewässerung von Gärten genutzt werden. Auch diesbezüglich wurde bereits eine Bewertung in /15/ getroffen. Der Autor sieht das Risiko einer Überschreitung der tolerablen Dosis für PCB für den Menschen lediglich im Falle einer Nutzung von Grundwasser mit Konzentrationen über 0,1 µg/l als Trinkwasser. Er gibt daher für diesen nachgeordneten Wirkungspfad folgenden Empfehlung (S. 45):

„...Aus Vorsorgegründen wird für Grundstücke im Bereich der PCB-Grundwasserbelastung eine sparsame Nutzung des Grundwassers oder ein Verzicht empfohlen, solange die PCB6:5-Konzentrationen deutlich über 0,1 µg/L vorliegen...“.

Die oben zitierten Bewertungen und Empfehlungen des Dr. Rippen für den Bereich der PCB-Grundwasserfahne können auch für das Gelände mit künftiger Wohnbebauung auf der BMI-Liegenschaft angewendet werden, da die Randbedingungen (Expositions- und Nutzungsszenarien) vergleichbar sind.

Aus Vorsorgegründen hat die Stadt Landshut mit Datum vom 16.03.2020 und im Sofortvollzug (wirksam ab 17.03.2020 (Allgemeinverfügung zur Untersagung der Benutzung des Grundwassers im Gebiet nordöstlich des früheren Standorts der Bayerischen Milchindustrie eG in der Stadt Landshut) die Nutzung des Grundwassers im Bereich der betroffenen Gärten verboten (/1/).

6.4.3.3 Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer

Der Klötzlmühlbach begrenzt das BMI-Gelände nach Norden. Da der Klötzlmühlbach künstlich eingefasst ist und keinen Anschluss an das Grundwasser hat, kann PCB-belastetes Grundwasser nicht in den Klötzlmühlbach übertreten.

Nach Messungen der Stadt Landshut existiert eine PCB-Schadstofffahne mit PCB-Konzentrationen zwischen dem Stufe-1-Wert und dem Stufe-2-Wert, die sich vom ehemaligen Schadenszentrum auf dem BMI-Gelände nach Nordosten erstreckt. Die Fahne ist 350 m lang und gut abgegrenzt. Im Bereich dieser Schadstofffahne befindet sich außer dem Klötzlmühlbach kein weiteres Oberflächengewässer. Das nächste Oberflächengewässer in Grundwasserfließrichtung ist die Pfettrach-Flutmulde in einer Entfernung von 1,5 km. Gemäß der Abgrenzung durch die Stadt Landshut erstreckt sich die Fahne mit Konzentrationswerten über dem Stufe-1-Wert im quartären Grundwasserleiter bis etwa 350 m in den Abstrom des BMI-Geländes. Eine Gefährdung des Oberflächengewässers in der Pfettrach-Flutmulde ist nicht zu befürchten.

Eine Gefährdung von Oberflächengewässern über den Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer ist somit nicht gegeben.

6.4.3.4 Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft/Gebäude - Mensch

Obgleich PCB als sehr gering flüchtig gelten /6/, ist es generell denkbar, dass im Perimeter der Fahne PCB aus dem Grundwasser und in die Bodenluft übergehen. Von dort können sie durch die ungesättigte Bodenzone in die Außenluft oder durch Bodenplatten und Mauerwerk in Gebäude diffundieren.

In der Tabelle 9 sind die in /15/ (dort S. 36) aufgeführten Ergebnisse der Expositionsabschätzung aufgelistet. Demnach werden durch Ausgasung von PCB aus dem Grundwasser (Annahme: PCB-Gehalt im Grundwasser ist 1 µg/l) tolerable PCB-Konzentrationen in der Luft für die als realistisch angenommenen Expositionsszenarien nicht überschritten. Die Hintergrundbelastung für Innenräume liegen bei großer Streubreite in demselben Konzentrationsbereich.

Tabelle 9: Errechnete Expositionen durch Ausgasung von PCB aus dem Grundwasser (Quelle: /15/, S. 36)

PCB _{gesamt}		errechnete Exposition Erwachsene bei 1000 ng/L	tolerable Dosis [11, 12]	errechnete Konzentration bei 1000 ng/L	tolerable Konzentration [11]	Hintergrund- belastung [73, 11]
Szenario	Einheit:	ng/(kg KG·d)	ng/(kg KG·d)	ng/m³	ng/m³	ng/m³
Außenluftbelastung Bauarbeiter		1,0	15	1,0	10	0,3
Innenraumbelastung		2,4	15	10	10-70	10-70

Für den nachgeordneten Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft / Gebäude – Mensch ergibt sich nach /15/ keine relevante Gefährdung. Dies gilt sowohl für das BMI-Gelände mit seiner künftigen Nutzung, als auch für den Bereich der PCB-Grundwasserfahne.

6.5 Toxikologisches Gutachten

Bezüglich der verbliebenen Grundwasserbelastung wurde ein humantoxikologisches Gutachten von Dr. Gerd Rippen, Göttingen, erstellt (/15/). In diesem Gutachten wird unter anderem bewertet, inwieweit die PCB-Restbelastung im Grundwasser Auswirkungen auf die spätere Nutzung des Geländes zur Wohnbebauung sowie auf die Gartennutzung im Abstrom des BMI-Geländes hat.

Die Bewertungen und Empfehlungen des Gutachtens sind zwar in die Gefährdungsabschätzung der vorangegangenen Kapitel 6.3 und 6.4 eingeflossen und entsprechend zitiert. Wegen der Bedeutung dieses Gutachtens für die Gefährdungsabschätzung geben wir nachfolgend nochmals die Zusammenfassung des Gutachtens im Wortlaut wieder.

„...Die Dekontamination des mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) belasteten Betriebsgeländes der Bayerischen Milchindustrie eG (BMI) in Landshut, Klötzlmüllerstraße 140 wurde 2019 abgeschlossen. Die vereinbarten Sanierungszielwerte werden im Boden eingehalten, im Grundwasser liegen sie im Bereich von ca. 0,5 µg/L PCB₆₋₅, in der PCB-Grundwasserfahne bei 0,3-0,4 µg/L PCB₆₋₅. Die gemessene Restbelastung im gesättigten Boden liegt bei 3-5 mg/kg PCB₆₋₅. Es ist damit zu rechnen, dass PCB-Grundwasserkonzentrationen zwischen dem Stufe-1- und dem Stufe-2-Wert mit abnehmender Tendenz noch Jahre bis wenige Jahrzehnte auftreten werden.

Im Vordergrund der Wirkungen von PCB stehen neben der Kanzerogenität Neurotoxizität, Immuntoxizität und Reproduktionstoxizität. Vor allem für Kinder ist es wichtig, die Körperbelastung so niedrig wie möglich zu halten, ebenso für Frauen im gebärfähigen Alter wegen der lang andauernden Anreicherung der persistenten PCB im menschlichen Fettgewebe. Dies gilt angesichts einer deutlichen Hintergrundbelastung, die vor allem auf fettthaltige tierische Nahrungsmittel zurückzuführen ist.

Das vorliegende humantoxikologische Gutachten kommt zu dem Schluss, dass das PCB-haltige Grundwasser des BMI-Geländes nicht als Trinkwasser genutzt werden sollte. Eine solche Grundwassernutzung ist aber nach derzeitiger Kenntnis auch im Abstrom nicht gegeben.

Aus verschiedenen Nutzungen des Grundwassers resultierende PCB-Aufnahmen liegen unter der durchschnittlichen Hintergrundbelastung. Besonders beim Baden von Kindern in Planschbecken und dem Eigenverzehr der Eier von Grundwasser-getränkten Hühnern kann die Zusatzbelastung allerdings 10 % der tolerierbaren Körperbelastung überschreiten.

Die langjährige Bewässerung von Gärten mit PCB-haltigem Grundwasser kann zu Boden-Konzentrationen im Bereich der Hintergrundbelastung führen. In einigen Nahrungspflanzen wie Kürbis oder Zucchini werden die PCB erheblich angereichert.

Aus Vorsorgegründen wird für Grundstücke im Bereich der PCB-Grundwasserbelastung eine sparsame Nutzung des Grundwassers oder ein Verzicht empfohlen, solange die PCB₆₋₅-Konzentrationen deutlich über 0,1 µg/L vorliegen.

Die Bebauung des BMI-Geländes ist hinsichtlich der PCB uneingeschränkt möglich, wenn auf eine derzeitige Nutzung des Grundwassers weitgehend verzichtet wird...

Während einer Telefonkonferenz zwischen Dr. Rippen, der BMI und ERM am 24.06.2021 bestätigte Dr. Rippen, dass auch bei der vorhandenen PCB-Restbelastung im tertiären Grundwasserleiter seine Bewertung in /15/ unverändert gilt.

6.6 Auswirkungen der PCB-Restbelastung auf die Bodenfunktion

Das BBodSchG definiert drei Grundfunktionen des Bodens: die natürlichen Funktionen, die Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte und die Nutzungsfunktionen. Das Ziel des BBodSchG ist es, diese Funktionen nachhaltig zu sichern. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen insbesondere seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden.

Die Bodenfunktionen werden im BBodSchG weiter differenziert:

1. Natürliche Funktionen als

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen, Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers,

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte, sowie

3. Nutzungsfunktionen als

- Rohstofflagerstätte,
- Fläche für Siedlung und Erholung,
- Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung und
- Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Die konkreten Auswirkungen der Restbelastung mit PCB auf die Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 BBodSchG sind in der Tabelle 10 aufgeführt. In der Tabelle werden auch Auswirkungen mit abgehandelt, die nur indirekt mit den Bodenfunktionen im Sinne des BBodSchG verbunden sind.

Tabelle 10: Auswirkung der PCB-Bodenbelastung auf die Bodenfunktionen

Bodenfunktion	Beschreibung	Bewertung
1. Natürliche Funktionen		
Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen	Zusammen mit Wasser, Luft, Nährstoffen und Sonnenlicht bildet der Boden in allen terrestrischen Ökosystemen die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Als Lebensraum bzw. Standort von Pflanzen ist der Boden ein wichtiger Bestandteil aller Biozönosen. Die Bodenorganismen sind primär auf den Boden als Lebensraum angewiesen und stellen an ihn bestimmte Anforderungen (Porensystem, Wassergehalt).	<p>Im Allgemeinen keine Beeinträchtigung.</p> <p>Der Lebensraum ist nicht beeinträchtigt.</p> <p>Der Transfer aus dem Boden in die Pflanze ist nicht vorhanden.</p> <p>Keine Auswirkungen auf Bodenflora oder -fauna bekannt.</p>
Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen	<p>Als Speichermedium übernimmt der Boden im Wasserkreislauf eine äußerst wichtige Funktion. Aber auch bei der Bereitstellung von Nährstoffen für das Pflanzenwachstum ist der Boden unverzichtbar. Schutzziel ist es daher,</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ das Retentionsvermögen des Bodens bei Niederschlagsereignissen, ■ seine Funktion im Kohlenstoff- oder Stickstoffkreislauf und ■ seine Funktion als Medium für die Bereitstellung von Nährstoffen für das Pflanzenwachstum zu erhalten. 	<p>Keine Beeinträchtigung.</p> <p>Die Schutzziele des Bodens in seiner Funktion für den Wasser- und Nährstoffkreislauf sind durch die PCB-Restbelastung in mehr als 3 m Tiefe unter künftiger Geländeoberkante nicht beeinträchtigt.</p>
Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers	<p>Böden können aufgrund ihrer Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften bestimmte Schadstoffe unschädlich machen oder aus dem Stoffkreislauf entfernen. Beispielsweise sei das Filter- und Puffervermögen des Bodens für Düngemittel, Schwermetalle und organische Stoffe oder die Pufferung von saurem Regen genannt. Der Boden übernimmt dabei eine Senken- oder eine Transformationsfunktion im Ökosystem.</p> <p>Hinsichtlich PCB zeigt sich in der vorhandenen Grundwasserbelastung, dass die Filter- und Puffereigenschaft des Bodens in der Vergangenheit nicht ausgereicht haben, um einen Eintrag zu verhindern.</p>	<p>Bezüglich PCB waren die Filter-, Puffer- oder Stoffumwandlungseigenschaften des Bodens nicht (mehr) gegeben. Dies zeigt sich in der erheblichen Grundwasser-Verunreinigung mit PCB.</p>
	<p>Auswirkungen der Grundwasserbelastung auf grundwassergespeiste Quellen und Bäche:</p> <p>Über den Wirkungspfad Boden - Grundwasser - Oberflächengewässer wird im konkreten Fall Quellen und Bächen kein PCB-haltiges Grundwasser zugeführt.</p>	Keine Beeinträchtigung.

Bodenfunktion	Beschreibung	Bewertung
	<p>Auswirkungen auf die Isar:</p> <p>Über den Wirkungspfad Boden - Grundwasser- Oberflächengewässer wird der Isar kein PCB- haltiges Grundwasser zugeführt.</p>	Keine Beeinträchtigung.
	<p>Auswirkungen der Grundwasserbelastung auf private und öffentliche Trinkwasserversor- gungen:</p> <p>Private und öffentliche Trinkwasserversorgung findet im Bereich der PCB-Grundwasserbelas- tung nicht statt. Der nächste öffentliche Trink- wasserbrunnen befindet sich 1.500 m südwest- lich des BMI-Standorts (d.h. im Zustrom des Standortes).</p>	Keine Beeinträchtigung.
	<p>Auswirkungen der Grundwasserbelastung auf wasserrechtlich genehmigte Grundwasser- nutzungen, z.B. Bewässerung, Brauch- wassernutzungen der Industrie, Grundwasser- wärmepumpen und genehmigungsfreie Nutzungen von Grund- und Oberflächen- gewässern, z. B. zum Gartengießen.</p> <p>Eine Nutzung des Grundwassers als Brauch- wasser für die Industrie oder für Grundwasser- wärmepumpen wird durch die PCB-Konzentra- tionen im Grundwasser nicht beeinträchtigt.</p> <p>Basierend auf den vorliegenden Messwerten wird empfohlen, das Grundwasser nicht für die Bewässerung zu nutzen, solange die Werte nicht dauerhaft unter dem Stufe-1-Wert liegen.</p> <p>Es kann bei der Bewässerung mit PCB- haltigem Grundwasser je nach Lage und Zeit zu einer Zunahme der Bodenkonzentration kommen.</p>	<p>Keine Beeinträchtigung hinsicht- lich Nutzung des Grundwassers für Wärmepumpen /15/.</p> <p>Eine Brauchwassernutzung ist nicht gegeben, wäre aber nach einer Einzelfallprüfung denkbar.</p> <p>Die Nutzung des Grundwassers im Bereich der PCB-Belastung für die Bewässerung aus privaten Gartenbrunnen ist aus Vorsorgegründen verboten.</p>

2. Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

	<p>Böden enthalten Informationen über aktuelle und historische Prozesse, z.B. der Vegetations- und Klimageschichte, der Landschaftsge- schichte, Reliefbildung und Einfluss von Natur- katastrophen, aber auch der Entwicklung der ackerbaulichen Wirtschaftsweisen und ökono- mischen Nutzungen, der Siedlungsentwicklung sowie der kulturellen Entwicklung der Mensch- heit.</p> <p>In diesem Sinne stellt der Boden ein Archiv der Natur- und Kulturgeschichte dar und wird durch die PCB-Belastung nicht beeinträchtigt.</p>	Keine Beeinträchtigung.
--	--	-------------------------

Bodenfunktion	Beschreibung	Bewertung
3. Nutzungsfunktionen		
Als Rohstofflagerstätte	<p>Böden enthalten wichtige Rohstoffe, insbesondere für den Bergbau und die Bauindustrie. Im Landkreis Landshut finden sich zahlreiche Kiesgruben, in denen Kies als Baumaterial abgebaut wird.</p> <p>Kiesentnahme oder andere Nutzung von Rohstoffen finden im Umfeld der PCB-Belastung nicht statt.</p>	Keine Beeinträchtigung.
Als Fläche für Siedlung und Erholung	<p>Böden sollen Baugrund für Ansiedlungen (Wohnungsbau sowie industrielle und sonstige gewerbliche Nutzung) zur Verfügung stellen. Böden dienen ferner der Erholung in freier Natur sowie in dafür errichteten baulichen Anlagen.</p> <p>Grundsätzlich hindert die PCB-Belastung nicht die Nutzung als Siedlungs- oder Erholungsfläche.</p>	<p>Im Fall von Bauwasserhaltung muss das geförderte Wasser gereinigt werden.</p> <p>PCB-Belastungen sind als Restbelastung im Grundwasser und in tieferen Bodenschichten von mehr als 3 m u. geplanter Geländeoberkante, nicht jedoch in üblicherweise zugänglichen Bodenschichten (nach Errichtung der geplanten Bebauung).</p>
Für land- und forstwirtschaftliche Nutzung	<p>Die Eignung eines Bodens für land- und forstwirtschaftliche Nutzung hängt vor allem von der natürlichen Ertragsfähigkeit ab. Neben den klimatischen Gegebenheiten wird diese Eigenschaft von verschiedenen Bodenparametern (Bodenart, Gefüge, Durchwurzelbarkeit, Wasserhaushalt, usw.) und der Bewirtschaftung beeinflusst.</p> <p>Basierend auf den vorliegenden Kenntnissen hat die PCB-Belastung des Bodens keinen Einfluss auf die natürliche Ertragsfähigkeit landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzter Böden.</p> <p>Der Transfer von PCB in die Nutzpflanze oder Futtermittel stellt keine Gefährdung für Nutztier oder Mensch dar, da PCB-haltige Böden in den obersten 3 Metern nicht anstehen.</p>	<p>Keine Beeinträchtigung der natürlichen Ertragsfähigkeit.</p> <p>Keine Gefährdung von Nutztier oder Mensch über den Wirkungspfad Boden - Nutzpflanze/Futtermittel -Tier/ Mensch.</p>
Als Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung	Aus Sicht des Bodenschutzes war bei der Definition dieser Nutzungsfunktion noch stärker an die Erhaltung der natürlichen Bodenfunktionen gedacht als bei der Nutzung als Siedlungsfläche. Dies betrifft die Störung des Wasserhaushalts durch Versiegelung und zusätzlich den Stoffeintrag durch nutzungsbedingte Emissionen.	Grundsätzlich behindert die PCB-Belastung des Bodens nicht die Nutzung als Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

6.7 Zusammenfassung der Gefährdungsabschätzung

Die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung können wie folgt zusammengefasst werden:

Wirkungspfad Boden – Mensch

Der sanierte Bereich des BMI-Geländes wurde vollflächig um etwa 3 m tiefer gelegt. Im Rahmen der geplanten Baumaßnahmen wird das Gelände mit 3 m unbelastetem Bodenmaterial aufgefüllt. Ein Kontakt mit vorhandenen Restbelastungen ist nach der Wiederauffüllung des Geländes nicht möglich.

Auf dem Nachbargrundstück Klötzlmüllerstraße 148 wurde der Wirkungspfad Boden – Mensch bereits 2007 untersucht (/16/). Die folgende Aussage wurde im Bericht /16/ getroffen: „...*Bedingt durch die gemessenen, geringen PCB-Gehalte selbst in größtmöglicher Nähe zum Belastungsbereich auf dem BMI-Gelände sieht ERM keinerlei Veranlassung für weitere Maßnahmen auf der Liegenschaft BEER in der Klötzlmüllerstraße 148...*“. Der Prüfwert für Wohngebiete wurde bei dieser Untersuchung nicht überschritten.

Sollte der Bereich mit Restbelastungen im Boden an der westlichen Grundstücksgrenze zwischen Liegenschaft Klötzlmüllerstraße 148 und dem BMI-Gelände im Zuge von künftigen Baumaßnahmen zugänglich sein, ist aus Vorsorgegründen eine Entfernung mittels Aushub zu empfehlen.

Für den Bereich der PCB-Grundwasserfahne im nördlichen Abstrom (Kapitel 4.2.1.5 sowie /32/, /34/), ist der Wirkungspfad Boden - Mensch nicht relevant, da die Bodenbelastung auf die BMI-Liegenschaft beschränkt war.

Insgesamt lässt sich schlussfolgern, dass der Wirkungspfad Boden - Mensch für die verbliebene Restbelastung an PCB nicht relevant ist.

Wirkungspfad Boden – Grundwasser

Für das Grundwasser im quartären und im tertiären Grundwasserleiter ist eine erhebliche Grundwasserverunreinigung festzustellen. Die Fläche mit der verbliebenen Restbelastung im Boden ist nach erfolgter Bodensanierung allerdings nur klein. Die abströmende PCB-Fracht ist daher gering. PCB-Fracht und -Konzentration werden über die Zeit abnehmen und damit auch die Fahnenausdehnung. Über den Zeitrahmen lässt sich allerdings keine belastbare Prognose erstellen. Nach unserer Einschätzung wird dies mehrere Jahre bis Jahrzehnte dauern.

In Anbetracht der geringen PCB-Restmasse, der geringen Fracht und der nicht mehr vorhandenen Grundwasserentnahme im Tertiär besteht keine Gefahr, dass sich die aktuelle Grundwasserbelastung über den bereits betroffenen Bereich ausdehnt. Eine weitergehende Prüfung, ob Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig sind, halten wir nicht für notwendig.

Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Mensch

Das toxikologische Gutachten sieht das Risiko einer Überschreitung der tolerablen Dosis für PCB lediglich für den Fall, dass das belastete Grundwasser als Trinkwasser genutzt würde. Der Gutachter kommt bezüglich dieses nachgeordneten Wirkungspfades zu der folgenden Empfehlung (/15/ S. 45):

„...Aus Vorsorgegründen wird für Grundstücke im Bereich der PCB-Grundwasserbelastung eine sparsame Nutzung des Grundwassers oder ein Verzicht empfohlen, solange die PCB6·5-Konzentrationen deutlich über 0,1 µg/L vorliegen...“.

Aus Vorsorgegründen hat die Stadt Landshut mit Datum vom 16.03.2020 und im Sofortvollzug (wirksam ab 17.03.2020) die Nutzung des Grundwassers im Bereich der betroffenen Gärten verboten (/1/).

Auch für das Gelände mit künftiger Wohnbebauung auf der BMI-Liegenschaft sollte vorsorglich auf die Nutzung des Grundwassers verzichtet werden.

Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer

Eine Gefährdung bezüglich des nachgeordneten Wirkungspfades Boden – Grundwasser – Oberflächengewässer ist nicht gegeben.

Nachgeordneter Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Bodenluft – Außenluft / Gebäude – Mensch

Für diesen Wirkungspfad ergibt sich nach /15/ keine Gefährdung. Dies gilt für das BMI-Gelände in seiner künftigen Nutzung und auch für den Bereich der PCB-Grundwasserfahne.

7. SANIERUNGSVARIANTENVERGLEICH

7.1 Randbedingungen

Sanierungsbedarf

Im quartären Grundwasserleiter auf dem BMI-Gelände und in dessen Abstrom liegt auch nach abgeschlossener Bodensanierung eine erhebliche Grundwasserverunreinigung vor. Auf dem BMI-Gelände sind die Stufe-2-Werte noch in einzelnen Messstellen überschritten. In der PCB-Grundwasserfahne (/35/, Kapitel 4.2.1.5) wird der Stufe-1-Wert überschritten.

Da auf dem BMI-Gelände nach wie vor der Stufe-2-Wert in einzelnen Messstellen überschritten wird, ist gemäß dem Konzept des Merkblatt 3.8/1 zu prüfen, inwieweit Maßnahmen nach §2 Abs. 7 oder Abs. 8 BBodSchG und im Sinne § 4 Abs. 3 BBodSchG notwendig, geeignet und verhältnismäßig sind. Diese Prüfung wird nachfolgend vorgenommen.

Sanierungsziele

Das Sanierungsziel im Grundwasser auf dem BMI-Gelände ist mit 0,05 µg/l PCB, entsprechend dem Stufe-1-Wert des Merkblatts 3.8/1 festgelegt. Im Sanierungsplan /1/ und im zugehörigen Bescheid /40/ wurde für Nichterreichen des Stufe-1-Wertes eingeräumt, dass der Stufe-2-Wert Anwendung findet. Das WWA hat in seiner Stellungnahme /42/ vom 9.12.2019 darauf hingewiesen, dass der Stufe-2-Wert als Sanierungsziel nur anzusetzen sei, wenn der Zusatz Kap. 4.3 des Merkblatts 3.8/1 eingehalten ist.

Dieser besagt: „...Bei geringen Frachten, lokal begrenzter Ausbreitung und unverhältnismäßig hohem Aufwand (z. B. Kosten) kann das Sanierungsziel auch bei einer höheren Konzentration erreicht sein, z. B. bei sicherer und dauerhafter Unterschreitung des Stufe-2-Wertes nach Tab. 4 Anhang 3. Es müssen im erheblich verunreinigten Grundwasserbereich zumindest wieder Verhältnisse geschaffen werden, die im Anschluss an die Sanierungsmaßnahme einen zügigen weiteren natürlichen Stoffabbau in überschaubarer Zeit erwarten lassen. Langfristiges Ziel von Dekontaminationsmaßnahmen ist das Wiederherstellen des natürlichen Zustandes, also der Hintergrundwert, der mit Hilfe natürlicher Selbstreinigungsprozesse erreicht werden soll...“

Als Sanierungsziel für das BMI-Gelände muss daher der Stufe-2-Wert dauerhaft im quartären Grundwasserleiter erreicht werden. Gleichzeitig müssen die Maßnahmen auf dem BMI-Gelände geeignet sein, den Bedingungen des oben zitierten Zusatzes Kap. 4.3 des Merkblatts 3.8/1 hinreichend zu entsprechen.

Für den Bereich der PCB-Fahne im Abstrom des BMI-Geländes hat die Stadt Landshut aus Vorsorgegründen ein Nutzungsverbot für das Grundwasser erlassen.

Das heißt, Ziel der Sanierung sollte die Verbesserung der Situation im Abstrom sein, so dass die Nutzungsbeschränkung in überschaubarer Zeit wieder aufgehoben werden kann.

Sanierungsbereich

Der Zielbereich für weitere Maßnahmen ist im konkreten Fall die gesättigte Zone des quartären Grundwasserleiters auf dem BMI-Gelände. Die Fläche beträgt ca. 7.150 m² und das Gesamtvolumen des quartären Grundwasserleiters auf BMI-Gelände mit PCB-Restbelastungen in Boden und Grundwasser beträgt ca. 42.900 m³ (110 m x 65 m x 6 m). Im Sanierungszielbereich sind nach Abschluss der Bodensanierung noch ca. 3 kg an PCB vorhanden (Kapitel 4.3), die zu behandeln wären.

Der Bereich der PCB-Grundwasserfahne im Abstrom des BMI-Geländes ist nicht als Bereich für aktive Sanierungsmaßnahmen vorgesehen. Dennoch ist die Verbesserung der Situation im Abstrom des BMI-Geländes ein Sanierungsziel (s.u.) und spielt insofern eine wichtige Rolle bei der Bewertung von Maßnahmen auf BMI-Gelände.

Geeignete Maßnahmen

Aufgrund der großen Bandbreite an chemischen und physikalischen Eigenschaften der 209 bekannten PCB-Kongenere (s. Kapitel 4.4.1 sowie /15/, /6/) kommen als Maßnahmen zur Erreichung der vorgenannten Ziele im quartären Grundwasserleiter nur eine begrenzte Auswahl an Sanierungstechnologien in Frage:

- Hydraulische Sicherung durch Grundwasserentnahme und –reinigung („Pump & Treat“),
- Passive Grundwassersanierung mittels Sorptionswand oder reaktiver Wand,
- Bodenaustausch durch Aushub und Entsorgung,
- Langzeitüberwachung mit Nutzungsbeschränkung,
- In-Situ Thermische Sanierung mittels fester Wärmequellen (ISTD - In-situ Thermal Desorption).

Diese Maßnahmen werden nachfolgend einem Sanierungsvariantenvergleich unterzogen.

Neben den oben genannten Maßnahmen haben wir in-situ Sanierungsverfahren mittels Injektion von nullwertigem Eisen, aktiviertem Persulfat oder Ozon geprüft. Diese Technologien kommen meist zur Sanierung von primären Schadstoffquellen zum Einsatz. Im konkreten Fall wurde die Quelle bereits durch Bodenaushub beseitigt und es ist eine Restbelastung im Grundwasserleiter zu behandeln, mit einem vergleichsweise niedrigem Sanierungszielwert. Zur Fahnenbehandlung wären diese Verfahren mit Injektion von reaktiven Substanzen nach unserer Erfahrung nicht geeignet, da Zweifel bestehen, dass die Sanierungsziele erreicht werden könnten. Aus diesem Grund wurden diese Verfahren verworfen und nachfolgend nicht weiter bewertet.

7.2 Variantenvergleich

Es werden die o.g. 5 Sanierungsvarianten geprüft. Die Bewertungskriterien sind in der Tabelle 11 zusammengefasst.

Tabelle 11: Bewertungskriterien für die Auswahl der Vorzugsvariante

Kriterium	Beschreibung
Machbarkeit	
Erfahrungswert	Technische Realisierbarkeit der Maßnahmen, Erfahrungen bei ähnlichen Projekten
Schwierigkeitsgrad	Aufwand für die Planung und Realisierung
Realisierungszeit	Zeitbedarf für die Realisierung der Maßnahmen
Akzeptanz	Genehmigungsfähigkeit der Maßnahmen durch Behörde, Anhörung der betroffenen Nachbarschaft
Flexibilität	Flexibilität der Maßnahmen gegenüber besonderen Vorkommnissen (Störfällen) während und nach der Realisierung, Möglichkeit der Mängelbehebung
Entsorgung	Beschreibung/Nachweis der umweltgerechten Entsorgung (z.B. Aufbereitung, Deponierung)
Wirksamkeit	
Kontrollierbarkeit	Eignung der Maßnahmen in Bezug auf die Kontrolle der langfristigen Wirksamkeit (Überwachung und Nachsorge)
Erfolgsaussicht	Eignung bezüglich der zu erreichenden Sanierungsziele im Grundwasser und der langfristigen Wirksamkeit

Kriterium	Beschreibung
Umweltauswirkungen	Auswirkungen der Maßnahmen auf die Umwelt während und nach der Sanierung sowie verbleibende Umweltgefährdung; Auswirkungen auf die Umwelt während und nach der Sanierung; Restrisiko für die Umwelt nach der Sanierung
Kosten	
Investitionskosten	Kosten für die Planung, Realisierung und Kontrolle der Maßnahmen
Laufende Kosten	Kosten von Unterhalt, Überwachung und Dokumentation der realisierten Maßnahmen und ev. zusätzlicher Maßnahmen über die Zeitdauer der Nachsorge Kosten für Betrieb und Wartung sowie Dokumentation der Sanierung
Nutzungseinschränkungen	Möglichkeiten zur Nutzung des Standortes nach der Realisierung der Maßnahmen

7.2.1 Hydraulische Sanierung durch Grundwasserentnahme und –reinigung

7.2.1.1 Verfahrensbeschreibung

Bei diesem Verfahren („Pump & Treat“, kurz P&T) wird belastetes Grundwasser aus Sanierungsbrunnen entnommen, gereinigt und dann über die Kanalisation oder Direkteinleitung in Gewässer abgegeben. Alternativ kann das Wasser wieder in den Grundwasserleiter versickert werden. Im konkreten Fall wird die Errichtung einer hydraulischen Barriere an der Grundstücksgrenze betrachtet, bei der das geförderte Grundwasser über Aktivkohle zu reinigen wäre. Es wäre eine Einleitung in den Klötzlmühlbach denkbar ebenso wie eine Versickerung oder eine Kombination aus beidem.

7.2.1.2 Machbarkeit

Erfahrungswerte

Die hydraulische Sanierung durch Grundwasserentnahme und –reinigung ist ein Standardverfahren zur Sanierung von im Wasser gelösten Schadstoffen. Es existieren sehr umfangreiche Erfahrungen damit. Es ist technisch hinreichend erprobt und bewährt.

Schwierigkeitsgrad

Die technische Realisierung ist Standard; sie wird als relativ einfach bewertet.

Realisierungszeit

Für den Aufbau und die Inbetriebnahme einer Sanierungsanlage inkl. Zu- und Ableitungen mit der Installation von etwa 5 Sanierungsbrunnen und 5 Kontrollmessstellen im quartären Aquifer wird von einem Zeitraum von etwa 3 Monaten ausgegangen.

Akzeptanz

Die Errichtung erfordert den Einsatz von schweren Bohrgeräten für einige Wochen. Es muss während der gesamten Laufzeit eine kleine Halle o.ä. zur Aufnahme der Sanierungsinfrastruktur vorgehalten werden. Es ist regelmäßiger Zugang für Beprobung und Wartung erforderlich. Die Akzeptanz wird daher als „mittel“ bewertet.

Flexibilität

Nach Errichtung der Anlage lässt sich die Erfassungsbreite und Tiefe der hydraulischen Barriere über ein Netzwerk aus Kontrollmessstellen gut überwachen. Die Steuerung kann technisch einfach und automatisiert über Regelung der Entnahmeraten der einzelnen Brunnen erfolgen.

Nachhaltigkeit und Entsorgung

Während der Sanierung wird für den Betrieb der Brunnenpumpen und Wasseraufbereitungsanlage kontinuierlich Strom in einer Größenordnung von 25 KW benötigt. Dies entspricht in etwa dem Stromverbrauch von 50 Einfamilienhäusern. Im deutschen Strommix werden pro kWh 0,408 kg CO₂ freigesetzt. Hieraus errechnet sich eine jährliche freigesetzte CO₂-Masse von etwa 90 t.

Mit PCB beladene Aktivkohle kann nicht reaktiviert werden. Sie muss als gefährlicher Abfall über die GSB (Sonderabfall-Entsorgung Bayern GmbH) verbrannt werden.

7.2.1.3 Wirksamkeit

Kontrollierbarkeit

Die Wirksamkeit kann über regelmäßige Beprobungen des gefördertten Wassers und der Kontrollmessstellen geprüft werden.

Erfolgsaussichten

Eine hydraulische Barriere könnte den weiteren Abstrom von gelösten PCB in Richtung Nordost wirksam unterbinden. Dies würde zum Abriss der Schadstofffahne führen und die allmähliche Rückbildung der PCB-Fahne durch natürliche Rückhalte- und Abbauprozesse sowie Verdünnung beschleunigen. Dennoch wäre davon auszugehen, dass die Nutzungsbeschränkung im Abstrom des BMI-Geländes noch einige Jahre bis Jahrzehnte aufrechterhalten werden müsste, da der natürliche Abbau der PCB ein sehr langwieriger Prozess ist (Kapitel 4.4.2).

Die PCB-Belastung auf dem BMI-Grundstück kann mittels P&T nicht beschleunigt entfernt oder abgebaut werden, da es sich bei P&T um eine Sicherung und nicht um eine Dekontamination handelt. Die Pumpbrunnen fördern lediglich diejenige Schadstofffracht zutage, die unter natürlichen Bedingungen abströmen würde. Aus diesem Grund wäre die Nutzungsbeschränkung auf dem BMI-Gelände solange aufrechtzuerhalten, wie für ein Szenario ohne Maßnahmen.

Umweltauswirkungen

Abgesehen von den Emissionen durch den Energiebedarf, sind während des Betriebs der P&T-Anlage keine Umweltauswirkungen zu erwarten.

Durch die Grundwasserentnahme kommt es im näheren Umfeld der Förderbrunnen zur Absenkung des Grundwasserspiegels um Dezimeter, im weiteren Umfeld zu Absenkungen im cm-Bereich. Die Auswirkungen auf die Vegetation dieser vergleichsweise geringen Absenkung dürften gering bis vernachlässigbar sein.

Ferner entstehen Emissionen durch das Verbrennen der beladenen Aktivkohle.

7.2.1.4 Kosten

Investitionskosten

Bei der überschlägigen Berechnung der Investitionskosten wurden die folgenden Annahmen getroffen:

■ Planung, Genehmigung, Ausschreibung und Installationsphase	60.000 – 80.000 €
■ Installation von 5 quartären Sanierungsbrunnen (Durchmesser 200 mm)	50.000 – 60.000 €
■ Installation von 2 Kontrollmessstellen im Tertiär und 2 weiteren im Quartär	25.000 – 30.000 €
■ Bau der Sanierungsanlage (Annahme: die Anlage wird gekauft)	400.000 – 450.000 €
■ Inbetriebnahme, Testphase	50.000 – 100.000 €

Gesamtkosten (gerundet): ca. 600.000 – 750.000 €

Laufende Kosten

Laufende Kosten beinhalten Energiekosten, Wartung, Reparatur, Filterwechsel, Beprobungen sowie Projektmanagement und Berichterstattung.

Die laufenden Kosten belaufen sich auf jährlich etwa **100.000 € - 150.000 €**

Gesamtkosten bei angenommenen 20 Jahren Laufzeit etwa **2.600.000 € - 3.750.000 €**

Unter der Annahme, dass ca. 3 kg an PCB durch diese Maßnahme entfernt würden, belaufen sich die spezifischen Sanierungskosten auf 870.000 – 1.250.000 € pro kg an PCB. Die spezifischen Kosten der Bodensanierung, bei der ca. 1.100 kg PCB entfernt wurden, lag bei ca. 4.000 € pro kg PCB.

Der für die Laufzeit angenommene Zeitraum von 20 Jahren ist willkürlich gewählt. Die Sanierungszeit kann kürzer, evtl. aber auch länger sein, als 20 Jahre.

Nutzungseinschränkungen

Die derzeit geltenden Nutzungseinschränkungen des Grundwassers im Abstrom müssten trotz der hydraulischen Sanierung noch solange beibehalten werden, bis die PCB-Konzentrationen dauerhaft unter 0,1 µg/l gesunken sind /15/. Dies dürfte im Abstrom nach dem Abriss der Fahne noch Jahre bis Jahrzehnte der Fall sein.

Auf dem BMI-Gelände bringt das P&T keinen Vorteil im Hinblick auf eine schnellere Aufhebung der Nutzungsbeschränkung für das Grundwasser. Diese wäre solange aufrechtzuerhalten, wie für ein Szenario ohne Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen.

7.2.2 Passive Grundwassersanierung mittels Sorptionswand oder reaktiver Wand

7.2.2.1 Verfahrensbeschreibung

Der Gedanke bei diesen Verfahren ist, dass eine permeable Wand annähernd senkrecht zum Grundwasserstrom eingerichtet wird, die vom schadstoffbelasteten Grundwasser durchströmt wird. Das Material der Wand muss derart gewählt werden, dass es mit dem Schadstoff entweder reagiert und ihn zu unschädlichen Stoffen abbaut oder diesen dauerhaft bindet. Grundsätzlich können für PCB sowohl reaktive Wände wie auch Verfahren mit Bindung der Schadstoffe (Sorptionswände) eingesetzt werden. Es ist auch denkbar, dass sog. Funnel-and-Gate Verfahren zum Einsatz kommen könnten. Beim Funnel-and-Gate wird das Grundwasser durch eine Anordnung von Dichtwänden (Funnel) auf einen oder mehrere Reaktions- oder Sorptionsbereiche (Gates) in der Art eines Trichters geleitet. Wie bei einer Wand wird auch in den Gates der Schadstoff entweder zerstört oder gebunden.

Wegen der hohen Sorptionsfähigkeit von Aktivkohle gegenüber PCB erscheinen im konkreten Fall Verfahren mit Sorptionswänden aus Aktivkohle gut geeignet. Als Sonderfall kommt das sog. „PlumeStopTM“³ Verfahren in Frage. Die nachfolgende Bewertung wurde für das PlumeStopTM-Verfahren erarbeitet, ist grundsätzlich aber auch auf andere Verfahren übertragbar. Dabei handelt es sich um kolloidale Aktivkohle, die in flüssiger Form in den Grundwasserleiter injiziert wird. Dort bildet sich eine Schicht aus Aktivkohle um die Bodenkörner und stellt Bindungsplätze für die sorptive Bindung der PCB zur Verfügung.

Durch ein dichtes Netz von Bohrungen wird die verflüssigte Aktivkohle in den Boden eingebracht, die sich dann an die Bodenmatrix anlagert und gegenüber PCB als Sorptions-Barriere wirkt. Die Aktivkohle vermindert die hydraulische Durchlässigkeit des Aquifers nicht. Die so fixierten PCB können über längere Zeiten dann mikrobiell abgebaut werden, so dass sich die Barriere ohne technische Eingriffe regeneriert.

³ PLUMESTOP.COM,

7.2.2.2 Machbarkeit

Erfahrungswerte

Es gibt eine Reihe von positiven Erfahrungen mit diesem Verfahren auf internationaler Ebene, jedoch sind uns in Deutschland wegen der relativen Seltenheit von PCB-Schadensfällen im Grundwasser keine konkreten Projekte bekannt.

Schwierigkeitsgrad

Der technische Aufwand ist relativ hoch und bedarf einer sorgfältigen Planung und ggf. der Durchführung von Labor- und Pilotversuchen im Feldmaßstab. Entlang der ca. 65 m breiten Fahne an der abstromigen Grundstücksgrenze wären ca. 60 Injektionsbohrungen auf ca. 6 m Tiefe (unter aktueller Oberkante) notwendig. Zusätzlich wären noch 10 – 15 Kontrollmessstellen notwendig (Quartär und Tertiär).

Realisierungszeit

Installation und Durchführung eines Pilotversuchs inkl. Auswertung und Genehmigung, mit anschließender „full-scale“ Einrichtung erfordern 1,0 – 1,5 Jahre.

Akzeptanz

Nach Einrichtung der Barriere sind regelmäßige Beprobungen erforderlich. Eventuell muss die Barriere punktuell verdichtet werden, was den Einsatz von Bohrgerät erfordert. Die Akzeptanz durch Behörden und durch die Öffentlichkeit ist aufgrund des geringen Bekanntheitsgrades und der überschaubaren Anwendungserfahrung mit PCB schwer abzuschätzen. Es wäre sicherlich mit einem höheren Aufwand für Kommunikations- und Informationsarbeit zu rechnen, als für die anderen hier betrachteten Verfahren.

Flexibilität

Eine Anpassung der Barriere ist technisch machbar, aber aufwändig. Sie erfordert Zugang mit entsprechendem Bohrgerät. Der Zugang wird in Zukunft sicher schwieriger werden, sobald die BMI-Liegenschaft ihrer geplanten Nutzung als Wohnbebauung zugeführt wurde.

Nachhaltigkeit und Entsorgung

Es handelt sich um ein passives Sanierungsverfahren, das nach Installation, ohne Zuführung von Energie sich selbst überlassen werden kann. Abfälle fallen außer beim Bohren nicht an. Emissionen entstehen im Zuge der Kontrolle und Überwachung. Die Nachhaltigkeit wird insgesamt als „gut“ eingeschätzt.

7.2.2.3 Wirksamkeit

Kontrollierbarkeit

Die Wirksamkeit kann über regelmäßige Beprobungen der Kontrollmessstellen geprüft werden.

Erfolgsaussichten

Vor allem wegen der geringen PCB-Gehalte und der guten Adsorbierbarkeit von PCB an Aktivkohle werden die Erfolgsaussichten als „gut“ eingeschätzt. Es besteht ein gewisses Risiko bei der Einbringung per Injektionsbohrungen, dass die Aktivkohle nicht gleichmäßig verteilt wird und sich „Fenster“ in der Wand bilden, die die Aktivkohle nicht erreicht hat.

Umweltauswirkungen

Die Umweltauswirkungen werden als insgesamt gering eingeschätzt.

7.2.2.4 Kosten

Eine überschlägige Berechnung der Investitionskosten ist wie folgt:

■ Planung, Genehmigung, Ausschreibung und Installationsphase	150.000 – 200.000 €
■ Labor- und Pilotversuch	100.000 – 150.000 €
■ Installation von 60 Injektionsbohrungen (Durchmesser 80 mm)	120.000 – 150.000 €
■ 5 Kontrollmessstellen im Tertiär und 10 weiteren im Quartär	125.000 – 150.000 €
■ Kauf der Aktivkohle	500.000 – 750.000 €

Gesamtkosten (gerundet): ca. 1.000.000 – 1.400.000 €

Laufende Kosten

Laufende Kosten beinhalten Beprobungen sowie Projektmanagement und Berichterstattung.

Die laufenden Kosten belaufen sich auf jährlich etwa **30.000 € - 50.000 €**

Gesamtkosten bei angenommenen 20 Jahren Laufzeit etwa **1.600.000 € - 2.400.000 €**

Unter der Annahme, dass ca. 3 kg an PCB durch diese Maßnahme entfernt würden, belaufen sich die spezifischen Sanierungskosten bei 530.000 – 800.000 € pro kg an PCB. Die spezifischen Kosten der Bodensanierung, bei der ca. 1.100 kg an PCB entfernt wurden, lag bei ca. 4.000 € pro kg PCB.

Nutzungseinschränkungen

Die derzeit geltenden Nutzungseinschränkungen des Grundwassers im Abstrom müssten trotz der passiven Sanierung noch solange beibehalten werden, bis die PCB-Konzentrationen dauerhaft unter 0,1 µg/l gesunken sind /15/. Dies dürfte im Abstrom nach dem Abriss der Fahne, ähnlich wie beim P&T, noch einige Jahre bis Jahrzehnte der Fall sein.

Auf dem BMI-Gelände bringt eine Sorptionsbarriere keinen Vorteil im Hinblick auf eine schnellere Aufhebung der Nutzungsbeschränkung für das Grundwasser. Diese wäre solange aufrechtzuerhalten, wie für ein Szenario ohne Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen.

7.2.3 Bodenaustausch

7.2.3.1 Verfahrensbeschreibung

Die Restbelastungen im mit PCB befinden sich ausschließlich in der gesättigten Zone. Ein Aushub würde den Bereich bis etwa 10 m unter Ursprungsgelände (quartärer Grundwasserleiter und oberster Bereich des tertiären Grundwasserleiters) erfassen. Eine Wasserhaltung ist wegen der Größe der Fläche und fehlender Basisabdichtung nicht möglich. Es ist daher nur ein voranschreitender Austausch des Bodens im Grundwasserbereich mittels Großlochbohrungen möglich.

Laut Kapitel 4.3 nimmt die Fläche auf der ca. 2,9 kg an Restbelastung vermutet wird in Summe ca. 335 m² ein. Der genaue Sanierungsbereich müsste vorlaufend per Erkundungsbohrungen noch abschließend eingegrenzt werden, so dass für den Variantenvergleich mit einer Fläche zwischen 335 und 500 m² gerechnet wird. Die Aushubtiefe läge bei ca. 8 m u. aktuellem Gelände. Es wären also 2.680 – 4.000 m³ auszuheben und zu entsorgen.

Das Aushubmaterial wird in Container verladen und abtransportiert. Das Bohrloch muss anschließend mit unkontaminiertem Material verfüllt werden. Danach kann die Verrohrung gezogen werden. Das verfüllte Bohrloch wird durch die anschließende Bohrung teilweise überlappt. Hierdurch wird sichergestellt, dass das gesamte verunreinigte Untergrundmaterial vollständig erfasst und entfernt wird.

7.2.3.2 Machbarkeit

Erfahrungswerte

Das Verfahren ist technisch machbar. Es handelt sich um eine hinreichend bewährte und sehr häufig angewendete Methode bei Altlastensanierungen.

Schwierigkeitsgrad

Die Durchführung ist grundsätzlich machbar, aber bautechnisch mit Schwierigkeiten verbunden. Die Tragfähigkeit des Arbeitsplanums muss für schwere Maschinen gewährleistet sein. Der Untergrund muss standsicher sein für Maschinen mit einem Gewicht von 75 bis 100 Tonnen. Es ist außerdem eine Wasserhaltung und Wasseraufbereitung vorzusehen, da im Sanierungsbereich das Wasser mit PCB belastet ist.

Realisierungszeit

Es ist von einer Realisierungszeit von 6 – 9 Monaten auszugehen, inkl. Planung, Genehmigung und Ausschreibung.

Akzeptanz

Wir gehen davon aus, dass dieses Verfahren wegen der allgemeinen Bekanntheit, trotz der vorübergehenden erheblichen Lärmbelästigungen in der Umgebung für alle Beteiligten akzeptabel wäre.

Flexibilität

Die Einsatzgrenzen bestehen im vorliegenden Fall hauptsächlich in der Nähe zum Klötzlmühlbach und zu einem im Westen benachbarten Wohngebäude. Es ist ohne geotechnischen Nachweis und ggf. Sicherungen nicht möglich, beliebig nahe an den Bach oder an Wohnbebauung heranzurücken.

Nachhaltigkeit und Entsorgung

Verglichen mit einem normalen Aushub verursacht das überlappende Bohrverfahren eine höhere Menge an zu entsorgendem Untergrundmaterial und auch an Auffüllmaterial. Es wird von 10% Überlappung ausgegangen. Insgesamt würden etwa bzw. ca. 4.700 – 7.000 t an Untergrundmaterial anfallen. Für den Transport wären etwa 240 - 350 LKW-Fahrten erforderlich.

7.2.3.3 Wirksamkeit

Kontrollierbarkeit

Das Verfahren ist in der Ausführungsphase technisch beherrschbar und jederzeit durch Probenahme und Analytik kontrollierbar. Die langfristige Kontrollierbarkeit kann über regelmäßige Beprobungen von Kontrollmessstellen geprüft werden.

Erfolgsaussichten

Ein Bodenaustausch würde sämtliche Restbelastungen Aushubbereich entfernen und das Nachlieferungspotenzial für die PCB-Grundwasserbelastung im quartären Aquifer dadurch reduzieren. Die Restbelastungen in der Grundwasserfahne außerhalb der Aushubbereiche würden unverändert verbleiben.

Umweltauswirkungen

Mit der Freisetzung von Staub ist nicht zu rechnen, da das Untergrundmaterial erdfeucht bis nass vorliegt. Die potenzielle Emission von Gerüchen ist ebenfalls überschaubar, da der Aushubbereich auf jeweils nur eine Bohrung begrenzt ist. Das Potenzial für Freisetzung von Gerüchen und Gasen würde beim Beladevorgang der Container am größten sein. Die PCB sind jedoch schwer flüchtig und der Beladevorgang ist jeweils von begrenzter Dauer und die Container werden rasch

verschlossen. Es wurden bereits positive Erfahrungen mit dem offenen Beladen auf diesem Standort gesammelt.

Für die Entsorgung wird das Material mit LKW transportiert. Bei den o.g. Tonnagen und LKW-Fahrten mit angenommenen Transportwegen von 40 km und die Zuführung von sauberem Material lassen sich die CO₂-Emissionen mit 22 Tonnen abschätzen.

Insgesamt sind die zu erwartenden Umweltauswirkungen relativ gering und mit einfachen Maßnahmen auf ein Minimum zu beschränken.

7.2.3.4 Kosten

Investitionskosten

Eine überschlägige Berechnung der Investitionskosten ist wie folgt:

■ Planung, Genehmigung, Ausschreibung und Betreuung	150.000 – 200.000 €
■ Vorlaufende Erkundung zur Abgrenzung	50.000 – 80.000 €
■ Großlochbohrungen (Durchmesser >1000 mm)	300.000 – 660.000 €
■ Kontrollmessstellen	25.000 – 560.000 €
■ Rückverfüllung und Entsorgung	380.000 – 660.000 €
■ Bau und Betrieb der Wasserhaltung	100.000 – 150.000 €

Gesamtkosten (gerundet): ca. 1.000.000 – 1.700.000 €

Laufende Kosten

Laufende Kosten beinhalten Beprobungen und Berichterstattung für das Nachsorgemonitoring.

Die laufenden Kosten belaufen sich auf jährlich etwa **30.000 € - 50.000 €**

Gesamtkosten bei angenommenen 20 Jahren Laufzeit etwa **1.600.000 € - 2.700.000 €**

Unter der Annahme, dass ca. 3 kg an PCB durch diese Maßnahme entfernt würden, belaufen sich die spezifischen Sanierungskosten auf 530.000 – 900.000 € pro kg an PCB. Die spezifischen Kosten der Bodensanierung, bei der ca. 1.100 kg PCB entfernt wurden lag bei ca. 4.000 € pro kg PCB.

Nutzungseinschränkungen

Die derzeit geltenden Nutzungseinschränkungen des Grundwassers im Abstrom müssten trotz der Passiven Sanierung noch solange beibehalten werden, bis die PCB-Konzentrationen dauerhaft unter 0,1 µg/l gesunken sind /15/. Dies dürfte im Abstrom nach dem Abriss der Fahne, ähnlich wie beim P&T, noch einige Jahre der Fall sein.

Auf dem BMI-Gelände bringt ein Bodenaustausch keinen Vorteil im Hinblick auf eine schnellere Aufhebung der Nutzungsbeschränkung für das Grundwasser. Diese wäre solange aufrechtzuerhalten, wie für ein Szenario ohne Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen.

7.2.4 In-Situ Thermische Sanierung

7.2.4.1 Verfahrensbeschreibung

Bei den thermischen in-situ Verfahren wird der Untergrund erhitzt. Die Art und Weise, wie die Wärme in den Untergrund eingebracht wird ist unterschiedlich und richtet sich nach den Untergrund- und Standortverhältnissen sowie nach den relevanten Schadstoffen. Die drei gängigsten Verfahren, deren Effizienz anhand zahlreicher Praxisbeispiele hinreichend belegt ist, sind folgende:

- Steam-enhanced extraction (SEE) – Dampfinjektion mit Multiphasen-Extraktion

- Electrical-resistance heating (ERH) – Erhitzen durch elektrischen Strom (Widerstandsheizungen)
- In-Situ Thermal Desorption (ISTD) – Erhitzen mit festen Wärmequellen

Alle Verfahren können in der ungesättigten Zone und im Grundwasser eingesetzt werden.

Die Schadstoffe werden sowohl thermisch abgebaut, verflüchtigt oder unterliegen einer Hydrolyse. Zusätzlich werden nach der aktiven Heizperiode auch biologische Abbauprozesse gefördert.

Die im Untergrund in die Gasphase übergegangenen Stoffe werden über eine Bodenluftabsauganlage (BLA-Anlage) aufgefangen und behandelt. Aufgrund der zugeführten Wärme werden in Schluff- und Tonschichten Wegsamkeiten für Porenluft geschaffen, was die anschließende Absaugung ermöglicht.

Steam-enhanced extraction (SEE)

Die Dampf-Luft-Injektion ist eine thermische Sanierungsmethode, bei der ein Dampf-Luft-Gemisch in die ungesättigte und gesättigte Zone injiziert wird. Man bewirkt damit eine Verflüchtigung der relevanten Stoffe, die anschließend über Multiphasen-Extraktionspegel aus dem Untergrund abgesaugt werden. Die Massenreduzierung wird vor allem durch Veränderung der temperaturabhängigen Eigenschaften der zu behandelnden Stoffe erzielt. Die Mobilität wird durch nachfolgende Prozesse erhöht:

- Teilverflüchtigung aufgrund eines erhöhten Dampfdruckes;
- In Lösung überführen aufgrund einer erhöhten Löslichkeit;
- Erhöhte Fließfähigkeit aufgrund verringerter Viskosität bzw. Dichte;
- Desorption aufgrund abnehmender Festphasen-Adsorption und abnehmender Absorption an organisches Material.

Das Dampf-Luft-Gemisch wird durch Injektionsbohrungen injiziert. Dadurch wird die Temperatur des gesamten, zu behandelnden Bereichs bis zur gewünschten Temperatur erhöht. Mit Hilfe der Dampf-Luft-Injektion können die mobilen umweltrelevanten Stoffe mit der injizierten Luftströmung ausgetragen werden. Ihre Kondensation erfolgt entlang der fortschreitenden thermischen Front, was zu einer Ansammlung der verflüchtigten Stoffe in diesem Bereich führt. Die Schadstoffmobilisierung tritt als Folge einer verringerten Grenzflächenspannung und Viskosität auf, welche durch die erhöhte Temperatur erzeugt wird.

Der Haupt-Extraktions-Mechanismus der relevanten Stoffe, die in Gasphase vorliegen, erfolgt über die Dampfextraktion (Strippung). Diese Dampfstrippung erfolgt dadurch, dass das injizierte Dampf-Luft-Gemisch die mobilisierten Schadstoffe mit sich trägt bis zu den Extraktionspegeln. Dies ist eine Reaktion, die durch das starke Dampfdruckgefälle und den thermischen Gradienten erfolgt. Die Dampf-Luft-Injektion ist auch zur Entfernung von jeglichen residualen Schadstoffansammlungen wirksam einsetzbar, die nicht durch Pumpen oder den Einsatz von anderen Mitteln entfernt werden können.

Electrical-resistance heating (ERH)

Das ERH-Verfahren nutzt den elektrischen Widerstand des Untergrundmaterials. Das Einleiten von elektrischem Strom bewirkt ein Erhitzen des Untergrundes. Es entsteht eine In-Situ Gasphase, wodurch auch die umweltrelevanten Stoffe mobilisiert werden. Mittels einer Standard-Bodenluftabsaugtechnik werden die mobilisierten Phasen entfernt. Für die ERH-Technik kommen konventionelle 60-Hertz Stromtransformatoren zum Einsatz, welche den Dreiphasenwechselstrom eines herkömmlichen Stromanschlusses in einen Sechsphasenwechselstrom umwandeln. Mit Hilfe von Standard-Bohrverfahren werden Elektroden installiert, welche den elektrischen Strom in den Untergrund übertragen. Der elektrische Strom einer Elektrode fließt zu den anderen nicht gleichphasigen Elektroden. Infolge dessen wird die Untergrundmatrix durch den Stromfluss erhitzt. Der elektrische Strom nimmt auf seinem Weg von einer Elektrode zur anderen immer den Weg des

geringsten Widerstands, dadurch werden diese Pfade bevorzugt erhitzt. Besonders Schluff- und Tonlinsen zeichnen sich durch geringen elektrischen Widerstand aus und werden daher bevorzugt vom Strom durchflossen und damit erwärmt.

Durch die Erhöhung der Temperatur werden die Zielsubstanzen mobilisiert und die Austragsrate beschleunigt. Maßgeblich hierfür sind: die Reduzierung der Viskosität sowie die Beeinflussung der temperaturabhängigen Sorptionsgleichgewichte in Richtung Desorption. Die Rückgewinnung der mobilisierten Stoffe wird durch den Einsatz von Standard-Flüssigkeits- und Gasextraktionstechniken erzielt.

In-situ Thermal Desorption (ISTD)

Beim ISTD-Verfahren wird die Wärme über ein Raster aus Stahl-Lanzen in den Untergrund eingebracht. Jede Lanze stellt ein sog. Closed-Loop System dar. Dies besteht aus einem Gasbrenner, der z.B. Propan-Gas verbrennt und die heiße Luft wird über eine Kreislaufführung innerhalb der Lanze geführt. Dadurch erhitzt sich die Oberfläche der Lanze auf Temperaturen von 100°C bis zu 500°C. Die Wärme wird konduktiv auf das Untergrundmaterial übertragen. Die Wärmeleitfähigkeit der gängigen Materialtypen des Untergrundes variiert lediglich über einen Faktor von etwa 3. Daher wird die Wärme relativ gleichmäßig übertragen. Temperatur-Sensoren, die zwischen den Stahl-Lanzen eingebracht sind, erlauben die Kontrolle der Wärmeausbreitung bis zur gewünschten Temperatur.

Die Mobilisierungsprozesse sind im Wesentlichen analog zu den anderen thermischen Verfahren. In sehr ähnlicher Weise erfolgt auch die Absaugung des Dampf-/Luftgemisches aus dem Untergrund, welches die mobilisierten Schadstoffe enthält. Die Reinigung der extrahierten Dampf-/Luft- und Flüssig-Phase wird durch herkömmliche Kondensation, Flüssigkeitsabscheider mit anschließender Abluftreinigung sichergestellt.

Im konkreten Fall sind grundsätzlich alle drei Verfahren denkbar, wobei das Verfahren mit festen Wärmequellen am erfolgversprechendsten ist. Grund dafür sind die relativ hohen Siedetemperaturen der PCB mit meist deutlich über 200°C. Das ISTD-Verfahren erreicht die höchsten Temperaturen.

7.2.4.2 Machbarkeit

Erfahrungswerte

Die thermischen In-Situ Verfahren sind keine innovative Technik mehr. Seit mindestens 20 Jahren befinden sie sich weltweit in Anwendung. Es besteht insgesamt keinerlei Zweifel an der generellen Eignung und Wirksamkeit des Verfahrens.

Schwierigkeitsgrad

Im vorliegenden Fall stellt die relativ hohe Durchlässigkeit des quartären Grundwasserleiters hohe Anforderungen an Planung und Durchführung. Der zu sanierende Bereich müsste wahrscheinlich mit einer umlaufenden Stahlspundwand gegen zuströmendes Grundwasser geschützt werden. Grundwasser könnte so nur noch über die Sohle zuströmen, müsste aber dennoch temporär gefasst werden, um den Sanierungsbereich nicht unnötig abzukühlen.

Es bleibt festzuhalten, dass dies kein Ausschlusskriterium darstellt. Es handelt sich um hinreichend bekannte Phänomene, die technisch lösbar sind aber einen gewissen Aufwand für die Planung und Realisierung bedingen.

Realisierungszeit

Die aktive Sanierungsphase ist in der Regel innerhalb einiger Wochen bis weniger Monate abgeschlossen. Für den vorliegenden Fall werden für die weitere Detail- und Ausführungsplanung, sowie für die Ausschreibung und Vergabe noch bis zu 3 Monate benötigt werden. Weitere 6 - 8 Monate sind für die Realisierung vorzusehen.

Akzeptanz

Die Akzeptanz ist ggf. bei den Beteiligten aufgrund der relativ geringen Erfahrungen noch förderungsbedürftig. Allerdings sollte dies anhand der hinreichend belegten positiven Erfahrungen an anderen Standorten eine lösbare Aufgabe sein.

Flexibilität

Die Technik ist vergleichsweise einfach und daher wenig störanfällig. Selbst bei Ausfällen kommt es nicht zu nachteiligen Wirkungen, da durch die Umspundung und Wasserhaltung der Abstrom gesichert bleibt.

Nachhaltigkeit und Entsorgung

Bis auf das Bohrgut für die Installationsbohrungen fallen keine kontaminierten Feststoffe für eine Entsorgung an. Im Gegensatz zu den Großlochbohrungen wird keine Ausrüstung zum Beladen und Umsetzen von Containern benötigt.

Aus dem Untergrund wird über einen Zeitraum von wenigen Monaten ein kontaminiertes Mehrphasen-Gemisch aus Dampf, Gas und wässrigen Lösungen gefördert werden. Die Reinigung wird durch herkömmliche Kondensatoren, Flüssigkeitsabscheider mit anschließender Abluftreinigung sichergestellt. Es kommen die üblichen und hinreichend bewährten technischen Verfahren zur Abluftreinigung in Frage (Aktivkohle-Anlage).

Der Energieverbrauch ist der größte Kosten- und Emissionsfaktor. Im konkreten Fall muss mit einem Energiebedarf von ca. 2 – 3 Mio. kWh gerechnet werden. Wird dieser Bedarf über Strom gedeckt, so fallen dadurch etwa 1.000 t CO₂ an. Dieses Verfahren ist in Bezug auf die CO₂-Emissionen die ungünstigste Variante.

7.2.4.3 Wirksamkeit

Kontrollierbarkeit

Die Schadstoffkonzentrationen werden regelmäßig an den extrahierten Phasen bestimmt. Über die Extraktionsraten lässt sich der Verlauf des Schadstoffaustrags relativ genau über die Zeit verfolgen. Wenn sich der Austrag nicht weiter verringern lässt oder nicht mehr messbar ist, wird der Sanierungserfolg zusätzlich anhand eines Bohrprogrammes zur Erfolgskontrolle überprüft. Dies beinhaltet die Entnahme und Analyse von Untergrund- und Grundwasserproben.

Erfolgsaussichten

In der Regel können thermische Verfahren die Schadstoffe nahezu vollständig entfernen. Wirkungsgrade von bis zu 99% sind realistisch. Das Nachlieferungspotenzial für die PCB-Grundwasserbelastung im quartären Aquifer ließe sich dadurch drastisch reduzieren. Die Restbelastungen in der Grundwasserfahne außerhalb der Sanierungsbereiche würden allerdings unverändert verbleiben.

Umweltauswirkungen

Die direkten Auswirkungen auf die Umwelt sind gering. Potenzielle Schadstoffemissionen in die Luft werden durch die aktive Absaugung und Luftreinigung unterbunden.

Staub und Gerüche entstehen nur in dem für Bohrarbeiten üblichen Umfang. Es kann vor allem in der Anfangsphase der Erwärmung zur verstärkten Freisetzung von Gerüchen kommen, die allerdings nicht mit der Freisetzung von Schadstoffen verbunden sind, sondern der Erhitzung des Bodens entstammen.

7.2.4.4 Kosten

Investitionskosten

Die Kosten hängen sehr stark vom zu behandelnden Bodenvolumen ab. Der genaue Sanierungsbereich müsste daher vorlaufend per Erkundungsbohrungen noch abschließend eingegrenzt werden. Um diese Maßnahme mit dem Aushub vergleichbar zu halten, haben wir für den Variantenvergleich auch hier mit einer Fläche zwischen 335 – 500 m² gerechnet. Die Behandlungstiefe läge bei ca. 8 m unter aktuellem Gelände. Es wären also 2.680 – 4.000 m³ zu erhitzen.

Eine überschlägige Berechnung der Behandlungskosten ist wie folgt:

■ Planung, Genehmigung, Ausschreibung und Betreuung	150.000 – 200.000 €
■ Vorlaufende Erkundung zur Abgrenzung	50.000 – 80.000 €
■ Spundwand	90.000 – 140.000 €
■ Wasserhaltung	150.000 – 250.000 €
■ Thermische Sanierung	1.100.000 – 1.800.000 €

Gesamtkosten (gerundet): ca. 1.540.000 – 2.470.000 €

Laufende Kosten

Laufende Kosten beinhalten Beprobungen und Berichterstattung für das Nachsorgemonitoring.

Die laufenden Kosten belaufen sich auf jährlich etwa **30.000 € - 50.000 €.**

Gesamtkosten bei angenommenen 20 Jahren Laufzeit etwa **2.140.000 € - 3.470.000 €**

Unter der Annahme, dass ca. 3 kg an PCB durch diese Maßnahme entfernt würden, belaufen sich die spezifischen Sanierungskosten bei 710.000 – 1.160.000 € pro kg an PCB. Die spezifischen Kosten der Bodensanierung, bei der ca. 1.100 kg PCB entfernt wurden, lag bei ca. 4.000 € pro kg PCB.

Nutzungseinschränkungen

Die Nutzungseinschränkung für das Grundwasser auf dem BMI-Gelände sowie im Abstrom der Liegenschaft wird solange aufrechterhalten, bis die PCB-Konzentrationen unter den Wert von 0,1 mg/l gesunken sind. Weitere Nutzungseinschränkungen sind nicht erforderlich.

7.2.5 Langzeitüberwachung und Nutzungseinschränkungen

7.2.5.1 Verfahrensbeschreibung

Im Bereich der Grundwasserfahne mit bekannter PCB-Restbelastung >0,1 µg/l werden die bestehenden Nutzungseinschränkungen des Grundwassers beibehalten. Die Nutzungsbeschränkung müsste auch auf das BMI-Gelände ausgeweitet werden. Die Nutzung des belasteten Grundwassers aus privaten Brunnen bliebe in Bereichen von PCB-Restbelastungen über Jahre bis Jahrzehnte verboten, da sich die einige Jahrzehnte alte Schadstofffahne nur langsam verändert und auch auf dem BMI-Gelände nur eine sehr langsame Reduzierung der Schadstoffgehalte zu beobachten ist.

Die Nutzung des Grundwassers als Brauchwasser durch die Industrie, durch Gewerbe sowie für Grundwasserwärmepumpen muss nicht grundsätzlich eingeschränkt werden. Sie wäre aber im Einzelfall zu prüfen und zu bewerten.

Es wird der natürliche Schadstoffabbau im Wasser ausgewählter Grundwassermessstellen und Brunnen im Abstrom der Liegenschaft sowie alle Messstellen auf der Liegenschaft mit einem abgestimmten Programm überwacht.

Die Gesamtsituation wird alle 5 Jahre einer erneuten Bewertung unterzogen, inkl. die Notwendigkeit zur Aufrechterhaltung der Nutzungseinschränkung für das Grundwasser.

Die Nutzungsbeschränkung ist eine Schutz- und Beschränkungsmaßnahme im Sinne §2 Abs. 8 BBodSchG, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindert.

7.2.5.2 Machbarkeit

Erfahrungswerte

Die Langzeitüberwachung und Einschränkungen der Nutzung des Grundwassers ist ein gängiges, weit verbreitetes Verfahren.

Schwierigkeitsgrad

Es handelt sich hier um ein leicht zu realisierendes Standardverfahren.

Realisierungszeit

Die erforderlichen Grundwassermessstellen und Brunnen für eine Langzeitüberwachung sind bereits vorhanden. Eine Nutzungseinschränkung ist bereits von der Stadt Landshut für die Fahne im Abstrom verfügt worden und müsste auf den Bereich des BMI-Geländes ausgeweitet werden.

Die Umsetzung kann kurzfristig binnen weniger Wochen erfolgen.

Akzeptanz

Das Verfahren erfordert den regelmäßigen Zugang zu den zu beprobenden Messstellen und Brunnen. Die Beprobung generiert keinen Lärm, Abfall oder sonstige nachteiligen Veränderungen.

Wegen der anhaltenden Nutzungsbeschränkungen und der langen Geltungsdauer dürfte die Akzeptanz der Anwohner gering sein.

Flexibilität

Bei Veränderungen des PCB-Konzentrationsbildes in der PCB-Fahne kann durch die Einbeziehung weiterer Messstellen und Brunnen sowie durch eine Veränderung des Beprobungsrhythmus flexibel reagiert werden.

Nachhaltigkeit und Entsorgung

Es fällt kein Abfall an. Die Beprobung erfordert nur minimalen Aufwand. Diese Maßnahme wird insgesamt als die mildeste und nachhaltigste aller betrachteten Maßnahmen eingestuft.

7.2.5.3 Wirksamkeit

Kontrollierbarkeit

Durch die regelmäßigen Beprobungen findet eine umfassende Kontrolle der PCB-Fahne im Hinblick auf deren Ausdehnung und Schadstoffkonzentrationen statt.

Erfolgsaussichten

Die langfristige Dokumentation der PCB-Konzentrationsentwicklung in der Schadstofffahne sollte einen allgemeinen Rückgang der PCB-Konzentrationen belegen können, da die ursprüngliche Quelle der PCB-Belastung nicht mehr im Boden vorhanden ist.

Die Zeit für die Aufrechterhaltung ist schwer abzuschätzen. Da die Quelle im Boden auf BMI-Gelände bis auf ca. 3 kg an Restbelastungen entfernt wurde, ist künftig mit abnehmenden PCB-Konzentrationen im Grundwasser zu rechnen. Da der natürliche Abbau der PCB ein sehr langwieriger Prozess ist, muss mit einigen Jahren bis Jahrzehnten gerechnet werden. Im Bereich der Fahne nordöstlich des BMI-Geländes dürfte dies schneller erfolgen als auf dem BMI-Gelände, auf dem die primäre PCB-Quelle lag.

Umweltauswirkungen

Das Verfahren hat keine zusätzlichen nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt. Es handelt sich um eine passive Maßnahme, die ohne technische Eingriffe abläuft.

7.2.5.4 Kosten

Investitionskosten

Die zu beprobenden Messstellen und Brunnen sind bereits vorhanden. Daher fallen keine Investitionskosten an.

Laufende Kosten

Laufende Kosten beinhalten Beprobungen und Berichterstattung für das Nachsorgemonitoring. Alle 5 Jahre wird die Situation neu bewertet und über die Aufrechterhaltung der Nutzungsbeschränkung neu entschieden.

Die laufenden Kosten belaufen sich auf jährlich etwa **30.000 € - 50.000 €**

Gesamtkosten bei angenommenen 20 Jahren Laufzeit etwa **600.000 € - 1.000.000 €**

Unter der Annahme, dass ca. 3 kg an PCB durch diese Maßnahme entfernt würden, belaufen sich die spezifischen Sanierungskosten bei 200.000 € – 330.000 € pro kg an PCB. Die spezifischen Kosten der Bodensanierung, bei der ca. 1.100 kg PCB entfernt wurden lag bei ca. 4.000 € pro kg PCB.

Nutzungseinschränkungen

Die Nutzung des Grundwassers auf BMI-Gelände sowie im Abstrom der Liegenschaft wird solange aufrechterhalten, bis die PCB-Konzentrationen unter den Wert von 0,1 µg/l gesunken sind. Weitere Nutzungseinschränkungen sind nicht erforderlich.

7.2.6 Abschließende Bewertung

Die Bewertung der betrachteten Maßnahmen ist in der nachfolgenden Tabelle nach einem einfachen vergleichenden Bewertungsschema dargestellt.

Tabelle 12: Bewertungsmatrix von Sanierungsvarianten

Kriterium	Hydraulische Sicherung	Reaktive Wand	Bodenaus- tausch	Nutzungsein- schränkung, Lang- zeitüberwachung	In-Situ Thermische Desorption
Erfahrungen	++	-	++	++	o
Schwierigkeit	+	--	-	++	+
Akzeptanz	o	o	o	--	o
Flexibilität	+	-	--	o	+
Nachhaltig- keit/Entsorgung	o	+	--	++	--
Wirksamkeit	o	o	+	-	++
CO2-Emissionen	-	+	-	++	--
Kosten	--	--	--	++	--
Summe	o	-	-	+	o

++ Sehr gut/positiv + gut/positiv.... o Neutral ...- schlecht/negativ -- Sehr schlecht/negativ

Es ist zu konstatieren, dass keine der Maßnahmen geeignet ist, die Nutzungseinschränkung im Bereich der Fahne im Abstrom des BMI-Geländes kurzfristig entbehrlich zu machen. Egal welches Verfahren umgesetzt wird, muss diese Beschränkung voraussichtlich noch über Jahre bis wenige Jahrzehnte aufrechterhalten werden.

Die Verfahren mit Bodenaustausch und In-Situ-Thermische Sanierung haben den Vorteil, dass die Restbelastung auf BMI-Gelände nahezu vollständig entfernt werden könnte. Dafür haben sie die schlechteste Kosten-Effizienz und den höchsten Energie- und Ressourcenverbrauch sowie die höchsten CO₂-Emissionen.

Alle betrachteten Maßnahmen, mit Ausnahme der Nutzungseinschränkung mit Langzeitüberwachung, haben gemeinsam, dass zur Entfernung einer geringen Restmasse von ca. 3 kg an Restbelastung (im Vergleich zur bereits entfernten PCB-Masse von ca. 1.100 kg) ein sehr hoher Einsatz an Energie mit zugehörigen Emissionen sowie dem Verbrauch an Grundwasser erforderlich wäre. Als Beispiel sei an dieser Stelle auf die spezifischen Sanierungskosten zwischen 200.000 und 1.250.000 € pro kg PCB verwiesen. Zum Vergleich lagen die spezifischen Kosten der Bodensanierung bei etwa 4.000 € pro kg PCB. Insgesamt sind diese Maßnahmen wegen der geringen Effizienz zur Entfernung bzw. Sicherung einer relativ geringen Masse an Restbelastung als unverhältnismäßig einzustufen.

Aus der Gesamtschau ergibt sich die Empfehlung, die Maßnahme der Nutzungseinschränkung mit Langzeitüberwachung und regelmäßiger Neubewertung umzusetzen. Diese Maßnahme ist die mildeste der geprüften notwendigen und geeigneten Maßnahmen. Die Nutzungsbeschränkung ist eine Schutz- und Beschränkungsmaßnahme im Sinne §2 Abs. 8 BBodSchG, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindert.

8. EMPFEHLUNGEN ZUM WEITEREN VORGEHEN

Aus der Gesamtschau ergibt sich die Empfehlung, die Maßnahme der Nutzungseinschränkung mit Langzeitüberwachung und regelmäßiger Neubewertung umzusetzen. Diese Maßnahme ist die mildeste der geprüften, notwendigen und geeigneten Maßnahmen.

Die Nutzungsbeschränkung ist eine Schutz- und Beschränkungsmaßnahme im Sinne § 2 Abs. 8 BBodSchG, die Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit verhindert.

Die bereits für die Abstromfahne verfügte Nutzungsbeschränkung müsste auch auf das BMI-Gelände ausgeweitet werden. Sie ist solange aufrechtzuerhalten, bis die PCB-Restbelastung dauerhaft unter den Wert von 0,1 µg/l sinkt.

Die Zeit für die Aufrechterhaltung ist schwer abzuschätzen. Da die Quelle im Boden auf BMI-Gelände bis auf ca. 3 kg an Restbelastungen entfernt wurde, ist künftig mit abnehmenden PCB-Konzentrationen im Grundwasser zu rechnen. Da der natürliche Abbau der PCB ein sehr langwieriger Prozess ist, muss mit einigen Jahren bis Jahrzehnten gerechnet werden. Im Bereich der Fahne nordöstlich des BMI-Geländes dürfte dies jedoch schneller erfolgen als auf dem BMI-Gelände selbst, auf dem die primäre PCB-Quelle lag.

Die Nutzung des Grundwassers als Brauchwasser durch die Industrie, durch Gewerbe sowie für Grundwasserwärmepumpen muss nicht zwingend eingeschränkt werden und ist im Einzelfall zu prüfen und zu bewerten.

Es werden ausgewählte Grundwassermessstellen und Brunnen im Abstrom der Liegenschaft sowie alle Messstellen auf der Liegenschaft im Rahmen eines Überwachungsprogramms überwacht.

Alle 5 Jahre sollte anhand der wachsenden Überwachungsdaten eine Neubewertung der Situation erfolgen, um darüber zu entscheiden, ob und wie lange die Nutzungseinschränkung aufrechterhalten werden muss.

Im nächsten Schritt sollte das Konzept der Grundwasserüberwachung mit genauer Definition der Messstellen, der Probenahmetechnik und der Beprobungshäufigkeit entwickelt und abgestimmt werden.

ANHÄNGE

ANHANG A PLÄNE

Anhang A1:	Lageplan des Standorts
Anhang A2:	Standortplan mit alten und neuen Grundwassermessstellen und Brunnen
Anhang A3:	Ehemalige Sanierungsbereiche
Anhang A4:	Plan mit Lage der Grundwassermessstellen, Grundwassergleichen und Ganglinien der PCB-Konzentrationen
Anhang A5:	GW-Belastungen
Anhang A6:	Plan mit Direct Push Sondierungen Boden und Grundwasser
Anhang A7:	Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148
Anhang A8:	Aufbau des Immissionspumpversuchs an Messstelle P12Q
Anhang A9:	Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs
Anhang A10:	PCB-Restbelastungen im Boden auf dem BMI-Gelände
Anhang A11:	Historischer Plan alter Bachlauf Klötzlmühlbach

ANHANG B SCHICHTENVERZEICHNISSE UND AUSBAUPLÄNE

Anhang B1:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne ehemalige BMI Betriebsbrunnen
Anhang B2:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne ehemalige Tertiärmessstellen P4, P5A, P5B, P5C
Anhang B3:	Schichtenverzeichnis und Ausbauplan ehemalige Tertiärmessstelle P6
Anhang B4:	Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne aller vorhandenen Messstellen im quartären und tertiären Grundwasserleiter: PQ 9 bis PQ 17, P10T, P11T und P15T
Anhang B5:	Schichtenverzeichnisse und Bodenprofile RKS 1 bis RKS 8 zur Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148
Anhang B6:	Schichtenverzeichnisse und Bodenprofile Direct Push Linersondierungen DP1 bis DP5 und Protokolle Grundwassersondierungen GWS1 bis GWS5

ANHANG C DOKUMENTE

Anhang C1:	Auswertung IPV an P12Q durch Hydrotech Karch
Anhang C2:	Prinzipiskizzen des Aushubs und der Wiederverfüllung bis zum aktuellen Ist-Zustand

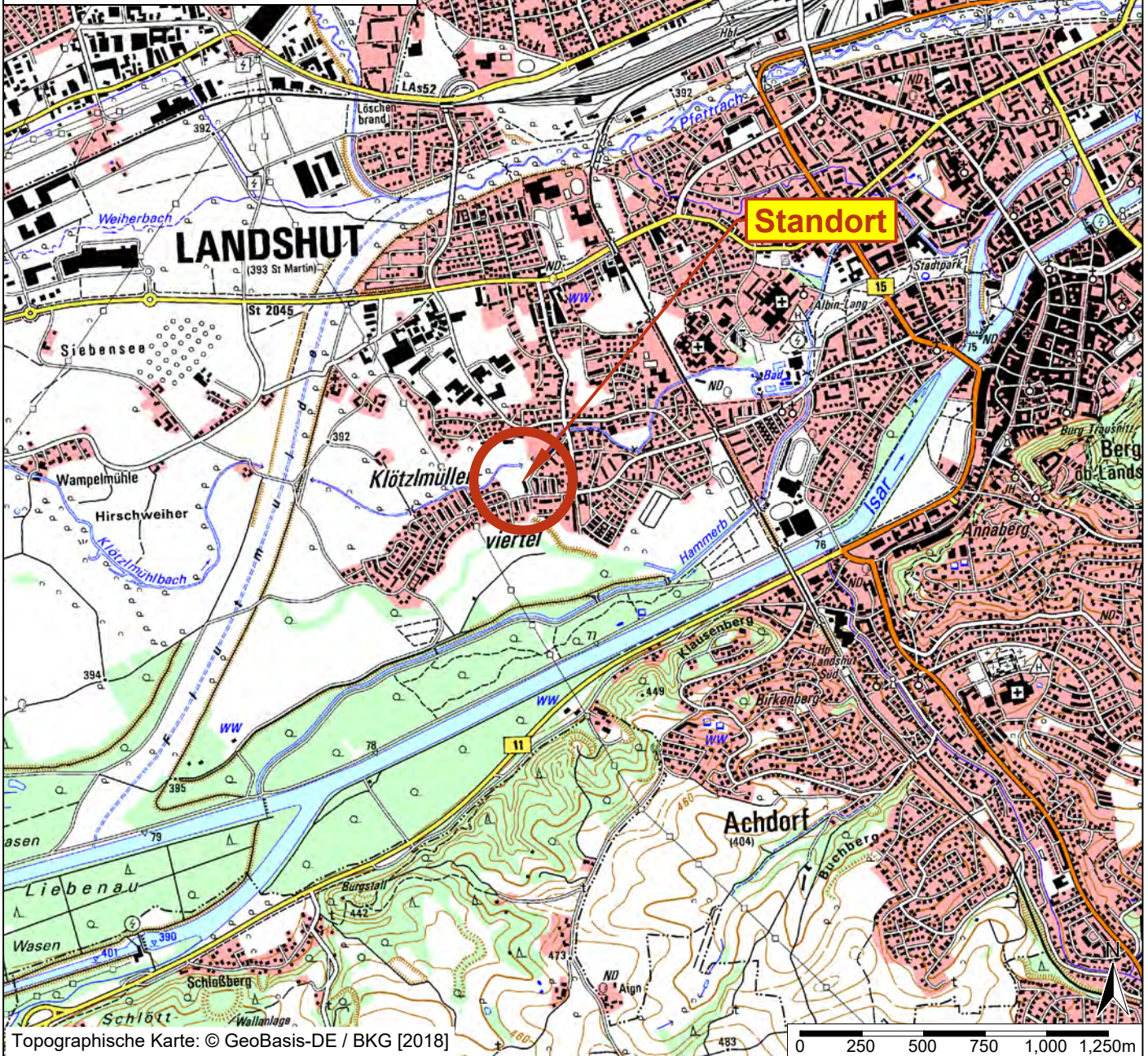
ANHANG D LABORBERICHTE

Anhang D1:	Laborberichte Bodenerkundung Klötzlmüllerstr. 148
Anhang D2:	Laborberichte Grundwasser Immissionspumpversuch an P12Q
Anhang D3:	Laborberichte Direct Push (Boden)
Anhang D4:	Laborberichte Direct Push (Grundwasser)
Anhang D5:	Laborbericht Boden Bau Messstelle P15T
Anhang D6:	Laborbericht Beprobung Tertiärmessstellen Juli 2021 (Grundwasser)

ANHANG A PLÄNE

ANHANG A PLÄNE

Anhang A1: Lageplan des Standorts

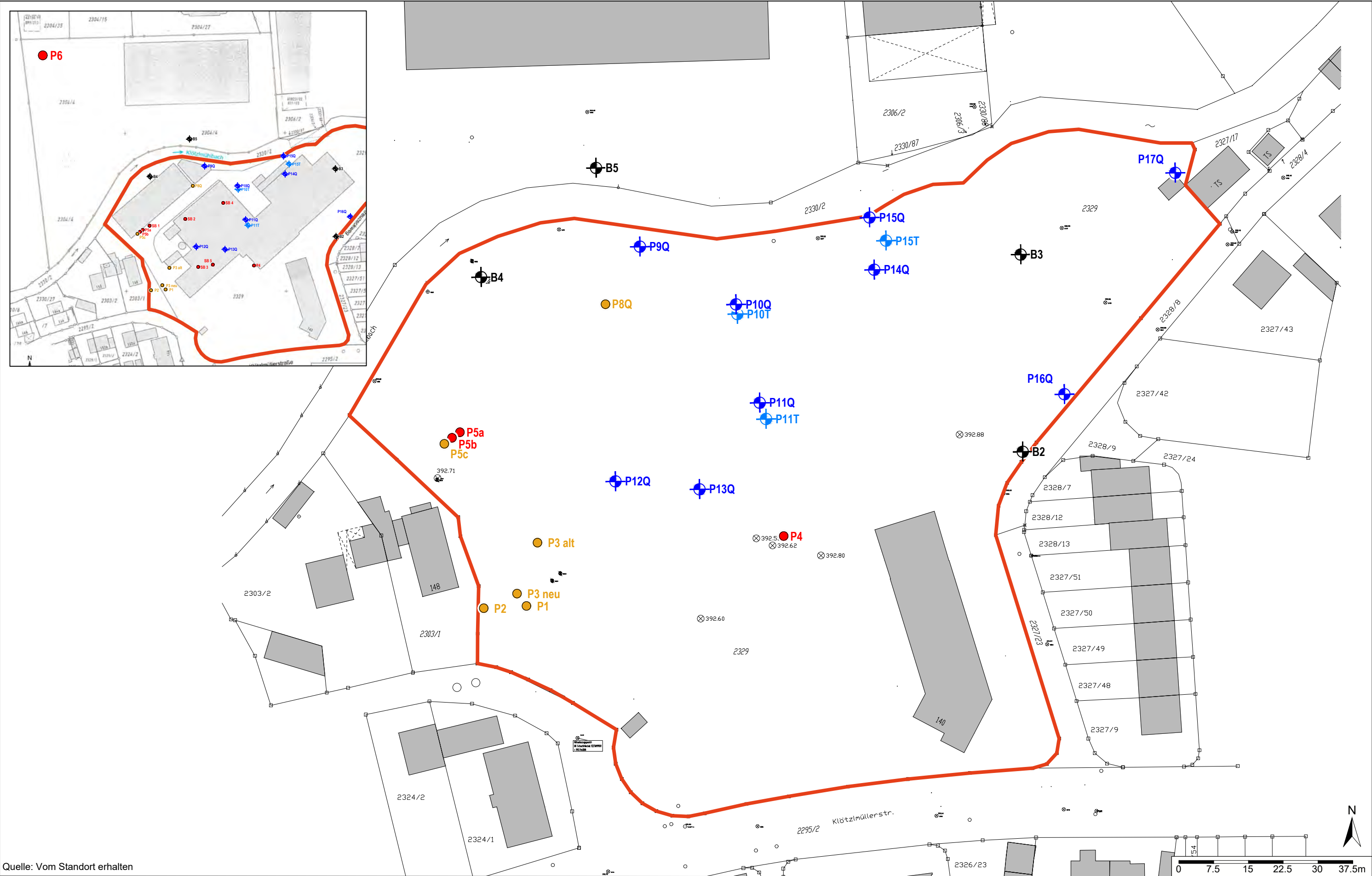


 ERM GmbH Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0	Gezeichnet: Robin Kallmeyer	BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland Lageplan des Standorts	Projekt-Nr: 0027473
	Gezeichnet: Robin Kallmeyer	Kunde:	Maßstab: 1 : 25,000
	Geprüft: Olaf Filzinger		Anhang: A1
Datum: 2021-09-16		Vishay Electronic GmbH	
		Blattgröße: DIN A4	

ANHANG A PLÄNE

Anhang A2: Standortplan mit alten und neuen Grundwassermessstellen und
Brunner

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Pläne\2018 03 28 Lage Von Grundwassermessstellen\2021 08 17 Lage Von GWMa Klötzlmüllerstrasse Landshut_s.mxd] [Layout Name: A2-Grundwassermessstellen] [Plot Date: August 24, 2021; 9:52, Svetislav Mijic]



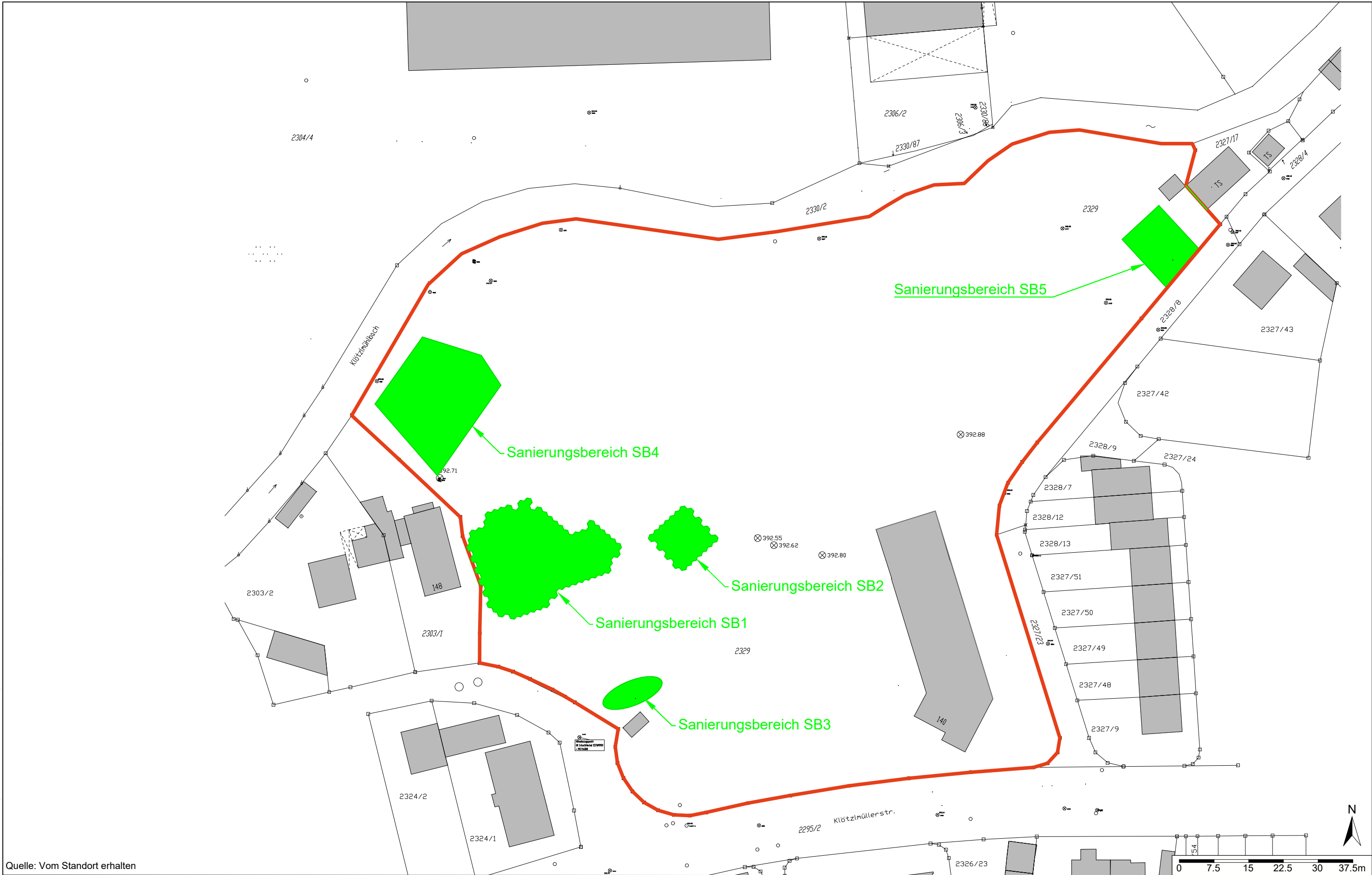
Quelle: Vom Standort erhalten

Legende:		ERM GmbH		BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140		Projekt-Nr: 0027473	
	Grundwassermessstelle Tertiär		Grundwassermessstelle Quartär, rückgebaut	Gezeichnet: Svetislav Mijic	Landshut, Deutschland		Maßstab: 1 : 750
	Grundwassermessstelle Quartär		Grundwassermessstelle Tertiär, rückgebaut	Geprüft: Olaf Filzinger	Kunde: Vishay Electronic GmbH		Anhang: A2
	Betriebsbrunnen, rückgebaut			Datum: 2021-08-24			Blattgröße: DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A3: Ehemalige Sanierungsbereiche

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Pläne\2018\03\28 Lage Von Grundwasserermessstellen\2021\08\17 Lage Von GW-Ma Klötzlmüllerstrasse Landshut.smdwg] [Layout Name: SanierungsBereich] [Plot Date: August 18, 2021 9:25, Svetislav Mijic]



Quelle: Vom Standort erhalten

Legende:



ERM GmbH

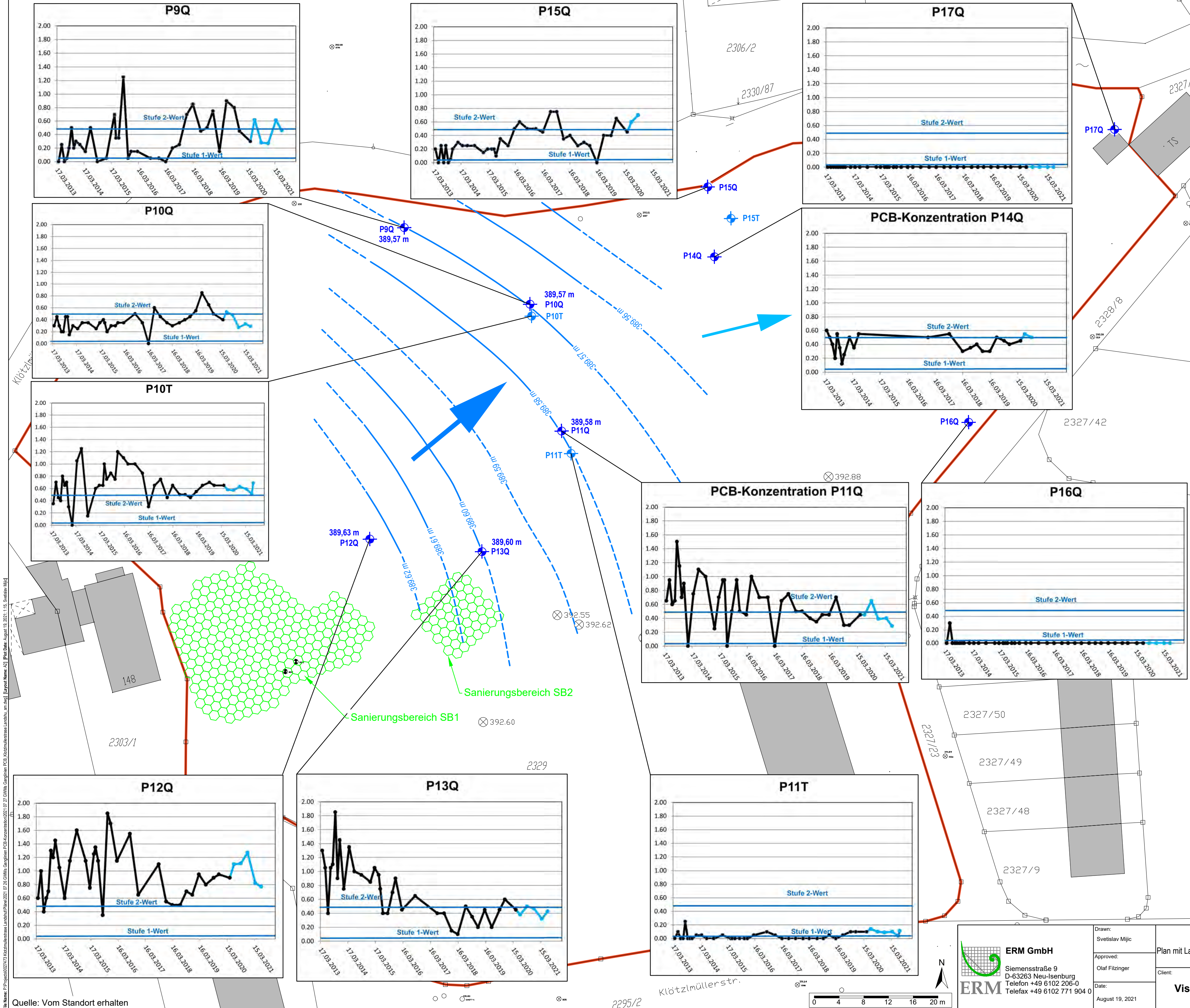
Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet: Svetislav Mijic
Geprüft: Olaf Filzinger
Datum: 2021-08-17

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland Ehemalige Sanierungsbereiche		Projekt-Nr: 0027473
Kunde: Vishay Electronic GmbH		Maßstab: 1 : 750
		Anhang: A3
		Blattgröße: DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A4: Plan mit Lage der Grundwassermessstellen, Grundwasser-
gleichen und Ganglinien der PCB-Konzentrationen



Legende:

- Standortgrenze
- Grundwassermessstelle *Quartär*
- Grundwassermessstelle *Tertiär*

Ganglinie PCB-Konzentration mit Stufenwerten [µg/l], 6 Kongenere x 5. Stand: 06.07.2021

P9Q

PCB-Konzentration in µg/l
Bestimmungsgrenze = 0,01 µg/

PCB-Konzentration in µg/l
Bestimmungsgrenze = 0,001 µg/l

Grundwassergleiche Quartär [m üNN], 10. Mai 2016

Grundwasserspiegel Quartär [m üNN], 10. Mai 2016

Grundwasserfließrichtung *Quartär* am 10. Mai 2021

Angenommene Grundwasserfließrichtung *Tertiär*

Quelle: Vom Standort erhalten

File Name: P:\Projekte\2021\Klotzlmüllerstr. Landshut\Plan\2021_07_26_GWMA_Ganglinien_PCB_Konzentrationen.dwg [Plot Date: August 19, 2021, 1:15, Svetislav Mijic]

2295/2

ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Drawn: Svetislav Mijic
Approved: Olaf Filzinger
Date: August 19, 2021

Scale: 1 : 400
Annex: A4
Size: DIN A2

Vishay Electronic GmbH
Landshut, Deutschland

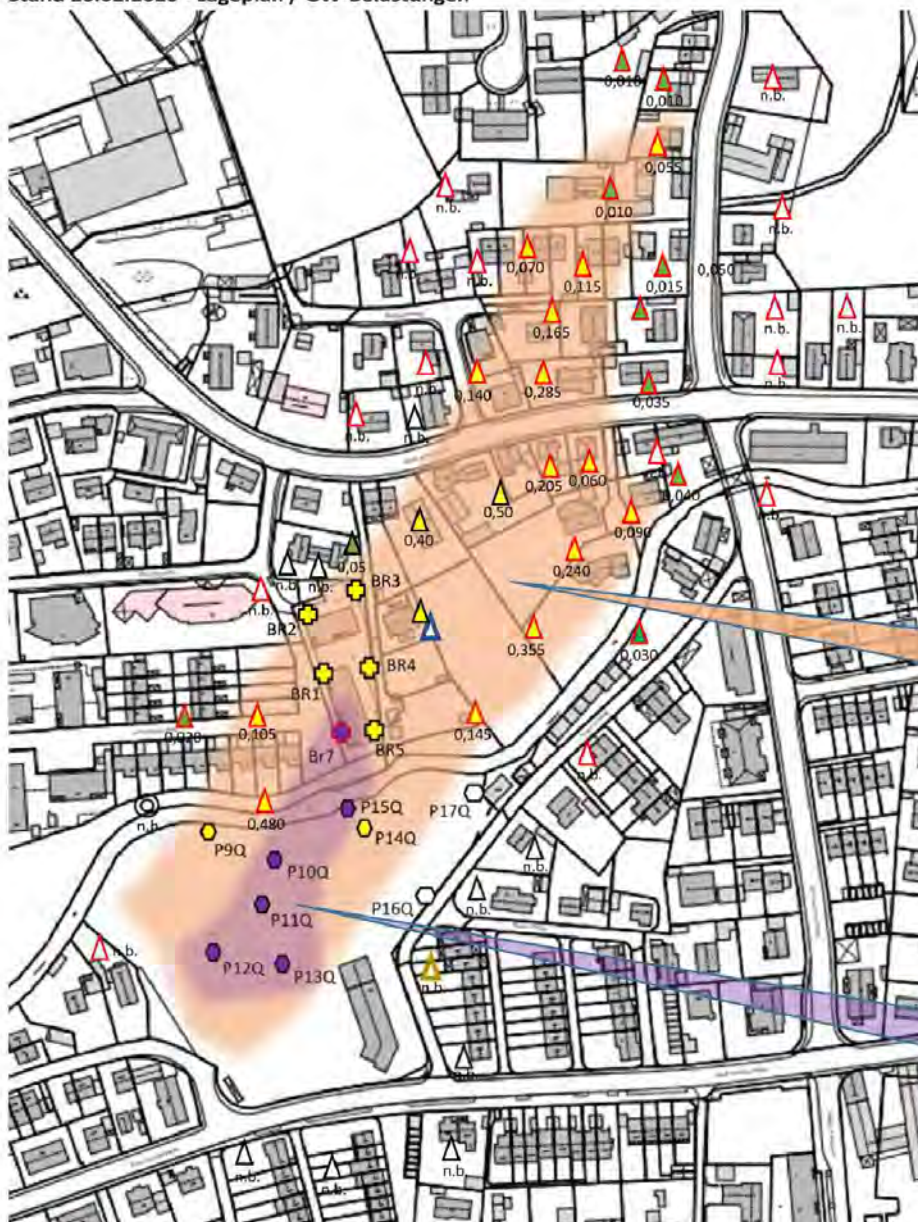
Plan mit Lage der Grundwassermessstellen, Grundwassergleichen und Ganglinien der PCB-Konzentrationen

Client:

Vishay Electronic GmbH, Landshut

ANHANG A PLÄNE

Anhang A5: GW-Belastungen



Bereich Grundwasserbelastung
>Stufe1-Wert bzw. =Stufe2-
Wert
Umgriff angenommen und
skizziert

Bereich mit wiederkehrenden
Überschreitungen des Stufe2-
Wertes im Grundwasser
Umgriff angenommen und
skizziert

- △ △ Befragung über Gartenwasserpumpe, Schwengelpumpe oder Rammpegel / keine PCB-Belastung nachgewiesen
 - △ △ Befragung über Gartenwasserpumpe / keine PCB, LHKW, BTEX und MKW nachgewiesen
 - △ △ Befragung Förderwasser Grundwasserwärmepumpe April 2017 / keine PCB-Belastung nachgewiesen
 - △ △ Befragung über Gartenwasserpumpe, Schwengelpumpe oder Rammpegel / PCB-Belastung ≤ Stufe1-Wert
 - △ △ Befragung Gartenwasserpumpe, Schwengelpumpe oder Rammpegel / PCB-Belastung > Stufe1-Wert oder = Stufe2-Wert
 - Befragung Grundwassermessstelle BMI (Grundwassermonitoring 2013 bis 2020) / keine PCB-Belastung nachweisbar
 - Befragung GWM BMI (Grundwassermonitoring 2013 bis 2020) / PCB-Belastung > Stufe1-Wert oder = Stufe2-Wert
 - Befragung GWM BMI (Grundwassermonitoring 2013 bis 2020) / PCB-Belastung > Stufe2-Wert nachgewiesen
 - ⊕ Befragung Bauwassererhaltungsbrunnen (März 2019 bis dato) / PCB-Belastung > Stufe1-Wert oder = Stufe2-Wert
 - ⊕ Befragung Bauwassererhaltungsbrunnen (März 2019 bis dato) / PCB-Belastung > Stufe2-Wert
 - ⊙ Grundwassermessstelle GWM1 (nicht mehr vorhanden) / keine PCB-Belastung nachgewiesen
- Lage der Grundwasseraufschlüsse ungefähr
rot umrandete Symbole = Analyse mit Bestimmungsgrenze von 1ng/l
schwarz umrandete Symbole = Analyse mit Bestimmungsgrenze von 10ng/l
Zahlenwerte unter Symbolen = Massenkonzentration PCB gesamt (6 Ballschmitter Kongenere x 5) in µg/l

2020-02-27 GW-Belastungen-Abstrom BMI-Gelände.docx / Anlage 2

Quelle: Stadt Landshut, 27.02.2020: Ehemaliges BMI-Gelände, Klötzlmüllerstr. 140 in 84043 Landshut
Erkundung von PCB-Belastungen im abströmigen quartären Grundwasserleiter



ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet:
Svetislav Mijic

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2021-08-17

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140
Landshut, Deutschland
GW - Belastungen

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

Maßstab:
-

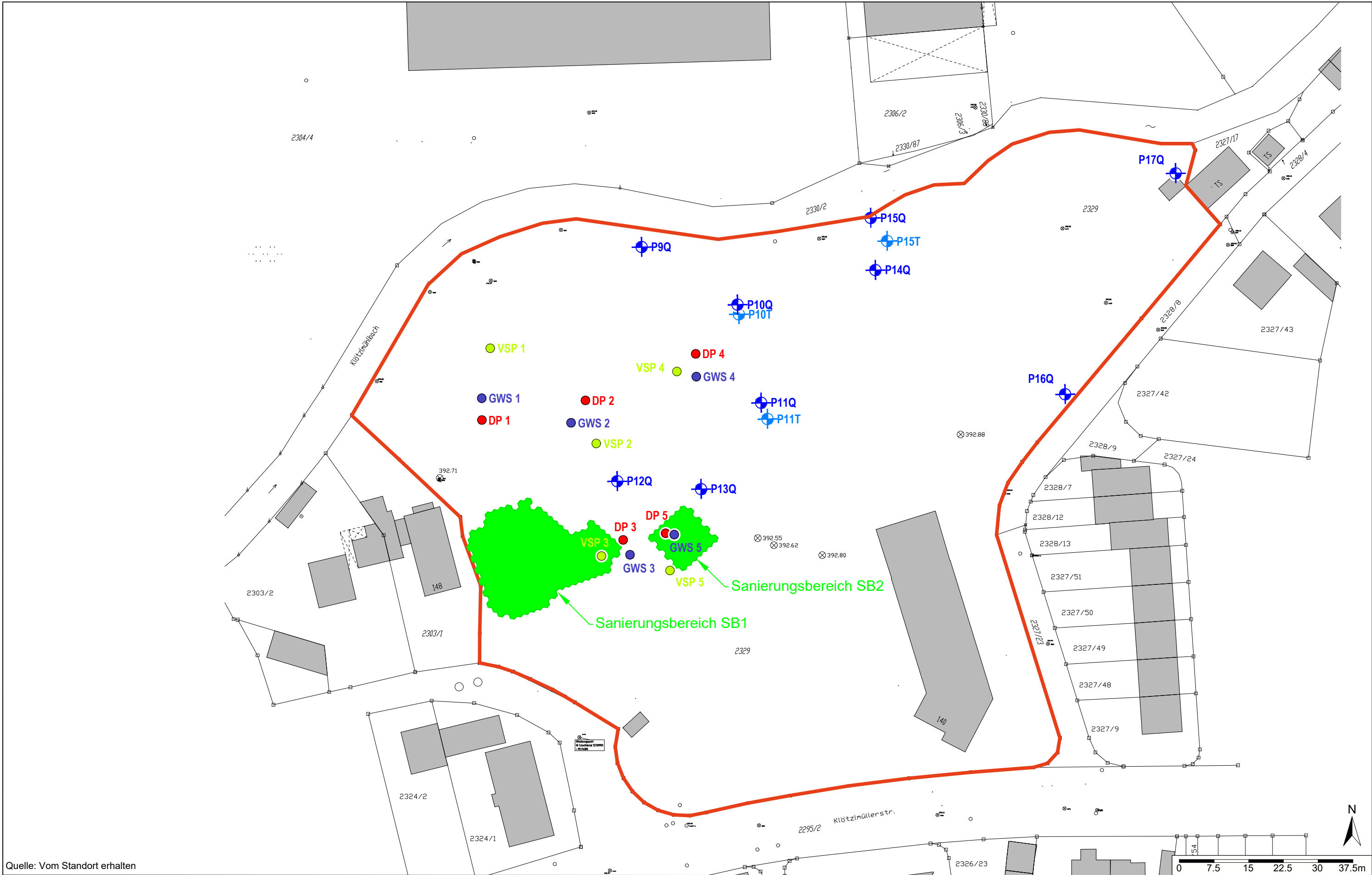
Anhang:
A5

Blattgröße:
DIN A4

ANHANG A PLÄNE

Anhang A6: Plan mit Direct Push Sondierungen Boden und Grundwasser

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Pläne\2018 03 28 Lage Von Grundwassermessstellen\2021 08 17 Lage Von GWMs Klötzlmüllerstrasse Landshut.smdwg] [Layout Name: DP Positionen] [Plot Date: August 19, 2021: 10:13 Svetlana Mijic]



Quelle: Vom Standort erhalten

Legende:

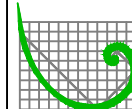
- **DP 4** Bodensondierung Direct Push
- **GWS 4** Grundwassersondierung Direct Push
- **VSP 1** Vom WWA Landshut ursprünglich vorgeschlagene Lage der Sondierpunkte



Grundwassermessstelle *Quartär*



Grundwassermessstelle *Tertiär*



ERM

ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet:
Svetislav Mijic

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2021-08-18

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140

Landshut, Deutschland
Lageplan der Direct Push-Sondierungen

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

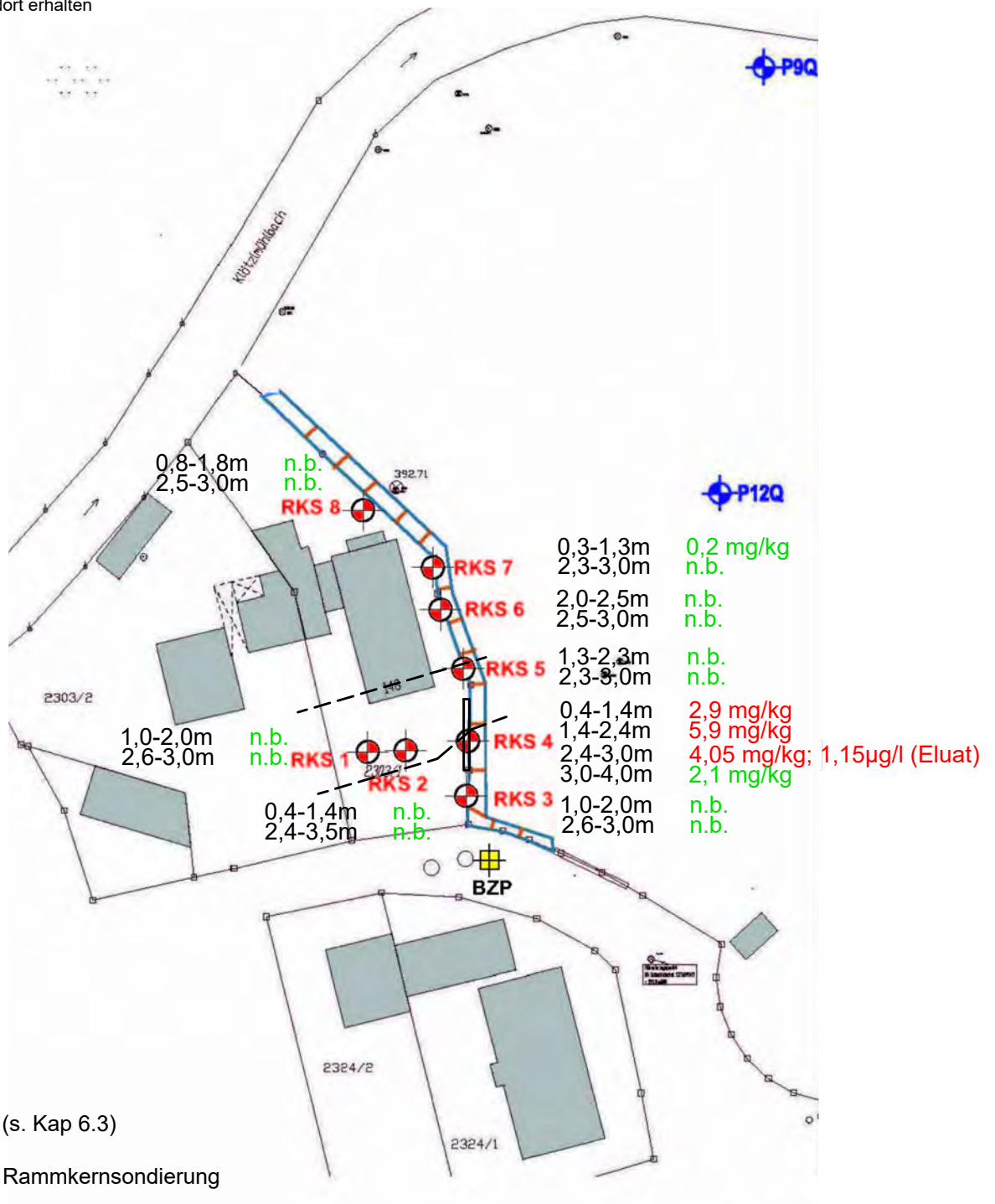
Maßstab:
1 : 750

Anhang:

A6
Blattgröße:
DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A7: Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148



Legende:



Rammkernsondierung

PCB-Gehalte im Feststoff (in mg/kg)

Konzentration < Sanierungszielwert

Konzentration > Sanierungszielwert

PCB-Gehalte im Eluat (in µg/l)

Konzentration < Prüfwert

Konzentration > Prüfwert

n.b.

Nicht bestimmbar

Grenzen des alten Bachlaufs

■

PCB-Belastungsbereich

■

Höhenbezugspunkt

BZP

0 7.5 15 22.5 30 37.5m



ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet:
Robin Kallmeyer

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2021-09-16

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140
Landshut, Deutschland
Bodenerkundung Klötzlmüllerstraße 148

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

Maßstab:
1 : 750

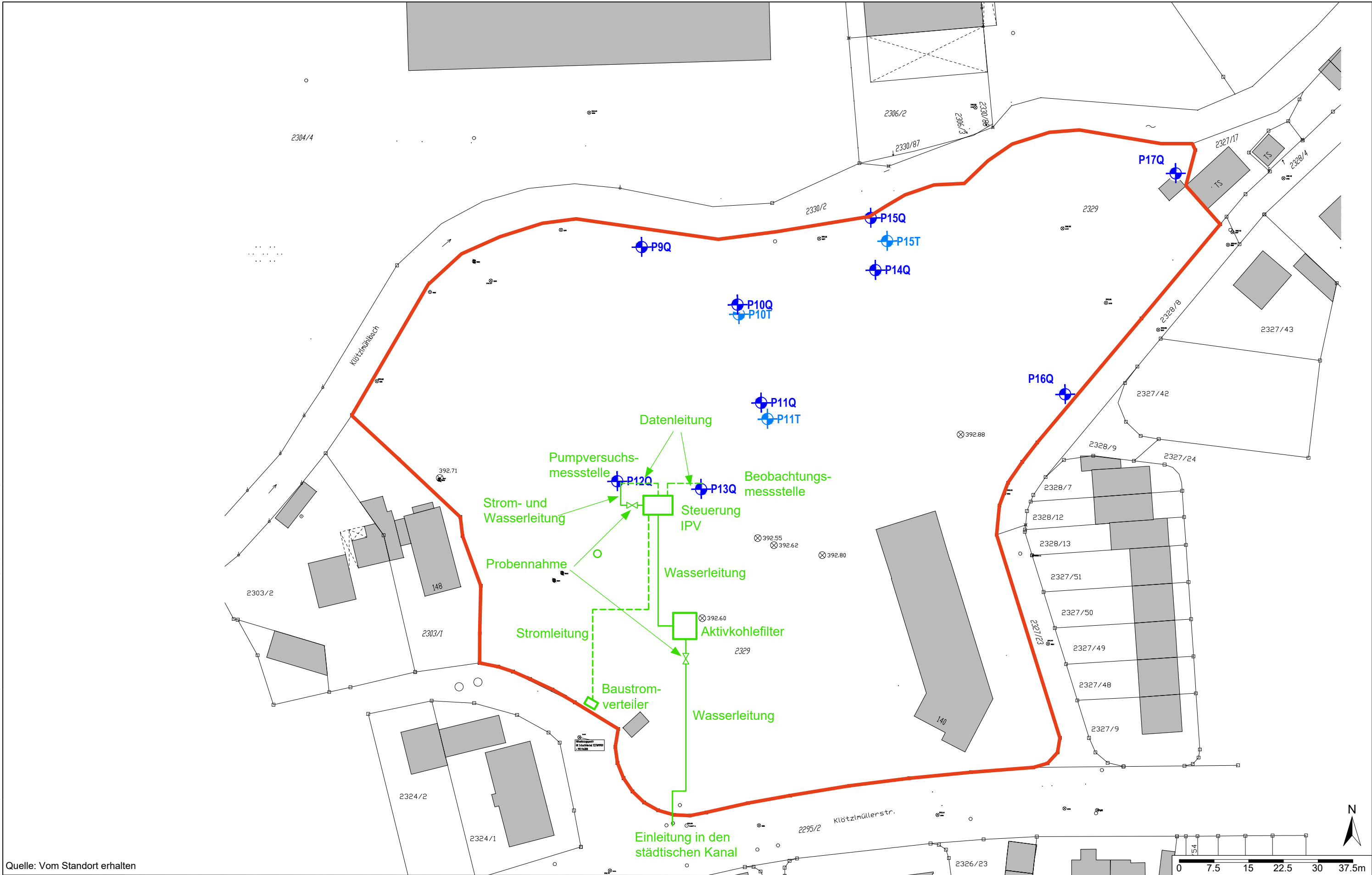
Anhang:
A7

Blattgröße:
DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A8: Aufbau des Immissionspumpversuchs an Messstelle P12Q

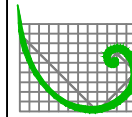
[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Pläne\2018 03 28 Lage Von Grundwassermessstellen\2021 08 17 Lage Von GWMa Klötzlmüllerstrasse Landshut_smd.vwg] [Plot Date: August 20, 2021; 4:32, Svetislav Mijic]



Quelle: Vom Standort erhalten

Legende:

- Grundwassermessstelle *Quartär*
- Grundwassermessstelle *Tertiär*



ERM

ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet:
Svetislav Mijic

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2021-08-20

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140

Landshut, Deutschland

Aufbau des Immissionspumpversuchs an Messstelle P12Q

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

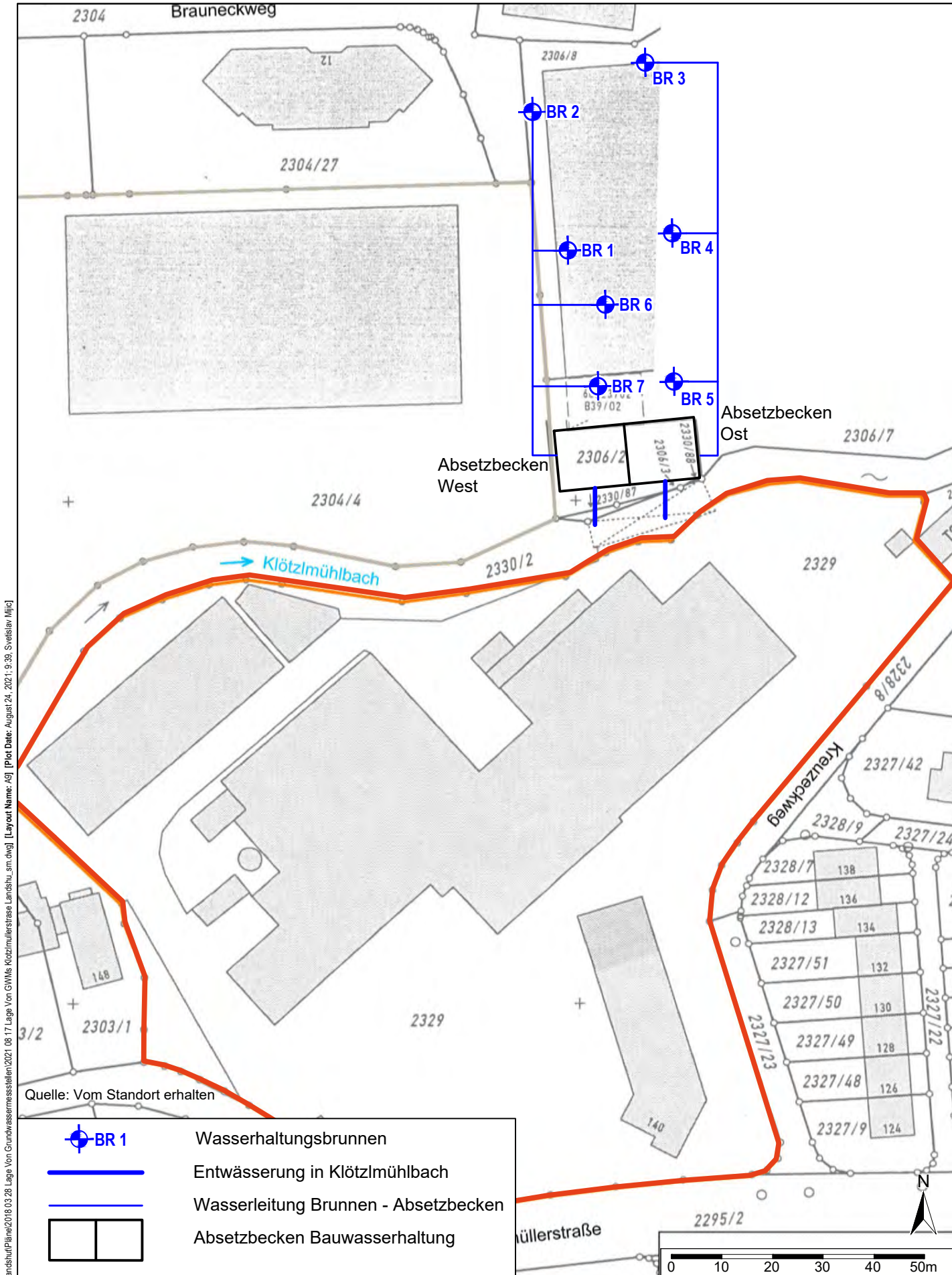
Maßstab:
1 : 750

Anhang:
A8

Blattgröße:
DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A9: Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs



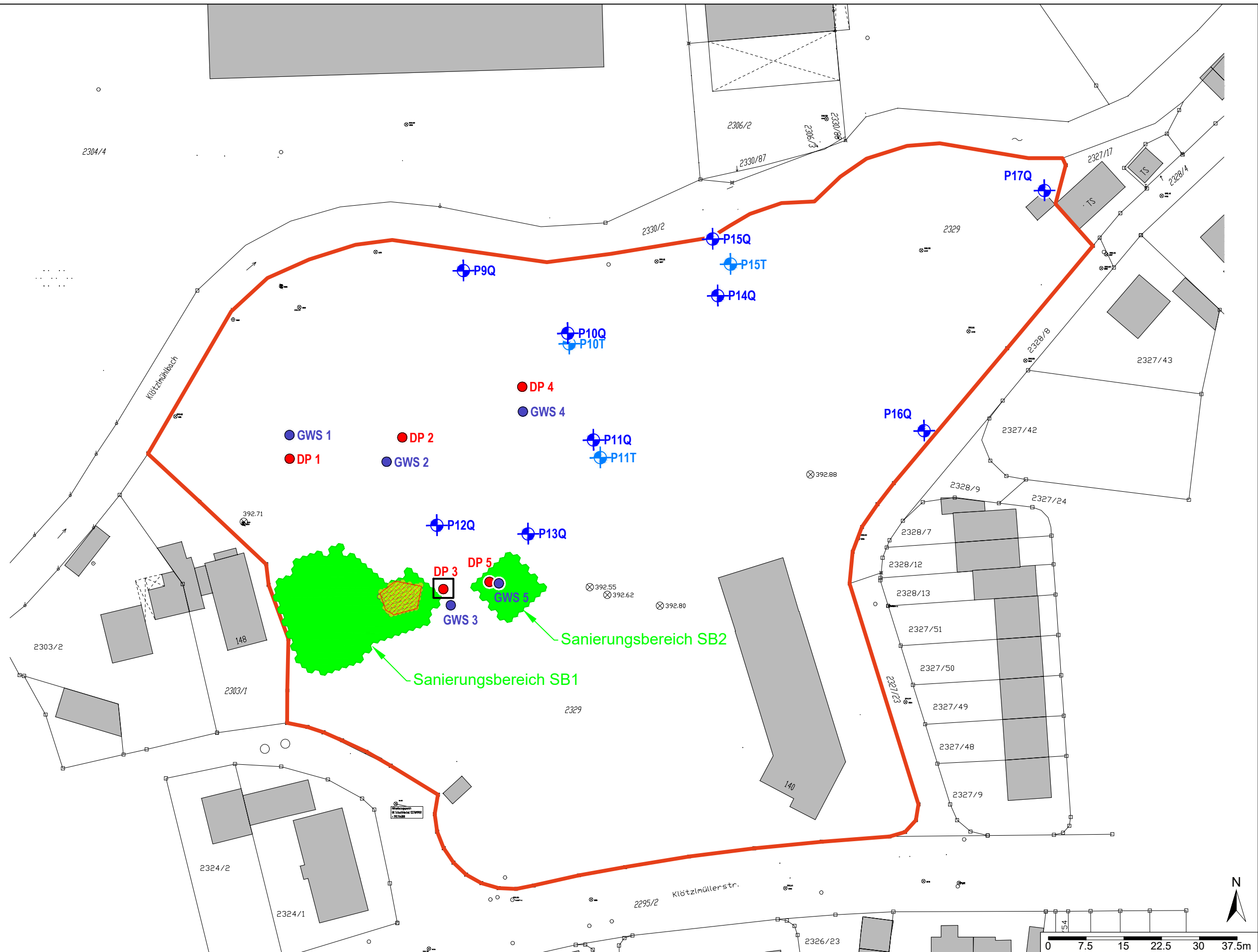
 ERM GmbH Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0	Gezeichnet: Svetislav Mijic	BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs	Projekt-Nr: 0027473
	Geprüft: Olaf Filzinger		Maßstab: 1 : 1,000
	Datum: 2021-08-24	Kunde: Vishay Electronic GmbH	Anhang: A9
			Blattgröße: DIN A4

File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstr. Landshut\Plane\2018\03\28 Lage Von Grundwasserstellen\2021_08\17 Lage Von GWs Klötzlmüllerstr. Landshut_sm.dwg [Plot Date: August 24, 2021; 9:39; Svetislav Mijic]

ANHANG A PLÄNE

Anhang A10: PCB-Restbelastungen im Boden auf dem BMI-Gelände

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Pläne\2018.03.28 Lage Von Grundwassermessstellen\2021_09_15_Lage Von GWMs Klötzlmüllerstrasse Landshut_k.dwg] [Layout Name: A10] [Plot Date: September 16, 2021; 127, Robin Kallmeyer]



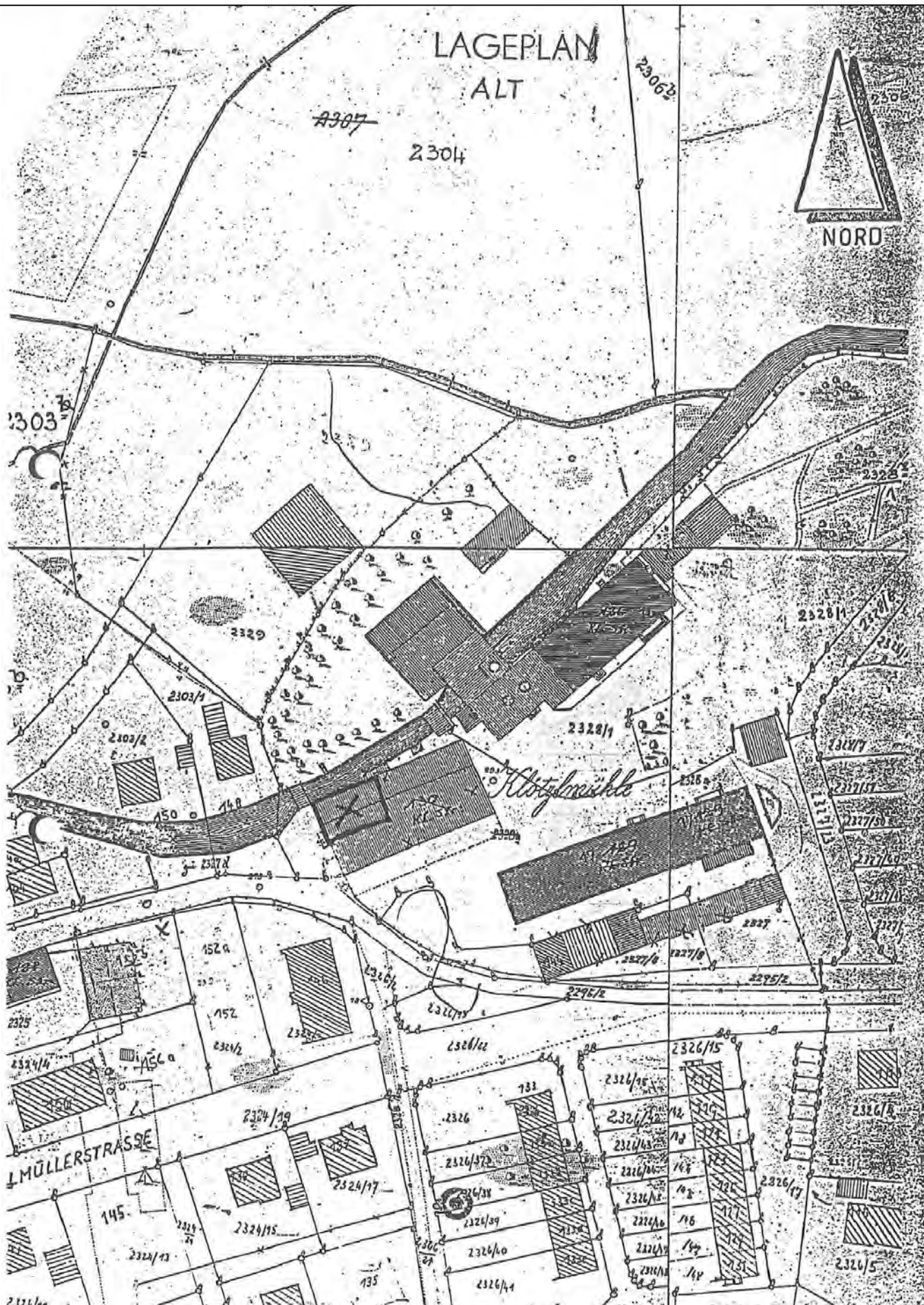
Quelle: Vom Standort erhalten

Legende: <ul style="list-style-type: none">● DP 4 Bodensondierung Direct Push● GWS 4 Grundwassersondierung Direct Push● Überschrittene GroßbohrungSanierungsbereich SB1 und SB2; Bodenaustausch im Wabenverfahren mit überschrittenen Großbohrungen sanierte Fläche		 Grundwassermessstelle <i>Quartär</i> Grundwassermessstelle <i>Tertiär</i> Bereich mit PCB-Restbelastungen über dem Sanierungszielwert im Boden Angenommener Bereich mit PCB-Restbelastungen unter dem Sanierungszielwert im Boden	ERM GmbH Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0	Gezeichnet: Robin Kallmeyer	BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland PCB-Restbelastungen im Boden auf dem BMI-Gelände Kunde: Vishay Electronic GmbH	Projekt-Nr: 0027473
				Geprüft: Olaf Filzinger		Maßstab: 1 : 750
				Datum: 2021-09-16		Anhang: A10 Blattgröße: DIN A3

ANHANG A PLÄNE

Anhang A11: Historischer Plan alter Bachlauf Klötzlmühlbach

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Plane\2018-03-28 Lage Von Grundwasserstellen\2021-08-17 Lage Von GWs Klötzlmüllerstrasse Landshut_sm.dwg] [Plot Date: August 20, 2021, 4:55, Svetislav Mijic]



ERM GmbH

Siemensstraße 9
D-63263 Neu-Isenburg
Telefon +49 6102 206-0
Telefax +49 6102 771 904 0

Gezeichnet:
Svetislav Mijic

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2021-08-20

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140

Landshut, Deutschland

Historischer Plan alter Bachlauf Klötzlmühlbach, Quelle unbekannt

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

Maßstab:
-

Anhang:
A11

Blattgröße:
DIN A3

ANHANG B SCHICHTENVERZEICHNISSE UND AUSBAUPLÄNE

ANHANG C DOKUMENTE

ANHANG D LABORBERICHTE

**ERM has over 160 offices across the following
countries and territories worldwide**

Argentina	New Zealand
Australia	Norway
Belgium	Panama
Brazil	Peru
Canada	Poland
Chile	Portugal
China	Puerto Rico
Colombia	Romania
France	Russia
Germany	Singapore
Hong Kong	South Africa
India	South Korea
Indonesia	Spain
Ireland	Sweden
Italy	Switzerland
Japan	Taiwan
Kazakhstan	Thailand
Kenya	The Netherlands
Malaysia	UAE
Mexico	UK
Mozambique	US
Myanmar	Vietnam

ERM GmbH

Siemensstrasse 9
63263 Neu-Isenburg
Germany

T: +49 (0) 6102 206-0

F: +49 (0) 6102 771 904 0

www.erm.com