

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

Bewertung PCB-Abstromfahne

Ehemaliges BMI-Gelände Landshut,
Klötzlmüllerstr. 140

4. April 2022

Projekt Nr.: 0027473

Unterschriftenseite

4. April 2022

Bewertung PCB-Abstromfahne

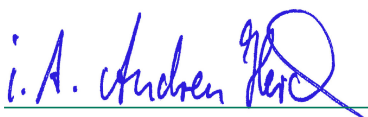
Ehemaliges BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140



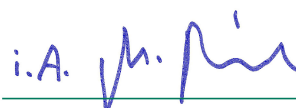
Dr. Klaus Schnell
Projektdirektor, Partner



Olaf Filzinger
Projektleiter, Principal Consultant



Dr. Andrea Herch
Technical Director



Dr. Matthias Piepenbrink
Principal Consultant

ERM GmbH
Siemensstraße 9
63263 Neu-Isenburg

© Copyright 2022 by The ERM International Group Limited 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 prior written permission of ERM.

INHALT

1.	EINLEITUNG	1
2.	AUFGABENSTELLUNG	2
3.	VERWENDETE UNTERLAGEN	3
4.	GRUNDWASSERLEITER	5
4.1	Quartärer Grundwasserleiter	5
4.2	Tertiärer Grundwasserleiter	5
5.	STOFFTRANSPORT VON POLYCHLORIERTEN BIPHENYLEN	6
5.1	Stoffeigenschaften und Stofftransport der PCB	6
5.2	Kongener-spezifischer Stofftransport der PCB	8
5.3	Kongenerspezifischer Stofftransport der PCB unter Ungleichgewichtsbedingungen	10
5.4	Belastung des Materials im Grundwasserleiter durch PCB aus der Schadstofffahne	12
6.	DATENQUALITÄT	13
6.1	Ehemaliges BMI-Gelände	13
6.2	Bauwasserhaltung	13
6.3	Abstrombereich ehemaliges BMI-Gelände	14
7.	FAHNENBETRACHTUNG	16
7.1	Trendanalysen der Stadt Landshut	16
7.2	Multiple Trendanalysen	17
7.2.1	Übergeordnete Trendanalyse ab 2013 bis 2021/2022	17
7.2.2	Trendanalyse nach Ende der Sanierung	19
7.2.3	Trendanalyse im distalen Teil der Fahne (nördlich des Klötzlmühlbachs)	20
8.	BEWERTUNG	22

ANHANG A LAGEPLAN DES STANDORTS

ANHANG B STANDORTPLAN MIT ALTEN UND NEUEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN UND BRUNNEN

ANHANG C BEWERTUNG DER ABSTROMFAHNE – VERTEILUNG DER PCB-KONGENERE

ANHANG D PLAN DER PCB-SCHADSTOFFFAHNE

ANHANG E PCB BELASTUNGSTRENDS SEIT APRIL 2013, MESSSTELLEN P9Q, P10Q, P11Q, P12Q, P13Q, P14Q UND P15Q

Anhang E1:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P12Q
Anhang E2:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P13Q
Anhang E3:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P11Q
Anhang E4:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P10Q
Anhang E5:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P14Q
Anhang E6:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P15Q
Anhang E7:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P9Q

ANHANG F PCB BELASTUNGSTRENDS SEIT JULI 2019 MESSSTELLEN P9Q, P10Q, P11Q, P12Q, P13Q, P14Q UND P15Q

Anhang F1:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P12Q
Anhang F2:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P13Q
Anhang F3:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P11Q
Anhang F4:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P10Q
Anhang F5:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P14Q

Anhang F6:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P15Q
Anhang F7:	PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P9Q

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongenere unter Verwendung Kongener-spezifischer K_{OW} -Werte.....	8
Tabelle 5-2: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongenere unter Verwendung kongenerspezifischer K_{OW} und K_{OC} -Werte.....	9
Tabelle 5-3: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongenere unter Verwendung Kongener-spezifischer K_{OW} und K_{OC} -Werte und Approximation von Ungleichgewichtsbedingungen..	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der PCB-Schadstofffahne	18
---	----

Abkürzungsverzeichnis

C_{ads}	Feststoffphase
C_{wasser}	Wasserphase
f_{oc}	Fraktionsanteil organischer Kohlenstoff
GG	Gleichgewicht
i	Hydraulischer Gradient
K_d	Verteilungskoeffizient Feststoff/Wasserphase
K_{oc}	Adsorptionskoeffizienten an organischem Kohlenstoff
K_{ow}	Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient
K_f -Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
n_{eff} , n	Effektive Porosität
oc -Gehalt	Gehalt an organischem Kohlenstoff
PCB	Polychlorierte Biphenyle
R	Retardationsfaktor
ρ	Trockenraumdichte
S_{rd}	Retardierte Transportdistanz
u. GOK	Unter Geländeoberkante
(m) ü. NN	(Meter) über Normalnull
v_a	Abstandsgeschwindigkeit

1. EINLEITUNG

Auf dem ehemaligen Betriebsgelände der Bayerischen Milchindustrie eG (BMI) in Landshut (siehe Lageplan Anhang A), Klötzlmüllerstraße 140 (Flurstück 2329) wurde von April 2013 bis Juli 2018 in mehreren Etappen eine quellenorientierte Bodensanierung einer PCB-Altlast durchgeführt und dabei ca. 1.100 kg der ehemals vorhandenen PCB-Belastung mittels Aushub aus dem Untergrund entfernt /5/. Die Verunreinigung geht auf PCB-belastetes Material zurück, das nach einem Brand im Jahr 1960 auf einem Teil der Liegenschaft aufgefüllt wurde. Eigentümer der Liegenschaft ist heute die Neues Wohnen GmbH & Co Baywobau Scheidl KG („Fa. Scheidl“).

Durch die Bodenbelastung kam es auch zu einer PCB-Belastung des Grundwassers im Bereich der Liegenschaft und in deren Abstrom. Die PCB-Konzentration des Grundwassers auf der Liegenschaft wird seit 1999 überwacht. Eine nordöstlich der Liegenschaft vorhandene PCB-Schadstofffahne im quartären Grundwasserleiter wurde durch die Stadt Landshut während zweier Untersuchungskampagnen 2019/2020 und Ende 2021 erkundet und bewertet (/4/, /6/). Wenn nicht anders erwähnt, bezeichnen die erwähnten PCB-Konzentrationen die Summe der 6 Ballschmitter-Kongenere Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180, multipliziert mit dem Faktor 5 (PCB6x5).

Die natürliche Grundwasserfließrichtung im quartären Grundwasserleiter ist nach Nordosten gerichtet. Sie wurde zwischen April und Juni 2019 durch eine Bauwasserhaltung auf dem abstromig der Liegenschaft gelegenen Flurstück 2306/8 durch die Fa. Scheidl über einen Zeitraum von gut drei Monaten beeinflusst /5/. Hierbei wurden insgesamt etwa 1.050.000 m³ Grundwasser aus sieben Absenkbrunnen (Br 1 bis Br 7, siehe Anhang C) mit einer Entnahmerate von insgesamt durchschnittlich 445 m³/h gefördert und über zwei Absetzbecken in den Klötzlmühlbach geleitet.

Von Mai 2019 bis November 2020 wurde kontinuierlich Grundwasser aus drei (P11Q, P14Q und P15Q) auf der Liegenschaft befindlichen quartären Grundwassermessstellen gefördert (Lage siehe Anhang B). Die gesamte Entnahmemenge lag mit etwa 105.000 m³ bei einer Entnahmerate von insgesamt 7,6 m³/h deutlich unter der Bauwasserhaltung im Abstrom. Die Beeinflussung der natürlichen Abstromverhältnisse war dadurch wesentlich geringer, als bei der Bauwasserhaltung.

Darüber hinaus wurde durch ERM eine weitere Grundwasserentnahme aus dem quartären Grundwasserleiter im Rahmen einer weiteren Bauwasserhaltung nördlich des Klötzlmühlbachs beobachtet (ungefährer Zeitraum Oktober 2017 bis Mai 2018). Von der Stadt Landshut wurden diesbezüglich bislang keine weitergehenden Informationen an ERM übermittelt.

Die Brauchwasserentnahme durch die BMI (1964 - 2012) erfolgte aus dem tertiären Grundwasserleiter.

2. AUFGABENSTELLUNG

Der vorliegende Bericht beschreibt auf Grundlage der ERM zugänglichen Daten die Entwicklung der PCB-Schadstofffahne im quartären Grundwasserleiter auf dem Flurstück 2329 und in dessen Abstrom im Hinblick auf ihre bisherige und voraussichtliche weitere Ausdehnung. Insofern handelt es sich um eine Ergänzung zu unserem Bericht vom 16.9.2021 /5/, der die nach Abschluss der Quellensanierung noch in Boden und Grundwasser verbleibende Restbelastung beschreibt und bewertet.

Nach Ansicht der Stadt Landshut bestand nach Vorlage des Berichtes /5/ noch Klärungsbedarf hinsichtlich der Ausbreitung der Grundwasserfahne im Abstrom und deren voraussichtlichen Entwicklung (/8/). Für den vorliegenden Bericht konnten hierzu zusätzliche Daten herangezogen werden /6/, die zum Zeitpunkt der Berichterstattung für /5/ noch nicht vorlagen.

3. VERWENDETE UNTERLAGEN

Die Erkundung, Überwachung und Sanierung der Liegenschaft im Hinblick auf die PCB-Belastung des Untergrundes begann bereits vor über 20 Jahren. Zahlreiche Berichte hierzu liegen allen Beteiligten vor. Hierbei sind im Hinblick auf eine Bewertung der verbleibenden Schadstofffahne insbesondere die folgenden Berichte von Bedeutung:

- /1/ ERM, 23.11.2012: Sanierungsplan Boden.
- /2/ ERM, 19.10.2018: Dokumentation Bodensanierung.
- /3/ ERM, 14.11.2019: Ehemaliges BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140.
- /4/ Stadt Landshut, 27.02.2020: Erkundung von PCB-Belastungen im abströmigen quartären Grundwasserleiter.
- /5/ ERM, 16.09.2021: Ehemaliges BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140.
- /6/ Stadt Landshut, 21.12.2021: Überprüfung der PCB-Belastungen im abströmenden quartären Grundwasserleiter.
- /7/ Hydrogeologische Karte von Bayern 1 : 50 000, L7538 Blatt Landshut.
- /8/ Stadt Landshut, 17.12.2021: Bewertung der bisherigen Untersuchungen und weiteres Vorgehen.
- /9/ Rippen (2019): Klötzlmüllerstraße 140 – Humantoxikologische Beurteilung der Restbelastungen mit Polychlorierten Biphenylen (PCB) im Hinblick auf die relevanten Wirkungspfade. Bericht

Diese Berichte werden als bekannt vorausgesetzt.

Weiterhin wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- /10/ Grathwohl (1998): Diffusion in natural porous media: contaminant transport, sorption/desorption and dissolution kinetics. Kluwer Academic Publishers
- /11/ Fiedler, H.; Lau, C.; Schulz, S.; Wagner, O.; Hutzinger, O.; von der Trenck, K.T. (1995): Stoffbericht Polychlorierte Biphenyle (PCB)
- /12/ Klöpffer, W.: Verhalten und Abbau von Umweltchemikalien – Physikalisch-chemische Grundlagen. Zweite, vollständig überarbeitete Auflage. Wiley-VCH: Weinheim 2012
- /13/ Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU): Fachinformationen zur Altlastenbearbeitung - Nr. 6. Nationale und internationale Sachstandsrecherche – Mineralölkohlenwasserstoffe. Kap. 2.3: Chemisch-physikalische und toxikologische Eigenschaften der Stoffgruppen und Einzelstoffe. Letzte Aktualisierung: 27.11.2012
- /14/ Förstner, U., Grathwohl, P. (2003): Ingenieurgeochemie. Natürlicher Abbau und Rückhalt, Stabilisierung von Massenabfällen, Springer, Heidelberg
- /15/ Waid, J S. (1986) PCBs and the Environment. Volume 1, Chapter 5: Solubility and Soil Mobility of Polychlorinated Biphenyls United States: N. p., 1986
- /16/ US EPA, Office of Air and Radiation (1999): Understanding Variation in Partition Coefficient, Kd, Values Volume I
- /17/ Landesamt für Umwelt Brandenburg (2012): Fachinformationen zur Altlastenbearbeitung - Nr. 6. Nationale und internationale Sachstandsrecherche – Mineralölkohlenwasserstoffe. Kap. 2.3: Chemisch-physikalische und toxikologische Eigenschaften der Stoffgruppen und Einzelstoffe. Letzte Aktualisierung: 27.11.2012
- /18/ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2008): Handbuch Altlasten - Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen Band 3, Teil 7

- /19/ WHO (2006): Protecting Groundwater for Health - Managing the Quality of Drinking-water Sources. Published on behalf of the World Health Organization by IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK
- /20/ US EPA (2000-2012): ‚EPI Suite‘ Software Package & Database <https://www.epa.gov/tsca-screening-tools/download-epi-suite-estimation-program-interface-v411>
- /21/ BRGM (2013-2015): ‚Hype‘ HYPE: a tool for characterising and evaluating trends in the temporal evolution of groundwater quality. <https://www.brgm.fr/en/software/hype-tool-characterising-evaluating-trends-temporal-evolution-groundwater-quality>
- /22/ Bayerisches Landesamt für Umwelt (2010): Merkblatt Nr. 3.8/6, Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen.

4. GRUNDWASSERLEITER

4.1 Quartärer Grundwasserleiter

Informationen zur Lithologie und die hydraulischen Parameter des quartären Grundwasserleiters sind aus zahlreichen Bohrungen zur Errichtung von Grundwassermessstellen, aus überschrittenen Großbohrungen, aus der Bodensanierung sowie aus Pumpversuchen bekannt. Die vorliegenden Informationen werden nachfolgend kurz zusammengefasst.

Nach /7/ handelt es sich beim hier betrachteten, oberen Grundwasserleiter um eine quartäre Isarterrasse aus Kies mit Sand und einer Mächtigkeit zwischen 5 m und 15 m. Der Durchlässigkeitsbeiwert K_f wird in /7/ mit $>1 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ angegeben. Die Grundwasserströmungsrichtung ist laut Grundwassergleichenplan (/7/) mit einem Gradienten von 0,0012 nach Nordosten gerichtet.

Im Rahmen von Pumpversuchen, zuletzt 2021 an P12Q, wurde der Durchlässigkeitsbeiwert für das Gelände im Mittel mit $5,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ermittelt sowie eine Porosität von 0,36 verwendet /5/. Dies ist nach DIN 18130-1 qualitativ als stark durchlässig zu klassifizieren und bestätigt die in /7/ gemachten Angaben.

Im vorliegenden Bericht wird die PCB-Fahne im quartären Grundwasserleiter behandelt.

Die Grundwasserströmungsrichtung nach Nordosten wird durch mehrere Stichtagsmessungen von ERM und der Stadt Landshut bestätigt (/3/, /4/, /6/). Der Flurabstand liegt in Abhängigkeit von der Geländehöhe und saisonaler Variation auf dem sanierten Gelände im Bereich der Grubensohle, im Umfeld und an der nördlichen Grundstücksgrenze bei etwa 3 m. Das Grundwasser unterströmt den Klötzlmühlbach, der 1953 nördlich des Standorts in ein künstlich geschaffenes Flussbett verlegt (kanalisiert) wurde. Die Flussbettsohle liegt etwa 1-2 m oberhalb des quartären Grundwasserspiegels.

Für diesen Bericht wurden die folgenden Kenndaten des Grundwasserleiters verwendet:

Durchlässigkeitsbeiwert: $k_f = 0,0059 \text{ [m/s]}$

Porosität: $n_{\text{eff}} = 0,36$

Hydraulischer Gradient: $i = 0,0014 \text{ (/7/)}$

Resultierende Abstandsgeschwindigkeit:

$$v_a = \frac{k_f * i}{n_{\text{eff}}} = \frac{0,0059 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] * 0,0014 [-]}{0,36 [-]} = 1,98 \left[\frac{\text{m}}{\text{d}} \right]$$

4.2 Tertiärer Grundwasserleiter

Zwischen den quartären und den tertiären Sedimenten gibt es keine Stockwerkstrennung durch eine schlecht durchlässige oder undurchlässige Schicht. Dennoch kann ab einer Tiefe von ca. 9 Meter unter Ursprungsgelände (ca. 393,5 m ü. NN) der „quartäre Grundwasserleiter“ von dem darunter folgenden „tertiären Grundwasserleiter“ abgegrenzt werden. Die Abgrenzung liegt in erster Linie an der hydraulischen Leitfähigkeit. Der tertiäre Grundwasserleiter weist Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von etwa 10^{-4} m/s auf, was etwa um den Faktor 1-2 geringer ist als im Quartär. Die Grundwasserfließrichtung im Tertiär ist nach Nordosten gerichtet (/7/). Der hydraulische Gradient beträgt in etwa 0,002. Die Basis des tertiären Grundwasserleiters besteht aus sehr schwach durchlässigen bis nahezu völlig undurchlässigen Tonen und findet sich im Bereich des Untersuchungsgebietes erst in einer Tiefe von ca. 40 m u. GOK. Die Tone wurden bei der Errichtung der Tertiärmessstellen auf dem Gelände angetroffen.

5. STOFFTRANSPORT VON POLYCHLORIERTEN BIPHENYLEN

5.1 Stoffeigenschaften und Stofftransport der PCB

Strömt Grundwasser, das mit gelösten PCB belastet ist, durch einen Grundwasserleiter, so können die PCB an Bodenpartikeln anhaften. Dieser Prozess basiert auf Oberflächenkräften und wird als Sorption bezeichnet. Die Sorptionskapazität ist nicht unbegrenzt, das bedeutet, dass sich die PCB nur bis zu einer maximalen Konzentration im Material des Grundwasserleiters anreichern können. Das Ausmaß der Sorption lässt sich anhand von mathematischen bzw. physiko-chemischen Modellen (sog Sorptions-Isothermen) rechnerisch abschätzen, z.B. mittels linearer Henry-Sorptions-Isotherme. Sorbierende Substanzen werden gegenüber der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers verzögert transportiert, d.h. retardiert. Ihre verzögerte Transportgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Quotienten der Abstandsgeschwindigkeit (v_a), welche sich mittels dem Darcy Gesetz berechnen lässt, und dem Retardationsfaktor (R): v_a / R .

Der Retardationsfaktor (R) kann gemäß folgender Gleichung berechnet werden:

$$R = 1 + K_d \times \frac{\rho}{n}$$

K_d : Verteilungskoeffizienten zwischen der Feststoffphase und der Wasserphase

ρ : Trockenraumdichte

n : Effektive Porosität des Materials im Grundwasserleiter

Zur ersten orientierenden Einschätzung des Stofftransports der sechs PCB-Kongenere (28, 52, 101, 138, 153, 180) wurden aus den vorliegenden Gutachten (insbesondere /5/, /9/) die bislang erhobenen physiko-chemischen Eigenschaften der o.g. PCB6 sowie die Eigenschaften des Boden- / Grundwasserleitermaterials des Grundwasserleiters am BMI Standort zusammengestellt. Daraus wurde rechnerisch abgeschätzt, welche maximalen PCB-Fahnenlängen im Grundwasserleiter unter Sorptionsgleichgewichts-Bedingungen für die o.g. Kongenere zu erwarten wären. Diese theoretischen Fahnenlängen wurden mit der tatsächlichen Fahnenlänge verglichen, die sich aus den gemessenen Konzentrationen der PCB6*5 im Grundwasser im Abstrom des BMI-Geländes ergab.

Für diese erste orientierende Einschätzung wurde das nachfolgende Szenario angesetzt.

Szenario1:

Der Stofftransport der PCB findet unter Gleichgewichtsbedingungen statt, d.h. ein vollständiges Ausschöpfen und Erreichen des Sorptionsgleichgewichts (Henry-Modell) wird angenommen.

Basierend auf dem hydraulischen Gradienten (i) aus dem von der Behörde zur Verfügung gestellten Grundwassergleichenplan im Bereich der Schadstofffahne /6/ und dem von ERM aus Pumpversuchen ermittelten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f) /5/ lässt sich die Abstandsgeschwindigkeit (v_a), wie folgt mittels Darcy Gesetz berechnen:

$$v_a = \frac{(k_f \times i)}{n_{eff}} = \frac{0,0059 \frac{m}{s} \times 0,0014 [-]}{0,36 [-]} = 1,98 \frac{m}{d}$$

Gemäß Grathwohl /10/ und Gutachten Rippen /9/ lässt sich das Adsorptionsvermögen der PCB an die Bodenmatrix mit den Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{ow}) abschätzen. Das Adsorptionsvermögen wird bei nicht dissoziierten lipophilen Stoffen, wie PCB, überwiegend vom Gehalt des Bodens an organischem Material / organischem Kohlenstoff (oc) bestimmt.

Gemäß Rippen /9/ liegen die K_{ow} -Werte der PCB-Kongeneren nach Fiedler et al. /11/ zwischen 480.000 und 2.630.000.

Als Faustregel benennt Rippen nach Klöpffer /12/ für die Schätzung des Adsorptionskoeffizienten an organischem Kohlenstoff (K_{oc}):

$$K_{oc} = 0,4 * K_{ow}$$

Mit einem mittleren K_{ow} -Wert von 1.000.000 ergibt sich somit rechnerisch ein K_{oc} -Wert von 400.000.

Gemäß Rippen beträgt der Gehalt an organischem Kohlenstoff (oc-Gehalt) in der am BMI Standort vorliegenden gesättigten Bodenzone grob geschätzt 0,1 % analog zu Werten von quartären Sanden (Messwerten der oc-Gehalte zwischen 0,01% und 0,1%) aus der Fachinformation für Altlastenbearbeitung des Landesamts für Umwelt Brandenburg (2012) /17/. Dies wird durch Analysen von ERM im Rahmen der Entsorgungsanalytik von steinigem Bodenmaterial aus der gesättigten Zone des BMI-Standorts (oc-Gehalt: < Bestimmungsgrenze von 0,1 %) bestätigt /2/.

Bei einem für den konkreten Standort als Worst-Case Fall (bezüglich Sorptionskapazität) angenommenen oc-Gehalt von 0,1% und somit einem f_{oc} (Fraktionsanteil organischer Kohlenstoff) von 0,001 erhält man daraus wie folgt den Verteilungskoeffizienten (K_d) zwischen der Feststoffphase (c_{ads}) und der Wasserphase (c_{Wasser}):

$$K_d = \frac{c_{ads}}{c_{Wasser}}$$

$$K_d = K_{oc} * f_{oc} = 400.000 \left[\frac{L}{kg} \right] * 0,001 [-] = 400 \left[\frac{L}{kg} \right].$$

Der Retardationsfaktor (R) für den verzögerten Transport kann nun gemäß folgender Gleichung berechnet werden:

$$R = 1 + K_d \left(\rho \frac{1}{n} \right) = 1 + 400 \left[\frac{L}{kg} \right] \left(1,6 \frac{\left[\frac{kg}{cm^3} \right]}{0,36 [-]} \right) = 1,778 [-]$$

Mit dem oben berechneten Retardationsfaktor von 1.778 wurden für die exemplarischen Zeitintervalle von 1 a, 10 a und 53 a die resultierenden, retardierten Transportdistanzen (Srd), d.h. die Fahnenlängen, ausgehend vom unterstromigen Ende der Schadstoffquelle berechnet:

$$Srd(t) = t * \left(\frac{Va}{R} \right)$$

Srd (1a): 0,41 m

Srd (10a): 4,07 m

Srd (53a): 21,56 m

Fazit:

Bei angenommener Einstellung eines Sorptionsgleichgewichtes zwischen im Grundwasser gelösten PCB und Material des Grundwasserleiters breiten sich die PCB um etwa 1.778-mal langsamer aus als es die Grundwasserströmungsgeschwindigkeit von 1,98 m/d erwarten lassen würde. Diese sehr starke Retardation bewirkt, dass selbst bei einem angenommenen Transportzeitraum von 53 Jahren (Freisetzung der Schadstoffe ab 1960 bis Beginn der Quellsanierung 2013) sich theoretisch lediglich eine PCB-Schadstofffahne von 20,34 m Länge ausgebildet haben könnte.

Dieses Ergebnis spiegelt den in vielen Publikationen zusammengefassten Kenntnisstand wider, dass PCB aufgrund ihrer hohen Sorptionsaffinität in Grundwasserkörpern nur eine geringe Mobilität aufweisen und i.d.R. keine langen Fahnen ausbilden /18/, /19/.

Aus den von der Behörde im Grundwasser gemessenen Konzentrationen der PCB6*5 im Abstrom des BMI-Geländes /4/, /6/ lässt sich jedoch eine ungefähre Fahnenlänge von 420 m ermitteln (siehe Anhang D).

Aufgrund dieser offensichtlichen Diskrepanz zwischen theoretisch zu erwartender und tatsächlich gemessener Fahnenlänge, wurden weitere Überlegungen und Berechnungen angestellt, die nachfolgend erläutert sind.

5.2 Kongener-spezifischer Stofftransport der PCB

Die einzelnen PCB-Kongenerere weisen deutlich unterschiedliche physiko-chemischen Eigenschaften auf. Daher wurden die Berechnungen mit Kongener-spezifischen physiko-chemischen Parametern für die im Grundwasser nachgewiesenen und somit im konkreten Fall relevanten PCB-Kongenerere (#28, #52 und #101) durchgeführt.

Die Kongener-spezifischen K_{ow} -Werte (gemäß 'EPI Suite' Database der US EPA 2000-2012 /20/) für die im Grundwasser relevanten PCB-Kongenerere #28, #52 und #101 sind nachfolgend aufgelistet:

Tabelle 5-1: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongenerere unter Verwendung Kongener-spezifischer K_{ow} -Werte

IUPAC Name	Kongener Nummer	CAS-Nr.	Log Kow [-]	Kow [-]
2,4,4'-Trichlorobiphenyl	28	7012-37-5	5,62	416.869,38
2,2',5,5'-Tetrachlorobiphenyl	52	35693-99-3	6,09	1.230.268,77
2,2',4,5,5'-Pentachlorobiphenyl	101	37680-73-2	6,8	6.309.573,44

Basierend auf den individuellen K_{ow} -Werten und dem in Kapitel 5.1 beschriebenen Berechnungsverfahren ergaben sich die folgenden theoretisch zu erwartenden Fahnenlängen

Kongener #28:	Srd(1a): 0,98 m	Srd(10a): 9,75 m	Srd(53a): 51,68 m
Kongener #52:	Srd(1a): 0,33 m	Srd(10a): 3,31 m	Srd(53a): 17,53 m
Kongener #101:	Srd(1a): 0,06 m	Srd(10a): 0,65 m	Srd(53a): 3,42 m

Fazit:

Auch bei Berücksichtigung der Kongener-spezifischen K_{ow} -Werte ergeben sich bei angenommener Gleichgewichtseinstellung zwischen Grundwasser und Material des Grundwasserleiters und einer Transportdauer von 53 Jahren lediglich Kongener-spezifische PCB-Schadstofffahnenlängen zwischen ca. 3,4 und 51,7 m Länge, was nach wie vor erheblich von der tatsächlichen Fahnenlänge von ca. 420 m abweicht.

Aufgrund dieser nach wie vor offensichtlichen Diskrepanz, wurden die Kongener-spezifischen Berechnungen **mit zusätzlichen in der Literatur benannten empirischen Korrelationen zur Berechnung des K_{oc} -Wertes für jedes der 3 relevanten Kongenere durchgeführt.**

Unter Verwendung der K_{oc} Berechnung nach Karickhoff, Sontheimer (in Grathwohl /10/) und Seth (in Förstner & Grathwohl 2003 /14/) sowie Waid /15/ ergaben sich die folgenden resultierenden Fahnenlängen für die relevanten Kongenere:

Tabelle 5-2: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongenere unter Verwendung kongenerspezifischer K_{ow} und K_{oc} -Werte

PCB-Kongener	Transportdistanz nach 1 Jahr [m]	Transportdistanz nach 10 Jahren [m]	Transportdistanz nach 53 Jahren [m]
<i>Koc berechnet nach Karickhoff (in /10/): $K_{oc} = 0,62 K_{ow}$</i>			
Kongener #28	0,63	6,29	33,36
Kongener #52	0,21	2,13	11,31
Kongener #101	0,04	0,42	2,21
<i>Koc berechnet nach Seth (in /14/) $\log K_{oc} = 1,03 \log K_{ow} - 0,61$</i>			
Kongener #28	1,08	10,78	57,11
Kongener #52	0,35	3,54	18,75
Kongener #101	0,07	0,66	3,48
<i>Koc berechnet nach Sontheimer (for high K_{ow} Substances) (in /10/): $\log K_{oc} = 0,807 \log K_{ow} + 0,068$</i>			
Kongener #28	4,04	40,36	213,88
Kongener #52	1,69	16,91	89,60
Kongener #101	0,45	4,53	23,99
<i>Koc berechnet nach Waid et al. (spezifische Korrelation rein für PCB) (/15/): $\log K_{oc} = 0,007 + 0,834 \log K_{ow}$ $K_{ow} + 0,068$</i>			
Kongener #28	3,38	33,85	179,40
Kongener #52	1,38	13,77	72,96
Kongener #101	0,35	3,53	18,69

Fazit:

Auch bei der Einbeziehung der zusätzlichen in der Literatur benannten empirischen Korrelationen zur Berechnung des K_{oc} -Wertes für die relevanten Kongenere ergeben sich bei angenommener Gleichgewichtseinstellung zwischen Grundwasser und Material des Grundwasserleiters und einer angenommenen Transportdauer von 53 Jahren für das mobilste Kongener PCB #28 lediglich Schadstofffahnenlängen zwischen 33 und 214 m Länge.

Die mittels Messwerten konstruierte Fahnenlänge von 420 m kann nicht hinreichend anhand der herangezogenen Modellvorstellungen zum PCB-Transport erklärt werden.

5.3 Kongenerspezifischer Stofftransport der PCB unter Ungleichgewichtsbedingungen

Die Diskrepanz zwischen maximal zu erwartender und tatsächlich beobachteter Fahnenlänge beträgt auch nach Berücksichtigung von Kongener-spezifischen K_{OW} und K_{OC} Werten immer noch um den Faktor 2. Um die beobachtete Fahnenlänge erklären zu können, wurde deshalb eine weitere Berechnung mit einem Approximationsverfahren für Transport unter Ungleichgewichtsbedingungen (bezogen auf die Sorption) gemäß US-EPA /16/ durchgeführt.

Bei diesem von der US-EPA publizierten Verfahren zur Approximation von Stofftransport unter Ungleichgewichtsbedingungen wird angenommen, dass nur der Kornanteil < 2 mm einen wesentlichen Anteil zur Sorption beiträgt. Das Grobkorn > 2 mm zeigt eine stark verlangsamte Einstellung des Sorptionsgleichgewichts und wird somit mathematisch bei der Berechnung nicht mehr berücksichtigt. Im stark durchlässigen Material des Grundwasserleiters des konkreten Standorts beträgt der Kornanteil < 2 mm gemäß Siebanalysen nur rund 55% /2/. Somit kann der unter Ungleichgewichtsbedingungen gültige K_d -Wert wie folgt abgeschätzt werden:

$$Non\ GG\ K_d = GG\ K_d * Fraktionsanteil < 2\ mm.$$

Basierend auf den individuellen K_{OW} -Werten der relevanten PCB-Kongeneren (siehe Anhang C) und dem oben beschriebenen Berechnungsverfahren nach Sontheimer /10/ und Waid /15/ sowie unter der zusätzlichen Approximation von Ungleichgewichtsbedingungen ergaben sich die folgenden resultierenden Fahnenlängen

Tabelle 5-3: Rechnerische Fahnenlängen für die relevanten Kongeneren unter Verwendung Kongener-spezifischer K_{OW} und K_{OC} -Werte und Approximation von Ungleichgewichtsbedingungen

PCB-Kongener	Transportdistanz nach 1 Jahr [m]	Transportdistanz nach 10a Jahren [m]	Transportdistanz nach 53 Jahren [m]
<i>Koc berechnet nach Sontheimer (for high Kow Substances) (in /10/) – unter Ungleichgewichtsbedingungen</i>			
Kongener #28	7,30	73,04	387,11
Kongener #52	3,07	30,68	162,59
Kongener #101	0,82	8,23	43,60
<i>Koc berechnet nach Waid et al. (spezifische Korrelation rein für PCB) (/15/) – unter Ungleichgewichtsbedingungen</i>			
Kongener #28	6,13	61,31	324,94
Kongener #52	2,50	24,99	132,44
Kongener #101	0,64	6,41	33,96

Nach der Einbeziehung der zusätzlichen in der Literatur /16/ benannten empirischen Korrelation zur Approximation des K_d -Wertes unter Ungleichgewichtsbedingungen, ergeben sich bei einer angenommenen Transportdauer von 53 Jahren für das mobilste Kongener PCB #28-Schadstofffahnenlängen zwischen 324,94 und 387,11 m. Diese Werte liegen in der Größenordnung der von der Behörde bestimmten Fahnenlänge von ~420m. Die verbleibende Differenz kann durch die beim natürlichen Transport insbesondere in grobkörnigen heterogenen Grundwasserleitern stets auftretende longitudinale Dispersion/ differentielle Advektion erklärt werden.

Es ist zu konstatieren, dass die Modellvorstellung und das Berechnungsverfahren aus Tabelle 5-3 die Fahnenlänge insgesamt gut erklären kann.

Zur weiteren Validierung der Berechnung des Kongener-spezifisch retardierten Transports unter Ungleichgewichtsbedingungen wurde ein Lageplan der PCB-Fahne mit Darstellung der an den einzelnen Messpunkten (Grundwassermessstellen) angetroffenen PCB-Kongenere erstellt (siehe Anhang C).

In Anhang C sind die tatsächlichen Transportstrecken für die einzelnen PCB-Kongenere ersichtlich. An der Farbcodierung der Kreise erkennt man, welche PCB-Kongenere bislang in den jeweiligen Grundwassermessstellen nachgewiesen wurden.

Wie anhand der modellhaften Berechnungen in Tabelle 5-3 zu erwarten, stellt sich beim Transport im Grundwasserleiter eine chromatographische Auftrennung der PCB-Kongenere ein. Die höher chlorierten und damit stärker retardierten Kongenere (153 und 138) sind nur im Nahbereich der ehemaligen Schadstoffquelle vertreten, den ehemaligen BMI-Standort haben sie nicht verlassen. Das Kongener 180 tritt aktuell nicht auf. In der Grundwasserfahne nordwestlich der Standortgrenze finden sich nur die geringer chlorierten Kongenere PCB101, 52 und 28. Das Kongener PCB101 ist nicht weiter als bis zu den Messpunkten 47, 48, und 49 gelangt. Wie zu erwarten, bilden die niederchlorierten PCB-Kongenere 28 und 52 die Fahnen spitze.

Im Umfeld der Pumpbrunnen der ehemaligen Bauwasserhaltung (Br1 bis Br7) wird neben den beiden geringer chlorierten Kongenere (52 und 28) auch noch das höher chlorierten Kongener PCB101 angetroffen. Gemäß der Abschätzungen in Tabelle 5-3 kann PCB101 maximal 33 – 44 m transportiert werden, selbst unter Ungleichgewichtsbedingungen. Entgegen der Prognose in Tabelle 5-3 kommt PCB101 sowohl in den Bauwasserhaltungsbrunnen Br1, Br5, Br5 und Br7 in Konzentrationen deutlich über der Bestimmungsgrenze (0,008 – 0,011 µg/l), als auch in Messpunkt 47 und 49 in der Höhe der Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l vor. Messpunkt 47 liegt ca. 200 m von der ehemaligen Quelle entfernt. Der Nachweis von PCB101 an diesen weit entfernten Messpunkten spricht dafür, dass es durch die sehr hohen Pumpraten der Bauwasserhaltung (ca. 445 m³/h) zu einem partikelgetragenen Transport der höher chlorierten Kongenere gekommen sein dürfte. Die einmalig gemessene Konzentration von Kongener 101 in Höhe der Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l (Messstellen 47 und 49) könnten allerdings auch durch Verschleppung bei Probenahme oder Laboranalytik verursacht worden sein. Probenahmeprotokolle zur Validierung liegen uns nicht vor.

Fazit:

Insgesamt sprechen alle o.g. Befunde und Modellrechnungen klar dafür, dass es sich bei der PCB-Fahne im Nordosten des ehemaligen BMI Standortes um eine alte, über die Dauer von Jahrzehnten entstandene Schadstofffahne handeln muss. Im nahen Einzugsbereich der Brunnen Br1, Br4, Br5, Br7 der Bauwasserhaltung dürfte es während der Dauer der Wasserhaltung zu einem partikelgetragenen PCB-Transport gekommen sein. Die sehr hohen Pumpraten haben vorübergehend Strömungsbedingungen geschaffen, die eine Mobilisierung von Feinstpartikeln ermöglicht haben. An diesen sog. kolloidalen Partikeln waren offenbar höher chlorierte PCB-Kongenere sorbiert und wurden damit verfrachtet. Unter natürlichen Strömungsbedingungen wäre beispielsweise Kongener PCB101 sehr wahrscheinlich nicht weiter als ca. 45 m verfrachtet worden.

Die in Anhang C und Anhang D dargestellte Ausdehnung der PCB-Fahne kann nur aus der Überlagerung der natürlichen Strömungs- und Transportbedingungen mit den vorübergehend durch die Wasserhaltung beeinflussten Bedingungen plausibel erklärt werden. Diese Interpretation stützt die Aussagen im Bericht /5/.

5.4 Belastung des Materials im Grundwasserleiter durch PCB aus der Schadstofffahne

Durch Sorption aus der Grundwasserfahne können PCB im Bodenmaterial des Grundwasserleiters in dem von der Schadstofffahne beeinflussten Bereich angereichert werden. Vor diesem Hintergrund stellt sich für die Gefährdungsbeurteilung die Frage, nach der theoretisch höchstmöglichen Bodenbelastung durch PCB aus der Grundwasserfahne.

Zur orientierenden Einschätzung kann dies basierend auf den physiko-chemischen Eigenschaften der PCB, den Eigenschaften des Bodenmaterials im Grundwasserleiter sowie den gemessenen Schadstoffkonzentrationen in der PCB-Fahne mit-Hilfe des Sorptionsmodells nach Kapitel 5.2 berechnet werden. Die Sorptionskapazität ist bekanntermaßen nicht unbegrenzt. Das bedeutet, dass sich die PCB nur bis zu einer maximal möglichen Konzentration anreichern können. Das Ausmaß der Sorption lässt sich anhand sog Sorptions-Isothermen rechnerisch abschätzen. Für die orientierende Abschätzung wurde folgendes Worst-Case Szenario angesetzt:

- Der Nachschub der PCB aus der Wasserphase wird konstant in Höhe der Konzentration des Stufe 2 Wertes von 0,5 µg/L PCB6*5 gespeist, obwohl tatsächlich in der abstromigen Fahne außerhalb des ehemaligen BMI-Geländes im Mittel nur Werte von maximal knapp unter dem Stufe-2-Wert gemessen werden.
- Es wird ein vollständiges Erreichen und Ausschöpfen des Sorptionsgleichgewichts angenommen. Das heißt, das Ergebnis stellt für die jeweilige PCB-Konzentration im Grundwasser die damit maximal mögliche PCB-Konzentration im Material des Grundwasserleiters dar.

Wie zuvor ausgeführt, kann bei für den betroffenen Standort ein oc-Gehalt von 0,1% und somit einem foc (Fraktionsanteil organischer Kohlenstoff) von 0,001 angenommen werden. Wie in Kapitel 5.1 ausgeführt, erhält man somit einen Worst-Case Verteilungskoeffizienten (K_d) zwischen der Feststoffphase (c_{ads}) und der Wasserphase (c_{Wasser}) von 400 [L/kg].

Für eine PCB6*5 Fahne im Grundwasser mit einer gleichförmigen Konzentration von 0,5 µg/L („Worst-Case“) ergibt sich mit den oben genannten Parametern nach der nachfolgenden Formel eine Gleichgewichtskonzentration im Feststoff des durchströmten Bodenmaterials von 0,2 mg/kg.

$$c_{ads} = c_{Wasser} * K_d = 0,5 \left[\frac{\mu g}{L} \right] * 400 \left[\frac{L}{kg} \right] = 200 \left[\frac{\mu g}{kg} \right] = 0,2 \left[\frac{mg}{kg} \right]$$

Fazit

Theoretisch berechnet sich für das durchströmte Bodenmaterial eine maximale Konzentration im Feststoff von 0,2 mg/kg für PCB6*5. Wie die Ausführungen in Kapitel 5.3 gezeigt haben, liegt im konkreten Fall kein Sorptions-Gleichgewicht vor, andernfalls wäre die tatsächliche Fahnenlänge nicht erklärbar. Insofern handelt es sich bei dem theoretisch errechneten Wert eindeutig um ein Worst Case Szenario, das in der Realität nicht erreicht werden kann.

Zur orientierenden Einordnung – nicht zur abschließenden Bewertung - verweisen wir diesbezüglich auf den Prüfwert der BBodSchV für Boden auf Kinderspielplätzen von 0,4 mg/kg, der also doppelt so hoch ist wie der theoretisch errechnete Wert.

Im Bereich der abstromigen Schadstofffahne ist eine PCB-Kontaminierung des Bodens im Grundwasserleiter auf möglicherweise sanierungswürdige Größenordnungen durch die Durchströmung mit PCB-belastetem Grundwasser u.E. somit nicht möglich.

6. DATENQUALITÄT

6.1 Ehemaliges BMI-Gelände

Die Daten zur PCB-Belastung des Grundwassers auf dem ehemaligen BMI-Standort wurden von ERM erhoben. Sie stammen im Wesentlichen aus den neun im Jahr 2013 errichteten Grundwassermessstellen P9Q bis P17Q, die im quartären Grundwasserleiter verfiltert sind. Die Quartärmessstellen P1, P2, P3, P3neu und P8Q sind 2013 rückgebaut worden. Zur Position der Messstellen siehe Anhang B.

Die Messstellen P9Q bis P17Q sind als 6" Messstellen (DN150 mm) ausgebaut, welche die Anforderungen an eine Qualitätsmessstelle zur Bestimmung der Grundwasserchemie erfüllen. Sie erschließen den quartären Grundwasserleiter vollständig. Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne finden sich im Anhang von /5/. Generell werden die Proben mittels Tauchpumpe gemäß Merkblatt Nr. 3.8/6 (/21/) beprobt. Insbesondere wurde darauf geachtet, das Absenkungskriterium einzuhalten, um den Partikelzustrom aufgrund erhöhter Strömungsgeschwindigkeit zu minimieren. Eine Ausnahme ist Messstelle P9Q, die aus Gründen erschwerter Zugänglichkeit mit einem Schichtenheber beprobt wird. Das Wasser wird auf PCB-Verbindungen (sechs Kongenere: 28, 52, 101, 138, 153, 180; Summe multipliziert mit Faktor 5) analysiert. Die Bestimmungsgrenzen wurden auf Wunsch der Stadt Landshut im Juni 2019 von ehemals 0,01 µg/l auf 0,001 µg/l abgesenkt. Die Ergebnisse werden zusammen mit den Feldprotokollen nach Erhalt an die Stadt Landshut kommuniziert. Die Analysen führt das akkreditierte Labor *Agrolab* durch.

Die langen Zeitreihen der Messwerte und ihre räumliche Verteilung sind in sich stimmig und für die Bewertung in diesem Bericht geeignet

6.2 Bauwasserhaltung

Die Analysedaten aus der Bauwasserhaltung (Flurstück 2306/8) sowie Informationen bezüglich entnommener Wassermengen wurden von der Fa. BGU erhoben. Während der Bauwasserhaltung (04.04. – 11.07.2019) wurden Beprobungen an den Brunnen Br4, Br5 und Br7 (Anhang C) sowie an den beiden Absetzbecken (West und Ost) durchgeführt. Aus dem Zeitraum seit Abschluss der Bauwasserhaltung liegen Messungen aus BR5 und BR7 sowie vereinzelt aus BR1 und BR4 vor.

Die Bestimmungsgrenzen der Messreihe wurden auf Wunsch der Stadt Landshut ab der Messung vom 19.09.2019 von ehemals 0,01 µg/l auf 0,001 µg/l abgesenkt.

Insgesamt liegen Daten von mehr als 80 Messkampagnen zwischen April 2019 und November 2021 vor. Die Analysen wurden von einem akkreditierten Labor ausgeführt. Die Präzision der Analytik wird unterstellt.

Probenahmeprotokolle liegen uns nicht vor. Aus den Daten zu der Bauwasserhaltung ergeben sich hohe Förderraten von insgesamt im Mittel 445 m³/h aus den 7 Brunnen. Daten über die Einzelbrunnen liegen uns nicht vor. Dies würde jedoch im Mittel einer Förderrate von ca. 17 Liter/Sekunde entsprechen. Die hohe Wasserförderung hatte zum Ziel den Wasserspiegel im Baufeld abzusenken. Durch die hohen Förderraten und der damit erreichten starken Absenkung kommt es allerdings zu erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten im Fassungsbereich der Brunnen. Die Werte der Absenkung überschreiten somit die zulässigen Absenkungsbeträge für die Grundwasserbeprobung gemäß /22/. Dadurch wurden feinste Bodenpartikel (Kolloide mit Partikelgrößen von 0,1 µm und geringer) mobilisiert. Da PCB an Kolloide sorbieren /15/ ist davon auszugehen, dass die PCB-Konzentrationen in den Proben aus den Wasserhaltung Förderbrunnen während der Wasserhaltung im Vergleich zu natürlichen Strömungsverhältnissen zu hoch sind. Dies ist bei der Auswertung und Bewertung von Trends in der Konzentrationsentwicklung zu berücksichtigen.

Eine Abschätzung der PCB-Fracht basierend auf den Daten der Bauwasserhaltung führt zwangsläufig ebenfalls zu einer Überschätzung der Fracht gegenüber einer Frachtabschätzung unter natürlichen Strömungsverhältnissen (siehe auch /8/).

6.3 Abstrombereich ehemaliges BMI-Gelände

Die Daten aus der Region nördlich des Klötzlmühlbachs im Abstrom des ehemaligen BMI-Geländes stammen von zwei Beprobungskampagnen der Stadt Landshut, die zwischen dem 06.08.2019 und dem 19.03.2020 (erste Kampagne) sowie zwischen dem 01. und dem 08.12.2021 (zweite Kampagne) durchgeführt wurden /6/, /4/. Für beide Kampagnen wurde jeweils ein Grundwassergleichenplan erstellt. Als Kriterium zur Eingrenzung der Fahne verwendet die Stadt Landshut den Stufe-1 Wert.

Während der ersten Kampagne wurden von der Stadt Landshut insgesamt 53 Grundwasseraufschlüsse beprobt. Nach Angaben der Stadt (/4/) handelt es sich hierbei um

- 17 Handschwengelpumpen auf Stahlrohr 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, die die obersten 1-2 m des Grundwasserleiters erschließen,
- 21 Garten/Hauspumpwerke auf Stahlrohr 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, mit Filterstrecken i.d.R. zwischen 1 m und 2 m unter Grundwasserspiegel,
- 15 neu erstellte Rammpegel 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, mit 2 m Filterstrecke 0,5 m bis 2,5 m unter Grundwasserspiegel.

Während der zweiten Kampagne wurden insgesamt 41 Grundwasseraufschlüsse beprobt. Nach Angaben der Stadt (/6/) handelt es sich hierbei um

- 14 Handschwengelpumpen auf Stahlrohr 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, die die obersten 1-2 m des Grundwasserleiters erschließen,
- 6 Garten/Hauspumpwerke auf Stahlrohr 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, mit Filterstrecken i.d.R. zwischen 1 m und 2 m unter Grundwasserspiegel,
- 15 neu erstellte Rammpegel 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser, mit 2 m Filterstrecke 0,5 m bis 2,5 m unter Grundwasserspiegel.
- 6 Beprobungen direkt am Peilrohr (Stahlrohr 1,25“ bzw. 32 mm Durchmesser; Schwengelpumpe aufgrund Frostschutz abgebaut).

Es liegen keine Probenahmeprotokolle für die Messkampagnen der Stadt Landshut vor. Allgemeine Informationen zu der Probenahme stammen aus einem Excel-File vom Datum, der uns zur Verfügung gestellt wurde [Zitat]. Die für die Beprobung der 1,25“ Rammpegel und Peilrohre angegebene Förderate von jeweils 1 Liter/s (3,6 m³/h) erscheint angesichts der Messstellen-/Pegeldimensionen als sehr hoch. Es liegt der Schluss nahe, dass die Beprobung mit einer Saugpumpe durchgeführt wurde, da Tauchpumpen mit geringen Durchmessern nur wesentlich geringere Förderrate bereitstellen können.

Hohe Förderraten in solch kleinen Grundwasseraufschlüssen führen häufig zur Förderung von Trübstoffen. Für eine Probe wird in dem von der Stadt Landshut zur Verfügung gestellten Excel-sheet explizit auf eine Trübung des Wassers hingewiesen.

Bei den zur Verfügung gestellten Laborberichten beider Kampagnen fällt folgendes auf:

In der Regel wird im Analysenbericht der einfache PCB-Summenwert von 7 Kongeneren angegeben, bei einigen Summenwerten der ersten Kampagne nur der einfache PCB-Summenwert von 6 Kongeneren. Die Gründe hierfür sind uns nicht bekannt.

In den von der Stadt Landshut zur Verfügung gestellten Analysentabellen wird, wo vorhanden, der PCB-Summenwert 7 Kongenere x 5 verwendet. Dies entspricht nicht der üblichen standardisierten Berechnung nach Ballschmiter, bei der die Konzentration von 6 Kongeneren mit dem Faktor 5 multipliziert werden. Die für die 7 Kongenere berechneten Werte sind damit höher als die Berechnung des PCB-Gehalts für 6 Kongenere x 5.

Bei der ersten Kampagne werden je nach Kongener Bestimmungsgrenzen von 0,001 µg/l, 0,002 µg/l, 0,004 µg/l, 0,006 µg/l und 0,01 µg/l angegeben, bei der zweiten Kampagne ausschließlich 0,001 µg/l. Kongenere, deren Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, fließen nicht in den PCB-Summenwert mit ein. Das heißt, dass für die Analysen mit der niedrigen Bestimmungsgrenze

von 0,001 µg/l der PCB-Summenwert höher sein kann, als bei Analysen mit höheren Bestimmungsgrenzen, in denen die PCB nicht erfasst wurden. Dies führt zu einer Verzerrung der Ergebnisse der PCB-Summenwerte.

Die Methodik der Beprobung war nach Angaben der Stadt Landshut bei beiden Beprobungskampagnen gleich. Allerdings wurde die erste Kampagne über einen Zeitraum von mehr als sieben Monaten durchgeführt. Es wurden Proben im Sommer (August) und Winter (Januar, Februar) entnommen.

Die beprobten Grundwasseraufschlüsse unterscheiden sich in Art und Ausbau stark voneinander. Es liegen keine Informationen vor, ob dies bei der Probenahme berücksichtigt wurde. Allen Aufschlüssen gemeinsam ist, dass nur ein kleiner Teil des Grundwasserleiters erfasst wird, und daher eine integrale Beprobung des Grundwasserleiters über die gesamte Tiefe nicht möglich ist.

Zur Verlässlichkeit der Messungen wird in /6/ auf S. 3 ausgeführt: „...*Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich z.B. auf Grund von präferenziellen Wegbarkeiten im Sedimentkörper der Belastungsgrad des Grundwassers auf ein und demselben Flurstück von den Festgestellten erheblich unterscheidet...*“. Diese Aussage erscheint valide; die Messungen geben nach Ansicht von ERM naturgemäß nur die PCB-Gehalte der unmittelbaren Umgebung der entsprechenden Filterrohre wieder.

Eine Ausbreitung der Fahne nach Osten innerhalb von zwei Jahren, wie von der Stadt Landshut in /6/ angeführt, wird in einem Fall durch die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen vorgetäuscht: Bei der Erstmessung des Aufschlusses „Watzmannstr. 37“ wurde eine PCB-Konzentration von 0,04 µg/l – also unter Stufe-1-Wert und damit außerhalb der Fahne – gemessen. Bei der Zweitbeprobung waren es 0,055 µg/l. Dies wurde von der Stadt als eine Vergrößerung der Fahne nach Osten interpretiert. Legt man bei der Zweitmessung jedoch dieselben Bestimmungsgrenzen wie bei der Erstbeprobung zugrunde, so ergibt sich eine PCB-Konzentration von lediglich 0,035 µg/l, was sogar einem Rückgang der PCB-Konzentration entspräche und eine stabile Fahne bedeuten würde.

Fazit

Nach Ansicht von ERM lassen die vorliegenden Daten der Stadt Landshut insgesamt keine Aussage über eine Veränderung der PCB-Fahne zu, sondern geben lediglich einen qualitativen Überblick über den Verlauf sowie die ungefähre laterale Ausdehnung und Länge der Schadstofffahne. Für Aussagen zu einer möglichen Veränderung der Fahne reichen nach unserer Auffassung zwei Messungen in einem Zeitraum von zwei Jahren nicht aus. Hinzu kommt, dass es durch die Wasserhaltung auf Flurstück 2306/8 im Jahr 2019 zu einer temporär deutlich veränderten Grundwasserströmung kam, was wir in Kapitel 5.3 ausgeführt haben. Dies ist bei der Beurteilung der Fahnenausbreitung zu berücksichtigen.

Wie in Kap. 7.2.2. erläutert, zeigt sich über einen Zeitraum von etwa 2,5 Jahren nach Ende der Bauwasserhaltung und bis zu 10 Messwerten eine breite Streuung der Konzentrationen, und für 6 von 7 Messstellen jedoch noch immer ohne statistisch signifikanten Trend. Dies zeigt, dass das Abklingverhalten nur sehr langsam ist. Für Aussagen über eine tatsächliche Veränderung der Fahndimension sind 2 Messwerte nicht ausreichend, langjährige Messreihen sind hierzu erforderlich. Wie in Kapitel 5.3 ausgeführt, besteht die Fahne im Nordosten des ehemaligen BMI-Geländes seit mehreren Jahrzehnten.

7. FAHNENBETRACHTUNG

7.1 Trendanalysen der Stadt Landshut

Generell stimmt ERM der Aussage der Stadt Landshut vom 17.12.2021 (/8/; Trendbetrachtungen durch Mann-Kendall-Test) zu, dass die Trendbetrachtung der Schadstoffkonzentration im Grundwasserleiter ein wichtiges Beurteilungskriterium darstellt, ob ein weiterer Sanierungsbedarf auf dem ehemaligen BMI-Gelände besteht bzw. ob dieser verhältnismäßig ist.

Um entscheiden zu können, ob die Konzentrationen von chemischen Parametern über die Zeit statistisch abgesichert signifikant zu- oder abnehmen, wurde von der Stadt Landshut hierzu der sog. Mann-Kendall-Test herangezogen. Dabei wurden jeweils für die folgenden von der Stadt Landshut gewählten fünf Zeiträumen alle vorliegenden Daten der Grundwasserüberwachung betrachtet:

1. 2013 (Beginn Sanierung) bis 2021
2. 2013 bis 2021 ohne Daten aus dem Bauwasserhaltungsjahr 2019 auf Flurstück 2306/8
3. 2017 (ab Ende der Maßnahmen zur Dekontamination durch Aushub) bis 2021
4. 2017 (ab Ende der Maßnahmen zur Dekontamination durch Aushub) bis 2021 ohne Daten aus dem Bauwasserhaltungsjahr 2019
5. 2016 bis 2021 ohne Daten aus dem Bauwasserhaltungsjahr 2019 auf Flurstück 2306/8,

Gemäß Stadt Landshut stellt das Bauwasserhaltungsjahr 2019 durch die Pumpleistungen von 445 m³/h im Zeitraum vom 04.04 bis 11.07.2019 einen größeren Eingriff in die Grundwasserströmungssituation dar. Daher wurden auch Trendbetrachtungen ohne Bauwasserhaltungsjahr durchgeführt.

Bei der von der Stadt Landshut gewählten Methode des sog. *Mann-Kendall-Tests* handelt es sich um einen nicht-parametrischen Test zur Trendanalyse. Hierbei kann der Test generell ‚nur‘ das Vorhandensein eines signifikanten übergeordneten Trends innerhalb eines zuvor vom Bearbeiter ausgewählten Auswertzeitraumes ermitteln.

Eine bekannte Einschränkung des Tests ist, dass er eine eventuell vorhandene Trendumkehr innerhalb eines Auswertzeitraumes oder auch den Sprung auf ein anderes Konzentrationsniveau weder erkennen noch berücksichtigen kann. Die vom Benutzer getroffene Auswahl der Auswertzeiträume nimmt somit wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis des Tests. Dies muss der Nutzer bei der Entscheidung berücksichtigen, ob der Mann-Kendall-Test geeignet ist oder zumindest in der Fehlerbetrachtung einordnen.

Hinsichtlich der von der Stadt Landshut betrachteten Zeiträume ist folgendes anzumerken:

- **Generell:** Es ist korrekt, dass die Bauwasserhaltung des Jahres 2019 einen größeren Eingriff in die Randbedingungen der Grundwasserströmungssituation darstellt. Jedoch wird hierbei von der Stadt Landshut noch unberücksichtigt gelassen, dass es:
 - i. 2018 eine weitere Bauwasserhaltung für ein Bauprojekt nördlich des Klötzmühlbachs gab, welche sich wesentlich näher am ehemaligen BMI Standort befand und
 - ii. aufgrund der hohen Pumpraten der Bauwasserhaltungen neben der Grundwasserströmungssituation (Änderung der Strömungsrichtung) auch jeweils einen größeren Eingriff in die Stofftransportbedingungen gab (PCB-Transport auch partikuläre/kolloidal), der auch noch nach Beendigung der Bauwasserhaltung nachwirkt– siehe Kapitel 5.3.
- **Erster Zeitraum: 2013 (Beginn Sanierung) bis 2021:** Ohne den Einsatz weiterer statistischer Tools zur automatischen Erkennung einer Trendumkehr innerhalb der Zeitreihe ist die Auswahl dieses Zeitraums zur Ermittlung/ Korrelation eines einzigen übergeordneten Trends aufgrund der mehrfachen Änderungen der Kausalitäten/Randbedingungen (Beginn der Sanierung in 2013, Ende Aushub 2017, Bauwasserhaltung 2019) wenig zielführend.

- **Zweiter Zeitraum: 2013 bis 2021 ohne das Bauwasserhaltungsjahr 2019:** Auch wenn das Bauwasserhaltungsjahr 2019 aus dieser Zeitreihe entfernt wurde, so wirken sich deren Änderungen länger aus. Das heißt, die durch die Bauwasserhaltung veränderten Transportbedingungen für PCB müssen wieder auf den ursprünglichen Zustand vor der Bauwasserhaltung abklingen. Das heißt weiter, ohne den Einsatz weiterer statistischer Tools zur automatischen Erkennung derartiger geänderter Randbedingungen innerhalb der Zeitreihe ist auch die Auswahl dieses Zeitraums zur Ermittlung eines einzigen übergeordneten Trends aufgrund der o.g. mehrfachen Änderungen nicht zielführend.
- Für den dritten bis fünften Zeitraum gelten die zuvor genannten Argumente gleichermaßen.

Darüber hinaus wurden von der Stadt Landshut die nachfolgenden zwei Kriterien zur Einhaltung der Voraussetzungen des Mann-Kendall-Tests definiert:

1. Mindestens 5 Jahresmittelwerte der Schadstoffkonzentration
2. Mindestens 8 Werte zur Berechnung der Jahresmittelwerte der Schadstoffkonzentration

Die erste Voraussetzung wurde von den meisten Trendbetrachtungen eingehalten. Die zweite Voraussetzung konnte aufgrund zu weniger Grundwasserbeprobungen (<8 Proben pro Jahresmittelwert) jedoch nur in einzelnen Jahren erfüllt werden. Zu letzterem Umstand ist anzumerken, dass der nicht-parametrische Mann-Kendall-Test nicht auf ein regelmäßiges Zeitintervall, z.B. Jahresmittelwerte von Messwerten angewiesen ist und auch mit den zeitlich unregelmäßig verteilten Einzelwerten genutzt werden kann. Das heißt, die Auswertung der Stadt Landshut wurde unnötigerweise bezüglich der Anzahl der ausgewerteten Messwerte reduziert.

Aufgrund dieser oben genannten multiplen Einschränkungen sind die Aussagen der von der Stadt Landshut durchgeführten Trendbetrachtung nur von eingeschränkter Aussagekraft und können somit nicht zu einer abschließenden Bewertung der Dynamik der Fahne herangezogen werden.

7.2 Multiple Trendanalysen

ERM führte aus o.g. Gründen ein Trendbetrachtungen mittels multipler statistischer Methoden durch. Neben dem zuvor genannten sog. *Mann-Kendall Test* kam eine Reihe weiterer statistischer Tests zur Trendanalyse zum Einsatz, welche im Trendanalyse-Softwarepaket ‚Hype‘/21/ integriert sind. Sie beinhalten eine automatische Erkennung einer möglichen Trendumkehr oder Änderung von Randbedingungen innerhalb einer Zeitreihe.

Von ERM betrachtete und mittels ‚Hype‘ ausgewertete Zeiträume:

- **Erster Zeitraum: 2013 (Beginn Sanierung) bis 2021/2022** – durch den Einsatz weiterer statistischer Tools zur automatischen Erkennung einer Trendumkehr innerhalb der Zeitreihe ist die Auswahl dieses gesamten Zeitraums durch die automatische Ermittlung von multiplen Korrelationen auch bei mehrfachen Änderungen der Kausalitäten/Randbedingungen (Sanierung 2013, Aushub 2017, Bauwasserhaltung 2019) nutzbar.
- **Zweiter Zeitraum: Ende der Bauwasserhaltung (11.07.2019) bis 2021/2022** – dieser Zeitraum repräsentiert seit Ende der Aushubmaßnahmen 2017 die erste ‚ungestörte‘ Phase der Fahnenausbildung.

7.2.1 Übergeordnete Trendanalyse ab 2013 bis 2021/2022

Zur übergeordneten und langjährigen Trendbetrachtung der PCB_{6x5}-Schadstoffkonzentration wurden die nachfolgend aufgelisteten Grundwassermessstellen im Abstrom der ehemaligen Schadstoffquelle (aber noch auf dem BMI Gelände gelegen) genutzt.

- P12Q, P13Q, P11Q, P10Q, P14Q, P15Q & P9Q

Die Messstellen P16Q und P17Q zeigten kontinuierlich Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze und konnten somit nicht in die Auswertung der Trendanalyse einbezogen werden. Sie zeigen damit

jedoch, dass in östlicher Richtung ein stabiler Fahnenrand besteht und somit keine Ausbreitung der Fahne in östlicher Richtung stattfindet (siehe untenstehende Abbildung).

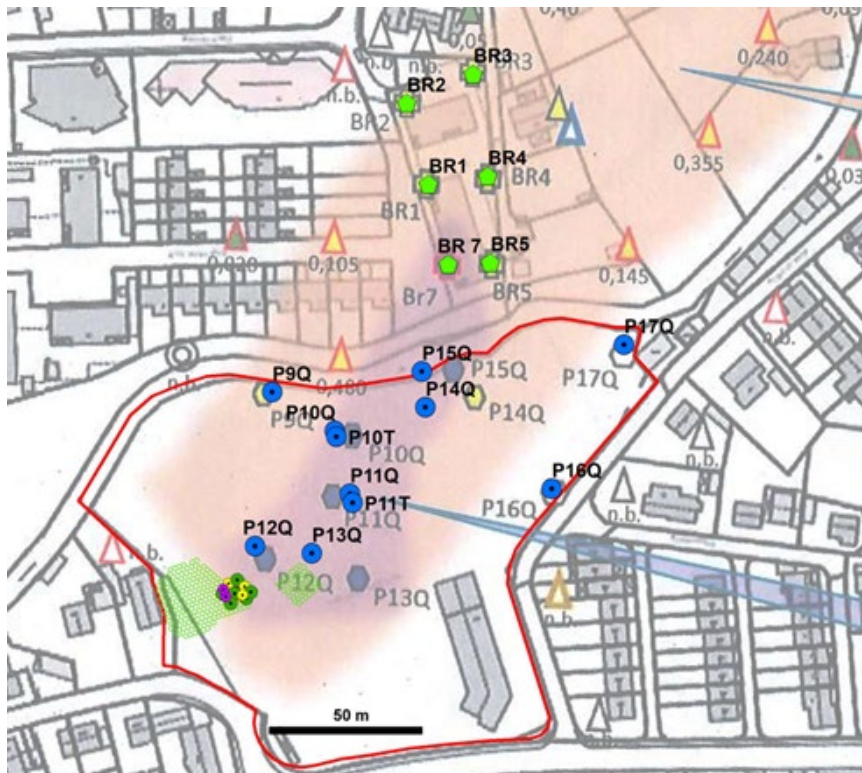


Abbildung 1: Lage der PCB-Schadstofffahne

Die Auswertung der kompletten Zeitreihen der gemessenen PCB_{6x5}-Werte von 2013 bis 2021/2022 mit ‚Hype‘ ergibt für die Messstellen P12Q, P13Q, P11Q, P10Q im zentralen und proximalen Abstrom der ehemaligen Schadstoffquelle (siehe Abbildung 1) die nachfolgend beschriebenen Trends der PCB-Konzentrationen:

- P12Q: Initial steigende Tendenz mit Trendumkehr Ende 2014, danach kein Trend feststellbar, insgesamt kein übergeordneter Trend feststellbar (Details siehe Anhang E-1)
- P13Q: Übergeordnet fallender Trend durch Mann-Kendall bestätigt, zusätzlich nach Umbruch (Trendumkehr/Veränderung des Mittelwerts) über insgesamt fallenden Mittelwert untermauert (Details siehe Anhang E-2)
- P11Q: Übergeordnet fallender Trend durch Mann-Kendall bestätigt, zusätzlich durch Umbruch 2015 über weiter fallenden Trend nach Mann-Kendall untermauert (Details siehe Anhang E-3)
- P10Q: Initial steigende Tendenz (Mann-Kendall) dann Umbruch 2019, danach fallender Trend via Mann-Kendall feststellbar (Details siehe Anhang E-4)

Fazit:

Von den vier in der Nähe der ehemaligen Schadstoffquelle gelegenen Grundwassermessstellen P12Q, P13Q, P11Q, P10Q auf der zentralen Fahnenachse zeigt sich nach Ende der Sanierung durch Aushub 2017 in der statistischen Auswertung für P13Q, P11Q, P10Q ein signifikant abfallender Trend. Für die Messstelle P12Q zeigt sich kein Trend.

Bei den im weiteren Abstrom an der Standortgrenze (s. Abbildung 1) des ehemaligen BMI-Geländes gelegenen Messstellen P14Q, P15Q und P9Q ergibt sich folgendes Bild:

- P14Q: Kein statistisch belegbarer Trend – sämtliche Verfahren ergebnislos (Details siehe Anhang E-5)
- P15Q: Übergeordnet steigender Trend durch Mann-Kendall bestätigt, nach Umbruch Ende 2015 über steigenden Mittelwert zusätzlich untermauert (Details siehe Anhang E-6)
- P9Q: Übergeordnet steigender Trend durch Mann-Kendall bestätigt, nach Umbruch 2017 über weiter steigenden Mittelwert untermauert (Details siehe Anhang E-7)

Fazit:

Bei den an der Standortgrenze gelegenen Grundwassermessstellen zeigt sich nach Abschluss der Sanierung durch Aushub 2017 in der statistischen Auswertung in der überwiegenden Anzahl der Messstellen (2 von 3 Messstellen) derzeit noch ein statistisch signifikant ansteigender Trend.

7.2.2 Trendanalyse nach Ende der Sanierung

Zur Trendbetrachtung der Schadstoffkonzentration im Grundwasserleiter nach Ende der Sanierung durch Aushub 2017 wurden die im vorherigen Kapitel benannten Messstellen genutzt. Jedoch wurde nun ausschließlich die erste ‚ungestörte‘ Phase der Fahnenausbildung betrachtet, welche mit dem Ende der Bauwasserhaltung auf Flurstück 2306/8 (11.07.2019) begann und mit den aktuellsten Messwerten aus 2021/2022 für diesen Bericht endet.

Gemäß Auswertung dieser auf etwas mehr als 2 Jahren beschränkten Zeitreihen mit ‚Hype‘ ergibt sich im zentralen und proximalen Abstrom der ehemaligen Schadstoffquelle folgendes Bild (zur Lage der Messstellen (siehe Abbildung 1):

- P12Q: Bei bislang 10 erhobenen Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten Verfahren ein signifikanter Trend feststellbar (Details siehe Anhang F-1). Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.
- P13Q: Bei bislang 10 erhobenen Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein signifikanter Trend feststellbar (Details siehe Anhang F-2). Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.
- P11Q: Bei bislang 9 Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar (zumeist werden die Verfahren aufgrund einer ungenügenden Anzahl von Messwerten gar nicht gestartet) – Details siehe Anhang F-3. Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.
- P10Q: Bei bislang 9 Messwerten werden die von Hype genutzten Verfahren aufgrund einer ungenügenden Anzahl von Messwerten überwiegend nicht gestartet. Jedoch wird mit dem Verfahren der linearen Regression ein signifikant fallender Trend von $-1.27e-01 \mu\text{g/L /Jahr}$ ausgewiesen (Details siehe Anhang F-4). Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab „significant decreasing“ (signifikant fallender Trend).

Fazit:

Bei den in der Nähe der ehemaligen Schadstoffquelle gelegenen Grundwassermessstellen auf der zentralen Fahnenachse ist bei der Mehrzahl der Messstellen mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar. Lediglich an P10Q wird mit dem Verfahren der linearen Regression und per in MS-Excel durchgeführtem Mann-Kendall-Test ein signifikant fallender Trend festgestellt. Somit kann eine belastbare Bewertung dieses Fahnenbereiches für den Zeitraum nach 2019 erst nach der Einbeziehung weiterer Ergebnisse aus der laufenden Grundwasserüberwachung vorgenommen werden.

Bei den an der Standortgrenze gelegenen GWM ergibt sich folgendes Bild:

- P14Q: Bei bislang 8 Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar (zumeist werden die Verfahren aufgrund einer ungenügenden Anzahl von Messwerten gar nicht gestartet) – Details siehe Anhang F5. Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.
- P15Q: Bei bislang 8 Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar (zumeist werden die Verfahren aufgrund einer ungenügenden Anzahl von Messwerten gar nicht gestartet) – Details siehe Anhang F6. Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.
- P9Q: Bei bislang 9 Messwerten ist mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar (zumeist werden die Verfahren aufgrund einer ungenügenden Anzahl von Messwerten gar nicht gestartet) – Details siehe Anhang F7. Der unabhängig davon in MS-Excel ausgeführte Mann-Kendall Test ergab ebenfalls keinen Trend.

Fazit:

Auch bei den an der Standortgrenze gelegenen Grundwassermessstellen ist bei der Mehrzahl der Messstellen mit keinem der von Hype genutzten statistischen Verfahren ein Trend feststellbar. Somit kann eine belastbare Bewertung dieser Zeitphase erst nach Einbeziehung weiterer Ergebnisse aus der laufenden Grundwasserüberwachung vorgenommen werden.

7.2.3 Trendanalyse im distalen Teil der Fahne (nördlich des Klötzlmühlbachs)

Von der Stadt Landshut wurde von August 2019 bis Februar 2020 der Abstrom des quartären Grundwassers ausgehend vom ehemaligen BMI Gelände auf Belastungen mit PCB untersucht /4/. Nach etwa zwei Jahren wurden die Belastungen im Abstrom vom BMI-Gelände im Rahmen einer zweiten Beprobungskampagne erneut überprüft /6/. Laut Aktenvermerk der Stadt Landshut /8/ soll dabei eine zunehmende Ausdehnung der Schadstofffahne innerhalb von etwa zwei Jahren nach Osten sowie im Bereich des Bauhaltungsbrunnen BR3 erkennbar sein.

Generell stimmt ERM mit der von der Stadt angestrebten Zielstellung der Überwachung des Abstroms des quartären Grundwassers überein. Bei der Trendbetrachtung der Schadstoffkonzentration und Einschätzung der Fahnenausbreitung im Grundwasserleiter kommen wir jedoch zu einer abweichenden Bewertung.

Da bislang pro Messpunkt maximal 2 Messwerte vorliegen, ist der sog. Mann-Kendall-Test nicht zur Auswertung signifikanter Trends heranziehbar (hierzu werden mindestens 4-5 Messwerte benötigt). Somit kann derzeit generell weder eine Aussage über einen statistisch signifikanten Trend, noch eine statistisch abgesicherte Aussage zur Veränderung der Schadstofffahne getroffen werden.

Aus der von ERM durchgeführten Trendbetrachtung der Schadstoffkonzentration im Grundwasserleiter nach der Sanierung durch Aushub (siehe Kapitel 7.2.2) ergibt sich zudem, dass bei den Messungen von gering konzentrierten PCB in der Größenordnung des Stufe-1- und Stufe-2-Wertes auch bei der wiederholten Beprobung an ein und derselben Messstelle im Verlauf der Zeit immer mit einer gewissen Schwankung der labortanalytisch ermittelten PCB-Konzentrationen zu rechnen ist. Dass diese Schwankungen auch nach der statistischen Auswertung von 8-10 Messwerten oft ohne das Herauskristallisieren eines statistisch signifikanten Trends ablaufen (wie in Kapitel 7.2.2 gezeigt), ist ein deutlicher Hinweis für das Vorhandensein dieser ungerichteten Streuung der Analyseergebnisse. Somit kann ein Vergleich von nur 2 Werten nicht zur Aussage hinsichtlich von signifikanten Veränderungen in der Fahnenausbreitung herangezogen werden.

Darüber hinaus entsprechen weder die genutzten Messstellen, noch das an den Rammpegeln genutzte Probenahme-Equipment in allen Punkten den Anforderungen an eine Qualitätsmessstelle und Qualitätsbeprobung zur Bestimmung der Grundwasserchemie (siehe Kapitel 6.3).

Aufgrund dieser multiplen Limitationen der Datenquantität und -qualität, sind die Aussagen der von der Stadt Landshut durchgeführten Betrachtungen zur Ausdehnung der Schadstofffahne für uns nicht

nachvollziehbar. Sie zeigen qualitativ die ungefähre Lage der Schadstofffahne und deren Abgrenzung, können aber nicht zu einer abschließenden Bewertung des Alters der Fahne noch zu der künftig zu erwartenden Ausbreitung der Fahne herangezogen werden.

8. BEWERTUNG

Nach Auswertung aller verfügbaren relevanten Daten kann die Quantität und Qualität der Daten sowie das Ausbreitungsverhalten der PCB-Schadstofffahne auf dem ehemaligen BMI-Gelände und in dessen Abstrom wie folgt zusammengefasst und bewertet werden:

Datengrundlage

Die vorliegenden **Grundwasserdaten vom ehemaligen BMI-Gelände** sind hinsichtlich Quantität und Qualität für die in diesem Bericht getätigten Auswertung gut geeignet.

Die Analysedaten aus der **Bauwasserhaltung** (Flurstück 2306/8) haben eine eingeschränkte Eignung für die Bewertung der Grundwassersituation. Qualitative Auswertungen bezüglich Trends in der Konzentrationsentwicklung können ohne Einschränkung abgeleitet werden. Eine Bewertung der absoluten Konzentrationen, der Verteilung der PCB-Kongenere sowie die Abschätzung von PCB-Frachten wie in /8/ erfolgt ist nur eingeschränkt aussagekräftig. Durch die hohe Förderrate und damit verbundenem partikelgebundenen PCB-Transport ist von Überbefunden hinsichtlich PCB auszugehen.

Die beprobten Grundwasseraufschlüsse in der **Grundwasserfahne nördlich des Klötzlmühlbachs** unterscheiden sich in Art und Ausbau stark voneinander. Allen Aufschlüssen ist gemeinsam, dass nur ein kleiner Teil des Grundwasserleiters erfasst wird, und daher eine integrale Beprobung des gesamten Grundwasserleiters nicht möglich ist. Da aus den beiden Beprobungskampagnen nördlich des Klötzlmühlbachs bislang pro Messpunkt maximal 2 Messwerte vorliegen, sind Aussagen zu signifikanten Trends in diesem Teil der Schadstofffahne nicht möglich. Es kann derzeit generell weder eine Aussage über einen statistisch signifikanten Trend, noch eine statistisch abgesicherte Aussage zur Veränderung der Schadstofffahne getroffen werden. Die Untersuchungen geben daher lediglich einen qualitativen Überblick über den Verlauf und die laterale Ausdehnung der Schadstofffahne, nach dem Eingrenzungskriterium des Stufe-1-Wertes.

PCB-Transport

Die Ausbreitung der PCB konnte anhand einer Modellvorstellung in plausibler Art nachvollzogen werden. Um die PCB-Ausbreitung und die Fahnenlängen für die relevanten PCB-Kongenere 28, 52 und 101 nachzuvollziehen, hat sich ein Ausbreitungsmodell unter Berücksichtigung von kongenerspezifischen Stoffeigenschaften sowie K_{OW} und K_D -Werten unter Annahme von Ungleichgewichtsbedingungen bewährt (Kapitel 5.3). Die modellhaften Berechnungen erklären die beobachtete chromatographische Auftrennung der PCB-Kongenere im Grundwasserabstrom der ehemaligen Quelle. Die höher chlorierten und damit stärker retardierten Kongenere (153 und 138) sind nur im Nahbereich der ehemaligen Schadstoffquelle vertreten, den ehemaligen BMI-Standort haben sie nicht verlassen. Das Kongener 180 tritt aktuell nicht auf. In der Grundwasserfahne nordwestlich der Standortgrenze finden sich nur die geringer chlorierten Kongenere PCB101, 52 und 28. Das Kongener PCB101 ist nicht weiter als bis zu den Messpunkten 47, 48, und 49 gelangt. Wie zu erwarten, bilden die niederchlorierten PCB-Kongenere 28 und 52 die Fahnen spitze.

Insgesamt sprechen die Ergebnisse der Grundwasseruntersuchungen, die Trendanalysen und die Modellrechnungen zur Fahnenlänge klar dafür, dass es sich bei der PCB-Fahne im Nordosten des ehemaligen BMI Standortes um eine alte, über die Dauer von Jahrzehnten entstandene Schadstofffahne handeln muss. Bezüglich Fahnedynamik ist bei dieser Fahne von einem stabilen Zustand auszugehen. Für die Zukunft ist allerdings mit einer allmählichen Rückbildung zu rechnen, da das Nachlieferungspotenzial an PCB durch die Sanierung der Quelle auf dem ehemaligen BMI-Gelände eliminiert wurde.

Die vorhandenen Daten lassen darauf schließen, dass es im nahen Einzugsbereich der ehemaligen Brunnen der Bauwasserhaltung während der Dauer der Wasserhaltung zu einem partikelgetragenen PCB-Transport gekommen ist. Die sehr hohen Pumpraten haben vorübergehend Strömungsbedingen

geschaffen, die eine Mobilisierung von Feinstpartikeln ermöglicht haben. An diesen sog. kolloidalen Partikeln waren offenbar höher chlorierte PCB-Kongenere sorbiert und wurden damit verfrachtet.

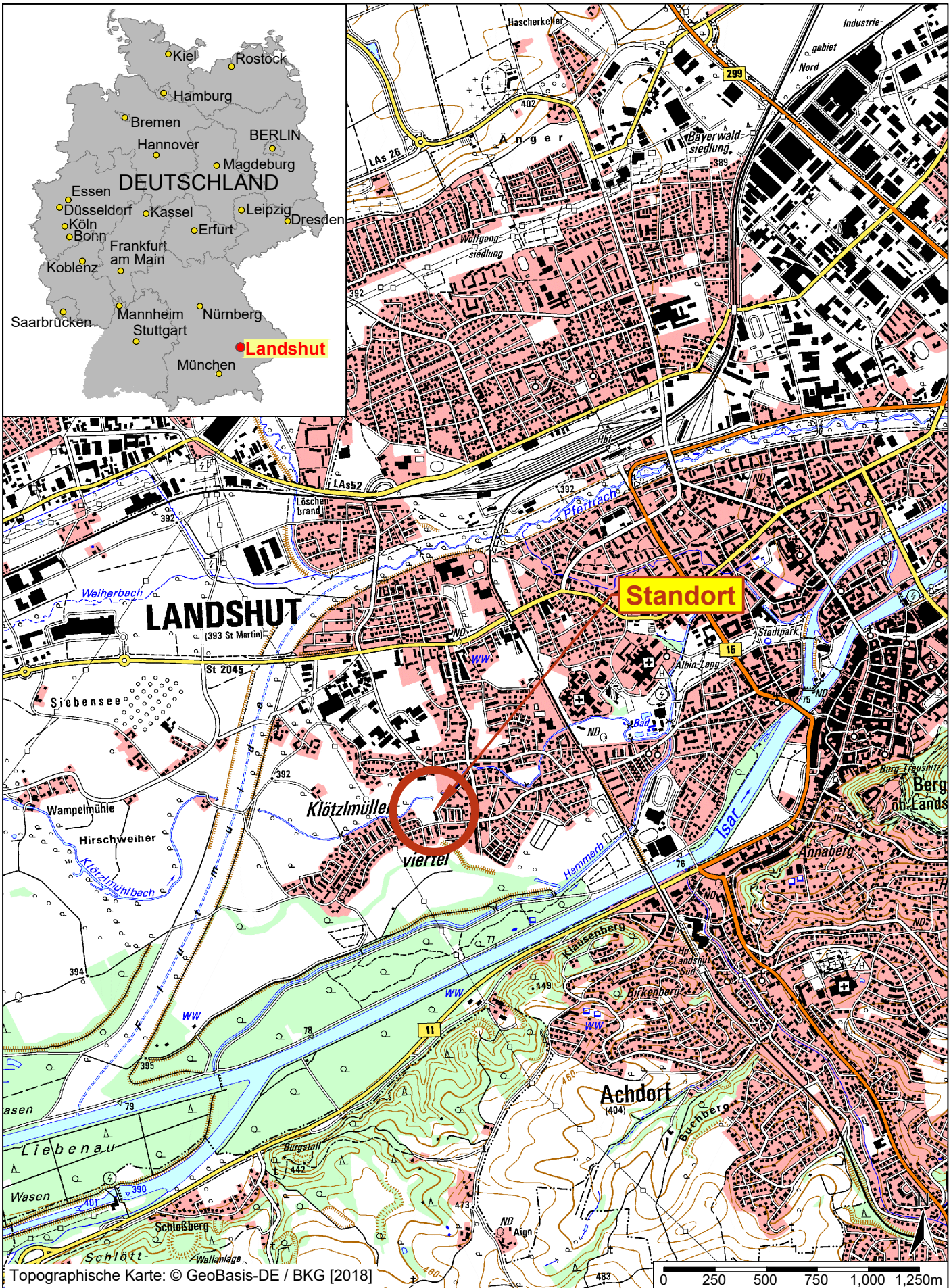
Theoretische Bodenbelastung im Fahnenbereich

Unter Annahme eines Worst-Case Szenarios könnten im durchströmten Bodenmaterial der Schadstofffahne nördlich des Klötzlmühlbachs lediglich PCB_{6*5}-Gehalte von maximal 0,2 mg/kg erreicht werden. Zur orientierenden Einordnung - nicht zur abschließenden Bewertung - verweisen wir diesbezüglich auf den Prüfwert der BBodSchV für Boden auf Kinderspielflächen in Höhe von 0,4 mg/kg.

Im Bereich der Schadstofffahne ist eine PCB-Kontaminierung des Bodens im Grundwasserleiter auf möglicherweise sanierungswürdige Größenordnungen durch die Durchströmung mit PCB-belastetem Grundwasser u.E. somit nicht möglich.

ANHANG A

LAGEPLAN DES STANDORTS



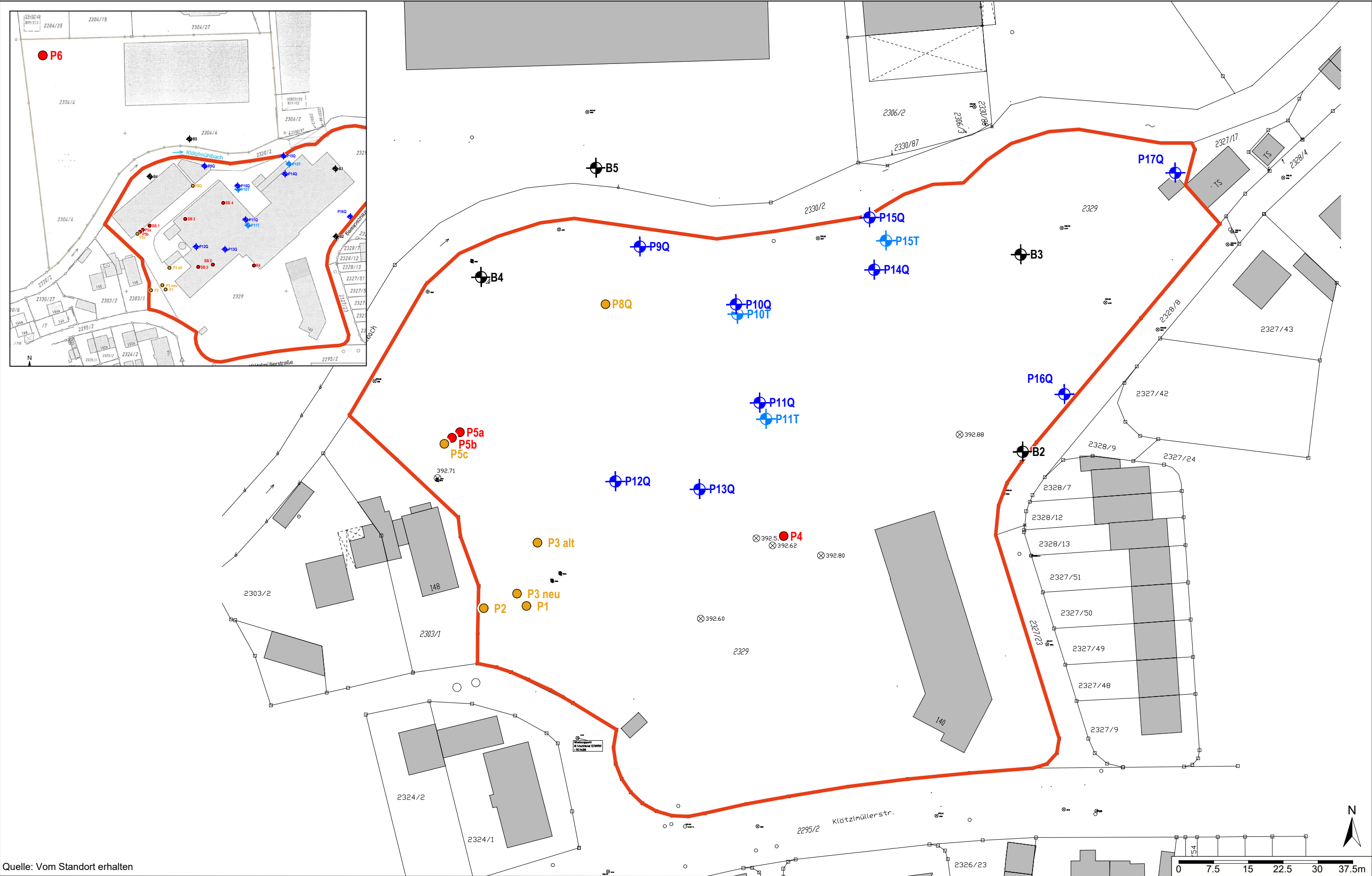
 ERM GmbH Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0	Gezeichnet: Robin Kallmeyer	BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland Lageplan des Standorts	Projekt-Nr: 0027473
	Geprüft: Olaf Filzinger		Maßstab: 1 : 25,000
	Datum: 2021-09-16	Kunde: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

[File Name: P:\Projects\0027473 Klötzlmüllerstrasse Landshut\Plane\20210916_rk.dwg] [Plot Date: September 16, 2021; 11:23; Robin Kallmeyer]







ANHANG B

STANDORTPLAN MIT ALTEN UND NEUEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN UND BRUNNEN

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



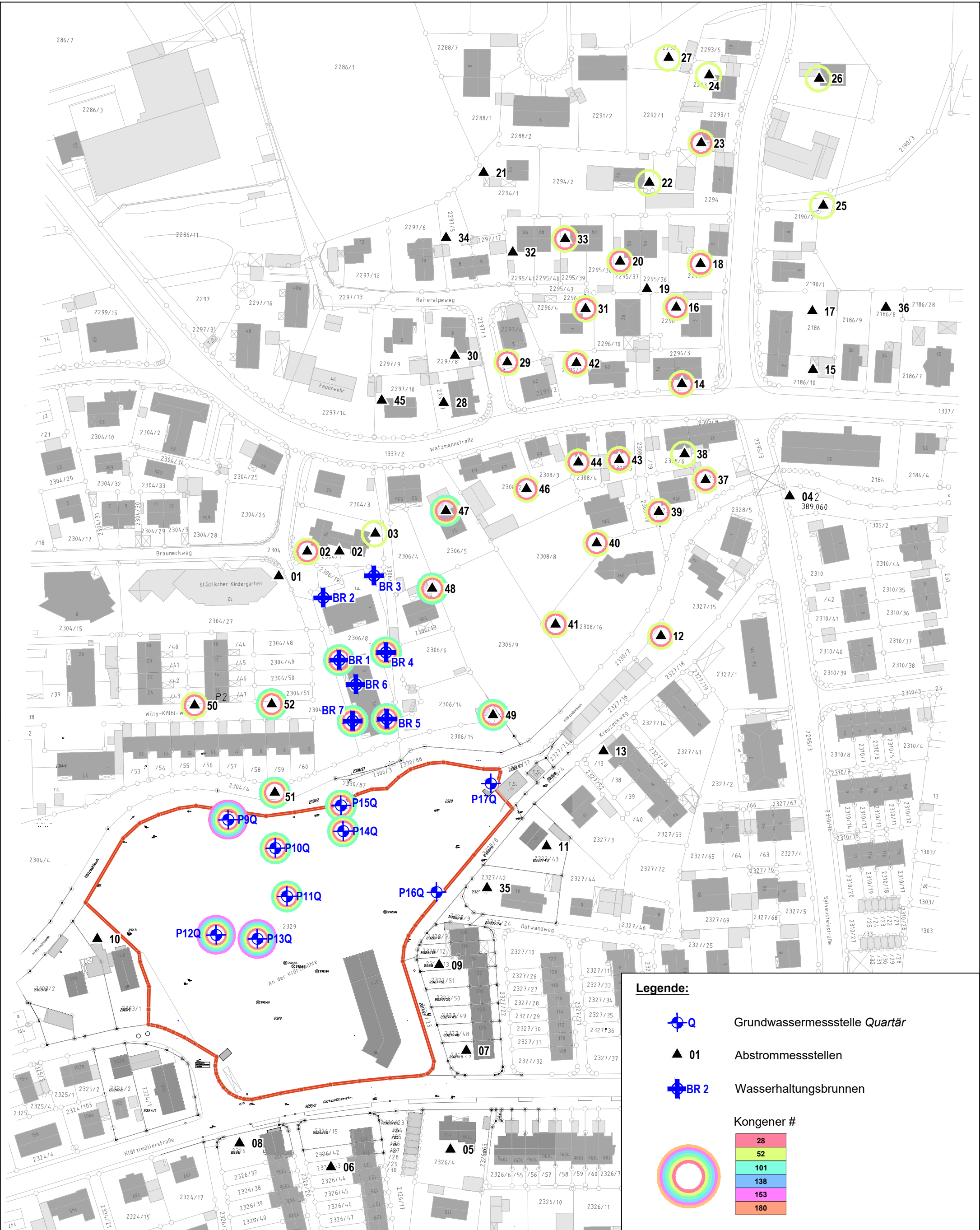
Quelle: Vom Standort erhalten

Legende:				 <div>ERM GmbH Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0</div>	Gezeichnet: Svetislav Mijic	BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140 Landshut, Deutschland Standortplan mit alten und neuen Grundwassermessstellen und Brunnen	Projekt-Nr: 0027473
 T Grundwassermessstelle <i>Tertiär</i>	 Q Grundwassermessstelle <i>Quartär</i>	 P4 Grundwassermessstelle <i>Quartär</i> , rückgebaut	 P4 Grundwassermessstelle <i>Tertiär</i> , rückgebaut		Geprüft: Olaf Filzinger		Maßstab: 1 : 750
 B2 Betriebsbrunnen, rückgebaut					Datum: 2021-08-24	Kunde: Vishay Electronic GmbH	Anhang: A2
							Blattgröße: DIN A3

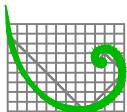
ERM GmbH		BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140		Projekt-Nr: 0027473	
Siemensstraße 9 D-63263 Neu-Isenburg Telefon +49 6102 206-0 Telefax +49 6102 771 904 0		Landshut, Deutschland		Maßstab: 1 : 750	
Gezeichnet: Svetislav Mijic		Standortplan mit alten und neuen Grundwassermessstellen und Brunnen		Anhang: A2	
Geprüft: Olaf Filzinger		Kunde:		Blattgröße: DIN A3	
Datum: 2021-08-24		Vishay Electronic GmbH			

ANHANG C

BEWERTUNG DER ABSTROMFAHNE – VERTEILUNG DER PCB-KONGENERE



Quelle: Auszug Stellungnahme Stadt Landshut [Januar 2022]



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

Gezeichnet:
Peter Kaschta

Geprüft:
Olaf Filzinger

Datum:
2022-04-01

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140
Landshut, Deutschland
Verteilung der PCB-Kongener im Grundwasser

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:
0027473

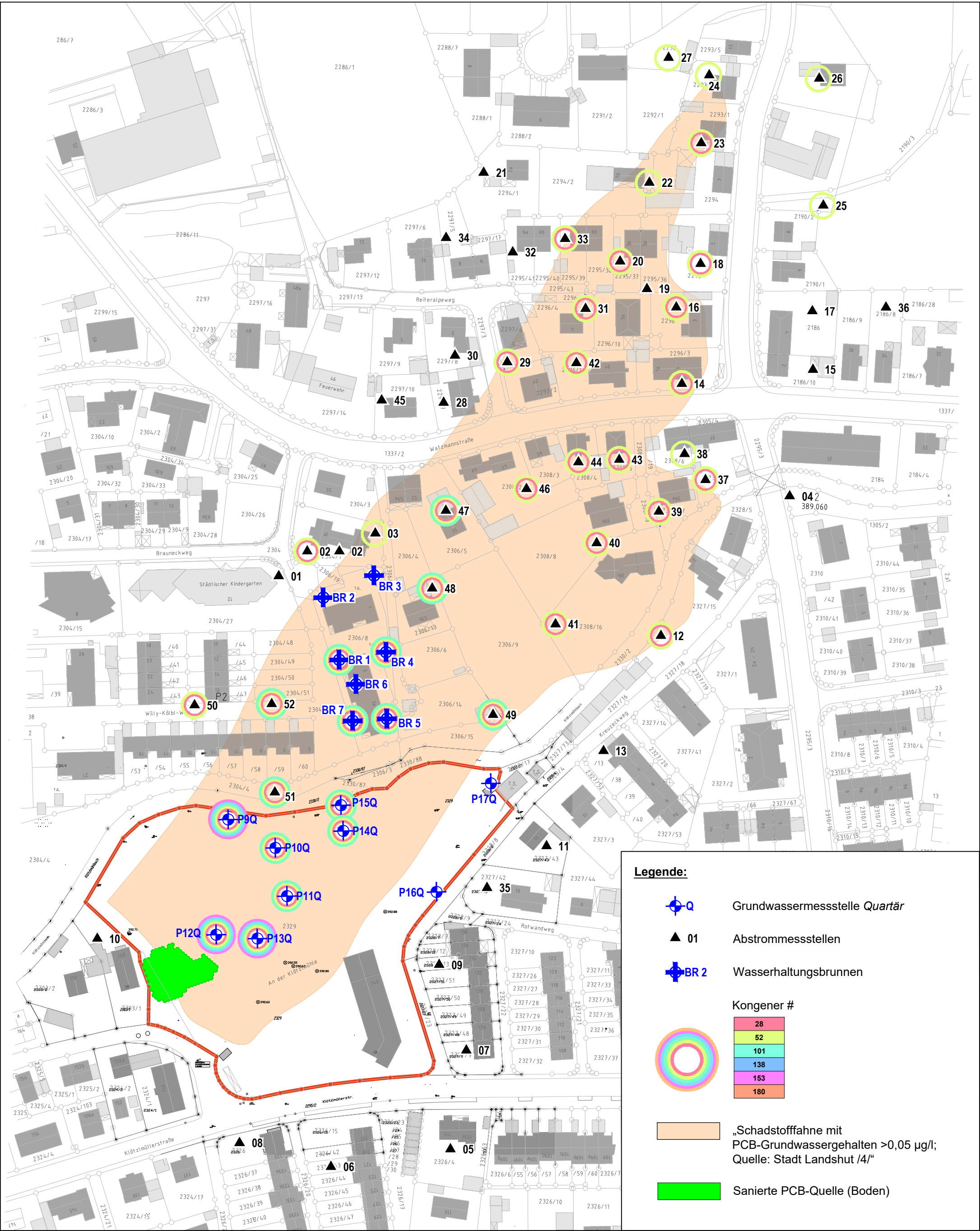
Maßstab:
1 : 1,500

Anhang:
C

Blattgröße:
DIN A4

ANHANG D

PLAN DER PCB-SCHADSTOFFFAHNE



Legende:



Grundwassermessstelle *Quartär*

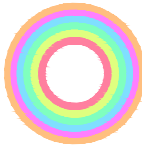


Abstrommessstellen



Wasserhaltungsbrunnen

Kongener #

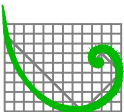
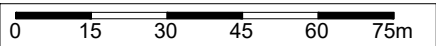


„Schadstofffahne mit
PCB-Grundwassergehalten >0,05 µg/l;
Quelle: Stadt Landshut /4/“



Sanierte PCB-Quelle (Boden)

Quelle: Auszug Stellungnahme Stadt Landshut [Januar 2022]



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

Gezeichnet:

Peter Kaschta

Geprüft:

Olaf Filzinger

Datum:

2022-04-01

BMI-Gelände Landshut, Klötzlmüllerstr. 140

Landshut, Deutschland

Ehemalige PCB-Schadensquelle und Verlauf der PCB-Fahne

Kunde:

Vishay Electronic GmbH

Projekt-Nr:

0027473

Maßstab:

1 : 1,500

Anhang:

D

Blattgröße:

DIN A4

ANHANG E PCB BELASTUNGSTRENDS SEIT APRIL 2013, MESSSTELLEN P9Q, P10Q, P11Q, P12Q, P13Q, P14Q UND P15Q

Anhang E1: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P12Q

Anhang E2: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P13Q

Anhang E3: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P11Q

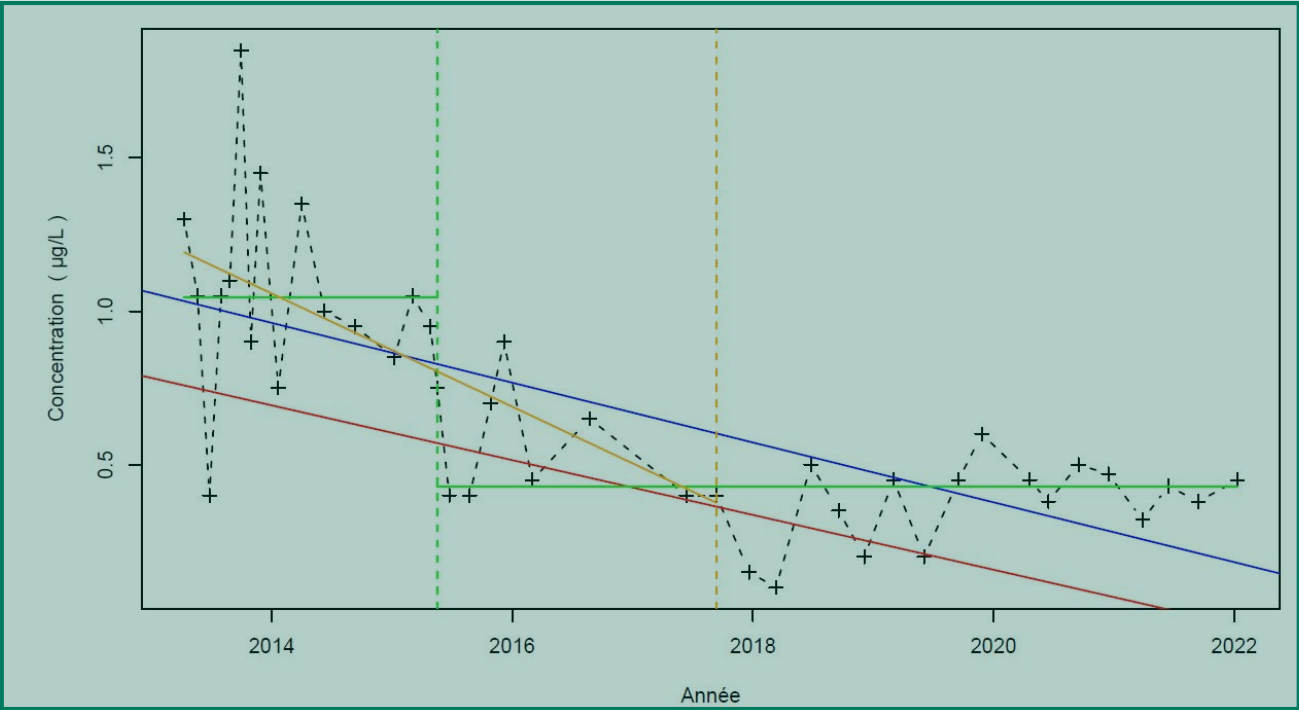
Anhang E4: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P10Q

Anhang E5: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P14Q

Anhang E6: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P15Q

Anhang E7: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P9Q

Darstellung der Zeitreihe mit
Trendabschnitten und Zeitpunkte der
Umbrüche, soweit diese signifikant sind.



Legende der Zeitreihe

Beschreibung der Farbcodierung.

Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

**Prinzipielle Charakteristiken der
Zeitreihe:** Anzahl der Messwerte,
Länge der Zeitreihe, Quantifizierungsrate,
Ergebnisse der Tests auf Autokorrelation
und Normalverteilung der Daten.

Nombre de données : 41
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.3e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-8.92e-02 µg/L /an	3e-06
Mann-Kendall modifié		4.6e-08
Régression linéaire	-9.74e-02 µg/L /an	3.1e-07

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	19/05/2015	1.4e-05
Inversion de tendance	12/09/2017	1.3e-03

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	1.05 µg/L
Après rupture	0.43 µg/L

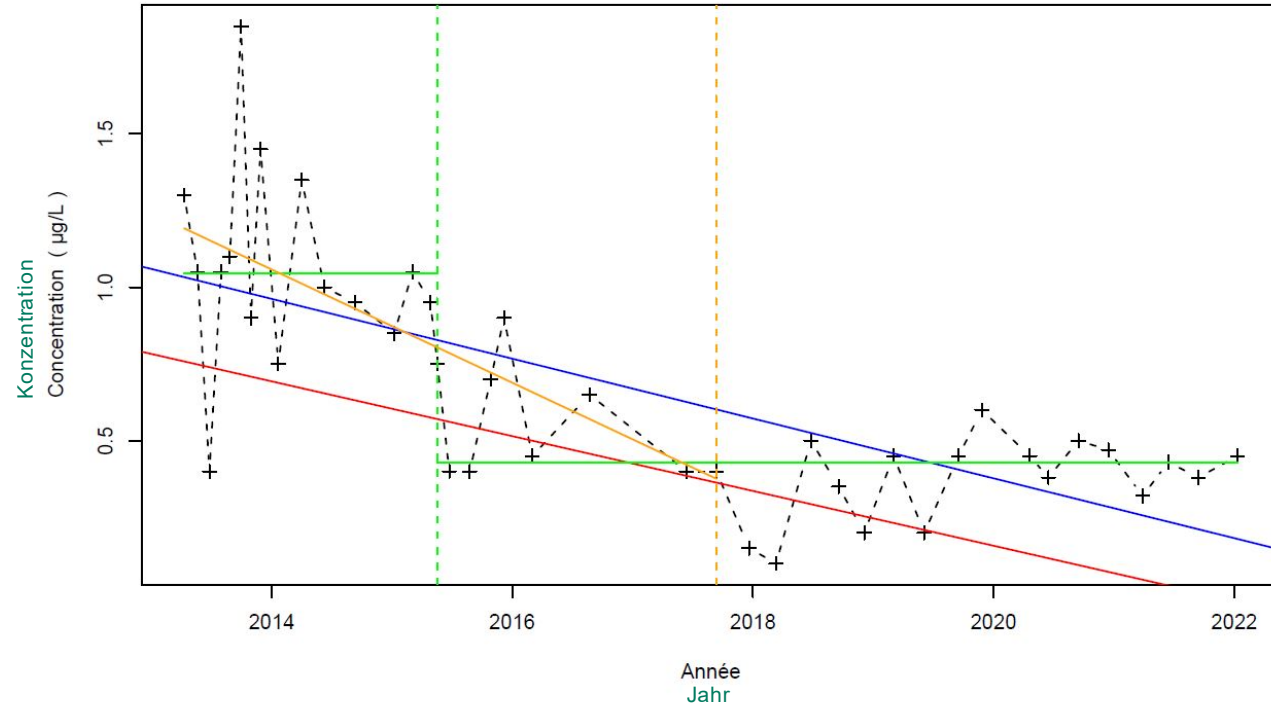
Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.84e-01 µg/L /an	4.7e-04
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

**Ergebnisse der Tests auf Trends
und Umbrüche:**
durchgeführte Tests, signifikante
Trends und deren Steigung sowie
Zeitpunkte der festgestellten
Umbrüche.

**Falls signifikante Umbrüche
ermittelt wurden,** Mittelwerte vor
und nach dem Umbruch (im Fall
einer signifikanten Änderung des
Mittelwertes) und Trendverlauf des
Abschnitts vor und nach der
Trendumkehr (im Fall einer
signifikanten Trendumkehr)

P13Q-PCB



Légende

Zeitreihe
 Messwert > LQ
 Messwert <LQ, <LD, Spurenanteile
 Trend (Mann-Kendall)
 Trend (lineare Regressionsgerade)
 Zeitpunkt des Umbruchs im Mittelwert
 Mittelwert vor/ nach dem Umbruch
 Zeitpunkt der Trendumkehr
 Trend vor/ nach dem Umbruch

- - - Série temporelle
 + Valeur > LQ
 o Valeur <LQ, <LD, traces...
 - - - Tendence (Mann-Kendall)
 - - - Tendence (régression linéaire)
 - - - Date de changement de moyenne
 - - - Moyenne avant/après rupture
 - - - Date d'inversion de tendance
 - - - Tendence avant/après rupture

Anzahl der Messwerte: 41
 Länge der Zeitreihe: 3198 Stunden (8,8 Jahre)
 Quantifizierungsrate: 100 %

Autokorrelierte Daten
 (pval <0,05)
 Keine Normalverteilung der Daten
 (pval-Shapiro= 4,3e-03)

Nombre de données : 41
 Longueur de la chronique : 3198 jours (8,8 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 4.3e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-8.92e-02 µg/L /an	3e-06
Mann-Kendall modifié		4.6e-08
Régression linéaire	-9.74e-02 µg/L /an	3.1e-07

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	19/05/2015	1.4e-05
Inversion de tendance	12/09/2017	1.3e-03

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	1.05 µg/L
Après rupture	0.43 µg/L

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.84e-01 µg/L /an	4.7e-04
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

Identifizierte Trends bezogen auf die gesamte Länge der Zeitreihe

Test	Steigung	P-Wert
Mann-Kendall	-8,92e-02 µg/L /a	3e-06
Modifizierter Mann-Kendall		4,6e-08
Lineare Regressionsgerade	-9,74e-02 µg/L /a	3,1e-07

Identifizierte Umbrüche

Test	Datum	P-Wert
Änderung des Mittelwertes (Pettitt)	19.05.2015	1,4e-05
Trendumkehr	12.09.2017	1,3e-03

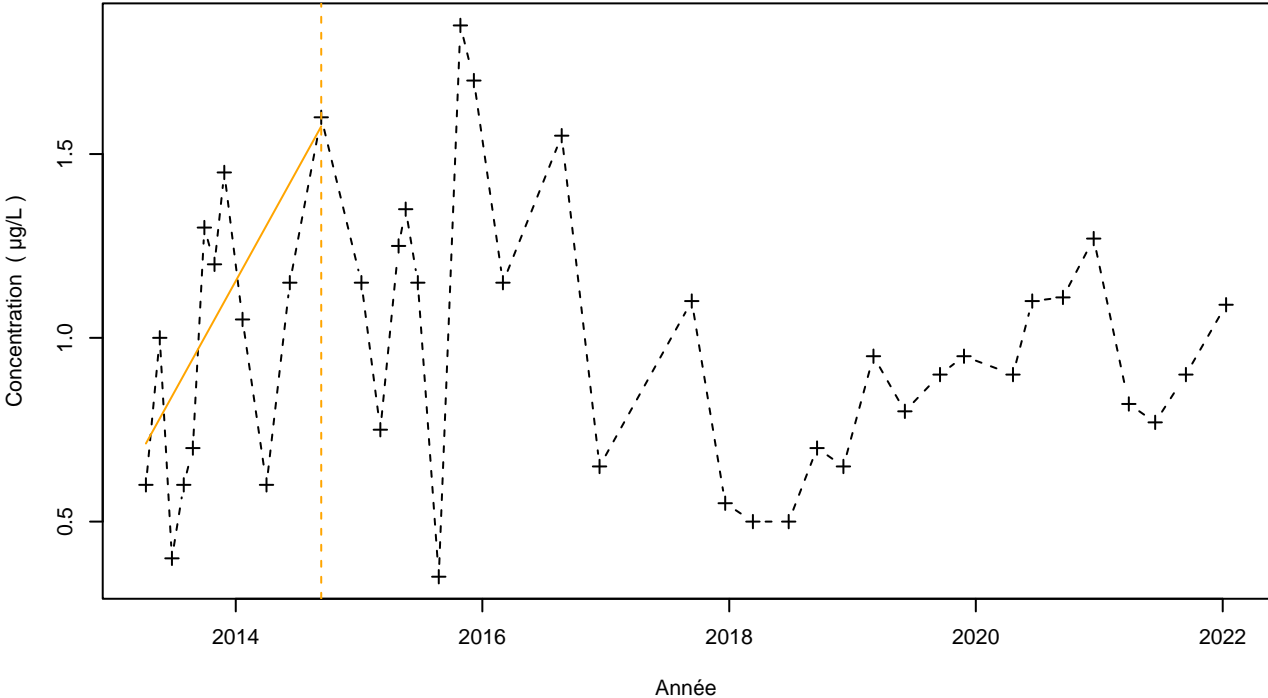
Mittelwert der Daten vor/ nach dem Umbruch

Mittelwert	
Vor dem Umbruch	1,05 µg/L
Nach dem Umbruch	0,43 µg/L

Trend vor/ nach der Trendumkehr

Test	Steigung	P-Wert
Mann-Kendall vor der Trendumkehr	-1,84e-01 µg/L /a	4,7e-04
Mann-Kendall nach der Trendumkehr	Kein signifikanter Trends feststellbar	NA

P12Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendance avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	9.2e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (données non autocorrélées)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	5.1e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	11/09/2014	3.7e-02

Nombre de données : 41
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 100 %

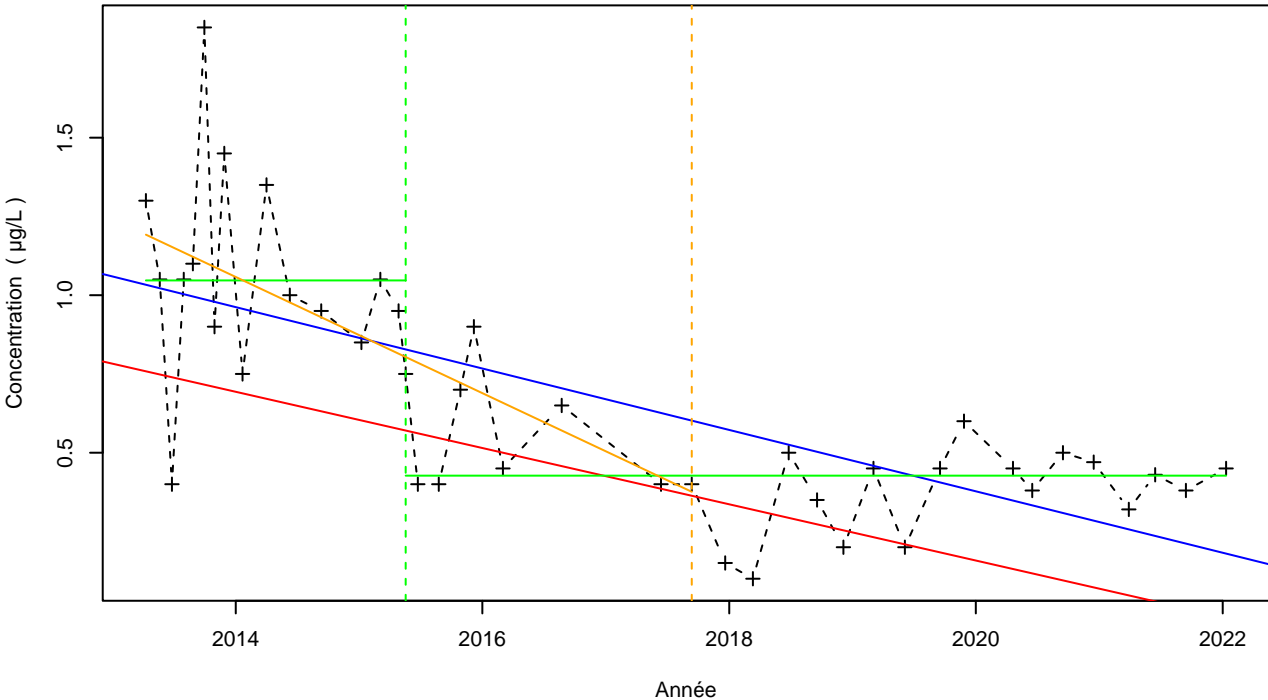
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 5.4e-01)

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	6.07e-01 µg/L /an	4.5e-02
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

P13Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-8.92e-02 µg/L /an	3e-06
Mann-Kendall modifié		4.6e-08
Régression linéaire	-9.74e-02 µg/L /an	3.1e-07

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	19/05/2015	1.4e-05
Inversion de tendance	12/09/2017	1.3e-03

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	1.05 µg/L
Après rupture	0.43 µg/L

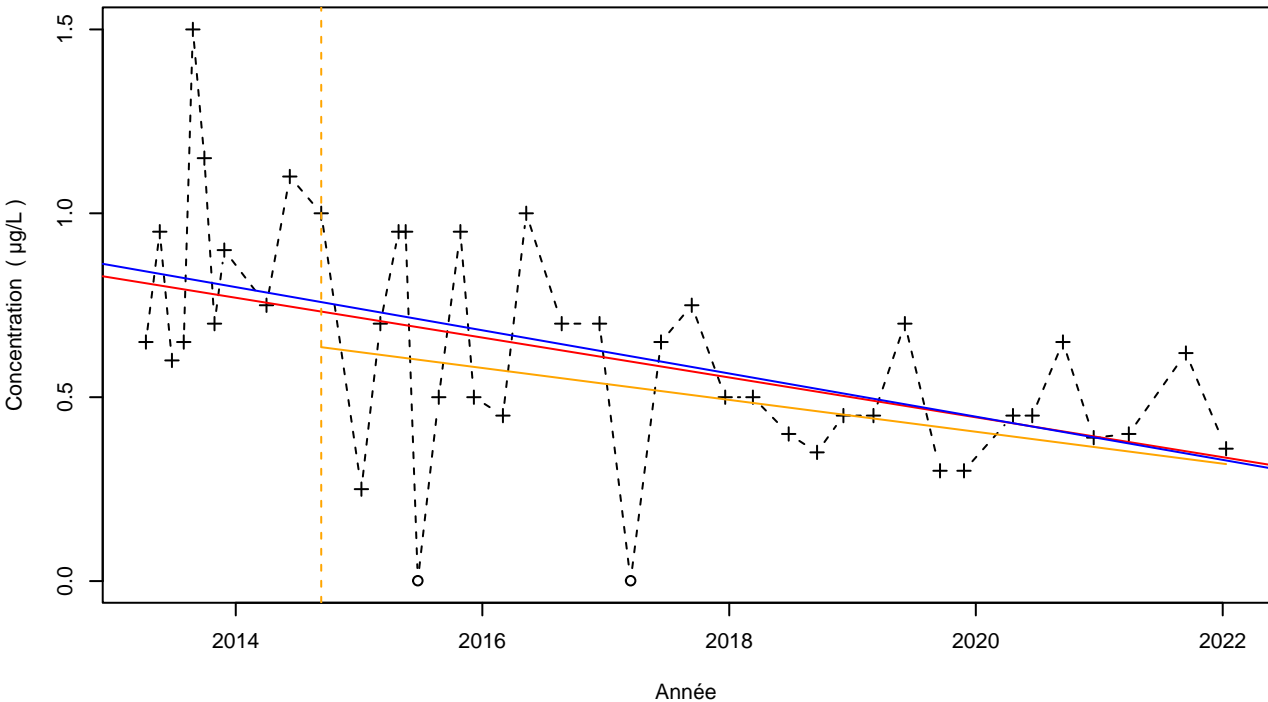
Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.84e-01 µg/L /an	4.7e-04
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

Nombre de données : 41
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.3e-03)

P11Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-5.42e-02 µg/L /an	2.2e-04
Mann-Kendall modifié	Non effectué (données non autocorrélées)	
Régression linéaire	-5.87e-02 µg/L /an	4.9e-04

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	11/09/2014	4e-02

Nombre de données : 42
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 95.2 %

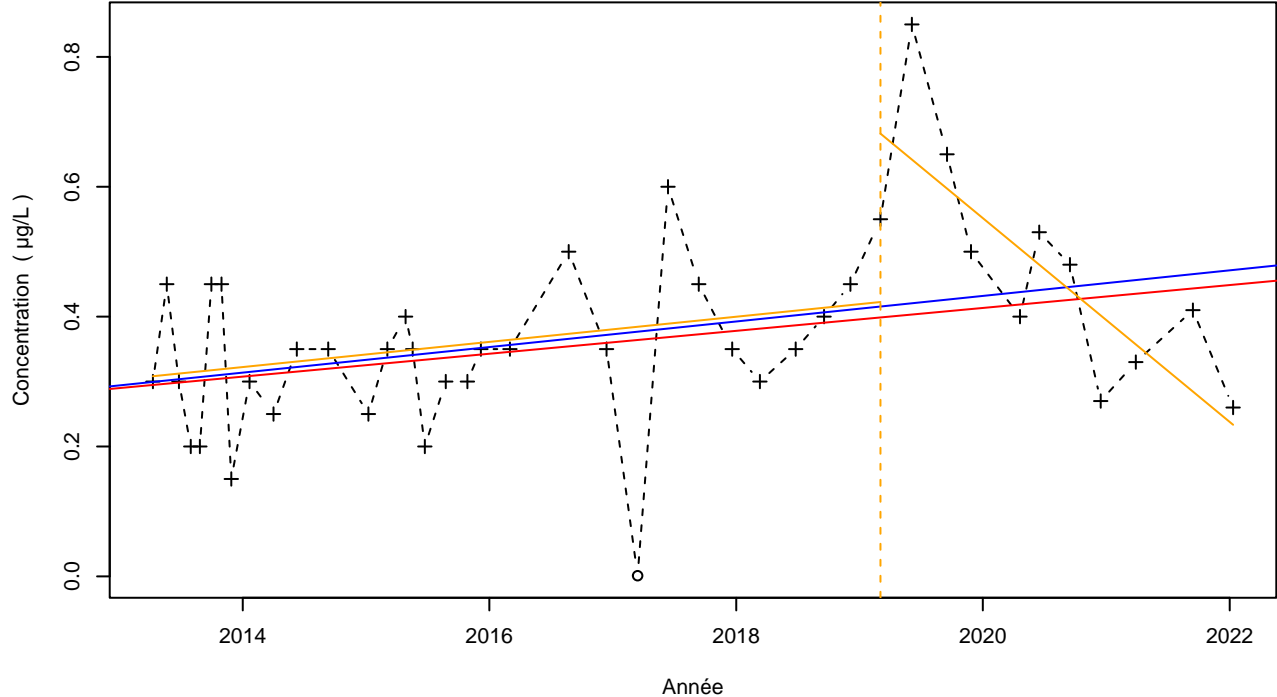
Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.9e-01)

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	Pas de tendance significative détectée	NA
Mann-Kendall après inversion	-4.33e-02 µg/L /an	1.7e-02

P10Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	1.76e-02 µg/L /an	1.3e-02
Mann-Kendall modifié		1.3e-02
Régression linéaire	1.97e-02 µg/L /an	1.7e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	04/03/2019	6.2e-04

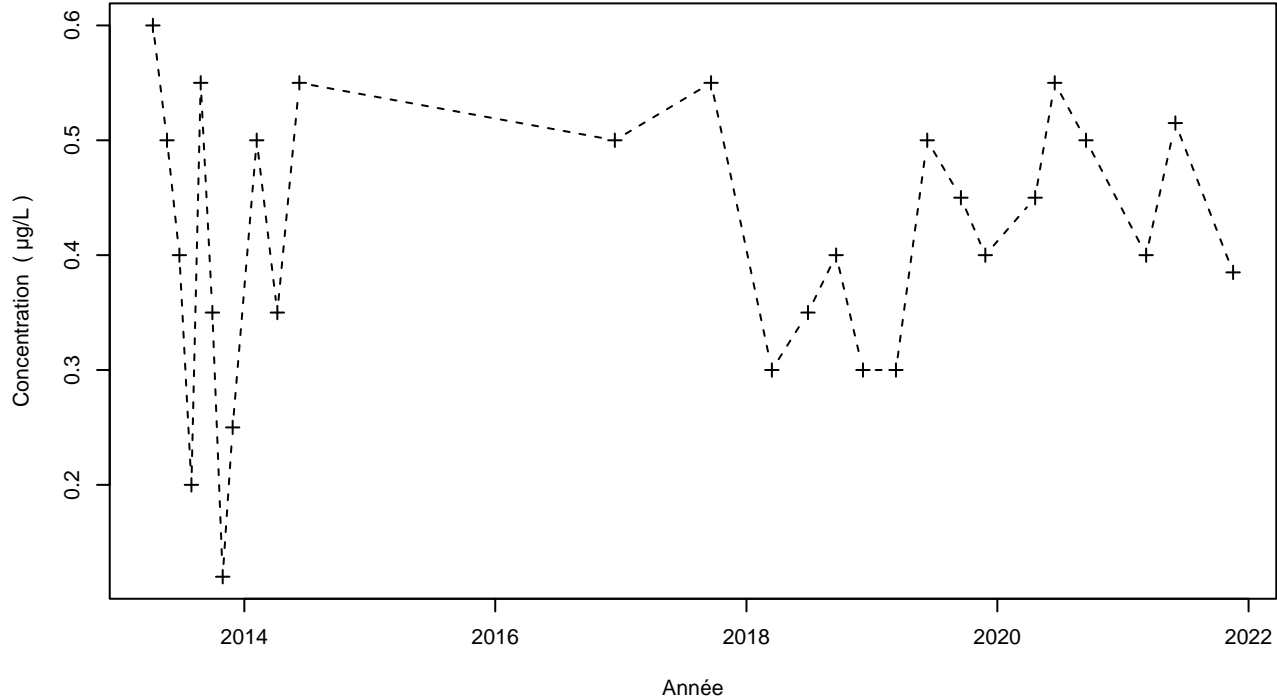
Nombre de données : 42
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 97.6 %

Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 6.8e-02)

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	1.94e-02 µg/L /an	3.7e-02
Mann-Kendall après inversion	-1.57e-01 µg/L /an	3.1e-03

P14Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	7e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	4.9e-01

Ruptures identifiées

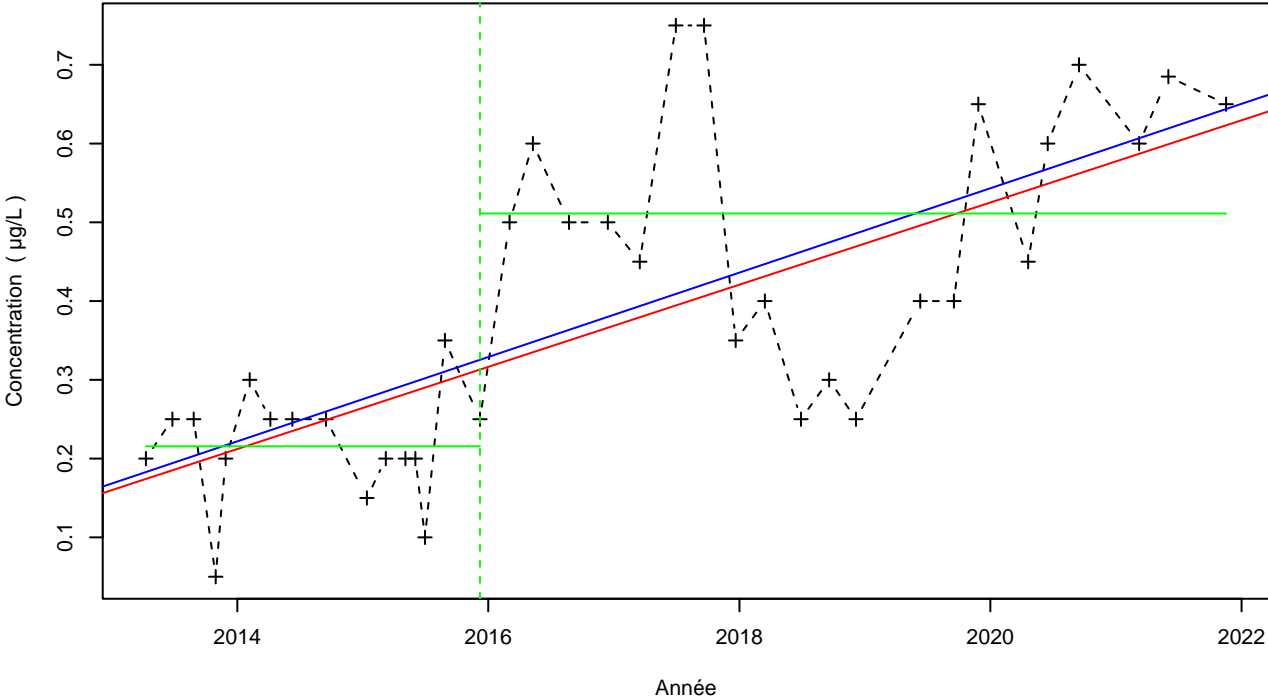
Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Nombre de données : 27
Longueur de la chronique : 3143 jours (8.6 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 1.9e-01)

P15Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	5.21e-02 µg/L /an	1.1e-05
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	5.35e-02 µg/L /an	1.3e-06

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	08/12/2015	1.3e-05
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

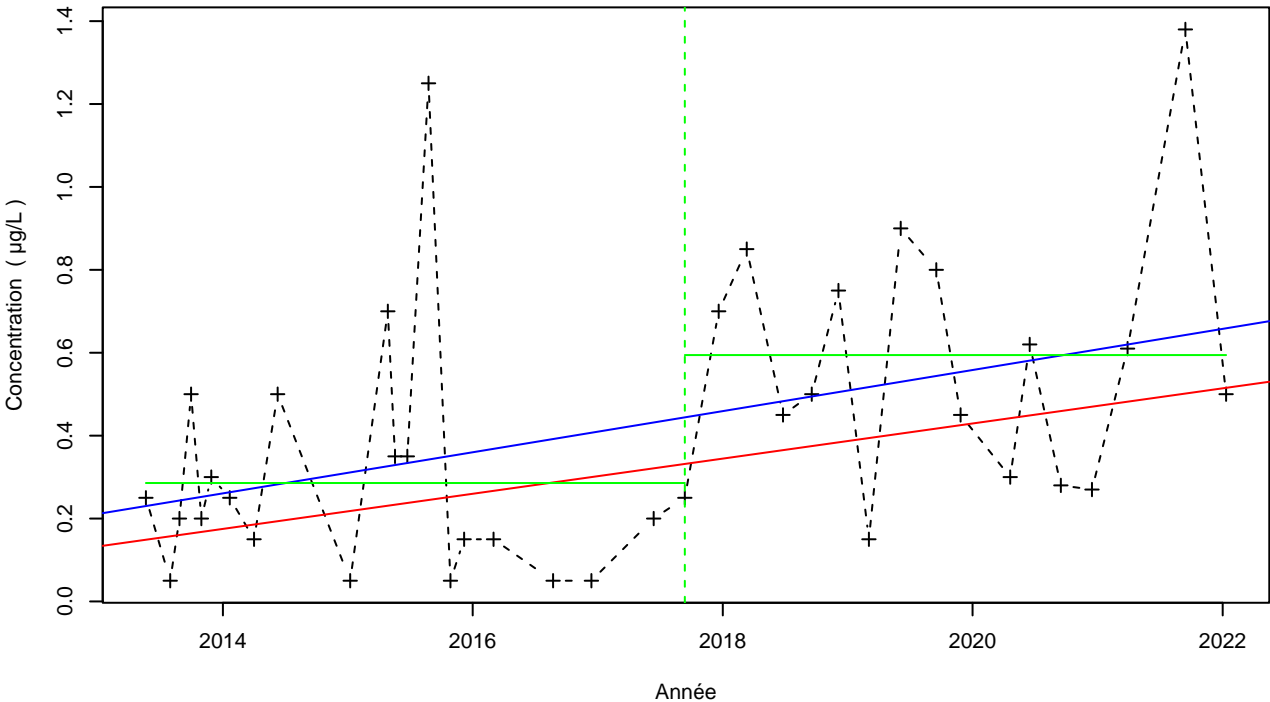
Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	0.22 µg/L
Après rupture	0.51 µg/L

Nombre de données : 37
Longueur de la chronique : 3143 jours (8.6 années)
Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 2.5e-02)

P9Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- - - Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	4.24e-02 µg/L /an	1.6e-02
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	4.96e-02 µg/L /an	1.2e-02

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	12/09/2017	4e-03
Inversion de tendance	Pas d'inversion significative détectée	

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	0.29 µg/L
Après rupture	0.59 µg/L

Nombre de données : 37
Longueur de la chronique : 3157 jours (8.6 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 1.7e-03)

ANHANG F PCB BELASTUNGSTRENDS SEIT JULI 2019 MESSSTELLEN P9Q, P10Q, P11Q, P12Q, P13Q, P14Q UND P15Q

Anhang F1: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P12Q

Anhang F2: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P13Q

Anhang F3: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P11Q

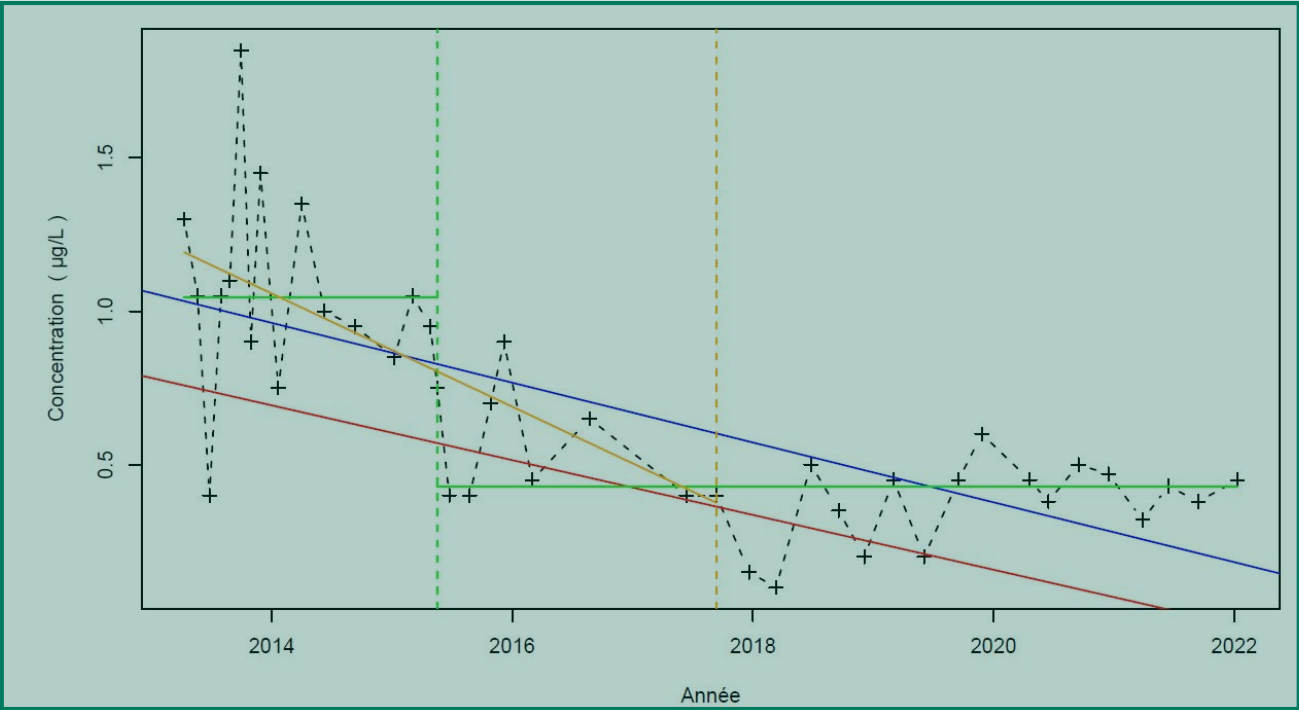
Anhang F4: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P10Q

Anhang F5: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P14Q

Anhang F6: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P15Q

Anhang F7: PCB Belastungstrends seit April 2013, Messstelle P9Q

Darstellung der Zeitreihe mit
Trendabschnitten und Zeitpunkte der
Umbrüche, soweit diese signifikant sind.



Legende der Zeitreihe

Beschreibung der Farbcodierung.

Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur < LQ, < LD, traces...
- Tendence (Mann-Kendall)
- Tendence (régression linéaire)
- Date de changement de moyenne
- Moyenne avant/après rupture
- Date d'inversion de tendance
- Tendence avant/après rupture

**Prinzipielle Charakteristiken der
Zeitreihe:** Anzahl der Messwerte,
Länge der Zeitreihe, Quantifizierungsrate,
Ergebnisse der Tests auf Autokorrelation
und Normalverteilung der Daten.

Nombre de données : 41
Longueur de la chronique : 3198 jours (8.8 années)
Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
(pval<0.05)
Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.3e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-8.92e-02 µg/L /an	3e-06
Mann-Kendall modifié		4.6e-08
Régression linéaire	-9.74e-02 µg/L /an	3.1e-07

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	19/05/2015	1.4e-05
Inversion de tendance	12/09/2017	1.3e-03

**Ergebnisse der Tests auf Trends
und Umbrüche:**
durchgeführte Tests, signifikante
Trends und deren Steigung sowie
Zeitpunkte der festgestellten
Umbrüche.

Moyenne des données avant/après rupture

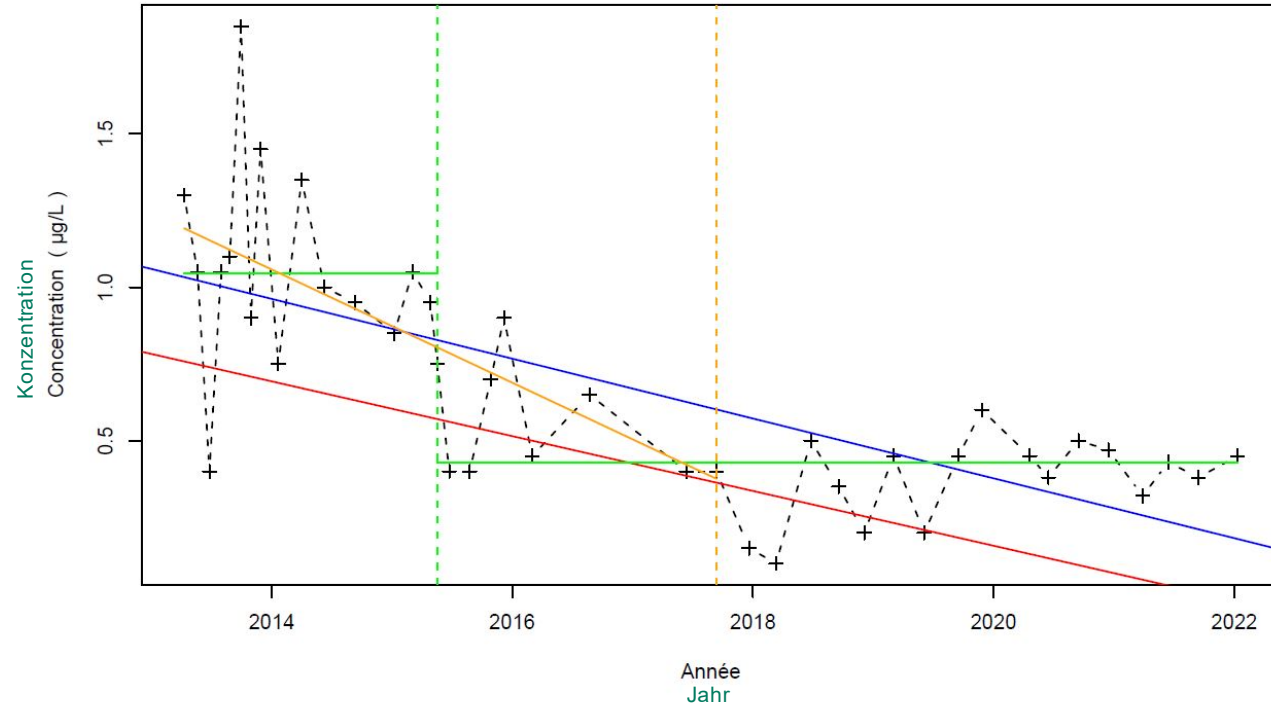
Moyenne	
Avant rupture	1.05 µg/L
Après rupture	0.43 µg/L

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.84e-01 µg/L /an	4.7e-04
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

**Falls signifikante Umbrüche
ermittelt wurden,** Mittelwerte vor
und nach dem Umbruch (im Fall
einer signifikanten Änderung des
Mittelwertes) und Trendverlauf des
Abschnitts vor und nach der
Trendumkehr (im Fall einer
signifikanten Trendumkehr)

P13Q-PCB



Légende

Zeitreihe
 Messwert > LQ
 Messwert <LQ, <LD, Spurenanteile
 Trend (Mann-Kendall)
 Trend (lineare Regressionsgerade)
 Zeitpunkt des Umbruchs im Mittelwert
 Mittelwert vor/ nach dem Umbruch
 Zeitpunkt der Trendumkehr
 Trend vor/ nach dem Umbruch

- - - Série temporelle
 + Valeur > LQ
 o Valeur <LQ, <LD, traces...
 - - - Tendence (Mann-Kendall)
 - - - Tendence (régression linéaire)
 - - - Date de changement de moyenne
 - - - Moyenne avant/après rupture
 - - - Date d'inversion de tendance
 - - - Tendence avant/après rupture

Anzahl der Messwerte: 41
 Länge der Zeitreihe: 3198 Stunden (8,8 Jahre)
 Quantifizierungsrate: 100 %

Autokorrelierte Daten
 (pval <0,05)
 Keine Normalverteilung der Daten
 (pval-Shapiro= 4,3e-03)

Nombre de données : 41
 Longueur de la chronique : 3198 jours (8,8 années)
 Taux de quantification : 100 %

Données autocorrélées
 (pval<0.05)
 Données non normalement distribuées
 (pval-Shapiro= 4.3e-03)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	-8.92e-02 µg/L /an	3e-06
Mann-Kendall modifié		4.6e-08
Régression linéaire	-9.74e-02 µg/L /an	3.1e-07

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	19/05/2015	1.4e-05
Inversion de tendance	12/09/2017	1.3e-03

Moyenne des données avant/après rupture

Moyenne	
Avant rupture	1.05 µg/L
Après rupture	0.43 µg/L

Tendance avant/après inversion

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall avant inversion	-1.84e-01 µg/L /an	4.7e-04
Mann-Kendall après inversion	Pas de tendance significative détectée	NA

Identifizierte Trends bezogen auf die gesamte Länge der Zeitreihe

Test	Steigung	P-Wert
Mann-Kendall	-8,92e-02 µg/L /a	3e-06
Modifizierter Mann-Kendall		4,6e-08
Lineare Regressionsgerade	-9,74e-02 µg/L /a	3,1e-07

Identifizierte Umbrüche

Test	Datum	P-Wert
Änderung des Mittelwertes (Pettitt)	19.05.2015	1,4e-05
Trendumkehr	12.09.2017	1,3e-03

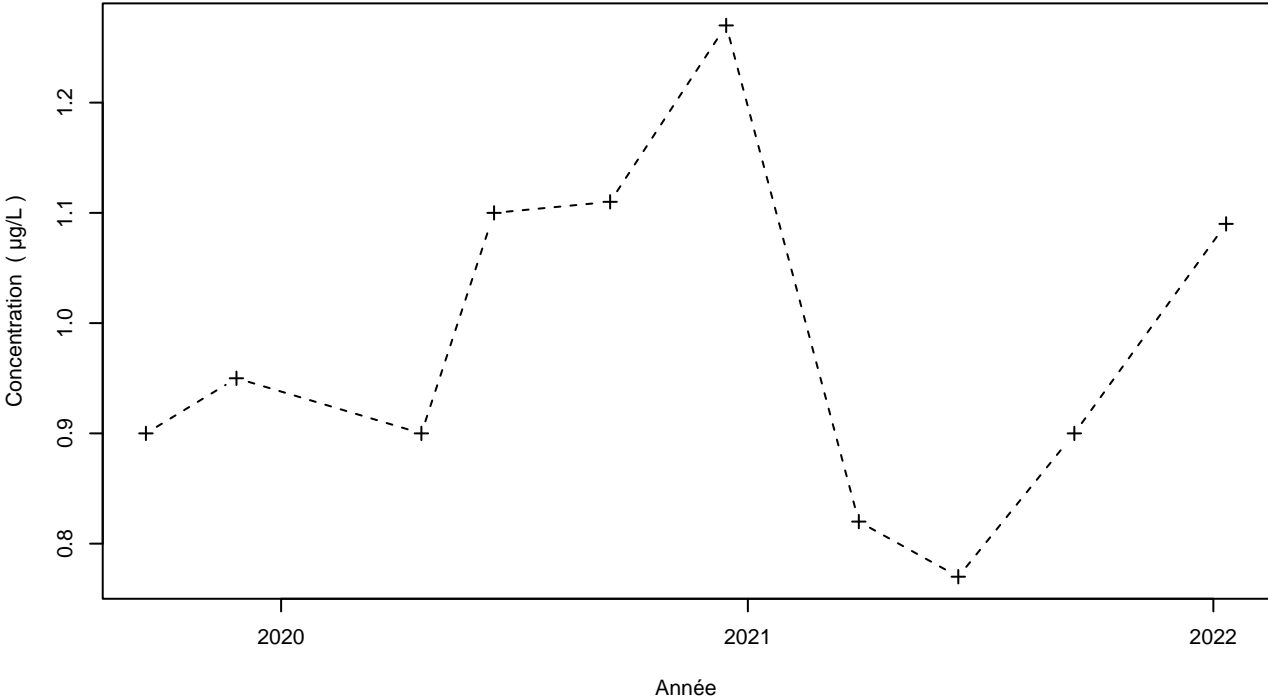
Mittelwert der Daten vor/ nach dem Umbruch

Mittelwert	
Vor dem Umbruch	1,05 µg/L
Nach dem Umbruch	0,43 µg/L

Trend vor/ nach der Trendumkehr

Test	Steigung	P-Wert
Mann-Kendall vor der Trendumkehr	-1,84e-01 µg/L /a	4,7e-04
Mann-Kendall nach der Trendumkehr	Kein signifikanter Trends feststellbar	NA

P12Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	1e+00
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1e+00

Ruptures identifiées

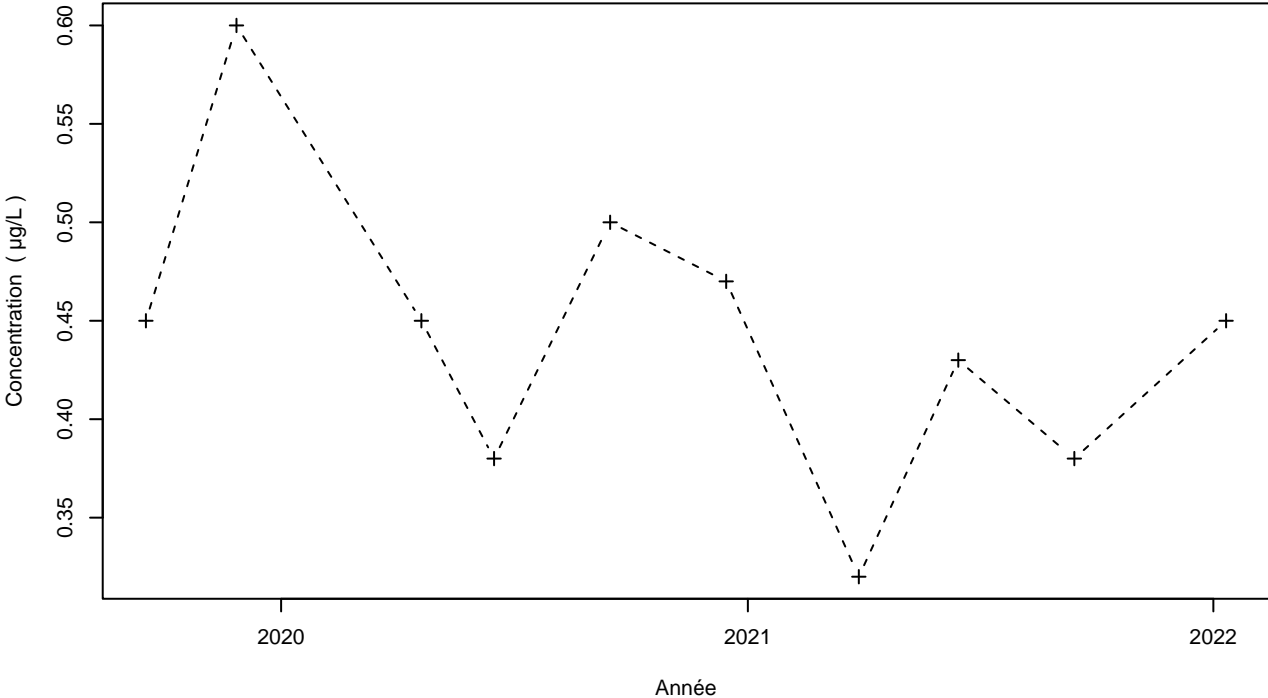
Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 10
Longueur de la chronique : 847 jours (2.3 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.9e-01)

P13Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Aucune tendance significative détectée	2.4e-01
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1.8e-01

Ruptures identifiées

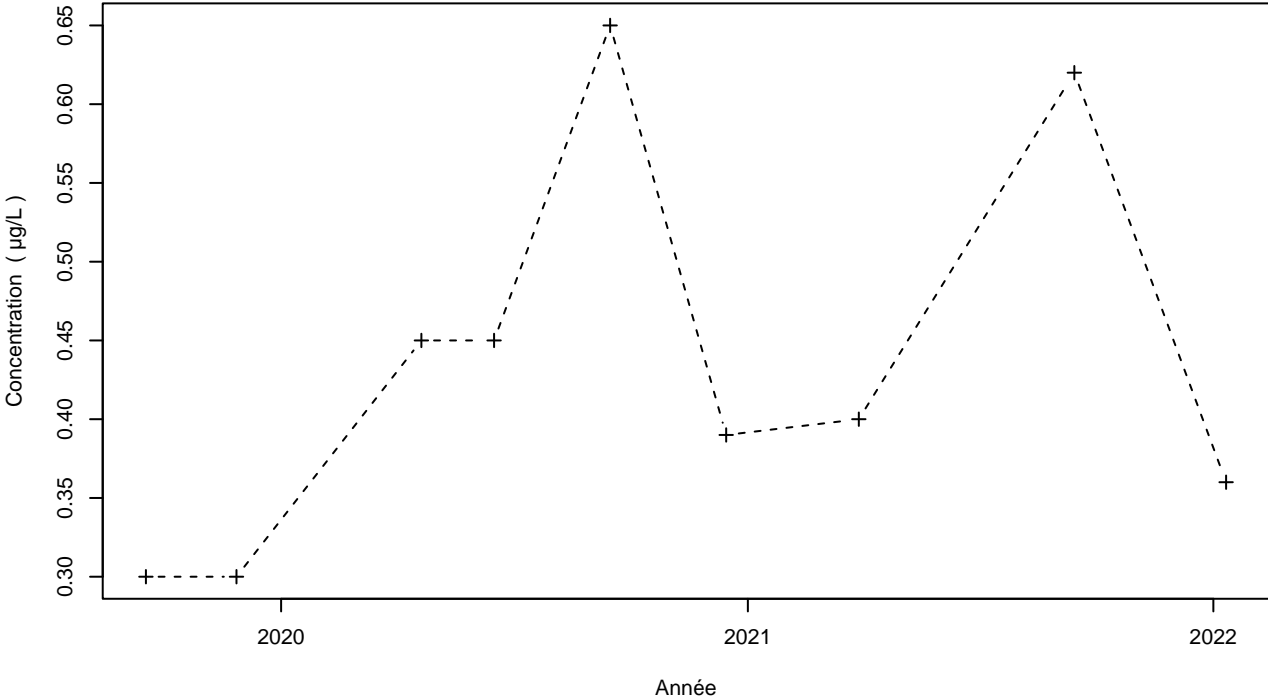
Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Buishand)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 10
Longueur de la chronique : 847 jours (2.3 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 6.3e-01)

P11Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Non effectué (pas assez de données)	
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	3.3e-01

Ruptures identifiées

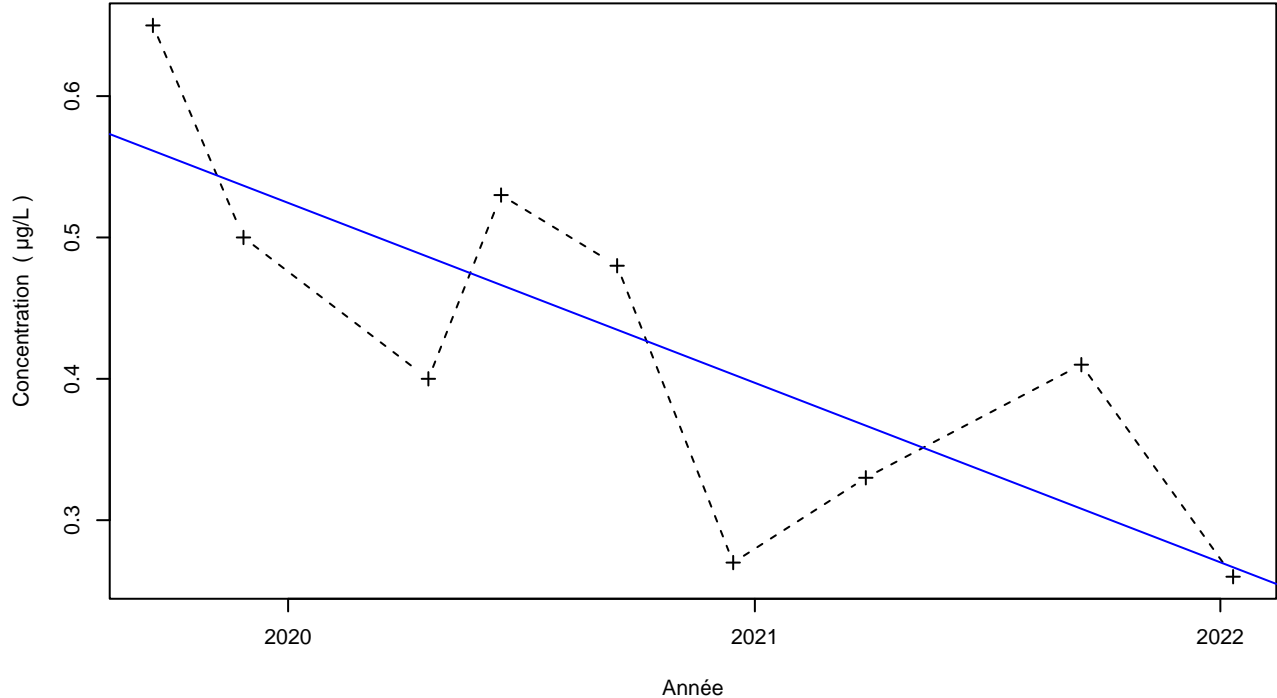
Test	Date	P-value
Changement de moyenne	Non effectué (pas assez de données)	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 9
Longueur de la chronique : 847 jours (2.3 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 1.6e-01)

P10Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...
- Tendance (régression linéaire)

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Non effectué (pas assez de données)	
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	-1.27e-01 µg/L /an	1.4e-02

Ruptures identifiées

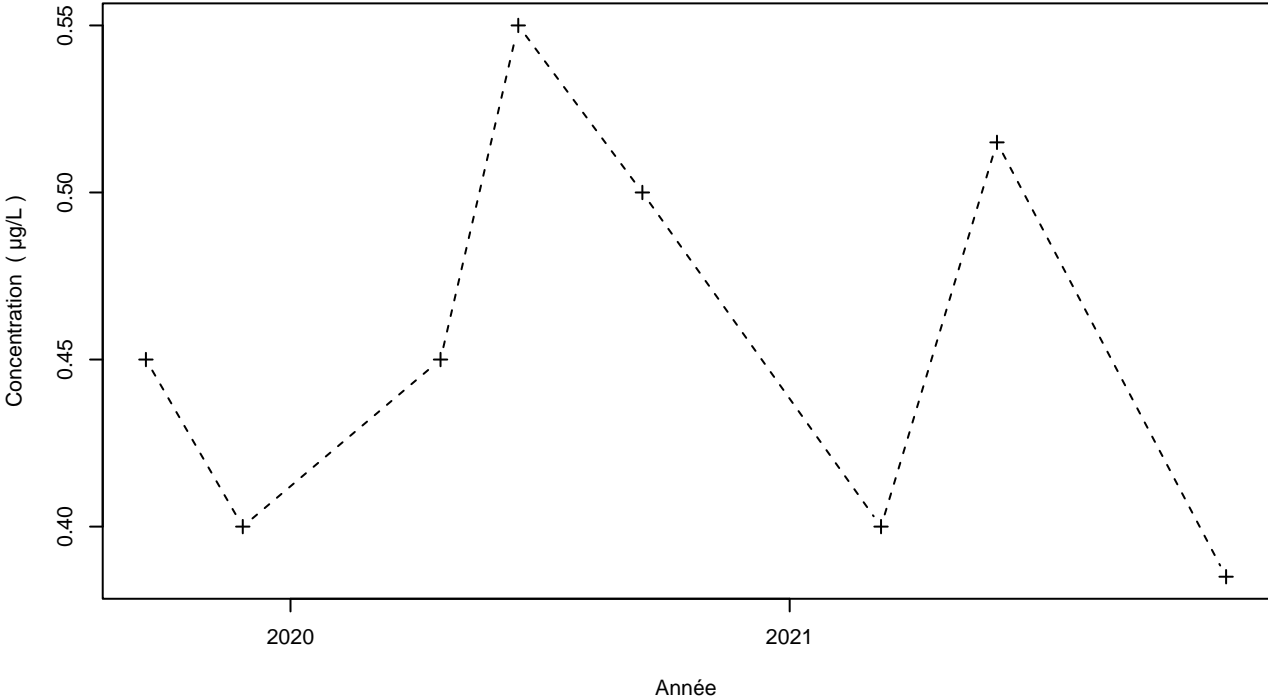
Test	Date	P-value
Changement de moyenne	Non effectué (pas assez de données)	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 9
Longueur de la chronique : 847 jours (2.3 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 8e-01)

P14Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Non effectué (pas assez de données)	
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	7.8e-01

Ruptures identifiées

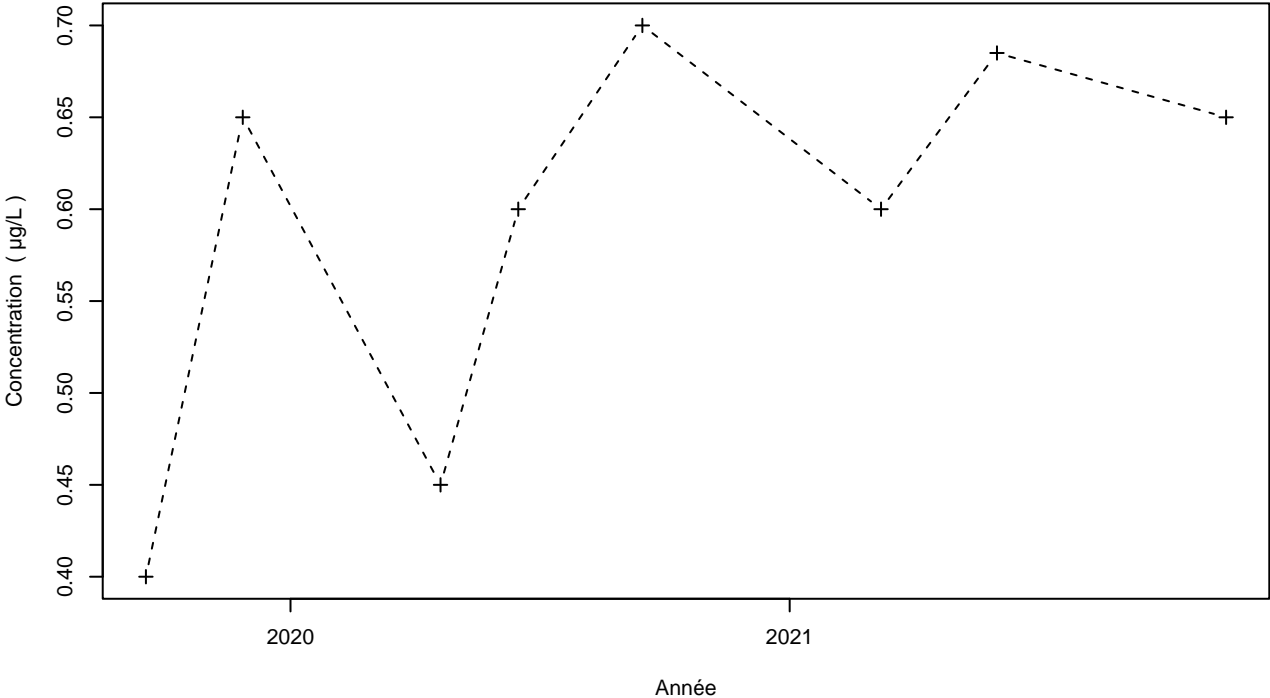
Test	Date	P-value
Changement de moyenne	Non effectué (pas assez de données)	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 8
Longueur de la chronique : 792 jours (2.2 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.4e-01)

P15Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Non effectué (pas assez de données)	
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	1.3e-01

Ruptures identifiées

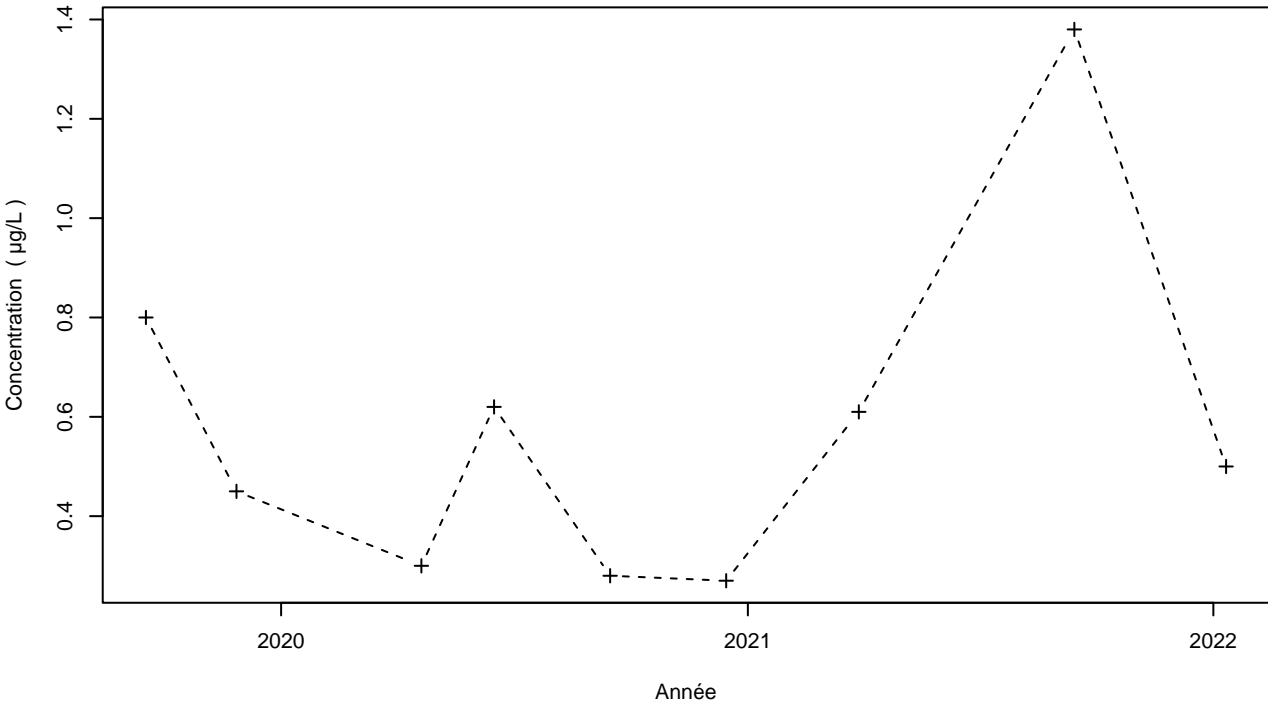
Test	Date	P-value
Changement de moyenne	Non effectué (pas assez de données)	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 8
Longueur de la chronique : 792 jours (2.2 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données normalement distribuées
(pval-Shapiro= 9.4e-02)

P9Q-PCB



Légende

- - - Série temporelle
- + Valeur > LQ
- o Valeur <LQ, <LD, traces...

Tendances identifiées sur la longueur totale de la chronique

Test	Pente	P-value
Mann-Kendall	Non effectué (pas assez de données)	
Mann-Kendall modifié	Non effectué (pas assez de données)	
Régression linéaire	Aucune tendance significative détectée	4.6e-01

Ruptures identifiées

Test	Date	P-value
Changement de moyenne (Pettitt)	Pas de rupture significative détectée	
Inversion de tendance	Test non effectué (pas assez de données)	

Nombre de données : 9
Longueur de la chronique : 847 jours (2.3 années)
Taux de quantification : 100 %

Données non autocorrélées

Données non normalement distribuées
(pval-Shapiro= 4.3e-02)

**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

T: +49 6102 206-0
F: +49 6102 771 904 0

www.erm.com