

→ Fassung datenschutzrechtlich
aufbereitet.



**Umweltwissenschaftliche
Standortbewertungen**

Dr. Heike Voelker

ö.b.u.v. Sachverständige für

Bodenschutz - Altlasten,

Sachgebiete 2 + 5 - IHK Stuttgart

Sachverständige nach § 18 BBodSchG

Sachgebiete 2 + 5

Umweltgutachterin

Sudetenstraße 5

71083 Herrenberg

Telefon 07032 / 20188-96

Email: hvoelker@hvoelker.de

Gutachten

Sanierungsplan Bodenaushub

zum Standort

IVECO Weisweil

Heuweg 11

76367 Weisweil

Auftraggeber: Magirus GmbH

Verfasserin: Dr. Heike Voelker

Datum: 18. Juni 2020



INHALTSVERZEICHNIS

1	<u>VERANLASSUNG</u>	1
1.1	AUFTRAGGEBER	2
2	<u>AUSGANGSLAGE</u>	2
2.1	STANDORT.....	2
2.1.1	LAGE.....	2
2.1.2	GEOLOGIE	3
2.1.2.1	Regionale Geologie.....	3
2.1.2.2	Geologie am Standort	5
2.1.2.3	Hydrogeologie	6
2.1.3	TOPOGRAFIE UND OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT	9
2.1.4	BESTEHENDE UND PLANUNGSRECHTLICH ZULÄSSIGE NUTZUNG.....	10
2.2	GEFAHRENLAGE	11
2.2.1	SCHADSTOFFINVENTAR	11
2.2.1.1	PFAS – Per- und Polyfluoriert Chemikalien	12
2.2.1.1.1	Umweltrelevanz und Umweltverhalten.....	13
2.2.1.1.2	Transformationsprozesse für PFAS	15
2.2.1.1.3	Bewertungsrichtlinien	17
2.2.1.2	Menge	19
2.2.1.3	Verteilung.....	21
2.2.2	BETROFFENE WIRKUNGSPFADE	29
2.2.2.1	Boden-Pflanze	29
2.2.2.2	Boden – Luft	29
2.2.2.3	Boden- Mensch	29
2.2.2.4	Boden-Grundwasser.....	29
2.2.3	BETROFFENE SCHUTZGÜTER.....	29
2.2.3.1	Oberflächengewässer.....	29
2.2.3.2	Wasserschutzgebiete	30
2.2.3.3	Grundwasser	30
2.2.3.4	Mensch.....	32
2.2.3.5	Boden – Pflanze.....	32
2.3	SANIERUNGSZIELE.....	33
2.3.1	SANIERUNGSZIEL UNGESÄTTIGTE BODENZONE.....	33
2.3.2	SANIERUNGSZIEL GRUNDWASSER	33
2.4	GETROFFENE BEHÖRDLICHE ENTSCHEIDUNGEN.....	35
3	<u>AUSWEISUNG DER HORIZONTALEN AUSDEHNUNG DER HOT-SPOT-AREALE</u>	36
3.1.1	FLURSTÜCK 4290 - TESTFELD	39
3.1.1.1	Hochrechnung der Kubatur.....	40
3.1.2	GEMEINDE-FLURSTÜCK 4262/7	42



3.1.3	FAZIT	48
4	<u>BODENMANAGEMENT NACH KRWG</u>	49
4.1	VERWERTUNG	49
4.1.1	BADEN-WÜRTTEMBERG.....	51
4.1.2	NORDRHEIN-WESTFALEN	53
4.1.3	BAYERN.....	53
4.1.4	FAZIT	54
4.2	DEPONIERUNG.....	55
4.2.1	BADEN-WÜRTTEMBERG.....	57
4.2.2	NORDRHEIN-WESTFALEN	59
4.2.3	BAYERN.....	59
4.2.4	HESSEN	60
4.2.5	ANGEFRAGTE DEPONIEBETREIBER	61
5	<u>SANIERUNGSVARIANTEN UNGESÄTTIGTE BODENZONE</u>	65
5.1	AUSKOFFERUNG.....	65
5.1.1	ARBEITSSICHERHEIT	65
5.1.2	GRUNDLEGENDE CHARAKTERISIERUNG DES ABFALLS ERDAUSHUB NACH § 8 (3) DEP.V	67
5.1.3	SZENARIO FLURSTÜCK 4262/7	68
5.1.3.1	Verfahrensablauf.....	68
5.1.3.2	Umweltauswirkungen	71
5.1.4	SZENARIO FLURSTÜCK 4290.....	72
5.1.4.1	Verfahrensablauf.....	72
5.1.4.2	Umweltauswirkungen	75
5.1.5	FAZIT.....	76
5.2	PFAS-ENTFRACHTUNG DER UNGESÄTTIGTEN BODENZONE DURCH EIN FORCIERTES IN SITU BODENWASCHVERFAHREN	77
5.3	OBERFLÄCHENVERSIEGELUNG	79
5.4	KOSTENSCHÄTZUNG FÜR AUSKOFFERUNG DER HOT-SPOT-AREALE	79
6	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	81



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ausschnitt aus der topografischen Karte	3
Abbildung 2: Ausschnitt aus der Karte zu den geologischen Einheiten (Quelle: LUBW UDO)	4
Abbildung 3: Schematisiertes Säulenprofil für den zentralen Bereich des Markgräfler Landes. (Quelle: Hydrogeologischer Bau und hydraulische Eigenschaften - INTERREG III A-Projekt MoNit "Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben" LUBW Juli 2006)	5
Abbildung 4: Aufbau des geologischen Untergrundes am Standort – Schichtenverzeichnis GWM 3 bzw. GWM 3b (Quelle: Ingenieurbüro für Geotechnik Henke und Partner GmbH)	6
Abbildung 5: Kartenausschnitt zur Durchlässigkeitsverteilung Oberer Grundwasserleiter bei Weisweil (Quelle: Kartenviewer LGRB)	7
Abbildung 6: Grundwassergleichen der Stichtagsmessung am 06.12.2016 bei einem mittleren Grundwasserabstand von 167,89 m NN (GWM 3) (Datenquelle Ingenieurbüro für Geotechnik Henke u. Partner GmbH)	8
Abbildung 7: Geländemorphologie im Bereich des Testfeldes auf dem Flurstück 4290 und dem Flurstück 4262/7	9
Abbildung 8: Während der Nutzungsphase der IVECO Magirus Brandschutztechnik GmbH unversiegelte Flächen am Standort Heuweg 11 in Weisweil	10
Abbildung 9: Ausschnitt aus der Raumnutzungskarte Weisweil aus dem Regionalplan Südlicher Oberrhein (Stand Januar 2019) und dem Flächennutzungsplan	11
Abbildung 10: Beispiele per- und polyfluorierter Verbindungen und ihre chemische Struktur (Quelle UBA UMID Heft 01/2013 2013)	13
Abbildung 11: Transformationsprozesse des H4PFOS (Quelle B. Weiner et.al. (2013): Organic fluorine content in aqueous film forming foams (AFFFs) and biodegradation of the foam component 6:2 fluorotelomermercaptoalkylamido sulfonate (6:2 FTSAS) Environmental Science Chemistry 10(6):486 – 493	16
Abbildung 12: Anteile der Precursor, Nicht-Precursor und mit kommerziell verfügbarer Analytik quantifizierbare PFAS an der PFAS-Gesamtmenge (Quelle: Modellstudie PFC zur Untersuchung des Eintrags von PFC aus belasteten Böden in das Grundwasser des Land Baden-Württemberg https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/Boden_Grundwasser.aspx)	17
Abbildung 13: Erfasste Abstrombreite der drei Immissionspumpversuche im Sommer 2018	20



Abbildung 14: Ableitung der PFAS-Schwerpunkte im Untergrund anhand der Quotienten-Summen ermittelt über Einbeziehung der GFS und GOW-Beurteilungswerte	22
Abbildung 15: PFOS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes.....	23
Abbildung 16: H4PFOS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes.....	23
Abbildung 17: PFHxS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes.....	24
Abbildung 18: Lage der Bohrsondierungen, die für die vertikale Abgrenzung der PFAS auf dem Flurstück 4290 herangezogen werden	25
Abbildung 19: Quotienten-Summen im Eluat der Bohrsondierungen mit Endteufen zwischen 4 bis 6 m nach der Additionsregel PFAS-Q (2018) und GFS+GOW-PFAS-Q 2018	25
Abbildung 20: Lage der Ansatzpunkte für die Kernbohrungen KB1/17 – KB3/17 bis 6 m u. GOK.....	26
Abbildung 21: Verteilung der Quotienten-Summe über die Tiefe im Eluat von Bodenproben der Kernbohrungen KB1/17, KB2/17 und KB3/17.....	26
Abbildung 22: Q-PFAS (2018) im Grundwasser im Umfeld des Betriebsstandortes der IVECO beprobt im Jahr 2016 (GWM 16 und GWM 17), 2017 und 2018 (E1, E2, E3, GWM 9) – Stichtagsmessung 21.08.2018	27
Abbildung 23: Abgrenzung der vom ehemaligen IVECO Betriebsgelände abgehenden PFAS-Schadstofffahne – Grundwassergleichen der Stichtagsmessung vom 31.01.2017 und aus dem Grundwasserkataster des LRA Emmendingen bei Mittlerem Hochwasser.....	28
Abbildung 24: Wasserschutzgebiete im Umfeld von Weisweil (Quelle LUBW UDO).....	30
Abbildung 25: Grundwassermessstellen – Gartenbrunnen (GB) oder Wasserwasser-Wärmepumpen (WWWP) – bzw. Erdwärmesonden (EWS) im Abstrom der Flurstücke 4290 und 4262/7	32
Abbildung 26: Ausdehnung der Hot-Spot-Areale abgegrenzt anhand des Merkmals GFS+GOW PFC-Q (2018) ≥ 10	38
Abbildung 27: Ausweisung der Hot-Spot-Areale in der ungesättigten Bodenzone (Tragschicht, Auenlehm, Löß) bis Oberkante Rheinkiesablagerungen anhand der Quotienten-Summe GFS+GOW PFC-Q (2018).....	39
Abbildung 28: Aushubtiefe bis zu den obersten Rheinkiesablagerungen im Bereich des Testfeldes.....	39
Abbildung 29: Ermittlung des Aushubvolumens [m ³] auf dem Testfeldareal (Flurstück 4290).....	40



Abbildung 30: Häufigkeitsverteilung der PFAS-Gehalte in in-situ-Bodenproben als PFAS-Summenwert nach der Bayern-Liste	41
Abbildung 31: Räumliche Verteilung der klassifizierten PFAS-Gehalte nach der Bayern-Liste im Hot-Spotbereich des Testfeldes	42
Abbildung 32: Ausweisung der Hot-Spot-Areale auf dem Flurstück 4262/7 in der ungesättigten Bodenzone (Tragschicht, Auenlehm, Löß) bis Oberkante Rheinkiesablagerungen anhand der Quotienten-Summe GFS+GOW PFC-Q (2018).....	43
Abbildung 33: Aushubtiefe bis zu den obersten Rheinkiesablagerungen im Hot-Spot-Areal auf dem Gemeinde-Flurstück 4262	44
Abbildung 34: Ermittlung des Aushubvolumens [m ³] auf dem Gemeinde-Flurstück 4262/7	45
Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der PFAS-Gehalte in in-situ-Bodenproben im Hot-Spot Areal der Gemeindefläche (4262/7) als PFAS-Summenwert nach der Bayern-Liste	47
Abbildung 36: Räumliche Verteilung der klassifizierten PFAS-Gehalte nach der Bayern-Liste im Hot-Spotbereich auf dem Gemeindefläche (Flurstück 4262/7) ...	48
Abbildung 37: Bombardierte Bereiche während des 2. Weltkriegs markiert mit Kreuzschraffur (Quelle: Luftbildauswertung auf Kampfmittelbelastung R. Hinkelbein Luftbildauswertung vom 11.07.2018).....	67
Abbildung 38: Lage der Haufwerke zur Zwischenlagerung während des Hot-Spot Aushubes auf dem Flurstück 4262/7	69
Abbildung 39: Lage der Haufwerke zur Zwischenlagerung während des Hot-Spot Aushubes auf dem Flurstück 4290	73
Abbildung 40: Konzept zur PFAS-in-situ Auswaschung mittels eines Biopolymers (Quelle Dechema 26.11.2019 Vortrag Sensatec, GEOlogik, TU Berlin)	78



TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) nach den Erlässen des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 17.06.2015 und 21.08.2018	18
Tabelle 2: Berechnung der Netto-Aushubfläche und Netto-Aushubvolumens für das Areal Testfeld auf dem Flurstück 4290	40
Tabelle 3: Berechnung der Netto-Aushubfläche und Netto-Aushubvolumens auf dem Gemeinde Flurstück 4262/7	46
Tabelle 4: Zuordnungswerte für die Beurteilung des Eluats (In Anlehnung an die LAGA M20) (aus: Leitlinie zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ vom April 2017)	54
Tabelle 5: Übersicht zum Ablauf der Aushubmaßnahme im Hotspot-Areal auf dem Flurstück 4262/7	71
Tabelle 6: Übersicht zum Ablauf der Aushubmaßnahme im Hotspot-Areal auf dem Flurstück 4290.....	75
Tabelle 7: Kostenschätzung der Bodensanierungsmaßnahmen auf dem Flurstück 4290 und 4262/7	80



1 Veranlassung

Auf dem ehemaligen Betriebsstandort der IVECO Magirus Brandschutztechnik GmbH Heuweg 11 in 76367 Weisweil liegen schädliche Bodenveränderungen durch in den Untergrund gelangte Feuerlöschschäume vor. Die darin enthaltenen PFC-Verbindungen haben zu einer schädlichen Grundwasserveränderung am Standort geführt. Das mit PFC beaufschlagte Grundwasser führt zu einer schädlichen Grundwasserveränderung im Grundwasserabstrom des Standortes.

Seit Mai 2014 bis Mai 2018 hat das Ingenieurbüro für Geotechnik Henke und Partner GmbH (HuP) den Standort gutachterlich betreut: eine Historische Recherche ausgeführt, in mehreren Erkundungsschritten den Untergrund mittels Rammkernsondierungen erkundet und das Grundwasser untersucht. Schließlich wird am 30.04.2018 mit dem 12. Gutachten der Sanierungsplan zur hydraulischen Grundwassersanierung /-sicherung von PFC-Verunreinigungen auf dem ehemaligen IVECO-Gelände vorgelegt.

Die Bewertungskommission am 17.05.2018 im LRA Emmendingen kommt zu dem Ergebnis, dass am Standort Anbetracht der auf Beweisniveau 3 gesicherten schädlichen Boden- und Grundwasserveränderungen der Handlungsbedarf einer Sanierungsuntersuchung besteht.

Das Gutachten Sanierungsuntersuchungen vom 16.10.2018 von Dr. Heike Voelker stellt nach einer vertieften Auswertung aller bis zum August 2018 vorliegenden Untersuchungsbefunde zum Standort die Ergebnisse der drei Immissionspumpversuche vor und leitet daraus anhand von Grundwasserfließmodellen das Sanierungskonzept für die hydraulische Sicherung des Grundwasserabstroms an der nördlichen Grundstücksgrenze (Immissionsbegrenzung) ab.

Entsprechend der Beschlüsse der Bewertungskommission am 13.12.2018 ist vorgesehen, in einem ersten Schritt einen Sanierungsplan für die hydraulische Sicherung des PFAS-Grundwasserschadens zu erstellen. Der Sanierungsplan für die hydraulische Sicherung des Grundwasserabstroms an der nördlichen Grundstücksgrenze (Immissionsbegrenzung) wird am 28.04.2019 vorgelegt. Dieser Sanierungsplan ist die Grundlage für die Umsetzung des ersten Schrittes „Hydraulische Sicherung des Standortes“.

Der Entscheid des LRA Emmendingen vom 31.10.2019 sieht unter Punkt 1.4 die Anordnung zur Vorlage des Sanierungsplanes für Erdaushubmaßnahmen vor.

Die Magirus GmbH beauftragt Frau Dr. Voelker mit der Erstellung des Gutachtens „Sanierungsplan Bodenaushub“ zum Standort Heuweg 11 in Weisweil.



1.1 Auftraggeber

Auftraggeber: Magirus GmbH

Graf-Arco Str. 30

89079 Ulm

Auftragnehmer: Umweltwissenschaftliche Standortbewertungen, Dr. Heike Voelker

Sudetenstr. 5

71083 Herrenberg

Auftragsgegenstand: Standort IVECO Heuweg 11 in 76367 Weisweil

Gutachten: „Sanierungsplan Bodenaushub“

2 Ausgangslage

2.1 Standort

Der Alt-Standort „Ehemaliges IVECO-Gelände“ in Weisweil gliedert sich heute in 2 Teilflächen:

	<i>Produktionsstandort</i>	<i>Parkplatzfläche</i>
<i>Landkreis</i>	Emmendingen	
<i>Gemeinde</i>	Weisweil	
<i>Flurstück</i>	4290	4262/7
<i>Postalische Adresse</i>	Heuweg 11 76367 Weisweil	
<i>Rechtswert</i>	3401982	3402053
<i>Hochwert</i>	5341167	5341194
<i>TK-Nr.:</i>	7812	7812
<i>Fläche</i>	17.681 m ²	9.957 m ²
<i>Eigentümer</i>	Magirus	Gemeinde Weisweil

2.1.1 Lage

Der untersuchte Altstandort „Ehemaliges IVECO Gelände“ Heuweg 11 liegt in der Gemeinde Weisweil im Landkreis Emmendingen.

Weisweil liegt nördlich vom Kaiserstuhl in der Großlandschaft Mittleres Oberrhein-Tiefland innerhalb der Offenburger Rheinebene in der Übergangszone von der Rheinaue zu der östlich begleitenden Niederterrassenebene. Westlich von Weisweil ist die Landschaft

geprägt von den Rheinauen mit seinen zahlreichen Armen des Altrheines. Östlich dehnt sich die Niederterrassenebene aus.

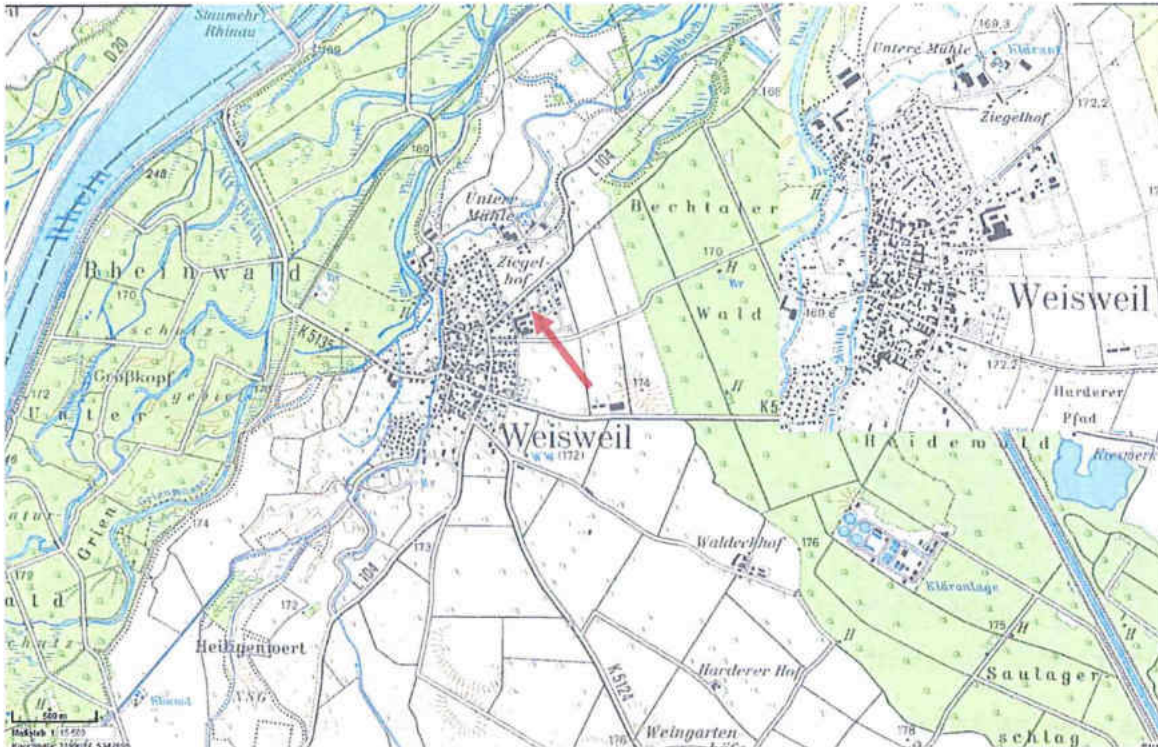


Abbildung 1: Ausschnitt aus der topografischen Karte

Der heutige Altstandort „Ehemaliges IVECO Gelände“ befindet sich am einst östlichen Ortsrand von Weisweil. Seit 1987 ist das Gewerbegebiet nach Osten um das Areal „Innerer Heuweg“¹ erweitert worden. Westlich und nördlich des Altstandortes besteht eine Wohnbebauung. Südlich des Standortes liegen abgegrenzt durch den Heuweg landwirtschaftlich genutzte Felder.

Die Entfernung zum Rhein beträgt 3 km in westliche Richtung. In 2,1 km nordwestlicher Richtung liegt das Stauwehr Rheinau.

Der nächstliegende Vorfluter ist 450 m westlich bzw. 600 m nördlich vom Heuweg 11 der Mühlbach.

2.1.2 Geologie

2.1.2.1 Regionale Geologie

Das Mittlere Oberrhein-Tiefland innerhalb der Offenburger Rheinebene war im Quartär überwiegend ein Senkungsgebiet und ist durch mächtige quartäre Kies- und Sandablagerungen gekennzeichnet.

¹ Rechtskräftiger Baugebungsplan datiert vom 15.04.1987

Am Standort Weisweil steht oberflächennah Sandlöss an.

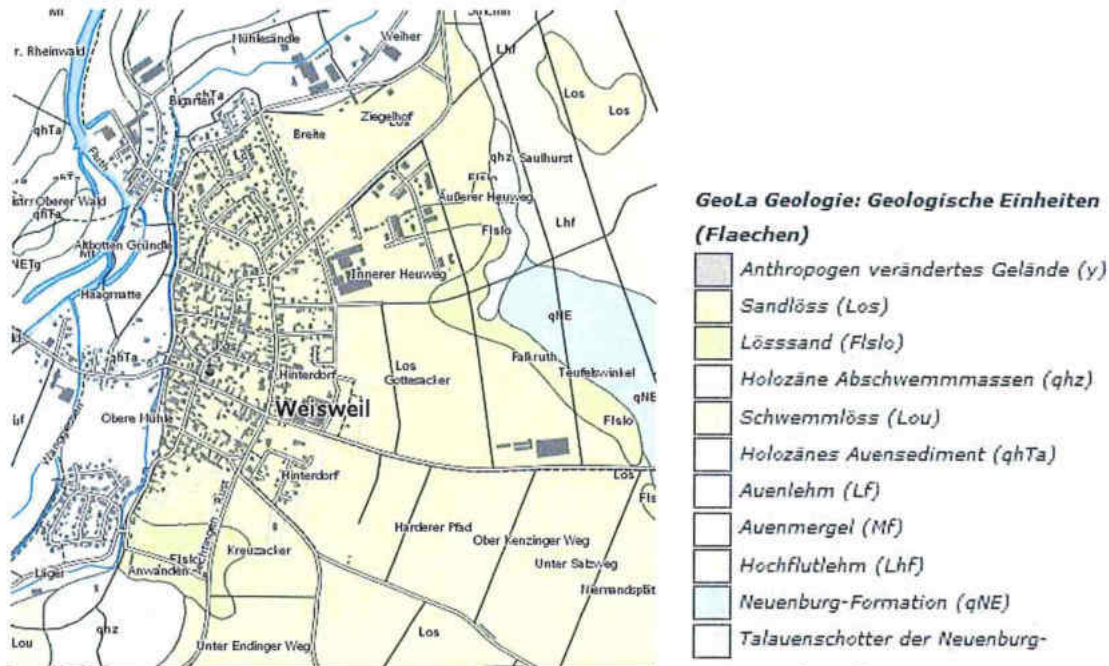


Abbildung 2: Ausschnitt aus der Karte zu den geologischen Einheiten (Quelle: LUBW UDO)

Der geologische Aufbau des Untergrundes am Standort Weisweil wird dem Ausschnitt aus dem Hydrogeologischen Längsschnitt zum Hydrogeologischen Bau des Oberrheingrabens zwischen Weil am Rhein und Rastatt vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau - LGRB vom Mai 2006, der im Rahmen der Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben – MONIT veröffentlicht wurde, entnommen.

Unterhalb der Deckschichten steht die bis zu 40 m mächtige Neuenburg-Formation (Oberer Grundwasserleiter OGWL) an, die von dem Unteren Grundwasserleiter (UGWL) – der Breisgau-Formation unterlagert wird, dessen Basis etwa 130 m u. GOK zu lokalisieren ist.

Die für die hier bestehende Fragestellung relevante Neuenburg-Formation besteht aus den Oberen Neuenburg Schichten sowie den Unteren Neuenburg Schichten. Die Oberen Neuenburg Schichten werden wiederum unterteilt in die Obere Groblage, einer sanddominierten Abfolge und die Untere Groblage. Die Abbildung 3 zeigt beispielhaft das schematische Säulenprofil für das südlich liegende Markgräfler Land.

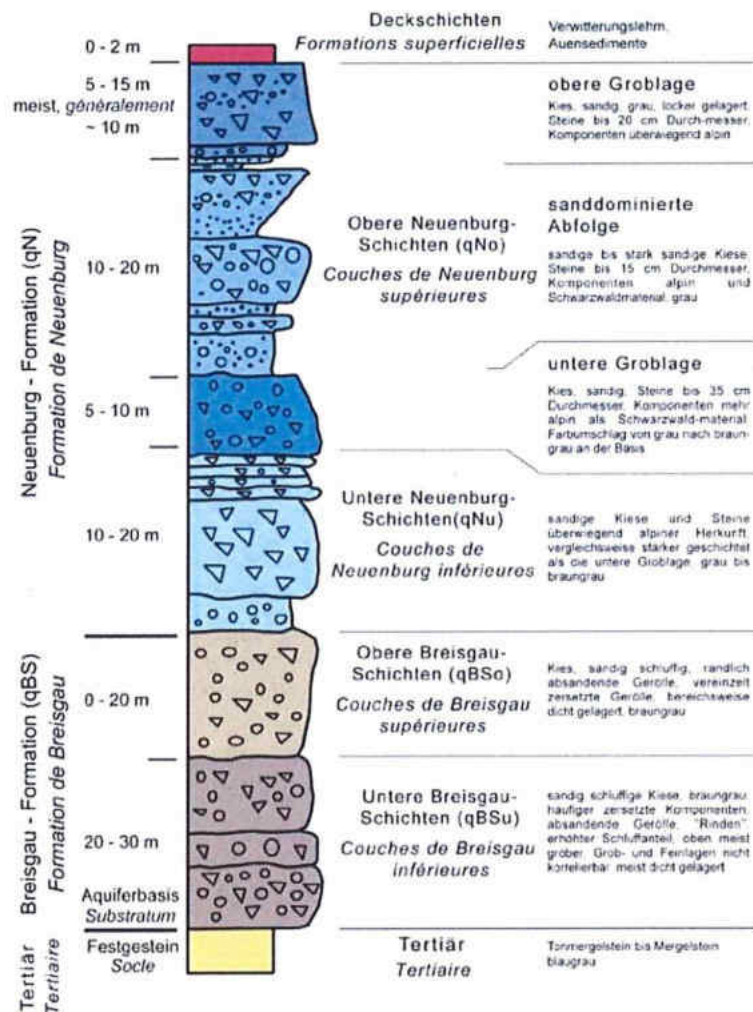


Abbildung 3: Schematisiertes Säulenprofil für den zentralen Bereich des Markgräfler Landes. (Quelle: Hydrogeologischer Bau und hydraulische Eigenschaften - INTERREG III A-Projekt MoNit "Modellierung der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben" LUBW Juli 2006)

Die Schotter der Neuenburg Formation bestehen aus grauen bis rötlichgrauen Kiesen mit wechselnden Sand- und geringen Schluffanteilen.

2.1.2.2 Geologie am Standort

Am Standort stehen unter der in ihrer Mächtigkeit variierenden Auffüllung Auenlehme aus tonigen Schluffen bis ca. 1,0 bis 1,5 m u GOK an, die von Lößablagerungen bis 2,5 m u. GOK unterlagert werden. Ihnen folgen die Rheinablagerungen der Oberen Neuenburger Schichten. Dabei handelt es sich um sandige bis stark sandige Kiese, d.h. mit variablen Sand-Kiesanteilen.

Exemplarisch wird das Profil der GWM 3 bzw. 3b vorgestellt:



2 Ausgangslage

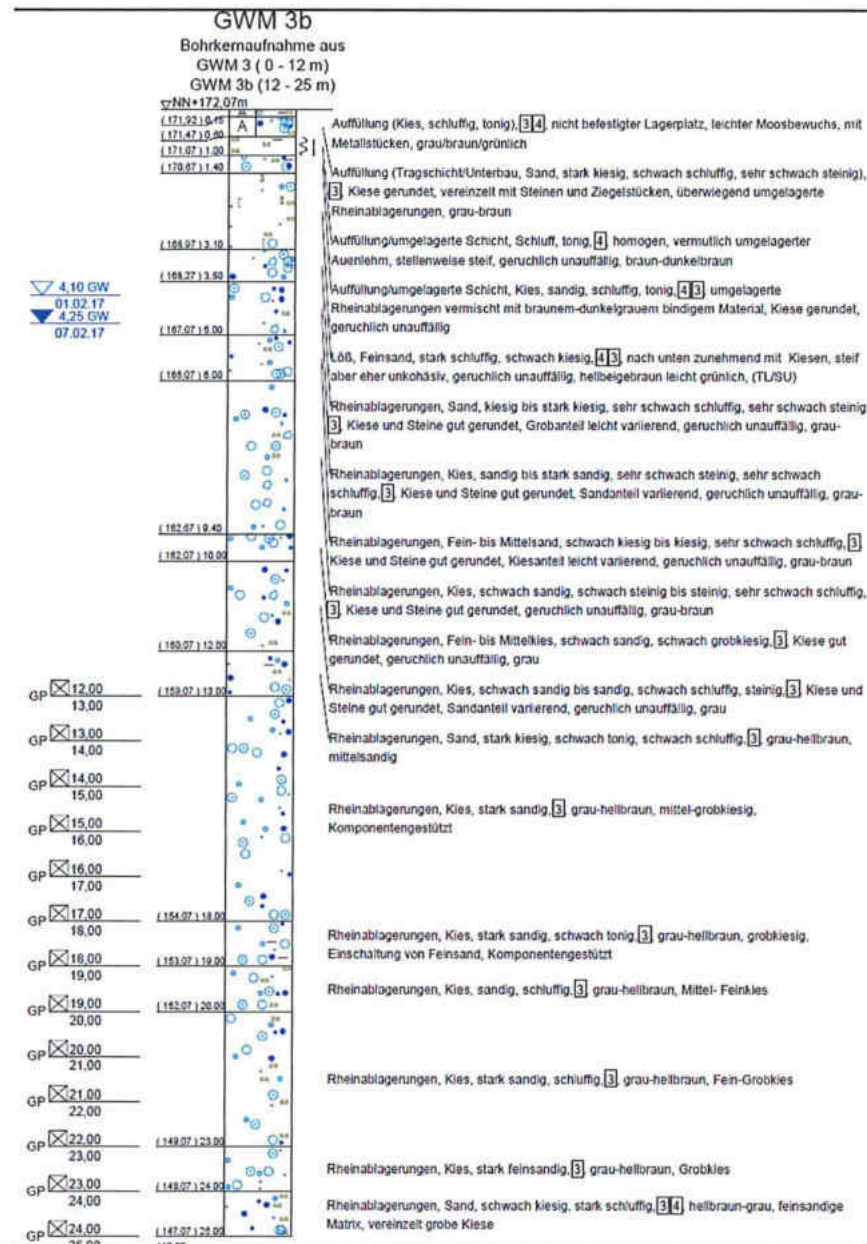


Abbildung 4: Aufbau des geologischen Untergrundes am Standort – Schichtenverzeichnis GWM 3 bzw. GWM 3b (Quelle: Ingenieurbüro für Geotechnik Henke und Partner GmbH)

2.1.2.3 Hydrogeologie

Die hydrogeologischen Standortverhältnisse werden anhand der auf der Homepage von der Landesanstalt für Geologie und Rohstoff (LGRB) zur Verfügung stehenden Karten (Kartenvierer) zusammengestellt.

Am Standort Gewerbegebiet „Innerer Heuweg“ stehen unter einer Deckschicht von Löß bzw. Flugsandsedimenten pleistozäne Kiese und Sande der Niederterrasse an.

Sanierungsplan Bodenaushub zum Standort
Heuweg 11 in 76367 Weisweil

Die Deckschichten weisen eine geringe bis gute Porendurchlässigkeit auf. Die pleistozänen Kiese und Sande der Niederterrasse sind der Neuenburg Formation zuzuordnen. Die Ergiebigkeit der Lockergesteine der Neuenburger Formation ist als sehr hoch einzustufen. Das gilt auch für die mittlere horizontale Gebirgsdurchlässigkeit.

Der Durchlässigkeitsbeiwert im Oberen Grundwasserleiter wird in der Größenordnung von $2 - 5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ angegeben.

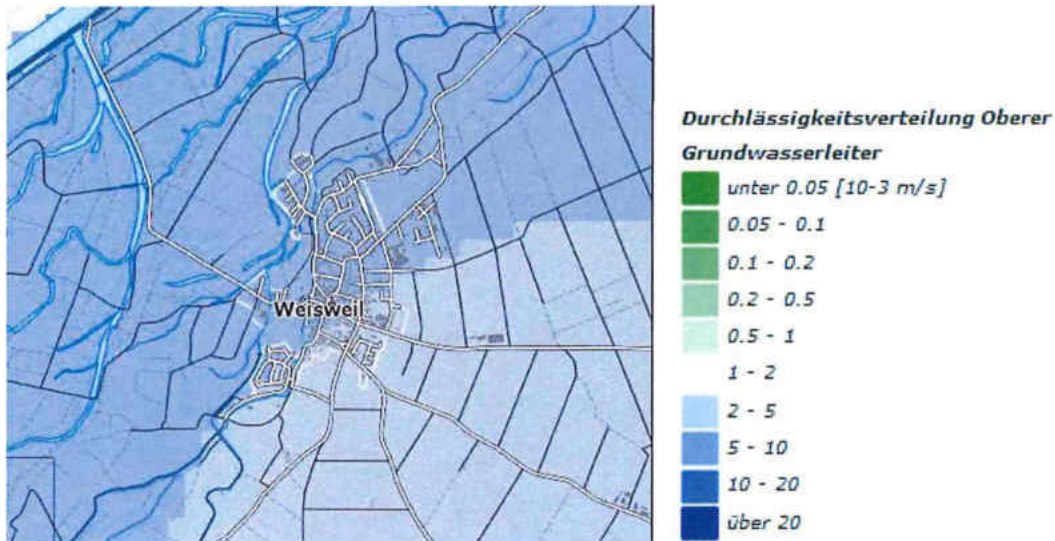


Abbildung 5: Kartenausschnitt zur Durchlässigkeitsverteilung Oberer Grundwasserleiter bei Weisweil (Quelle: Kartenviewer LGRB)

Die im Zuge der Immissionspumpversuche im August 2018 ermittelten räumlichen Transmissivitäten variieren zwischen $0,023 \text{ m}^2/\text{s}$ und $0,09 \text{ m}^2/\text{s}$. Die Streuung der Transmissivitätswerte lässt auf Rinnenstrukturen mit variierenden Korngrößenverteilungen im Aquifer schließen.

Die Auswertung der Daten aus dem Grundwasserkataster des LKR Emmendingen liefert folgende grundwasserhydraulische Daten zum Standort:

Grundwasserhöchststand	169,4 m NN
Mittlerer Grundwasserhöchststand	168,33 m NN
Niedrigster Grundwasserstand	166,8 m NN
Grundwasserschwankung	2,6 m

Bei einer Geländehöhe von ca. 171,6 m NN an der nördlichen Grundstücksgrenze variiert der Flurabstand zwischen 2,2 bis 4,8 m. Bei mittleren Grundwasserhöchstständen von 168,33 m NN beträgt der Flurabstand 3,27 m.

Die Grundwasserfließrichtung am Standort ist grundsätzlich nach Norden ausgerichtet. Unter Niedrigwasserstandbedingungen dreht die Fließrichtung leicht nach NordNordWest.

Für den Standort selbst liegen zahlreiche Stichtagsmessungen vor.

Die Abbildung 6 zeigt die Grundwassergleichen wie sie sich bei den am häufigsten gemessenen Flurabständen von ca. 167,9 m NN an der nördlichen Grundstücksgrenze einstellen.

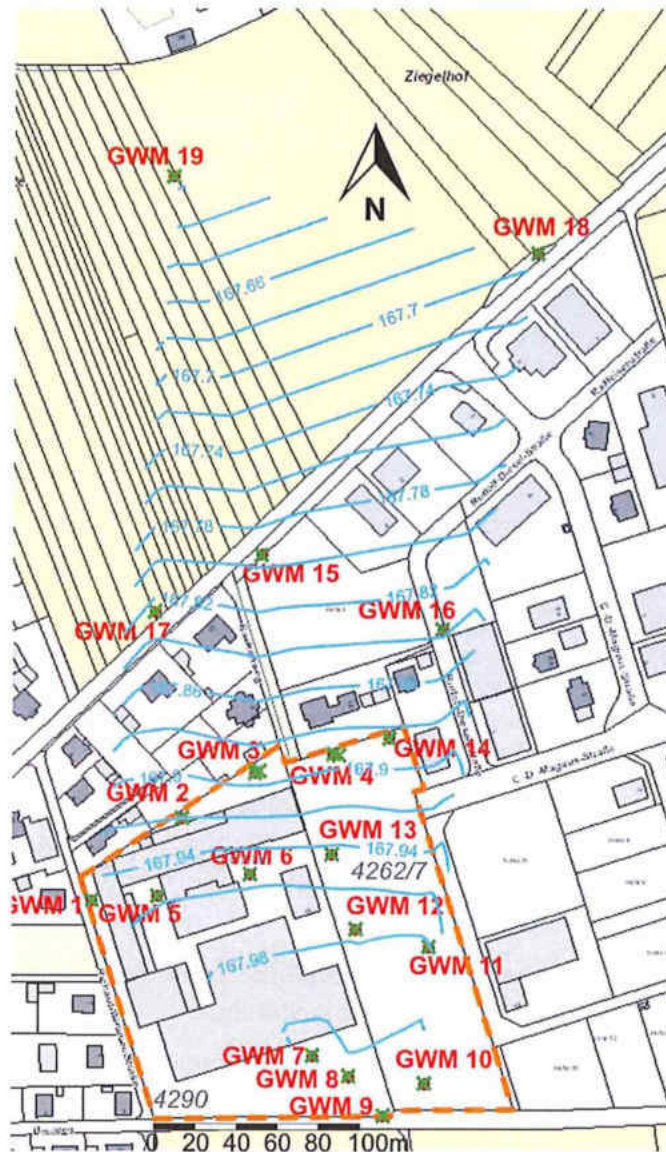


Abbildung 6: Grundwassergleichen der Stichtagsmessung am 06.12.2016 bei einem mittleren Grundwasserabstand von 167,89 m NN (GWM 3) (Datenquelle Ingenieurbüro für Geotechnik Henke u. Partner GmbH)

Die Grundwasserfließrichtung ist nach NordNordWest orientiert.

Der Gradient beträgt ca. 1‰ bei niedrigen Wasserständen von 167,81 m NN bis zu den häufig angetroffenen Wasserständen um 167,89 m NN und erreicht bis zu 1,4‰ bei leicht erhöhten Wasserständen von 168,51 m NN (28.06.2016).

2.1.3 Topografie und Oberflächenbeschaffenheit

Das Geländeneiveau variiert zwischen dem niedrigsten Wert von 171,45 m NN im Osten und 172 m NN im Westen. Die Höhenangaben der durchgeführten Rammkernsondierungen vom Ingenieurbüro für Geotechnik Henke u. Partner GmbH sind die Grundlage für die Höhenlinien-Darstellung in Abbildung 7.

Auf dem Flurstück 4262/7 fällt das Gelände von 171,95 m NN im Westen auf 171,45 m NN im Osten ab. Im Bereich des Testfeldes auf dem Flurstück 4290 fällt das Geländeneiveau nach Süden von 171,8 bis 171,5 m NN im Bereich der das Testfeld querenden Entwässerungsleitungen ab und steigt dann wieder bis zu südlichen Flurstücksgrenze auf 171,6 m NN an.

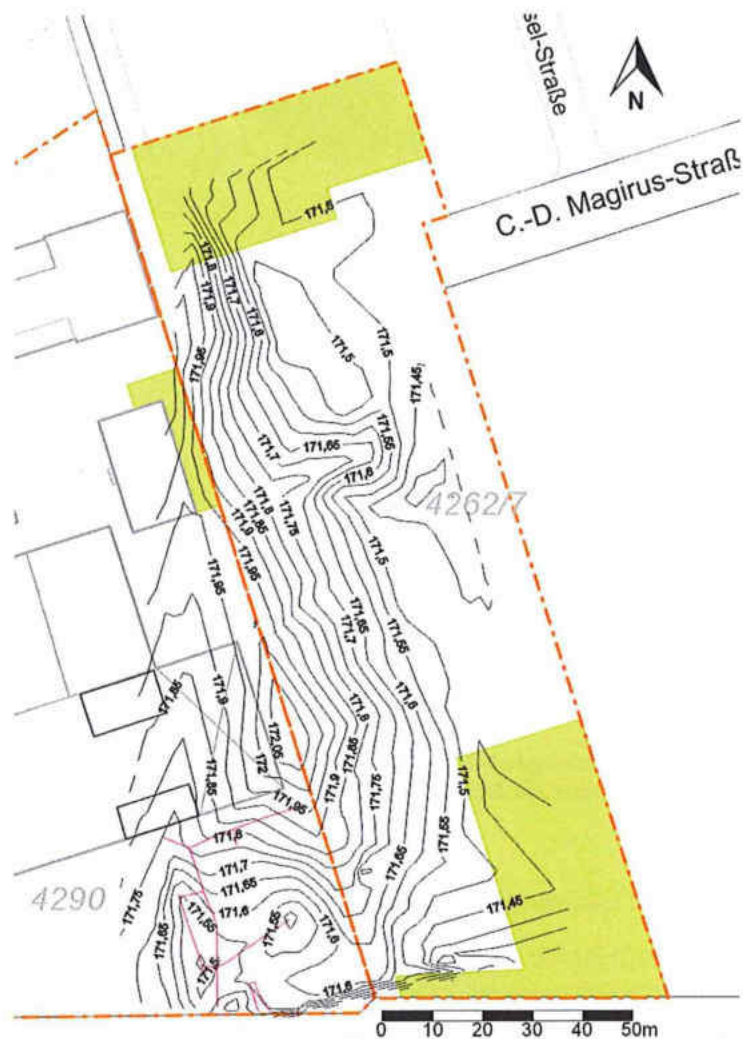


Abbildung 7: Geländemorphologie im Bereich des Testfeldes auf dem Flurstück 4290 und dem Flurstück 4262/7

Auf dem Flurstück 4290 (Produktionsstandort) sind die Oberflächen zu 88% bebaut bzw. mit Betonsteinen bzw. -platten oder Asphaltdecken versiegelt. Schottertragschichten im Süden und Norden des Standortes haben eine Fläche von 1.341 m² und damit einen Anteil von 5,7% der Gesamtfläche vom Flurstück 4290.

Das Flurstück 4262/7 mit einer Gesamtfläche von 9.657 m² wurde von der IVECO Magirus Brandschutztechnik GmbH nur zu 55% (5.351 m²) genutzt.

Die Abbildung 8 zeigt die während der Nutzungsphase der IVECO Magirus Brandschutztechnik GmbH unversiegelten Flächen am Standort Heuweg 11. Auf dem Flurstück 4290 war an der nördlichen Grundstücksgrenze eine Lagerfläche sowie der Seilwindenprüfstand mit einer Schottertragschicht versehen. Auf der südlichen Grundstücksseite gab es eine weitere unbefestigte Lager- bzw. Abstellfläche. Der auf dem Flurstück 4262/7 genutzte LKW-Abstellplatz ist mit Ausnahme der Fahrwege, die asphaltiert sind, ebenfalls nur durch eine Schottertragschicht bzw. nicht durchgängigen Asphaltdecken befestigt.



Abbildung 8: Während der Nutzungsphase der IVECO Magirus Brandschutztechnik GmbH unversiegelte Flächen am Standort Heuweg 11 in Weisweil

2.1.4 Bestehende und Planungsrechtlich zulässige Nutzung

Nach dem Regionalplan „Region Südlicher Oberrhein“ Stand Januar 2019 liegt Weisweil innerhalb des ländlichen Raumes (Kategorie N). Der Standort selbst ist der Kategorie „Siedlungsfläche Bestand – Industrie und Gewerbe“ zuzuordnen.



Abbildung 9: Ausschnitt aus der Raumnutzungskarte Weisweil aus dem Regionalplan Südlicher Oberrhein (Stand Januar 2019) und dem Flächennutzungsplan

Seit 1935 gibt es auf dem Standort eine nichtlandwirtschaftliche Nutzung. In den Vorkriegsjahren wurde die Fläche als Arbeitsdienstlager genutzt, in den Kriegsjahren wird die Nutzung als Wehrmachtlager erwähnt. Ab 1947 wurden auf dem Gelände Omnibuskarosserien sowie Omnibusaufbauten gefertigt (Südbadische Karosseriewerke Maier). Vom 6. August 1956 bis Ende 1988 fertigte die Firma Bachert in Weisweil am Standort Heuweg 11 Feuerwehrautos und Produkte für die Brandschutztechnik. Ab Januar 1989 übernahm die Iveco Magirus Brandschutztechnik GmbH den Standort und führte die Fertigung von Feuerwehrfahrzeugen und Brandschutztechnik mit 185 Beschäftigten fort. Die Produktion am Standort Weisweil wurde Ende 2012 eingestellt.

Nach dem Regionalplan „Südlicher Oberrhein“ sowie dem Flächennutzungsplan ist von einer zukünftig weiteren gewerblichen Nutzung des Standortes auszugehen.

2.2 Gefahrenlage

Am Standort bestehen in der ungesättigten wie in der gesättigten Bodenzone Grundwasserunreinigungen durch Einträge von PFAS-haltigen Feuerlöschschaumprodukten über viele Jahre bis 2012. Die in den Untergrund gelangten PFAS-Verbindungen haben eine schädliche Veränderung des Grundwassers verursacht.

2.2.1 Schadstoffinventar

Das Schadstoffinventar besteht in der Stoffgruppe der per- und polyfluorierten Kohlenwasserstoffe. Im Zuge der Forschungsarbeiten erfährt die Nomenklatur dieser Stoffgruppe immer wieder Änderungen in der Bezeichnung:

- PFT – Perfluorierte Tenside



- PFC - Per- und polyfluorierte Chemikalien
- PFAS - Per- and polyfluoroalkyl substances

Im Folgenden wird die aktuelle Bezeichnung PFAS verwendet.

Die PFAS sind anthropogene Verbindungen, die seit etwa 50 Jahren hergestellt werden.

2.2.1.1 PFAS – Per- und Polyfluoriert Chemikalien

Nach der OECD Studie² vom Mai 2018 gibt es 4730 PFAS-Verbindungen.

Am Standort werden während der Detail- und Sanierungserkundung folgende 24 PFAS-Verbindungen analytisch erfasst:

- Perfluorbutansäure (PFBA)
- Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)
- Perfluorpentansäure (PFPeA)
- Perfluorhexansäure (PFHxA)
- Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)
- Perfluorheptansäure (PFHpA)
- Perfluoroctansäure (gPFOA)
- Perfluoroctansulfonamid (PFOSA)
- Perfluoroctansulfonsäure (gPFOS)
- Perfluorononansäure (PFNA)
- H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2 FTS)
- Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)
- Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)
- Perfluortetradecansäure (PFTeA)
- Perfluortridecansäure (PFTDA)
- 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (H4PFOS)
- 2H,2H-Perfluordecansäure (H2PFDA)
- 2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure (H4PFUnA)
- 3,7-Dimethylperfluoroctansäure (3,7-DMPFOA)
- 7H-Dodecanfluorheptansäure (HPFHpA)
- Perfluordecansäure (PFDA)
- Perfluordecansulfonsäure (PFDS)
- Perfluorundecansäure (PFUnA)
- Perfluordodecansäure (PFDoA)

Am Standort werden im Boden alle 24 analysierten PFAS-Verbindungen nachgewiesen.

Im Grundwasser werden von den 24 analysierten PFAS folgende 12 PFAS-Verbindungen analytisch nachgewiesen:

- Perfluorbutansäure (PFBA)

² Toward a new comprehensive Global Database of per- and polyfluoroalkyl Substances (PFASs), OECD Series on Risk Management No. 39, May 2018

- Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)
- Perfluorpentansäure (PFPeA)
- Perfluorhexansäure (PFHxA)
- Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)
- Perfluorheptansäure (PFHpA)
- Perfluoroctansäure (PFOA)
- Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)
- Perfluornonansäure (PFNA)
- Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)
- Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)
- 1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure (H4PFOS)

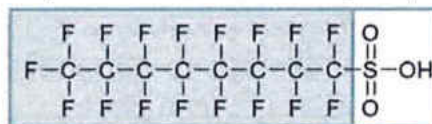
2.2.1.1.1 Umweltrelevanz und Umweltverhalten

Die PFAS sind anthropogene Verbindungen, die seit etwa 50 Jahren hergestellt werden.

Chemisch gesehen bestehen PFAS aus Kohlenstoffketten verschiedener Längen, bei denen die Wasserstoffatome vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind.

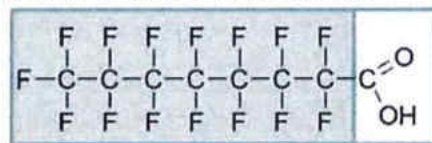
Perfluorierte Sulfonsäuren (PFSAs)

z. B. perfluorierte Oktansulfonsäure (PFOS)



Perfluorierte Carbonsäuren (PFCAs)

z. B. perfluorierte Oktansäure (PFOA)



Polyfluorierte Vorläuferverbindungen

z. B. Fluortelomeralkohole (FTOHs)

8:2 Fluortelomeralkohol (FTOH)

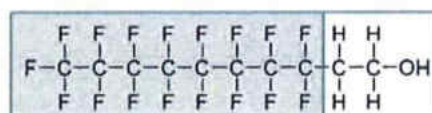


Abbildung 10: Beispiele per- und polyfluorierter Verbindungen und ihre chemische Struktur (Quelle UBA UMID Heft 01/2013 2013)

Die Kohlenstoff-Fluor-Bindung ist äußerst stabil. Sie wird weder durch gängige Oxidationsmittel noch durch starke Säuren oder UV-Strahlen unter normalen Umweltbedingungen zerstört.

Unter den mehr als 650 verschiedenen PFAS sind die perfluorierte Oktansulfonsäure (PFOS) und die perfluorierte Oktansäure (PFOA) die bekanntesten Verbindungen.



Beide Substanzen bestehen aus acht Kohlenstoffatomen. Im Wasser liegen sie als freie Säureanionen vollständig dissoziiert vor, unterliegen keiner Hydrolyse und sind relativ gut wasserlöslich.

PFOS ($C_8F_{17}SO_3^-$) ist das Anion der Perfluorooctansulfonsäure. PFOS -verwandte Substanzen können in der Umwelt zu PFOS umgewandelt werden. Die OECD zählt 172 Substanzen aus 22 Klassen von Perfluoralkylsulfonaten dazu, darunter auch das PFOSA.

PFOA ($C_8F_{15}O_2^-$) ist das Anion der Perfluorooctancarbonsäure. Polyfluorierte Tenside, die häufig als Ersatz für PFOS eingesetzt werden, können als weniger stabile Verbindungen an ihren „Sollbruchstellen“ - den teil- oder nichtfluorierten C-Atomen – zu PFOA umgewandelt werden.

Als anionische Tenside reichern sich PFAS an Phasengrenzen an und reduzieren die Oberflächenspannung.

Für PFOS wird die Halbwertszeit im Wasser im Hinblick auf einen biotischen Abbau durch Hydrolyse (bei 25°C) auf mehr als 41 Jahre geschätzt und ist damit sehr gering. Hinweise auf einen nennenswerten abiotischen Abbau durch Photolyse liegt nicht vor. Die geschätzte Halbwertszeit in der Luft liegt bei mehr als 3,7 Jahren. Auch ein biotischer Abbau findet weder unter aeroben noch unter anaeroben Bedingungen in nennenswertem Ausmaß statt. PFOS wird gemäß Europäischer Richtlinie 2006/122/EG als „vP“ (very persistent) – sehr persistente Substanz eingestuft. Seit 2010 ist PFOS in die Verbotliste der Stockholm Konvention für POPs (persistente organische Stoffe) aufgenommen.

PFOA gilt gleichfalls als resistent gegenüber Hydrolyse und Photolyse. Ein biotischer Abbau konnte weder unter aeroben noch anaeroben Bedingungen in signifikantem Ausmaß festgestellt werden. Ab 2020 ist PFOA in der EU verboten. Dieses Verbot schließt auch Vorläuferverbindungen aus der Gruppe der Polyfluorierten Verbindungen mit ein.

PFOS adsorbiert zum Teil an der Festsubstanz von Böden, Sediment, kann jedoch leicht wieder desorbiert werden. PFOS Einträge in das Grund- oder Oberflächenwasser verbleiben überwiegend im Wasser, nur geringe Anteile adsorbieren an die Feststoffmatrix.

Es wird davon ausgegangen, dass PFOA nur moderat in wässriger Lösung an die Festsubstanz adsorbiert und überwiegend in der wässrigen Phase vorliegt.³

Nach der Europäischen Chemikalien Verordnung REACH sind einige PFAS als besonders besorgniserregende Stoffe identifiziert.

Als PBT-Stoffe⁴ gelten:

- PFOA – Perfluorooctansäure
- PFNA - Perfluornonansäure
- PFDA – Perfluordecansäure

³ Verbreitung von PFT in der Umwelt Ursachen - Untersuchungsstrategie - Ergebnisse - Maßnahmen. LANUV-Fachbericht 34, zuletzt geprüft am 08.09.2014

⁴ PBT-Stoffe: persistente (P) bioakkumulierende (B) toxische (T) Stoffe



Als vPvB – Stoffe⁵ gelten:

- PFuDA - Perfluorundecansäure
- PFDoA – Perfluordodecansäure
- PFTTrA – Perfluortridecansäure
- PFTTeA – Perfluortetradecansäure

2017 wurde vorgeschlagen PFHxS auf die REACH Kandidatenliste zu setzen. PFHxS wird oft als Ersatzstoff für das nach der Stockholm Konvention als POPs eingestufte und damit international verbotene PFOS eingesetzt. Ausschlaggebend dafür ist die lange Eliminationshalbwertszeit in Menschen: für PFHxS sind diese Werte sogar höher als für bereits identifizierte bioakkumulierende PFAS (z.B. Perfluorooctansäure - PFOA)

Am 16.01.2020 wurde das PFBS (Perfluorbutansulfonsäure) und ihre Salze auf die Kandidatenliste nach der REACH Verordnung gesetzt.⁶

Derzeit prüft das UBA die kurzkettigen perfluorierten Carbonsäuren wie PFHxA. PFHxA ist wie die anderen PFC persistent und zusätzlich sehr mobil in Boden und Wasser. PFHxA und andere kurzkettige PFAS können somit leicht ins Grundwasser gelangen und Rohwasser verunreinigen.⁷

PFOA darf nach EU-Recht ab 04.07.2020 nicht mehr hergestellt werden. Die Beschränkung von PFHxS ist in Vorbereitung.

Nach den Prinzipien von REACH können keine „sicheren“ Gehalte in der Umwelt abgeleitet werden.

2.2.1.1.2 Transformationsprozesse für PFAS

Hinsichtlich ihres Umweltverhaltens unterscheiden sich die Per- und Polyfluorierten PFAS unter dem Aspekt der möglichen Transformationsprozesse in der Umwelt erheblich. Während perfluorierte Kohlenstoff-Ketten wenn überhaupt nur sehr eingeschränkten mikrobiellen Transformationsprozessen unterliegen, trifft dies für die polyfluorierten PFAS nicht zu. Es handelt sich dabei um die Stoffgruppe der sogenannten „Precursor“ (Vorläufersubstanz): das sind Verbindungen, die zu nachweisbaren Perfluoralkancarbon- und sulfonsäuren als stabile Transformationsprodukte umgebaut werden können.

Dabei werden die nicht fluorierten Reste des Moleküls abgespalten, so dass es zu Bio-transformationen kommt. Dabei entstehen neue kurzkettige perfluorierte Verbindungen. Es handelt sich also nicht um eine Mineralisierung sondern lediglich um einen Teilumbau.

Daraus folgt, dass die perfluorierten Verbindungen PFOS und PFOA quasi keinen Transformationen unterliegen, also persistent sind.

⁵ vPvB-Stoffe: very (sehr) persistente und very (sehr) bioakkumulierende Stoffe

⁶ <https://echa.europa.eu/documents/10162/079c04a0-2464-4168-f132-a22ffb04d910>

⁷ Umweltbundesamt REACH-Kandidatenliste hat 174 besonders besorgniserregende Stoffe (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/reach-kandidatenliste-hat-174-besonders>)

Anders ist die Situation für H4POS - eine polyfluorierte Verbindung (6:2 FTOH): Innerhalb einer vergleichsweise kurzen Halbwertszeit entstehen im Rahmen von mikrobiellen Transformationsprozessen im aeroben Milieu aus dem H4PFOS auf dem Weg der „one carbon removal pathways“ die Perfluorhexansäure (PFHxA) und schließlich das Haupttransformationsprodukt Perfluorpentansäure (PFPeA). Die Transformationsrate, -kinetik und schließlich die Akkumulierung unterschiedlicher Endprodukte hängt nicht nur von der chemischen Struktur der PFAS ab, sondern wird auch von den Umweltbedingungen bestimmt. Im Ergebnis führen die Biotransformationen zu einer substantiellen Änderung der physikochemischen Eigenschaften.⁸

Löschschäume: Abbauewege eines wichtigen Fluortensids

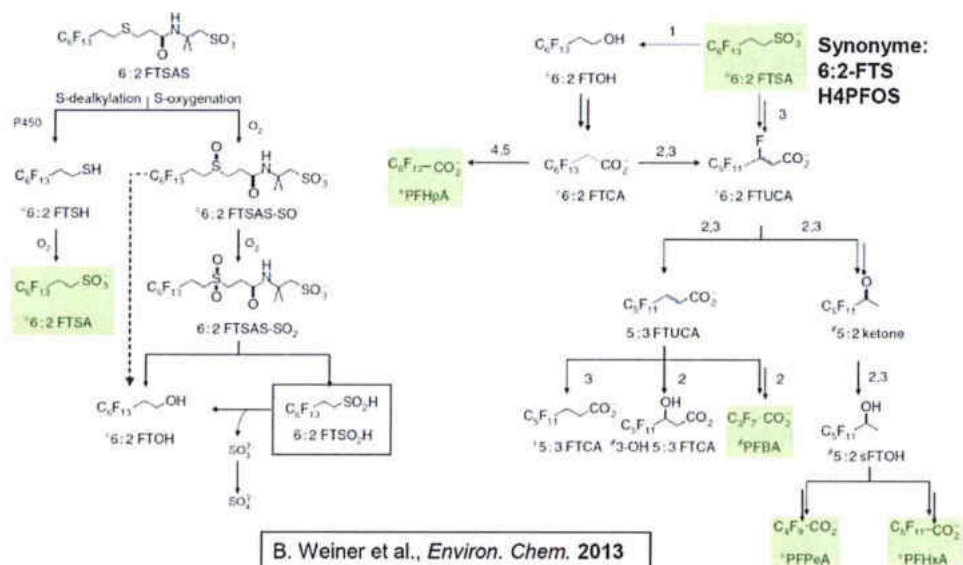


Abbildung 11: Transformationsprozesse des H4PFOS (Quelle B. Weiner et.al. (2013): Organic fluorine content in aqueous film forming foams (AFFFs) and biodegradation of the foam component 6:2 fluorotelomermercaptoalkylamido sulfonate (6:2 FTSAS) Environmental Science Chemistry 10(6):486 – 493

Der Eintrag von Feuerlöschschaumprodukten in den Untergrund bewirkt, dass auch Precursor von PFAS-Verbindungen in die Umwelt gelangen. Die in Feuerlöschschäumen vom Typ AFFF (Aqueous Film Forming Foams) enthaltenen per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) bestehen zu 41- 100% aus Vorläufersubstanzen. An Feuerlösch-Übungsflächen wurde auch mehr als 20 Jahre nach Ende der Übungen noch erhebliche Gehalte an Precursor nachgewiesen.^{9 10} Dadurch werden zeitverzögert aber anhaltend,

⁸ Quelle: LFP Projekt B4.14: PFC-Arbeitshilfe, Anlage A - Grundlagen

⁹ Quelle: Houtz, E.F., et.al. 2013 Persistence of perfluoralkyl acid precursors in AFFF-impacted groundwater and Soil - *Environ. Sci. Technol.* 47, 8187 - 8195

¹⁰ An Standorten mit Feuerlöschschäumen als Schadensursache werden Precursor im Grundwasser in höheren Konzentrationen nachgewiesen. LABO (Hrsg.) 2016: Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei alllastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen



mitunter hohe Konzentrationen von Perfluoralkansäuren und Perfluoralkansulfonsäuren freigesetzt, die wegen ihrer größeren Mobilität über das Sickerwasser in die gesättigte Bodenzone gelangen. Diese Precursor-Verbindungen werden regelmäßig mit den für die Analytik herangezogenen 24-PFAS-Verbindungen nicht miterfasst. Folglich unterschätzt die Hochrechnung der Schadstoffgehalte in der Bodenmatrix allein anhand der 24-PFAS-Verbindungen im Eluat das tatsächliche Schadstoffpotential unter Umständen erheblich.



Abbildung 12: Anteile der Precursor, Nicht-Precursor und mit kommerziell verfügbarer Analytik quantifizierbare PFAS an der PFAS-Gesamtmenge (Quelle: Modellstudie PFC zur Untersuchung des Eintrags von PFC aus belasteten Böden in das Grundwasser des Land Baden-Württemberg https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpk/Abt5/Ref541/PFC/Seiten/Boden_Grundwasser.aspx)

2.2.1.1.3 Bewertungsrichtlinien

Für die Stoffgruppe der PFAS hat sich im Rahmen des Bearbeitungszeitraumes seit 2014 bis 2018 die Bewertungsgrundlage in den Medien Trinkwasser, Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten verändert.

Am 17.06.2015 wurde mit dem Schreiben des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg der Erlass „Vorläufige GFS-Werte für PFC für das Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten“ veröffentlicht. Der Erlass aus dem Jahr 2015 grenzt die Frage, ob eine schädliche Grundwasserveränderung vorliegt, mit dem Kriterium der Trinkwasserregelung für den „Gesundheitlichen Schutz aller Bevölkerungsgruppen für die Lebenslange Exposition“ ab.

Die Anpassung des Erlasses aus dem Jahr 2015 „Vorläufige GFS-Werte PFC für das Grundwasser und Sickerwasser aus schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten“ an die neuen Erkenntnisse zur humantoxikologischen Bewertung von PFC und die daraus abzuleitenden Geringfügigkeitsschwellenwerte erfolgt in Baden-Württemberg am 21.08.2018.

Der aktualisierte Erlass aus dem Jahr 2018 stuft die kurzkettigen PFAS-Verbindungen ($C \leq 6$) als weniger humantoxikologisch bedenklich und die langkettigen PFAS-Verbindungen ($> C6$) deutlich kritischer ein.¹¹ Darüber hinaus hat sich die Parameterzusammensetzung

¹¹ Gemäß der Europäischen Chemikalienverordnung (REACH) sind Perfluorooctan- (PFOA), Perfluorononan- (PFNA) und Perfluordecansäure (PFDA) persistente (p), bioakkumulierende (B) und toxische (T) Eigenschaften zugesprochen worden – sind nach REACH PBT-Stoffe. Perfluorundecan- (PFuDa), Perfluordodecan- (PFDoA), Perfluortridecan (FTrA) und Perfluortetradecansäure (PFTeA) gelten als sehr persistente und sehr bioakkumulierende Stoffe – sogenannte vBvB-Stoffe (very persistent and very



verändert. Und es werden für die Additionsregel¹², die bei Vorliegen von mehreren PFAS-Verbindungen anzuwenden ist, nur noch 7 Parameter, mit für die langkettigen PFAS (C > 6) abgesenkten Leitwerten und für die kurzkettigen PFAS (C ≤ 6) hochgesetzten Leitwerte, herangezogen. Ist der Bewertungsindex BI > 1, gilt der Bewertungsmaßstab für die Summe der berücksichtigten PFC-Verbindungen als überschritten. Das heißt, es liegt eine schädliche Grundwasserveränderung vor.

Ergänzend werden zur Betrachtung des Gesamtrisikos die GOW-Werte berücksichtigt. Dies ist insbesondere erforderlich, da für die Verbindung H4PFOS, die am Standort eine relevante Komponente an der Summe der untersuchten PFAS-Verbindungen ist, nur ein GOW-Wert vorliegt und damit nicht in der Additionsregel des UBA integriert ist.

		2015		2018	
		Einheit	Vorl. GFS ¹³ -Wert	GFS-Wert	GOW ¹⁴
Perfluorbutansäure	PFBA	µg/l	7	10	
Perfluorbutansulfonsäure	gPFBS	µg/l	3	6	
Perfluorpentansäure	PFPe A	µg/l	3		3
Perfluorpentansulfonsäure	PFPeS	µg/l	1		
Perfluorhexansäure	PFHxA	µg/l	1	6	
Perfluorhexansulfonsäure	gPFHxS	µg/l	0,3	0,1	
Perfluorheptansäure	PFHpA	µg/l	0,3		0,3
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	µg/l	0,3		0,3
Perfluoroctansäure	PFOA	µg/l	0,3	0,1	
Perfluoroctansulfonsäure	gPFOS	µg/l	0,3	0,1	
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	µg/l	1		0,1
Perfluornonansäure	PFNA	µg/l	0,3	0,06	
Perfluordecansäure	PFDA	µg/l	0,3		0,1
H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS	µg/l	0,3		0,1

Tabelle 1: Fortschreibung der vorläufigen Bewertung von per- und polyfluorierten Chemikalien (PFC) nach den Erlässen des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 17.06.2015 und 21.08.2018

Im Entwurf der zur Novellierung vorgesehenen BBodSchV sind Prüfwerte für den Ort der Beurteilung in Höhe der Geringfügigkeitsschwellenwerte für 7 Stoffe der Stoffgruppe PFC

bioakkumulative). (Quelle: „Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für PFC“ des Ständigen Ausschusses „Grundwasser und Wasserversorgung“ der LAWA, 28.07.2017)

¹² Herleitung eines Bewertungsindex BI durch Addition des Stoffindizes $I = \frac{c}{BM}$ mit c= gemessene Konzentration und BM = Bewertungsmaßstab – hier TW_{LW} bzw. GFS: $BI_{GFS_h} = \sum I_i = \frac{c_1}{GFS_{h1}} + \frac{c_2}{GFS_{h2}} + \frac{c_3}{GFS_{h3}} + \dots$ Ist der Bewertungsindex > 1 gilt der Bewertungsmaßstab für die Summe als überschritten. (Abgeleitet aus der TRGS 402 für Arbeitsplatzexposition)

¹³ Vorl. GFS: Vorläufiger Geringfügigkeitsschwellenwert

¹⁴ GOW Gesundheitlicher Orientierungswert



vorgesehen. Wann diese von der Bundesregierung verabschiedet werden wird ist nicht bekannt.

Im Auftrag des UBA wird derzeit eine Arbeitshilfe „PFC Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen“ erstellt. Diese soll nach den Angaben auf der Homepage des UBA vom 24.02.2020¹⁵ im Jahr 2020 veröffentlicht werden. (Stand Juni 2020)

Analytik von PFAS

Es hat sich gezeigt, dass zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser die alleinige Untersuchung der Boden-Feststoffprobe nicht ausreichend ist. Trotz PFC-Gehalten unterhalb der unteren Anwendungsgrenze des Verfahrens (UAWG) von 10 µg/kg kann das Eluat der Bodenprobe ein relevantes Inventar an PFC haben, das für die Freisetzung von PFC aus der Bodenmatrix mit dem Sickerwasser von Bedeutung ist.

Um eine realistische Einschätzung der PFC-Belastung in Böden zu erhalten, ist es daher notwendig den PFC-Gehalt im Eluat der Bodenprobe zu bestimmen. Mittels einer 2:1 Extraktion gemäß DIN 19527 werden die PFC-Verbindungen aus dem Bodenfeststoff eluiert. Das Eluat wird nach der Methode ISO 25101 auf ihren PFC-Gehalt hinsichtlich ausgewählter PFC-Verbindungen untersucht.

Bis einschließlich 2015 wurden im vorliegenden Projekt Bodenproben ausschließlich im Feststoff untersucht.

Im vorliegenden Projekt beschränkt sich bis Ende 2015 der Untersuchungsumfang auf 14 PFC-Verbindungen. Das H4PFOS bleibt unberücksichtigt. In diesem Zeitraum werden Bodenproben ausschließlich im Feststoff auf 14 PFC- Verbindungen untersucht.

Mit den Beprobungskampagnen ab 2016 umfasst der Analysenumfang 24 PFC-Verbindungen - darunter dann auch das H4PFOS. Gleichzeitig werden nun die PFC-Gehalte im Eluat der Bodenproben nach DIN 19527 untersucht.

2.2.1.2 Menge

Angaben mit einer konkreten Quantifizierung gestaltet sich für die Stoffgruppe der PFAS am Standort als schwierig. Im Unterschied zu einem einmaligen Brandereignis, bei dem möglicherweise recherchiert werden kann, welches Feuerlöschschaumprodukt in welcher Menge verwendet wurde, fand am Standort Heuweg über Jahrzehnte der Eintrag von unterschiedlichen Feuerlöschschaumqualitäten wie auch unbekanntem Mengen statt. Auch die Häufigkeit der Ereignisse mit Feuerlöschschaumeinträgen in den Untergrund ist unbekannt.

Eine Rückrechnung anhand der PFAS Konzentrationen im Untergrund ist nicht zielführend. Zum einen wird nur eine kleine Auswahl an PFAS-Verbindungen (24 von 4570

¹⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/pfc-sanierung-in-boeden-grundwasser>

bekanntesten PFAS Verbindungen) analytisch untersucht. Zum anderen bewirkt der Eintrag von Feuerlöschschaumprodukten, dass auch nicht nachweisbare Precursor PFAS-Verbindungen verstärkt in der ungesättigten Bodenzone retardiert werden und damit hier vermehrt vorliegen können.¹⁶ ¹⁷Dadurch werden zeitverzögert aber anhaltend, mitunter hohe Konzentrationen von Perfluoralkansäuren und Perfluoralkansulfonsäuren freigesetzt, die wegen ihrer größeren Mobilität über das Sickerwasser in die gesättigte Bodenzone gelangen. Diese Precursor-Verbindungen werden regelmäßig mit den für die Analytik herangezogenen 24-PFAS-Verbindungen nicht miterfasst. Folglich unterschätzt die Hochrechnung der Schadstoffgehalte in der Bodenmatrix allein anhand der 24-PFAS-Gehalte im Eluat das tatsächliche Schadstoffpotential unter Umständen erheblich.

Eine Massenbilanzierung ist für den Parameter PFAS stets mit erheblichen Unsicherheiten verknüpft. Wegen den ausgeprägten hohen Unsicherheiten bei der Ermittlung des Schadstoffpotentials in der Bodenmatrix wird darauf verzichtet.

Die in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone vorhandenen PFAS-Verbindungen bewirken einen PFAS-Austrag über das abströmende Grundwasser auf der Höhe der nördlichen Grundstücksgrenze platzierten Kontrollebene mit einer Quotienten-Summe von größer 1.

Die Emission bezogen auf die Kontrollebene wird durch die Addition der Fracht [g/d] bezogen auf den jeweiligen Immissionspumpversuch E 1 bis E 3 ermittelt.

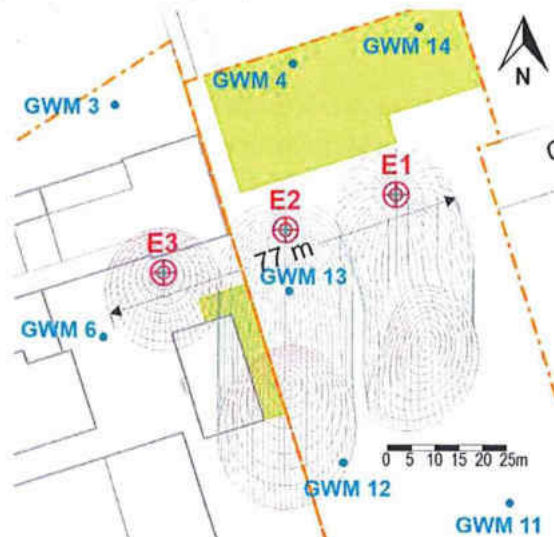


Abbildung 13: Erfasste Abstrombreite der drei Immissionspumpversuche im Sommer 2018

¹⁶ Die in AFFF enthaltenen PFAS bestehen zu 41- 100% aus Precursor. An Feuerlösch-Übungsflächen wurde auch mehr als 20 Jahre nach Ende der Übungen noch erhebliche Gehalte an Precursor nachgewiesen. Quelle: Houtz, E.F., et.al. 2013 Persistence of perfluoralkyl acid precursors in AFFF-impacted groundwater and Soil Environ. Sci.Technol. 47, 8187 - 8195

¹⁷ An Standorten mit Feuerlöschschäumen als Schadensursache werden Precursor im Grundwasser in höheren Konzentrationen nachgewiesen. LABO (Hrsg.) 2016: Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei alllastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen



Werden die Geringfügigkeitsschwellenwerte aus dem Jahr 2018 herangezogen beträgt die Quotienten-Summe 1,25 und überschreitet damit den Beurteilungswert von 1. Auch wenn die unter Vorbehalt zu betrachtende Frachtberechnungen zum Immissionspumpversuch in E 2 berücksichtigt wird, wird bereits der Beurteilungswert 1 bei der Berücksichtigung der 2018 aktualisierten GFS-Werte überschritten. Extrapoliert man anhand der Frachten in E 1 und E 3 und den PFAS-Konzentrationen in der Zustrom-Grundwassermessstelle GWM 13 und der Abstrom-Grundwassermessstelle GWM 4 die täglichen Frachten über die E 2, so beträgt die daraus abgeleitete Quotienten-Summe 1,6. Diese Betrachtung wird ergänzend vorgenommen, um die Auswirkung durch das erfasste ergiebige, PFAS-freie Grundwasservorkommen unterhalb 16 m u. GOK in E2 abschätzen zu können.

Bei diesem Bewertungsschema bleibt das H4PFOS außen vor, da für diesen Parameter kein Geringfügigkeitsschwellenwert vorliegt. Um das von diesem Parameter ausgehende Gefahrenpotential einschätzen zu können, wird hilfsweise der Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) in die Additionsregel einbezogen. Unter dieser Bedingung erhöht sich die Quotienten-Summe bezogen auf die Kontrollebene auf 1,7. Werden die extrapolierten Fracht-Werte für die E 2 herangezogen erhöht sich die Quotienten-Summe auf 2,2.

Das Ergebnis der integralen Frachtberechnung auf der Kontrollebene E 1, E 2 und E 3 unter Berücksichtigung der aktualisierten Geringfügigkeitsschwellenwerte 2018 mit einer Quotienten-Summe von mindestens 1,25 zieht grundsätzlichen Sanierungsbedarf nach sich.

2.2.1.3 Verteilung

Die vorliegenden Untersuchungsbefunde lassen auf 2 Schadensschwerpunkte schließen:

- Grundstück 4290: ehemaliges Testfeld im Süden
- Grundstück 4262/7: LKW-Stellplätze

Die Abbildung 14 zeigt die Schwerpunkte der PFAS-Vorkommen im Untergrund anhand der Quotienten-Summe. Diese wurde abweichend zum Erlass vom 21.08.2018 unter Miteinbeziehung der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) gebildet. Der Anlass hierfür ist, dass die PFAS-Verbindung H4PFOS, die am Standort lokal verstärkt nachgewiesen wurde, bei der regulären Quotienten-Summen-Bildung nicht berücksichtigt wird und dadurch für den Standort eine verzerrte Gefährdungsabschätzung entstehen würde.

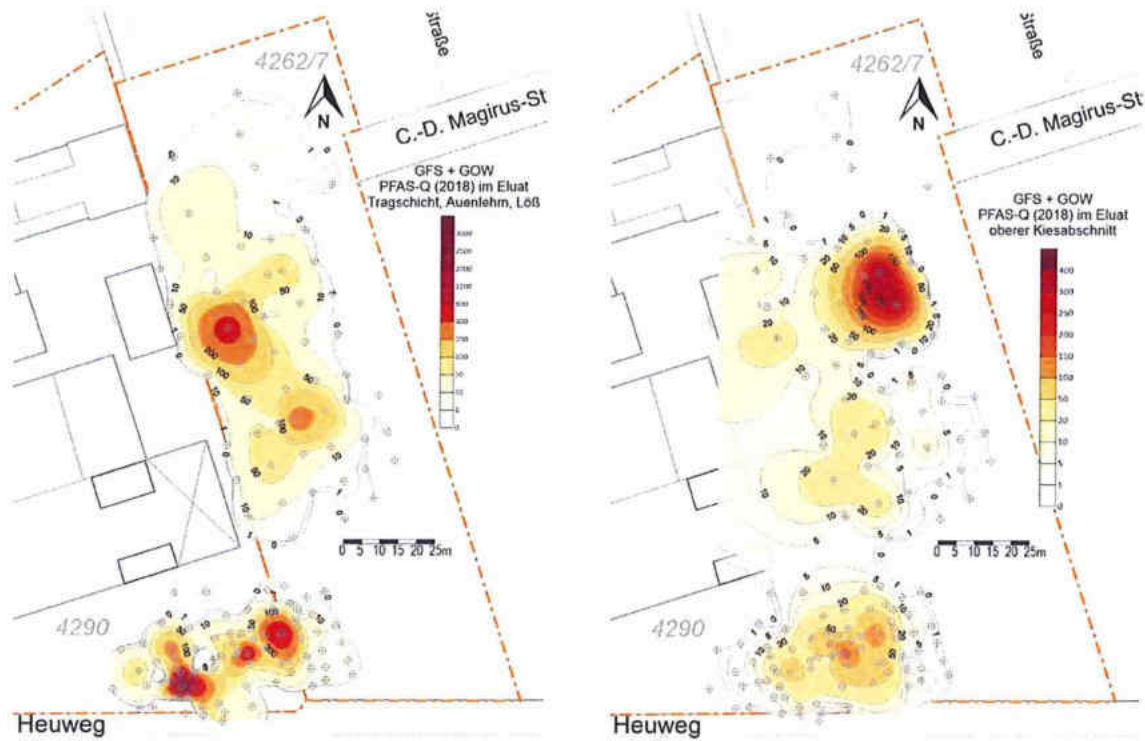


Abbildung 14: Ableitung der PFAS-Schwerpunkte im Untergrund anhand der Quotienten-Summen ermittelt über Einbeziehung der GFS und GOW-Beurteilungswerte

Die Abbildung 15, Abbildung 16 und Abbildung 17 stellen differenziert nach den Hauptschadstoffkomponenten PFOS, H4PFOS und PFHxA sowie nach den Tiefenlagen „Tragschicht, Auenlehm, Löß“ bzw. bis in 1 m u. GOK und Abschnitt „Oberste Kiesablagerung“ die PFAS-Verteilung in der Fläche dar. Daraus wird ersichtlich, dass im Bereich des Testfeldes das H4PFOS als PFAS-Eintragskomponente dominiert, begleitet von PFOS und PFHxS. Auf dem Gemeindegrundstück hingegen prägt hingegen das PFOS die Zusammensetzung der analysierten 24 PFAS-Verbindungen.

2.2 Gefahrenlage

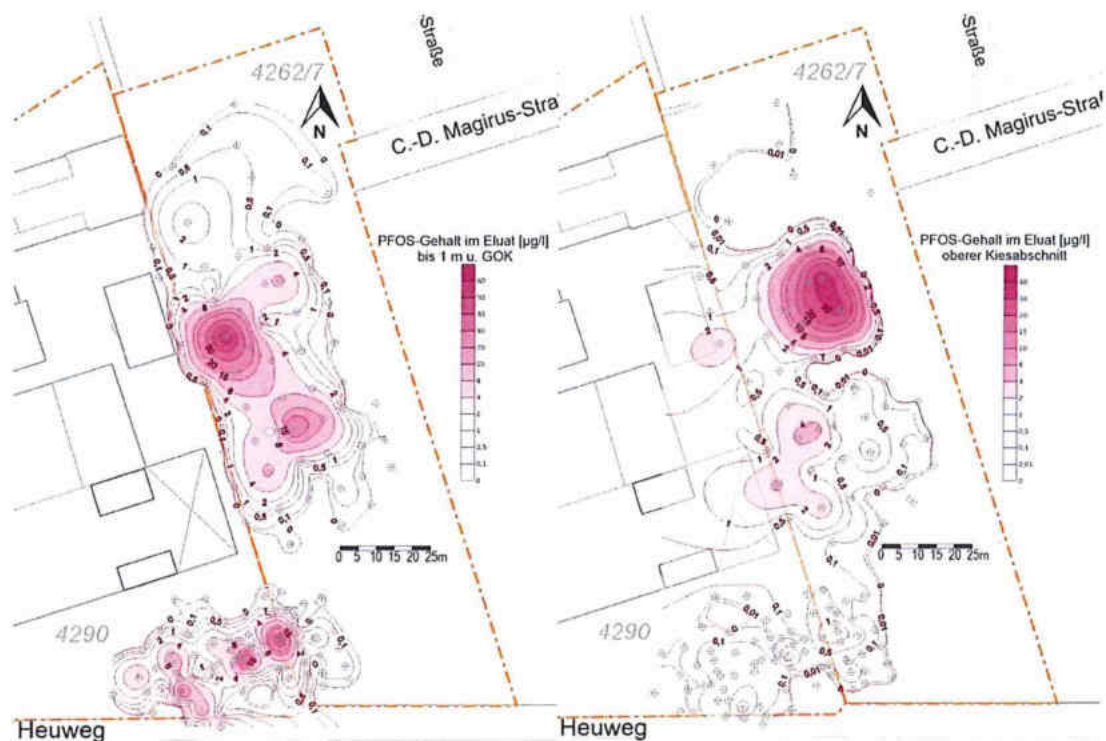


Abbildung 15: PFOS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes

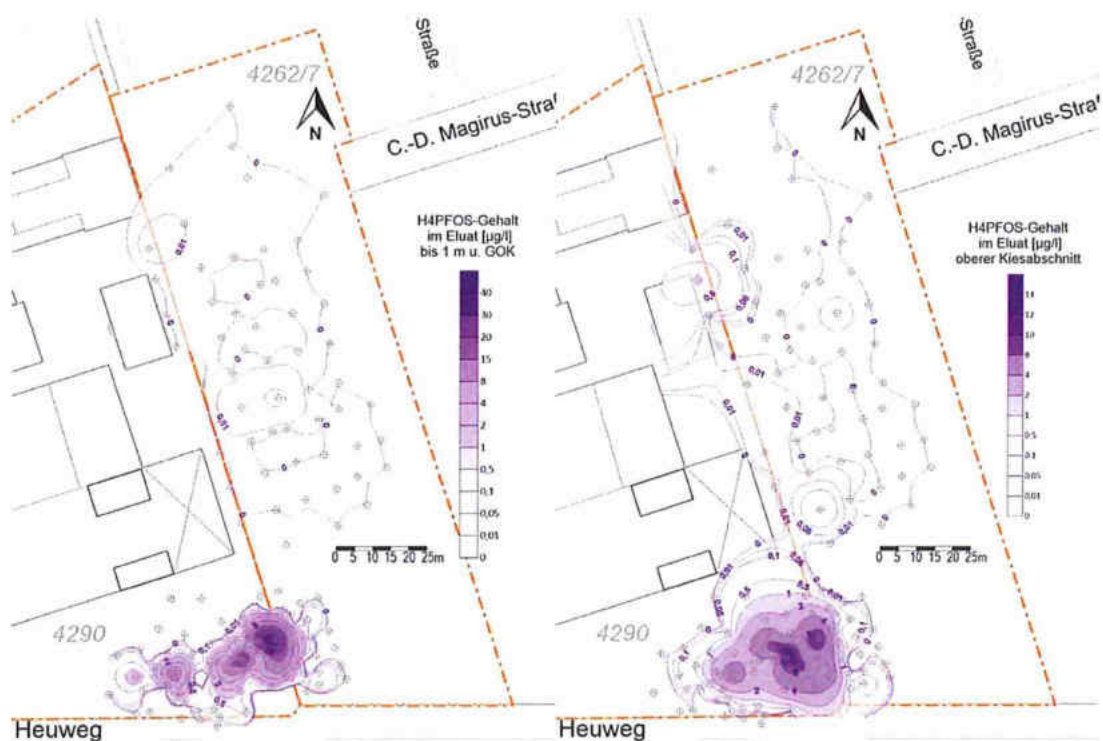


Abbildung 16: H4PFOS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes

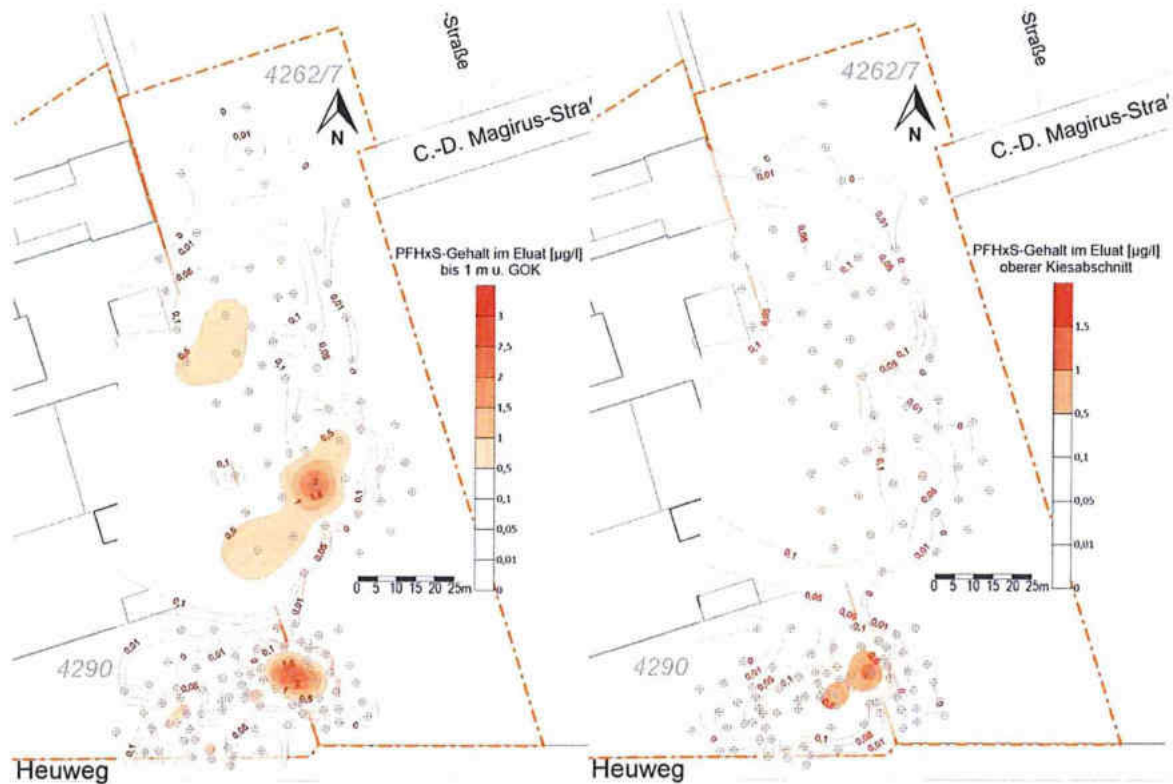


Abbildung 17: PFHxS-Gehalte im Eluat von Bodenproben bis 1 m u. GOK und innerhalb des obersten Kiesabschnittes

Für das PFHxS sind sowohl im Bereich des Testfeldes wie aber auch auf dem Gemeindegrundstück Eintragsareale zu erkennen.

Die vertikale Verteilung der PFAS -Vorkommen im Untergrund wurde anhand von Kernbohrungen bis 6 m u. GOK ermittelt.

Im Bereich des Feuerlöschschaumtestfeldes stehen 4 Aufschlüsse, die den Untergrund bis 6 m u. GOK erkunden: KB4/17 und die Bohrsondierungen BS16/63, BS16/64, und BS16/65. Bis in 4 m u. GOK wurden die Bohrsondierungen BS16/12, BS16/66, BS 16/67 und BS 16/68 abgeteuft. Die Lage dieser vertieften Bohrsondierungen sind in Abbildung 18 eingetragen.

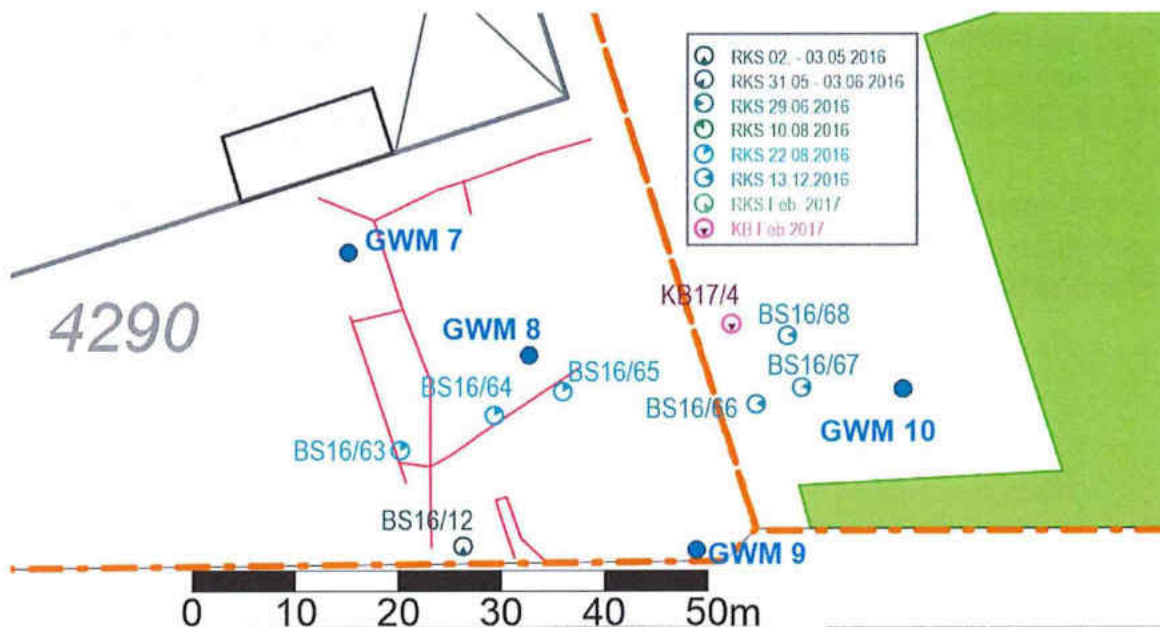


Abbildung 18: Lage der Bohrsondierungen, die für die vertikale Abgrenzung der PFAS auf dem Flurstück 4290 herangezogen werden

Im zentralen Areal des Feuerlöschschaumtestfelds überschreiten im Tiefenabschnitt des Ortes der Beurteilung die Quotienten-Summe den Beurteilungswert 1. Auch in fortschreitender Tiefe bis 6 m u. GOK ist bei der Berücksichtigung des Parameters H4PFOS die Quotienten-Summe 1 deutlich überschritten.

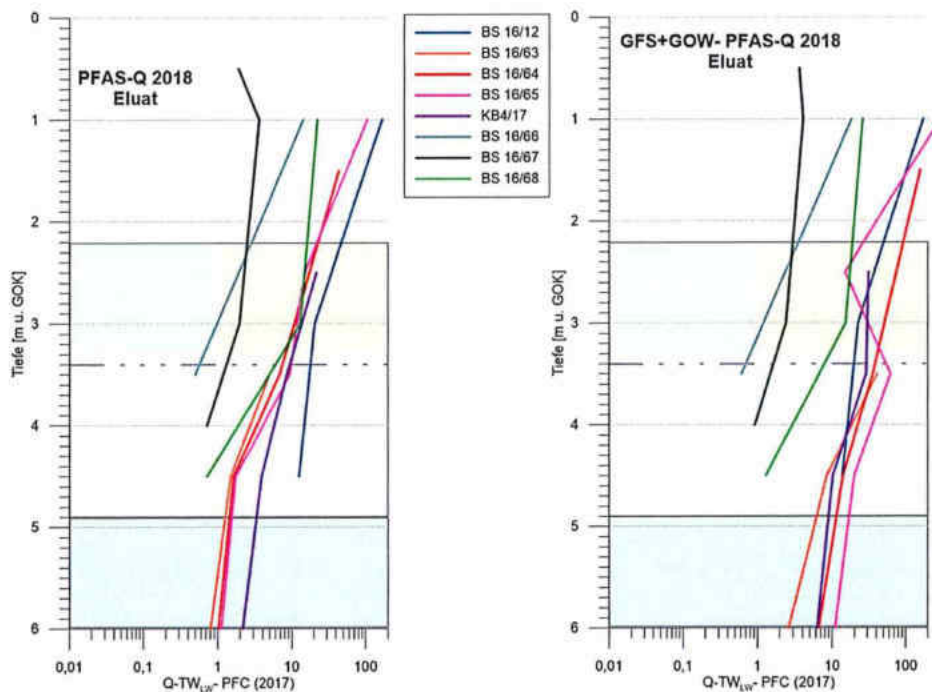


Abbildung 19: Quotienten-Summen im Eluat der Bohrsondierungen mit Endteufen zwischen 4 bis 6 m nach der Additionsregel PFAS-Q (2018) und GFS+GOW-PFAS-Q 2018

In der Zusammenschau ist anhand der vorliegenden Befunde abzuleiten, dass im Bereich des Feurlöschschaumtestfeldes eine schädliche Bodenveränderung bis in 6 m u. GOK vorliegt. Dafür sind die PFAS-Verbindungen PFOS und H4PFOS maßgeblich verantwortlich.

Die Kernbohrungen KB1 bis KB3 erkunden den Untergrund bis 6 m u. GOK auf dem Gemeindegrundstück. Sie wurden in einer in süd-nördlicher ausgerichteten Reihe auf der Höhe gegenüber dem Verwaltungsgebäude platziert. (siehe Abbildung 20)

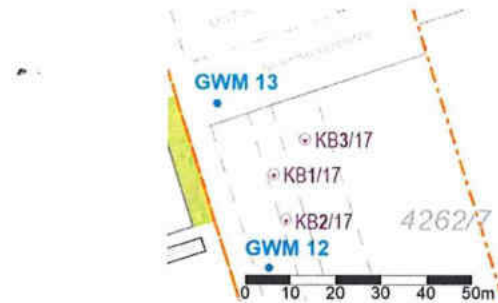


Abbildung 20: Lage der Ansatzpunkte für die Kernbohrungen KB1/17 – KB3/17 bis 6 m u. GOK

Die in der Abbildung 21 zusammengestellten Ergebnisse der Quotienten-Summen auf dem Gemeindegrundstück zeigen, dass bis 6 m u. GOK das PFAS-Vorkommen im Untergrund in der vertikalen nicht abschließend eingegrenzt ist. Erkennbar ist gleichwohl, dass bis 6 m u. GOK die unter humantoxikologischen Aspekten bestehende Beeinträchtigung des Grundwassers im Vergleich zur Übergangszone von ungesättigter zur gesättigten Bodenzone deutlich abgenommen hat. Aber sie liegt auch hier weiterhin deutlich über dem kritischen Beurteilungswert von 1. Die Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) ist die Hauptkomponente der untersuchten PFAS. In untergeordnetem Umfang wird Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) nachgewiesen. Die Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) wird vorzugsweise in Tiefen > 3 m u. GOK in den Kernbohrungen KB1 und KB2 aus dem Jahr 2017 vorgefunden.

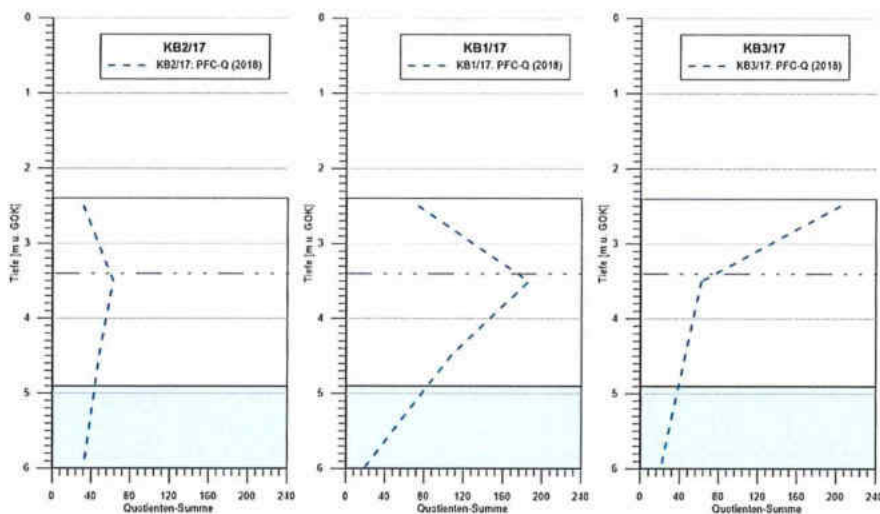


Abbildung 21: Verteilung der Quotienten-Summe über die Tiefe im Eluat von Bodenproben der Kernbohrungen KB1/17, KB2/17 und KB3/17

Die in den Untergrund eingedrungenen PFAS-Verbindungen haben eine schädliche Grundwasserveränderung verursacht. Die räumliche Ausdehnung sowie die Intensität der PFAS-Belastung im Grundwasser sowie deren Zusammensetzung ist in Abbildung 22 zusammengestellt

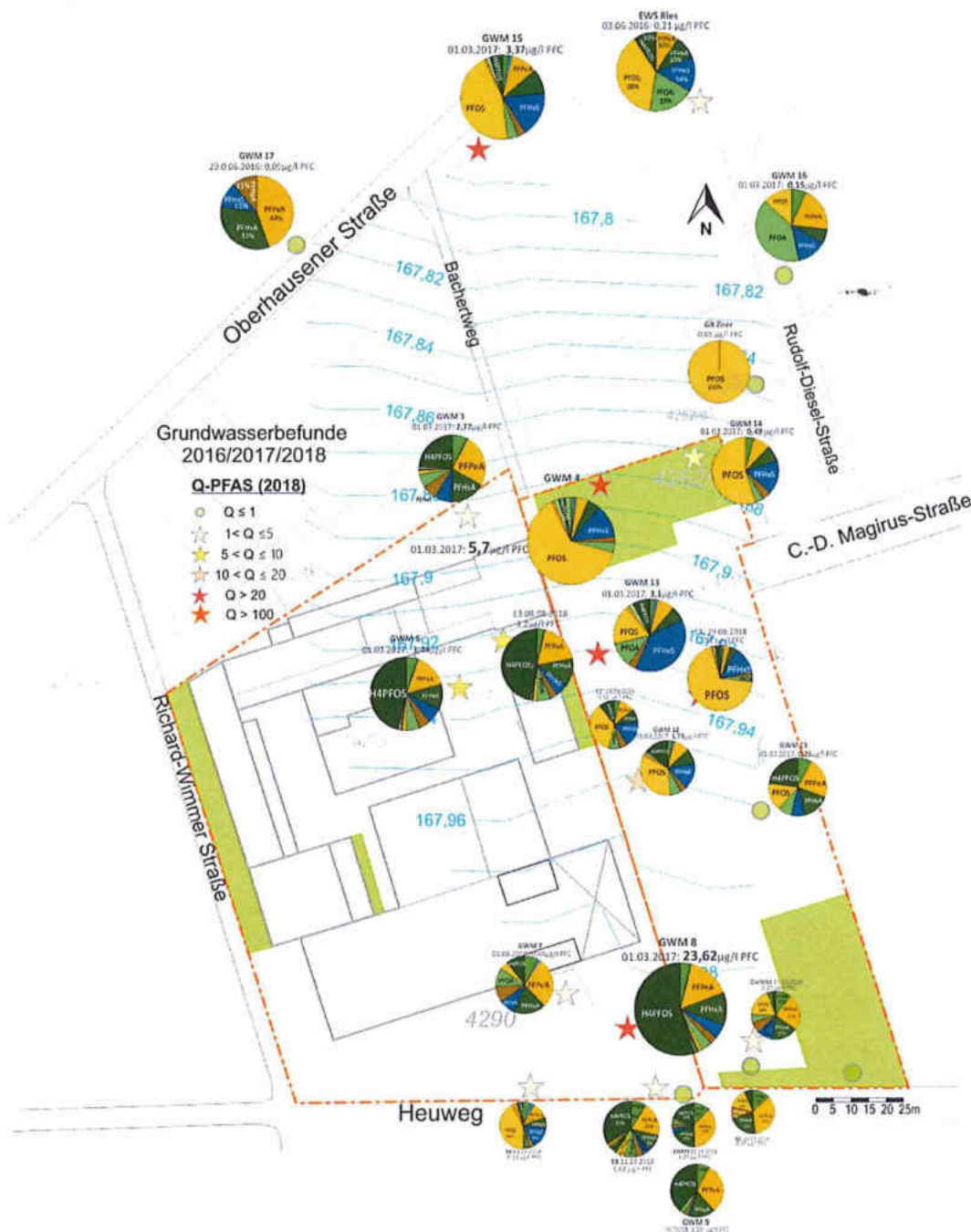


Abbildung 22: Q-PFAS (2018) im Grundwasser im Umfeld des Betriebsstandortes der IVECO beprobt im Jahr 2016 (GWM 16 und GWM 17), 2017 und 2018 (E1, E2, E3, GWM 9) – Stichtagsmessung 21.08.2018

Die Ausdehnung der Schadstofffahne jenseits der Grundstücksgrenze ist in Abbildung 23 dargestellt.

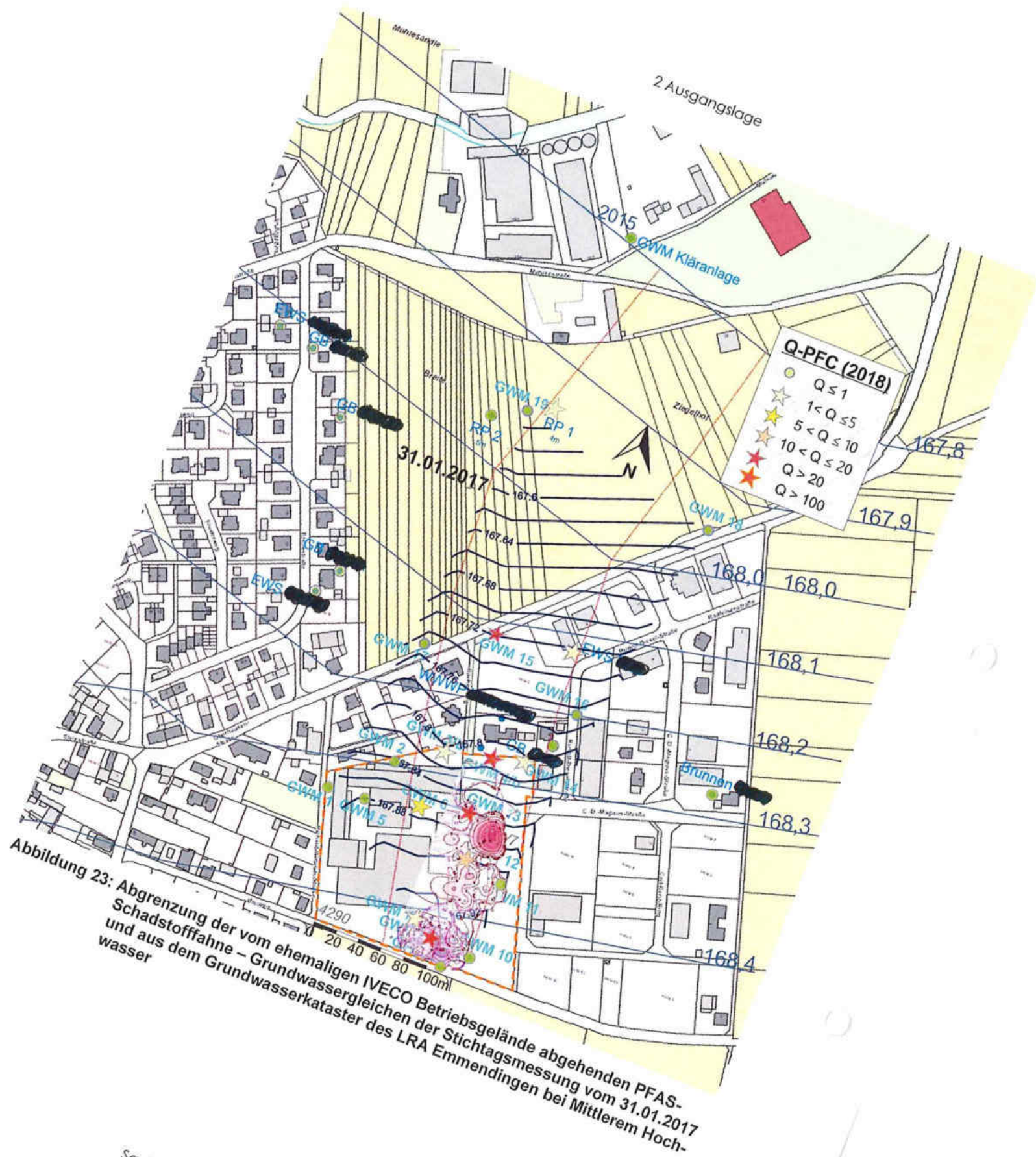


Abbildung 23: Abgrenzung der vom ehemaligen IVECO Betriebsgelände abgehenden PFAS-Schadstofffahne – Grundwassergleichen der Stichtagsmessung vom 31.01.2017 und aus dem Grundwasserkataster des LRA Emmendingen bei Mittlerem Hochwasser



2.2.2 Betroffene Wirkungspfade

2.2.2.1 Boden-Pflanze

Am Standort gibt es keine landwirtschaftliche oder gärtnerische Nutzung – somit liegt keine Gefährdung auf dem Wirkungspfad Boden - Pflanze am Standort vor. In den Grüngutproben von Maispflanzen auf dem südlich angrenzenden Maisfeld sind keine PFAS-Verbindungen nachweisbar.

2.2.2.2 Boden – Luft

Wegen der physikalisch-chemischen Eigenschaften der PFAS ist eine Ausgasung von Schadstoffen aus der Bodenmatrix in die Luft nicht zu besorgen. Die Verlagerung von mit PFAS-beladenem Bodestaub über Winderosion auf die angrenzenden Flächen ist Anbetracht der durch den Klimawandel häufiger sich einstellenden Trocken- und Hitzeperioden grundsätzlich möglich.

2.2.2.3 Boden- Mensch

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch liegen aktuell keine rechtsverbindlichen Grenz- oder Prüfwerte für die Bodenmatrix zur Beurteilung des Wirkungspfades Boden - Mensch vor.

Werden die Grundstücke weiterhin gewerblich genutzt ist eine Gefährdung über den Wirkungspfad Boden-Mensch nicht zu besorgen.

2.2.2.4 Boden-Grundwasser

Die Untersuchungen am Standort haben aufgezeigt, dass das Eluat aus Bodenproben aus dem Übergangsbereich von ungesättigter zur wassergesättigten Zone – dem Ort der Beurteilung - PFAS-Gehalte aufweisen, die den Geringfügigkeitsschwellenwerte überschreiten. Das heißt, am Standort liegt eine schädliche Bodenveränderung vor. Des Weiteren hat die schädliche Bodenveränderung bereits eine schädliche Grundwasserveränderung¹⁸ durch PFAS am Standort verursacht.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse erfordern Maßnahmen zur Gefahrenabwehr für das Schutzgut Grundwasser.

2.2.3 Betroffene Schutzgüter

2.2.3.1 Oberflächengewässer

Ca. 600 m nördlich des Standortes fließt der Mühlbach nach Norden und mündet in den Leopoldskanal. Es liegen keine Hinweise vor, dass die Schutzgüter Mühlbach bzw.

¹⁸ Schädliche Grundwasserveränderungen sind nach § 3Nr. 10 WHG Veränderungen von Gewässereigenschaften, die das Wohl der Allgemeinheit, insbesondere die öffentliche Wasserversorgung beeinträchtigen.

Leopoldskanal durch die schädliche Boden- und Grundwasserveränderung am Standort Heuweg 11 gefährdet sind.

2.2.3.2 Wasserschutzgebiete

An der westlichen Siedlungsgrenze schließt das Wasserschutzgebiet der Klasse III und IIIA an. In der bevorzugten Abstromrichtung nach Nord bis Nord-Nord-West beträgt die Entfernung zum Wasserschutzgebiet Zone III ca. 1.000 m.

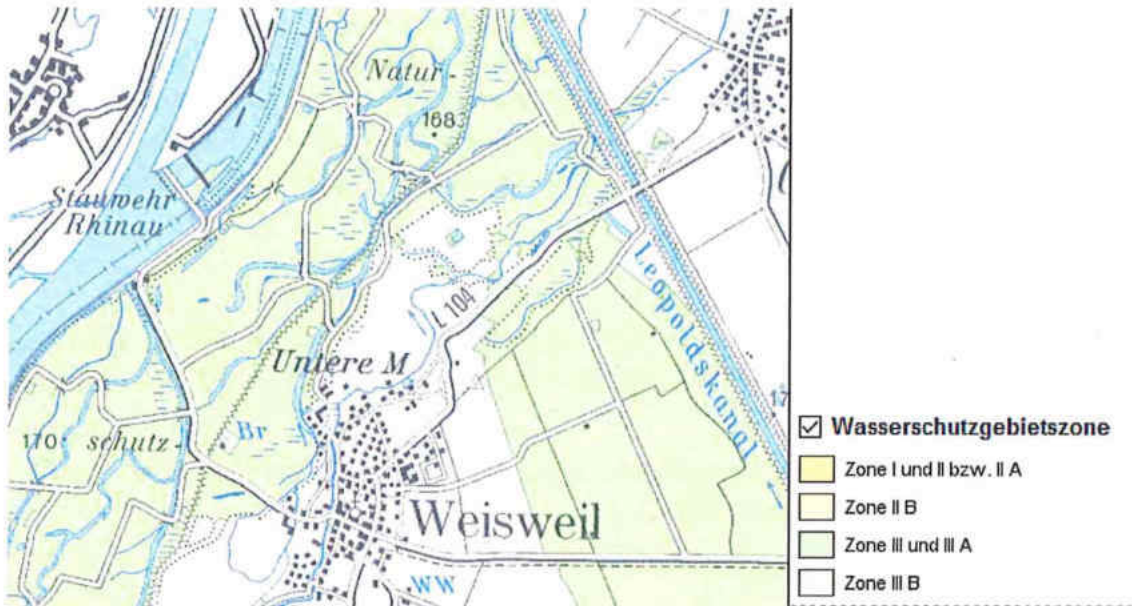


Abbildung 24: Wasserschutzgebiete im Umfeld von Weisweil (Quelle LUBW UDO)

Im Grundwasser der Grundwassermessstelle Kläranlage, die ca. 450 m nördlich der Grundstücksgrenze von Heuweg 11 liegt, war keine schädliche Grundwasserveränderung zu erkennen.

2.2.3.3 Grundwasser

Der Flurabstand schwankt zwischen 2,3 bis 4,8 m u. GOK. Bei mittleren Grundwasserständen beträgt der Flurabstand 3,3 m u. GOK.

Am Standort wird unter einer bis zu 2 m mächtigen bindigen lehmigen Deckschicht die hochdurchlässigen Rheinkiese angetroffen. Anbetracht des geringen Flurabstandes ist in Abhängigkeit von den Umwelteigenschaften der am Standort zum Einsatz gekommenen wassergefährdenden Stoffen bei einem unsachgemäßen Umgang grundsätzlich eine schädliche Grundwasserveränderung zu besorgen. Das Grundwasser am Standort hat durch den Eintrag von PFAS eine schädliche Grundwasserveränderung erfahren.

Im Abstrom vom Standort gibt es 4 Grundwassermessstellen, die der Gartenbewässerung dienen, 1 Wasser-Wasser-Wärmepumpen-Anlage und 3 Erdwärmesonden-Anlagen. Das Land Baden-Württemberg rät grundsätzlich von der Gartenbewässerung mit PFAS



beaufschlagtem Grundwasser ab, wenn das über Gartenbrunnen entnommene Grundwasser PFAS-Gehalte über dem Geringfügigkeitsschwellenwert aufweist. Beim Betrieb von Wasser-Wasser-Wärme-Pumpen wird das geförderte Grundwasser nach dem Entzug der Wärmeenergie über eine Wärmepumpe über einen Schluckbrunnen wieder reinfiltriert. Die Rückführung von Grundwasser, das eine nach dem Wasserecht schädliche Grundwasserveränderung aufweist, ist nach dem Wasserrecht grundsätzlich nicht vorgesehen.

Nördlich des Standortes Heuweg 11 wird im Grundwasserabstrom auf landwirtschaftlich genutzten Flächen Hybridmaissaatgut erzeugt. Aus Luftbildaufnahmen im Umfeld von Weisweil geht hervor, dass diese Ackerflächen auch bewässert werden könnten. Derzeit wird auf den landwirtschaftlichen Flächen nördlich der Oberhausener Straße nach Auskunft des LRA Emmendingen keine Bewässerung vorgenommen. Anbetracht der Prognosen zum Klimawandel ist der zukünftige Bedarf für Bewässerungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen nicht von der Hand zu weisen. Sollte dieser Bedarf eintreten, ist bei der Beregnung der Landwirtschaftsfläche mit Grundwasser aus dem Abstrom des Standortes für den Fall mit einer Schadstoffbeaufschlagung durch PFAS mit einer schädlichen Beeinträchtigung des Bodens sowie der angebauten Pflanzen durch die Anreicherung mit Schadstoffen zu besorgen.

Die Erfahrungen des Vorerntemonitoring im LKR Rastatt haben gezeigt, dass die Körner des Mais zwar nur gering mit PFAS belastet sind. Die grünen Pflanzenteile nehmen dagegen sehr viel PFAS auf. Insbesondere kurzkettige PFAS werden von den Pflanzen bevorzugt aus dem mit PFAS beaufschlagten Beregnungswasser aufgenommen. Diese können sich aufsummieren und zu einer schädlichen Bodenveränderung führen – insbesondere, wenn Anteile der grünen Pflanzenteile auf den Ackerflächen verbleiben.

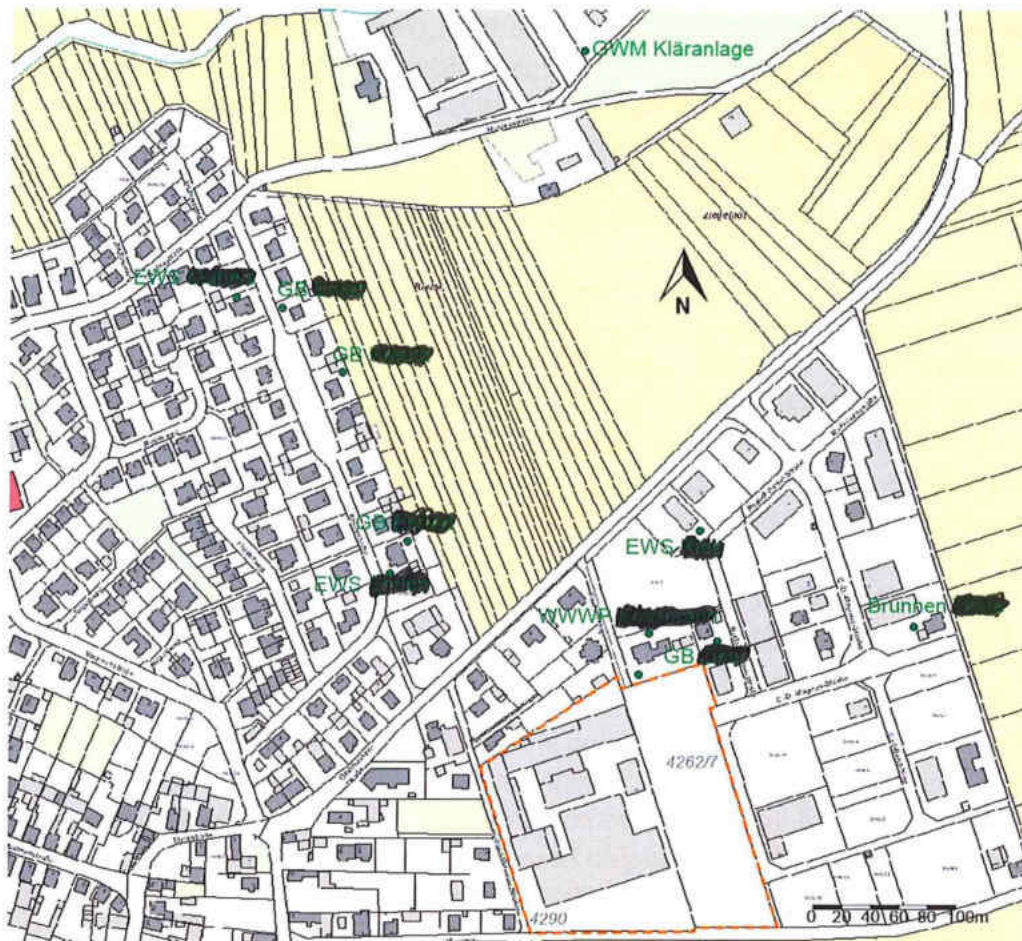


Abbildung 25: Grundwassermessstellen – Gartenbrunnen (GB) oder Wasserwasser-Wärmepumpen (WWWP) – bzw. Erdwärmesonden (EWS) im Abstrom der Flurstücke 4290 und 4262/7

2.2.3.4 Mensch

Anbetracht der angrenzenden Wohnbebauung und der Nutzung von Grundwasser zur Gartenbewässerung im Abstrom des ehemaligen IVECO Standortes besteht für den Menschen grundsätzlich eine Gefährdung durch die Gartennutzung sollte das geförderte Grundwasser für die Gartenbewässerung mit Schadstoffen beaufschlagt sein. Aus den vorliegenden Analysenbefunden geht hervor, dass keine schädliche Grundwasserveränderung durch PFAS im Grundwasser der untersuchten Gartenbrunnen vorliegt.

2.2.3.5 Boden – Pflanze

Auf dem ehemaligen IVECO Standort selbst ist keine gartenbauliche oder landwirtschaftliche Nutzung vorgesehen. Auf dem gewerblich genutzten Areal selbst ist keine Gefährdung über den Wirkungspfad Boden- Pflanze zu besorgen.

Bei Tiefbauarbeiten am Standort ist darauf zu achten, dass die Verlagerung von PFAS-haltigem Boden aus den Baugruben über die Winderosion bis in die angrenzenden Gärten bzw. landwirtschaftlichen Flächen unterbunden wird.



2.3 Sanierungsziele

Am Standort Heuweg 11 in Weisweil geht von im Boden vorliegenden PFAS-Belastungen in der ungesättigten wie in der gesättigten Bodenzone eine unmittelbare konkrete Gefahr für das Grundwasser dahingehend aus, dass das Grundwasser durch den PFAS-Eintrag eine schädliche Grundwasserveränderung erfährt. Das mit PFAS verunreinigte Grundwasser verlässt mit dem Grundwasserabstrom den Standort.

2.3.1 Sanierungsziel Ungesättigte Bodenzone

Die in der ungesättigten Bodenzone vorliegenden Schadstoffgehalte bedingen eine Gefahr für das Schutzgut Grundwasser: Der Austrag von Schadstoffen aus der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser verursacht eine schädliche Grundwasserveränderung.

Mit dem Sanierungsplan „Hydraulische Sicherung“ des Standortes wird der Gefahr der Grundwasserbeeinträchtigung im Abstrom des Standortes begegnet. Die Strategie „Sicherung“ birgt ein erhebliches Kostenrisiko wegen der Unsicherheit der Dauer des Verfahrens. Solange die Quelle des Schadeneintritts nicht beseitigt wird, verursacht die hydraulische Sicherung „Ewigkeitskosten“ für den Sanierungspflichtigen.

Im § 5 Abs.1 BBodSchV wird darauf verwiesen, dass bei der Dekontamination technisch und wirtschaftlich – nach dem Stand der Technik – durchführbare Verfahren anzuwenden sind, die ihre praktische Eignung zur Beseitigung oder Verminderung der Schadstoffe gesichert erscheinen lassen.

Das heißt, dass mit der Maßnahme am Standort der Verunreinigung selbst unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsgebots hinsichtlich materieller und wirtschaftlicher Gesichtspunkte wie auch den davon ausgehenden Umweltauswirkungen eine Verbesserung eintreten muss und gleichzeitig sichergestellt sein muss, dass damit keine Problemverlagerung verbunden ist.

Mit der Auswahl eines geeigneten Sanierungsverfahrens für die ungesättigte Bodenzone ist beabsichtigt, zum einen am Standort selbst eine Gefahrenabwehr für das Schutzgut Boden und Grundwasser zu bewirken und gleichzeitig aber auch sicherzustellen, dass damit die aktuell bestehende Gefährdung nicht an einen anderen Ort verlagert wird.

2.3.2 Sanierungsziel Grundwasser

Die Additionsregel liefert auf der Basis der Emissionsberechnungen für die Immissionspumpversuche eine Quotienten-Summe $Q_{E_{max}}$ von 1,25 – ohne die Berücksichtigung von H4PFOS. Die Emissionsberechnung anhand des hydrogeologischen Arbeitsblattes auf der Höhe der nördlichen Grundstücksgrenze liefert eine Quotienten-Summe $Q_{E_{max}}$ 2,76 ohne die Berücksichtigung von H4PFOS.

Der Beurteilungswert 1 wird in beiden Emissionsberechnung überschritten.



Da das Schadstoffinventar Verbindungen enthält, die entweder der POP Klasse nach der Stockholmkonvention angehört (PFOS) oder nach REACH als besonders besorgniserregende Stoffe (PBT¹⁹ und vBvT²⁰) identifiziert sind bzw. auf der Vorschlagsliste für die Kandidatenliste der PBT-Stoffe aufgeführt sind, ist das Ziel, die Präsenz dieser Stoffe in der Umwelt soweit wie technisch möglich zu reduzieren.

Entsprechend §4 BBodSchG besteht bei einer schädlichen Bodenveränderung die Pflicht zur Gefahrenabwehr. Eine durch eine schädliche Bodenveränderung verursachte Verunreinigung von Gewässern – dazu zählt auch das Grundwasser – ist so zu sanieren, dass dauerhaft keine Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den Einzelnen oder der Allgemeinheit entstehen.

Bezüglich des Mediums Boden ist mit geeigneten Sanierungsverfahren sicherzustellen, dass langfristig eine weitere Ausbreitung von Schadstoffen verhindert wird. Als Sanierungsverfahren sind sowohl Dekontaminations- wie auch Sicherungsmaßnahmen zulässig.

Die eingetreten schädliche Grundwasserveränderung sind nach Maßgabe des Wasserrechtes zu behandeln.

Grundsätzliche Bewirtschaftungsziele sind in § 47 Wasserhaushaltsgesetz aufgeführt, wonach das Grundwasser so zu bewirtschaften ist, dass

1. eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustandes vermieden wird,
2. alle signifikanten und anhaltenden Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umgekehrt werden;
3. ein guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird.

Die Grundwasserverordnung regelt in § 13 die Maßnahmen zur Verhinderung oder Begrenzung von Schadstoffeinträgen in das Grundwasser. Danach dürfen in das Grundwasser keine Einträge von gefährlichen Stoffen im Sinne des Anhangs VII in das Grundwasser zugelassen werden, sofern diese nicht in so geringen Mengen und Konzentrationen erfolgen, dass die Gefahr einer Verschlechterung der Qualität des aufnehmenden Grundwassers für die Gegenwart und Zukunft ausgeschlossen werden kann.

In der Liste der gefährlichen Schadstoffe und Schadstoffgruppen des Anhangs VII der Grundwasserverordnung werden

- *Organohalogene Verbindungen und Stoffe, die im Wasser derartige Verbindungen bilden können*

¹⁹ PBT: persistente (P) bioakkumulierende (B) toxische (T) Stoffe

²⁰ vPvB-Stoffe: very (sehr) persistente und very (sehr) bioakkumulierende Stoffe



- *Persistente Kohlenwasserstoffe sowie persistente bioakkumulierende organische toxische Stoffe*

aufgeführt. Die am Standort nachgewiesenen PFAS Verbindungen gehören diesen Stoffgruppen an.

Nach § 82 WHG zählen die in Artikel 11 Absatz 3 der Richtlinie 2000/60EG aufgeführten Maßnahmen, die eine effiziente und nachhaltige Wassernutzung fördern, um nicht die Verwirklichung der in Artikel 4 der Richtlinie genannten Ziele zu gefährden. Das Umweltziel für Grundwasser sieht im Artikel 4 iii) vor, dass erforderliche Maßnahmen durchgeführt werden, um alle signifikanten und anhaltenden Trends einer Steigerung der Konzentration von Schadstoffen aufgrund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten umzukehren und so die Verschmutzung des Grundwassers schrittweise zu reduzieren.

Aus diesen gesetzlichen Vorgaben leiten sich die grundsätzlichen allgemeinen Sanierungsziele für die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen ab:

- Langfristige Unterbindung der weiteren Ausbreitung von Schadstoffen aus dem Boden in das Grundwasser
- Trendumkehr für die Schadstoffkonzentration im Grundwasser

Für den ehemaligen IVECO Betriebsstandort Heuweg 11 in Weisweil leiten sich folgende konkrete Sanierungsziel ab:

1. Sanierungsziel: Minderung der PFAS-Freisetzung aus der Bodenmatrix über das Sickerwasser in den Grundwasserkörper
2. Sanierungsziel: Minderung der PFAS-Konzentration im Grundwasser auf dem Standort soweit, dass an der nördlichen Grundstücksgrenze die Geringfügigkeitsschwelle, das heißt die Quotienten-Summe nach der Additionsregel für den der E_{\max} -Wert tiefengemittelt ≤ 1 ausfällt. (Emissionsbegrenzung)
3. Sanierungsziel: Reduzierung des PFAS Austrages über das abströmende Grundwasser an der nördlichen Grundstücksgrenze bis auf das Geringfügigkeitsschwellenwertniveau für die Quotienten-Summe ≤ 1 (Immissionsbegrenzung)
4. Sanierungsziel: Nachweis der Trendumkehr auf der Höhe der nördlichen Grundstücksgrenze auf der Kontrollebene GWM 3, GWM 4 und GWM 14 nach den in der GrwV Anlage 6 festgelegten Nachweisverfahren.

2.4 Getroffene behördliche Entscheidungen

Am 13.08.2018 wurde bei der Bewertungskommissionssitzung auf dem Beweismiveau 4 der Handlungsbedarf Sanierung festgehalten. Es sind 2 Sanierungspläne zu erarbeiten: für die hydraulische Sicherung / Sanierung und für die ungesättigte Bodenzone. Nach der



Vorlage des Sanierungsplanes „Hydraulische Sicherung“ am 28.04.2019 und dem Entscheid des LRA Emmendingen vom 31.10.2019 ist am 21.04.2020 die Maßnahme „Hydraulische Sicherung“ gestartet.

Der Entscheid des LRA Emmendingen vom 31.10.2019 enthält unter Punkt 1.4 die Anordnung zur Vorlage eines Sanierungsplanes für Erdaushubmaßnahmen, der bis zum 30.06.2020 vorzulegen ist.

3 Ausweisung der horizontalen Ausdehnung der Hot-Spot-Areale

Innerhalb der Schadensareale auf den Grundstücken 4290 und 4262/7 ist der Boden innerhalb der ungesättigten Bodenzone mit PFAS beaufschlagt, die über das Sickerwasser am Ort der Beurteilung auf dem Niveau des mittleren Grundwasserhöchststandes eine schädliche Grundwasserveränderung verursachen.

Der Eintrag von Feuerlöschschaumprodukten bewirkt, dass auch nicht nachweisbare Precursor PFAS-Verbindungen verstärkt in der ungesättigten Bodenzone retardiert werden und damit hier vermehrt vorliegen können.^{21 22} Dadurch werden zeitverzögert aber anhaltend, mitunter hohe Konzentrationen von Perfluoralkansäuren und Perfluoralkansulfonsäuren freigesetzt, die wegen ihrer größeren Mobilität über das Sickerwasser in die gesättigte Bodenzone gelangen. Diese Precursor-Verbindungen werden regelmäßig mit den für die Analytik herangezogenen 24-PFAS-Verbindungen nicht miterfasst. Folglich unterschätzt die Hochrechnung der Schadstoffgehalte in der Bodenmatrix allein anhand der 24-PFAS-Gehalte im Eluat das tatsächliche Schadstoffpotential unter Umständen erheblich.

Eine Massenbilanzierung ist für den Parameter PFC stets mit erheblichen Unsicherheiten verknüpft. Wegen den ausgeprägten hohen Unsicherheiten bei der Ermittlung des Schadstoffpotentials in der Bodenmatrix wird darauf verzichtet.

Stattdessen wird ein anderer Weg für die Abgrenzung von sanierungsbedürftigem Boden gewählt. Anbetracht der vorgesehenen hydraulischen Sicherung / Sanierung wird der Fokus auf den Bodenaushub im Bereich der Hot-Spot-Areale innerhalb der ungesättigten Bodenzone gelegt. Da die Precursor einer stärkeren Sorption an den Boden unterliegen als die Perfluoralkancarbon- und sulfonsäuren wird hier deren Schwerpunkt erwartet. Anhand der Quotienten-Summe nach der Additionsregel GFS+GOW-PFC-Q (2018) größer

²¹ Die in AFFF enthaltenen PFAS bestehen zu 41- 100% aus Precursor. An Feuerlösch-Übungsflächen wurde auch mehr als 20 Jahre nach Ende der Übungen noch erhebliche Gehalte an Precursor nachgewiesen. Quelle: Houtz,E.F., et.al. 2013 Persistence of perfluoralkyl acid precursors in AFFF-impacted groundwater and Soil Environ. Sci.Technol. 47, 8187 - 8195

²² An Standorten mit Feuerlöschschäumen als Schadensursache werden Precursor im Grundwasser in höheren Konzentrationen nachgewiesen. LABO (Hrsg.) 2016: Boden- und Grundwasserkontaminationen mit PFC bei alllastverdächtigen Flächen und nach Löschmitteleinsätzen



10 wird das Hot-Spot-Areal horizontal abgegrenzt. Der Parameter Gesundheitlicher Orientierungswert - GOW - wird deshalb mitherangezogen, weil ansonsten im Bereich des Testfeldes die Bodenbelastung mit H4PFOS - einer der Haupt-PFC-Verunreinigung – aber auch das stellenweise auftretende PFOSA – als Precursor von PFOS - nicht miteinbezogen wird. Dies ist eine auf den Einzelfall – sprich auf diesen Standort - zugeschnittene Herangehensweise. Mit diesem Kriterium werden am Standort sowohl die Hot-Spot-Areale mit PFC-Belastungen bis 1 m u. GOK wie auch die Areale erfasst, deren PFC-Belastungsschwerpunkt in größerer Tiefe bis zur Lößsohle haben. Das heißt, mit dieser Strategie ist nicht vorgesehen, eine vollständige Dekontamination der ungesättigten Bodenzone bis zum Geringfügigkeitsschwellenwert im Bodeneluat zu realisieren.

Die Abbildung 26 zeigt die Ausdehnung der Fläche mit dem Merkmal Quotienten-Summe GFS+GOW-PFC-Q (2018) größer 10 im Eluat der untersuchten Bodenproben bis zur Sohle der Lößablagerung. Durch die Auskofferung dieser Areale bis zur Lößsohlentiefe soll die Voraussetzung geschaffen werden, dass die Dauer der hydraulischen Sanierung zeitlich endlich ist.

Auf dieser Basis werden die erforderlichen Kubaturen für den Bodenaushub für das Areal Testfeld auf dem Flurstück 4290 und auf dem Gemeindeflurstück 4262/7 hochgerechnet.



3 Ausweisung der horizontalen Ausdehnung der Hot-Spot-Areale

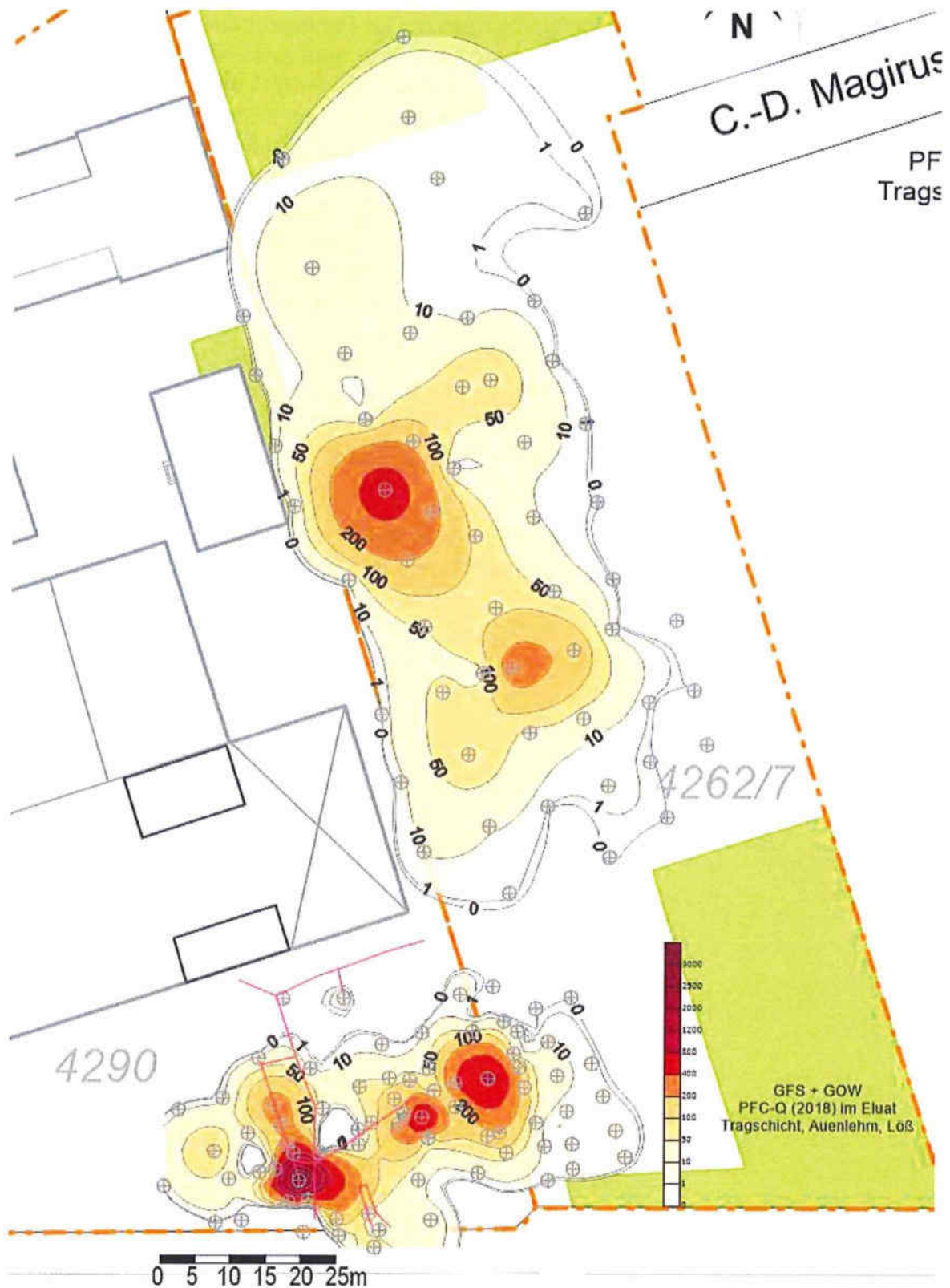


Abbildung 26: Ausdehnung der Hot-Spot-Areale abgegrenzt anhand des Merkmals GFS+GOW PFC-Q (2018) ≥ 10

Sanierungsplan Bodenaushub zum Standort
Heuweg 11 in 76367 Weisweil

3.1.1 Flurstück 4290 - Testfeld

Die Hot-Spot-Areale im Bereich des Testfeldes zeigt die Abbildung 27. In den Bereichen mit Quotienten-Summe > 10 ist der ungesättigte Bodenabschnitt auszukoffern.

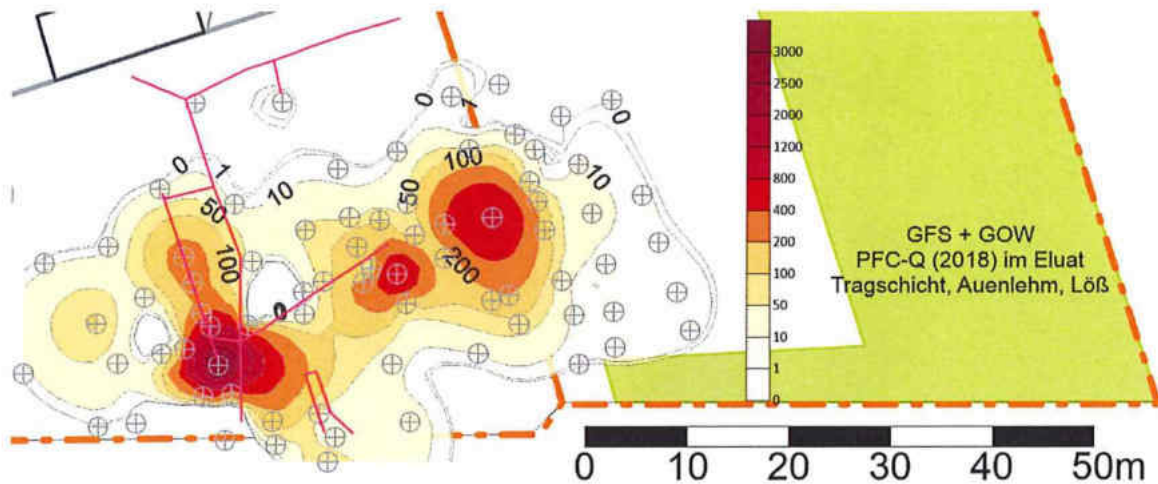


Abbildung 27: Ausweisung der Hot-Spot-Areale in der ungesättigten Bodenzone (Tragschicht, Auenlehm, Löß) bis Oberkante Rheinkiesablagerungen anhand der Quotienten-Summe GFS+GOW PFC-Q (2018)

Es ist vorgesehen im Bereich der Hot-Spot-Areale den Boden bis zu den anstehenden Rheinkiesablagerungen auszukoffern. Die Tiefenlage der dabei entstehenden Baugrubensohle orientiert sich an der Oberkante der Rheinkiesablagerungen. Anhand der vorliegenden Profile der Rammkernsondierungen wird deren Tiefenlage auf dem betreffenden Areal in der Abbildung 28 grafisch dargestellt.

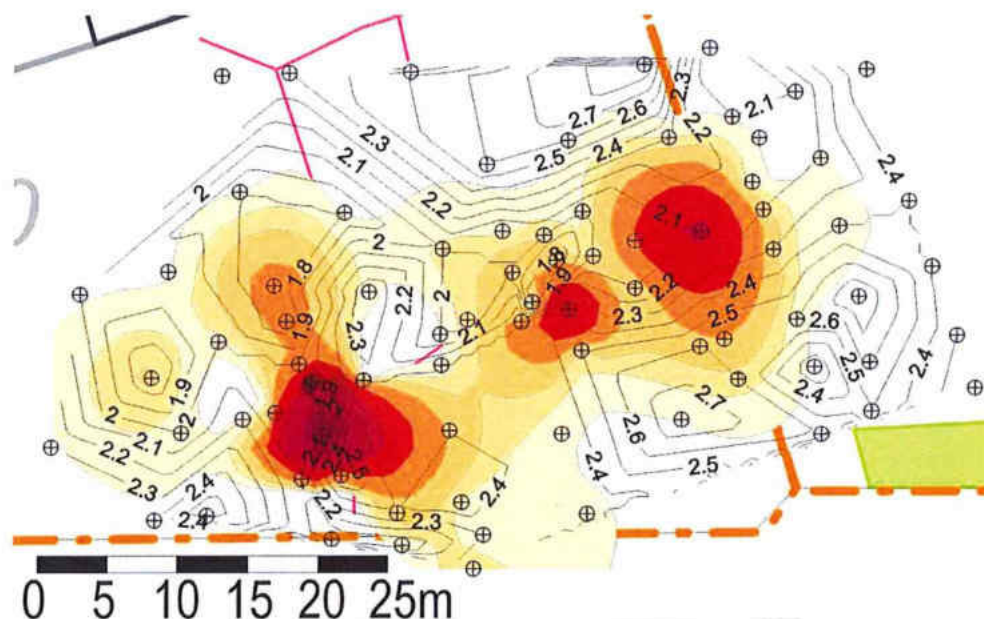


Abbildung 28: Aushubtiefe bis zu den obersten Rheinkiesablagerungen im Bereich des Testfeldes



3.1.1.1 Hochrechnung der Kubatur

Mit dieser Datengrundlage werden die erforderlichen Kubaturen für den Bodenaushub hochgerechnet. Dazu wird ein 10 x 10 m Raster auf die Fläche verlegt und die mittlere Tiefe des erforderlichen Aushubs für jeden Quadranten ermittelt.

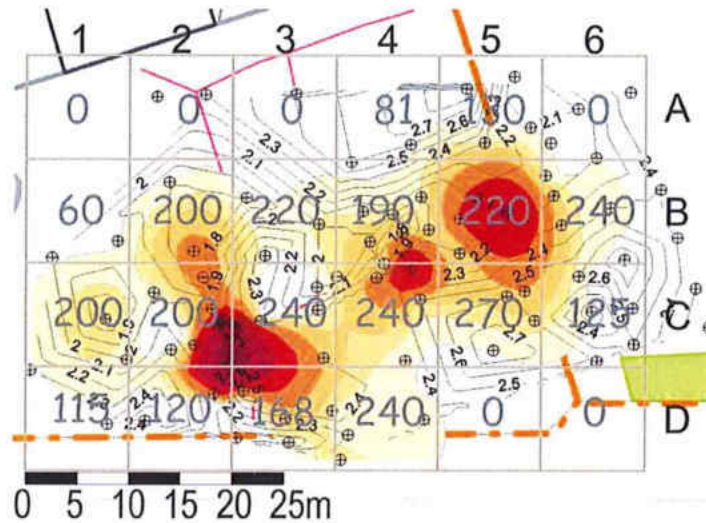


Abbildung 29: Ermittlung des Aushubvolumens [m³] auf dem Testfeldareal (Flurstück 4290)

Quadrant	Tiefe m	Anteil	Fläche m²	Kubatur m³
A1	0	0	0	0
A2	0	0	0	0
A3	0	0	0	0
A4	2,7	0,33	33	89
A5	2,6	0,5	50	130
A6	0	1	100	0
B1	2	0,33	33	66
B2	2	1	100	200
B3	2,2	1	100	220
B4	1,9	1	100	190
B5	2,2	1	100	220
B6	2,4	1	100	240
C1	2	1	100	200
C2	2	1	100	200
C3	2,4	1	100	240
C4	2,4	1	100	240
C5	2,7	1	100	270
C6	2,5	0,5	50	125
D1	2,3	0,5	50	115
D2	2,4	0,5	50	120
D3	2,4	0,7	70	168
D4	2,4	1	100	240
D5	0	0	0	0
D6	0	0	0	0
Summe			1.536	3.273

Tabelle 2: Berechnung der Netto-Aushubfläche und Netto-Aushubvolumens für das Areal Testfeld auf dem Flurstück 4290



Auf dieser Datengrundlage ist für die Dekontamination im Bereich des Testfeldes bei einer Fläche von ca. 1.550 m² von einem netto Aushubvolumen von mindestens 3.300 m³ auszugehen. Dazu addiert sich der durch die Anböschung der Baugrubenwände notwendige Mehraushub. Dieser wird in erster Näherung mit 20% Zuschlag auf das netto Aushubvolumen einkalkuliert. Es fallen damit ca. 4000 m³ Erdaushub an.

Es gibt derzeit keine einheitliche Regelung für die zulässigen PFAS-Gehalte im Boden für die Deponierung. (siehe Abschnitt 4.2) Das heißt die Deponiebetreiber haben eigene Annahmekriterien.

Für das Annahmekriterium nach der Bayern-Liste mit den PFAS-Summen-Schwellenwerten < 1 µg/l bzw. < 10 µg/l PFAS (Bayern-Liste) zeigt Abbildung 30 die Häufigkeitsverteilung innerhalb des Hot-Spot-Areals des Testfeldes. Danach erfüllen von 42 In-situ-Proben innerhalb des im Testfeld ausgewiesenen Hot-Spotareals 2,4% das Annahmekriterium < 1 µg/l PFAS (Bayern-Liste) und 64,3 % < 10 µg/l PFAS (Bayern-Liste).

Die im Leitfaden zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden (April 2017) genannten Schwellenwerte < 50µg/l für DK I bzw. < 100 µg/l für DK II erfüllen 93% der in-situ-Bodenproben. Allerdings gibt es keinen der in Bayern oder anderen Bundesländern angefragten Deponiebetreiber, der PFAS-haltigen Boden mit PFAS-Gehalten in dieser Größenordnung annehmen würde.

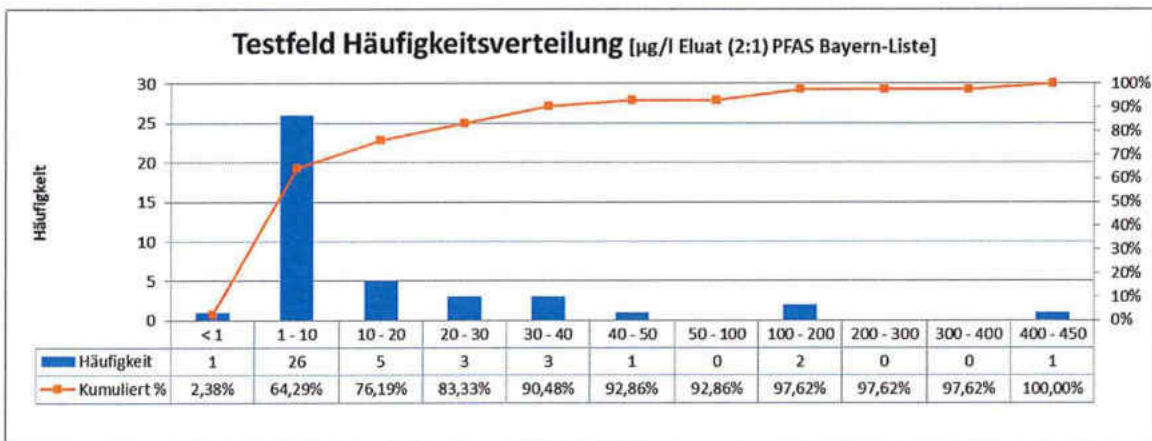


Abbildung 30: Häufigkeitsverteilung der PFAS-Gehalte in in-situ-Bodenproben als PFAS-Summenwert nach der Bayern-Liste



3 Ausweisung der horizontalen Ausdehnung der Hot-Spot-Areale

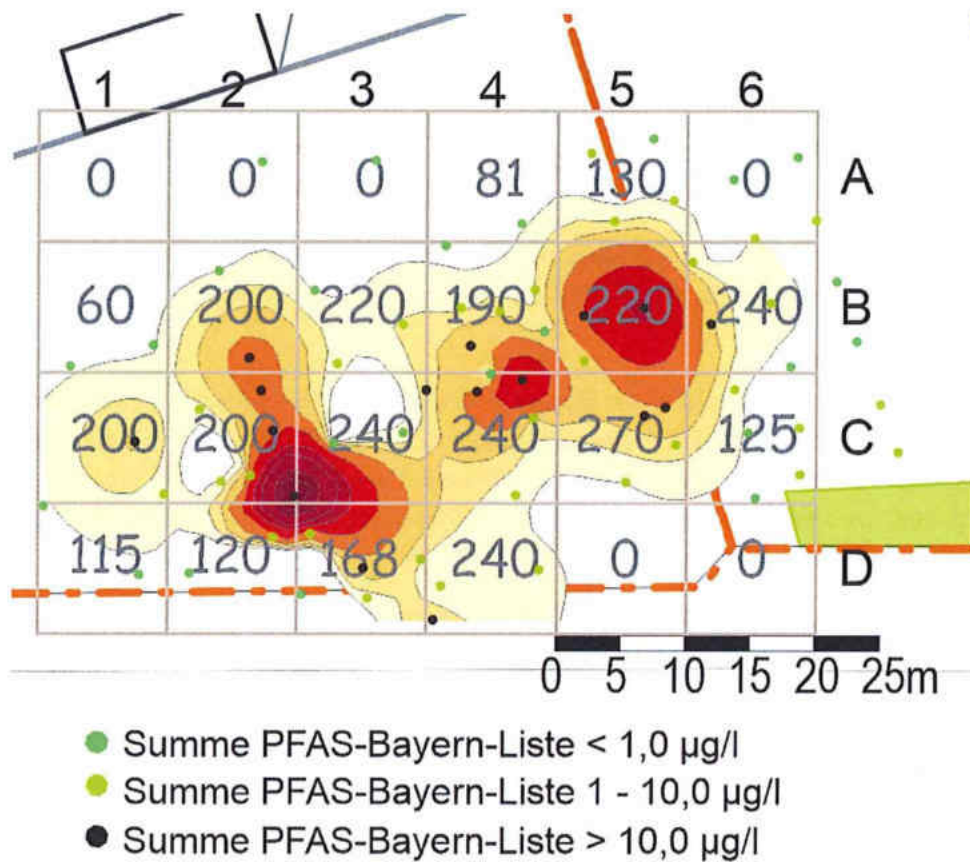


Abbildung 31: Räumliche Verteilung der klassifizierten PFAS-Gehalte nach der Bayern-Liste im Hot-Spotbereich des Testfeldes

3.1.2 Gemeinde-Flurstück 4262/7

Die Hot-Spot-Areale im Bereich des Testfeldes zeigt die Abbildung 32. In den Bereichen mit Quotienten-Summe > 10 ist der ungesättigte Bodenabschnitt auszukoffern.

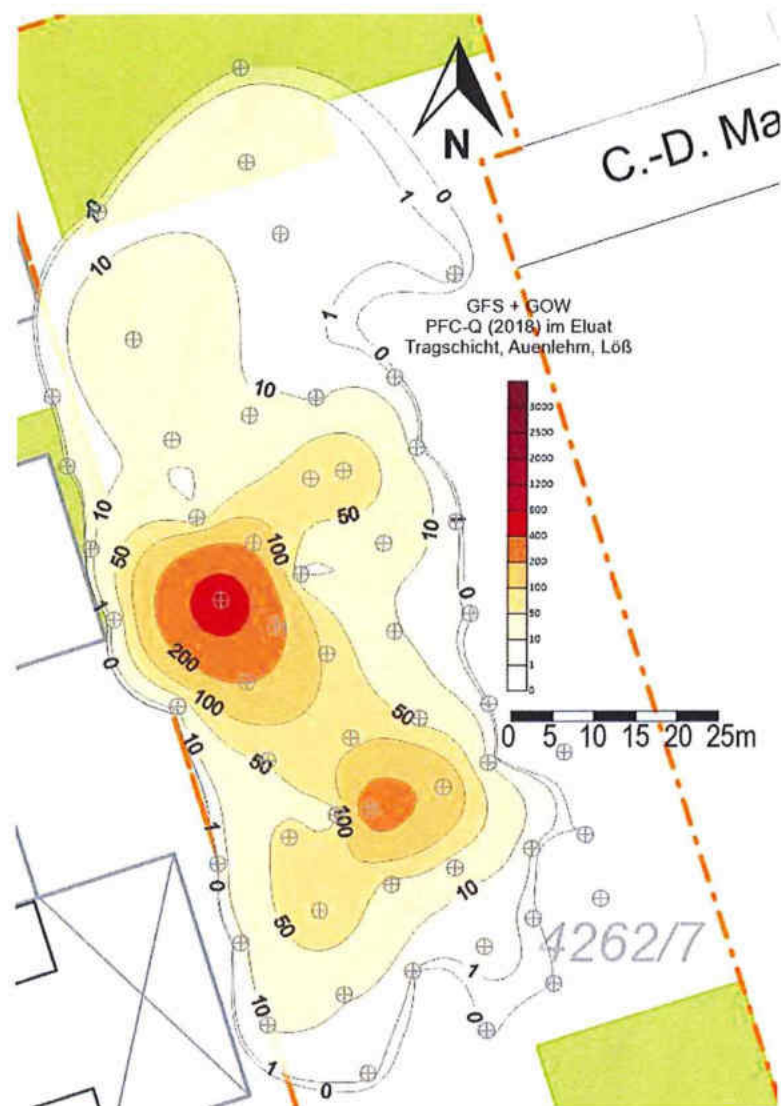


Abbildung 32: Ausweisung der Hot-Spot-Areale auf dem Flurstück 4262/7 in der ungesättigten Bodenzone (Tragschicht, Auenlehm, Löß) bis Oberkante Rheinkiesablagerungen anhand der Quotienten-Summe GFS+GOW PFC-Q (2018)

Es ist vorgesehen im Bereich der Hot-Spot-Areale den Boden bis zu den anstehenden Rheinkiesablagerungen auszukoffern. Die Tiefenlage der dabei entstehenden Baugrubensohle orientiert sich an der Oberkante der Rheinkiesablagerungen. Anhand der vorliegenden Profile der Rammkernsondierungen wird deren Tiefenlage auf dem betreffenden Areal in der Abbildung 33 grafisch dargestellt.

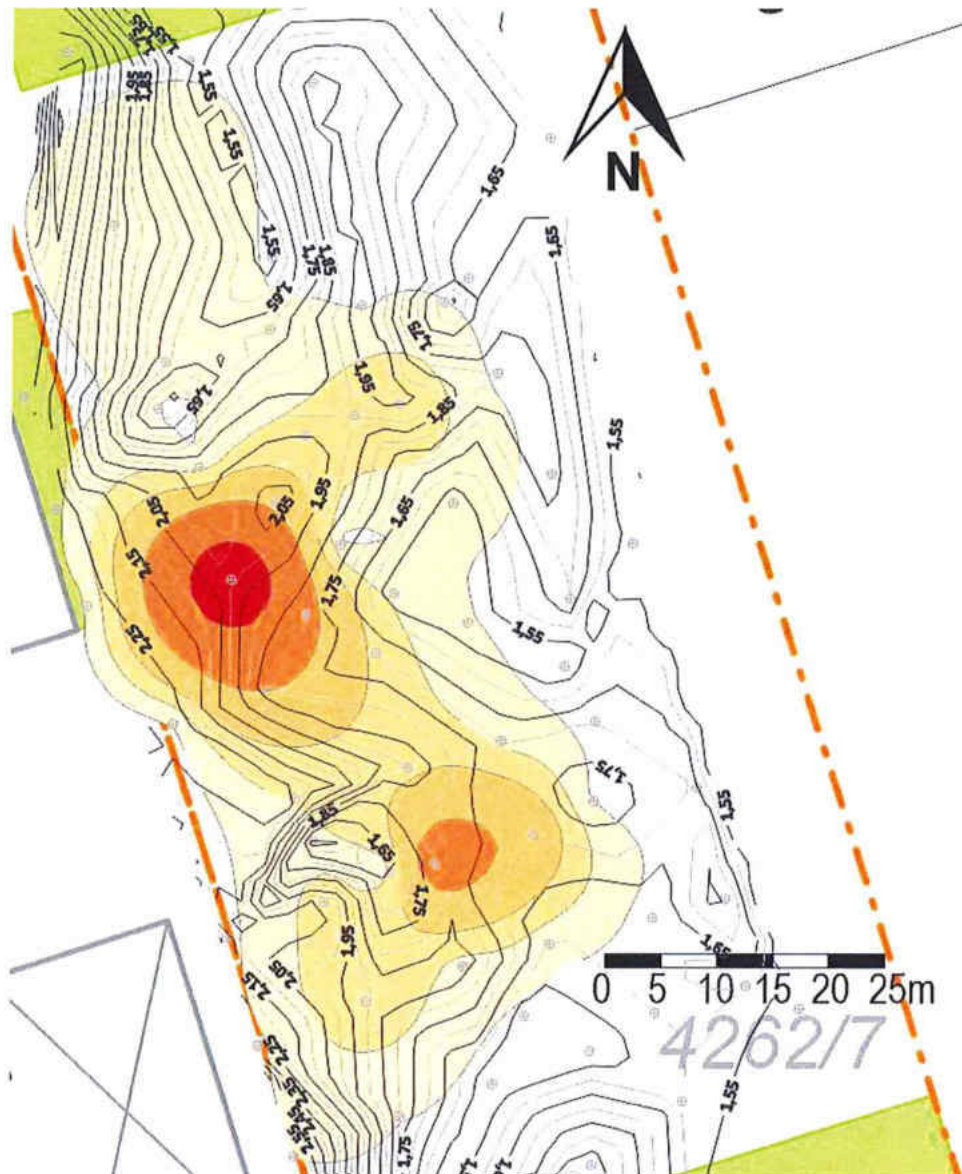


Abbildung 33: Aushubtiefe bis zu den obersten Rheinkiesablagerungen im Hot-Spot-Areal auf dem Gemeinde-Flurstück 4262

Mit dieser Datengrundlage werden die erforderlichen Kubaturen für den Bodenaushub hochgerechnet. Dazu wird ein 10 x 10 m Raster auf die Fläche verlegt und die mittlere Tiefe des erforderlichen Aushubs für jeden Quadranten ermittelt.

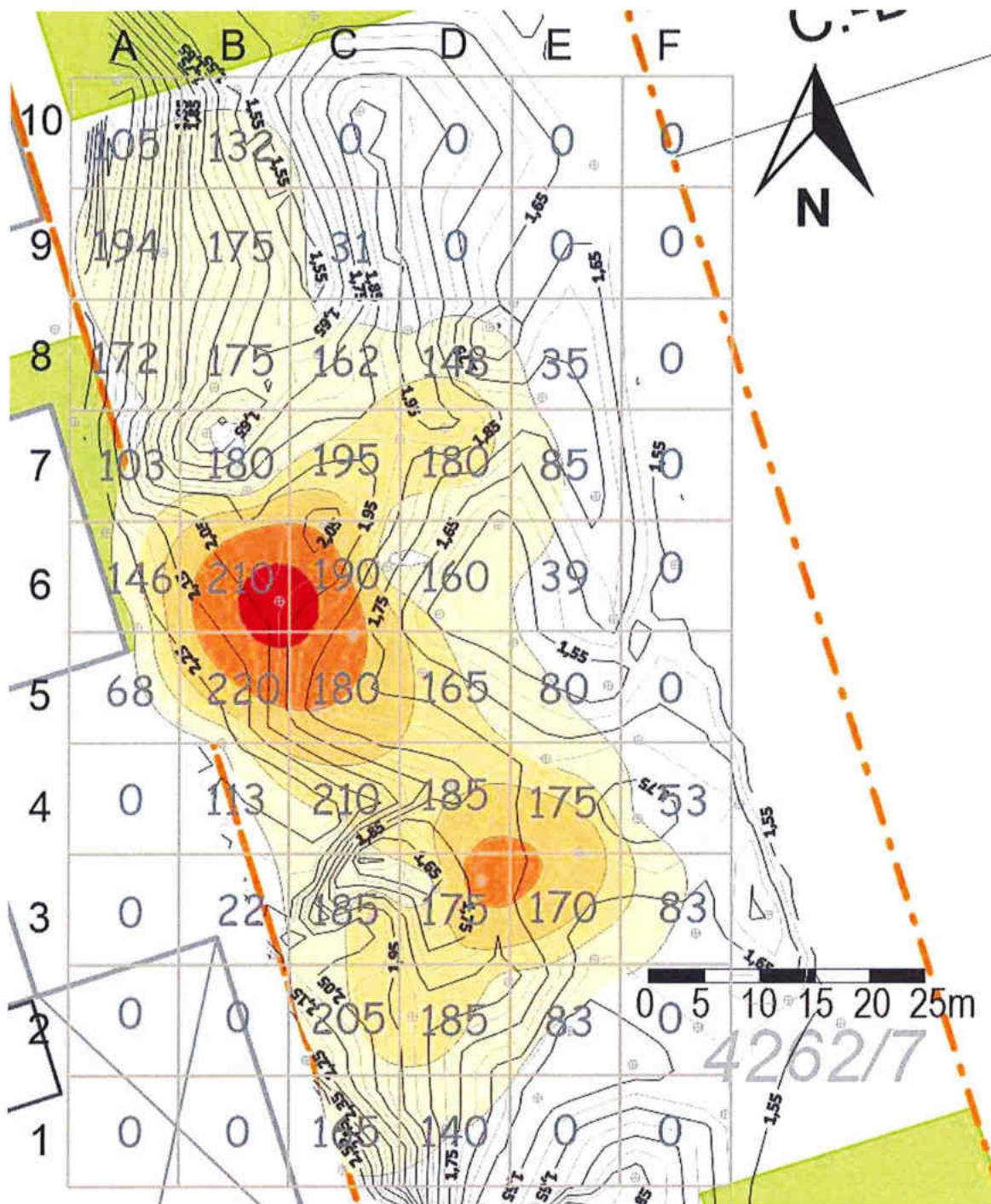


Abbildung 34: Ermittlung des Aushubvolumens [m³] auf dem Gemeinde-Flurstück 4262/7



3 Ausweisung der horizontalen Ausdehnung der Hot-Spot-Areale

Quadrant	Tiefe m	Anteil	Fläche m ²	Kubatur m ³
A1		0	0	0
A2		0	0	0
A3		0	0	0
A4		0	0	0
A5	2,25	0,3	30	68
A6	2,25	0,65	65	146
A7	2,05	0,5	50	103
A8	2,15	0,8	80	172
A9	2,15	0,9	90	194
A10	2,1	0,5	50	105
B1		0	0	0
B2		0	0	0
B3	2,15	0,1	10	22
B4	2,25	0,5	50	113
B5	2,2	1	100	220
B6	2,1	1	100	210
B7	1,8	1	100	180
B8	1,75	1	100	175
B9	1,75	1	100	175
B10	1,65	0,8	80	132
C1	2,35	0,7	70	165
C2	2,05	1	100	205
C3	1,85	1	100	185
C4	2,1	1	100	210
C5	1,8	1	100	180
C6	1,9	1	100	190
C7	1,95	1	100	195
C8	1,8	0,9	90	162
C9	1,55	0,2	20	31
C10		0	0	0
D1	1,75	0,8	80	140
D2	1,85	1	100	185
D3	1,75	1	100	175
D4	1,85	1	100	185
D5	1,65	1	100	165
D6	1,6	1	100	160
D7	1,8	1	100	180
D8	1,85	0,8	80	148
D9		0	0	0
D10		0	0	0
E1		0	0	0
E2	1,65	0,5	50	83
E3	1,7	1	100	170
E4	1,75	1	100	175
E5	1,6	0,5	50	80
E6	1,55	0,25	25	39
E7	1,7	0,5	50	85
E8	1,75	0,2	20	35
E9		0	0	0
E10		0	0	0
F1		0	0	0
F2		0	0	0
F3	1,65	0,5	50	83
F4	1,75	0,3	30	53
F5		0	0	0
F6		0	0	0
F7		0	0	0
F8		0	0	0
F9		0	0	0
F10		0	0	0
Summe			3.020	5.675

Tabelle 3: Berechnung der Netto-Aushubfläche und Netto-Aushubvolumens auf dem Gemeinde Flurstück 4262/7

Sanierungsplan Bodenaushub zum Standort
Heuweg 11 in 76367 Weisweil



Auf dieser Datengrundlage ist für die Dekontamination auf dem Gemeinde-Flurstück bei einer Fläche von ca. 3.000 m² von einem netto Aushubvolumen von mindestens 5.700 m³ auszugehen. Dazu addiert sich der durch die Anböschung der Baugrubenwände notwendige Mehraushub. Dieser wird in erster Näherung mit 20% Zuschlag auf das netto Aushubvolumen einkalkuliert. Damit fallen ca. 7000 m³ Erdaushub an.

Es gibt derzeit keine einheitliche Regelung für die zulässigen PFAS-Gehalte im Boden für die Deponierung. (siehe Abschnitt 4.2) Das heißt die Deponiebetreiber haben eigene Annahmekriterien.

Für das Annahmekriterium nach der Bayern-Liste mit den PFAS-Summen-Schwellenwerten < 1 µg/l bzw. < 10 µg/l PFAS (Bayern-Liste) zeigt Abbildung 35 die Häufigkeitsverteilung innerhalb des Hot-Spot-Areals des Testfeldes. Danach erfüllen von 28 In-situ-Proben innerhalb des auf der Gemeindefläche ausgewiesenen Hot-Spotareals 21,4% das Annahmekriterium < 1 µg/l PFAS (Bayern-Liste) und 82,1 % < 10 µg/l PFAS (Bayern-Liste).

Die im Leitfaden zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden (April 2017) genannten Schwellenwerte < 50 µg/l für DK I bzw. < 100 µg/l für DK II erfüllen 100% der in-situ-Bodenproben. Allerdings gibt es keinen der in Bayern oder anderen Bundesländern angefragten Deponiebetreiber, der PFAS-haltigen Boden mit PFAS-Gehalten in dieser Größenordnung annehmen würde.

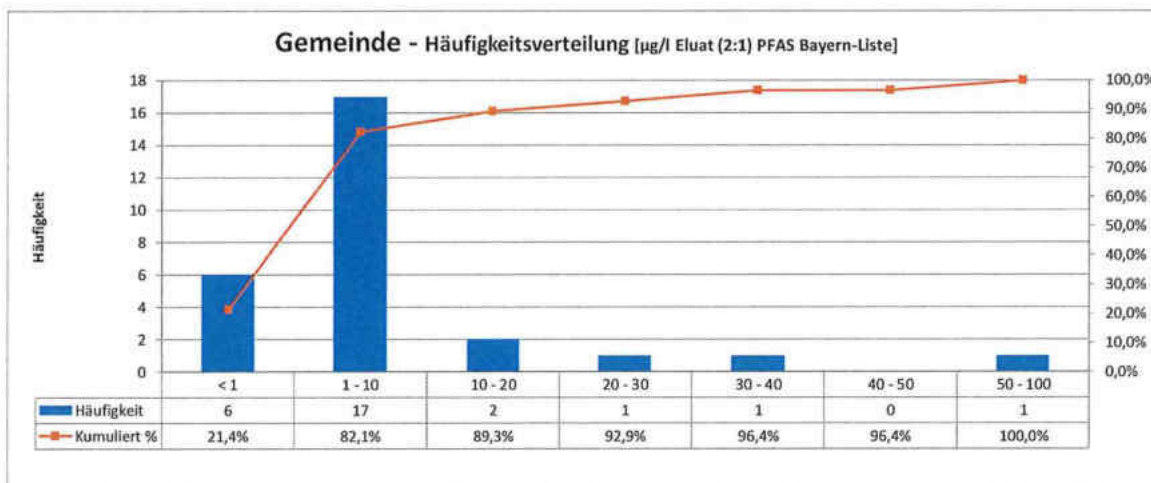


Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der PFAS-Gehalte in in-situ-Bodenproben im Hot-Spot Areal der Gemeindefläche (4262/7) als PFAS-Summenwert nach der Bayern-Liste



3 Ausweisung der horizontalen Ausdehnung der Hot-Spot-Areale

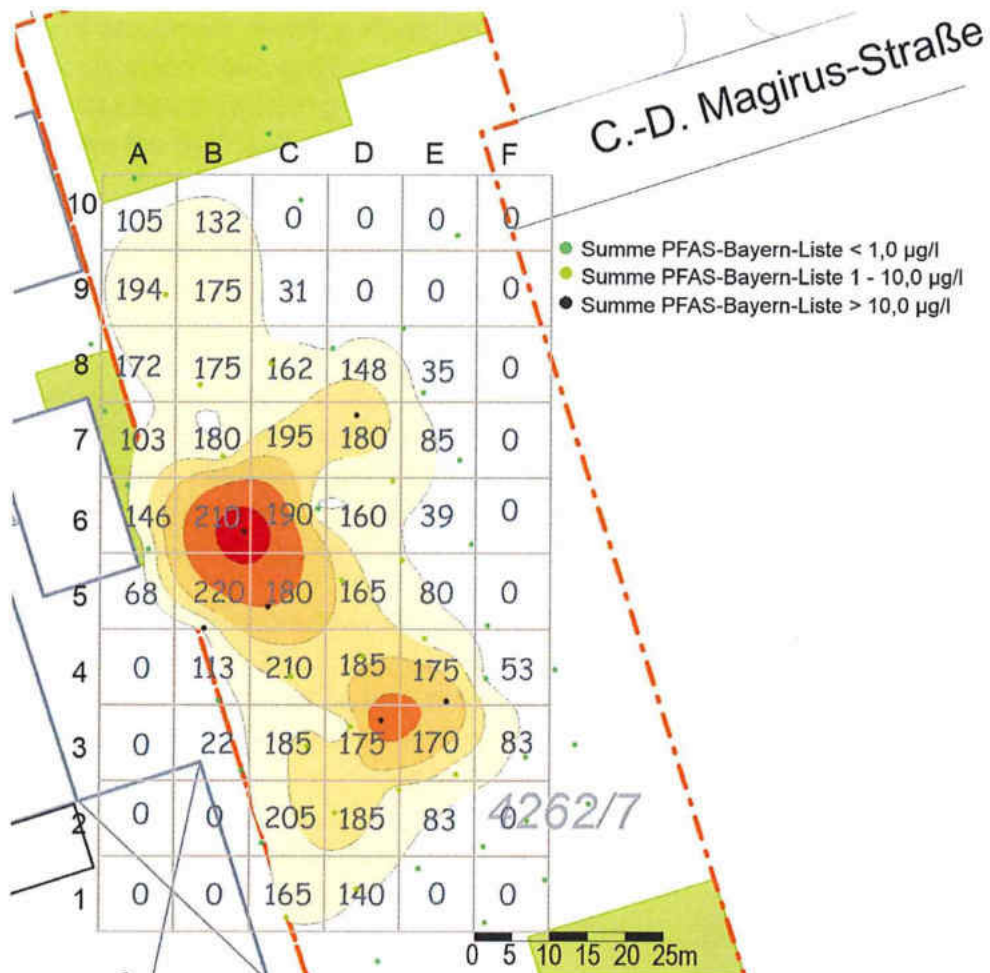


Abbildung 36: Räumliche Verteilung der klassifizierten PFAS-Gehalte nach der Bayern-Liste im Hot-Spotbereich auf dem Gemeindefläche (Flurstück 4262/7)

3.1.3 FAZIT

In der Summe sind bei der Maßnahme „Ausköffern der Hot-Spot-Areale“ netto 9.000 m³ bzw. einschließlich der Anböschung der Baugrubenwände ca. 10.800 m³ festen Boden bzw. bei einem Auflockerungsfaktor von 0,82 für Lehm 12.581 m³ aufgelockerten Boden abfallrechtlich zu behandeln und auf dafür geeignete Deponien zu entsorgen.

Der Wiedereinbau von nur schwach mit PFC belastetem Boden – geregelt über die aktuellen Z-Werte - wird nicht empfohlen. Derzeit erlaubt die PFC-Analytik anhand der 24 untersuchten PFC-Verbindungen nicht, auf den Gehalt der Vorläufersubstanzen im Boden zurückzuschließen. So läuft man Gefahr, dass man mit dem vermeintlich gering mit 24 PFC-Verbindungen belasteten Boden die unentdeckten Vorläufersubstanzen wieder einbaut, die dann weiter als „Depot“ für analysierbare transferierte PFC-Verbindungen wirken. Damit ist das Sanierungsziel, die Sanierung des Standortes in einem endlichen Zeitrahmen zu realisieren, gefährdet.



4 Bodenmanagement nach KrWG

Solange Boden - mit oder ohne Kontamination - dauerhaft mit Grund und Boden verbunden ist, unterliegt dieser nicht dem KrWG²³.

Bei im Rahmen einer Sanierungsmaßnahme ausgekofferten Bodens handelt es sich unabhängig vom Kontaminationsgrad um Abfall, da es hier um die Beseitigung einer Gefahrensituation und nicht um die Gewinnung von Bodenaushub geht. Allerdings beginnt die Abfalleigenschaft des Bodens erst mit dem Auskoffern aus dem Erdreich.

Sobald kontaminierter Boden ausgehoben wird, gelten die gesetzlichen Regeln zu „Boden als Abfall“. Die Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle erfolgt nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (Anlage zu §2 Abs.1 - Abfallverzeichnis) für Abfälle, bei denen mindestens eine der in Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 850/2004²⁴ des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG (ABl. L 158 vom 30.4.2004, S. 7), die zuletzt durch die Verordnung (EU) Nr. 1342/2014 (ABl. L 363 vom 18.12.2014, S. 67) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung genannten Konzentrationsgrenzen für persistente organische Schadstoffe erreicht oder überschritten wird. Für den Schlüsselparameter aus der Stoffgruppe der PFOS und seine Derivate beträgt der Konzentrationsgrenzwert 50 mg/kg TS PFOS / PFAS / PFC.

Die Abfallverzeichnis-Verordnung listet unter 17 05 Boden (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten), Steine und Baggergut die Kategorien

17 05 03* Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

17 05 04 Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen

4.1 Verwertung

Nach dem KrWG hat die Verwertung und das Recycling von Abfällen grundsätzlich Vorrang vor der Beseitigung. Das heißt, so lange eine ordnungsgemäße schadlose Verwertung (stofflich wie energetisch) möglich ist, ist ausgehobener Boden grundsätzlich als ein wertvoller Rohstoff zu betrachten, der einer weiteren Verwertung zuzuführen ist.

Ob der ausgekofferte, kontaminierte Boden einer Verwertung zugeführt werden kann, wird in der LAGA M20²⁵ geregelt sofern der Boden

²³ KrWG § 2 Geltungsbereich:

(2) Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten nicht für

10. Böden am Ursprungsort (Böden in situ), einschließlich nicht ausgehobener, kontaminierter Böden und Bauwerke, die dauerhaft mit dem Grund und Boden verbunden sind,

²⁴ seit dem 15.07.2019 abgelöst durch die EU-Verordnung 2019/1021

²⁵ LAGA M20: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen – Technische Regeln „LAGA Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Abfall“



- in technische Bauwerke eingebaut werden soll,
- zur Herstellung von Bauprodukten dient oder
- unterhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht eingebracht wird.

Die LAGA M20 weist „Zuordnungswerte“ aus, die aus Sicht des Bodenschutzes als Vorsorgewerte zu verstehen sind.

Die Beseitigung – konkret Deponierung - von „Boden als Abfall“ ist dann erforderlich, wenn dieser grenzwertüberschreitende Schadstoffgehalte aufweist (Z2-Wert), die nicht durch geeignete Verfahren beseitigt werden können. Das heißt, erst wenn nachweislich Boden unter dem Aspekt des wirtschaftlichen und/oder ökologischen bzw. energetischen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz nicht verwertet bzw. saniert werden kann, ist dieser ordnungsgemäß zu beseitigen.

Die LAGA M20 ist rechtlich nicht verbindlich, so dass jedes Bundesland seine eigene Regelung hat.

Es gilt beim Wiedereinbau von nur „schwach“ mit PFAS belastetem Boden – geregelt über die aktuellen Z-Werte – zu bedenken, dass die PFAS-Analytik anhand der in den Listen aufgeführten PFAS-Verbindungen es nicht erlaubt, auf den Gehalt der Vorläufersubstanzen im Boden zurückzuschließen. So läuft man Gefahr, dass man mit dem vermeintlich gering mit den untersuchten PFAS-Verbindungen belasteten Boden die unentdeckten Vorläufersubstanzen wieder einbaut, die dann weiter als „Depot“ für analysierbare transferierte PFC-Verbindungen wirken. Wenn eine Verwertung in Betracht gezogen werden soll, sind als Verwertungskriterien nach derzeitigem Kenntnisstand die Summenparameter AOF (Adsorbierbare organische Fluor) bzw. TOP (Total Oxidizable Precursor) heranzuziehen. Allerdings gibt es für diese Parameter keine Richt- oder Orientierungswerte, die einen Wiedereinbau unter definierten Rahmenbedingungen ohne Gefährdung des Wohls der Allgemeinheit sicherstellen.

Seit Herbst 2017 bemüht sich eine von der Umweltministerkonferenz eingesetzte Bund /Länder Arbeitsgruppe PFC um bundeseinheitliche Regelungen in Form eines Leitfadens für PFC-Belastungen in Gewässer, Böden und Abfällen. Einblicke in den Entwurfsstand vom 29.07.2019 gibt der Beitrag „Erdaushub verunreinigt durch per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC) im „altlasten spectrum“ 05/2019.

Der Entwurf des Leitfadens ist bisher nicht von der Umweltministerkonferenz offiziell verabschiedet worden. Es ist derzeit (Mai 2020) nicht absehbar, wann dies in welcher Fassung geschehen wird. Hilfsweise werden in dieser Situation die Regelungen im Bundesland am Ort der Entstehung des Abfalls – in Baden-Württemberg – berücksichtigt.



4.1.1 Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg kommt die Verwaltungsvorschrift – VVV Bodenverwertung vom 14.03.2007 zum Tragen. Darin werden Zuordnungswerte, Einbaukonfigurationen als auch Materialqualitäten bestimmt. Wird der Zuordnungswert Z2 überschritten ist das Bodenmaterial nach der DepV zu beseitigen.

Für PFAS-haltige Böden gibt es in Baden-Württemberg ergänzend jeweils einen Erlass für die Verwertung sowie für die Deponierung von PFAS-haltige Böden.

Die Verwertung wird in Baden-Württemberg im Erlass „Verwertung von Bodenmaterial aus PFAS-belasteten Flächen“ vom 29.01.2016 geregelt.

In-situ Bodenproben werden anhand der PFAS-Eluatgehalte²⁶ nach der DIN 38414-14 und DIN 38407-42 auf PFAS untersucht. Die Einstufung der PFAS-Gehalte erfolgt ausschließlich nach dem Sickerwasser-Kriterium. Die Zuordnungswerte Z0 / Z1-beziehen sich auf die am 21.August 2018 vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft veröffentlichten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) bzw. vorläufigen Geringfügigkeitsschwellenwerte. Die Zuordnungswerte Z2 (Verwertung in technischen Bauwerken) sind dem Erlass vom 29.01.2016 zu entnehmen.

Kongenerbezeichnung		Einheit	Z0 / Z1		Z2
			GFS	Vorläufige GFS	
Perfluorbutansäure	PFBA	µg/l	10		28
Perfluorbutansulfonsäure	gPFBS	µg/l	6		12
Perfluorpentansäure	PFPe A	µg/l		3	12
Perfluorpentansulfonsäure	PFPeS	µg/l			4
Perfluorhexansäure	PFHxA	µg/l	6		4
Perfluorhexansulfonsäure	gPFHxS	µg/l	0,1		1
Perfluorheptansäure	PFHpA	µg/l		0,3	1
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	µg/l		0,3	1
Perfluoroctansäure	PFOA	µg/l	0,1		1
Perfluoroctansulfonsäure	gPFOS	µg/l	0,1		1
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	µg/l		0,1	
Perfluornonansäure	PFNA	µg/l	0,06		1
Perfluordecansäure	PFDA	µg/l		0,1	1
H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS	µg/l		0,1	1

Sind im Eluat mehrere PFAS Kongenere vorhanden, wird entsprechend den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) die Additionsregel zur Bildung der Quotientensumme²⁷

²⁶ Schüttelverfahren nach DIN 19527 mit Wasser - Feststoffverhältnis 2:1

²⁷ Herleitung eines Bewertungsindex BI durch Addition des Stoffindizes $I = \frac{c}{BM}$ mit c= gemessene Konzentration und BM = Bewertungsmaßstab – hier TW_{LW} bzw. GFS: $BI_{GFS_h} = \sum I_i = \frac{c_1}{GFS_{h1}} + \frac{c_2}{GFS_{h2}} +$



angewandt. Die Quotienten-Summe wird ausschließlich aus den PFAS gebildet, für die GFS-Werte vorliegen.

Bei Überschreitung des Einzelwertes (GFS und vorläufige GFS) oder bei einer Quotienten-Summe > 1 gilt der jeweilige Zuordnungswert Z0/Z1 bzw. Z2 als überschritten.

Diese Regelung zur Bewertung des PFAS-haltigen Sickerwassers gilt nicht nur für den Einsatz bei technischen Bauwerken, sondern auch bei der Verwertung zur Verfüllung von Abgrabungen. Für beide ist ein Mindestabstand von einem Meter bis zur gesättigten Bodenzone (Grundwasserspiegel) einzuhalten. Verfüllungen sind zusätzlich mit einer 2 Meter mächtigen unbelasteten Abdeckschicht zu versehen.

Die GFS-Werte werden aus den tolerablen wöchentlichen Aufnahme-Werten, den TWI-Werten²⁸ bzw. den tolerablen täglichen Aufnahmen (TDI-Werten) abgeleitet. Diese werden von der EFSA – European Food Safety Authority – ermittelt. Die ersten TWI Werte wurden 2008 veröffentlicht. Diese wurden 2018 und werden voraussichtlich 2020, nachdem 2018 die Mixtox-Leitlinie²⁹ von der EFSA verabschiedet wurde und daraus ein neuer Ansatz für die TWI-Werte hervorgegangen ist, überarbeitet.

	PFOS		PFOA	
	<i>TWI</i>	<i>TDI</i>	<i>TWI</i>	<i>TDI</i>
	<i>ng/kg Körpergewicht</i>			
2008	1050	150	10500	1500
2018	13	1,8	6	0,8
2020 (Mixtox-Leitlinie) Entwurf	Ein gruppenbezogene TWI von 8 ng/kg Körpergewicht pro Woche für PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS			

Die von der EFSA überarbeiteten TWI-Werte für PFOS und PFOA aus dem Jahr 2018 veranlasst das Umweltbundesamt die Trinkwasser-Leitwerte für PFOS und PFOA Ende 2019 von 0,1 µg/l auf 0,05 µg/l als vorläufige Trinkwasserleitwerte abzusenken. Wie sich die derzeit in der Abstimmungsphase befindlichen vorgeschlagenen TWI-Wert für die 4 PFAS Kongenere PFOA, PFNA, PFHxS und PFOS von 8 ng/kg Körpergewicht auf die zukünftigen entsprechenden Trinkwasserleitwert auswirken werden, gilt es abzuwarten. Auf jeden Fall ist mit einer weiteren Absenkung der daraus abzuleitenden

$\frac{c_3}{GFS_{h3}} + \dots$ Ist der Bewertungsindex > 1 gilt der Bewertungsmaßstab für die Summe als überschritten.

(Abgeleitet aus der TRGS 402 für Arbeitsplatzexposition)

²⁸ TWI Tolerable weekly Input

²⁹ Mixtox-Leitlinie: Instrument zur Bewertung der potenziellen „kombinierten Wirkungen“ von chemischen Gemischen in Lebens- und Futtermitteln



Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) zu rechnen. In der Konsequenz sind auch die Zuordnungswerte für die Einstufung der Verwertbarkeit von PFAS-haltigen Böden anzupassen.

Aktuell ist es Anbetracht der sich abzeichnenden Verschärfung der Beurteilungswerte für PFAS im Trinkwasser und damit der Geringfügigkeitsschwellenwerte nahezu ausgeschlossen, PFAS-haltige Böden einer Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zuzuführen ohne Gefahr zu laufen, das Wohl der Allgemeinheit zu gefährden.

4.1.2 Nordrhein-Westfalen

So empfiehlt der Ergebnisbericht vom LANUV „PFC in Boden und Grundwasser. Ergebnisbericht des Workshops³⁰ am 25.09.2017“ unter Punkt 2.4 Verwertung, Deponierung:

„Böden aus der Sanierung von PFC-Verunreinigungen sind für die Verwertung nicht geeignet.“

Beim Workshop am 12.09.2019 vom Verband für Flächenrecycling und Altlastensanierung zu „PFC in Boden und Grundwasser“ in Kooperation mit dem LANUV wird in der Dokumentation als Leitgedanke für die Verwertung formuliert:

- Die Situation am Ort der Verwertung darf nicht verschlechtert werden und
- Es darf kein Gefahrenverdacht hervorgerufen werden.

Im Protokoll zum Workshop wird des Weiteren festgehalten, dass die Datenlage unzureichend sei, konkrete Konzentrationswerte für eine offene Verwertung außerhalb des Herkunftsortes festzulegen.

4.1.3 Bayern

Anders sieht die Einschätzung in Bayern aus. In Anlehnung an die LAGA M20 werden in der „Leitlinie zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ vom April 2017 Zuordnungswerte für Eluat-Gehalte im außerhalb von Deponien zu verwertenden Boden gelistet:

³⁰https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/altlast/20171214_Ergebnisbericht_PFC_in_Boden_und_Grundwasser.pdf



Stoff	Z 0 in µg/l	Z 1.1 / Z 1.2 in µg/l	Z 2 in µg/l
Perfluornonansäure PFNA	0,03	0,06	0,25
Perfluoroktansulfonsäure PFOS	0,05	0,1	0,4
Perfluoroktansäure PFOA	0,05	0,1	0,4
Perfluorhexansulfonsäure PFHxS	0,05	0,1	0,4
Perfluorhexansäure PFHxA	2,0	6,0	24,0
Perfluorbutansulfonsäure PFBS	2,0	6,0	24,0
Perfluorbutansäure PFBA	3,0	10,0	40,0
Perfluordekansäure PFDA ggf. Summe mit allen PFC > C10	0,1	0,1	0,4
H4-Polyfluoroktansulfonsäure H4PFOS	0,1	0,1	0,4
Perfluoroktansulfonamid PFOSA	0,1	0,1	0,4
Perfluorheptansulfonsäure PFHpS	0,3	0,3	1,0
Perfluorheptansäure PFHpA	0,3	0,3	1,0
Perfluorpentansäure PFPeA	3,0	3,0	12,0

Tabelle 4: Zuordnungswerte für die Beurteilung des Eluats (In Anlehnung an die LAGA M20) (aus: Leitlinie zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ vom April 2017)

Entsprechend der Kategorisierung im „Leitfaden zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebau – Verfüll-Leitfaden“ vom 23.12.2019. Danach ist eine Verwertung in Gruben der Kategorie B und in technischen Bauwerken im „eingeschränkten offenen Einbau“ nach LAGA M 20 für PFC-Gehalte bis max. Z 1.1 zulässig. Bei Überschreitung der Z 1.1-Werte, aber Einhaltung der Z 2-Werte ist bei der Verwertung ein „Eingeschränkter Einbau des Materials mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen“ (Z 2) in technischen Bauwerken zu wählen.

4.1.4 Fazit

Die Gefahrenbeurteilung der Stoffgruppe der PFAS im Trinkwasser geht aktuell nicht über eine vorläufige Bewertung hinaus.

Es bedarf eines Leitfadens mit bundeseinheitlichen Bewertungsleitlinien für PFAS, in dem vorläufige und orientierende Regelungen aufgestellt sind, die sich an den jeweils von den aktuellen Trinkwasserleitwerten abgeleiteten GFS-Werten im Eluat als Gefahrenschwelle orientieren. Diese Werte wären im Sinne der LAGA M20 für die Verwertung vorsorgeorientiert zu unterschreiten.

Unter diesen Bedingungen erscheint die Verwertungsstrategie von PFAS-haltigem Boden aus den Hot-Spot-Arealen aus Nachhaltigkeitssicht als unangebracht.



4.2 Deponierung

Den rechtlichen Rahmen für Vorgänge der Deponierung ist der Deponieverordnung zu entnehmen (DepV).

Die Deponieverordnung vom 27.04.2009 (DepV) gibt im § 7 Abs. 1 Nr. 7 vor, dass u.a. diese Abfälle nicht auf einer Deponie der Klasse 0, I, II oder III abgelagert werden dürfen:

Abfälle nach Anhang V Teil 2 der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG (ABl. L 158 vom 30.4.2004, S. 7, L 229 vom 29.6.2004, S. 5) in der jeweils geltenden Fassung, bei denen die Konzentrationsgrenzen der in Anhang IV derselben Verordnung aufgelisteten Stoffe überschritten sind, sowie andere Abfälle, bei denen auf Grund der Herkunft oder Beschaffenheit durch die Ablagerung wegen ihres Gehaltes an langlebigen oder bioakkumulierbaren toxischen Stoffen eine Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit zu besorgen ist.

Die in der DepV genannte EU-Verordnung 850/2004 ist seit dem 15.07.2019 durch die EU-Verordnung 2019/1021 ersetzt worden.

Während in der vorhergehenden EU-Verordnung 850/2004 PFC-Verbindungen nicht im Anhang IV gelistet waren, listet die EU-Verordnung 2019/1021 über persistente organische Schadstoffe (POP³¹-Verordnung) vom 20.07.2019 im Anhang IV (Liste der Stoffe, die den Abfallbewirtschaftungsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen) PFOS (Perfluorooctansulfonsäure) und ihre Derivate mit einem Konzentrationsgrenzwert gemäß Artikel 7 Absatz 4 Buchstabe a³² von 50 mg/kg auf. Im Mai 2019 wurde auf der Vertragsstaatenkonferenz PFOA (Perfluoroktansäure) in die POP-Liste aufgenommen. Im Anhang IV der EU-Verordnung 2019/1021 ist PFOA derzeit nicht gelistet.

Als langlebige oder bioakkumulierbare toxische Stoffe sind nach der Chemikalien Verordnung REACH weitere Stoffe zu identifizieren:

Als PBT-Stoffe Stoffe³³ gelten:

- PFNA - Perfluornonansäure
- PFDA – Perfluordecansäure

³¹ POP – Persistent Organic Pollutants

³² Abfälle, die in Anhang IV aufgelistete Stoffe enthalten oder durch sie verunreinigt sind, können in anderer Weise nach einschlägigen Rechtsvorschriften der Union beseitigt oder verwertet werden, sofern der Gehalt an aufgelisteten Stoffen in den Abfällen unter den in Anhang IV festgelegten Konzentrationsgrenzwerten liegt.

³³ PBT-Stoffe: persistente (P) bioakkumulierende (B) toxische (T) Stoffe



Als vPvB – Stoffe³⁴ gelten:

- PFuDA - Perfluorundecansäure
- PFDoA – Perfluordodecansäure
- PFTrA – Perfluortridecansäure
- PFTeA – Perfluortetradecansäure

Auf der aktuellen Kandidaten-Liste gemäß der REACH Verordnung stehen derzeit

- PFBS- Perfluorobutansulfonsäure und ihre Salze (16.01.2020)
- PFHxS – Perfluorhexansulfonsäure und ihre Salze (07.07.2017)

Für die auf der REACH-Liste bzw. REACH Kandidatenliste aufgeführten Verbindungen gibt es keine Konzentrationsgrenzwerte nach Anhang IV der POP Verordnung. Für sie, wie die in der POP-Verordnung gelisteten Verbindungen gilt, dass nach § 7 DepV sicherzustellen ist, dass Abfälle mit diesen Inhaltsstoffen nur so abgelagert werden dürfen, dass keine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu besorgen ist.

Die Deponieverordnung gilt bundesweit. Die Interpretation der DepV variiert jedoch von Bundesland zu Bundesland. Kurzum: Mit Ausnahme für PFOS und ihre Derivate existieren im Abfallrecht derzeit bundesweit keine einheitlichen, konkreten, bzw. quantitativen Regelungen für die weiteren PFAS-Verbindungen im Kontext der Deponierung. Jede Deponie hat ihre eigenen Annahmekriterien, die im Rahmen einer Einzelfallprüfung festgelegt werden. Deshalb wurden gezielt 33 Deponiebetreiber der Deponieklassen I (1) II (31) und III (1) in Entfernung bis zu 650 km in der Bundesrepublik Deutschland angefragt.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit bewertet die mögliche Deponierung PFAS-kontaminierter Böden als Sanierungsansatz bei punktförmigen PFAS-Kontaminationen (Hot Spots) in Böden letztlich nur als Problemverschiebung.³⁵

Der Grund für diese Einschätzung ist, dass bei der Deponierung trotz Oberflächenabdeckung kaum zu verhindern ist, dass aus dem deponierten Boden PFAS-haltiges Sickerwasser anfällt. Dieses müsste zu hundert Prozent gefasst und abgereinigt werden, damit sichergestellt ist, dass die PFAS-Verbindungen tatsächlich aus der Umwelt ausgeschleust werden. Die Aufbereitung von Deponiesickerwässern, das neben den PFAS noch zahlreiche weitere organische Verbindungen enthält, die um die Adsorptionsplätze an der

³⁴ vPvB-Stoffe: very (sehr) persistente und very (sehr) bioakkumulierende Stoffe

³⁵ Bericht zu perfluorierten Verbindungen; Reduzierung/Vermeidung, Regulierung und Grenzwerte, einheitliche Analyse- und Messverfahren für fluororganische Verbindungen Berichtersteller: Bund 30.09.2017 - https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/umlaufBericht2017_19.pdf und vom 24.02.2020 <https://www.umweltbundesamt.de/pfc-sanierung-in-boeden-grundwasser>



Aktivkohle konkurrieren, ist äußerst schwierig und teuer, auch wenn sie grundsätzlich machbar ist. Die Aufbereitung von ausschließlich mit PFAS verunreinigtem Wasser über Aktivkohle ist bei fehlenden Störstoffen dagegen vergleichsweise überschaubar und effektiv. Aus diesem Grund, sollten PFAS-haltige Böden, wenn sie denn deponiert werden müssen, stets in separaten Monodeponiebereichen mit einer eigenen Sickerwasseraufbereitung abgelagert werden.

4.2.1 Baden-Württemberg

Mit dem Erlass des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft vom 08.04.2019 wurde die Entsorgung von PFAS-haltigem Bodenaushubmaterial neu geregelt.

Es wurde darin eine Obergrenze für die oberirdische Deponierung in Höhe von 50 mg/kg PFOS festgelegt. Mangels konkreter Werte für andere PFAS-Verbindungen wird empfohlen, diesen Wert von 50 mg/kg auch als Grenzwert für die Summe der im konkreten Fall ermittelten PFAS anzuwenden. Liegen PFAS-Gehalte > 50 mg/kg vor, handelt es sich um gefährliche Abfälle.

Das heißt, PFAS-haltige Böden müssen für eine oberirdische Deponierung PFAS-Gehalte < 50 mg/kg aufweisen. Die Einstufung von PFAS-haltigen Bodenmaterial nach bestimmten Deponieklassen ist nicht erforderlich.

Vielmehr ist entscheidend, ob die Deponie gewisse technische Ausstattungskriterien aufweist, die sicherstellen, dass das PFAS entweder sicher innerhalb der Deponie verbleibt oder technische wie betriebliche Vorkehrungen gewährleisten, dass das PFAS aus der Umwelt ausgeschleust werden. Dazu zählen folgende Mindestanforderungen:

- Ablagerungen müssen in speziellen Monobereichen erfolgen, um – sofern morphologisch machbar – eine gesonderte Sickerwasserfassung und bei Vorliegen geeigneter Reinigungsverfahren ggf. eine Rückholung des Materials zu ermöglichen.
- Die Deponie verfügt über eine geeignete Basisabdichtungskomponente
- Es ist sicherzustellen, dass eine spezifisch auf die Elimination von PFAS ausgerichtete Sickerwasserbehandlung erfolgt, mit der die PFAS nachhaltig aus dem Stoffkreislauf ausgeschleust werden können. Die Sickerwasserreinigung muss in jedem Einzelfall hinsichtlich der notwendigen Schadstoffrückhaltung betrachtet werden.
- Das Untersuchungsprogramm für Sicker- und Grundwasser ist um die im Bezugs-erlass genannten PFAS zu erweitern und von der zuständigen Behörde sind entsprechende Auslöseschwellen für das Grundwasser festzulegen.

Der Erlass vom 08.04.2019 des Landes Baden-Württembergs durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft gilt nicht für die anderen Bundesländer. Hier gilt die



grundsätzliche Regelung im jeweiligen Planfeststellungsbeschluss, dass die Beseitigung von Abfällen auf der Deponie zulässig ist, wenn deren technische Ausgestaltung und Betrieb sicherstellt, dass von diesen Anlagen keine Gefahren u.a. für Gewässer und Böden hervorgerufen werden können.

Daneben gibt es die „Handlungshilfe für die Entscheidungen über die Ablagerbarkeit von Abfällen mit organischen Schadstoffen“ vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg Stand Mai 2012. Sie dient in Ergänzung zum geltenden Deponierecht den zuständigen Abfallrechtsbehörden als Entscheidungshilfe bei Fragen zur Ablagerbarkeit von Abfällen auf Deponien der Klassen 0, I und II. Die Hinweise haben einen ausschließlich empfehlenden Charakter.

Zu der Schadstoffgruppe PFC (PFT, PFAS) wird angelehnt an § 7 DepV folgende Empfehlung gegeben:

Perfluorierte Tenside (PFT)

Leitparameter für PFT sind Perfluoroctansulfonat (PFOS) und Perfluoroctansäure (PFOA), wovon PFOS nach der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG seit 2010 als POP-Stoff eingestuft ist. Bei Überschreitung des Schwellenwertes nach Anhang IV der EU-Verordnung besteht in Verbindung mit der Deponieverordnung ein Ablagerungsverbot auf Deponien der Klasse 0 bis III. In Ermangelung einer Festlegung der EU wurde auf der 95. LAGA Sitzung 50 mg PFOS/kg als nationaler Schwellenwert vereinbart. Dieser Wert stellt national die Obergrenze für die oberirdische Ablagerung und somit den Zuordnungswert einer DK III dar. Für die DK II wird dieser Wert entsprechend reduziert.

*PFT sind wasserlöslich. Bei einer Ablagerung auf einer Deponie muss eine funktionierende und geeignete Sickerwasserreinigungsanlage auf Dauer gewährleisten, dass diese Stoffe aus dem Sickerwasser entfernt und anschließend zerstört werden, damit sie nicht über den Abwasserpfad wieder in die Umwelt gelangen. Insofern kommt eine oberirdische Ablagerung mit entsprechend kontaminierten Abfällen nur auf Deponien der Klassen **DK II** oder **III**, die mit geeigneten Sickerwasserbehandlungseinrichtungen ausgestattet sind, in Betracht.*

Die Tabelle 1 „Orientierungswerte und Ablagerungshinweise“ empfiehlt PFOS nur auf DK II bei bis zu 20 mg/kg TM abzulagern unter der Voraussetzung, dass eine Sickerwasserreinigungsanlage, die organischen Schadstoffe nach dem Stand der Technik abscheidet.

Keine der bestehenden Deponie in Baden-Württemberg weist die erforderlichen Voraussetzungen für die Einlagerung von PFAS-haltigen Böden auf.



4.2.2 Nordrhein-Westfalen

Da auch Deponien im Bundesland Nordrhein-Westfalen angefragt worden sind, wird die Vollzugshilfe „Ablagerungsempfehlungen für Abfälle mit organischen Schadstoffen“ (Stand Dezember 2011) des Landes Nordrhein-Westfalen vorgestellt. Unter den Hinweisen für die Ablagerung bzw. Verwertung im Abschnitt 3.3 heißt es zu „Ablagerung PFT-haltiger Abfälle“:

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse handelt es sich bei Feststoffwerten unter 100 µg/kg PFT um diffuse Belastungen mit nur geringer Umweltrelevanz. Die Ablagerung von Abfällen mit PFT-Gehalten unterhalb dieses Wertes ist daher grundsätzlich möglich.

Auf der 95. LAGA-Sitzung am 07.09.2010 wurde vereinbart, als unteren Grenzwert für PFOS übergangsweise einen Wert von 50 mg/kg für die Ablagerung anzuwenden. Dieser Wert ist somit der Grenzwert für die oberirdische Ablagerung, d. h. Grenzwert für die Deponieklasse III.

Darüber hinaus ist keine generelle Festlegung differenzierter Feststoffwerte für einzelne Deponieklassen möglich, sondern es muss im Einzelfall anhand von Eluatwerten in Bezug zu dem für die Gewässerbeurteilung heranzuziehenden Trinkwasserleitwert von 0,3 µg/l, insbesondere unter Berücksichtigung von Kriterien und Schutzmaßnahmen die Möglichkeit einer Ablagerung geprüft werden:

- *Deponieklasse im Zusammenhang mit den Dichtungssystemen*
- *Art und Umfang der Sickerwasserbehandlung*
- *Getrennte Ablagerung in oberen Deponiebereichen*
- *Sofortige Abdeckung nach der Ablagerung*

Die Vollzugshilfe wurde seit dem Inkrafttreten der neuen Trinkwasserleitwerte im Jahr 2017 bis jetzt nicht aktualisiert.

4.2.3 Bayern

Da PFAS-Parameter nicht in der DepV festgelegt sind, muss dies im Einzelfall durch die jeweils zuständige Behörde festgelegt werden.

Im Leitfaden zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden (April 2017) werden in Anlehnung an die LAGA M20 in Tabelle 4 Zuordnungswerte für PFC-Eluatgehalte gelistet. (Siehe Tabelle 4)

Bei Ablagerung auf Deponien ohne technische Basisabdichtung (DK0) und fehlender Sickerwasserfassung gilt

- Einzelfallbetrachtung
- Bei Einhaltung der Z1.1-Werte kann in der Regel eine Ablagerung erfolgen.
- Aufnahme in das Grundwasser-Überwachungsprogramm

Bei der Ablagerung auf Deponien ohne technische Basisabdichtung (DK0) mit Sickerwasserfassung und Ableitung über einen Abwasserkanal zur Kläranlage oder in den Vorfluter



ist sicherzustellen, dass die Auswirkungen auf das Gewässer in Folge der Abwassereinleitung keine schädliche Gewässerveränderung an der Einleitstelle hervorruft und das Bewirtschaftungsziel des betreffenden Oberflächengewässers nach dem WHG nicht gefährdet wird.

Bezogen auf die Summe der nachfolgend genannten 13 PFC-Verbindungen

- Perfluorbutansäure PFBA
- Perfluorpentansäure PFPeA
- Perfluorhexansäure PFHxA
- Perfluorheptansäure PFHpA
- Perfluoroktansäure PFOA
- Perfluornonansäure PFNA
- Perfluordekansäure PFDA
- Perfluorbutansulfonsäure PFBS
- Perfluorhexansulfonsäure PFHxS
- Perfluorheptansulfonsäure PFHpS
- Perfluoroktansulfonsäure PFOS
- H4-Polyfluoroktansulfonsäure H4PFOS
- Perfluoroktansulfonamid PFOSA

können zur Orientierung für eine mögliche Ablagerung auf abgedichteten Deponien folgende Werte analog DepV, Anhang 3, Tabelle 2 herangezogen werden:

DK I \leq 50 $\mu\text{g/l}$

DK II \leq 100 $\mu\text{g/l}$

Von den angefragten 11 Deponien der Deponieklasse II in Bayern gab es keine einzige Zusage, überhaupt PFAS-haltigen Boden anzunehmen.

4.2.4 Hessen

In Hessen gibt das Merkblatt des Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz „Verfahrenshilfe zum Vollzug des Abfallrechts - Allgemein Hinweise zum Betrieb von Deponien“ Auskunft, welche Anforderungen bei der Deponierung PFAS-haltigen Bodens zu stellen sind.

Dabei wird auf den § 7 Abs.1 Nr. 7 DepV verwiesen. Danach sind langlebige oder bioakkumulierbare toxische Stoffe so zu deponieren, dass keine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu besorgen ist.

Der Erlass des HMULV vom 06.12.2010 ordnet Abfälle ab einem Gehalt von 10 mg/kg PFOS als gefährlich ein. Deren Ablagerung ist damit auf Deponien der DK II nicht zulässig.



Die Einhaltung der vorgenannten Anforderungen ist eigenverantwortlich durch die Deponiebetreiber sicherzustellen.

4.2.5 Angefragte Deponiebetreiber

Derzeit bestehen wegen der nur allgemein grundsätzlich formulierten rechtlichen Regelungen in der DepVO (§ 7 Abs. 1 Nr. 7) in Verbindung mit der ausstehenden bundesweiten LAGA-Regelung erhebliche Unsicherheit bezüglich der Annahme von PFC-belasteten Böden auf Deponien.

Damit mit der Sanierungsmaßnahme „Erdaushub“ eine Verbesserung hinsichtlich der Umweltauswirkungen am Standort erreicht wird, ohne dass damit lediglich eine Problemverschiebung an einen anderen Standort herbeigeführt wird, wurden 31 Deponiebetreiber der Deponieklasse II und eine der Deponieklasse I angefragt, ob ihre Deponie die Anforderungen nach der Baden-Württembergischen Erlass vom 08.04.2019 erfüllen und sie, falls zutreffend, bereit wären, bis zu 12.000 m³ PFAS-haltigen Boden auf der Deponie anzunehmen. Mit dieser Vorgehensweise möchte der Abfallerzeuger Magirus sicherstellen, dass mit der Ablagerung von PFAS-haltigem Bodenaushub auf einer Deponie keine Gefährdung für das Wohl der Allgemeinheit ausgeht und man dem §7 DepV gerecht wird.

Da es in Baden-Württemberg keine Deponie gibt, die die Anforderungen des Erlasses vom 08.04.2019 erfüllt, hat der Abfallerzeuger Magirus GmbH bei 33 Deponiebetreibern mit Deponien der Deponieklasse II in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Bayern, Hessen, Sachsen und Thüringen angefragt. Der Ort der Abfallerzeugung - Weisweil - liegt außerhalb der jeweiligen Gebietskörperschaft, so dass keine Andienungspflicht besteht.

- Großpösna: Zentraldeponie Cröbern der Westsächsischen Entsorgungs- und Wertungsgesellschaft (WEV)³⁶ **ABSAGE**
- Roitzsch: GP Papenburg Entsorgung Ost GmbH ³⁷, DK II seit 2015 in Betrieb **KEINE Antwort**

Nordrhein-Westfalen

Darüber hinaus wurden des Weiteren folgende Deponiebetreiber von Deponien mit DK II in Nordrhein-Westfalen angefragt:

- Erftstadt (Rhein-Erft-Kreis): Deponie Vereinigte Ville, (E36231027) - **ABSAGE**
- Leverkusen-Bürrig Betreiber Currenta **ABSAGE**

³⁶ <https://www.wev-sachsen.de/zentraldeponie-croeborn/zdc-die-sichere-deponie/>

³⁷ <http://www.gp.ag/entsorgung-ost/Unternehmen/Standorte/DK-II-Roitzsch/>



4 Bodenmanagement nach KrWG

- Zentraldeponie Hubbelrath GmbH, Düsseldorf - Zentraldeponie Hubbelrath (E11111027) **KEINE Antwort**
- EGN Entsorgungsgesellschaft Niederrhein mbH, Viersen **ABSAGE**
Betreibt 4 Deponien DK II:
 - Deponie Brügggen II (Kreis Viersen) (E16611311)
 - Deponie Viersen
 - Deponie Hürtgenwald (Kreis Düren)
 - Deponie Neuss (Rhein-Kreis Neus)
- Kreis Weseler Abfallgesellschaft mbH & Co. KG - Mineralstoffdeponie Asdonkshof Kreis Wesel (E17016123) **KEINE Antwort**
- AVEA GmbH & Co. KG, Leverkusen - Entsorgungszentrum Leppe Oberbergischer Kreis (E37431240) **KEINE Antwort**
- RSAG AöR, Siegburg - Klärschlamm- und Mineralstoffdeponie Sankt Augustin Rhein-Sieg-Kreis (E38231016) **KEINE Antwort**
- AGR Abfallentsorgungs-Gesellschaft Ruhrgebiet mbH, Herten - Zentraldeponie Emscherbruch Stadt Gelsenkirchen (E51351047) **KEINE Antwort**
- Abfallwirtschaftsbetriebe Münster, Münster - Zentraldeponie Münster II Stadt Münster (E51551119) **ABSAGE**
- Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH, Saerbeck - Zentraldeponie Altenberge Kreis Steinfurt (E56651227) **ABSAGE**
- Ecowest Entsorgungsverbund Westfalen GmbH, Ennigerloh - Zentraldeponie Ennigerloh Kreis Warendorf (E57051312) **ABSAGE**
- KreisAbfallVerwertungsGesellschaft mbH Minden-Lübbecke (KAVG), Minden - Siedlungsabfalldeponie Pohlsche Heide Kreis Minden-Lübbecke (E77071301) **KEINE Antwort**
- Abfallverwertungs- und Entsorgungsbetrieb Kreis Paderborn (A.V.E. Eigenbetrieb), Paderborn - Deponie Dortmund Nord-Ost Stadt Dortmund (E91391032) **ABSAGE**
- Gesellschaft für Abfallwirtschaft mbH, Meschede - Zentrale Reststoffdeponie Hochsauerlandkreis Hochsauerlandkreis (E95891190) **ABSAGE**
- Olper Entsorgungszentrum GmbH & Co. KG, Olpe - Deponie Alte Scheune Kreis Olpe (E96691230) **ABSAGE**

Ergänzend wurde angefragt:

- Rhiem & Sohn Kies & Sand GmbH & Co.KG Erfstdt-Erp (E36238013), DK I, **erfüllt nicht die Kriterien, nimmt aber PFAS belasteten Boden < 10 µg/l Eluat (LFU Bayernliste) an. – Die zuständigen Fachbehörde stimmt nach informeller**



Nachfrage durch den Abfallerzeuger einer Ablagerung nicht zu. Gutachterliche Stellungnahme: Deponierung bewirkt Verlagerung des Problems.

- Eyller Berg Abfallbeseitigungsgesellschaft mbH, Deponie Eyller Berg (E17011350), DK III; **erfüllt nicht die Kriterien des Erlasses.** Aus dem Antwortschreiben:

Die von Ihnen aus dem Erlass zitierten Punkte 2 bis 4 werden auf unserer Deponie erfüllt, weshalb auch bereits zahlreiche Projekte zur Deponierung PFC-haltiger Abfälle bei uns realisiert wurden. Allerdings sehen wir keine Möglichkeiten, Punkt 1 zu erfüllen:

Die Einrichtung eines Monobereiches ist aus technischen und Kostengründen nicht realisierbar. Eine gesonderte Sickerwasserfassung wäre bei einem eigenen Bereich sowieso notwendig. Allerdings müsste das so erfasste Sickerwasser ja auch einer gesonderten Behandlung zugeführt werden. Dieser Aufwand ist schlichtweg nicht vertretbar. Bei der Rückholung des Materials stellt sich die Frage, wer die Kosten dafür zu tragen hat. Je nachdem wie lange das Material in diesem Bereich bereits abgelagert ist, wären die PFC ja vermutlich bereits mehr oder weniger eluiert. Eine Rückholung würde dann zudem wenig Sinn machen.

Hessen

- Südhessische Abfall-Verwertungs GmbH, SAVAG GmbH - Deponie Büttelborn **KEINE Antwort**
- Abfallwirtschaft Lahn-Dill - Deponie Aßlar **ABSAGE**
- Abfallentsorgung Kreis Kassel - Deponie Kirschenplantage **KEINE Antwort**

Bayern

- Landkreis Garmisch-Partenkirchen - Deponie Schwaiganger **ABSAGE**
- AWG Donau-Wald GmbH, Außernzell - Deponie Außernzell **ABSAGE**
- Landkreis Landshut, Landshut - Reststoffdeponie Spitzlberg **ABSAGE**
- Zweckverband für Abfallwirtschaft in Nordwest-Oberfranken (ZAW), Dörfles-Esbach - Deponie Blumenrod **KEINE Antwort**
- Kommunalunternehmen Umweltschutz Fichtelgebirge (KUFi), Wunsiedel - Deponie Sandmühle **KEINE Antwort**
- Zweckverband Abfallwirtschaft in der Stadt Erlangen und im Lkr. Erlangen-Höchstadt, Erlangen - Deponie Herzogenaurach **ABSAGE**
- Kommunalunternehmen des Lkr. Bad Kissingen Anstalt des öffentlichen Rechts, Bad Kissingen - Deponie Wirmsthal **ABSAGE**



4 Bodenmanagement nach KrWG

- Landkreis Schweinfurt, Schweinfurt - Deponie Rothmühle **ABSAGE**
- Zweckverband Abfallwirtschaft Raum Würzburg - Deponie Hopferstadt **ABSAGE**
- Landkreis Ostallgäu, Marktoberndorf - Deponie Oberostendorf **KEINE Antwort**
- Abfallwirtschaftsverband Nordschwaben, Donauwörth - Deponie Binsberg **ABSAGE**



5 Sanierungsvarianten Ungesättigte Bodenzone

Bei dem am Standort mit PFAS beaufschlagten Boden in der ungesättigten Bodenzone handelt es sich um wertvolle Auenlehme, die sich auf liegenden Lößablagerungen entwickelt haben. Der Auenlehm ist mit einer Tragschicht aus Schotter überdeckt auf der eine Asphaltdecke aufgebracht ist.

Der Bodenschutz verfolgt die Zielsetzung, den Boden in seiner Natürlichkeit zu erhalten und ihn sparsam und schonend zu beanspruchen, denn Böden stellen eine endliche Ressource dar.

Es sollte daher bei der Auswahl einer geeigneten Maßnahme zur Gefahrenabwehr, in dem der Eintrag von Schadstoffen aus der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone minimiert wird, immer auch berücksichtigt werden, ob die Maßnahme dem Anspruch des Bodenschutzes im Sinne des Erhalts einer wertvollen endlichen Ressource gerecht wird.

5.1 Auskoffering

Mit der Sanierungsvariante Auskoffering wird der mit PFAS beaufschlagte Boden aus der ungesättigten Bodenzone bis oberhalb des Rheinkiese abgetragen. Das Aushubareal wird von einem Geodäten entsprechend dem Verlauf der Quotienten-Summe 10 Begrenzung gemäß Abbildung 38 auf die Fläche projiziert und abgesteckt.

5.1.1 Arbeitssicherheit

Wegen der zu erwartenden PFAS-Gehalte im Erdaushub kommt die TRGS 524 – Schutzmaßnahmen bei Arbeiten in kontaminierten Bereichen bzw. die DGUV Regel 101-004 zum Tragen. Das heißt, von einer fachkundigen Person ist ein Arbeits- und Sicherheitsplan nach den Vorgaben der TRGS 524 bzw. der DGUV Regel 101-004 aufzustellen.

Die Anforderungen nach der Baustellen-Verordnung sind zu erfüllen. Sollte nach § 2 Abs. 3 der Baustellen-Verordnung ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan (SIGE-Plan) erforderlich sein:

Ist für eine Baustelle, auf der Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber tätig werden, eine Vorankündigung zu übermitteln, oder werden auf einer Baustelle, auf der Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber tätig werden, besonders gefährliche Arbeiten nach Anhang II ausgeführt, so ist dafür zu sorgen, dass vor Einrichtung der Baustelle ein Sicherheits- und Gesundheitsschutzplan erstellt wird.

wird der Arbeits- und Sicherheitsplan nach der TRGS 524 besonderer Bestandteil des SIGE-Plans.



Besonders gefährliche Arbeiten im Sinne des §2 Abs. 3 der BaustellenVO sind nicht zu erwarten. Die Stoffgruppe der PFAS sind nicht als Stoffe oder Gemische im Sinne der Gefahrstoffverordnung als krebserzeugend, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch³⁸ der Kategorie 1A oder 1B³⁹ eingestuft.

Eine geeignete Person ist als Koordinator⁴⁰ schriftlich zu bestellen, wenn auf der Baustelle Beschäftigte mehrerer Arbeitgeber tätig werden.

Da keiner der vorliegenden Untersuchungsbefunde zu PFAS-Feststoffgehalten den Abgrenzungswert von 20.000 µg/kg PFAS überschreitet (Maximal-Wert 960 µg/kg PFAS), ist davon auszugehen, dass der anfallende Erdaushub als „nicht gefährliche Abfälle“ einzustufen ist.

Vorab ist die Baustelle gemäß den aus dem Arbeits- und Sicherheitsplan hervorgehenden Anforderungen einzurichten und die Anlagen für den Arbeits- und Gesundheitsschutz (z.B. Schwarz-Weiß-Einrichtung, Stiefel-, Reifenwaschanlage, Abzäunung) aufzustellen.

Um die Gefährdung bei den Erdbauarbeiten zu minimieren, ist aus Arbeitsschutzgründen darauf zu achten, dass es zu keiner Staubeentwicklung kommt. Um die Staubeentwicklung während der Bauarbeiten weitgehend zu unterdrücken, sind Wasseranschlüsse bereitzustellen, Wasserleitungen auszulegen und Vorrichtungen zum Befeuchten des Bodenmaterials bereitzuhalten. Damit wird die mögliche inhalative Aufnahme von PFAS-haltigem Staub unterbunden.

Nach dem Gutachten „Luftbildauswertung auf Kampfmittelbelastung von R. Hinkelbein aus Filderstadt vom 11.07.2018 befinden sich die auszukoffernden Hot-Spot-Areale innerhalb

³⁸ 1. Stoffe, die in Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 in der jeweils geltenden Fassung als karzinogen, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch eingestuft sind,

2. Stoffe, welche die Kriterien für die Einstufung als karzinogen, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch nach Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 in der jeweils geltenden Fassung erfüllen,

3. Gemische, die einen oder mehrere der in § 2 Absatz 3 Nummer 1 oder 2 genannten Stoffe enthalten, wenn die Konzentration dieses Stoffs oder dieser Stoffe die stoffspezifischen oder die allgemeinen Konzentrationsgrenzen nach der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 in der jeweils geltenden Fassung erreicht oder übersteigt, die für die Einstufung eines Gemischs als karzinogen, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch festgelegt sind,

4. Stoffe, Gemische oder Verfahren, die in den nach § 20 Absatz 4 bekannt gegebenen Regeln und Erkenntnissen als krebserzeugend, keimzellmutagen oder reproduktionstoxisch bezeichnet werden.

³⁹ Kategorie 1A: aus Erfahrung beim Menschen nachgewiesen

Kategorie 1B: bei Tieren nachgewiesen, wird beim Menschen vermutet

⁴⁰ Die nach der BG-Regel "Kontaminierte Bereiche - BGR 128, Anhang 6A bzw. 6B" erworbene Sachkunde für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen erfüllt die Fachkundanforderungen nach Anlage 2A bzw. 2B der TRGS 524.

bombardierter Bereiche. Die Abbildung 37 weist die betreffenden Flächen mit einer Kreuzschraffur aus. Der Gutachter schließt nicht aus, dass in dem betreffenden Areal noch Sprengbomben-Blindgänger oder andere Kampfmittel vorhanden sind, da erfahrungsgemäß etwa 8 – 15% aller abgeworfenen Sprengbomben nicht explodiert sind.

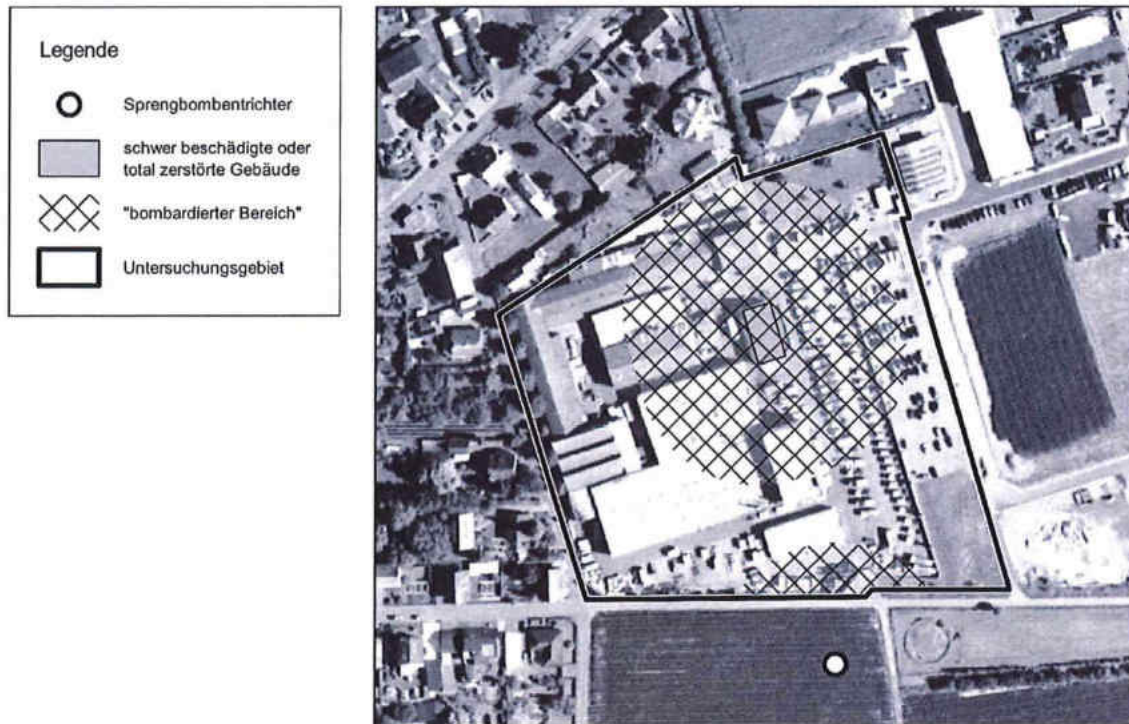


Abbildung 37: Bombardierte Bereiche während des 2. Weltkriegs markiert mit Kreuzschraffur (Quelle: Luftbildauswertung auf Kampfmittelbelastung R. Hinkelbein Luftbildauswertung vom 11.07.2018)

Vor Aufnahme der Bauarbeiten sind die kreuzschraffierten Areale durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst Baden-Württemberg oder ein anderes autorisiertes Unternehmen näher zu überprüfen. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind sämtliche Erdarbeiten von einem Sachverständigen für Kampfmittelbeseitigung baubegleitend zu überwachen

5.1.2 Grundlegende Charakterisierung des Abfalls Erdaushub nach § 8 (3) DepV

Der Verfahrensablauf ist auf die Anforderungen der Deponieverordnung abzustimmen. Maßgeblich ist der Anhang 4 Nr. 1 und Nr. 2 der DepV:

Nr. 1: Die Probenahme ist von Personen durchzuführen, die über die für die Durchführung der Probenahme erforderliche Fachkunde verfügen. Die Fachkunde kann durch qualifizierte Ausbildung (Studium etc.) oder langjährige praktische Erfahrung jeweils in Verbindung mit einer erfolgreichen Teilnahme an einem Probenehmerlehrgang nach PN 98 nachgewiesen werden.



Nr. 2: Die Probenahme für die Durchführung der Untersuchungen hat nach der LAGA PN 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen, Stand Dezember 2001, ISBN: 978-3-503-07037-4, zu erfolgen. Die Probenahme ist zu protokollieren. Die Probenahmeprotokolle sind fünf Jahre aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.

Für die grundlegende Charakterisierung des Abfalls Erdaushub nach § 8 (3) DepV ist jede angefangenen 1.000 t Charge ausgekofferten Boden entsprechend den Vorgaben des Anhang 4 Nr. 2 stichprobenhaft zu beproben und die Schlüsselp Parameter auf Einhaltung der Zuordnungskriterien des Anhangs 3 Nummer 2 für die jeweilige Deponie zu überprüfen. Ergänzend sind die PFAS-Gehalte im Feststoff wie im Eluat zu analysieren.

Bei dem aufzunehmenden Auelehm und Lössablagerungen mit der Bodenart toniger Lehm beträgt das spezifische Gewicht des gewachsenen Bodens 2020 kg/m^3 , als gelöstes Erdmaterial 1660 kg/m^3 . Das entspricht einem Auflockerungsfaktor von 0,82.

Das heißt, dass jeweils ein Haufwerk je 500 m^3 zu lösendem Boden anzulegen ist, das jeweils ein Volumen von ca. 600 m^3 hat. Die Haufwerke sind entsprechend den Vorgaben der PN 98 zu beproben: pro 1.000 t Charge sind 56 Einzelproben zu entnehmen, die zu 10 Mischproben und 2 Sammelproben aus jeweils 2 Mischproben zusammenzuführen sind. Die daraus hervorgehenden 12 Laborproben sind entsprechend dem Parameterumfang des Anhangs 3 Nummer 2 der DepV zuzüglich der PFAS Analytik auf PFAS im Feststoff und im Eluat zu untersuchen. Der Parameterumfang für die PFAS-Verbindungen sind auf die Anforderungen der annehmenden Deponie abzustimmen. Liegen die Befunde der Deklarationsanalytik nach ca. 5 Arbeitstagen vor und entsprechen diese den Annahmbedingungen des Deponiebetreibers kann das Haufwerk abgefahren werden.

Der Sanierungsschritt „Auskofterung“ kann – abgesehen davon, ob er überhaupt wegen fehlender Annahme auf einer gemäß den Anforderungen des Baden-Württembergischen Erlasses vom 08.04.2019 dafür qualifizierten Deponie machbar ist - erst dann ausgeführt werden, wenn die hydraulische Sicherung des Standortes nachweislich funktioniert. Das heißt frühestens 6 Monate nach Aufnahme der hydraulischen Sicherungsmaßnahmen.

5.1.3 Szenario Flurstück 4262/7

5.1.3.1 Verfahrensablauf

Die Baugrube ist entsprechend den Vorgaben der DIN 4124 „Baugruben und Gräben- Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“ bis auf die anstehenden Rheinkiese anzulegen. Die Baugrubensicherung ist entsprechend der Tiefenlage der anstehenden Rheinkiese zu gestalten. Die Tiefenlage unter GOK der anstehenden Rheinkiese innerhalb des Hotspot-Areals ist der Abbildung 33 zu entnehmen. Nach den vorliegenden Ergebnissen der

Untergrunderkundungen stehen die Rheinkiesablagerungen im Westen unterhalb ca. 2 m u. GOK an. Im östlichen Abschnitt sind diese bereits bei 1,75 bis 1,5 m u. GOK zu erwarten.

Im Süden sind für die Zwischenlagerung 4 Bereitstellungsflächen für die Haufwerke á 600 m³ mit einer flüssigkeitsdichten Basis herzustellen. Dafür ist bei einer trapezförmigen Geometrie jeweils eine Grundfläche von 36 x 10 m erforderlich bei einer Schütthöhe von 2,2 m.

Auf dem Flurstück 4262/7 werden die Aushubarbeiten aus logistischen Erwägungen für einen möglichst effizienten Ablauf im Norden im Bereich der Quadranten A / B10 begonnen.

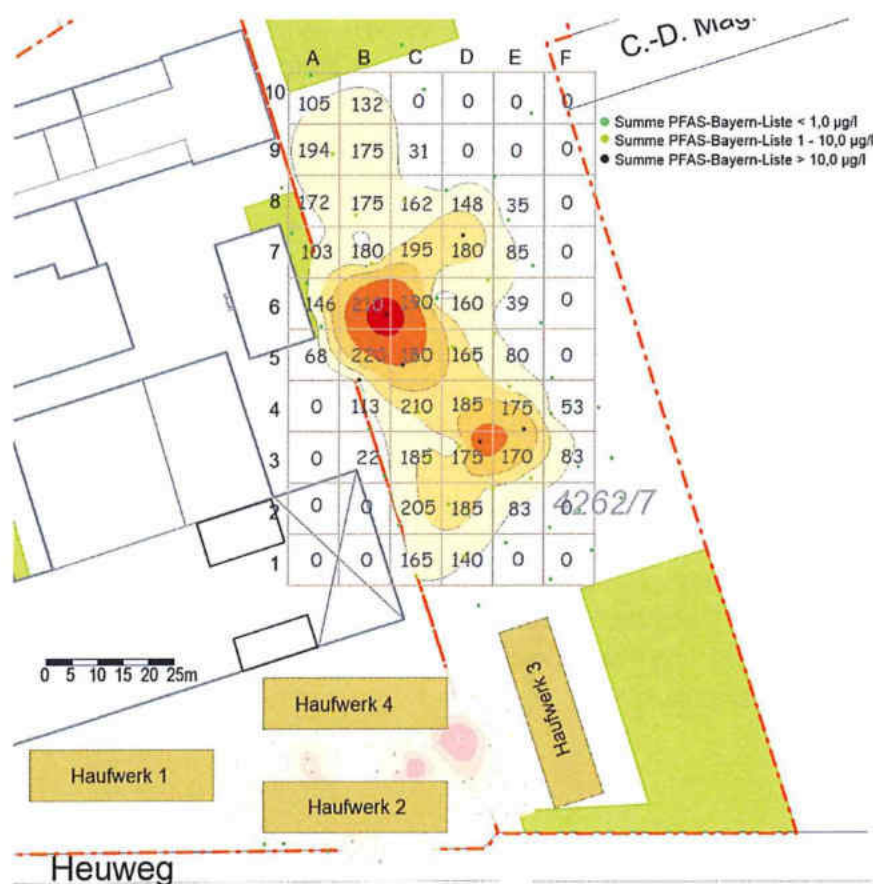


Abbildung 38: Lage der Haufwerke zur Zwischenlagerung während des Hot-Spot Aushubes auf dem Flurstück 4262/7

Es wird von der Annahme ausgegangen, dass mit einer Baggerleistung von 55 kW pro Stunde 41 m³ Boden gelöst und geladen werden können. Um 500 m³ Boden zu lösen und abzulagern bedarf es ca. 12 Bagger-Betriebsstunden. Dieses gelöste Bodenmaterial wird mittels Radlader zu den Haufwerkplätzen transportiert und dort zur Zwischenlagerung als Haufwerk mit bis zu 2,2 m Höhe abgelagert. Da die Arbeiten im nördlichen Bereich des Aushubareals begonnen werden, sind anfangs größere Distanzen zwischen Aushubareal und Zwischenlagerfläche zu überbrücken als gegen Ende der Maßnahme. Ein 74 kW



Radlader schafft bei einer mittleren Distanz von 50 m ca. 28 m³/h. Um ein Haufwerk von 1000 t (600 m³ gelösten Boden) anzulegen bedarf es ca. 22 Arbeitsstunden. Um zügig mit vergleichbarer Arbeitsleistung wie der Bagger voranzukommen sollten folglich 2 Radlader für das Ablegen der Haufwerke vorgesehen werden. Das heißt, es bedarf mindestens 1,5 Arbeitstage für den Aufbau eines Haufwerkes. Die Beprobung des Haufwerkes erfolgt nach PN 98 baubegleitend während des Aushubes. Dazu wird aus jeder 15. Baggerschaufel á 0,6 m³ eine Einzelprobe entnommen, so dass je Haufwerk á 1000 t 56 Einzelproben vorliegen. Am 3. Tag ist der Probentransport in das Labor, die Laufzeit für die Analytik im Labor beträgt 5 Arbeitstage, so dass nach 8 Arbeitstagen die Analysenbefunde für das beprobte Haufwerk zu erwarten sind. Am 9. Tag kann die Zuordnung nach der Deponieverordnung erfolgen. Liegen alle Voraussetzungen gemäß den Annahmebedingungen des Deponiebetreibers vor, kann das Erdreich eines Haufwerkes auf ca. 41 LKWs mit jeweils einer Ladung von 24 t verladen und abgefahren werden. Je LKW sind 14,5 m³ zu verladen. Ein 74 KW Radlader kann über eine Distanz bis 10 m 56 m³/h verladen. Das heißt, dass annähernd 4 LKWs pro Stunde beladen werden können. In der Summe dauert es bei reibungslosem Ablauf ca. 11 Arbeitsstunden bis ein Haufwerk á 1.000 t auf die LKWs verladen ist. In der Summe werden ca. 533 LKW-Fuhren benötigt, um die Erdmasse abzutransportieren.

Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über den Bedarf an Arbeitstagen für die Erdaushubarbeiten im Hotspotareal auf dem Flurstück 4262/7 auf der Grundlage der oben getroffenen Annahmen. Ein Durchgang bis alle 4 Haufwerkplätze belegt sind dauert 8 Arbeitstage. Bis der Rücklauf der Unterlagen nach der DEPV vorliegen ist mit mindestens 9 Arbeitstagen zu rechnen, so dass frühestens am 10. Arbeitstag mit dem Räumen des ersten Haufwerkes begonnen werden kann. Das heißt, nach dem ersten Durchlauf entsteht ein Arbeitstag Pause. Am 12. Arbeitstag ist der erste Haufwerkplatz wieder geräumt und kann damit erneut belegt werden, so dass am 12. Arbeitstag die Aushubarbeiten fortgesetzt werden können. Der 2. Durchlauf beginnt. In der Summe sind mit 3 vollständigen Durchläufen und einem angebrochenen 4. Durchlauf zu rechnen. Danach ist mit ca. 44 Arbeitstagen unterbrochen von jemals einem Tag Pause nach einem Durchgang für die Aushubarbeiten auf dem Flurstück 4262/7 zu kalkulieren.



Arbeitstage	Haufwerk / Beprobung	Labor- Transfer	Labor- Analytik	DEPV	LKW- Verladung
	2	1	5	1	2
Haufwerk					
Platz 1	1 + 2	3	8	9	10 + 11
Platz 2	3 + 4	5	10	11	12 + 13
Platz 3	5 + 6	7	12	13	14 + 15
Platz 4	7 + 8	9	14	15	16 + 17
Platz 1	12 + 13	14	19	20	21 + 22
Platz 2	14 + 15	16	21	22	23 + 24
Platz 3	16 + 17	18	23	24	25 + 26
Platz 4	18 + 19	20	25	26	27 + 28
Platz 1	23 + 24	25	30	31	32 + 33
Platz 2	25 + 26	27	32	33	34 + 35
Platz 3	27 + 28	29	34	35	36 + 37
Platz 4	29 + 30	31	36	37	38 + 39
Platz 1	34 + 35	36	41	42	43 + 44

Tabelle 5: Übersicht zum Ablauf der Aushubmaßnahme im Hotspot-Areal auf dem Flurstück 4262/7

Für das Wiederverfüllen der entstandenen Baugrube ist bindiger Boden zu verwenden. Damit wird sichergestellt, dass das Grundwasser wie ursprünglich durch eine bindige Deckschicht geschützt ist. Das heißt, es sind ca. 7950 m³ bindiger Boden (aufgelockert mit Faktor 0,82) einzubauen und lagenweise zu verdichten.

5.1.3.2 Umweltauswirkungen

Einen Überblick über den dafür erforderlichen fossilen Energieeinsatz wird unter der Annahme eines Energiebedarfes von 0,18 Liter Diesel je kWh für Erdbauarbeitsmaschinen hochgerechnet.

Bagger: 55 kW; Arbeitsstunden: 163 h; 8.980 kWh

Radlader: 74 kW, Arbeitsstunden: 284 h; 21.004 kWh

Haufwerk auf LKW verladen mit Radlader: 74 kW, Arbeitsstunden 142 h;
10.502 kWh

In der Summe sind 40.485 kWh Arbeitsleistung zu erbringen. Dafür müssen 7.287 l Diesel getankt werden. Mit einem Liter Diesel werden 2,65 kg CO₂ freigesetzt. Das sind in der Summe 19,3 t CO₂ für die Erdarbeiten auf der Baustelle.



Laut Umweltbundesamt⁴¹ werden beim LKW-Transport 112 g CO₂ Äqu. pro Tonnenkilometer emittiert. Bei 13.605 t zu transportierendem Erdaushub über eine Distanz von 500 km zur Deponie werden 762 t CO₂ Äqu. emittiert. Dazu sind die CO₂ Äqu. Emissionen durch das Leergewicht des LKWs pro km zu addieren. Bei einem LKW-Leergewicht von ca. 15 t sind pro 1.000 km Hin- und Rückfahrt pro Fuhre 1,68 t CO₂ Äqu. zu kalkulieren. Bei 533 LKW-Fuhren sind somit nochmals 952 t CO₂ Äqu. dazu zu addieren. In der Summe werden durch das Auskoffern des Hotspots und Deponierung auf dem Flurstück 4262/7 1.734 t CO₂ Äqu. emittiert.

Die Baugrube ist mit ca. 13.605 t bindigen Boden wieder zu verfüllen. Für die Berechnung der CO₂ Äqu. Emission wird ein einfacher Transportweg von 100 km angenommen. Für den Transport aus einem Umkreis von 100 km fallen 248 t CO₂ Äqu. an. Für den Einbau mit lagenweiser Verdichtung ist mit weiteren 10,4 t CO₂ Äqu. zu rechnen.

In der Summe ist für das Auskoffern des Hotspotareals auf dem Flurstück 4262/7 eine CO₂ Äqu. Emission von 1.992 t CO₂ Äqu. zu kalkulieren.

Die Leistungsaufnahme der aktuell betriebenen hydraulischen Sicherung beträgt ca. 7 kW. Der Jahresenergiebedarf beträgt 61.320 kWh. Die direkte CO₂ Emission für die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch betrug 2019 401g CO₂/kWh⁴². Das heißt, bezogen auf das Jahr 2019 werden mit der hydraulischen Sicherung jährlich 27 t CO₂ Äqu. emittiert. Da sich die CO₂ Äqu. Emission pro kWh nach dem Strommix jährlich durch den wachsenden Anteil von regenerativ erzeugten Strom abnimmt, ist zukünftig mit geringeren CO₂ Äqu. Emissionen zu rechnen.

Die Sanierungsanlage kann mit dem Strommix Faktor aus dem Jahr 2019 74 Jahre betrieben werden bis die durch die Auskoffernung verursachte THG Emission in Höhe von 1992 t CO₂ Äqu. erreicht wird. Da zu erwarten ist, dass zukünftig die CO₂ Äqu. Emission am Strom-Mix durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energie weiter sinken wird, dürfte sich die Laufzeit der Sanierungsanlage entsprechend verlängern, bis der CO₂ Äqu. -Ausstoß durch die Erdarbeiten erreicht wird.

5.1.4 Szenario Flurstück 4290

5.1.4.1 Verfahrensablauf

Die Baugrube ist entsprechend den Vorgaben der DIN 4124 „Baugruben und Gräben- Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten“ bis auf die anstehenden Rheinkiese anzulegen.

⁴¹ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#treibhausgas-emissionen-im-personenverkehr-grafik>

⁴² <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2019-co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom>

Die Baugrubensicherung ist entsprechend der Tiefenlage der anstehenden Rheinkiese zu gestalten. Die Tiefenlage unter GOK der anstehenden Rheinkiese innerhalb des Hotspot-Areals ist der Abbildung 28 zu entnehmen.

Nach den vorliegenden Ergebnissen der Untergrunderkundungen stehen die Rheinkiesablagerungen im Bereich des Testfeldes in Tiefen zwischen 1,8 – 2,7 m u. GOK an.

Auf dem Flurstück 4290 werden die Aushubarbeiten aus logistischen Erwägungen für einen möglichst effizienten Ablauf im Norden im Bereich der Quadranten C /D1 begonnen und dann nach Osten ausgeweitet.

Für die Zwischenlagerung der Haufwerke sind am Standort entlang der östlichen Pachtgrenze von Flurstück 4262/7 Flächen für 4 Haufwerke á 600 m³ mit einer wasserdichten Basisabdichtung herzurichten. Dafür ist bei einer trapezförmigen Geometrie eine Grundfläche von 36 x 10 m erforderlich bei einer Schütthöhe von 2,2 m.

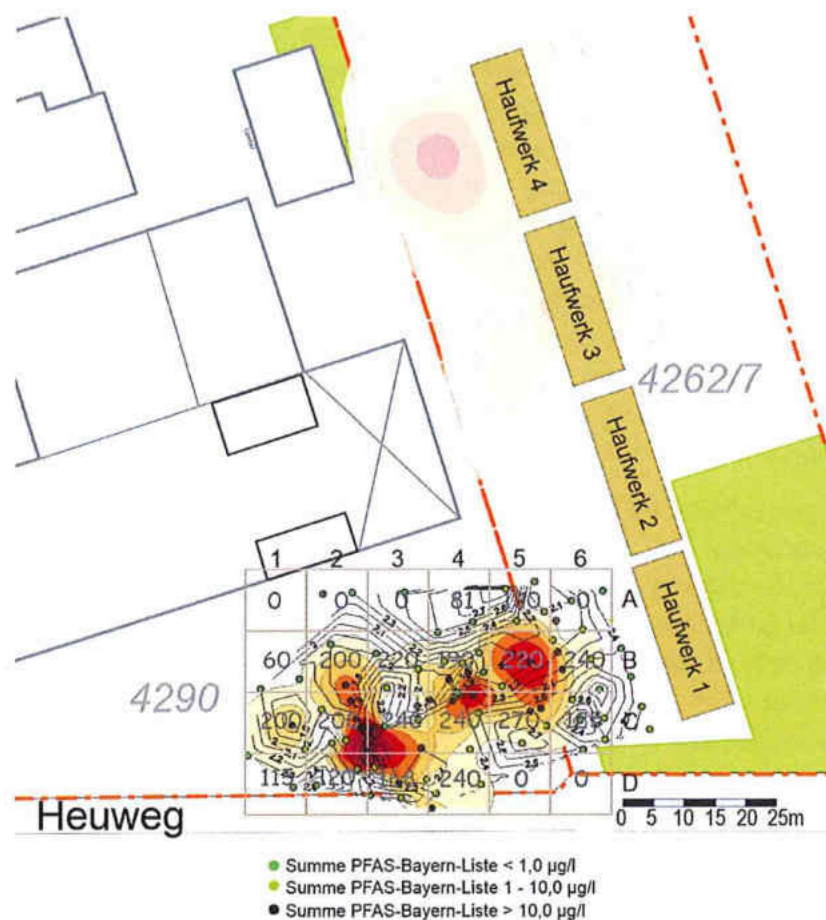


Abbildung 39: Lage der Haufwerke zur Zwischenlagerung während des Hot-Spot Aushubes auf dem Flurstück 4290



Es wird von der Annahme ausgegangen, dass mit einer Baggerleistung von 55 kW pro Stunde 41 m³ Boden gelöst und geladen werden können. Um 500 m³ Boden zu lösen und abzulagern bedarf es ca. 12 Bagger-Betriebsstunden. Dieses gelöste Bodenmaterial wird mittels Radlader zu den Haufwerkplätzen transportiert und dort zur Zwischenlagerung als Haufwerk mit bis zu 2,2 m Höhe abgelagert. Damit die Erdaushubmaßnahme von möglichst kurzer Dauer ist, sind 4 Haufwerke anzulegen. Unter diesen Bedingungen dauert die Maßnahme 28 Arbeitstage. Dafür muss eine größere Distanz zwischen dem Aushubareal und den Haufwerkplätzen in Kauf genommen werden. Beschränkt man sich auf 2 Haufwerkplätze werden die Erdaushubarbeiten doppelt so lange andauern.

Ein 74 kW Radlader schafft bei einer mittleren Distanz von 50 m ca. 28 m³/h. Um ein Haufwerk von 1000 t (600 m³ gelösten Boden) anzulegen bedarf es ca. 22 Arbeitsstunden. Um zügig mit vergleichbarer Arbeitsleistung wie der Bagger voranzukommen sollten folglich 2 Radlader für das Ablegen der Haufwerke vorgesehen werden. Das heißt, es bedarf mindestens 2 Arbeitstage für den Aufbau eines Haufwerkes. Die Beprobung des Haufwerkes erfolgt nach PN 98 baubegleitend während des Aushubes. Dazu wird aus jeder 15. Baggerschaufel á 0,6 m³ eine Einzelprobe entnommen, so dass je Haufwerk á 1000 t 56 Einzelproben vorliegen. Am 3. Tag ist der Probentransport in das Labor, die Laufzeit für die Analytik im Labor beträgt 5 Arbeitstage, so dass nach 8 Arbeitstagen die Analysenbefunde für das beprobte Haufwerk zu erwarten sind. Am 9. Tag kann die Zuordnung nach der Deponieverordnung erfolgen. Liegen alle Voraussetzungen gemäß den Annahmebedingungen des Deponiebetreibers vor, kann das Erdreich eines Haufwerkes auf ca. 41 LKWs mit jeweils einer Ladung von 24 t verladen und abgefahren werden. Je LKW sind 14,5 m³ zu verladen. Ein 74 kW Radlader kann über eine Distanz bis 10 m 56 m³/h verladen. Das heißt, dass annähernd 4 LKWs pro Stunde beladen werden können. In der Summe dauert es bei reibungslosem Ablauf ca. 11 Arbeitsstunden bis ein Haufwerk á 1.000 t auf die LKWs verladen ist. In der Summe werden ca. 330 LKW-Fahren benötigt, um die Erdmasse abzutransportieren.

Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über den Bedarf an Arbeitstagen für die Erdaushubarbeiten im Hotspotareal auf dem Flurstück 4290 auf der Grundlage der oben getroffenen Annahmen. Ein Durchgang bis alle 4 Haufwerkplätze belegt sind dauert 8 Arbeitstage. Bis der Rücklauf der Unterlagen nach der DEPV vorliegen ist mit mindestens 9 Arbeitstagen zu rechnen, so dass frühestens am 10. Arbeitstag mit dem Räumen des ersten Haufwerkes begonnen werden kann. Das heißt, nach dem ersten Durchlauf entsteht ein Arbeitstag Pause. Am 12. Arbeitstag ist der erste Haufwerkplatz wieder geräumt und kann damit erneut belegt werden, so dass am 12. Arbeitstag die Aushubarbeiten fortgesetzt werden können. Der 2. Durchlauf beginnt. In der Summe sind mit 2 vollständigen Durchläufen zu rechnen. Nach diesem Ablaufschema ist mit ca. 28 Arbeitstagen unterbrochen von einem Tag Pause (9. Arbeitstag) nach dem ersten Durchgang für die Aushubarbeiten auf dem Flurstück 4290 zu kalkulieren.



	Haufwerk / Beprobung	Labor- Transfer	Labor- Analytik	DEPV	LKW- Verladung
Arbeitstage	2	1	5	1	2
Haufwerk					
Platz 1	1 + 2	3	8	9	10 + 11
Platz 2	3 + 4	5	10	11	12 + 13
Platz 3	5 + 6	7	12	13	14 + 15
Platz 4	7 + 8	9	14	15	16 + 17
Platz 1	12 + 13	14	19	20	21 + 22
Platz 2	14 + 15	16	21	22	23 + 24
Platz 3	16 + 17	18	23	24	25 + 26
Platz 4	18 + 19	20	25	26	27 + 28

Tabelle 6: Übersicht zum Ablauf der Aushubmaßnahme im Hotspot-Areal auf dem Flurstück 4290

Für das Wiederverfüllen der entstandenen Baugrube ist bindiger Boden zu verwenden. Damit wird sichergestellt, dass das Grundwasser wie ursprünglich durch eine bindige Deckschicht geschützt ist. Das heißt, es sind ca. 7.950 t bindiger Boden (aufgelockert mit Faktor 0,82) über 331 LKW-Fuhren heranzutransportieren, einzubauen und lagenweise zu verdichten. Bei einer mittleren Aushubtiefe von 2,4 m sind bei einer Lagenmächtigkeit von 25 cm 9 Verdichtungsarbeitsschritte erforderlich.

5.1.4.2 Umweltauswirkungen

Einen Überblick über den dafür erforderlichen fossilen Energieeinsatz wird unter der Annahme eines Energiebedarfes von 0,18 Liter Diesel je kWh für Erdbauarbeitsmaschinen hochgerechnet.

Bagger: 55 kW; Arbeitsstunden: 95,2 h; 5236 kWh

Radlader: 74 kW, Arbeitsstunden: 166 h; 12.249 kWh

Haufwerk auf LKW verladen mit Radlader: 74 kW, Arbeitsstunden 83 h; 6.124 kWh

In der Summe sind 23.610 kWh Arbeitsleistung zu erbringen. Dafür müssen 4.250 l Diesel getankt werden. Mit einem Liter Diesel werden 2,65 kg CO₂ freigesetzt. Das sind in der Summe 11,3 t CO₂ für die Erdarbeiten auf der Baustelle.

Laut Umweltbundesamt⁴³ werden beim LKW-Transport 112 g CO₂ Äqu. pro Tonnenkilometer emittiert. Bei 7.934 t zu transportierendem Erdaushub über eine Distanz von 500 km zur Deponie werden 444 t CO₂ Äqu. emittiert.

Dazu sind die CO₂ Äqu. Emissionen durch das Leergewicht des LKWs pro km zu addieren. Bei einem LKW-Leergewicht von ca. 15 t sind pro 1.000 km Hin- und Rückfahrt pro Fuhre

⁴³ <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#treibhausgas-emissionen-im-personenverkehr-grafik>



1,68 t CO₂ Äqu zu kalkulieren. Bei 331 LKW-Fahren sind somit nochmals 555 t CO₂ Äqu dazu zu addieren. In der Summe werden durch das Auskoffern des Hotspots und Deponierung auf dem Flurstück 4290 1.011 t CO₂ Äqu emittiert.

Die Baugrube ist mit ca. 7.934 t bindigen Boden wieder zu verfüllen. Für die Berechnung der CO₂ Äqu Emission wird ein einfacher Transportweg von 100 km angenommen. Für den Transport aus einem Umkreis von 100 km fallen 144 t CO₂ Äqu an. Für den Einbau mit lagenweiser Verdichtung ist mit weiteren 5,7 t CO₂ Äqu zu rechnen.

In der Summe ist für das Auskoffern des Hotspotareals auf dem Flurstück 4290 eine CO₂ Äqu Emission von 1.161 t CO₂ Äqu zu kalkulieren.

Die Leistungsaufnahme der aktuell betriebenen hydraulischen Sicherung beträgt ca. 7 kW. Der Jahresenergiebedarf beträgt 61.320 kWh. Die direkte CO₂ Emission für die Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch betrug 2019 401g CO₂/kWh⁴⁴. Das heißt, bezogen auf das Jahr 2019 werden mit der hydraulischen Sicherung jährlich 27 t CO₂ Äqu emittiert. Da sich die CO₂ Äqu Emission pro kWh nach dem Strommix jährlich durch den wachsenden Anteil von regenerativ erzeugtem Strom abnimmt, ist zukünftig mit geringeren jährlichen CO₂ Äqu Emissionen zu rechnen.

Die Sanierungsanlage kann mit dem Strommix Faktor aus dem Jahr 2019 43 Jahre betrieben werden bis die durch die Auskoffierung verursachte THG Emission in Höhe von 1061 t CO₂ Äqu, unter der Annahme, dass der wieder einzubauende Boden aus einem Umkreis von 100 km kommt, erreicht wird. Da zu erwarten ist, dass zukünftig die CO₂ Äqu Emission am Strom-Mix durch den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energie weiter sinken wird, dürfte sich die Laufzeit der Sanierungsanlage entsprechend verlängern, bis der CO₂ Äqu - Ausstoß durch die Erdarbeiten erreicht wird.

5.1.5 FAZIT

Die Maßnahme „Auskoffierung“ wurde in Erwägung gezogen, da damit die Dauer der hydraulischen Sicherung als Maßnahme zur Gefahrenabwehr bezogen auf das Schutzgut Grundwasser zeitlich abgekürzt werden könnte.

Bei der Maßnahme „Auskoffierung“ der ungesättigten Bodenzone bis zu den anstehenden Rheinkiesen wird wertvoller hochwertiger Boden abgetragen. Eine Deponierung entsprechend den im Erlass des Landes Baden-Württemberg zusammengestellten qualitativen Anforderungen, die sicherstellen, dass keine Gefährdung des Wohls der Allgemeinheit zu besorgen ist, ist aktuell trotz intensiver Recherche auf keiner der 33 angefragten Deponien im Bundesgebiet möglich. Vielmehr ist bei einer Ablagerung auf einer den Anforderungen nicht genügenden und damit nicht ausreichend gesicherten Deponie nur von einer

⁴⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2019-co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom>



Verlagerung des Problems an einen anderen Standort auszugehen. So ordnet das Umweltbundesamt in ihrem Homepage-Beitrag vom 24.02.2020 die Deponierung von PFAS-haltigem Böden zwar als grundsätzlich möglich ein, streicht aber heraus, dass damit das Problem nur verlagert wird und damit hohe Folgekosten verbunden seien. Dies betrifft insbesondere die Sickerwasseraufbereitung von Deponiesickerwässern. „Denn die derzeitig standardmäßige Kläranlagentechnik ist nicht in der Lage, PFAS wirksam aus dem behandelten Abwasser zu entfernen. Diese müssten um Verfahrensstufen anlog zur Trinkwasseraufbereitung ergänzt werden und verteuern die Behandlung.“ (<https://www.umweltbundesamt.de/pfc-sanierung-in-boeden-grundwasser>)

Unabhängig davon ist die Klimabilanz einer Auskofferung mit Deponierung in 500 km Entfernung und herantransportieren von unbelastetem Boden aus einem Umkreis von 100 km mit einer CO_2 -Äqu Ausstoß von 3.153 t CO_2 -Äqu in Zeiten des Klimawandels und den rechtsverbindlichen Verpflichtungen im Rahmen internationaler Klimaabkommen nicht mehr zeitgemäß.

Unter der Annahme einer CO_2 -Äqu -Emission von 441 g CO_2 -Äqu /kWh gemäß dem Strommix in Deutschland 2019 kann die hydraulische Sicherungsanlage 116 Jahre lang betrieben werden bis die durch die Hotspot-Auskofferung verursachten CO_2 -Äqu Emissionen überschritten werden.

Unter der Voraussetzung, dass die hydraulische Sicherung die Gefahrenabwehr bezüglich des Schutzgutes Grundwasser sicherstellt, ist nach derzeitigem Kenntnisstand eine Auskofferung der Hotspotareale mit anschließender Deponierung des PFAS-haltigen Bodens aus gutachterlicher Sicht nicht zu befürworten.

5.2 PFAS-Entfrachtung der ungesättigten Bodenzone durch ein forciertes in situ Bodenwaschverfahren

Eine Deponierung des PFAS-haltigen Bodens ist nach der aktuellen Kenntnislage aus gutachterlicher Sicht nicht zu befürworten. Gleichwohl ist aber anzustreben, dass die aktuell sich abzeichnenden Möglichkeiten der Standortverbesserung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit am Standort überprüft werden.

Die Firma Sensatec bietet seit dem Frühjahr 2020 ein in-situ-Verfahren an, mit dem PFAS-Verbindungen mittels eines Biopolymerkondensates in-situ aus dem Boden gewaschen werden. Das mit PFAS-Verbindungen angereicherte „Waschwasser“ wird im nahen Abstrom der Eingabefläche über das Grundwasser wieder aus dem Untergrund entnommen. Das geförderte Grundwasser wird über eine Wasserreinigungsanlage aufbereitet und anschließend im Oberstrom wieder reinfiltriert.

Konzept

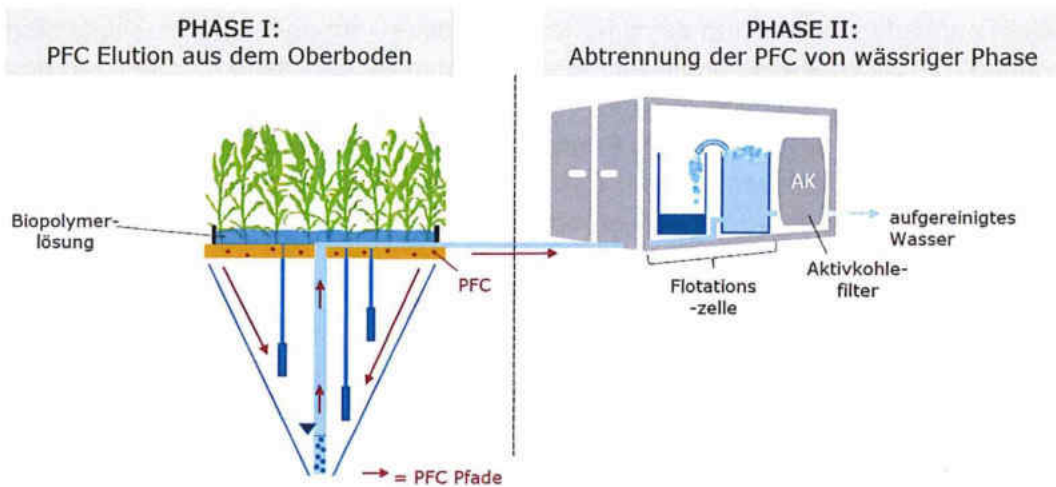


Abbildung 40: Konzept zur PFAS-in-situ Auswaschung mittels eines Biopolymers (Quelle Dechema 26.11.2019 Vortrag Sensatec, GEOlogik, TU Berlin)

Es handelt sich dabei um eine neue Verfahrenstechnik. Im Vorfeld sind Machbarkeitsstudien im Labor- und Technikumsmaßstab erforderlich, die zeigen müssen, ob das Verfahren am Standort funktioniert.

Die aus dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundprojekt BioKon aus der Reihe KMU – innovativ hervorgehenden Forschungsergebnisse zeigen als erstes Zwischenergebnis eine 80% Abreinigung von PFC im Technikumsmaßstab der Lysimeterversuche mit Schwerpunkt auf die PFC Qualität diPAP / diSAmPAP nach.

Im April 2020 veröffentlichen die Projektpartner das Ergebnis eines Feldversuches bei Hügelsheim im Landkreis Rastatt. Danach konnte eine Abreinigung im gewachsenen Boden von 80% erzielt werden. Für eine allgemein Praxistauglichkeit sehen die Projektpartner noch weiteren Entwicklungsbedarf und müssen Erfahrungen gesammelt werden.

Gleichwohl geben die vorliegenden Ergebnisse einen Ausblick wie mit diesem innovativen Ansatz eine praxistaugliche Alternative zur Auskoffierung und Deponierung von PFAS-haltigen Böden entwickelt werden könnte.

Aus gutachterlicher Sicht ist eine mit Standortmaterial ausgeführte Machbarkeitsstudie im Labormaßstab eine Option, um nichts unversucht zu lassen, wie die Situation am Standort verbessert werden könnte.



5.3 Oberflächenversiegelung

Sollte mit der hydraulischen Sicherung keine nachhaltige Gefahrenabwehr für das Schutzgut Grundwasser erreicht werden, sind als eine Interimslösung – bis geeignete, praxisbewährte Sanierungsverfahren für PFAS-haltige Böden entwickelt worden sind –, die Hot-spotoberflächen mit einer flüssigkeitsdichten Belag zu versiegeln.

5.4 Kostenschätzung für Auskoffnung der Hot-Spot-Areale

Die Tabelle 7 stellt die Kostenschätzung für die in Abschnitt 6 erläuterte Vorgehensweise für die Auskoffnung der Hot-Spot-Areale auf den Flurstücken 4290 und 42962/7 zusammen. Die Preisangaben beziehen sich auf das Jahr 2018. Insbesondere die Kosten für die Abfuhr und Deponierung des Bodenmaterials sind unter Vorbehalt zu sehen.



5 Sanierungsvarianten Ungesättigte Bodenzone

Pos.	Leistungsbeschreibung	Anzahl	Einheit	EP	GP
1	Baustelleneinrichtung				
1.1	Erdbau	1	p	12.000 €	12.000 €
1.2	Waschplatz und Reifenwaschanlage stellen und betreiben	1	Stk	2.500 €	2.500 €
2	Aushub				
2.1	Testfeld				
2.1.1	Asphaltdecke Testfeld entfernen	1550	m ²	2,2 €	3.410 €
2.1.2	Boden ausheben und auf Miete zwischenlagern	3960	m ³	6,5 €	25.740 €
2.1.3	Boden im Grundwasser ausheben und zwischenlagern	0	m ³	12,0 €	
2.2	Gemeinde-Flurstück 4262/7				
2.2.1	Asphaltdecke Gemeinde-Flurstück entfernen	1000	m ²	2,2 €	2.200 €
2.2.1	Boden ausheben und auf Miete zwischenlagern	6810	m ³	6,5 €	44.265 €
2.3	Mineralöltank ausbauen				
2.3.1	Tank entleeren und reinigen	1	p	1.200,0 €	EP
2.3.2	60.000l Heizöltank freilegen, ausbauen, beseitigen	1	p	1.800,0 €	EP
2.3.3	Bodenaushub mit Zwischenlagerung	350	m ³	6,5 €	EP
2.3.4	Entsorgung Mineralölbelastetes Bodenmaterials DK I	200	t	48,5 €	EP
2.3.5	Entsorgung Mineralölbelastetes Bodenmaterial DK II	100	t	56,5 €	EP
3	Bodenentsorgung				
3.1	Testfeld				
3.1.1	Aushub aufnehmen und laden	7524	t	3,5 €	26.334 €
3.1.2	PFC-haltigen Boden DKII auf Deponie beseitigen	7524	t	85 €	639.540 €
3.1.3	Deklarationsanalytik	20	Stk	265 €	5.300 €
3.2	Gemeinde-Flurstück 4262/7				
3.2.1	Aushub aufnehmen und laden	12939	t	3,5 €	45.287 €
3.2.2	PFC-haltigen Boden DKII auf Deponie beseitigen	12939	t	85 €	1.099.815 €
3.2.3	Deklarationsanalytik	35	Stk	264 €	9.240 €
4	Baugrubenverfüllung				
4.1	Testfeld				
4.1.1	Bodenmaterial liefern, einbauen und verdichten (Dpr >97%)	3346	m ³	5,0 €	16.728 €
4.1.2	Mineraltragschicht liefern und einbauen (Dpr < 100%)	614	m ³	36 €	22.118 €
4.1.3	Asphaltdecke herstellen 15 cm	1550	m ²	54 €	83.700 €
4.2	Gemeinde-Flurstück 4262/7				
4.2.1	Bodenmaterial liefern, einbauen und verdichten (Dpr >97%)	5602	m ³	5,0 €	28.010 €
4.2.2	Mineraltragschicht liefern und einbauen (Dpr < 100%)	1208	m ³	36 €	43.488 €
5	Wiederherstellung Kanäle	1	p.	40.000 €	40.000 €
6	Arbeitsschutz				
6.1	Schwarz-Weiß Anlage stellen und betreiben	1	p.	2.500 €	2.500 €
6.2	Persönliche Schutzausrüstung	1	p.	5.000 €	5.000 €
7	Bauleitung, Überwachung	1	p.	130.000 €	130.000 €
	Zwischensumme				
	Allgemeine Aufwendungen				192.000 €
	Testfeld				822.870 €
	Gemeinde-Flurstück 4262/7				1.272.305 €
	Summe				2.287.175 €

Tabelle 7: Kostenschätzung der Bodensanierungsmaßnahmen auf dem Flurstück 4290 und 4262/7



6 Zusammenfassung

Am Standort Heuweg 11 in Weisweil wurde während der betrieblichen Nutzung durch die Magirus Brandschutztechnik GmbH mit Feuerlöschschaumprodukten umgegangen. Dabei gelangen PFC-Verbindungen im Bereich des Testfeldes auf dem Flurstück 4290 und der LKW-Stellplätze auf dem Flurstück 4262/7 in den Untergrund. Dadurch sind schädliche Boden- und Grundwasserveränderungen eingetreten, die einen Sanierungsbedarf nach sich ziehen.

Im vorgelegten Gutachten „Sanierungsuntersuchungen“ vom 16.10.2018 werden die vorliegenden Befunde seit der Projektbearbeitung 2014 ergänzt durch weitere grundwasserhydraulische Erkundungen im August 2018 gesichtet, dokumentiert und ausgewertet. Damit werden die Voraussetzungen geschaffen, dass die für den Standort erforderlichen, geeigneten und angemessenen Maßnahmen für eine Sanierung im Sinne des § 4 Abs. 3 BBodSchG entwickelt werden können.

Für die Umsetzung der im Gutachten „Sanierungsuntersuchungen“ vorgestellten für den Standort erforderlichen, geeigneten und angemessenen Maßnahmen für eine Sanierung im Sinne des § 4 Abs. 3 BBodSchG ist ein 2 -stufiger Sanierungsplan zu entwickeln.

In der ersten Stufe ist durch hydraulische Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen sicherzustellen, dass eine weitere schädliche Grundwasserveränderung durch die derzeitige PFAS Emission im Abstrom des Standortes unterbunden wird.

In der zweiten Stufe ist vorgesehen durch eine Quellensanierung durch den Bodenaushub innerhalb der Hot-Spot-Areale sicherzustellen, dass die hydraulischen Maßnahmen zeitlich endlich sein werden. Für die Quellensanierung innerhalb der Hot-Spot-Areale sind ca. 12.000 m³ entfestigter Boden auszutauschen.

Diese Strategie wurde in Erwägung gezogen, da nur so der anhaltenden Freisetzung von PFAS-Verbindungen sowohl direkt wie auch aus dem „Depot“ der Precursor aus der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone entgegengewirkt werden kann.

Bei der Entwicklung des Sanierungsplanes „Erdaushub“ hat sich folgender Sachverhalt herauskristallisiert:

Bei der Maßnahme „Auskoffnung“ der ungesättigten Bodenzone bis zu den anstehenden Rheinkiesen wird wertvoller hochwertiger Boden abgetragen. Eine Deponierung entsprechend den im Erlass des Landes Baden-Württemberg zusammengestellten qualitativen Anforderungen, die sicherstellen, dass keine Gefährdung des Wohls der Allgemeinheit zu besorgen ist, ist aktuell trotz intensiver Recherche auf keiner der 33 angefragten Deponien im Bundesgebiet möglich. Vielmehr ist bei einer Ablagerung auf einer den Anforderungen nicht genügenden und damit nicht ausreichend gesicherten Deponie nur von einer Verlagerung des Problems an einen anderen Standort auszugehen. So ordnet das Umweltbundesamt in ihrem Homepage-Beitrag vom 24.02.2020 die Deponierung von PFAS-haltigem Böden zwar als grundsätzlich möglich ein, streicht aber heraus, dass damit das Problem nur verlagert wird und damit hohe Folgekosten verbunden seien. Dies betrifft insbesondere die Sickerwasseraufbereitung von Deponiesickerwässern. „Denn die derzeitige standardmäßige Kläranlagentechnik ist nicht in der Lage, PFAS wirksam aus dem behandelten



6 Zusammenfassung

Abwasser zu entfernen. Diese müssten um Verfahrensstufen anlog zur Trinkwasseraufbereitung ergänzt werden und verteuern die Behandlung.“ (<https://www.umweltbundesamt.de/pfc-sanierung-in-boeden-grundwasser>)

Unabhängig davon ist die Klimabilanz einer Auskoffnung mit Deponierung in 500 km Entfernung und herantransportieren von unbelastetem Boden aus einem Umkreis von 100km mit einer CO_2 -Äqu Ausstoß von 3.153 t CO_2 -Äqu in Zeiten des Klimawandels und den rechtsverbindlichen Verpflichtungen im Rahmen internationaler Klimaabkommen nicht mehr zeitgemäß.

Unter der Annahme einer CO_2 -Äqu -Emission von 441 g CO_2 -Äqu /kWh gemäß dem Strommix in Deutschland 2019 kann die hydraulische Sicherungsanlage 116 Jahre lang betrieben werden bis die durch die Hotspot-Auskoffnung verursachten CO_2 -Äqu Emissionen überschritten werden.

Unter der Voraussetzung, dass die hydraulische Sicherung die Gefahrenabwehr bezüglich des Schutzgutes Grundwasser sicherstellt, ist nach derzeitigem Kenntnisstand eine Auskoffnung der Hotspotareale mit anschließender Deponierung des PFASs-haltigen Bodens aus gutachterlicher Sicht nicht zu befürworten.

Gleichwohl ist aber anzustreben, dass die aktuell sich abzeichnenden Möglichkeiten der Standortverbesserung durch ein in-situ-Verfahren, mit dem PFAS-Verbindungen mittels eines Biopolymerkondensates aus dem Boden gewaschen werden, aktiv in Form einer Machbarkeitsstudie hinsichtlich ihrer Eignung am Standort überprüft werden.

Herrenberg, 18.06.2020

Dr. H. Voelker

Dr. Heike Voelker

