

PFC-UNTERSUCHUNG NACH PHASE IIa/IIb – NATO-FLUGPLATZ NEUBURG A.D. DONAU

**ENDBERICHT ZUR ABSCHLIEßENDEN GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG DER
KONTAMINATIONSFLÄCHEN KF 029 UND 500 (PHASE IIb)**

VERTRAGSNUMMER: 19 D 0346
MAßNAHMENNUMMER: 40352 C 0001
LIEGENSCHAFTSNUMMER: 643701

DATUM: 12. MÄRZ 2020

AUFTRAGGEBER:

Staatliches Bauamt
Ingolstadt



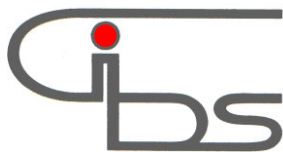
STAATLICHES BAUAMT INGOLSTADT

ABTL. I

ELBRACHTSTR. 20

85049 INGOLSTADT

AUFTRAGNEHMER:



GEOLOGEN + INGENIEURE GMBH & CO. KG

DEICHSLERSTRASSE 25

D - 90489 NÜRNBERG

PROJEKTLEITER:



PROJEKTNR. GIBS: 099-G-19/053

AUSFERTIGUNG:

INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass und Aufgabenstellung	7
2	Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn	10
2.1	Vorhandene Unterlagen und Berichte	10
2.2	Liegenschaftsbeschreibung	11
2.2.1	Lage und gegenwärtige Nutzung	11
2.2.2	Historische Entwicklung	12
2.3	Standortsituation	12
2.3.1	Niederschlag und GW-Neubildung	12
2.3.2	Geologie	13
2.3.3	Hydrogeologie	15
2.3.4	Hydrologie	16
2.3.5	Schutzgebiete	17
3	Grundlagen der Ergebnisbeurteilung	18
3.1	Eigenschaften von PFC	18
3.2	Bewertungskriterien und -maßstäbe	20
3.2.1	Wirkungspfad Boden – Mensch	20
3.2.2	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze	20
3.2.3	Wirkungspfad Boden – Gewässer (LfW-Merkblatt 3.8/1)	20
3.2.4	Bewertungskriterien Oberflächenwasser	24
3.2.5	Kategorisierung nach BFR BoGWS	24
4	Durchführung der Untersuchungen	26
4.1	Feldarbeiten	26
4.1.1	Erstellung der Grundwassermessstellen	27
4.1.2	Probenahmen	28
4.1.3	Vermessungsarbeiten	36
4.2	Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz	36
4.3	Laboruntersuchungen/Chemische Analytik	37
4.4	Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter	38
5	Untersuchungsergebnisse	40
5.1	Liegenschaftsbezogene Ergebnisse	40

5.1.1	Ergebnisse von Recherchen	40
5.1.2	Boden- und Untergrundaufbau	43
5.1.3	Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung	44
5.1.4	PFC-Belastung Grundwasser	51
5.1.5	PFC-Belastung Oberflächengewässer	59
5.1.6	PFC-Belastung Entwässerungssystem	62
5.2	Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KVF/KF	64
5.2.1	KF 029 „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“	66
5.2.2	KF 500 „Alte Feuerwache“	82
6	Empfehlungen für das weitere Vorgehen.....	96
7	Zusammenfassung	97
8	Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften	99

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Übersichtsplan (BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung)	11
Abbildung 2-2: Geologischer Überblick Untersuchungsgebiet [17]	14
Abbildung 2-3: Kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnung Messstation Heinrichsheim [15]	16
Abbildung 3-1: Modellstruktur und Strukturformel von PFOA und PFOS	18
Abbildung 3-2: Physikalische und chemische Eigenschaften der PFC in Abhängigkeit von der Kettenlänge	19
Abbildung 4-1: Liner-Sondierung	30
Abbildung 4-2: Absenkungsverlauf Förderbrunnen/Rammpegel inkl. Förderrate	39
Abbildung 5-1: PFC-Untersuchungen Oberflächengewässer LfU	40
Abbildung 5-2: Schematischer Untergundaufbau Grundwassermessstelle P20	44
Abbildung 5-3: PFC-Belastung der Grundwasserproben nach Einzelparameter	53
Abbildung 5-4: Prozentuale Verteilung Einzelparameter nach Medium	64
Abbildung 5-5: Lageplan KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“	66
Abbildung 5-6: Querschnitt Feuerlöschübungsbecken nach Standardplanung [5]	68
Abbildung 5-7: Übersichtslageplan Bestandsplan Feuerlöschübungsbecken [5]	69
Abbildung 5-8: Aktuelle Ansicht ehemaliges Feuerlöschübungsbecken	70
Abbildung 5-9: Lageplan KVF „Alte Feuerwache“	82

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Projektteam	7
Tabelle 1-2: Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb/Phase IIa	8
Tabelle 2-1: Historische Entwicklung NATO-Flugplatz Neuburg	12
Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Burgheim [14]	13
Tabelle 2-3: Ermittelte hydraulische Parameter	15
Tabelle 3-1: Typische PFC-Konzentrationen in Feuerlöschmitteln, lanuv NRW [mg/kg] [16]	19
Tabelle 3-2: Vorläufige Stufenwerte für den Pfad Boden-Grundwasser	21

Tabelle 3-3: Bewertung der Detailuntersuchung nach LfW Merkblatt 3.8/1 (Grundwasseruntersuchung)	22
Tabelle 3-4: Vorläufige Schwellenwerte für Grund- und Trinkwasser	23
Tabelle 3-5: Kriterien zur Prüfung Verhältnismäßigkeit nach LAWA/LABO.....	24
Tabelle 3-6: PNEC _{aquatisch} -Werte für PFC für die Beurteilung von Oberflächengewässern	24
Tabelle 4-1: Am Projekt beteiligte Unternehmen	27
Tabelle 4-2: Stammdaten 5“-Grundwassermessstellen	28
Tabelle 4-3: Übersicht Bodenaufschlüsse	29
Tabelle 4-4: Übersicht Flächenmisch- und Sedimentproben.....	30
Tabelle 4-5: Untersuchte Grundwasseraufschlüsse	31
Tabelle 4-6: Untersuchte Oberflächenwassermesspunkte	33
Tabelle 4-7: Beprobungsstellen Entwässerungssystem.....	36
Tabelle 4-8: Pumpversuchsdaten	38
Tabelle 5-1: Übersicht Grundwassermessstellen	45
Tabelle 5-2: Reaktion der einzelnen Messstellen während des Pumpversuchs	47
Tabelle 5-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Pumpversuchsauswertungen	48
Tabelle 5-4: Übersicht PFC-Untersuchungen Grundwasser	54
Tabelle 5-5: Konzentrationsentwicklung für PFOS und PFHxS im Grundwasser	55
Tabelle 5-6: Konzentrationsentwicklung PFOS/PFHxS Direct-Push- Grundwassersondierungen	56
Tabelle 5-7: Tiefenabhängige Konzentrationsverteilung CMT-Messstellen	57
Tabelle 5-8: Konzentrationsentwicklung der Oberflächengewässer für PFOS	61
Tabelle 5-9: PFOS-Konzentration Entwässerungssystem.....	63
Tabelle 5-10: PFC-Belastung der Bodenproben (S4-Eluat) nach Einzelparameter	65
Tabelle 5-11: Bisherige analytische Untersuchungen KF 029.....	71
Tabelle 5-12: Kontaminationsverteilung Feuerlöschübungsbecken (KF 029) anhand des Einzelparameters PFOS	72
Tabelle 5-13: PFOS-Konzentrationen Flächenmischproben	73
Tabelle 5-14: Konzentrationsentwicklung KF 029 für PFOS und PFHxS	74
Tabelle 5-15: PFC-Konzentration der Wasserprobe aus dem Übungsbecken	76

Tabelle 5-16: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) KF 029	77
Tabelle 5-17: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF 029.....	78
Tabelle 5-18: Zusammenfassung KF 029 „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“	81
Tabelle 5-19: Bisherige analytische Untersuchungen KF 500	85
Tabelle 5-20: Kontaminationsverteilung „Alte Feuerwache“ (KF 500) anhand des Einzelparameters PFOS	87
Tabelle 5-21: Konzentrationsentwicklung KF 500 für PFOS und PFHxS	89
Tabelle 5-22: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) KF 500	91
Tabelle 5-23: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF 500.....	92
Tabelle 5-24: Zusammenfassung KF 500 „Alte Feuerwache“	95
Tabelle 7-1: Zusammenfassende Bewertung der untersuchten KF	98

ANLAGEN

Anlage 1: Karten

Anlage 2: Analysenergebnisse

Anlage 3: Probenahmeprotokolle Grund- und Oberflächenwasser

Anlage 4: Schichtenverzeichnisse der Sondierungen

Anlage 5: Bohr- und Ausbauprofile neue Grundwassermessstellen

Anlage 6: Analysenprotokolle

Anlage 7: Vermessungsdaten der Aufschlüsse

Anlage 8: Dokumentation Stichtagsmessung

1 Anlass und Aufgabenstellung

Mit Datum vom 07. Juni 2019 wurde das Ingenieurbüro Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG von Staatlichen Bauamt Ingolstadt mit dem Projekt „PFC-Untersuchung nach Phase IIa/b am NATO-Flugplatz Neuburg a.d. Donau“ (Vertragsnr. 19 D 0346, Maßnahmennummer 40352 C 0001) nach Vorgabe der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGwS) [29] beauftragt.

Das Projektteam setzt sich aus den in Tabelle 1-1 gelisteten Personen zusammen.

Tabelle 1-1: Projektteam

Auftraggeber:	Staatliches Bauamt Ingolstadt
Fachtechnische Leitung:	Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr, Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K 6 [REDACTED]
Vertragsangelegenheiten:	Staatliches Bauamt Ingolstadt [REDACTED]
Auftragnehmer:	Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG
Abteilungsleitung:	[REDACTED]
Projektleitung und -bearbeitung:	[REDACTED]
Sachverständige gemäß §18 BBodSchG:	[REDACTED] (Sachgebiete 1, 2, 5) [REDACTED] (Sachgebiete 2, 6)

Auftragsgegenstand war die Erbringung von Leistungen für die Orientierende Untersuchung (Phase IIa) bzw. Detailuntersuchung (Phase IIb) des Grundwassers sowie der ungesättigten Bodenzone auf dem NATO-Flugplatz Neuburg a.d. Donau. Dabei beziehen sich die Untersuchungen ausschließlich auf die Erkundung der festgestellten PFC-Kontaminationen im Bereich der Liegenschaft.

Die aktuellen Untersuchungen (**Phase IIa-2/IIb-1**) knüpfen an die Orientierende Untersuchung (**Phase IIa-1**) aus dem Jahr 2015 an, die von Gibs geologen + ingenieure durchgeführt wurde. Dabei wurden weiterführende Maßnahmen an zwei Kontaminationsflächen (KF) abgeleitet, um eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchführen zu können. Des Weiteren wurden im Zuge dieser Erkundung Hinweise auf weitere PFC-Einträge abgeleitet, die im Zuge einer Historischen Erkundung (HE, Phase I) durch Mull & Partner Ingenieurgesellschaft GmbH aus dem Jahr 2017/2018 überprüft wurden.

Auf Grundlage der vorgenannten Erkenntnisse wurde durch Gibs geologen + ingenieure ein Untersuchungskonzept (mit Datum vom 08. November 2018) erstellt, welches mit dem BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6

(BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6) sowie den Fachbehörden (WWA Ingolstadt) abgestimmt wurde. Mit Schreiben vom 19. Dezember 2018 (Az. 320-178-2/1) äußerte auch das Landratsamts Neuburg-Schrobenhausen Einverständnis zum geplanten Vorgehen.

Auf Grundlage dieses Untersuchungskonzeptes wurde Gibs geologen + ingenieure beauftragt, an zwei KF Detailuntersuchungen (Phase IIb-1) und an 12 kontaminationsverdächtige Fläche (KVF) Orientierende Untersuchungen (Phase IIa-2) durchzuführen. Im Zuge dieser Untersuchungen wurden von Juni 2019 bis November 2019 die in Tabelle 1-2 aufgeführten Untersuchungen (Hauptauftrag und Nachbeauftragungen) durchgeführt.

Tabelle 1-2: Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb/Phase IIa

Phase	Phase IIb	Phase IIa
ungesättigte Bodenzone	24 Linersondierungen, 129 entnommene Bodenproben, 1 Flächenmisch- und 1 Sedimentprobe	38 Linersondierungen, 213 entnommene Bodenproben, 3 Flächenmischproben
	PFC-Analytik von 90 Bodenproben im S4-Eluat bzw. 1 Bodenproben im Feststoff	PFC-Analytik von 157 Bodenproben im S4-Eluat
gesättigte Bodenzone	Errichtung von fünf 5" Grundwassermessstellen	
	Entnahme von 47 Grundwasserproben mittels Direct-Push-Grundwassersondierungen	
	Monitoring an 40 Grundwassermessstellen (GWM) auf der Liegenschaft, 27 Grundwasseraufschlüssen (GWM, Bewässerungsbrunnen, Hausbrunnen) außerhalb der Liegenschaft und 18 Oberflächengewässer-Messpunkten im Zuge von zwei Beprobungskampagnen im Juli/August 2019 und Oktober 2019	
	Einmalige Untersuchung des Entwässerungssystems an elf Beprobungsstellen	
	Durchführung eines 24-stündigen Pumpversuchs (Aquifertest) inkl. zweifacher Grundwasserprobenahme während des Pumpversuchs	
	PFC-Analytik aller Wasserproben (230 Proben)	
	Durchführung einer Grundwasserstichtagsmessung an 91 Grundwasseraufschlüssen und sieben Oberflächenwassermesspunkten innerhalb und außerhalb der Liegenschaft	
	Erstellung eines Grundwassergleichen- und Schadstoffverteilungsplans (PFOS)	

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Phase IIb-1-Untersuchungen nach Vorgabe der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGwS) dokumentiert und bewertet.

Die Untersuchungen wurden an den folgenden KF durchgeführt:

- **KF 029: Feuerlöschübungsbecken (FÜB)**
- **KF 500: Alte Feuerwache (AFW)**

Die Lage der Kontaminationsflächen ist der Anlage 1, Blatt Nr. 1 zu entnehmen.

Im Anschluss erfolgt eine Gefährdungsabschätzung hinsichtlich des Wirkungspfad des Boden-Grundwasser inkl. Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise und evtl. nötiger Gefahrenabwehrmaßnahmen.

Der Bericht enthält weiterhin eine KVF-übergreifende Bewertung der PFC-Belastungssituation im Grund- und Oberflächenwasser innerhalb und außerhalb der Liegenschaft.

Die Ergebnisse der Phase IIa-Untersuchungen werden in einem separaten Bericht dokumentiert und bewertet.

2 Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn

2.1 Vorhandene Unterlagen und Berichte

- [1] Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2014): NATO-Flugplatz Neuburg, Grundwasseruntersuchung PFT – Nürnberg.
- [2] Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): NATO-Flugplatz Neuburg, Bodenuntersuchungen im Bereich des ehem. Feuerwehrübungsbeckens – Nürnberg.
- [3] Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): "Neubau Kontrollturm" Neuburg a. d. Donau; Bauwasserhaltung; Abschlussbericht zum Betrieb einer Aktivkohle-Reinigungsanlage – Nürnberg.
- [4] BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am NATO-Flugplatz Neuburg/Donau – München.
- [5] Staatliches Bauamt Ingolstadt: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am NATO-Flugplatz Neuburg/Donau – Ingolstadt.
- [6] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU, 2012): PFC-Untersuchungen in Oberflächengewässern in Umfeld von Flughäfen – München.
- [7] Pionierschule und Fachschule des Heeres für Bautechnik (1995): Geologische / Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich des Fliegerhorst Neuburg / Donau – München.
- [8] Tauw gmbH (2014): Fliegerhorst Neuburg a.d. D., Untersuchung von Boden und Grundwasser auf Schadstoffe inkl. PFT – Regensburg.
- [9] Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): Endbericht Orientierende Untersuchung Phase IIa am Nato-Flugplatz Neuburg a.d. Donau – Nürnberg.
- [10] Mull & Partner Ingenieurgesellschaft GmbH (M&P, 2018): Historische Erkundung NATO-Flugplatz Neuburg – München.
- [11] Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2018): PFC-Untersuchungskonzept für weitere Untersuchungen nach Phase IIa/b NATO-Flugplatz Neuburg/D – Nürnberg.
- [12] Sellhoff GmbH (2014): LAK Teil A
- [13] Peter Fischer (2016): „Fluviale Morphodynamik und eigendynamische Entwicklung“. Untersuchungen an einem naturnahen Umgehungsbach im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Mathematisch-Geographischen Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt.

[14] Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2015): Klimadaten Wetterstation Burgheim.

[15] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2019): Tageswerte Grundwasserstände 2014 – 2019 Grundwassermessstelle Heinrichsheim 34.02, Messstellen-Nr.: 11664, Betreiber Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, Augsburg.

2.2 Liegenschaftsbeschreibung

2.2.1 Lage und gegenwärtige Nutzung

Der NATO-Flugplatz Neuburg liegt ca. 2,5 km südöstlich von Neuburg a. d. Donau (siehe Abbildung 2-1) und umfasst eine Fläche von ca. 200 ha bei einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 3 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 750 m. Das Flugplatzgelände liegt auf einer Höhe von ca. 380 m im Westen bzw. 379 m im Osten und ist damit geringfügig nach Osten geneigt. Auf dem Flugplatz befindet sich eine Start-/Landebahn, die zentral auf der Liegenschaft liegt und in Ost-West-Richtung verläuft. Das Gelände um den Flugplatz ist überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

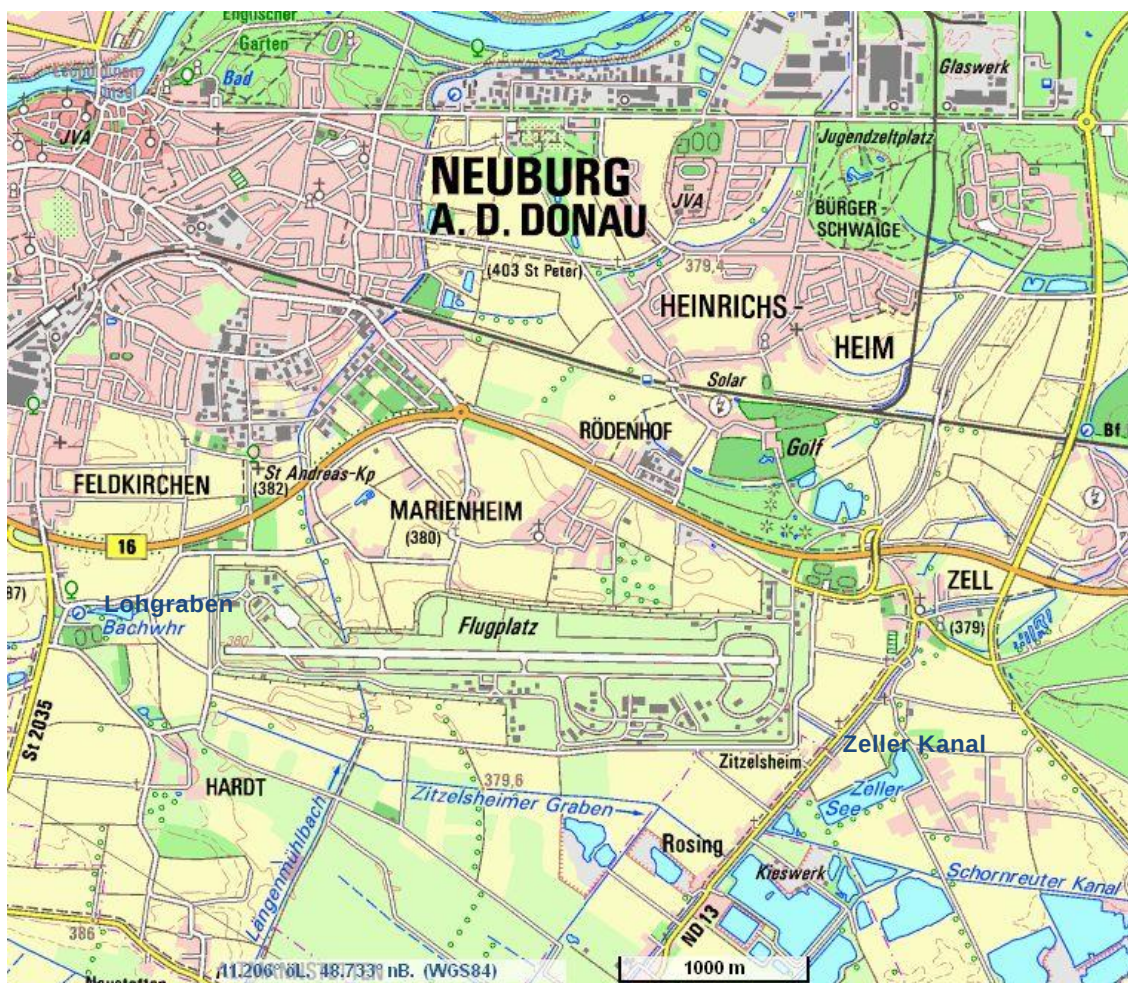


Abbildung 2-1: Übersichtsplan (BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung)

2.2.2 Historische Entwicklung

Die historische Entwicklung des NATO-Flugplatzes Neuburg ist in Tabelle 2-1 aufgeführt.

Tabelle 2-1: Historische Entwicklung NATO-Flugplatz Neuburg

Datum	Landnutzung
1935	Errichtung des Flugplatzes durch die Wehrmacht (Luftwaffe).
1935 bis 1945	Nutzung durch Deutsche Luftwaffe.
Frühjahr 1945	Flugplatz durch US-Luftwaffe schwer bombardiert und nahezu völlig zerstört.
1945	Einnahme durch US Streitkräfte, Flugplatz erhielt die alliierte Code-Bezeichnung R-60.
Von 1961 bis heute	Der Flugplatz wird von der Bundeswehr betrieben. Seither ist das „Taktische Luftwaffengeschwader 74“ (TaktLwG 74), früher als „Jagdgeschwader 74“ (JG 74) bezeichnet, am Flugplatz stationiert. Seit 1962 ist es der NATO assigniert.
2003	Wegen der Umstellung vom Flugzeugtyp F-4 Phantom zu Eurofighter wird seit 2003 die Infrastruktur am Flugplatz angepasst und erweitert, u.a. wurden Simulator- und Liegeplatzgebäude, Feuerwache, Flugzeugwerft und QRA-Bereitschaftsgebäude um- bzw. neugebaut.
2013 - 2015	Sanierung Start-/Landebahn.

2.3 Standortsituation

2.3.1 Niederschlag und GW-Neubildung

Etwa 12 km westlich des Flugplatzes Neuburg wird im Bereich der Ortschaft Burgheim von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft die Wetterstation Burgheim seit dem Jahr 2004 betrieben (siehe Tabelle 2-2). Im langjährigen Mittel (2005 – 2019) wurde an dieser Station ein Jahresniederschlag von 698,3 mm/a ermittelt. Dies entspricht einem mittleren Monatsniederschlag von ca. 58 mm [14].

Im Jahr 2019 fielen 679 mm Niederschlag. Dies entspricht einem Monatsmittel von ca. 57 mm. Damit war das Jahr 2019 nur geringfügig trockener als im langjährigen Mittel.

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich des Flugplatzes Neuburg von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von ca. 124 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei ca. 64 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei ca. 155 mm/a.

Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Burgheim [14]

Jahr	Niederschlag Burgheim [mm]
2005	793,9
2006	545,2
2007	718,3
2008	595,6
2009	743,7
2010	731,7
2011	638,5
2012	663,7
2013	753
2014	739
2015	585,5
2016	812
2017	806,1
2018	668,8
2019	679
Minimum	545,2
Maximum	812
Mittelwert	698,3

2.3.2 Geologie

Der Untergrund des Untersuchungsgebietes besteht laut Geologischer Karte (GK) von Bayern Nr. 7233, Blatt Neuburg a. d. Donau aus pleistozänen, sandig ausgebildeten Kiesablagerungen der hochwürmzeitlichen Niederterrasse bzw. der spätwürmzeitlichen Spätglazialterrasse. Westlich der Liegenschaft, auf Höhe der Ortschaften Feldkirchen und Hardt, geht die würmzeitliche Niederterrasse in die rißzeitliche Hochterrasse über, die aus Schmelzwasser –und Flussschottern aufgebaut wird.

Westlich des Längenmühlbachs wurden laut GK pleistozäne Flugsande abgelagert, in der Nordostecke des Flugplatzes werden diese Kiese von Lößlehmdecken überdeckt. Nördlich der Liegenschaft folgen alt- bis mittelholozäne Flussschotter, südlich der Liegenschaft anmoorige Bereiche (siehe Abbildung 2-2).

Das Unterlager der pleistozänen Kiese wird durch die Schichten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) gebildet, die zumeist aus wechselgelagertem Ton, Mergel, Schluff und Sand aufgebaut sind.

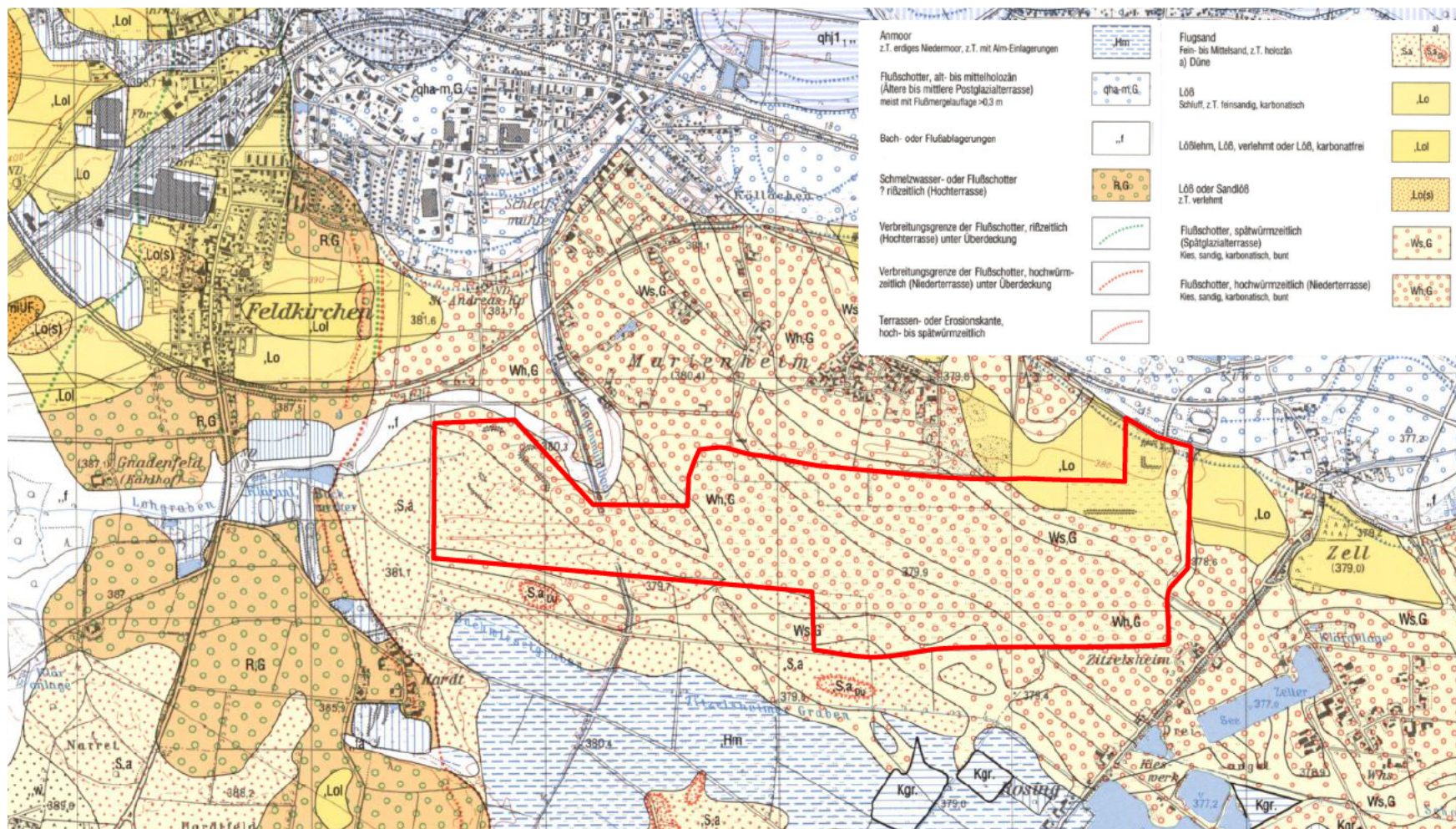


Abbildung 2-2: Geologischer Überblick Untersuchungsgebiet [17]

2.3.3 Hydrogeologie

Das quartäre Grundwasser wird auf dem Flugplatz durch 24 Grundwassermessstellen und 16 CMT-Messstellen erschlossen und steht oberflächennah bei ca. 376 bis 379 mNN mit einem Flurabstand von ca. 1,5 – 3,7 m unter Gelände an. Die Basis des quartären Grundwasserleiters bilden die stauenden grauen Tone der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär), die im Bereich des Flugplatzes bei ca. 9 – 10 m u. GOK angetroffen werden und eine mittlere Aquifermächtigkeit von ca. 7,6 m bedingen. Es handelt sich um einen homogenen Aquifer mit überwiegend freien Grundwasserverhältnissen. Bei höheren Grundwasserständen kann der quartäre Aquifer aufgrund der feinkörnigen Lockergesteinsauflage leicht gespannt sein [7].

Außerhalb der Liegenschaft wird das Grundwasser durch zahlreiche landwirtschaftliche Bewässerungsbrunnen und private Hausbrunnen erschlossen. Die im Zuge der aktuellen Untersuchungskampagne berücksichtigten Grundwasseraufschlüsse sind in Anlage 1 (Plan 1 und Plan 2) abgebildet.

Hydraulische Tests (Pumpversuche) zur Ermittlung der maßgeblichen hydraulischen Parameter wie z.B. Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) oder effektive Porosität standen für folgende Bereiche zur Verfügung.

- Pumpversuch „NATO-Brunnen“ außerhalb des Flugplatzes im Bereich der Südwestecke der Liegenschaft (1995) [7]
- 24-stündiger Pumpversuch Grundwassermessstelle P7 (2019).

Im Mittel können für die Gesamtliegenschaft die folgenden maßgeblichen Parameter definiert werden (siehe Tabelle 2-3). Gemäß DIN 18130-1 kann der Aquifer demnach als „stark durchlässig“ bezeichnet werden.

Tabelle 2-3: Ermittelte hydraulische Parameter

Pumpversuch	NATO-Brunnen	P7
k_f -Wert [m/s]	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$
effektive Porosität [-]		0,11
Grundwasserregime	frei	

Im Bereich des Flugplatzes Neuburg fließt das quartäre Grundwasser laut hydrogeologischer Karte von Bayern im Maßstab 1:100.000 (HK 100) in östliche Richtung. Dies wurde auch durch die großräumige Stichtagsmessung im Zuge der aktuellen Untersuchungen bestätigt. Großräumig besteht laut HK 100 eine zum Hauptvorfluter Donau hin gerichtete nordöstliche Grundwasserfließrichtung. Der Grundwasserspiegel wird neben dem Hauptvorfluter Donau (insbesondere durch die Staustufe Bergheim) auch durch die zahlreichen künstlich angelegten Entwässerungsgräben beeinflusst.

Abbildung 2-3 zeigt den Wasserspiegelverlauf der letzten fünf Jahre in der vom Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt betriebenen Grundwassermessstelle Heinrichsheim 34.02 (Messstellen-Nr.: 11664). Diese liegt ca. 600 m nördlich der Liegenschaft und erschließt den quartären Grundwasserleiter. Die Messstelle zeigt jahreszeitlich bedingte Wasserstandsschwankungen von ca. 1 m auf und deutet eine jahreszeitliche Periodik an. Die Höchststände werden zu Beginn des Jahres im Januar/Februar gemessen. Von da an fallen die Wasserspiegel kontinuierlich bis in den Spätsommer/Herbst ab. In der danach einsetzenden Grundwasserneubildungsphase steigen die Wasserstände innerhalb von zwei bis drei Monate wieder deutlich an. Dieser Trend zeigte sich auch im Jahr 2019. Der letzte deutliche Grundwasseranstieg wurde Anfang 2019 verzeichnet, seither kann ein kontinuierlich fallender Wasserspiegel festgestellt werden, was zu Tiefstständen im Dezember 2019 bezogen auf den fünfjährigen Beobachtungszeitraum führt [15].

Weitere Details aus den Erkenntnissen der vorliegenden Untersuchungsphase, insbesondere die des integralen Grundwassergleichenplans aus dem Jahr 2019, können Kapitel 5.1.3 entnommen werden.

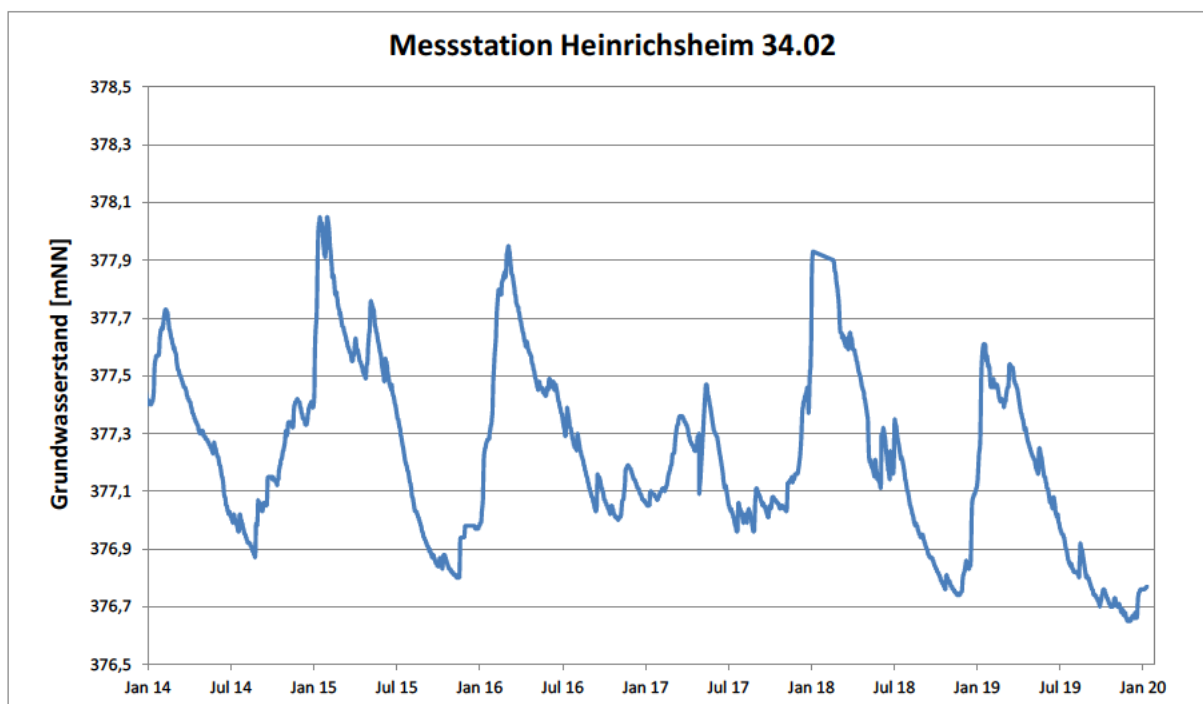


Abbildung 2-3: Kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnung Messstation Heinrichsheim [15]

2.3.4 Hydrologie

Hauptvorfluter ist die Donau, die ca. 3,7 km nördlich der Liegenschaft verläuft. Der Längenmühlbach, der in N-S-Richtung verläuft und in die Donau mündet, quert die



Liegenschaft im westlichen Teil (siehe Abbildung 2-1). Dem Längenmühlbach strömt der nur temporär wasserführende Lohgraben zu, der in E-W-Richtung verläuft und die Liegenschaft in der Nordwestecke südlich des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens quert. In den Lohgraben mündet auch der Regenwasserkanal, der das Regenwasser im Nordwesten der Liegenschaft sammelt.

Südlich des Flugplatzes verläuft in einer Entfernung von ca. 350 m der Zitzelsheimer Graben in E-W-Richtung. Dieser entwässert in den Zeller Kanal, der an der Südostecke der Liegenschaft vorbeifließt und ebenfalls in die Donau mündet. In den Zeller Kanal mündet des Weiteren der Großteil der Regenwasserentwässerung des Flugplatzes.

Südlich der Liegenschaft befinden sich weitere zahlreiche Entwässerungsgräben, die den ursprünglich sehr hohen Grundwasserspiegel des Donau-Mooses absenken sollten und somit auch das Grundwasserregime lokal beeinflussen.

Der Flugplatz wird von zahlreichen Oberflächengewässern umgeben, die gehäuft im Südosten jenseits des Zeller Kanals auftreten. Es handelt sich, mit Ausnahme des aufgestauten Bachweihers im Westen der Liegenschaft, um Baggerseen, bei denen der Grundwasserspiegel durch den Kiesabbau freigelegt wurde.

2.3.5 Schutzgebiete

Im Nahbereich bzw. im direkten Abstrombereich des Flugplatz Neuburg befinden sich keine Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiete. Das Trinkwasserschutzgebiet „Weichering“ liegt ca. 6 km östlich im Abstrombereich des Flugplatzes.

3 Grundlagen der Ergebnisbeurteilung

3.1 Eigenschaften von PFC

PFC (Per- und polyfluorierte Chemikalien) sind synthetisch hergestellte, organische und oberflächenaktive Kohlenwasserstoffketten mit Fluor als Endglied (siehe Abbildung 3-1), die unter Umweltbedingungen außerordentlich stabil (persistent) sind und mittlerweile ubiquitär in den verschiedensten Umweltmedien nachgewiesen werden können.

Sind alle kohlenstoffgebundenen Wasserstoffatome durch jeweils ein Fluoratom substituiert, spricht man von perfluorierten Alkylsubstanzen oder auch perfluorierten Tensiden (PFT).

Die wichtigsten Vertreter der PFC sind PFOA (Perfluoroktansäure) und PFOS (Perfluorooctansulfonsäure). Tenside sind aus einem unpolaren Alkylrest und einer polaren funktionellen Gruppe aufgebaut und besitzen somit einen hydrophoben (wasserabstoßend) als auch einen hydrophilen (wasserliebend) Teil.

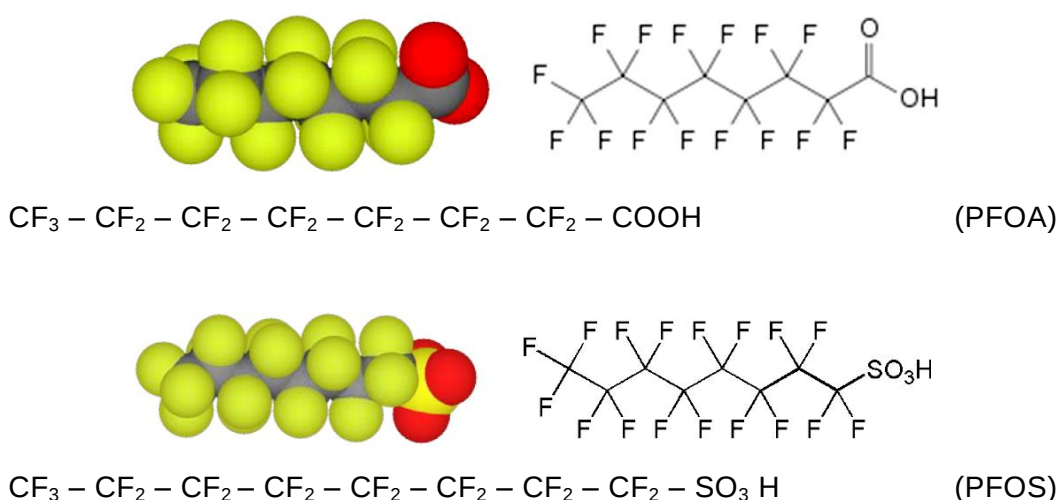


Abbildung 3-1: Modellstruktur und Strukturformel von PFOA und PFOS

Abbildung 3-2 zeigt die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften in Abhängigkeit zur Kettenlänge und Alkylrest der wichtigsten PFC-Einzelsubstanzen.

Grundsätzlich weisen kurzkettige PFC eine höhere Bodenmobilität auf als langkettige PFC, da die Molekülstruktur insgesamt kleiner ist. Somit gelangen kurzkettige PFC auch schneller in das Grundwasser, sind hydrophiler und stellen daher höhere Anforderungen an die Wasseraufbereitung. Die Bindung zwischen Kohlenstoff und Fluor zählt zu den stärksten kovalenten Bindungen, weshalb PFC mit zunehmender Länge der Kohlenwasserstoffkette immer schwerer abbaubar werden. Die geschätzte Halbwertszeit

von PFOS im Grundwasser beträgt 41 Jahre. Gleichzeitig steigt auch der Sorptionskoeffizient mit zunehmender Kettenlänge.

Substanzgruppe	Kettenlänge	Alkylrest	Sorptionskapazität	Abbaubarkeit	Wasser-aufbereitung	Mobilität
Perfluorbutansäure (PFBA)	4	COOH	- 	+ 	- 	+ 
Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	4	SO ₃ H				
Perfluorpentansäure (PFPeA)	5	COOH				
Perfluorhexansäure (PFHxA)	6	COOH				
Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	6	SO ₃ H				
Perfluorheptansäure (PFHpA)	7	COOH				
Perfluoroctansäure (gPFOA)	8	COOH				
Perfluoroctansulfonsäure (gPFOS)	8	SO ₃ H				
Perfluoroctansulfonamid (PFOSA)	8	SO ₂ NH ₂				
Perfluornonansäure (PFNA)	9	COOH				
Perfluordekansäure (PFDA)	10	COOH	+ 	- 	+ 	- 
Perfluordekansulfonsäure (PFDS)	10	COOH				
Perfluorundecansäure (PFUnA)	11	COOH				
Perfluordodekansäure (PFDoA)	12	COOH				

Abbildung 3-2: Physikalische und chemische Eigenschaften der PFC in Abhängigkeit von der Kettenlänge

Für PFOA und PFOS wurde die lebertoxische und reproduktionstoxische Wirkung durch Tierversuche nachgewiesen. Darauf basierend besteht auch ein Verdacht auf kanzerogene Wirkung. PFC reichern sich im Blut und Organgewebe an.

Auf Grund der schmutz-, farb-, fett-, öl- und wasserabweisenden Eigenschaften der PFC werden diese in vielen Industriebereichen verwendet. So kommen sie z.B. in der Textilindustrie (z.B. Gore-Tex®), Papierindustrie, zur Herstellung von Beschichtungen (z.B. Teflon®) oder in filmbildenden Feuerlösch-Schäumen zum Einsatz.

Durchschnittlich wurden in filmbildenden Feuerlöschmitteln, die bei Bränden eingesetzt wurden, die in Tabelle 3-1 aufgeführten Konzentrationen in mg/kg gemessen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2010) [16]).

Tabelle 3-1: Typische PFC-Konzentrationen in Feuerlöschmitteln, lanuv NRW [mg/kg] [16]

Probe	PFBA	PFPA	PFBS	PFHxA	PFHpA	PFHxS	PFOA	PFNA	PFOS	PFDA
Löschschaum (Hallenbrand 2008)	30	26	75	150	40	550	150	<25	4100	<25
Schaummittel (Brand eines Baumarkts 2009)	0,61	0,24	<0,1	1,9	0,25	<0,1	0,58	<0,1	1,1	0,22
Probe des unverdünnten Schaummittels am Einsatzort (2010)	0,63	0,17	<0,1	1,4	0,13	0,24	0,39	<0,1	2,4	<0,1

PFOS ist chemikalienrechtlich ein persistenter organischer Schadstoff (POP). Herstellung, Verwendung und das Inverkehrbringen von PFOS sind europaweit durch die Verordnung 850/2004/EG („POP“-Verordnung), aktualisiert durch die EU-Verordnungen 756/2010/EU und 757/2010/EU, verboten. Demnach dürfen, mit einigen Einschränkungen (z.B. Galvanotechnik, Fotoindustrie, Luft- und Raumfahrt), Stoffe oder Gemische mit einem PFOS-Gehalt von $> 0,001\%$ nicht in Verkehr gebracht und nicht verwendet werden [26].

PFOS-haltige Feuerlöschschäume (PFOS-Gehalt $> 0,001\%$) durften noch bis zum 27. Juni 2011 verwendet werden. Die Industrie verwendet nun leichter abbaubare polyfluorierte Tenside (nicht alle C-Atome sind an ein Fluor-Atom gebunden) [26]. Inwieweit dies eine Verbesserung darstellt, muss bezweifelt werden, da polyfluorierte Tenside zu perfluorierten Tensiden abgebaut werden können.

3.2 Bewertungskriterien und -maßstäbe

3.2.1 Wirkungspfad Boden – Mensch

Eine Bewertung des Wirkungspfades Boden-Mensch war nicht Auftragsgegenstand.

3.2.2 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

Eine Bewertung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze war nicht Auftragsgegenstand.

3.2.3 Wirkungspfad Boden – Gewässer (LfW-Merkblatt 3.8/1)

Eine Überarbeitung des LfW-Merkblattes Nr. 3.8/1 ist im Zuge der Novellierung der BBodSchV im Kontext des Entwurfes der Mantelverordnung vorgesehen. Bis zum Vorliegen dieser Überarbeitung wird mit dem bestehenden Merkblatt Nr. 3.8/1 vom 31.10.2001 gearbeitet.

Des Weiteren leisten in Bayern die „*Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden*“ vom Bayer. Landesamt für Umwelt (April 2017) eine spezielle Hilfestellung für die Bewertung von PFC [26].

Aufgrund derzeit laufender Fachdiskussionen sind gemäß [30] die in den LfU-Leitlinien angeführten Regelungen für die Quotientensummen (Summenbedingungen) bis auf weiteres nicht als zusätzliches Kriterium für die Einhaltung von Geringfügigkeitsschwellen (GFS) und auch nicht als Entscheidungskriterium für Sanierungsmaßnahmen anzuwenden. Sie sollen lediglich als zusätzliche Bewertungshilfe für den Einzelfall dienen.

Gefährdungsabschätzung Boden

Bei **schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten** erfolgt die Bewertung analytisch-chemischer Befunde laut den LfU Leitlinien anhand der in Tabelle 3-2 aufgeführten vorläufigen Stufe-1 und Stufe-2 Werte entsprechend der im **LfU-Merkblatt 3.8/1** [27] beschriebenen Vorgehensweise. Zur Gefährdungsabschätzung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser werden die Eluatwerte des S4-Eluats herangezogen. Die ermittelten Eluatkonzentrationen werden auf das Sickerwasser am „Ort der Beurteilung“ übertragen.

Tabelle 3-2: Vorläufige Stufenwerte für den Pfad Boden-Grundwasser

Stoff	Kürzel	Vorläufiger Stufe-1-Wert	Summenbedingung für Stufe-1	Vorläufiger Stufe-2-Wert	Summenbedingung für Stufe-1
Perfluornonansäure	PFNA	0,06	$\sum (C_n / \text{Stufe-1}_n) \leq 1$	0,25	$\sum (C_n / \text{Stufe-2}_n) \leq 1$
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS	0,1		0,4	
Perfluorooctansäure	PFOA	0,1		0,4	
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	0,1		0,4	
Perfluorhexansäure	PFHxA	6		24	
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	6		24	
Perfluorbutansäure	PFBA	10		40	
Perfluordecansäure	PFDA	0,1		0,4	
H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS	0,1		0,4	
Perfluorooctansulfonamid	PFOSA	0,1		0,4	
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	0,3		1	
Perfluorheptansäure	PFHpA	0,3		1	
Perfluorpentansäure	PFPeA	3		12	

Ergeben die Elutionsversuche eine Unterschreitung des Stufe-1-Wertes am Ort der Probenahme gilt der Verdacht einer Grundwassergefährdung als ausgeschlossen.

Überschreiten die Eluatwerte den Stufe-1-Wert am Ort der Probenahme, ist unter Würdigung sämtlicher relevanter Bedingungen eine Sickerwasserprognose zu erstellen, deren Ziel die Aussage sein muss, ob eine Überschreitung des Prüfwertes am Ort der Beurteilung nachhaltig auszuschließen ist.

Ergeben die Eluatuntersuchungen Stufe-2-Wert-Überschreitungen, ist der Gefahrenverdacht bereits abschließend bestätigt und das Ausmaß der Gefährdung ist abzuschätzen, falls aus der Sickerwasserprognose eine Überschreitung des Prüfwertes am Ort der Beurteilung zu erwarten ist.

Zusammenfassend ist die Bewertungschronologie in der Tabelle 3-3 wiedergegeben.

*Tabelle 3-3: Bewertung der Detailuntersuchung nach LfW Merkblatt 3.8/1
(Grundwasseruntersuchung)*

Stoffkonzentration am Ort der Beurteilung	Bewertung (Detailuntersuchung)	
< Stufe-1-Wert	- Gefahrenverdacht ausgeräumt	- Maßnahmen nicht erforderlich
> Stufe-1-Wert	- Abschließende Gefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung der Frachten und der Ausdehnung	- Erfordernis von Maßnahmen prüfen (§4 Abs. 2 BBodSchV)
> Stufe-2-Wert	- Gefahrenverdacht abschließend bestätigt - Ausmaß der Gefährdung abschätzen	Sanierungsmaßnahmen i.d.R. erforderlich (§4 Abs. 3 BBodSchG) - Verhältnismäßigkeit von Sanierungsmaßnahmen prüfen (§4 Abs. 7 BBodSchV)

Gefährdungsabschätzung Grundwasser

In den LfU-Leitlinien sind für PFC bislang keine Stufenwerte zur Bewertung einer Grundwasserverunreinigung definiert. Stattdessen wurden vorläufige Schwellenwerte für **Grund- und Trinkwasser** definiert, die in Tabelle 3-4 aufgeführt sind. Für sieben Parameter wurden durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Boden (LAWA/LABO) Geringfügigkeitsschwellen (GFS) aufgrund der Leitwerte für Trinkwasser der Trinkwasserkommission abgeleitet. Für diese sieben Einzelparameter, für welche ein gleicher oder zumindest ähnlicher Wirkmechanismus vermutet wird, wurde aus Vorsorgegründen neben den Schwellenwerten (SW) für die Einzelstoffe eine Summenwertregelung (Summenbedingung) festgelegt, die allerdings laut LfU-Newsletter vom 26.06.2018 [30] nicht mehr als zusätzliches Kriterium für die Einhaltung von Geringfügigkeitsschwellen anzuwenden ist.

Laut den Leitlinien des LfU liegt bei Überschreitung dieser Werte im Grundwasser in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vor. Da diese vorläufigen Schwellenwerte auch den GFS-Werten (vorläufig) gleichzusetzen sind, ist mit Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte gleichzeitig auch die Erheblichkeit der Grundwasserverunreinigung zu postulieren.

Ein Stufe-2-Wert für das Grundwasser in Analogie zum BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 (Tabelle 4), der als Entscheidungshilfe im Rahmen der abschließenden

Gefährdungsabschätzung für die Erfordernis von Maßnahmen herangezogen werden könnte, ist in der PFC-Leitlinie für Grundwasser nicht definiert. Gemäß BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Anhang 3 beträgt der Stufe-2-Wert grundsätzlich das 4- bis 10-fache des Stufe-1-Wertes.

Tabelle 3-4: Vorläufige Schwellenwerte für Grund- und Trinkwasser

Stoff	Kürzel	Vorläufiger Schwellenwert [µg/l]	Summenbedingung	Begründung
Perfluorononansäure	PFNA	0,06	$\sum (C_n/SW_n) \leq 1$	Jeweils Übernahme des aktuell vorliegenden GFS-Wert-Vorschlages der LAWA
Perfluorooctansulfonsäure	PFOS	0,1		
Perfluorooctansäure	PFOA	0,1		
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	0,1		
Perfluorhexansäure	PFHxA	6		
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	6		
Perfluorbutansäure	PFBA	10		
Perfluordecansäure	PFDA	0,1		Jeweils Übernahme des GOW
H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS	0,1		
Perfluorooctansulfonamid	PFOSA	0,1		
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	0,3		
Perfluorheptansäure	PFHpA	0,3		
Perfluorpentansäure	PFPeA	3		

GOW = Gesundheitlicher Orientierungswert

Prüfung der Verhältnismäßigkeit

Nach BBodSchV (§4 Abs. 7) ist bei der Prüfung der Verhältnismäßigkeit von Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen, „wenn erhöhte Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser oder andere Schadstoffausträge auf Dauer nur geringe Schadstofffrachten und lokal begrenzt erhöhte Schadstoffkonzentrationen in Gewässern erwarten lassen.“ Hierzu wurden durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser/Boden (LAWA/LABO) in der Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ Kriterien für Boden und Grundwasser genannt, um diesen Sachverhalt zu prüfen (siehe Tabelle 3-5). Die genannte Fracht/Schadstoffmasse leitet sich von der Geringfügigkeitsschwelle (für PFOS der vorläufige Schwellenwert von 0,1 µg/l) ab [28].

Tabelle 3-5: Kriterien zur Prüfung Verhältnismäßigkeit nach LAWA/LABO

Kriterien Boden
- Eintragsfläche für Schadstoffe: < 1.000 m ² und
- Frachten (bezogen auf PFOS): < 17 g/a
- dauerhaft
Kriterien Grundwasser
- Schadstoffmasse für PFOS im Grundwasser nach Bodensanierung < 100 g

3.2.4 Bewertungskriterien Oberflächenwasser

Laut Leitlinien des LfU können zur Bewertung von **Oberflächenwasser** die sogenannten $PNEC_{aquatisch}$ -Werte ($PNEC$ = Predicted No Effect Concentration, Konzentration bei der nach derzeitigem Kenntnisstand keine nachteiligen Effekte auf Gewässerorganismen auftreten) herangezogen werden, die für insgesamt sechs PFC-Einzelstoffe definiert wurden und in Tabelle 3-6 aufgeführt sind.

Für PFOS, PFOA, PFNA und PFDA ist aufgrund der Aufnahme als SVHC („Substance of very high concern“) in den Anhang der XIV der REACH-Verordnung als PBT-Stoffe (Persistent, Bioakkumulierend, Toxisch) eingestuft. Damit ist laut den Leitlinien „ein Schwellenwert ($PNEC$) als „sichere“ Konzentration in der Umwelt aufgrund ihrer Eigenschaften nicht ableitbar“.

Die EU hat im Jahr 2013 die Richtlinie 2013/39/EU verabschiedet, in der für PFOS eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von **0,65 ng/l** als Jahresdurchschnittswert bzw. **36 µg/l** als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) für Oberflächengewässer festgelegt wurde. Diese Werte wurden mit der Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 in nationales Recht überführt, ihre Einhaltung ist allerdings erst ab 2027 erforderlich.

Tabelle 3-6: $PNEC_{aquatisch}$ -Werte für PFC für die Beurteilung von Oberflächengewässern

Stoff	Kürzel	$PNEC_{aquatisch}$ [µg/l]	Quelle
H4-Polyfluoroktansulfonsäure	H4PFOS	870	LAWA/LABO
Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	250	
Perfluorhexansäure	PFHxA	1.000	
Perfluorpentansäure	PFPeA	320	
Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	3.700	
Perfluorbutansäure	PFBA	1.260	

3.2.5 Kategorisierung nach BFR BoGwS

Die untersuchten Flächen werden dem jeweiligen Kenntnisstand entsprechend nach der BFR BoGwS in folgende Kategorien eingeteilt:

Kategorie A

Der Kontaminationsverdacht hat sich nicht bestätigt bzw. es wurde eine vollständige Sanierung durchgeführt. Außer einer Dokumentation besteht kein weiterer Handlungsbedarf.

Kategorie B

Die festgestellte oder nach einer Sanierung verbliebene Kontamination stellt zum gegenwärtigen Zeitpunkt und für die gegenwärtige Nutzung keine Gefährdung dar. Sie ist zu dokumentieren, damit bei einer Nutzungsänderung oder bei Infrastrukturmaßnahmen eine Neubewertung durchgeführt werden kann. Daraus kann sich u. U. ein neuer Handlungsbedarf ergeben.

Kategorie C

Kontaminationen sind nachgewiesen und schädliche Bodenveränderungen oder schädliche Grundwasserverunreinigungen sind nicht auszuschließen. Der vorhandene Erkenntnisstand erlaubt aber noch keine abschließende Gefährdungsabschätzung, da vor allem Informationen zum zeitlichen Stoffverhalten fehlen; Überwachung (wenn Sanierungsmaßnahmen nicht nachhaltig und nicht verhältnismäßig); Überwachungen im Rahmen der Nachsorge zur Erfolgskontrolle einer durchgeführten Sanierungsmaßnahme werden ebenfalls als C-Flächen (C/III) kategorisiert.

Kategorie D

Schädliche Bodenveränderungen oder schädliche Grundwasserverunreinigungen wurden festgestellt, für die Maßnahmen zur Gefahrenabwehr erforderlich sind.

Kategorie E

Auf der Fläche wurden Kontaminationen festgestellt bzw. im Rahmen der Erfassung und Erstbewertung (Phase I) aufgrund der Nutzung vermutet.

Für die abschließende Gefährdungsabschätzung sind weitere Daten erforderlich (z. B. Ausdehnung der Kontamination, Art der Schadstoffe, Mobilität, Toxizität etc.).

Es besteht weiterer Untersuchungsbedarf. Dieser wird im Rahmen der Phase II gedeckt. Für E-Flächen kann keine abschließende Bewertung vorgenommen werden und sie können nicht aus der Bearbeitung ausscheiden.

4 Durchführung der Untersuchungen

4.1 Feldarbeiten

Die Untersuchungen wurden durch das Ingenieurbüro Gibs geologen + ingenieure koordiniert, das eine Zulassung als Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG hat (Untersuchungsstellenleiter [REDACTED]). Der Projektleiter und Unterzeichner [REDACTED] ist zugelassener Sachverständiger nach §18 BBodSchG für die Sachgebiete 1, 2 und 5. Der Abteilungsleiter und Unterzeichner [REDACTED] ist zugelassener Sachverständiger nach §18 BBodSchG für die Sachgebiete 2 und 6.

Die Feldarbeiten wurden im Zeitraum von Juni 2019 bis November 2019 durchgeführt und umfassten folgende Leistungen:

- Errichtung von fünf 5“ Grundwassermessstellen.
- Untersuchung der ungesättigten Bodenzone durch insgesamt 62 Linersondierungen mit 342 entnommenen Bodenproben, vier Flächenmisch- und einer Sedimentprobe.
- Zwei Grundwasserbeprobungsrunden (Juli/August 2019 und Oktober 2019) an 40 Grundwassermessstellen (GWM) auf der Liegenschaft, 27 Grundwasseraufschlüssen (GWM, Bewässerungsbrunnen, Hausbrunnen) außerhalb der Liegenschaft und 18 Oberflächengewässer-Messpunkten.
- Einmalige Entnahme von 47 Grundwasserproben mittels Direct-Push-Grundwassersondierungen.
- Einmalige Untersuchung des Entwässerungssystems an elf Beprobungsstellen.
- Durchführung eines 24-stündigen Pumpversuchs (Aquifertest) zur repräsentativen Ermittlung der hydraulischen Parameter (Transmissivität, Kf-Wert, Porosität) inkl. zweifacher Grundwasserprobenahme während des Pumpversuchs (P 7).
- Durchführung einer Grundwasserstichtagsmessung an 91 Grundwasseraufschlüssen und sieben Oberflächenwassermesspunkten innerhalb und außerhalb der Liegenschaft.
- Vermessung der neu errichteten Grundwassermessstellen, der Linersondierungen und sonstiger Hilfspunkte für die Grundwasserstichtagsmessung.
- Analytik aller Wasserproben (230 Proben) und ausgewählter Bodenproben auf PFC (insgesamt 247 Bodenproben im S4-Eluat und 1 Bodenproben (Sediment) im Feststoff).
- Erstellung eines Grundwassergleichen- und Schadstoffverteilungsplans (PFOS).

Die wasserrechtlich relevanten Maßnahmen (Erdaufschlüsse) wurden in der Wasserrechtsanzeige vom 05. Juli 2019 angezeigt und durch die Behörden genehmigt.

Eine Übersicht über die beteiligten Unternehmen und deren Leistungsspektrum ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Am Projekt beteiligte Unternehmen

Firma	Leistung
Institut für Grundwasser und Bodenschutz GbR, Fürth	Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG und Zertifizierung nach BAM/ODF - Entnahme von Grund- und Oberflächenwasserproben/Bodenproben
Fugro Consult GmbH	Durchführung Direct-Push-Grundwassersondierungen, Durchführung Linersondierungen
AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg	Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG und DAkkS-Akkreditierung, Chemische Untersuchung von Boden- und Wasserproben
Brunnenbau Kern, Münchsteinach	Errichtung der 5“-Grundwassermessstellen, Durchführung Pumpversuch
Vermessungsbüro WM GmbH & Co. KG	Vermessung der (neuen) Grundwasseraufschlüsse und der Linersondierungen

4.1.1 Erstellung der Grundwassermessstellen

Errichtung der 5“-Grundwassermessstellen

Die Bohr- und Ausbauarbeiten für die fünf neu zu errichtenden 5“-Grundwassermessstellen wurden im Zeitraum vom 15. Juli 2019 bis zum 30. Juli 2019 von der Firma Brunnenbau [REDACTED], [REDACTED] durchgeführt.

Die Bohrpunkte wurden im Zuge eines Ortstermins am 15. Juli 2019 festgelegt und dabei die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geklärt. Aufgrund unklarer Sparten mussten zwei Ansatzpunkte vorgeschachtet werden. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine in Betrieb befindlichen Leitungen beschädigt.

Die Grundwassermessstelle P19 wurde im nordwestlichen Randbereich der Liegenschaft bei der KF 029 „Feuerlöschübungsbecken“ abgeteuft, um den Grundwasserab- bzw. seitstrom der KF zu erfassen. Vier weitere Messstellen (P20 – P23) wurden im Zu- bzw. Abstrom der KF 500 „Alte Feuerwache“ errichtet. Die Lage der Grundwassermessstellen kann Anlage 1 (Plan 1) entnommen werden.

Die Messstellen wurden mittels Trockenbohrtechnik und Bohrschnecke/Ventilbohrer (Ø 290/280 mm) abgeteuft und mit einem Standrohr (Ø 324 mm) stabilisiert. Dabei wurden gestörte Bodenproben gewonnen. Das Bohrgut wurde in Containermulden gesammelt und nach Abschluss der Arbeiten fachgerecht entsorgt.

Die Bohrtiefen lagen zwischen ca. 9,6 m (P23) und ca. 10,40 m (P19, P21). Das Ziel der Bohrungen war es, den oberflächlichen, quartären Grundwasserleiter vollständig zu

erschließen. Die quartären Schichten wurden unter geringmächtigen Auffüllungsbereichen bzw. geringmächtiger Mutterbodenauflage erschlossen und sind überwiegend sandig bzw. kiesig ausgebildet. Die Bohrungen wurden mit Erreichen der grundwasserhemmenden, grauen Lagen der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) beendet, die überwiegend tonig ausgebildet waren. Die Bohrprofile sind im Anlage 5 dokumentiert.

Die Bohrlöcher wurden zu 5“-Grundwassermessstellen (PVC-U DN 125) gemäß DIN 4925-2 ausgebaut. Die Festlegung der Filter- und Vollwandrohrstrecken sowie der Filter- und Abdichtungsstrecken im Ringraum erfolgte nach den Gegebenheiten vor Ort. Als Schlitzweite für die Filterstrecken wurde generell 1,5 mm verwendet. Als Filterkies wurde Quarzkies 2 – 3,15 mm gemäß DIN 4924 eingebaut. Oberflächlich wurden alle Messstellen mit einer 1,2 – 1,5 m mächtigen Tonsperre abgedichtet.

Die Messstellen im Bereich der „Alten Feuerwache“ wurden im Unterflurausbau errichtet, die Messstelle im Bereich des „Feuerlöschübungsbeckens“ wurde im Überflur-Ausbau gesichert. Der Unterflurausbau erfolgt unter Verwendung von runden Straßenkappen (nicht tagwasserdicht, gemäß DIN 4055). Der Überflur-Ausbau besteht aus einem 1,0 m Stahlrohr 6“ (verzinkt), Pegelabschlusskappe 6“ und Anfahrschutz aus Betonring, ca. 500 mm). Die Ausbauprofile sind ebenfalls dem Anlage 5 zu entnehmen.

Die Messstellen wurden klargepumpt (à 1 Std.) und das Wasser über Absetzbecken und Aktivkohlefilter abgeleitet und an geeigneter Stelle flächig versickert.

Nach Abschluss der Pegelbauarbeiten wurden die Messstellen durch das Vermessungsbüro WM GmbH & Co. Kg, Donauwörth lage- und höhenmäßig eingemessen (Koordinatensystem UTM 32N/ETRS 89, Höhenbezugssystem DHNN 2016). Die Stammdaten sind in Tabelle 4-2 zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Stammdaten 5“-Grundwassermessstellen

Mess- stelle	X-Koord	Y-Koord	POK	GOK	Filter- oberkante	Filter- unterkante	Endtiefe
	UTM 32N	UTM 32N	NHN	NHN	m u. GOK	m u. GOK	m u. GOK
P19	661188,71	5398103,59	381,49	380,62	2,8	9,8	9,8
P20	662529,28	5397544,61	379,44	379,62	2,4	9,4	9,4
P21	662685,31	5397549,74	379,15	379,32	2,4	9,4	9,4
P22	662685,63	5397505,24	379,32	379,48	2,4	9,4	9,4
P23	662667,70	5397483,84	379,62	379,75	2,4	9,4	9,4

4.1.2 Probenahmen

Lineruntersuchungen an zwei KF

Im Juli/August 2019 wurden zur Erkundung der ungesättigten Bodenzone auf PFC-Belastungen und zur weiteren horizontalen und vertikalen Abgrenzung des PFC-Schadens insgesamt 62 Bodenaufschlüsse mit Liner Sondierungen angelegt.

Die Ansatzpunkte für die Bodenuntersuchungen wurden unter Berücksichtigung des Untersuchungskonzeptes vom 08. November 2018 bzw. des Digitalen Geländehöhenmodells (DGM, vom AG zur Verfügung gestellt) in Abstimmung mit BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 festgelegt und im Zuge eines Ortstermins die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geprüft. Aufgrund unklarer Sparten musste eine Vielzahl der Ansatzpunkte (insgesamt 22 Stück) vorgeschachtet werden. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Die Bodenuntersuchungen konzentrieren sich auf insgesamt 12 KF/KVF, wobei im vorliegenden Bericht nur auf die 24 Linersondierungen eingegangen wird, die im Zuge der Phase IIb-1 Untersuchungen an der KF 029 „Feuerlöschübungsbecken“ und KF 500 „Alte Feuerwache“ durchgeführt wurden. Eine Übersicht der durchgeführten Linersondierungen gibt Tabelle 4-3.

Tabelle 4-3: Übersicht Bodenaufschlüsse

Kontaminations-verdachtsfläche	KF-Nr	Anzahl Liner	Summe Bohrmeter [m]	mittlere Bohrtiefe [m]	Entnommene Bodenproben	PFC-Analysen im S4-Eluat
Feuerlöschübungsbecken (FUEB)	029	8	38	4,8	49	33
Alte Feuerwache (AFW)	500	16	60,85	3,8	80	55
Gesamtergebnis		24	98,85	4,1	129	88

Die Lage der Ansatzpunkte ist den Lageplänen in Abbildung 5-5 und Abbildung 5-9 (siehe Kapitel 5.2) zu entnehmen. Diese wurden durch das Vermessungsbüro WM GmbH & Co. Kg, Donauwörth lage- und höhenmäßig eingemessen (Koordinatensystem UTM 32N/ETRS 89, Höhenbezugssystem DHNN 2016).

Die Linersondierungen wurden durch die Firma Fugro Germany Land GmbH abgeteuft. Hierzu wurde der Liner-Typ „Dual Tube DT325“ der Firma Geoprobe verwendet, mit dem ein Kerndurchmesser von 47 mm gewonnen werden kann.

Das Dual-Tube (DT) Verfahren basiert auf der Verwendung von zwei Rohrsätzen: der äußeren Schutzverrohrung mit offenem Schneidschuh und einer inneren Rohrtour mit dem Liner (siehe Abbildung 4-1). Der doppelte Rohrsatz wird abgeteuft, dabei wird die Kernprobe durch den offenen Schneidschuh in das Linerrohr überführt. Bei Erreichen der Unterkante des Probenahmeintervalls wird der Liner über das Innengestänge gezogen. Durch einen Kernfänger wird hierbei der Bohrkern im Liner gehalten. Für das nächste Intervall wird ein neuer Liner in das stehende Bohrgestänge eingebaut, d. h. die Sondierung kann bis zur Endtiefe kontinuierlich fortgesetzt werden. Die Liner selbst bestehen aus durchsichtigem Kunststoffmaterial (PVC). Zur Probenahme werden diese aufgeschnitten und daraus die Proben entnommen. Die Probenahme und Schichtaufnahme erfolgte, mit Ausnahme der im Zuge des Vorschachtens entnommenen Proben, durch Gibbs geologen + ingenieure.



Abbildung 4-1: Liner-Sondierung

Insgesamt konnten durch die 24 Sondierungen 129 Bodenproben gewonnen werden. Die Bodenproben wurden meter- bzw. horizontweise entnommen. Die Bodenaufnahme- bzw. Probenahmeprotokolle befinden sich in Anlage 4.

Entnahme Flächenmisch- und Sedimentprobe

Neben den Linersondierungen wurden zur Erkundung von oberflächennahen Einträgen im August 2019 durch IGB/Gibs eine Bodenmischprobe (IGB) und eine Sedimentprobe (Gibs) entnommen (siehe Tabelle 4-4). Die Lage der Ansatzpunkte ist in Anlage 1 (Plan 1) dargestellt. Die Probenahmeprotokolle befinden sich in Anlage 3.

Tabelle 4-4: Übersicht Flächenmisch- und Sedimentproben

Bezeichnung	Entnahmestelle	Art	Datum	Beschreibung
FUEB_MP_01	Lohgraben bei Einmündung Regenrückhalte-becken 107RRB01	Bodenmischprobe	08.08.2019	Erkundungstiefe 0 - 10 cm, 15 Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt
Sediment FÜB	KFV 029 "Feuerlöschübungs-becken"	Sedimentprobe	15.08.2019	Sedimentschicht ca. 2 - 3 cm dick, stark organisch, aus Zentralbereich aufgrund dichtem Bewuchs (Binsen) keine Probenahme möglich

Monitoring von Grund- und Oberflächenwasser

Im Zuge von zwei Beprobungskampagnen (Juli/August 2019 und Oktober 2019) des Grundwassermonitorings innerhalb der Liegenschaft wurden durch Gibs geologen + ingenieure bzw. das Institut für Grundwasser und Bodenschutz, Fürth (IGB) insgesamt 67 Grundwasseraufschlüsse innerhalb und außerhalb der Liegenschaft beprobt und dabei insgesamt 130 Wasserproben entnommen. Bei den CMT-Messstellen wurde in Abstimmung mit BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 nur die mittlere Beprobungstiefe (5 m) untersucht. Eine Auflistung der entnommenen Wasserproben zeigt Tabelle 4-5.

Tabelle 4-5: Untersuchte Grundwasseraufschlüsse

Beprobungs- punkt	Art	Probenahmerunde August 2019		Probenahmerunde Oktober 2019	
		Datum	Bemerkung	Datum	Bemerkung
Grundwasseraufschlüsse innerhalb der Liegenschaft					
DP1	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP2	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP3	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP4	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP5	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP6	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP7	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP8	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP9	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP10	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP11	CMT	15.08.2019	Doppel- /Parallelanalytik (Doppelprobe Q2)	16.10.2019	
DP12	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP13	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP14	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP15	CMT	15.08.2019		16.10.2019	
DP16	CMT	15.08.2019		16.10.2019	Doppel- /Parallelanalytik (Doppelprobe Q2)
P0	GWM	30.07.2019		16.10.2019	
P1	GWM	31.07.2019		21.10.2019	
P2	GWM	31.07.2019		21.10.2019	
P3	GWM	01.08.2019		21.10.2019	
P4	GWM	19.07.2019		15.10.2019	
P5	GWM	19.07.2019		15.10.2019	
P6	GWM	19.07.2019		15.10.2019	
P7	GWM	19.07.2019		15.10.2019	
P8	GWM	19.07.2019		15.10.2019	
P9	GWM	01.08.2019		16.10.2019	
P10	GWM	30.07.2019		16.10.2019	
P11	GWM	01.08.2019		21.10.2019	
P12	GWM	30.07.2019	Doppel- /Parallelanalytik (Doppelprobe Q1)	22.10.2019	Parallelanalytik
P13	GWM	31.07.2019		22.10.2019	
P14	GWM	30.07.2019		22.10.2019	

Beprobungs- punkt	Art	Probenahmerunde August 2019		Probenahmerunde Oktober 2019	
		Datum	Bemerkung	Datum	Bemerkung
P15	GWM	31.07.2019		14.10.2019	
P16	GWM	01.08.2019		21.10.2019	
P17	GWM	-	keine Probenahme möglich	16.10.2019	
P18	GWM	31.07.2019		14.10.2019	
P19	GWM	31.07.2019		21.10.2019	
P20	GWM	30.07.2019		22.10.2019	
P21	GWM	30.07.2019		22.10.2019	
P22	GWM	30.07.2019		22.10.2019	
P23	GWM	31.07.2019		22.10.2019	
Grundwasseraufschlüsse außerhalb					
BWB2	BWB	01.08.2019		16.10.2019	
GWM3	GWM	05.08.2019		09.10.2019	
BWB5	BWB	05.08.2019		14.10.2019	
BWB6	BWB	05.08.2019		08.10.2019	
GWM7	GWM	06.08.2019			
GWM10	GWM	08.08.2019		15.10.2019	
GWM11	GWM	08.08.2019		15.10.2019	
BWB13	BWB	05.08.2019		14.10.2019	
GWM14	GWM	07.08.2019		15.10.2019	
BWB15	BWB	05.08.2019		16.10.2019	
GWM16	GWM	06.08.2019		15.10.2019	
BWB17	BWB	05.08.2019		08.10.2019	
HB18	HB	07.08.2019		trocken	
HB19	HB	07.08.2019		08.10.2019	
HB20	HB	07.08.2019		15.10.2019	
HB21	HB	07.08.2019		15.10.2019	
HB22	HB	06.08.2019		09.10.2019	
HB23	HB	07.08.2019		08.10.2019	
HB24	HB	06.08.2019		14.10.2019	
HB25	HB	06.08.2019		14.10.2019	
HB27	HB	08.08.2019		14.10.2019	
HB28	HB	07.08.2019		08.10.2019	
HB29	HB	07.08.2019		08.10.2019	
HB30	HB	06.08.2019		09.10.2019	
HB32	HB	07.08.2019		08.10.2019	
HB33	HB	06.08.2019		09.10.2019	
BWB34	BWB			09.10.2019	Brunnen Sportplatz Zell-

Neben den regulären Grundwasserproben wurden im Zuge des Pumpversuchs an der Messstelle P7 (siehe Kapitel 4.4) zwei Grundwasserproben entnommen.

Des Weiteren wurden durch IGB im Zuge des Monitorings insgesamt 18 Oberflächenwassermesspunkte beprobt und dabei insgesamt 33 Wasserproben entnommen (siehe Tabelle 4-6). Zwei Probenahmestellen („Zitzelsheimer Graben“, „Schornreuther Kanal“) waren im Zuge der regulären Monitoringrunden beide Male trocken, sodass keine Beprobung stattfand. Im Zuge eines Vor-Ort-Termins am

20.01.2020, bei der erstmals eine Wasserführung im Zitzelsheimer Graben feststellbar war, konnte durch Gibbs geologen + ingenieure eine Wasserprobe entnommen werden. In diesem Zuge wurde auch an der Probenahmestelle Zeller Kanal 4 (Zeller Kanal auf Höhe Einmündung Zulauf aus der Liegenschaft) eine weitere Oberflächenwasserprobe entnommen.

Im August waren des Weiteren beide Probenahmestellen entlang des Lohgrabens (Zulauf/Ablauf Lohgraben) trocken.

Tabelle 4-6: Untersuchte Oberflächenwassermesspunkte

Beprobungspunkt	Probenahme- runde August 2019	Probenahme- runde Oktober 2019	Bemerkung
Lohgraben Zulauf	trocken	09.10.2019	
Lohgraben Ablauf	trocken	09.10.2019	
Längenmühlbach Zulauf	06.08.2019	09.10.2019	
Längenmühlbach Ablauf 1	06.08.2019	09.10.2019	
Längenmühlbach Ablauf 2	06.08.2019	09.10.2019	
Zitzelsheimer Graben	trocken	trocken	Beprobung im Zuge Vor-Ort- Begehung am 20.01.2020
Zeller Kanal 0		09.10.2019	Zustrom Zeller Kanal 1
Zeller Kanal 1	06.08.2019	09.10.2019	
Zeller Kanal 2	06.08.2019	09.10.2019	
Zeller Kanal 3	06.08.2019	09.10.2019	
Zeller Kanal 4	06.08.2019	09.10.2019	Nochmalige Beprobung im Zuge Vor-Ort-Begehung am 20.01.2020
Zeller Kanal 5	06.08.2019	09.10.2019	
Zeller Kanal Ablauf	06.08.2019	09.10.2019	
Schornreuther Kanal	trocken	trocken	
Baggersee 1	08.08.2019	09.10.2019	
Baggersee 2	06.08.2019	09.10.2019	
Baggersee 3	07.08.2019	09.10.2019	
Baggersee 4	06.08.2019	09.10.2019	
Zeller See	07.08.2019	08.10.2019	
Wasser FÜB	15.08.2019		Sonderprobe, Oberflächenwasser aus Feuerlöschübungsbecken

Neben dem regulären Monitoring wurde einmalig durch Gibbs geologen + ingenieure eine Wasserprobe aus dem ehemaligen Feuerlöschübungsbecken entnommen.

Im Zuge der Wasserprobenahmen wurden jeweils die Vor-Ort-Parameter bestimmt und bei den Grundwasserbeprobungen der Wasserspiegel erfasst.

Die Lage der Untersuchungspunkte ist in Anlage 1 dargestellt. In Anlage 3 sind weiterhin die Probenahmeprotokolle der Wasseruntersuchungen dokumentiert.

Grundwassersondierungen mittels Direct-Push

Im Juli/August 2019 wurden durch die Firma Fugro Germany Land GmbH zur Erkundung der gesättigten Bodenzone insgesamt 47 Grundwassersondierungen mittels Direct-Push durchgeführt.

Die Ansatzpunkte für die Grundwasseruntersuchungen wurden unter Berücksichtigung des Untersuchungskonzeptes vom 08. November 2018 in Abstimmung mit dem Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr, Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K 6 (BAIUDbw) festgelegt und im Zuge eines Ortstermins die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geprüft. Aufgrund unklarer Sparten mussten insgesamt 14 Ansatzpunkte vorgeschachtet werden. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Die Lage der Direct-Push-Bohrungen ist in Anlage 1 (Plan 1) dargestellt. Die Ansatzpunkte wurden durch das Vermessungsbüro WM GmbH & Co. Kg, Donauwörth lage- und höhenmäßig eingemessen (Koordinatensystem UTM 32N/ETRS 89, Höhenbezugssystem DHNN 2016).

Für die Grundwassersondierungen wurde die Sonde „SP16“ der Firma Geoprobe verwendet. Das Sondiergestänge (Außendurchmesser 4 cm) wurde unter Verwendung einer „verlorenen Spitze“ drehend/drückend/schlagend auf die Sondierungstiefe (ca. 1 - 2 m unterhalb des Grundwasserspiegels) gebracht. Anschließend wurde das Schutzrohr angehoben (max. 1 m) und damit die Filterstrecke aus Edelstahl frei gelegt. Mittels Fußventilpumpe (Schlauchmaterial HDPE) wurde das Wasservolumen mehrfach ausgetauscht (Fördermenge ca. 10 l) und anschließend eine fachgerechte Grundwasserbeprobung inkl. der Bestimmung des Wasserspiegels und der Vor-Ort-Parameter durchgeführt. Das geförderte Wasser wurde über Aktivkohle abgereinigt und in Messstellennähe versickert. Nach erfolgter Probenahme wurde das Sondiergestänge gezogen und der Aufschluss verschlossen.

In Anlage 3 sind die Probenahmeprotokolle der Grundwasseruntersuchungen dokumentiert.

Untersuchung Entwässerungssystem

Aufgrund der PFC-Befunde an der Einleitestelle zum „Zeller Kanal“ wurde das Entwässerungssystem im Detail betrachtet und untersucht. Hierzu wurde das von der SEHLHOFF GMBH im Jahr 2014 erstellte LAK (Liegenschaftsbezogenes Abwasserentsorgungskonzept) ausgewertet und ein Beprobungskonzept erstellt [12].

Das Abwasser der Liegenschaft wird über ein Trennsystem gesammelt und abgeführt. Es untergliedert sich in Regenwassernetz, Schmutzwassernetz sowie ein Sondersystem.

Das Regenwassernetz und das Sondersystem entwässern in die umliegenden Oberflächengewässer „Zeller Kanal“ bzw. „Lohgraben“. Über das Regenwassernetz erfolgt die Entwässerung der Start-/Landebahn sowie Teile des nördlichen Geländes des Flugplatzes in den „Zeller Kanal“. Das Sondersystem erfasst das Niederschlagswasser und anfallende Abwasser der Vorflächen der Waschhallen und Werkstätten. Das Wasser wird in Regenrückhaltebecken (RRB) gesammelt und dann über Leichtflüssigkeitsabscheider in das Regenwassernetz geleitet und den bereits genannten Oberflächengewässern „Zeller Kanal“ und „Lohgraben“ zugeführt. Das gespeicherte Regenwasser in den Regenrückhaltebecken wird nach Erreichen einer gewissen Einschaltsschwelle durch Pumpwerke abgepumpt.

Nach Auswertung des LAK wurden insgesamt 11 Beprobungsstellen festgelegt, die in Tabelle 4-7 aufgeführt sind bzw. in Anlage 1 (Plan 2) lagemäßig verortet werden. Die Untersuchungsstellen wurden am 04. November 2019 nach anhaltenden Regenfällen an den Vortagen von Gibs geologen + ingenieure unter Begleitung des BwDLZ (Hr. Steidl, Hr. Klemm) beprobt. Die Regenrückhaltebecken waren zum Beprobungszeitpunkt geringfügig aufgestaut. Hierbei handelte es sich um das restliche Regenwasser der anhaltenden Niederschläge der Vortage. Zum Zeitpunkt der Untersuchung war an den meisten Stellen kein nennenswerter Zufluss feststellbar. Für die Probenahme an den meisten RRBs wurden die Pumpwerke manuell gestartet und die Beprobung in den nachfolgenden Beprobungsschächten durchgeführt.

In Anlage 3 sind die Probenahmeprotokolle der Untersuchungen des Entwässerungssystems dokumentiert.

Tabelle 4-7: Beprobungsstellen Entwässerungssystem

Messpunkt	Art	Lage	Bemerkung
107RRB01	RRB	Nordwestecke	Beprobung direkt aus RRB, kein Zufluss zu RRB, Einstau ca. 30 cm
106060A	Ablaufrohr	Nordwestecke	Beprobung an Ablaufrohr bei laufendem Pumpbetrieb nach RRB 106RRB01, geringer Zufluss (<0,1 l/s)
102RRB02	Schacht	Entwässerung AFW Vorfeld	Beprobung an Probenahmeschacht bei laufendem Pumpbetrieb, Zufluss ca. 0,3 l/s (Strang AFW)
101249a	Schacht	Entwässerung Mittelteil	Beprobung an Probenahmeschacht bei laufendem Pumpbetrieb nach RRB 112RRB01, kein Zufluss zu RRB
101196	Schacht	Landebahn Südstrang	Schacht mit Sumpf, Durchfluss < 0,1 l/s
101024	Schacht	Nordostecke	Beprobung an Probenahmeschacht bei laufendem Pumpbetrieb nach RRB 101RRB01, kein Zufluss zu RRB
101148	Schacht	Landebahn Nordstrang	Schacht mit Sumpf, Durchfluss < 0,1 l/s
101278	Schacht	Landebahn Südstrang	Schacht mit Sumpf, Durchfluss < 0,1 l/s
101322	Schacht	Entwässerung Südostteil 1	Beprobung an Probenahmeschacht bei laufendem Pumpbetrieb nach RRB 101319, kein Zufluss zu RRB
102B02	Schacht	Entwässerung Südostteil 2	Beprobung an Probenahmeschacht bei laufendem Pumpbetrieb nach RRB 102RRB01, kein Zufluss zu RRB
Zeller Kanal Ablauf	Graben	Entwässerung Liegenschaft Zeller Kanal	Abfluss geschätzt ca. 10 l/s

4.1.3 Vermessungsarbeiten

Die Vermessungsarbeiten wurden durch die Firma Vermessungsbüro WM GmbH & Co. KG im Zuge mehrerer Ortstermine durchgeführt. Dabei wurden die Ansatzpunkte der 62 Linersondierungen, die fünf neu errichteten Grundwassermessstellen, 47 Direct-Push-Grundwassersondierungen sowie 71 weitere Grund- und Oberflächenwasseraufschlüsse lage- und höhenmäßig eingemessen (Koordinatensystem UTM 32N/ETRS 89, Höhen Bezugssystem DHNN 2016).

Die Vermessung erfolgte gemäß BFR Standard (Baufachliche Richtlinie) unter Einhaltung der vorgegebenen Genauigkeiten (Lage und Höhe 1 - 2 cm). Die Vermessungsdaten befinden sich im Anlage 7.

4.2 Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz

Im Vorfeld der Phase IIa/b Untersuchungen wurde durch Gibbs geologen + ingenieure mit Datum vom 10. Juli 2019 ein Arbeits- und Sicherheitsplan (ArSi-Plan) entsprechend den Vorgaben der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 524 / DGUV-Regel 101-004 (ehemals Berufsgenossenschaftlichen Richtlinie BGR 128) erstellt.

Alle vor Ort eingesetzten Personen wurden entsprechend den Vorgaben des Arbeits- und Sicherheitsplans vor Ort unterwiesen.

4.3 Laboruntersuchungen/Chemische Analytik

Wasserproben

Die Laboruntersuchungen wurden durch das DakKS akkreditierte Labor Agrolab GmbH, Bruckberg durchgeführt. Alle 230 Wasserproben wurden auf PFC (13 Einzelparameter) nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ (Stand April 2017) analysiert.

Zur Qualitätssicherung der Analysenergebnisse wurden stichprobenartig durch anonymisierte Doppelbeprobungen das beauftragte Analysenlabor Agrolab kontrolliert. Weiterhin wurden stichprobenartig Vergleichsanalysen durch das Analytik Institut Rietzler GmbH, Fürth veranlasst, welches ebenfalls nach DakKS akkreditiert ist.

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 6, eine tabellarische Auswertung der Ergebnisse befindet sich in Anlage 2. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

Bodenproben

Die Laboruntersuchungen wurden durch das DakKS akkreditierte Labor Agrolab GmbH, Bruckberg durchgeführt. Die Bodenproben wurden auf PFC (13 Einzelparameter) im S4-Eluat bzw. im Feststoff nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ analysiert.

Bei den aktuellen Untersuchungen wurden ausgewählte Bodenproben analysiert. Die zu untersuchenden Proben wurden in Abstimmung mit BAIUDBw ausgewählt. An jedem Ansatzpunkt wurden mindestens drei Bodenproben zur Analytik ausgewählt. Meistens wurden dabei die obersten Bodenschichten sowie die unterste Lage der ungesättigten Bodenzone ausgewählt. Bei positiven Befunden wurden Nachanalysen zur Eingrenzung der Belastung veranlasst. Die restlichen Proben wurden bislang rückgestellt.

Insgesamt wurden 247 Bodenproben auf PFC (13 Einzelparameter) im S4-Eluat bzw. eine Bodenprobe im Feststoff nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ (Stand April 2017) analysiert.

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 6, eine tabellarische Auswertung der Ergebnisse befindet sich in Anlage 2. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

4.4 Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter

Pumpversuch

An der Grundwassermessstelle P7 wurde am 29. / 30. Juli 2019 ein 24-stündiger Pumpversuch durch die Firma Brunnenbau Kern durchgeführt. Ziel des Versuchs war die Bestimmung der wichtigsten hydraulischen Parameter (kf-Wert, Transmissivität, Speicherkoeffizient) für den quartären Grundwasserleiter. Beim Pumpversuch wurde ein temporärer 2"-Rammpegel in ca. 4 m Entfernung mitbeobachtet.

Das geförderte Wasser wurde in die ca. 200 m entfernte Messstelle P5 eingeleitet und dort der Wasserspiegel ebenfalls mitbeobachtet.

Im Förderbrunnen, in der Beobachtungsmessstelle und im Schluckbrunnen wurden die Wasserspiegel kontinuierlich mittels Drucksonden erfasst sowie die Förderrate mittels IDM (induktiven Durchflussmesser) aufgezeichnet. In Tabelle 4-8 ist eine übersichtliche Zusammenstellung der wichtigsten Pumpversuchsdaten dargestellt.

Tabelle 4-8: Pumpversuchsdaten

Messstelle	P7
POK [mNN]	379,66
Endteufe [m u. GOK]	5,8
Beobachtungsmessstelle	Temporärer 2"-Rammfilterpegel
Pumpenart:	U-Pumpe
Einbautiefe:	ca. 0,5 m über Endtiefe
Ableitung:	Ableitung über Schlauchleitung in P5 (Schluckbrunnen, kont. Aufzeichnung Wasserspiegel)
Durchschnitt Förderleistung:	ca. 2,20 l/s
Start PV:	29.07.2019, 11:00 Uhr
Ende PV:	30.07.2019, 11:00 Uhr
Aufzeichnung Wiederanstieg:	31.07.2019, 08:00 Uhr

Abbildung 4-2 zeigt die Förderrate im Förderbrunnen P7 sowie den damit erzeugten Absenkungsverlauf im Förderbrunnen und der Beobachtungsmessstelle (Rammpegel). Bei der Planung des Pumpversuchs wurde eine Förderrate von 10 l/s angenommen, mit der Pumpversuch durchgeführt werden sollte. Nach dem Start senkte der Wasserspiegel bei einer maximalen Förderrate von 2,8 l/s unmittelbar auf Pumpenniveau (Absenkbetrag Δs : ca. 1,12 m) ab. Durch die Reduzierung der Förderrate auf ca. 2,2 l/s stieg der Wasserspiegel kurzfristig an (Δs : ca. 0,80 m), um danach kontinuierlich bis zum Ende des Pumpversuchs zu fallen (Δs max: 0,91 m). Nach Pumpenstopp kehrte der

Wasserspiegel bis zum Ende der Aufzeichnung nahezu auf Ruhewasserverhältnisse zurück (Restabsenkung 0,01 m).

Der nahegelegenen Rammpegel zeigte sowohl in der Absenkungs- als auch in der Wiederanstiegsphase eine eindeutige, nahezu unverzögerte hydraulische Reaktion. Nach dem Start senkte der Wasserspiegel kontinuierlich auf einen maximalen Absenkungsbetrag von 0,12 m zum Ende der Pumpphase ab. Bis zum Ende der Aufzeichnung stieg der Wasserspiegel fast auf Ruhewasserverhältnisse (Restabsenkung 0,01 m) an.

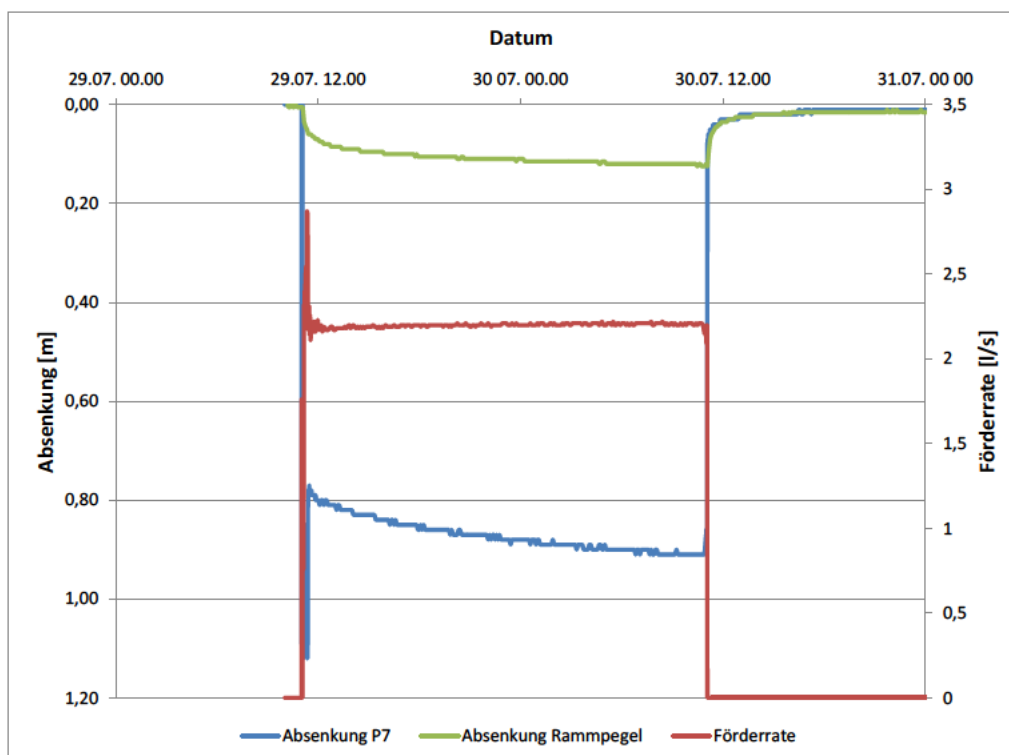


Abbildung 4-2: Absenkungsverlauf Förderbrunnen/Rammpegel inkl. Förderrate

Im Zuge des Pumpversuchs wurden durch Gibs geologen + ingenieure zwei Grundwasserproben (nach zwei Stunden und 24 Stunden Förderdauer, Probenahmeprotokolle siehe Anlage 3) entnommen und analog der anderen Proben durch die Agrolab GmbH, Bruckberg auf PFC (13 Einzelparameter gemäß LfU) analysiert (Analysenprotokolle siehe Anlage 6).

Grundwasserstichtagsmessung

Am 27./28. November 2019 wurde durch Gibs geologen + ingenieure und IGB eine Grundwasserstichtagsmessung an insgesamt 91 Grundwasseraufschlüssen innerhalb und außerhalb der Liegenschaft durchgeführt. Des Weiteren wurden an insgesamt acht Messpunkten südöstlich der Liegenschaft die Fließgewässerstände erfasst. Eine Liste der untersuchten Messpunkte ist in Anlage 8 aufgeführt.

umfassendere Betrachtung erfolgt im Zuge des Endbericht der aktuellen Phase IIa-2 Untersuchungen bei der Bewertung der nahegelegenen KVF 501 „Neue Feuerwache“.

Weitere PFC-Belastungen im Grundwasser (u.a. PFOS 0,34 µg/l, PFHxS 1,1 µg/l, PFC Summe 1,6 µg/l) und Oberboden (u.a. PFOS 0,46 µg/l, PFHxS 0,53 µg/l, PFC Summe 1,0 µg/l) wurden Ende 2013 bei Untersuchungen am Südrand der Liegenschaft auf Höhe des Längenmühlbachs ermittelt [8]. Eine umfassendere Betrachtung erfolgt im Zuge des Endberichtes der aktuellen Phase IIa-2 Untersuchungen bei der Bewertung der nahegelegenen KVF 438 „ehemaliger Feuerwehrstellplatz West“.

Im September 2013 wurden zwei der bestehenden Grundwassermessstellen (P0, P3) auf PFC untersucht. An der Messstelle P0 lagen die PFC-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze, an der Messstelle P3 wurde der vorläufige Schwellenwert für PFOS (0,15 µg/l) überschritten [4].

Mitte 2014 wurden erste „orientierende Untersuchungen“ von Gibs geologen + ingenieure gemäß eines durch die Oberfinanzdirektion (OFD) Hannover und des Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUSBw) München aufgestellten Untersuchungskonzeptes durchgeführt. Hierbei wurden 16 CMT-Messstellen (Continuous Multichannel Tubing, Mehrkanalmessstellen mit Filteröffnungen in 3 m, 5 m und 7 m Tiefe) errichtet und diese sowie die bestehenden zehn Grundwassermessstellen zweimalig beprobt [1].

Dabei wurden in elf der 16 CMT-Messstellen Überschreitungen des vorläufigen Schwellenwertes festgestellt. Schadensschwerpunkte wurden im Bereich des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens (DP16, PFOS max. 41 µg/l, PFHxS max. 12 µg/l, PFC Summe max. 54 µg/l) und südlich der Start-/Landebahn im Bereich der CMT-Messstellen DP14, DP12, DP11, DP7 und DP5 (PFOS max. 0,35 - 0,97 µg/l, PFHxS max. 0,52 - 1,7 µg/l, PFC Summe max. 1,3 - 2,4 µg/l) ausgemacht. Für die Belastungen südlich der Start-/Landebahn konnten mehrere potenzielle Eintragsorte (mit Schaum gelöschter Baggerbrand, „Alte Feuerwache“, „Neue Feuerwache“, evtl. Übungen im Bereich der Lärmschutzhallen/Triebwerksteststände) in Erfahrung gebracht werden. Aufgrund der festgestellten Belastungen mit zahlreichen Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte ergab sich eine „erhebliche Grundwasserverunreinigung“, die weitere Erkundungsmaßnahmen erforderlich machte.

Eine bundeswehrinterne historische Recherche hinsichtlich PFC wurde im Jahr 2015 durch das BAIUSBw KompZ BauMgmt M K 6 durchgeführt [4]. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind im Folgenden aufgeführt, werden aber auch bei der KF/KVF-spezifischen Betrachtung berücksichtigt bzw. zusammenfassend mit weiteren Erkenntnissen bewertet.

- Durch die Betriebsfeuerwehr wurden die AFFF-Schäume (Aqueous Film Forming Foam, zu deutsch: wasserfilmbildendes Schaummittel) „Light Water FC-203A“ der Firma „3M Deutschland GmbH“ bzw. „Rühl-AFFF-3%“ der „RÜHL FEUERLÖSCHMITTEL GMBH“ verwendet, die beide PFC-haltig sind. Generelle

Angaben zu verbrauchten Mengen an PFC-Löschschäumen liegen jedoch nicht vor. Im Jahr 2010 wurde der gesamte Schaummittelvorrat entsorgt und durch neue Schaummittel ersetzt.

- PFC-haltige Löschmittel wurden in größeren Mengen in der „Alten Feuerwache“ (bis 2008), in der „Neuen Feuerwache“ (ab 2008) sowie in zwei oberirdischen Tanks im Bereich der Lärmschutzhallen/Triebwerkstestständen gelagert.
- Die Befüllung der Fahrzeuge erfolgte (vermutlich) in den Feuerwehrgebäuden. Ebenfalls wurde nach Löschschaumeinsätzen die Reinigung der Fahrzeuge an den Feuerwachen durchgeführt. Das Abwasser wurde in die Kanalisation eingeleitet.
- Regelmäßige Übungen (viermal pro Jahr) mit PFC-haltigem Löschmittel wurden am Feuerlöschübungsbecken (70er Jahre bis 1988) durchgeführt; dabei wurden jeweils ca. 350 l Schaummittel (AFFF) verwendet.
- Gelegentliche kleinräumige Landebahnschäumungen (jeweils ca. 1 l AFFF) bei „Hackenfängen“ (zur Abdeckung von ausgelaufenem Kerosin) sind ab dem Jahr 2001 bekannt. Das entstandene Abwasser versickerte in den Versickerungsgräben beidseitig der Landebahn. Über frühere Landebahnschäumungen liegen keine Erkenntnisse vor.
- Im Jahr 2006 wurde ein Baggerbrand mit Schaummittel (ca. 3 l) im Südwesten des Flugplatzes gelöscht.
- Im Bereich der Lärmschutzhallen/Triebwerkstständen wurden Schaummittel bei Übungen eingesetzt. Inwieweit dabei Schaummittel in den Untergrund gelangen konnten, war nicht bekannt. Im Zuge des Umbaus der Lärmschutzhalle Geb. 190 (Zeitraum unbekannt) wurden Auffangrinnen errichtet, die den Austritt von Löschmitteln verhindert.
- Im Bereich der Start-/Landebahn sind drei großflächige Landebahnschäumungen bekannt. Im Zeitraum 2008/2009 wurde ein Schaumteppich (Größe 600 m x 20m x 7cm) für ein Flugzeug (F-4F) mit Hydraulikproblemen gelegt. Dazu wurden ca. 16.000 l Wasser-Schaumgemisch mit 5 % AFFF-Anteil ausgebracht, was einer Menge von ca. 800 l Schaummittel entspricht. Da die havarierte F-4F (Phantom) nicht auf der Landebahn zum Stehen kam, wurde an den Hackenfängen (siehe Lageplan) ein weiterer Schaumteppich (Größe ca. 300 m x 40 m) ausgebracht. Auch hier wurden 16.000 l Wasser-Schaumgemisch bzw. 800 l Schaummittel ausgebracht. An den Hackenfängen wurde zudem einmalig zu Übungszwecken ein Schaumteppich ausgelegt, bei dem ebenfalls 800 l Schaummittel eingesetzt wurde.
- Nach Aussage des Staatl. Bauamtes Ingolstadt fanden in den letzten Jahren (bis ca. 2008) keine größeren relevanten Bodenuntersuchungen bzw. -umlagerungen statt. Für weiter zurückreichende Zeiträume liegen keine Informationen vor.
- Vor ca. 10 – 15 Jahren wurde der Flugplatz im Süden im Bereich der „Neuen Feuerwache“ bzw. des neuen „Towers“ um ca. 8 ha erweitert. Das Gebiet wurde zuvor als Ackerfläche genutzt.

Im Jahr 2018 erfolgte eine Phase I Untersuchung für den gesamten Flugplatz durch die Mull & Partner Ingenieurgesellschaft GmbH (Vorab-Bericht vom 06.06.2018). Es wurden insgesamt 448 kontaminationsverdächtige Flächen (KVF) ausgewiesen, wobei für den Schadstoffparameter PFC bei ca. 80 KVF eine potenzielle Kontaminationsgefahr geäußert wurde [10]. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass durch Gibs geologen + ingenieure in Zusammenarbeit mit dem BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 die aufgeführten KVF im Zuge der Erstellung des Untersuchungskonzeptes geprüft wurden, was letztendlich zu einer deutliche Reduzierung der Verdachtsflächen führte.

5.1.2 Boden- und Untergrundaufbau

Der Untergrundaufbau der quartären Schichten bis zu den stauenden Lagen der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) wurde bei der Errichtung der fünf neuen Grundwassermessstellen erkundet und spiegelt im Wesentlichen die in früheren Erkundungen gewonnenen Erkenntnisse wider. In allen Bohrungen wurden oberflächlich geringmächtige Oberboden- bzw. Auffüllungshorizonte bis maximal 1,7 m u. GOK erkundet. Im Liegenden folgen bis maximal 3,5 m u. GOK schluffige bis kiesige Feinsande. Darunter wurden durchgehend (stark) kiesige Sande bis in Tiefen zwischen 9,3 m u. GOK bis 9,9 m u. GOK erkundet. Dabei wurden die wasserführenden Schichten in ca. 2,4 bis 2,9 m u. GOK angetroffen. Die Bohrungen wurden mit Erreichen der tertiären Schichten der Oberen Süßwassermolasse beendet. Die tertiären Schichten sind im Übergangsbereich als schluffige, feinsandige Tone ausgebildet und fungieren im Untersuchungsgebiet als Hemmschicht für das quartäre Grundwasser.

Abbildung 5-2 zeigt schematisch den erkundeten Untergrundaufbau am Beispiel der Grundwassermessstelle P20.

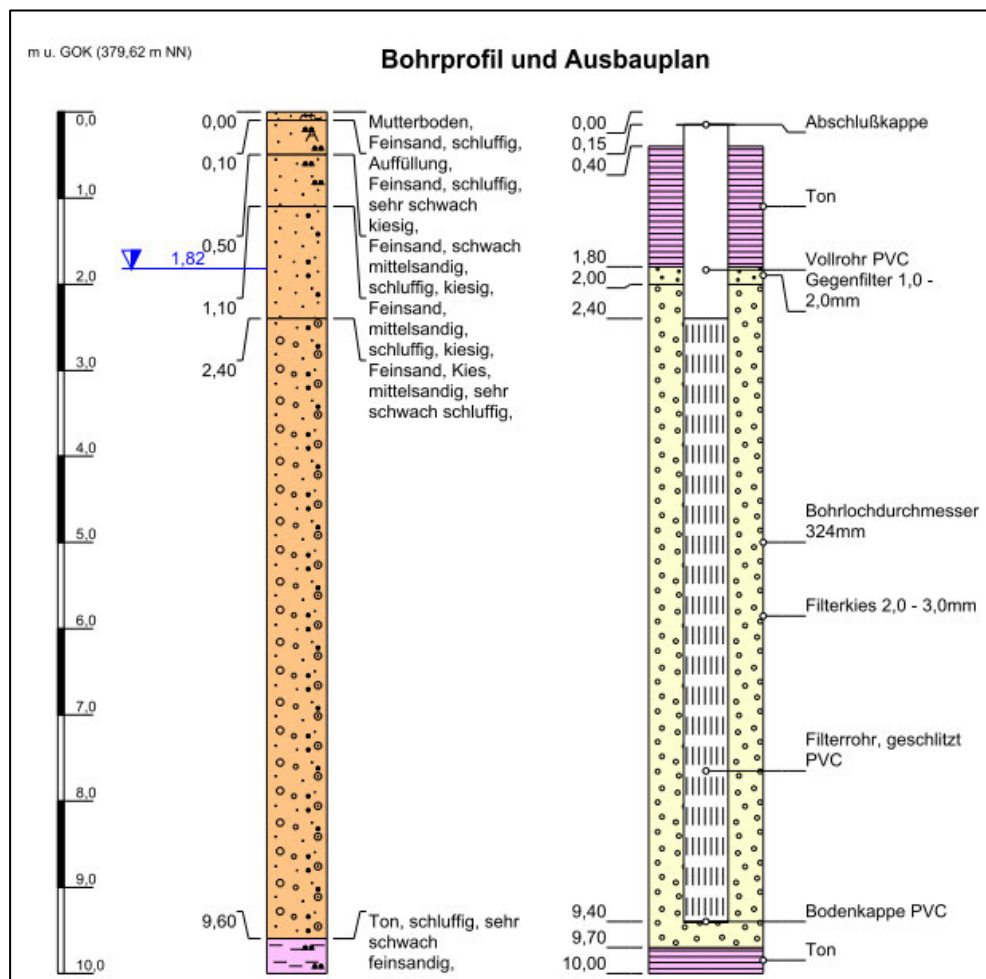


Abbildung 5-2: Schematischer Untergrundaufbau Grundwassermessstelle P20

5.1.3 Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung

Die quartären Schotter stellen im weiteren Umgriff des Flugplatzes Neuburg den maßgeblichen Grundwasserleiter dar. Die Basis des quartären Porengrundwasserleiters bilden die stauenden grauen Tone der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär), die im Bereich des Flugplatzes bei ca. 9 – 10 m u. GOK angetroffen werden und eine Aquifermächtigkeit von ca. 7 - 9 m bedingen (Mittelwert ca. 7,6 m). Es handelt sich um einen homogenen Aquifer mit überwiegend freien Grundwasserverhältnissen. Bei höheren Grundwasserständen kann der quartäre Aquifer aufgrund der feinkörnigen Lockergesteinsauflage leicht gespannt sein [6].

Das quartäre Grundwasser wird im Bereich des Flugplatzes Neuburg durch insgesamt 40 Grundwassermessstellen erschlossen. Die wichtigsten Kenndaten der Grundwassermessstellen inkl. der Wasserspiegelmessungen sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.

Tabelle 5-1: Übersicht Grundwassermessstellen

Mess- stelle	X-Koord	Y-Koord	POK	GOK	Filter- oberkante	Filter- unterkante	Endtiefe	Beginn Stauer	Ausbau	Wasserspiegelstände										Mittlerer Flurabstand	Mittlere GW- Mächtigkeit
										Jul 14	Sep/Okt 2014	Mai 15	Aug 15	Aug 19	Okt 19	Min	Max	Mittelwert	Differenz Min-Max		
	UTM	UTM	mNN	mNN	m u. GOK	m u. GOK	m u. GOK	m u. GOK		mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	m	m u. GOK	m
DP1	663659,85	5397922,18	379,51	379,69					CMT	376,99	377,11	377,57	377,02	376,91	376,82	376,82	377,57	377,07	0,75	2,62	
DP2	664074,15	5397594,35	378,75	378,87					CMT	376,79	376,93	377,28	376,82	376,68	376,60	376,60	377,28	376,85	0,68	2,03	
DP3	663904,94	5397354,94	378,65	378,70					CMT	376,95	377,09	377,46	376,96	376,90	376,81	376,81	377,46	377,03	0,65	1,67	
DP4	663513,93	5397790,15	378,82	379,00					CMT	377,08	377,21	377,66	377,11	377,00	376,90	376,90	377,66	377,16	0,76	1,83	
DP5	663404,16	5397556,98	378,94	379,02					CMT	377,11	377,29	377,67	377,14	377,06	376,95	376,95	377,67	377,20	0,72	1,81	
DP6	663354,38	5397241,75	378,86	379,08					CMT	377,16	377,38	377,71	377,19	377,10	377,02	377,02	377,71	377,26	0,69	1,82	
DP7	663159,19	5397567,75	378,99	379,12					CMT	377,26	377,45	377,83	377,29	377,18	377,07	377,07	377,83	377,35	0,76	1,77	
DP8	662894,28	5397200,38	378,95	379,07					CMT	377,45	377,83	378,03	377,48	377,38	377,31	377,31	378,03	377,58	0,72	1,49	
DP9	662737,92	5397344,44	379,03	379,25					CMT	377,52	377,86	378,15	377,58	377,45	377,36	377,36	378,15	377,65	0,79	1,60	
DP10	662873,91	5397943,27	379,36	379,54					CMT	377,38	377,56	378,00	377,44	377,29	377,18	377,18	378,00	377,48	0,82	2,06	
DP11	662575,48	5397569,81	379,22	379,31					CMT	377,57	377,87	378,09	377,62	377,49	377,40	377,40	378,09	377,68	0,69	1,63	
DP12	661987,30	5397507,16	379,90	380,00					CMT	377,78	378,30	378,46	377,88	377,72	377,61	377,61	378,46	377,96	0,85	2,04	
DP13	661764,86	5397731,41	379,72	379,81					CMT	377,84	378,32	378,54	377,98	377,75	377,68	377,68	378,54	378,02	0,86	1,80	
DP14	661431,78	5397563,68	380,20	380,35					CMT	378,06	378,42	378,71	378,15	377,95	377,81	377,81	378,71	378,19	0,90	2,16	
DP15	661425,83	5397940,83	380,37	380,55					CMT	378,04	378,35	378,69	378,12	377,93	377,78	377,78	378,69	378,15	0,91	2,39	
DP16	661184,58	5398076,59	380,34	380,53					CMT	378,13	378,33	378,75	378,17	378,00	377,84	377,84	378,75	378,20	0,91	2,33	
P0	663023,19	5397228,45	379,29	379,37	0,8	4,8	4,8		DN 300	377,33	377,72	377,88	377,42	377,31	377,19	377,19	377,88	377,47	0,69	1,82	
P1	662478,88	5397738,09	379,33	379,47	1,0	5,0	5,0		DN 300	377,58	377,93	378,20	377,70	377,56	377,36	377,36	378,20	377,72	0,84	1,61	
P2	663208,65	5397775,27	379,03	379,17	1,0	5,0	5,0		DN 300	377,16	377,33	377,74	377,24	377,12	376,94	376,94	377,74	377,26	0,80	1,77	
P3	663704,36	5397642,95	378,63	378,71	0,6	4,6	4,6		DN 300	376,93	377,07	377,48	377,00	376,89	376,74	376,74	377,48	377,01	0,74	1,61	
P4	664320,21	5397589,98	378,42	378,55	0,6	4,6	4,6		DN 300	376,62	376,76	377,08	376,69	376,66	376,51	376,51	377,08	376,72	0,57	1,70	
P5	664338,73	5397680,24	378,68	378,85	1,2	5,2	5,2		DN 300	376,60	376,75	377,14	376,67	376,64	376,49	376,49	377,14	376,72	0,65	1,96	
P6	664341,97	5397795,87	379,09	379,29	1,2	5,2	5,2		DN 300	376,51	376,65	377,05	376,58	376,54	376,38	376,38	377,05	376,62	0,67	2,47	
P7	664338,88	5397891,12	379,56	379,66	1,8	5,8	5,8		DN 300	376,42	376,55	376,96	376,47	376,46	376,29	376,29	376,96	376,53	0,67	3,03	
P8	664298,49	5397977,78	380,22	380,33	2,0	6,0	6,0		DN 300	376,44	376,56	376,98	376,47	376,45	376,30	376,30	376,98	376,53	0,68	3,69	
P9	663970,04	5397783,17	378,48	378,83	1,8	9,8	9,8	10,50	DN 300	376,72	376,86	377,25	376,77	376,67	376,57	376,57	377,25	376,81	0,68	1,67	8,83
P10	664276,07	5397414,35	379,29	378,42	2,3	10,3	10,30	10,50	DN 125			377,04	376,69	376,61	376,49	376,49	377,04	376,71	0,55	1,71	8,79
P11	662681,63	5397569,96	379,30	379,40	2,3	9,3	9,30	9,80	DN 125			378,10	377,57	377,48	377,28	377,28	378,10	377,61	0,82	1,79	8,01
P12	662682,66	5397521,50	379,26	379,34	2,3	10,3	10,30	10,00	DN 125			378,09	377,56	377,46	377,27	377,27	378,09	377,60	0,82	1,75	8,26
P13	662634,87	5397489,04	379,60	379,77	2,3	9,3	9,30	9,40	DN 125			378,12	377,61	377,48	377,29	377,29	378,12	377,63	0,83	2,14	7,26
P14	662563,36	5397518,30	379,68	379,81	2,3	9,3	9,30	9,10	DN 125			378,16	377,65	377,53	377,32	377,32	378,16	377,67	0,84	2,14	6,96
P15	661496,04	5398072,34	380,04	380,12	2,3	9,3	9,30	9,50	DN 125			378,56	378,03	377,87	377,67	377,67	378,56	378,03	0,89	2,09	7,41
P16	661207,37	5398070,74	381,56	380,54	2,3	10,3	10,30	9,80	DN 125			378,71	378,18	378,06	377,79	377,79	378,71	378,19	0,92	2,36	7,44
P17	661182,43	5398042,99	381,00	380,13	2,3	9,3	9,30	9,60	DN 125			378,70	378,17	378,04	377,80	377,80	378,70	378,18	0,90	1,95	7,65
P18	661127,47	5398066,59	380,45	380,59	2,3	9,3	9,30	9,20	DN 125			378,75	378,22	378,11	377,87	377,87	378,75	378,24	0,88	2,35	6,85
P19	661188,713	5398103,59	381,489	380,621	2,8	9,8	9,8	9,8	DN 125					378,09	377,82	377,82	378,09	377,95	0,27	2,67	7,13
P20	662529,281	5397544,61	379,435	379,622	2,4	9,4	9,4	9,7	DN 125					377,54	377,34	377,34	377,54	377,44	0,20	2,19	7,51
P21	662685,305	5397549,74	379,149	379,323	2,4	9,4	9,4	9,9	DN 125					377,49	377,29	377,29	377,49	377,39	0,20	1,93	7,97
P22	662685,626	5397505,24	379,324	379,48	2,4	9,4	9,4	9,6	DN 125					377,48	377,28	377,28	377,48	377,38	0,20	2,10	7,50
P23	662667,698	5397483,84	379,624	379,752	2,4	9,4	9,4	9,4	DN 125					377,44	377,27	377,27	377,44	377,36	0,17	2,39	7,01

Grundwasserneubildung

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich des Flugplatzes Neuburg von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von ca. 124 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei ca. 64 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei ca. 155 mm/a [19].

Deckschichten

Die vorgefunden Böden zeichnen sich durch geringe organische Bestandteile aus. Tonige Böden treten nur vereinzelt auf, so dass insgesamt von einem geringen Sorptionsvermögen des Bodens auszugehen ist.

Hydraulisch aktive Deckschichten fehlen oder sind nur geringmächtig vorhanden. Laut HK 100 befinden sich auf der Liegenschaft bereichsweise „Deckschicht(en) aus Lockergestein mit sehr geringer bis äußerst geringer Porendurchlässigkeit“, die „geringmächtig und/oder lückenhaft“ ausgebildet sind [18].

Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist als gering einzustufen.

Flurabstand, Grundwassermächtigkeit

Die Flurabstände beziehen sich auf die Wasserspiegelmessungen an den vorhandenen Grundwassermessstellen im Zeitraum von Juli 2014 bis Oktober 2019.

Die Wasserspiegel bewegen sich zwischen ca. 376 mNN im Osten und ca. 379 mNN im Westen des Flugplatzes. Im zeitlichen Verlauf ergeben sich deutliche Schwankungen bei den Wasserspiegelständen (siehe auch Tabelle 5-1). Die höchsten Grundwasserstände wurden im Mai 2015 gemessen. Deutlich niedrigere Grundwasserstände wurden dagegen im Oktober 2019 ermittelt. Wie die kontinuierliche Wasserstandserfassung an der Grundwassermessstelle Heinrichsheim zeigt (siehe Kapitel 2.3.3), folgen die Grundwasserstände einer jahreszeitlichen Periodik mit Höchstständen zu Beginn des Jahres (Januar/Februar) und Tiefstständen im Spätsommer/Herbst (August – November). Diese Periodik kann auch an den untersuchten Messstellen nachvollzogen werden. Auch die langjährigen Tiefststände zum Ende des Jahres 2019 decken sich mit der Messreihe der Messstelle Heinrichsheim.

Der mittlere Flurabstand schwankt zwischen 1,37 m u. GOK (DP8) und 3,61 m u. GOK (P8). Daraus ergibt sich ein mittlerer Grundwasserflurabstand von ca. 1,9 m u. GOK.

Die mittlere Grundwassermächtigkeit schwankt zwischen 7,10 m (P18) und 8,94 m (P10), wobei hierfür nur vollkommen ausgebaute Messstellen herangezogen wurden.

Wie in Kapitel 2.3.3 erläutert, wurde im Jahr 2019 ein kontinuierlich fallender Wasserspiegel festgestellt. Daraus resultieren zum Jahresende die niedrigsten Grundwasserstände in den letzten fünf Jahren.

Geohydraulische Parameter

Für die Bilanzierung der Schadstoffkonzentrationen und –frachten sind hydraulische Parameter erforderlich, die auf der Grundlage hydraulischer Tests zu ermitteln sind.

Hierzu wurde an der Grundwassermessstelle P7 ein 24-stündiger Pumpversuch durchgeführt.

Im Anhang 4 sind die Absenkungsverläufe und Auswertungsgraphiken der Pumpversuche zusammenfassend dargestellt. Tabelle 5-2 zeigt die Reaktionen während des Pumpversuchs im Förderbrunnen sowie in dem als Beobachtungsmessstelle errichteten temporären Rammpegel.

Tabelle 5-2: Reaktion der einzelnen Messstellen während des Pumpversuchs

Messstelle	P7	Rammpegel
Art	Förderbrunnen	Beobachtungsmessstelle
Entfernung zum Förderbrunnen [m]	-	4
Durchschnittliche Förderrate [l/s]	2,2	-
<u>Wasserspiegel u POK [m] bei</u>		
-> Start PV	3,32	3,18
-> Ende Pumpphase	4,23	3,3
-> Ende Aufzeichnung Wiederanstieg	3,33	3,19
Maximale Absenkung [m]	0,91	0,12
Restabsenkung [m]	0,01	0,01

Im Förderbrunnen **P7** wurde bei einer durchschnittlichen Förderrate von 2,2 l/s eine Absenkung von 0,91 m zum Ende des Pumpversuchs erzielt. Der Wasserspiegel senkte unverzüglich und kontinuierlich ab. Mit Abstellen der Pumpe stieg der Wasserspiegel unverzüglich an. Am Ende der Datenaufzeichnung konnte eine Restabsenkung von 0,01 m festgestellt werden. An dem temporären Beobachtungspegel konnte ebenfalls ein fast unverzüglicher Absenkungsbeginn innerhalb weniger Minuten nach Pumpversuchsstart festgestellt werden. Bis zum Ende des Pumpversuchs sank der Wasserspiegel kontinuierlich um 0,12 m ab und zeigt damit eine eindeutige hydraulische Reaktion. Ebenso nahezu unverzüglich stieg der Wasserspiegel nach dem Abschalten der Pumpe wieder an. Am Ende der Datenaufzeichnung wurde eine Restabsenkung von 0,01 m gemessen.

In Tabelle 5-3 sind die Ergebnisse der hydraulischen Auswertung des Pumpversuchs zusammengestellt. Demnach ergeben sich Transmissivitäten (T) von $6,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mittelwert $1,16 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) und unter Zugrundelegung einer Aquifermächtigkeit von 2,5 m (P7) eine Durchlässigkeit (kf-Wert) von $2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ bis

$6,06 \cdot 10^{-3}$ m/s (Mittelwert $4,70 \cdot 10^{-3}$ m/s). Gemäß DIN 18130-1 kann der Aquifer als „stark durchlässig“ bezeichnet werden.

Der ermittelte Speicherkoeffizient (S) variiert zwischen $1,11 \cdot 10^{-1}$ bis $1,16 \cdot 10^{-1}$ (Mittelwert $1,14 \cdot 10^{-1}$).

Tabelle 5-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Pumpversuchsauswertungen

Pumpversuch P7					
Messstelle	Bezeichnung	Auswertmethode	T [m ² /s]	kf-Wert [m/s]	S
Rammpegel	Theis WA Rammpegel	THEIS Wiederanstieg	1,48E-02	5,97E-03	
Rammpegel	Theis Rammpegel	THEIS mit Jacob-Korrektur	1,11E-02	4,49E-03	1,11E-01
Rammpegel	CJ Rammpegel	COOPER & JACOB III	1,11E-02	4,48E-03	1,16E-01
P7	Theis WA P7	THEIS Wiederanstieg	1,50E-02	6,06E-03	
P7	CJ P7	COOPER & JACOB I	6,16E-03	2,48E-03	
		Minimum	6,16E-03	2,48E-03	1,11E-01
		Maximum	1,50E-02	6,06E-03	1,16E-01
		Mittelwert	1,16E-02	4,70E-03	1,14E-01

Mit Hilfe der diagnostischen Auswertung des Pumpversuchs konnten Skineffekte im Förderbrunnen erkannt werden, was ein Indiz für die Brunnenalterung der Messstelle ist. Dieser Effekt zeigt sich auch anhand der unterschiedlichen Transmissivitäten bei der Auswertung der Pumpphase und des Wiederanstiegs im P7. Der ermittelte Speicherkoeffizient von 0,12 bestätigt das freie Regime des Porenaquifers. Bei freien Grundwasserverhältnissen entspricht der Speicherkoeffizient dem nutzbaren Porenvolumen. Die Kenntnis des Parameters nutzbares Porenvolumen ist erforderlich für die Bestimmung der Grundwasser-Abstandsgeschwindigkeit sowie der Abschätzung von hydraulischen Reichweiten und Isochronen.

Der im Jahr 1995 durchgeführte Pumpversuch am „NATO-Brunnen“ lieferte mit einer Transmissivität (T [m²/s]) von $4,8 \cdot 10^{-2}$ m²/s bzw. einer Durchlässigkeit (kf-Wert [m/s]) von $5,6 \cdot 10^{-3}$ m/s vergleichbare hydraulische Parameter [7]. Die ermittelten hydraulischen Parameter sind zunächst repräsentativ für den Nahbereich der Messstellen. Aufgrund der festgestellten Homogenität des Aquifers können diese Werte aber überschlägig auch auf die großräumigen Aquifereigenschaften übertragen werden.

Grundwasserfließrichtung und -abstandsgeschwindigkeiten

Die großräumige Grundwasserfließrichtung im Bereich des NATO-Flugplatzes Neuburg kann auf der Grundlage einer aktuellen (November 2019) Mess- und Auswertungskampagne in Form eines Grundwassergleichenplans detailgetreu bestimmt werden. Neben der Auswertung der Wasserstände in ca. 90 Grundwasseraufschlüssen

auf der Liegenschaft und im weiteren Umfeld wurden die folgenden weiteren hydrologischen Daten mitberücksichtigt:

- Grundwassergleichenplan HK 100 [18]
- Stauziele Oberwasser und Unterwasser der Staustufe Bergheim an der Donau
- Wasserspiegel- und Gewässerhöhen relevanter Fließ- und Standgewässer
- Durchflussdaten von Fließgewässern

Das Ergebnis (vgl. Anlage 1, Plan 6) ist ein hochaufgelöster (0,25 m Isolinien) und detailgetreuer Grundwassergleichenplan, mit dem sowohl die großräumigen Grundwasserfließverhältnisse, als auch lokale Besonderheiten untersucht und bewertet werden können.

Als Weiterentwicklung des Grundwassergleichenplanes in der Untersuchungsphase 2014/2015, der überwiegend mit Grundwasseraufschlüssen innerhalb der Liegenschaft ermittelt wurde, sollte der aktuelle Grundwassergleichenplan auch die regionalen Verhältnisse mitberücksichtigen, da insbesondere die Vorflutfunktion der nördlich gelegenen Donau einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse bis in die Liegenschaft hinein bewirken kann. Mit diesem regionalen Grundwassergleichenplan sollte ein integrales Bild der Grundwasserverhältnisse innerhalb der Liegenschaft und der angrenzenden Gebiete geschaffen werden.

Für die Grundwasserfließverhältnisse im Bereich der Liegenschaft und deren Umgebung spielt v.a. das Vorflutniveau der ca. 4 km entfernt liegenden Donau eine entscheidende Rolle. Mit dem Bau der Staustufe Bergheim im Jahr 1970 wurden diese bestehenden Verhältnisse massiv verändert. Das Stauziel des Oberwassers wurde durch diese Maßnahme auf ca. 377 mNN, das des Unterwassers auf ca. 371 mNN eingestellt. Durch diese Staustufe wird das Oberflächenwasser und damit korrespondierend das angeschlossene Grundwasser westlich der Staustufe aufgestaut. Im Bereich westlich der Staustufe werden somit influente Grundwasserverhältnisse postuliert, d.h. das Oberflächenwasser liegt höher als der Grundwasserbegleitstrom und versickert in das Grundwasser. Das Grundwasser kann hier nicht auf kurzem Weg in den Vorfluter gelangen, sondern strömt als Begleitstrom zur Donau in östlicher Richtung der Staustufe zu. Die große Sprunghöhe im Unterwasser der Staustufe (ca. 6 m) führt zu einem starken Einschwenken der Grundwassergleichen in nördlicher Richtung zum Vorfluter Donau hin. Dieses großräumige Fließsystem paust sich bis auf die Höhe der Liegenschaft als „Einschwenken“ der Grundwasserfließrichtung von östlicher in nordöstlicher Richtung durch.

Das Grundwassergefälle innerhalb der Niederterrasse des Untersuchungsgebietes ist mit ca. 0,001 (8 m auf ca. 8.400 m) sehr gering. Im Bereich der zentralen Liegenschaft ist das Grundwassergefälle mit ca. 0,0006 sogar noch geringer.

Am Westrand des Untersuchungsgebietes nimmt das Grundwassergefälle ab einer Linie ca. Feldkirchen – Hardt deutlich zu auf Werte von ca. 0,005, was mit dem Übergang zur

risszeitlichen Hochterrasse und dem Ausbiss der quartären Schichten weiter im Westen erklärt werden kann. Mit dem Übergang zur Süßwassermolasse im Westen ist die Berandung des quartären Grundwasserleiters erreicht, so dass über diesen Westrand keine größeren unterirdischen Grundwasserzuströme in das Untersuchungsgebiet zu erwarten sind.

Die mittlere Aquifermächtigkeit beträgt ca. 7,6 m, schwankt zwischen ca. 7m und ca. 9 m.

Die rechnerische mittlere Abstandsgeschwindigkeit im Bereich der Niederterrasse beträgt ca. 3,7 m/Tag bzw. ca. 1.350 m/a (angesetzte Porosität 0,11). Im zentralen Bereich der Liegenschaft nimmt die Abstandsgeschwindigkeit auf ca. 2,2 m/Tag bzw. ca. 800 m/a ab (angesetzte Porosität 0,11).

Durch die geringen Grundwasserflurabstände und das flache Gefälle üben auch kleinere Vorfluter und Gräben sowie Baggerseen einen lokalen Effekt auf die Grundwasserströmung aus. In Abhängigkeit vom Zustand (Verkrautung, Biber) und der Wasserführung in den Gräben und kleineren Vorflutern kann sich die lokale Grundwasserfließrichtung periodisch (Jahreszeiten) oder auch episodisch verändern, was zu unscharfen und wechselhaften Fließrichtungen und Verhältnissen im betroffenen Grundwasser führen kann.

Vorflutverhältnisse

Als Hauptvorfluter für das quartäre Grundwassersystem fungiert die Donau, die ca. 4 km nördlich des Untersuchungsgebiets liegt. Durch den Bau der Staustufe Bergheim im Jahr 1970 wurden die hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im weiteren Untersuchungsgebiet massiv verändert (s.o.). In [13] wurden die Auswirkungen des Baus der Staustufe Bergheim auf Gräben, Vorfluter und Grundwasser untersucht und bewertet. Diese Ergebnisse werden bei den folgenden Ausführungen mitberücksichtigt.

Der Lohgraben im Westen des Untersuchungsgebietes hat nach derzeitigem Kenntnisstand keine Vorflutfunktion für das Grundwasser. Eine Wasserführung ist hauptsächlich nach Niederschlagsereignissen zu erwarten. Im Zuge der geplanten Beprobungen konnte jeweils keine Wasserführung im Lohgraben festgestellt werden.

Auch der S-N verlaufende Längenmühlbach, der gemäß [13] auf Höhe der Einmündung in die Donau einen mittleren Durchfluss von ca. 0,8 m³/s aufweist, hat mit dem Graben Bachwieselgraben auf Höhe der Liegenschaft noch keine Vorflutfunktion für das Grundwasser. Die Vorfluteigenschaft des Längenmühlbaches tritt offensichtlich erst mit Annäherung an die Donau ein.

Der Zitzelsheimer Graben zeigt im Jahresverlauf deutlich schwankende Wasserregimes auf. Während bei den geplanten Probenahmen jeweils keine Wasserführung feststellbar war, lag bei den Wasserstandsmessungen ein temporärer Wasserspiegel oberhalb des Grundwassers (influente Verhältnisse) vor. Nach Auskunft eines Anwohners in Rosing wird der Wasserspiegel stark beeinflusst durch z.B. Biberaktivitäten im Zeller Kanal. Ab einer Höhe von ca. 1.500 m vor der Einmündung in den Zeller Kanal scheint der Zitzelsheimer Kanal zumindest temporär einen Vorflutcharakter auf das Grundwasser

auszuüben. Dieses Regime kann aber starken periodischen und episodischen Schwankungen unterliegen. Im Zuge eines Vor-Ort Termins am 20.01.2020 konnte im Zitzelsheimer Graben ein Durchfluss von ca. 20 bis 30 l/s abgeschätzt werden.

In [13] werden zum Zeller Kanal folgende Aussagen getroffen:

„Der Zeller Kanal (ZK) entspringt im Donaumoos. Die Wasserführung (besonders im Südwesten) ist stark von Niederschlägen abhängig und periodisch (teilweise Austrocknung im Sommer). Von West nach Ost nimmt besonders während der Trockenzeit der Fließgewässercharakter immer weiter ab. Für die zur Verfügung stehende Zeitreihe (01.04.2010-13.02.2013) vom Pegel Bruck konnte ein mittlerer Abfluss von 0,3 m³/s errechnet werden. Die gesamte Spannweite reicht von 0,03 m³/s bis zu 1,77 m³/s und zeigt die extrem starke Variabilität der Abflüsse.“

Auf Höhe der Liegenschaft hat der Zeller Kanal eine Vorflutfunktion für das Grundwasser. Im Zuge eines Vor-Ort Termins am 20.01.2020 konnte im Zeller Kanal nach der Einmündung des Zitzelsheimer Grabens ein Durchfluss von ca. 20 bis 30 l/s abgeschätzt werden. Zum Zeitpunkt der Messung stammt also der Großteil des Durchflusses im Zeller Kanal aus dem Zitzelsheimer Graben.

Lage zur Trinkwassernutzung

Im Nahbereich des Flugplatz Neuburg befinden sich keine Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiete. Das nächstgelegene Trinkwasserschutzgebiet mit dem Gebietsnamen „Weichering“ liegt ca. 6 km östlich vom Flugplatz im potenziellen Abstrombereich des Flughafens.

Sonstige Nutzung

Aufgrund der guten Erschließbarkeit des quartären Grundwassers befinden sich in der Gegend zahlreiche private Grundwassernutzungen, die überwiegend zur Bewässerung dienen.

5.1.4 PFC-Belastung Grundwasser

Zur Bewertung der PFC-Belastungen im Grundwasser wurden die in den „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ (Stand April 2017) definierten vorläufigen Schwellenwerte (für Grundwasser) herangezogen.

Die Analysenprotokolle der aktuellen Untersuchungskampagne sind in Anlage 6 dargestellt.

Bei der Bewertung der PFC-Belastung im Grundwasser werden alle Analysen seit Beginn der Untersuchungen im Jahr 2013 berücksichtigt. Insgesamt wurden seither ca. 510 Wasserproben innerhalb und außerhalb der Liegenschaft aus Grundwassermessstellen und Bewässerungsbrunnen entnommen und analysiert.

Abbildung 5-3 zeigt zusammenfassend die PFC-Belastung im Grundwasser (Gesamt, innerhalb und außerhalb der Liegenschaft) der gemäß LfU-Leitlinien untersuchten 13 Einzelparameter.

Die Abbildung macht deutlich, dass innerhalb der Liegenschaft bodenschutzrechtlich relevante Konzentrationen oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte vor allem bei den Einzelparametern PFOS und PFHxS (bei ca. 40% der Wasserproben) auftreten. Bei PFNA wurde die vorläufige Schwellenwerte bei ca. 20% der Wasserproben und bei PFOA und H4PFOS bei <5% der Wasserproben überschritten. Die restlichen Einzelparameter wurden bislang durchgängig in Konzentrationen unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte detektiert.

Außerhalb der Liegenschaft wurden bodenschutzrechtlich relevante Konzentrationen oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte bei den Einzelparametern PFOS, PFHxS und PFNA festgestellt, jedoch in deutlich geringerem Ausmaß (bei < 10% der Wasserproben).

Einzelsubstanz	Gesamt (ca. 510 Analysen)				innerhalb Liegenschaft (ca. 400 Analysen)				außerhalb Liegenschaft (ca. 110 Analysen)			
	Mittelwert [µg/l]	Analysen <NWG	Analysen > NWG <SW	Analysen > SW	Mittelwert [µg/l]	Analysen <NWG	Analysen > NWG <SW	Analysen > SW	Mittelwert [µg/l]	Analysen <NWG	Analysen > NWG <SW	Analysen > SW
PFNA	0,09	223	187	93	0,10	146	159	89	0,04	77	28	4
PFOS	0,52	73	271	166	0,60	32	209	160	0,06	41	62	6
PFOA	0,05	360	139	11	0,05	267	123	11	0,02	93	16	0
PFHxS	0,36	84	271	148	0,41	40	215	139	0,07	44	56	9
PFHxA	0,07	302	201	0	0,08	208	186	0	0,02	94	15	0
PFBS	0,02	434	69	0	0,03	331	63	0	0,02	103	6	0
PFBA	0,03	410	91	0	0,03	303	89	0	0,02	107	2	0
PFDA	0,03	492	11	0	0,03	383	11	0	0,00	109	0	0
H4PFOS	0,06	209	34	2	0,06	103	31	2	0,02	106	3	0
PFOSA	0,01	499	1	0	0,01	390	1	0	0,00	109	0	0
PFHpS	0,05	217	28	0	0,05	109	27	0	0,01	108	1	0
PFHpA	0,03	418	84	1	0,04	310	83	1	0,01	108	1	0
PFPeA	0,07	363	137	1	0,07	259	132	1	0,02	104	5	0
Σ PFC	0,94	41	469		1,11	13	388		0,13	28		

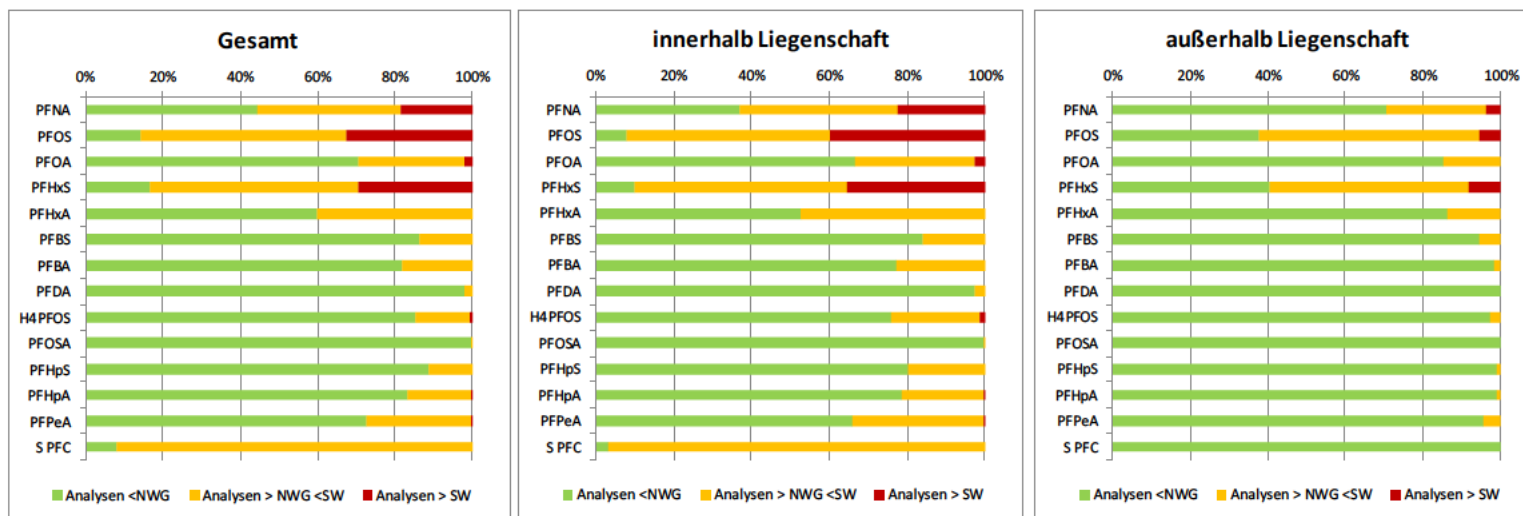


Abbildung 5-3: PFC-Belastung der Grundwasserproben nach Einzelparameter

Im Zuge der ersten Beprobungsrunde konnten in 102 der 112 untersuchten Grundwasseraufschlüsse PFC-Belastungen festgestellt werden (siehe Tabelle 5-4). Dabei wurden die vorläufigen Schwellenwerte in 36 Grundwassermessstellen überschritten. Im Zuge der zweiten Beprobungsrunde, bei der mit Ausnahme der einmalig durchgeführten Direct-Push-Grundwassersondierungen fast das identische Untersuchungsprogramm ausgeführt wurde, wurden positive PFC-Befunde an 58 und Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte an 16 Grundwasseraufschlüssen ermittelt.

Tabelle 5-4: Übersicht PFC-Untersuchungen Grundwasser

Aufschlussart	1. PN-Runde				2. PN-Runde			
	Anzahl	Aufschlüsse			Anzahl	Aufschlüsse		
	Aufschlüsse	< NWG	> NWG	> SW	Aufschlüsse	< NWG	> NWG	> SW
CMT-Messstellen	16		9	7	16		9	7
Direct-Push Grundwassersondierungen	47	5	22	20				
Grundwassermessstellen	23		17	6	24	1	16	7
Grundwasseraufschlüsse außerhalb	26	5	18	3	25	6	17	2
Gesamtergebnis	112	10	66	36	65	7	42	16

Tabelle 5-5 zeigt die Analysenergebnisse der PFC-Untersuchungen im Grundwasser anhand der Hauptparameter PFOS und PFHxS im zeitlichen Verlauf sowie mit einer Trendangabe in tabellarischer Form. Die Tabelle verdeutlicht an den meisten Grundwasseraufschlüssen einen relativ konstanten Konzentrationsverlauf. Des Weiteren sind in Tabelle 5-6 die Analysenergebnisse (anhand PFOS/PFHxS) der Direct-Push-Grundwasseruntersuchungen und in Tabelle 5-7 die kompletten Untersuchungsergebnisse der CMT-Messstellen inkl. aller Beprobungstiefen dargestellt.

Die räumliche Verteilung der PFC-Belastung (anhand der Hauptparameter PFOS und PFHxS) ist in Anlage 1 für beide Beprobungsrunden (Pläne 4/5) dargestellt. Den Plänen können weiterhin potenzielle PFC-Eintragsherde (Kontaminationsverdächtige Flächen) entnommen werden.

Messpunkt	Tiefe	PFOS [µg/l]											PFHxS [µg/l]										
		Sep 2013	März 2014	Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	März 2019	Mai 2019	Jul/Aug 2019	Okt 2019	Trend	Sep 2013	März 2014	Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	März 2019	Mai 2019	Jul/Aug 2019	Okt 2019	Trend
CMT																							
DP1	5m			0,01	0,03	0,02	0,01			0,02	0,02	→			0,042	0,041	0,1	0,06			0,02	0,02	→
DP2	5m			0,18	0,16	0,21	0,18			0,3	0,2	→			0,14	0,13	0,15	0,09			0,2	0,1	→
DP3	5m			0,3	0,3	0,22	0,26			0,3	0,3	→			0,32	0,34	0,28	0,31			0,3	0,2	→
DP4	5m			0,06	0,07	0,07	0,04			0,1	0,09	→			0,028	0,036	0,05	0,03			0,07	0,06	→
DP5	5m			0,2	0,11	<0,25	0,25			0,1	0,1	→			0,22	0,088	<0,25	0,27			0,1	0,07	→
DP6	5m			0,04	0,04	0,04	0,05			0,04	0,04	→			0,074	0,042	0,04	0,05			0,06	0,06	→
DP7	5m			0,44	0,4	0,28	0,39			0,4	0,4	→			0,45	0,33	0,27	0,41			0,4	0,3	→
DP8	5m			0,07	0,05	0,06	0,06			0,08	0,07	→			0,11	0,069	0,06	0,07			0,06	0,05	→
DP9	5m			0,14	0,09	0,12	0,09			0,2	0,2	→			0,36	0,16	0,18	0,14			0,2	0,1	→
DP10	5m			0,02	0,01	0,01	0,01			0,02	0,01	→			0,01	<0,01	<0,01	<0,01			0,01	0,01	→
DP11	5m			0,15	0,11	0,16	0,23			0,1	0,07	→			0,19	0,1	0,08	0,17			0,09	0,07	→
DP12	5m			0,62	0,97	0,18	0,17			0,2	0,2	↓			0,37	0,52	0,16	0,11			0,1	0,09	↓
DP13	5m			<0,05	0,02	0,02	0,02			0,02	0,02	→			<0,05	0,013	0,01	<0,01			<0,01	0,01	→
DP14	5m			0,3	0,14	0,15	0,32			0,4	0,4	→			0,79	0,33	0,68	1			0,4	0,2	↑↓
DP15	5m			0,02	0,05	0,02	0,04			0,04	0,04	→			0,066	0,07	0,02	0,03			0,03	0,02	→
DP16	5m			7,2	7,6	4,5	6,5			5,8	4	→			0,92	0,69	0,83	1,5			1,4	1,4	↑
GWM																							
P0		<0,05	0,009	0,03	0,05	0,02	0,02			0,05	0,06	→	<0,05		0,059	0,085	0,03	0,03			0,07	0,08	→
P1			0,012	0,02	0,02	0,02	0,04			0,01	0,02	→			0,014	0,015	0,02	0,02			<0,01	<0,01	→
P2			0,064	0,08	0,12	0,09	0,07			0,08	0,07	→			0,059	0,074	0,05	0,04			0,05	0,05	→
P3		0,14		0,14	0,16	0,08	0,08			0,2	0,2	→	0,08		0,078	0,069	0,03	0,04			0,1	0,09	→
P4				0,05	0,08	0,04	0,04			0,04	0,03	→			0,046	0,045	0,03	0,03			0,03	0,02	→

Tabelle 5-6: Konzentrationsentwicklung PFOS/PFHxS Direct-Push-Grundwassersondierungen

Messpunkt	PFOS [µg/l]	PFHxS [µg/l]
GWS-1	3,2	0,6
GWS-2	0,2	0,1
GWS-3	0,02	0,08
GWS-4	<0,01	<0,01
GWS-5	0,01	0,2
GWS-6	0,03	0,02
GWS-7	0,06	0,02
GWS-8	0,03	0,01
GWS-9	<0,01	<0,01
GWS-10	0,02	0,06
GWS-11	0,6	1,5
GWS-12	<0,01	<0,01
GWS-13	0,07	0,08
GWS-14	2,3	2,1
GWS-15	0,3	22
GWS-16	<0,01	<0,01
GWS-17	0,06	0,03
GWS-18	0,05	0,07
GWS-19	0,02	<0,01
GWS-20	0,4	0,1
GWS-21	<0,01	<0,01
GWS-22	0,2	0,1
GWS-23	0,1	0,02
GWS-24	0,2	0,05
GWS-25	0,04	0,02
GWS-26	0,08	0,03
GWS-27	0,05	0,03
GWS-28	0,04	0,04
GWS-29	0,1	0,1
GWS-30	1,8	3,2
GWS-31	0,8	0,6
GWS-32	0,5	0,4
GWS-33	0,2	0,2
GWS-34	0,1	0,1
GWS-35	0,2	0,2
GWS-36	0,08	0,09
GWS-37	0,2	0,2
GWS-38	0,04	0,04
GWS-39	0,1	0,1
GWS-40	0,05	0,02
GWS-41	0,4	0,2
GWS-42	<0,01	<0,01
GWS-43	0,05	0,08
GWS-44	0,4	0,3
GWS-45	0,08	0,1
GWS-46	0,3	0,2
GWS-47	0,8	1

Tabelle 5-7: Tiefenabhängige Konzentrationsverteilung CMT-Messstellen

Messpunkt	Tiefe	PFOS [µg/l]						PFHxS [µg/l]					
		Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019	Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019
DP1	3m	<0,01	<0,01	0,03	0,01			0,23	0,45	0,06	0,13		
	5m	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,042	0,041	0,1	0,06	0,02	0,02
	7m	0,02	0,03	0,03	0,02			0,011	0,019	0,01	0,01		
DP2	3m	0,07	0,03	0,02	0,05			0,064	0,012	0,01	0,03		
	5m	0,18	0,16	0,21	0,18	0,3	0,2	0,14	0,13	0,15	0,09	0,2	0,1
	7m	0,18	0,19	0,17	0,2			0,13	0,11	0,12	0,07		
DP3	3m	0,2	0,19	0,15	0,19			0,23	0,19	0,21	0,19		
	5m	0,3	0,3	0,22	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,28	0,31	0,3	0,2
	7m	0,27	0,49	0,21	0,29			0,38	0,4	0,27	0,34		
DP4	3m	0,02	0,05	0,02	0,01			<0,01	<0,01	0,01	<0,01		
	5m	0,06	0,07	0,07	0,04	0,1	0,09	0,028	0,036	0,05	0,03	0,07	0,06
	7m	0,04	0,07	0,08	0,06			0,026	0,042	0,06	0,04		
DP5	3m	0,1	0,08	0,04	0,04			0,08	0,031	0,02	0,01		
	5m	0,2	0,11	<0,25	0,25	0,1	0,1	0,22	0,088	<0,25	0,27	0,1	0,07
	7m	0,6	0,44	0,42	0,38			0,7	0,58	0,35	0,52		
DP6	3m	0,06	0,05	0,06	0,04			0,057	0,049	0,07	0,06		
	5m	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,074	0,042	0,04	0,05	0,06	0,06
	7m	0,04	0,04	0,03	0,04			0,055	0,058	0,04	0,05		
DP7	3m	0,08	0,07	0,01	0,04			0,04	0,026	<0,01	0,01		
	5m	0,44	0,4	0,28	0,39	0,4	0,4	0,45	0,33	0,27	0,41	0,4	0,3
	7m	0,36	0,44	0,61	0,54			0,49	0,56	0,35	0,55		
DP8	3m	0,05	0,04	0,06	0,05			0,075	0,058	0,06	0,08		
	5m	0,07	0,05	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,069	0,06	0,07	0,06	0,05
	7m	0,13	0,16	<0,25	0,21			0,34	0,21	0,29	0,32		
DP9	3m	0,13	0,05	0,03	0,02			0,1	0,049	0,02	0,02		
	5m	0,14	0,09	0,12	0,09	0,2	0,2	0,36	0,16	0,18	0,14	0,2	0,1
	7m	0,22	0,31	<0,25	0,29			0,32	0,39	<0,25	0,36		
DP10	3m	0,01	0,02	0,01	0,01			<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		
	5m	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01
	7m	0,02	0,02	0,02	<0,01			<0,01	0,011	0,01	<0,01		
DP11	3m	0,35	0,19	0,79	0,75			1,7	0,87	4,6	1,8		
	5m	0,15	0,11	0,16	0,23	0,1	0,07	0,19	0,1	0,08	0,17	0,09	0,07
	7m	0,13	0,1	0,46	0,32			0,1	0,073	0,11	0,1		
DP12	3m	0,14	0,54	0,16	0,26			0,19	0,34	0,16	0,21		
	5m	0,62	0,97	0,18	0,17	0,2	0,2	0,37	0,52	0,16	0,11	0,1	0,09
	7m	0,48	0,68	0,15	0,15			0,19	0,27	0,16	0,08		
DP13	3m	<0,05	0,01	0,02	0,01			<0,05	<0,01	<0,01	<0,01		
	5m	<0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,05	0,013	0,01	<0,01	<0,01	0,01
	7m	0,02	0,03	0,02	0,01			0,014	0,018	0,01	0,01		
DP14	3m	0,4	0,05	0,06	0,04			0,5	0,28	1,3	0,26		
	5m	0,3	0,14	0,15	0,32	0,4	0,4	0,79	0,33	0,68	1	0,4	0,2
	7m	0,33	0,53	<0,25	0,32			0,77	0,97	0,51	1		
DP15	3m	0,01	0,02	<0,01	<0,01			0,035	0,033	0,02	0,03		
	5m	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,066	0,07	0,02	0,03	0,03	0,02
	7m	<0,01	0,03	<0,01	<0,01			<0,01	0,01	<0,01	<0,01		
DP16	3m	24	41	3,7	22			12	11	0,7	7,7		
	5m	7,2	7,6	4,5	6,5	5,8	4	0,92	0,69	0,83	1,5	1,4	1,4
	7m	2	1,6	0,77	0,59			<0,25	0,12	0,22	0,07		

	nicht nachweisbar (n.n.)		0,01 - 0,10		0,11 - 0,40 (> Schwellenwert)
	0,41 - 1,00		1,01 - 1,50		1,51 - 4,00
					4,01 - 45,00

Die höchsten PFC-Konzentrationen im quartären **Grundwasser** mit Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden im Bereich der KF 500 „Alte Feuerwache“ und im Bereich der KF 029 „Feuerlöschübungsbecken“ ermittelt. Weitere PFC-Kontaminationsschwerpunkte mit Schwellenwertüberschreitungen wurden in folgenden Bereichen festgestellt:

- im Abstrom der KVF 448 „Baggerbrand“ (GWS-14, GWS-15, DP-14, GWS-20),
- im Bereich der KVF 501 „Neue Feuerwache“ (DP-9, GWS-30, GWS-31, GWS-35),
- im Abstrom der KVF 037 „Lagerraum für Löschmittel“ (GWS-11),
- im Ab- bzw. Seitstrom der KVF 438 „ehemaliger Feuerwehrstellplatz West“ (DP12, GWS-22, GWS24),
- im weiteren Abstrombereich der KVF 500 „Alte Feuerwache“/KVF 264 „Ehemalige Lagerhalle Feuerwehr“ (GWS-47, GWS-32, GWS-33, GWS-37, DP7)
- im südöstlichen Liegenschaftsbereich (GWS-41, GWS-44, GWS-46, DP2, DP3, P3, P10) und süd- bzw. südöstlichen Abstrombereich der Liegenschaft (BWB15, BWB2, HB30)

Detaillierte Betrachtungen der Grundwassersituation der aufgeführten KF/KVF erfolgen in den folgenden Kapiteln (für die KF in Phase IIb) bzw. in dem separaten Endbericht zur der Phase IIa-Untersuchungen.

Zusammenfassend zeigen die Grundwasseruntersuchungen eine heterogene Schadstoffverteilung, die auf diffuse PFC-Einträge zurückzuführen ist. Vor allem südlich der Start-/Landebahn befinden sich über die gesamte Bahnlänge verteilt nachweislich mehrere Eintragsquellen, die dieses komplexe Verteilungsmuster bedingen und bei denen es aufgrund der östlichen Grundwasserfließrichtung zu Überlagerungseffekten kommt.

Auf derzeitiger Datengrundlage lassen sich auf der gesamten Liegenschaft mehrere separate PFC-Fahnen abgrenzen. Die Kontaminationsbereiche sind beizeitigem Kenntnisstand weitgehend auf die Liegenschaft beschränkt. Lediglich am Süd- bzw. Südostrand sowie im Nordwesten der Liegenschaft kam es außerhalb der Liegenschaft zu Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte.

Aufgrund der heterogenen und weiträumigen Verteilung der PFC-Einträge kann im zeitlichen Verlauf keine generelle Trendentwicklung abgeleitet werden.

Zusammenfassend erbrachten die Untersuchungen eine großflächige PFC-Kontamination im Grundwasser, die an einer Vielzahl von Grundwasseraufschlüssen zu Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte führte. Laut den Leitlinien des LfU liegt bei Überschreitung dieser Werte im Grundwasser in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des WHG vor.

Zur Abschätzung der gesamten Schadstoffmenge im Grundwasser (nach der LAWA/LABO Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“) wurden die Kontaminationsbereiche abgegrenzt, für welche der vorläufige Schwellenwert für PFOS überschritten wird.

Diese Kontaminationsbereiche umfassen insgesamt eine Fläche von ca. 1,4 km² und sind im Mittel mit 0,2 µg/l PFOS belastet. Für diese Schadstofffahnen ergibt sich insgesamt eine Schadstoffmenge von **ca. 2 kg** an PFOS, die sich im Grundwasser befindet. Nach der Arbeitshilfe der LAWA/LABO kann bei einer Schadstoffmenge von 100 g für PFOS nicht mehr von einer punktuellen Schadstoffquelle gesprochen werden. Dieser Betrag wurde ebenfalls deutlich überschritten.

Im Bereich der nordwestlichen Liegenschaftsgrenze verlässt die PFOS-Fahne wahrscheinlich überwiegend über den Grundwasserpfad die Liegenschaft in nordöstlicher Richtung. Nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch der Längenmühlbach zumindest temporär oder periodisch als Vorflut das Grundwasser abführt und somit auch eine Verfrachtung über den Fließgewässerpfad auf derzeitigem Sachstand nicht ausgeschlossen werden kann.

Die nach Süden bzw. Südosten abströmende PFC-Fahne gelangt letztlich zumindest anteilig in die Vorflut (Zitzelsheimer Graben, Zeller Kanal) und wird mit dem Fließgewässer weiter in Richtung Donau verfrachtet (siehe folgendes Kapitel). Je nach Grundwasserstand können die süd- bzw. südwestlich der Liegenschaft verlaufenden Vorfluter jedoch auch unterströmt werden, wodurch die PFC-Gehalte östlich des Zeller Kanals erklärt werden können.

Eine direkte Verfrachtung in Richtung des Trinkwasserschutzgebietes „Weichering“ über den Grundwasserpfad ist aber bei derzeitigem Kenntnisstand nicht zu besorgen. Jedoch sollte berücksichtigt werden, dass der Zeller Kanal auf seinem Weg zur Donau das Trinkwasserschutzgebiet Weichering passiert.

Des Weiteren wird im Umgriff der Liegenschaft das Grundwasser durch private Brauchwasserbrunnen und landwirtschaftliche Bewässerungsbrunnen genutzt.

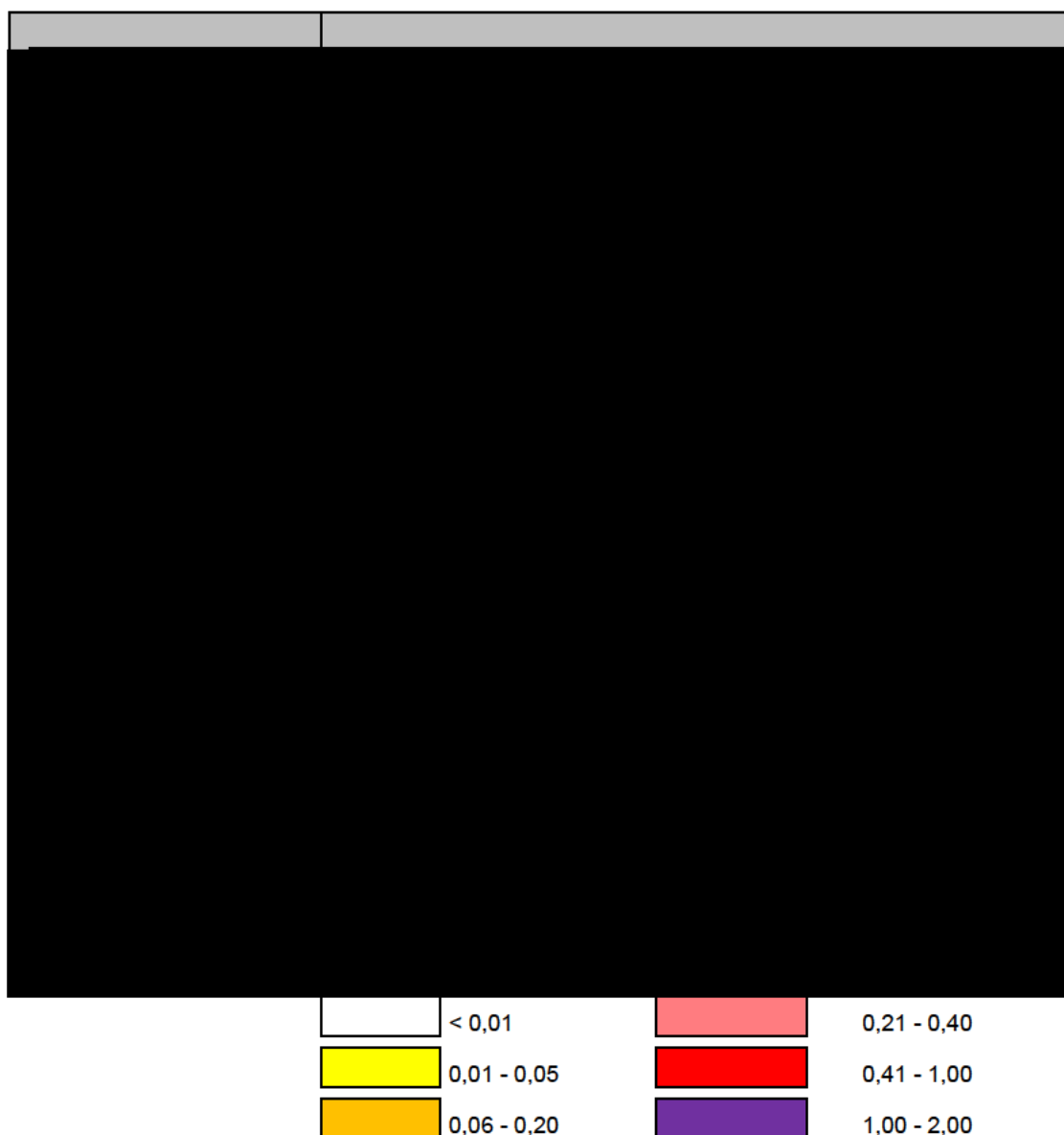
5.1.5 PFC-Belastung Oberflächengewässer

Zur Bewertung wurden die Leitwerte für Oberflächenwasser (PNEC_{aquatisch}) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) herangezogen. Mit Einführung der neuen Leitlinien existieren diese für H4PFOS, PFHxS, PFHxA, PFPeA, PFBS und PFBA. Für PFOS existiert aufgrund der Einstufung als SVHC-Stoff („Substance of very high concern“) kein PNEC_{aquatisch}. Für PFOS wurde eine Umweltqualitätsnorm (UQN) von **0,65 ng/l** als Jahresdurchschnittswert bzw. **36 µg/l** als zulässige Höchstkonzentration (ZHK-UQN) für Oberflächengewässer festgelegt. Diese Werte wurden mit der Oberflächenwasserverordnung vom 20. Juni 2016 in nationales Recht überführt, ihre Einhaltung ist allerdings erst ab 2027 erforderlich.

Im Oberflächenwasser wurden in 12 der 18 untersuchten Probenahmestellen PFC nachgewiesen. Dabei zeigt sich, ähnlich wie im Grundwasser, eine deutliche Dominanz der Einzelsubstanzen PFOS, PFHxS und PFNA. Die $PNEC_{aquatisch}$ -Werte wurden für keine der sechs PFC-Einzelparameter überschritten. Die für PFOS festgelegte UQN von $0,00065 \mu\text{g/l}$ wird dagegen in allen positiven Proben überschritten. Positive Befunde wurden in 11 der 18 untersuchten Oberflächengewässer festgestellt. Lediglich im Bereich des Längenmühlbachs (Zulauf, Ablauf1, Ablauf2), des Lohgrabens (Zulauf/Ablauf) und am südlichsten Messpunkt des Zeller Kanals (Zeller Kanal 0) konnten keine PFC nachgewiesen werden. Dennoch kann auch für diese Untersuchungsstellen nicht ausgeschlossen werden, dass die UQN nicht eingehalten wird, da die Nachweisgrenze von $0,01 \mu\text{g/l}$ um das ca. 15-fache oberhalb des UQN von $0,00065 \mu\text{g/l}$ liegt. Zusätzlich muss auch berücksichtigt werden, dass sich die hydrologischen Verhältnisse (Vorflut) in Abhängigkeit von den hydrologisch-klimatischen Verhältnissen insbesondere bei den Gewässern Längenmühlbach, Lohgraben und Zitzelsheimer Graben verändern können, so dass auch über diese Gewässer zumindest temporär PFC-Beaufschlagungen auftreten können.

Die räumliche Verteilung der aktuellen PFOS-Konzentrationen ist in Anlage 1 (Plan 4/5) dargestellt. Tabelle 5-8 gibt einen Überblick über die bislang ermittelten Analysenwerte der Oberflächengewässer, dargestellt durch den Hauptparameter PFOS.

Tabelle 5-8: Konzentrationsentwicklung der Oberflächengewässer für PFOS



Die im westlichen Teil der Liegenschaft verlaufenden Fließgewässer Längenmühlbach und Lohgraben sind, mit Ausnahme einzelner Ausreiser, auf der Grundlage der vorliegenden Messreihe unbelastet. Dagegen konnten in den meisten im südöstlichen Abstrom der Liegenschaft befindlichen Oberflächengewässern PFC nachgewiesen werden. Entlang des Zeller Kanals wurden mit Ausnahme des südlichsten Messpunktes durchgängig deutliche PFC-Befunde festgestellt, die bis nach dem Zulauf aus der Liegenschaft (Messpunkte Zeller Kanal 4; Zeller Kanal Ablauf) relativ konstant waren und erst danach (Zeller Kanal 5) messbar abnahmen. Der Ablauf aus der Liegenschaft (Zeller Kanal Ablauf) war im Vergleich zur Erstbeprobung aus dem Jahr 2015 deutlich weniger belastet. Der Zitzelsheimer Graben, der nur temporär wasserführend ist (Wasserführung im Untersuchungszeitraum seit Ende November 2019), konnte erst im

Januar beprobt werden. Dabei konnten keine PFC nachgewiesen werden. Die am gleichen Tag entnommene Probe bei Zeller Kanal 4 wies erstmals im Untersuchungszeitraum keine PFC-Befunde auf. Dies unterstreicht die komplexen und temporär stark variierenden hydrologischen Bedingungen südöstlich der Liegenschaft.

Die untersuchten Stillgewässer weisen zum Teil deutliche PFC-Belastungen auf, am höchsten waren die Konzentrationen im Zeller See und im Baggersee 1.

Im zeitlichen Verlauf kann weiterhin kein eindeutiger Trend erkannt werden. Aktuell sind sowohl steigende, gleichbleibende und fallende PFOS-Konzentrationen gemessen worden. Die Konzentrationsschwankungen sind vermutlich auf jahreszeitlich bedingte Änderungen des Abflussregimes zurückzuführen.

Insgesamt zeigen die Befunde in den südöstlich der Liegenschaft verlaufenden Oberflächengewässern eine weiträumige Verfrachtung der PFC-Verunreinigungen über den Oberflächenwasserpfad auf.

Auf Höhe der Ortschaft Bruck beträgt gemäß [13] der mittlere Durchfluss des Zeller Kanals ca. 0,3 m³/s und der minimale Durchfluss ca. 0,03 m³/s. Das oberirdische Einzugsgebiet des Zeller Kanals inkl. Zitzelsheimer Graben beträgt gemäß Umweltatlas Bayern auf Höhe Bruck ca. 30 km². Bei einem Ortstermin am 20.01.2020 wurde für den Zeller Kanal auf Höhe des Messpunktes Zeller Kanal 4 ein Durchfluss in der Größenordnung von ca. 0,02 – 0,03 m³/s abgeschätzt.

Der Pegel Bruck [13] entspricht dem Probenahmepunkt Zeller Kanal 5, der über die Messreihe eine mittlere PFOS-Konzentration von ca. 0,05 µg/l aufweist (August 2019: 0,04 µg/l; Oktober 2019: 0,06 µg/l). Unter der Annahme, dass dieses Konzentrationsniveau repräsentativ für Trockenwetterverhältnisse (Grundwasserabfluss) ist, errechnet sich mit einem angenommenen Durchfluss von 0,03 m³/s eine PFOS-Jahresfracht von ca. 50 g/a, die über den Zeller Kanal verfrachtet wird.

5.1.6 PFC-Belastung Entwässerungssystem

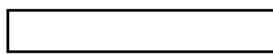
Zur Bewertung wurden, analog zu Kapitel 5.3, die Leitwerte für Oberflächenwasser (PNEC_{aquatisch}) des LfU bzw. für PFOS die UQN herangezogen.

Im Entwässerungssystem wurden in fünf der elf untersuchten Probenahmestellen PFC nachgewiesen. Dabei zeigt sich, ähnlich wie im Grundwasser, eine deutliche Dominanz der Einzelsubstanzen PFOS, PFHxS und PFNA. Die PNEC_{aquatisch}-Werte wurden für keine der sechs PFC-Einzelparameter überschritten. Die für PFOS festgelegte UQN von 0,00065 µg/l wird dagegen in allen fünf positiven Proben überschritten.

Die räumliche Verteilung der aktuellen PFOS-Konzentrationen ist in Anlage 1 (Plan 2) dargestellt. Tabelle 5-9 gibt einen Überblick über die ermittelten Analysenwerte bei der Untersuchung des Entwässerungssystems, dargestellt durch den Hauptparameter PFOS.

Tabelle 5-9: PFOS-Konzentration Entwässerungssystem

Messpunkt	Lage	PFOS [$\mu\text{g/l}$] (Umweltqualitätsnorm (UQN) 0,00065 $\mu\text{g/l}$)
102RRB02	Entwässerung AFW Vorfeld	0,08
101196	Landebahn Südstrang	0,03
101148	Landebahn Nordstrang	0,1
101278	Landebahn Südstrang	0,06
101024	Nordwestecke	<0,01
Zellerkanal Ablauf	Entwässerung Liegenschaft Zeller Kanal	0,09
101322	Entwässerung Südostteil 1	<0,01
102B02	Entwässerung Südostteil 2	<0,01
101249a	Entwässerung Mittelteil	<0,01
107RRB01	Nordwestecke	<0,01
106060A	Nordwestecke	<0,01

	< 0,01		0,21 - 0,40
	0,01 - 0,05		0,41 - 1,00
	0,06 - 0,20		1,00 - 2,00

PFC-Einträge wurden bei der Entwässerung der Vorfeldfläche der KVF 500 „Alte Feuerwache“, an beiden Entwässerungssträngen (Süd/Nord) der Start-/Landebahn sowie am Ablauf in den Zeller Kanal festgestellt. Die restlichen Bereich waren unauffällig. Dennoch kann auch für diese Untersuchungsstellen nicht ausgeschlossen werden, dass die UQN nicht eingehalten wird, da die Nachweisgrenze von 0,01 $\mu\text{g/l}$ um das ca. 15-fache oberhalb des UQN von 0,00065 $\mu\text{g/l}$ liegt.

5.2 Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KVF/KF

Die Bewertung der Gefährdung des Grundwassers für die einzelnen Teilflächen wird aus der Summe der Ergebnisse der Phase I-, Phase-IIa-1-Untersuchungen und sonstiger Voruntersuchungen abgeleitet. Dazu wurden eine repräsentative Anzahl von Untersuchungspunkten und ein durch BBodSchV und LfW Merkblatt 3.8/1 vorgegebener Parameterumfang nach Stand des bodenschutzrechtlichen Vorgehensweise untersucht. Räumliche Restrisiken (punktuelle Belastungen zwischen den Untersuchungspunkten) sind nicht zu vermeiden. Eine abfallrechtliche Beurteilung war nicht Teil des Auftrages.

Die durchgeführten Phase IIb-1 Untersuchungen beschränken sich rein auf die Klärung PFC-bedingter Kontaminationen.

Zur Bewertung der PFC-Verunreinigung im Boden/Grundwasser wird in Abstimmung mit dem BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6 der Einzelparameter PFOS als Leitparameter definiert, da die PFC-Belastung hauptsächlich auf PFOS zurückzuführen ist und PFOS für einen Großteil der Überschreitungen der vorläufigen Stufen- bzw. Schwellenwerte verantwortlich ist.

Die Dominanz der Einzelsubstanz PFOS wird vor allem bei den Bodenuntersuchungen (S4-Eluat, Phase IIb Untersuchungen) deutlich (siehe Abbildung 5-4). Im Grund- und Oberflächenwasser ist die Dominanz von PFOS zwar weniger deutlich ausgeprägt, dennoch ist auch hier PFOS der Hauptparameter. Daneben wurden auch für PFHxS, PFNA und PFHxA noch nennenswerte Belastungen gemessen.

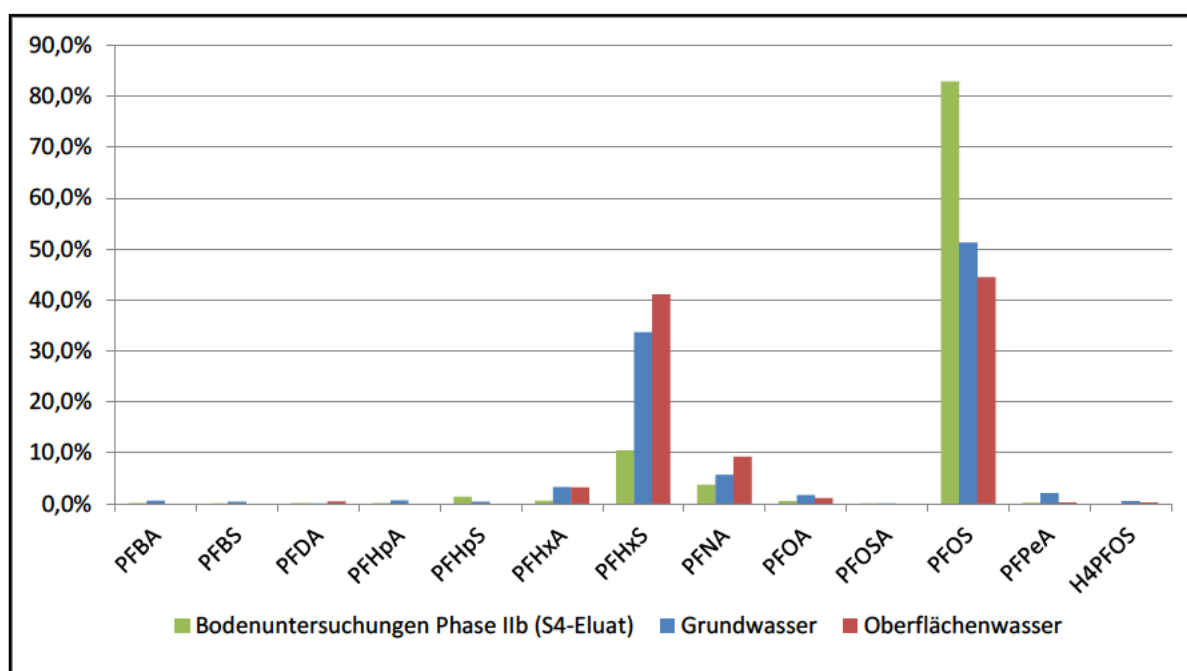


Abbildung 5-4: Prozentuale Verteilung Einzelparameter nach Medium

Bei den Bodenuntersuchungen (S4-Eluat) wurden die vorläufigen Stufenwerte des LfU hauptsächlich für PFOS, PFHxS und PFNA überschritten (siehe Tabelle 5-10). Für die restlichen Einzelparameter wurden vereinzelt bzw. keine Stufenwertüberschreitungen festgestellt.

In 78 von 89 Proben wurden PFC nachgewiesen. Dabei kam es zur Überschreitung der (vorläufigen) Stufe-2-Werte bei 20 Proben und zur Überschreitung der (vorläufigen) Stufe-1-Werte bei 21 Proben.

Tabelle 5-10: PFC-Belastung der Bodenproben (S4-Eluat) nach Einzelparameter

Einzelsubstanz	Mittelwert [µg/l]	Anzahl Analysen (89 Stück)				prozentuale Verteilung
		<NWG	>NWG	>S1	>S2	
PFBA	0,02	83	6	0	0	0,1%
PFBS	0,02	87	2	0	0	0,0%
PFDA	0,02	83	6	0	0	0,1%
PFHpA	0,02	84	5	0	0	0,1%
PFHpS	0,10	74	14	1	0	1,4%
PFHxA	0,05	76	13	0	0	0,6%
PFHxS	0,17	25	42	15	7	10,4%
PFNA	0,13	59	19	7	4	3,7%
PFOA	0,05	79	9	1	0	0,5%
PFOSA	0,01	88	1	0	0	0,0%
PFOS	1,15	14	37	19	19	82,9%
PFPeA	0,03	83	6	0	0	0,2%
H4PFOS	0,00	89	0	0	0	0,0%
PFC	1,33	11	78			

5.2.1 KF 029 „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“

Abbildung 5-5 zeigt einen Übersichtsplan der KVF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“.

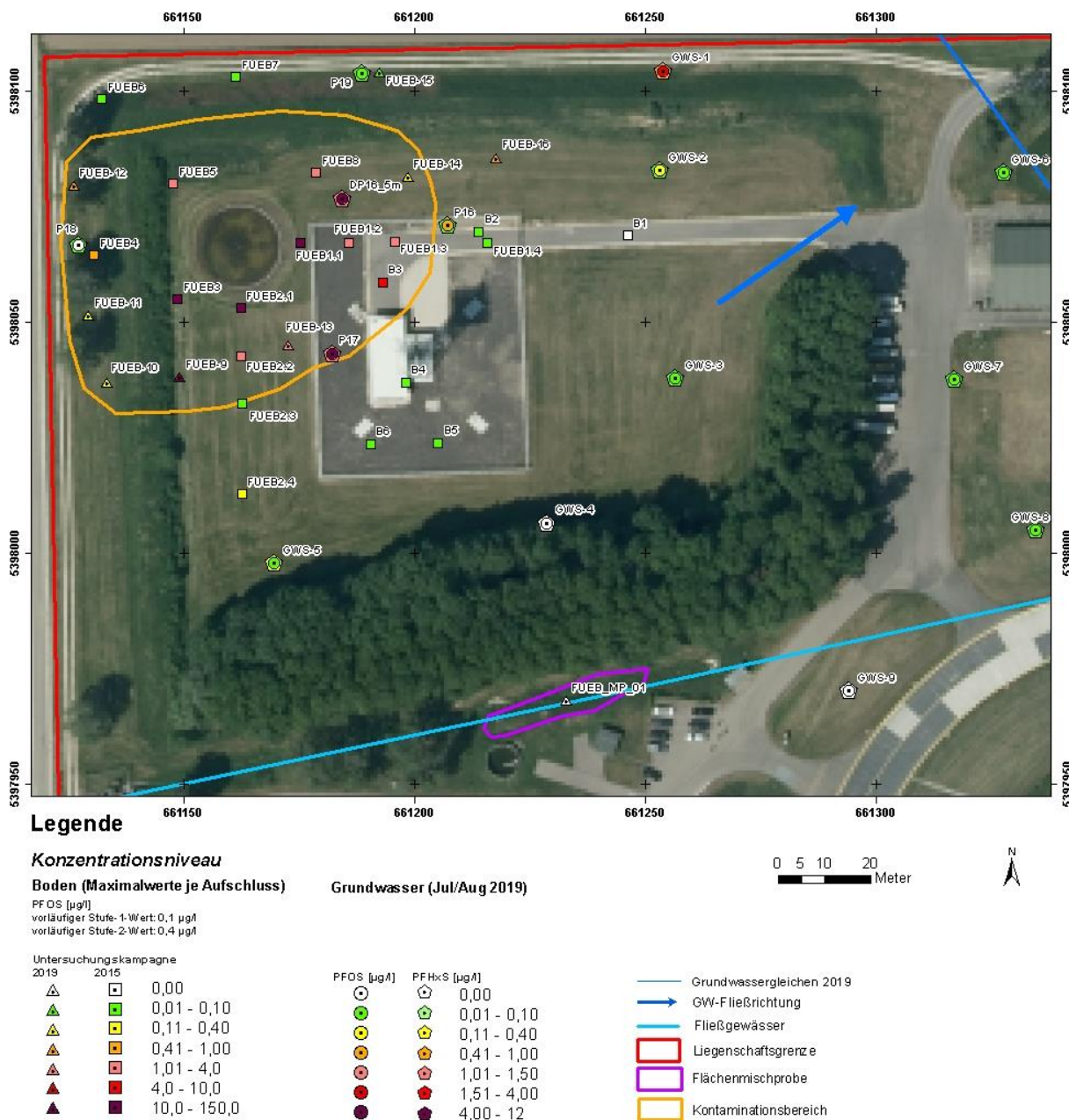


Abbildung 5-5: Lageplan KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“

5.2.1.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln im Zuge von regelmäßigen Übungen der Standortfeuerwehr wurden Bodenbelastungen in der ungesättigten Bodenzone hervorgerufen, die erhöhte PFC-Gehalte im Grundwasser im Abstrombereich der KF 029 nach sich ziehen.

Dieser Sachverhalt wurde im Zuge der Phase IIa-1 Untersuchungen im Jahr 2015 festgestellt. Die Untersuchungen erbrachten damals am Ort der Probenahme an neun der 14 Aufschlüsse Überschreitungen der vorläufigen Stufe-2-Werte und an einem Aufschluss eine Überschreitung der vorläufigen Stufe-1-Werte. Stufenwert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden konnte. Dies wurde auch durch Grundwasserbelastungen in den abstromig gelegenen Grundwassermessstellen über den vorläufigen Schwellenwerten belegt.

Damit hatte sich der Gefahrenverdacht für die KF 029 hinreichend erhärtet und eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt, wodurch weitere Erkundungsmaßnahmen im Sinne einer Detailuntersuchung zur weiteren Abgrenzung des Kontaminationsbereichs in der ungesättigten sowie in der gesättigten Bodenzone notwendig wurden.

Im Untersuchungskonzept vom 08. November 2018 wurde folgende Untersuchungsstrategie festgelegt:

- Detaillierte Erfassung möglicher PFC-Austräge aufgrund des Entwässerungssystems des Übungsbeckens; Erhebung weiterer Pläne, wasserrechtlicher Genehmigungsbescheide, etc. und Bestandsaufnahme im Zuge einer Vor-Ort-Begehung. Überprüfung des Zustands der Entwässerungsleitung (z.B. durch Kamerabefahrung, Druckprüfung, etc.). Auf Grundlage dieser Erkenntnisse sind weitere Untersuchungen der ungesättigten/gesättigten Bodenzone mittels Linersondierungen, Grundwassersondierungen (mittels Direct-Push) oder Boden-/Sedimentuntersuchungen des Entwässerungssystems (z.B. durch Mischproben entlang des Lohgrabens) durchzuführen. Der Umfang der Untersuchungen ist bei derzeitigem Kenntnisstand nicht abschätzbar.
- Bodenuntersuchungen (Liner-Sondierungen) an acht Ansatzpunkten (im weiteren Umgriff der bislang bekannten Kontaminationsfläche, Bezeichnung FUEB09 – FUEB16) zur Eingrenzung der Belastungen im Boden bis in die wassergesättigte Bodenzone. Schicht- bzw. meterweise Probenahme. Untersuchung ausgewählter Proben auf PFC gemäß LfU-Leitlinien im S4-Eluat.
- Untersuchung des Sediments/Oberflächenwassers direkt aus dem Feuerlöschübungsbecken durch Entnahme einer Mischprobe (bestehend aus 10 – 15 Einzelproben) des oberflächennahen Sediments (0 – 10 cm) bzw. und Entnahme einer Wasserprobe inkl. Analytik auf PFC gemäß LfU-Leitlinien.
- Errichtung einer weiteren Grundwassermessstelle (DN 125, P19) im potentiellen Seit-/Abstrom der KF zur Ermittlung der hydrogeologischen Verhältnisse und zur Abgrenzung der Belastungen im Grundwasser durch Entnahme von jeweils mindestens zwei Grundwasserproben an der neu errichteten

Grundwassermessstelle sowie den Bestandsmessstellen (P16-P18, DP16) inkl. Analytik auf PFC gemäß LfU-Leitlinien.

- Durchführung von fünf Direct-Push-Grundwassersondierungen (Entnahmetiefe ca. 5 m u. GOK) im Seit-/Abstrom der KF mit PFC-Analytik (13 Einzelparameter).

5.2.1.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Historische Planunterlagen (Bestandsplan) deuten darauf hin, dass das Feuerlöschübungsbecken 1979 nach der „Standardplanung“ des Finanzbauamtes Düren errichtet wurde. Der Durchmesser nach Standardplanung betrug 24 m. Der Aufbau des Feuerlöschübungsbeckens ist in Abbildung 5-6 dargestellt. Es handelt sich um ein technisches Bauwerk mit mehreren Dichtelementen (Pflasterung Hüttenschlackesteine, Schutzfolie, Baustahlgewebe, Unterbeton BN 150). In der Mitte der befestigten Übungsfläche war eine Entleerungsleitung angebracht, über die das anfallende Gemisch aus Brennstoff, Löschmittel und Wasser über einen Schlammfang (in ca. 23 m Entfernung) und einen damals schon bestehenden Benzinabscheider (in 143 m Entfernung südlich des Lohgrabens) in den Lohgraben abgeleitet werden sollte [5].

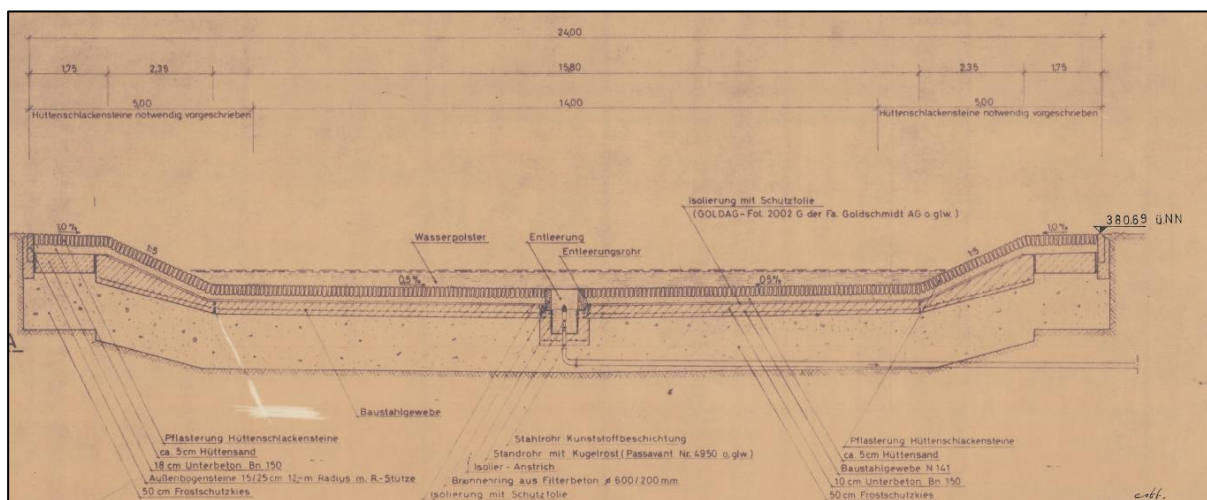


Abbildung 5-6: Querschnitt Feuerlöschübungsbecken nach Standardplanung [5]

Laut einer „Historischen Recherche“ des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 wurden an der KF 029 regelmäßige Übungen mit PFC-haltigem Löschmittel durchgeführt. Bei den Übungen, die in den 70er und 80er Jahren (bis 1988) ca. viermal pro Jahr durchgeführt wurden, wurde das Becken mit Wasser gefüllt und anschließend ca. 1000 l Kraftstoff „F-34“ (Flugturbinenkraftstoff auf Kerosinbasis, auch als JP-8 bezeichnet) zugemischt. Das Gemisch wurde entzündet und zuerst mit ca. 3 Tonnen Pulverlöschmittel durch ein Löschfahrzeug des Typs „TLF 3000“ abgelöscht. Anschließend wurde das Gemisch erneut angezündet und mit PFC-haltigem Löschschaum (AFFF) gelöscht. Hierzu wurden Löschfahrzeuge des Typs „TLF 3500“ und „TLF 8000“ verwendet. Pro Löschübung wurden ca. 350 Liter AFFF mit 11.500 l Wasser gemischt. Nach dem Brand wurde die

Restlösung entweder entsorgt oder verblieb im Übungsbecken. Weitere Angaben zum Ablauf der Übungen sind nicht bekannt.

Das Feuerlöschübungsbecken wird seit 1988 nicht mehr genutzt.

Des Weiteren ergab die „Historische Recherche“ des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6, dass der Erdwall, der das ehemalige Feuerlöschübungsbecken umgibt, im Zeitraum 2010/2011 im Zuge der Baumaßnahme des ARS-Towers zu dem heute vorhandenen Wall aufgeschüttet wurde. Das Material des Erdwalls stammt von einer Baumaßnahme im Nordteil der Liegenschaft und ist somit vermutlich nicht mit PFC belastet.

Die von Mull & Partner durchgeführte Phase I Untersuchung liefert keine weiteren Erkenntnisse zur KF 029.

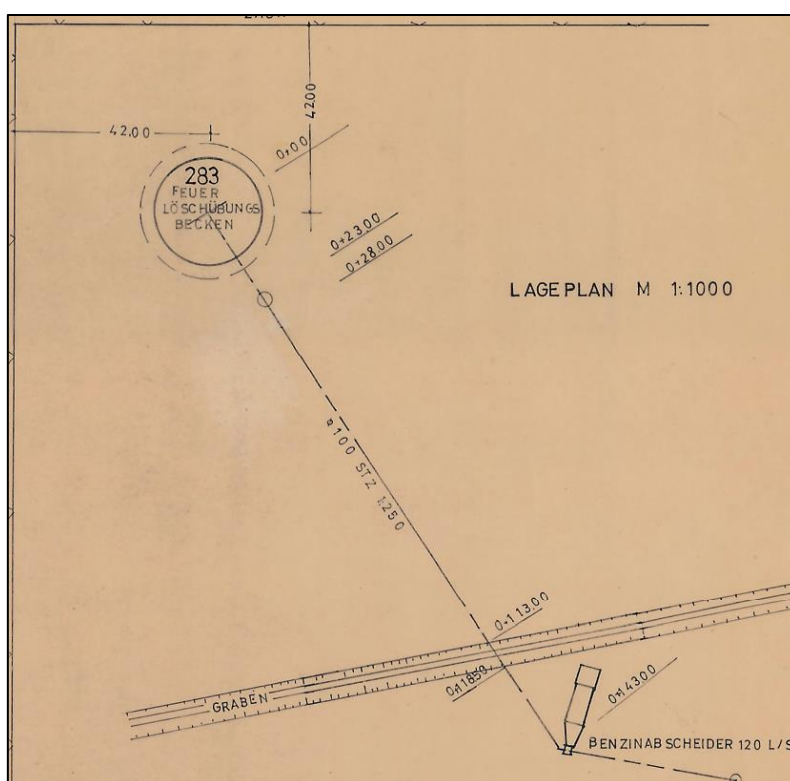


Abbildung 5-7: Übersichtslageplan Bestandsplan Feuerlöschübungsbecken [5]

Abbildung 5-8 zeigt das Feuerlöschübungsbecken in der heutigen Ausprägung. In dem Becken hat sich ein Flachwasserbiotop mit ca. 10 bis 20 cm Wassertiefe, einer geringmächtigen Sedimentschicht und diversen Wasserpflanzen (Schilf, Binsen) ausgebildet. Die randliche Einfassung (Pflaster) des Bauwerks ist noch gut erkennbar. Der gemäß „Standardplanung“ des Finanzbauamtes Düren in der Mitte des Beckens vorgesehene Grundablass konnte aufgrund des dichten Bewuchses in der Beckenmitte und der Sedimentauflage nicht erkundet werden. Somit konnten auch keine weiterführenden technischen Untersuchungen (Kamerabefahrung, Dichtheitsprüfung)

durchgeführt werden. Auch der Schlammfang konnte im Zuge einer Ortsbegehung nicht ausfindig gemacht werden.

Neben der KF befindet sich seit 2015 eine eingezäunte Radarstation. Einige Bestandsmessstellen befinden sich innerhalb des eingezäunten Bereichs.



Abbildung 5-8: Aktuelle Ansicht ehemaliges Feuerlöschübungsbecken

Die vor der aktuellen Erkundungsphase (Phase IIb-1) durchgeführten (analytischen) Untersuchungen an der KF 029 sind in Tabelle 5-11 dargestellt. Die tabellarische Zusammenfassung der in der Phase IIb-1 durchgeführten Untersuchungen ist der Tabelle 5-18 zu entnehmen.

Tabelle 5-11: Bisherige analytische Untersuchungen KF 029

Grundwasseruntersuchungen PFT (Gibs, 2014):	
Boden:	Keine Bodenuntersuchungen
Grundwasser:	Errichtung/Untersuchung einer Grundwassermessstelle (CMT, DP16); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte für PFOS (max. 41 µg/l), PFHxS (max. 12 µg/l) und PFNA (max. 1,4 µg/l)
Untersuchungen zur abfallrechtlichen Einstufung aufgrund einer geplanten Baumaßnahme (Gibs, 2014):	
Boden:	6 Rammkernsondierungen bis in max. 4 m Tiefe, 30 Bodenproben, Analyse von je einer Mischprobe je Aufschluss auf PFC (S4-Eluat); Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in einer Probe (B3, PFOS 9,9 µg/l)
Grundwasser:	Entnahme von 2 Grundwasserschöpfproben aus den Rammkernsondierungen B1 und B5; Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bei B1 (PFHxS 0,13 µg/l) und B5 (PFOS 0,21 µg/l)
Phase IIa-1 Untersuchungen (Gibs, 2015):	
Boden:	14 Linersondierungen bis in 3 m Tiefe, 61 Bodenproben, Analyse von 55 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 31 Proben bzw. 9 Aufschlüssen, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 5 Proben bzw. einem Aufschluss Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 3.500 m ²
Grundwasser:	Errichtung von 3 Grundwassermessstellen (P16-P18) und zweimalige Beprobung/Analytik der Messstellen DP16 (je drei Proben) und P16-P18 Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei Messstellen für PFOS (DP16 (3m) max. 22 µg/l, P16 max. 1,7 µg/l, P17 max. 0,44 µg/l) bzw. PFHxS, PFNA und PFOA; keine Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bei P18

5.2.1.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den acht Linersondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Anlage 4 dargestellt. Unter geringmächtigen humosen Oberboden- bzw. Auffüllungsbereichen wurden überwiegend (fein-)sandige bis kiesige Lagen bis zur Endteufe (Tiefe max. 5,0 m u. GOK) erkundet. Der Übergang zur gesättigten Bodenzone lag zumeist in Tiefen zwischen 2 – 3 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

5.2.1.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse (inkl. der Ergebnisse der Phase IIa-1 Untersuchungen von 2015) sind in Tabelle 5-12 exemplarisch für den Einzelparameter PFOS schichtbezogen dargestellt. Bei vereinzelt Bodenproben, bei denen PFOS nicht der einstufungsrelevante Parameter ist, wird der zur bodenschutzrechtlichen Einstufung herangezogene Einzelparameter mit aufgeführt. Eine tiefengetreue Darstellung unter Berücksichtigung der PFOS-Konzentration, der Bodenart und des Feuchtegehalts befindet sich in Anlage 2.

Am ehemaligen Feuerlöschübungsbecken wurden an vier der acht Aufschlüsse die vorläufigen Stufe-2-Werte und an drei weiteren die vorläufigen Stufe-1-Werte überschritten. Nur bei einem Aufschluss wurden keine Stufenwertüberschreitungen festgestellt.

Tabelle 5-12: Kontaminationsverteilung Feuerlöschübungsbecken (KF 029) anhand des Einzelparameters PFOS

Aufschluss	Anzahl Proben	Anzahl Analysen	Enttiefe [m u. GOK]	Phase	PFOS-Konzentration [µg/l] je Schicht								Andere einstufungsrelevante Einzelparameter
					1	2	3	4	5	6	Mittel	Max	
FÜB-1.1	4	4	3	2015	9,9	20	3	3,2			9,03	20	
FÜB-1.2	4	4	3	2015	2	2,9	2,6	2,1			2,4	2,9	
FÜB-1.3	4	4	3	2015	1,1	0,52	0,53	0,34			0,62	1,1	
FÜB-1.4	5	3	3	2015	0,087	0,033		<0,01			0,06	0,087	
FÜB-2.1	4	4	3	2015	0,56	28	13	12			13,39	28	
FÜB-2.2	4	4	3	2015	0,21	1,4	0,071	0,035			0,43	1,4	
FÜB-2.3	4	4	3	2015	0,064	0,037	<0,01	0,056			0,05	0,064	
FÜB-2.4	5	4	3	2015	0,17	0,081	0,038	0,048			0,08	0,17	
FÜB-3	5	5	3	2015	13	61	19	2	0,27		19,05	61	
FÜB-4	4	4	3	2015	0,43	0,5	0,14	0,035			0,28	0,5	
FÜB-5	5	4	3	2015	1,8	1,9		0,94	1,5		1,54	1,9	
FÜB-6	4	3	3	2015	0,016	0,019	<0,01				0,02	0,019	
FÜB-7	4	3	3	2015	0,072	0,033	<0,01				0,05	0,072	
FÜB-8	5	5	3	2015	0,82	3,5	1,6	2,6	0,62		1,83	3,5	
FUEB-9	5	5	4	2019	14	27	3,8	0,86	0,01		9,13	27	
FUEB-10	5	3	5	2019	0,17	0,02	<0,01				0,10	0,17	
FUEB-11	8	4	5	2019	0,2	0,09	0,12	<0,01			0,14	0,2	
FUEB-12	7	5	5	2019	0,51	0,16	<0,01	<0,01	<0,01		0,34	0,51	
FUEB-13	7	5	5	2019	0,77	2,3	1,1	0,93	0,38		1,10	2,3	
FUEB-14	5	3	4	2019	0,19	0,24	0,04				0,16	0,24	
FUEB-15	6	3	5	2019	0,03	0,01	0,06				0,03	0,06	
FUEB-16	6	5	5	2019	0,01	0,01	0,04	0,63	0,26		0,19	0,63	

Die höchsten Gehalte mit Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte wurden aktuell an den Aufschlüssen FUEB-9 (PFOS 27 µg/l), FUEB-13 (PFOS 2,3 µg/l), FUEB-12 (PFOS 0,53 µg/l) und FUEB-16 (0,63 µg/l) ermittelt und können somit rund um das Becken lokalisiert werden. Dabei wurden an den südlich des Übungsbeckens gelegenen Aufschlüssen FUEB-9 und FUEB-13 durchgängige PFOS-Befunde oberhalb des vorläufigen Stufe-2-Wertes bis zum Übergang in die gesättigte Bodenzone ermittelt. Der Aufschluss FUEB-13 liegt im Bereich des vermuteten ehemaligen Schlammfangs. Lithologische Auffälligkeiten (z.B. mächtige Auffüllungshorizonte) konnten nicht festgestellt werden. Bei FUEB-12 wurden nur oberflächennah (bis ca. 0,8 m u. GOK) bodenschutzrechtlich relevante PFOS-Konzentrationen gemessen. Umgekehrt verhält es sich bei FUEB-16, an welchem erst im Grundwasserschwankungsbereich eine deutliche PFOS-Belastung oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte detektiert wurde.

Die Aufschlüsse FUEB-10, FUEB-11 und FUEB-14 weisen deutlich niedrigere Gehalte auf. An diesen wurden der vorläufigen Stufe-1-Wert nur vereinzelt, geringfügig und zumeist oberflächennah (bis max. 1,3 m u. GOK) überschritten. Am Aufschluss FUEB-15 konnten keine bodenschutzrechtlich relevanten PFC-Konzentrationen festgestellt werden.

Neben den Linersondierungen wurde eine Flächenmischprobe aus dem vermuteten Bereich der ehemaligen Einleitstelle des Feuerlöschübungsbeckens in den Lohgraben sowie eine Sedimentprobe direkt aus dem Feuerlöschübungsbecken entnommen. Während die Sedimentprobe deutliche PFC-Belastungen im Eluat/Feststoff (siehe Tabelle 5-13) aufwies, war die Flächenmischprobe aus dem Bereich der ehemaligen Einleitstelle des Feuerlöschübungsbeckens in den Lohgraben dagegen völlig unbelastet.

Tabelle 5-13: PFOS-Konzentrationen Flächenmischproben

Probe	Sediment FÜB		FUEB MP 01
Probenahmedatum	15.08.2019		08.08.2019
Trockensubstanz [%]	14		
Matrix	Feststoff [µg/kg]	S4-Eluat [µg/l]	S4-Eluat [µg/l]
Perfluorbutansäure (PFBA)	<5,0	0,28	<0,01
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	<5,0	0,1	<0,01
Perfluorpentansäure (PFPeA)	<5,0	0,37	<0,01
Perfluorhexansäure (PFHxA)	30	2,7	<0,01
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	190	7,1	<0,01
Perfluorheptansäure (PFHpA)	<5,0	0,29	<0,01
Perfluorooctansäure (PFOA)	11	0,4	<0,01
Perfluorooctansulfonamid (PFOSA)	<5,0	<0,01	<0,01
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	770	2,2	<0,01
Perfluomonansäure (PFNA)	11	0,19	<0,01
Perfluordekansäure (PFDA)	21	0,1	<0,01
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS)	<5,0	<0,01	<0,01
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	6,9	0,13	<0,01
Summe PFC	1040	14	n.b.

Insgesamt belegen die durchgeführten Bodenuntersuchungen eine heterogene bzw. diffuse laterale/vertikale Verteilung der PFC-Kontamination (siehe Tabelle 5-12). In den oberflächennahen Bodenpartien (Oberboden/Auffüllungsbereiche) wurden zumeist die höchsten Konzentrationen festgestellt, wobei sich in den höher/durchgängig belasteten Bereichen (z.B. FUEB-9) eine geringfügige tiefenorientierte Kontaminationsverfrachtung andeutet. Dieser Trend konnte auch bei den Erkundungen 2015 festgestellt werden. Angesichts der kommunizierten Betriebseinstellung im Jahr 1988 erscheint dies plausibel. Mit Übergang zur gesättigten Bodenzone bei ca. 2 - 2,5 m u. GOK wurde zwar ein deutlicher Konzentrationsrückgang festgestellt, der jedoch in den höher belasteten Bereichen trotzdem zur Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte führt.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 5-14 exemplarisch für die Hauptparameter PFOS und PFHxS dargestellt.

Tabelle 5-14: Konzentrationsentwicklung KF 029 für PFOS und PFHxS

Messpunkt	Tiefe	PFOS [µg/l]						PFHxS [µg/l]					
		Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019	Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019
CMT													
DP16	3m	24	41	3,7	22			12	11	0,7	7,7		
DP16	5m	7,2	7,6	4,5	6,5	5,8	4	0,92	0,69	0,83	1,5	1,4	1,4
DP16	7m	2	1,6	0,77	0,59			<0,25	0,12	0,22	0,07		
GWM													
P16				1,2	1,4	0,5	0,5			<0,25	0,2	0,09	0,1
P17				0,44	0,26		14			<0,10	0,07		1,2
P18				<0,10	<0,01	<0,01	<0,01			<0,10	0,01	0,01	<0,01
P19						0,06	0,06					0,05	0,05
DP_GWS													
GWS-1						3,2						0,6	
GWS-2						0,2						0,1	
GWS-3						0,02						0,08	
GWS-4						<0,01						<0,01	
GWS-5						0,01						0,2	
GWS-6						0,03						0,02	
GWS-7						0,06						0,02	
GWS-8						0,03						0,01	
GWS-9						<0,01						<0,01	

	nicht nachweisbar (n.n.)		0,01 - 0,10		0,11 - 0,40		0,41 - 1,00
	1,01 - 1,50		1,51 - 4,00		4,01 - 45,00		

Im Nahbereich des Feuerlöschübungsbeckens befinden sich insgesamt fünf Grundwassermessstellen. Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden an den Messstellen P17 (einmalige Analytik, PFOS 14 µg/l; PFHxS 1,2 µg/l), DP16 (PFOS: max. 5,8 µg/l, PFHxS: max. 1,4 µg/l) und P16 (PFOS: max. 0,5 µg/l, PFHxS: max. 0,1 µg/l) festgestellt, die alle im Abstrombereich der KF liegen.

Die aktuellen Untersuchungen lieferte für die Messstelle P17 die höchsten Befunde, was im Vergleich zu den letzten Beprobungen aus dem Jahr 2015 einen signifikanten Konzentrationsanstieg bedeutet. Hierbei muss jedoch angemerkt werden, dass bei den aktuellen Untersuchungen aufgrund eines Hindernisses im Rohrstrang nur einmalig mit Hilfe einer Peristaltikpumpe eine Wasserprobe knapp unterhalb des Ruhewasserspiegels entnommen werden konnte und damit nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit zu den früheren Beprobungen gegeben ist.

Keine Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden in der im Anstrom gelegenen P18 (PFOS <0,01 µg/l, PFHxS max. 0,01 µg/l) bzw. in der im Seitstrom gelegenen P19 (PFOS max. 0,06 µg/l, PFHxS max. 0,05 µg/l) festgestellt.

Mit Ausnahme der P17 können im zeitlichen Vergleich relativ konstante PFC-Konzentrationen festgestellt werden. Des Weiteren ist anzumerken, dass an der CMT-Messstelle DP16 in der Vergangenheit eine tiefenabhängige Konzentrationsabnahme mit zunehmender Tiefe festgestellt werden konnte (siehe Tabelle 5-7).

Neben den Untersuchungen an den Grundwassermessstellen wurden im weiteren Seit- bzw. Abstrom der KF insgesamt neun Direct-Push-Grundwassersondierungen (GWS-01 – GWS-09) durchgeführt. Diese lieferten an drei der neun Messpunkte Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte. An der GWS-01 wurden dabei die höchsten Konzentrationen (PFOS 3,2 µg/l, PFHxS 0,6 µg/l) festgestellt. Deutliche geringere Konzentrationen knapp oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte wurden an der 20 – 30 m südlich der GWS-01 gelegenen GWS-02 (PFOS 0,2 µg/l, PFHxS 0,1 µg/l) bzw. an der im südlichen Seitstrom der KF gelegenen GWS-05 (PFOS 0,01 µg/l, PFHxS 0,2 µg/l) gemessen. Die restlichen Direct-Push-Grundwassersondierungen lieferten PFC-Konzentrationen unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte (GWS-03, GWS-06 – GWS-08) bzw. unterhalb der Nachweisgrenze (GWS-04, GWS-09).

Die PFC-Konzentrationen der aus dem Übungsbecken entnommenen Wasserprobe sind in Tabelle 5-15 dargestellt. Die Untersuchung erbrachte deutliche PFC-Befunde, die mit Gesamtgehalten von 29 µg/l die höchsten Konzentrationen der aktuellen Kampagne im Bereich der KF 029 bedeuten.

Tabelle 5-15: PFC-Konzentration der Wasserprobe aus dem Übungsbecken

Probenbezeichnung	Wasser_FuB
Probenahmedatum	15.08.2019
Einheit	µg/l
PFBA	0,3
PFBS	0,1
PFPeA	0,8
PFHxA	5,18
PFHxS	15
PFHpA	0,6
PFOA	0,8
PFOS	5,3
PFOSA	<0,01
PFNA	0,2
PFDA	0,1
PFHpS	0,16
H4PFOS	<0,01
S PFC	29

5.2.1.5 Auswertungen und Interpretationen

Die Untersuchungen am Feuerlöschübungsbecken belegen eindeutig den Eintrag von PFC-haltigen Schaummitteln in die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Insgesamt belegen die durchgeführten Bodenuntersuchungen eine heterogene bzw. diffuse laterale/vertikale Verteilung der PFC-Kontamination. Die Konzentrationsverteilung deutet auf eine langsame vertikale Verfrachtung der PFC hin.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Dies liegt hauptsächlich an den örtlichen Gegebenheiten. Unterhalb des westlich/nördlich der KF verlaufenden Erdwalls, der nachweislich erst 2010/2011 aufgeschüttet wurde, liegen keine Erkenntnisse zur PFC-Belastung vor. Auf der Westseite wurden auch jenseits des Walls bodenschutzrechtlich relevante PFC-Belastungen festgestellt und damit ein Kontaminationsbereich bis in unmittelbarer Nähe zur Liegenschaftsgrenze erkundet. Inwieweit außerhalb der Liegenschaft bodenschutzrechtlich relevante Belastungen auftreten, kann bei derzeitigem Kenntnisstand nicht beurteilt werden.

Auf der Nordseite jenseits des Walls wurden keine bodenschutzrechtlich relevanten Konzentrationen ermittelt und somit die Kontaminationsfläche trotz der Datendefizite im Bereich des Erdwalls lateral abgegrenzt. In östliche und südliche Richtung konnte die Kontaminationsfläche weitestgehend abgegrenzt werden.

Aus Sicht des Gutachters kann trotz dieser Datendefizite im Bereich des Erdwalls die Gefährdungsabschätzung innerhalb der Liegenschaft hinlänglich durchgeführt werden.

Die bislang erkundete Kontaminationsfläche, auf der Stufenwertüberschreitungen (PFOS > 0,1µg/l im Eluat) festgestellt wurden, umfasst eine Fläche von ca. 4.300 m².

Die PFC-Konzentrationen in der ungesättigten Zone verursachten bereits nachweislich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung, was die Grundwasseruntersuchungen in einer ausreichenden Anzahl repräsentativer Grundwassermessstellen an der KF belegen. Aus diesem Grund wird die abschließende Gefährdungsabschätzung nicht auf der Grundlage der Materialuntersuchungen mit Sickerwasser und Transportprognose gestützt, sondern auf der Grundlage der Ergebnisse der Grundwasseruntersuchung.

Zur überschlägigen Abschätzung der PFOS-Frachten, die über die versickernden Niederschläge und die Bodenkontamination (Eluatkonzentrationen) mobilisiert werden können, wurde eine mittlere (berechnet als Mittelwert der Maximalkonzentrationen je Ansatzpunkt) und eine maximale Konzentration ermittelt, mit welcher über die Sickerwassermenge (Grundwasserneubildungsrate) eine mittlere bzw. maximale Fracht berechnet wurde. Die Ergebnisse dieser Frachtbetrachtung (für PFOS) sind in Tabelle 5-16 dargestellt. Aufgrund der bekannten Unschärfe der Abschätzung von Frachten aus dem Bodeneluat sollten diese Werte aber nur als grobe Schätzwerte für den Vergleich mit den Ergebnissen aus den Grundwasseruntersuchungen herangezogen werden.

Tabelle 5-16: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) KF 029

Flächen- größe	GW- Neubildung	Sickerwasser- menge	Konz. mittel	Konz. max.	Fracht mittel	Fracht max.
[m ²]	[mm]	[m ³ /d]	[µg/l]	[µg/l]	g/a	g/a
4.300	124	1,46	10,00	61,00	5,3	32,5

Die abschließende Gefährdungsabschätzung wird aus den Grundwasseruntersuchungen abgeleitet. Die Standortfaktoren sind für eine derartige Vorgehensweise günstig, da das Grundwasser flach ansteht (mittlerer Flurabstand ca. 3,2 m) und der Standort durch gut verteilte und zahlreiche Grundwasseraufschlüssen (14 Stück) repräsentativ erfasst wird.

Während die PFOS-Konzentrationen im Anstrom der KF 029 keine PFC-Belastung zeigen (P 19), nehmen die PFOS-Konzentrationen im direkten Abstrom stark zu (aktuell maximal 5,8 µg/l in der DP 16). Eine Zusammenstellung der KVF-bezogenen Grundwasserergebnisse findet sich in Tabelle 5-14.

Mit dem mehrfachen und konstanten Überschreiten des vorläufigen Schwellenwertes für PFOS in den Abstrommessstellen DP 16, P 16, P 17, GWS-1 und GWS-2 ist gemäß BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Abbildung 5 eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt sowie der Gefahrenverdacht einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast im Bereich der KF 029 erbracht, was i.d.R. weitere Maßnahmen erforderlich macht.

Rechnet man über die Grundwasseruntersuchungen indirekt die effektiven Sickerwasserwerte zurück (HLUG-Verfahren), so ergibt sich eine Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung von ca. 240 µg/l, die deutlich über dem Prüfwert für Sickerwasser von 0,1 µg/l liegt.

In der PFC-Leitlinie sind keine Maßnahmenwerte für PFC in Analogie zu den Stufe-2-Werten des BLfW-Merkblattes definiert, die als direkte Entscheidungshilfe für die Erfordernis von Maßnahmen herangezogen werden könnten. Gemäß BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Anhang 3 liegen Maßnahmenwerte i.d.R. mit dem Faktor 4 bis 10 über den jeweiligen Prüfwerten. Demnach kann auch für den Parameter PFOS von einem Maßnahmenwert zwischen ca. 0,4 µg/l bis ca. 1 µg/l ausgegangen werden, der in mehreren Messstellen ebenfalls überschritten wird. Demnach wäre nach BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 die Erfordernis von Maßnahmen aufgezeigt.

Die abschließende Gefährdungsabschätzung kommt zu dem Ergebnis, dass gemäß § 4 Abs. 3 BBodSchG Maßnahmen in der Regel erforderlich sind. Anhand der folgenden Ausführungen wird gemäß § 4 Abs. 7 BBodSchG die Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen überprüft.

Direkt im Anstrom des Boden-Hotspots sowie im Abstrom wurden die gemittelten Grundwasserergebnisse bestimmt und über die standortspezifischen Geohydraulikparameter die entsprechenden PFOS-Frachten bestimmt.

Die nachfolgende Tabelle 5-17 zeigt die wesentlichen Daten dieser Berechnungen. Daraus ergibt sich mit ca. 130 g PFOS p.a. eine deutlich höhere Fracht wie über die Grundwasserneubildung abgeschätzt (siehe Tabelle 5-17). Für die Gefährdungsabschätzung empfehlen wir, die aus den Grundwassertransekten ermittelten Schadstofffrachten heran zu ziehen. Diese sind aus unserer Erfahrung deutlich plausibler als die Frachten, die sich aus der Abschätzung der Grundwasserneubildung ergeben.

Tabelle 5-17: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF 029

Kontaminationsfläche	KF 029		
	Anstrom	Abstrom	Differenz
Abstrombreite Fahne [m]	65	65	
mittlere Aquifermächtigkeit [m]	7,0	7,0	
kf-Wert [m/s]	4,7E-03	4,7E-03	
Hydraulisches Gefälle i [-]	0,07%	0,07%	
GW-Umsatz [l/s]	1,5	1,5	
GW-Umsatz [m³/d]	130	130	
mittlere Konzentration PFOS [µg/l]	0,01	2,71	
Fracht [g/d]	0,00	0,35	0,35
Fracht [g/a]	0,5	128,6	128,1

Nach der Arbeitshilfe LAWA/LABO-Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ überschreitet die berechnete Fracht die zu tolerierende Fracht einer kleinräumigen Grundwasserverunreinigung, die bei PFOS rechnerisch bei ca. 17 g/a liegt. Zusätzlich ergibt sich aus den ermittelten Flächen, dass keine Einordnung als kleinräumige Grundwasserverunreinigung

(1.000 m²) vorgenommen werden kann. Auch das Kriterium „Dauer“ ist bei der Schadstoffgruppe PFC als ungünstig zu bewerten.

5.2.1.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-18 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KF 029. Die Untersuchungen erbrachten an vier von acht Aufschlusspunkten Überschreitungen der vorläufigen Stufe-2-Werte und an drei weiteren Überschreitungen der vorläufigen Stufe-1-Werte am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden kann. Laut Merkblatt 3.8/1 ergibt sich daraus eine erhebliche Grundwasserverunreinigung.

Im Grundwasserabstrom selbst, welcher durch die Grundwassermessstellen DP16, P16 und P17 erschlossen wird, wurden die Ergebnisse durch Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bestätigt und der kausale Zusammenhang zu den vorgefundenen PFC-Befunden im Boden hergestellt. Der Grundwasseranstrom ist dagegen nahezu unbelastet.

Im Sinne der PFC-Leitlinie (April 2017) liegt bei Überschreiten der vorläufigen Schwellenwerte „...i.d.R. eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vor“. Durch den Zusammenhang der vorläufigen Schwellenwerte mit den GFS-Werten ist damit auch eine Erheblichkeit der Grundwasserverunreinigung gegeben.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Schadstofffahne am Nordrand der Liegenschaft geringfügig über die Liegenschaftsgrenze hinaus bis auf die benachbarten Flächen ausgebreitet hat und dort eine negative Grundwasserbeeinflussung hervorruft.

Zusammenfassend hat sich an der KF 029 der Altlastenverdacht bestätigt bzw. ergibt sich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung, die aufgrund der berechneten Frachten und Ausmaße des Kontaminationsbereichs bei aktuellem Kenntnisstand nicht als kleinräumige Kontamination betrachtet werden kann. Durch die aktuellen Untersuchungen kann die Kontaminationsfläche aus Sicht des Gutachters hinreichend lateral und vertikal abgegrenzt werden und damit eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden. Eine Ausnahme stellt die Westgrenze der KF dar, da dort nur die Belastungssituation bis zur Liegenschaftsgrenze erkundet werden konnte und somit eine Beeinträchtigung der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen (Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze, Wirkungspfad Boden – Mensch) nicht auszuschließen ist.

Damit sind Maßnahmen i.S. des BBodSchG §4 angezeigt, was Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen oder – soweit nicht möglich oder unzumutbar – weitere Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bedeuten kann. Hierzu sind Sanierungsuntersuchungen bzw. -planungen (Phase III) durchzuführen, in denen durch Varianten- und Machbarkeitsstudien unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit Maßnahmen zur

dauerhaften Abwehr der zuvor beschriebenen Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen geprüft werden.

Laut BFR BoGwS ergibt sich u. E. eine Einstufung in die Kategorie D.

Die letztendliche Entscheidung zu diesem Punkt treffen die zuständigen Behörden.

Tabelle 5-18: Zusammenfassung KF 029 „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“

KF 029 „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“ (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Feuerlöschübungsbecken, Vier Übungen pro Jahr, ca. 350 l Schaummittel pro Übung
Dauer:	Von 1979 bis 1988
Grundwasseruntersuchungen PFT (Gibs, 2014):	
Boden:	Keine Bodenuntersuchungen
Grundwasser:	Errichtung/Untersuchung einer GWM (CMT, DP16); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte für PFOS (max. 41 µg/l), PFHxS (max. 12 µg/l) und PFNA (max. 1,4 µg/l)
Untersuchungen zur abfallrechtlichen Einstufung aufgrund einer geplanten Baumaßnahme (Gibs, 2014):	
Boden:	6 Rammkernsondierungen (RKS) bis in max. 4 m Tiefe, 30 Bodenproben, Analyse von je einer Mischprobe je Aufschluss auf PFC (S4-Eluat); Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in einer Probe (B3, PFOS 9,9 µg/l)
Grundwasser:	Entnahme von 2 Schöpfproben aus den RKS B1 und B5; Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bei B1 (PFHxS 0,13 µg/l) und B5 (PFOS 0,21 µg/l)
Phase IIa-1 Untersuchungen (Gibs, 2015):	
Boden:	14 Linersondierungen bis in 3 m Tiefe, 61 Bodenproben, Analyse von 55 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 31 Proben, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 5 Proben Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 3.500 m²
Grundwasser:	Errichtung von 3 GWM (P16-P18) und zweimalige Beprobung/Analytik der Messstellen DP16 (je drei Proben) und P16-P18 Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei GWM für PFOS (max. 22 µg/l) bzw. PFHxS, PFNA und PFOA
Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb-1: Gibs (2019):	
Boden:	8 Linersondierungen bis max. 5 m Tiefe, daraus 49 Bodenproben, Analytik von 33 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Entnahme einer Flächenmisch- und einer Sedimentprobe, Analytik auf PFC im S4-Eluat bzw. Feststoff (Sediment); Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte in 4 Sondierungen bzw. 10 Proben, Überschreitung der vorläufigen Stufe-1-Werte in 3 Sondierungen bzw. 8 Proben Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 4.300 m²; Fracht (PFOS) aus Grundwasserneubildung/Eluat: 5 - 32 g/a
Grundwasser:	Errichtung einer Grundwassermessstelle (P19) und neun Direct-Push-Grundwassersondierungen (GWS-01 – GWS-09), zweimalige Beprobung/Analytik an fünf GWM (DP16, P16-P19); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei GWM (DP16, P16-P17) für PFOS (max. 14 µg/l), PFHxS (max. 1,4 µg/l), PFNA (max. 0,2 µg/l); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an bei GWS-01, GWS-02, GWS-05 (PFOS max. 3,2 µg/l, PFHxS max. 0,6 µg/l) Fracht mittel (PFOS): ca. 130 g/a
Bewertung u. Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; Kontaminationsbereich weitestgehend abgegrenzt; abschließende Gefährdungsabschätzung möglich
Bewertung nach BFR BoGWS:	Kat. D
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Maßnahmen im Sinne einer Sanierungsuntersuchung erforderlich

5.2.2 KF 500 „Alte Feuerwache“

Abbildung 5-9 zeigt einen Übersichtsplan der KF 500 „Alte Feuerwache“.

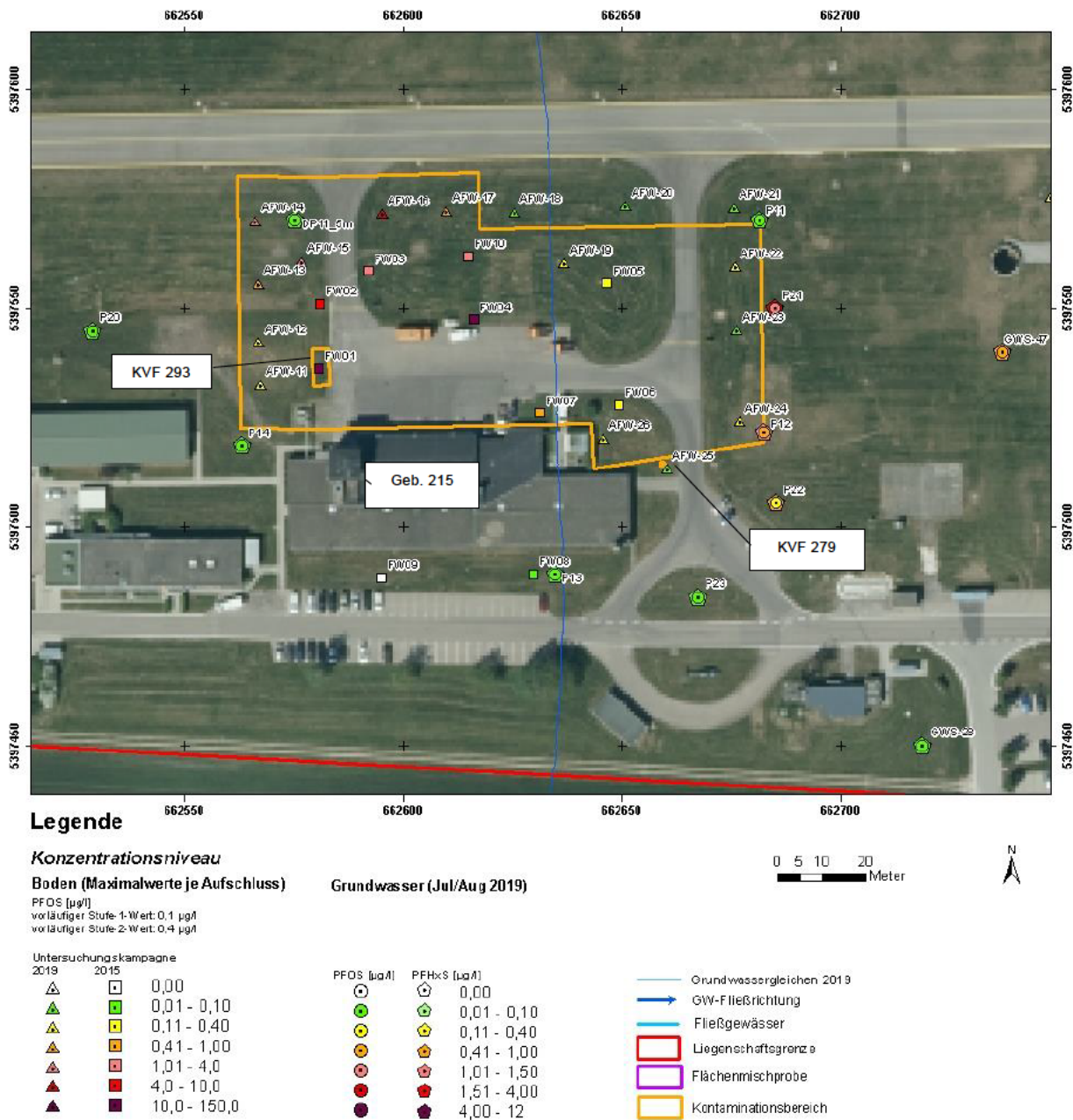


Abbildung 5-9: Lageplan KVF „Alte Feuerwache“

5.2.2.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln im Zuge der Wartung der Feuerwehr-KFZ nach Einsätzen/Übungen wurden Bodenbelastungen in der ungesättigten Bodenzone hervorgerufen, die erhöhte PFC-Gehalte im Grundwasser im Abstrombereich der KF 500 „Alte Feuerwache“ nach sich ziehen.

Dieser Sachverhalt wurde im Zuge der Phase IIa-1-Untersuchungen im Jahr 2015 festgestellt. Die Untersuchungen erbrachten an fünf Aufschlüssen Überschreitungen des vorläufigen Stufe-2-Wertes am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden konnte. Dies wurde auch durch die Grundwasserbelastungen in den abstromig gelegenen Grundwassermessstellen über dem vorläufigen Schwellenwert belegt.

Damit hatte sich der Gefahrenverdacht für die KF 500 hinreichend erhärtet und eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt, wodurch weitere Erkundungsmaßnahmen im Sinne einer Detailuntersuchung zur weiteren Abgrenzung des Kontaminationsbereichs in der ungesättigten sowie in der gesättigten Bodenzone notwendig wurden.

Im Untersuchungskonzept vom 08. November 2018 wurde folgende Untersuchungsstrategie festgelegt:

- Bodenuntersuchungen (Liner-Sondierungen) an 16 Ansatzpunkten (im weiteren Umgriff der bislang bekannten Kontaminationsfläche, Bezeichnung AFW-11 – AFW-26) zur Eingrenzung der Belastungen im Boden bis in die wassergesättigte Bodenzone. Schicht- bzw. meterweise Probenahme. Untersuchung ausgewählter Proben auf PFC gemäß LfU-Leitlinien im S4-Eluat.
- Errichtung von vier Grundwassermessstellen (DN 125, P20 – P23) im potenziellen An-/Abstrom der KF zur Ermittlung der hydrogeologischen Verhältnisse und zur Abgrenzung der Belastungen im Grundwasser durch Entnahme von jeweils mindestens zwei Grundwasserproben an den neu errichteten Grundwassermessstellen sowie den Bestandsmessstellen (P11-P14, DP11) inkl. Analytik auf PFC gemäß LfU-Leitlinien.
- Untersuchung des Entwässerungssystems des Vorfelds (inkl. RRB02) im Zuge der integralen Betrachtung des Entwässerungssystems der Liegenschaft.

5.2.2.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Laut einer „Historischen Recherche“ des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 wurde die KF 500 „Alte Feuerwache“ (Gebäude 215) bis 2008 betrieben. Seit 2008 ist die Standortfeuerwehr in der ca. 200 m südöstlich gelegenen „Neuen Feuerwache“ untergebracht.

In der KVF „Alte Feuerwache“ wurden PFC-haltige Schaummittel umgeschlagen/gelagert. Über die Schaummittelmengen liegen keine Angaben vor.

Nach Einsätzen/Übungen wurden die Feuerwehr-KFZ im Bereich der „Alten Feuerwache“ gereinigt. Das bei der Spülung der Schaumanlagen anfallende Reinigungswasser wurde in die Kanalisation (keine weiteren Angaben ob Schmutzwasser- oder Regenwasserkanalisation) eingeleitet. Beim Reinigungsvorgang fallen laut Standortfeuerwehr ca. 1 – 1,5 l Schaummittel an.

Weitere Informationen zur Verwendung von PFC-haltigen Schaummittel im Bereich der KVF „Alte Feuerwache“ liegen nicht vor.

Mull & Partner führt im Zuge der Phase I Untersuchung folgende KVFs im Bereich der „Alten Feuerwache“ auf, bei der die Nutzung/Lagerung von PFC-haltigen Substanzen erfolgte:

- KVF 412: Fahrzeughalle in Geb. 215
- KVF 413: Löschmittellager in Geb. 215
- KVF 414: Raum für Ölbindemittel in Geb. 215
- KVF 279: Ehemaliger Abscheider (Entwässerung Vorfeld Feuerwache)
- KVF 293: Ehemaliges Lager alte Feuerwache

Die KVF 412, KVF 413 und KVF 414 befinden sich alle im Gebäude 215. Laut Mull & Partner kann bei KVF 412 aufgrund deutlich sichtbarer Handhabungsverluste und einer wohl undichten Bodenversiegelung (Risse) eine Gefährdung für das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden. Selbiges gilt laut Mull & Partner für die KVF 413 und KVF 414, obwohl bei diesen beiden keine Angabe zum Zustand der Untergrundversiegelung gemacht wird. Über den Aufbau des Hallenbodens liegen keine weiteren Informationen vor.

Die KVF 279 (Ehemaliger Abscheider Entwässerung Vorfeld Feuerwache) befand sich laut Mull & Partner ca. 6 m nordöstlich von Gebäude 215. Der Abscheider (Nenngröße NG 15) wurde laut Mull & Partner wahrscheinlich 1997/1998 im Zuge der Erneuerung der Flächenentwässerung zurückgebaut. Aufgrund fehlender Absperreinrichtung und einer Undichtigkeit im Auslaufschachtteil (WHG Prüfbericht März 1995) kann laut Mull & Partner eine Gefährdung für das Grundwasser nicht ausgeschlossen werden.

Die KVF 293 (Ehemaliges Lager alte Feuerwache) befand sich westlich angrenzend an die Vorfläche von Gebäude 215. Über Art und Dauer der Nutzung sowie über Bauweise und Versiegelung des Bodens liegen laut Mull & Partner keine Angaben vor. Im Bereich des Gebäudes wurden bei den Phase IIa Untersuchungen 2015 die höchsten Bodenbelastungen festgestellt.

Laut einem Entwässerungsplan aus dem Jahr 1995 bzw. laut LAK (Liegenschaftsbezogenes Abwasserentsorgungskonzept) aus dem Jahr 2014 entwässerte bzw. entwässert das Vorfeld der Alten Feuerwache über ein nordöstlich gelegenes Regenrückhaltebecken (RRB02) in den südlich der Landebahn verlaufenden Regenwasserkanal. Das Regenrückhaltebecken wird in der Phase I Untersuchung von Mull & Partner als KVF 265 aufgeführt. Laut Mull & Partner handelt es sich um ein Betonbecken mit ca. 140 m³ Fassungsvermögen. Weiterer Handlungsbedarf ist laut Mull & Partner für die KVF nicht gegeben (Kategorie A). Jedoch wird auf einen WHG-Prüfbericht von Juli 2017 verwiesen, welcher Sand- und Kiesablagerungen im Becken nennt, die vermutlich auf einen undichten Kanal hinweisen.

Die vor der aktuellen Erkundungsphase (Phase IIb-1) durchgeführten (analytischen) Untersuchungen an der KF 5009 sind in Tabelle 5-19 dargestellt. Die tabellarische Zusammenfassung der in der Phase IIb-1 durchgeführten Untersuchungen ist der Tabelle 5-24 zu entnehmen.

Tabelle 5-19: Bisherige analytische Untersuchungen KF 500

Grundwasseruntersuchungen PFT (Gibs, 2014):	
Boden:	Keine Bodenuntersuchungen
Grundwasser:	Errichtung und Untersuchung einer Grundwassermessstelle (CMT, DP11); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte für PFOS (max. 0,35 µg/l), PFHxS (max. 1,7 µg/l) und PFNA (max. 0,079 µg/l)
Phase IIa-1 Untersuchungen (Gibs, 2015):	
Boden:	10 Linersondierungen bis in 3,1 m Tiefe, 41 Bodenproben, Analyse von 35 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 21 Proben bzw. 7 Aufschlüssen, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 5 Proben bzw. einem Aufschluss Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 3.800 m ²
Grundwasser:	Errichtung von 4 Grundwassermessstellen (P11-P14) und zweimalige Beprobung/Analytik der Messstellen DP11 (je drei Proben) und P11-P14 Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei Messstellen für PFOS (P12 max. 1 µg/l, DP11 max. 0,79 µg/l, P11 max. 0,18 µg/l, P13 max. 0,18 µg/l, P14 max. 0,16 µg/l), bzw. PFHxS, PFNA und PFOA

5.2.2.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den 16 Linersondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Anlage 4 dargestellt. Unter geringmächtigen humosen Oberboden- bzw. Auffüllungsbereichen wurden überwiegend (fein-)sandige bis kiesige Lagen bis zur Endteufe (Tiefe max. 4,0 m u. GOK) erkundet. Der Übergang zur gesättigten Bodenzone lag zumeist in Tiefen zwischen 2 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

5.2.2.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse (inkl. der Ergebnisse der Phase IIa-1 Untersuchungen von 2015) sind in Tabelle 5-12 exemplarisch für den Einzelparameter PFOS schichtbezogen dargestellt. Bei vereinzelt Bodenproben, bei denen PFOS nicht der einstufigsrelevante Parameter ist, wird der zur bodenschutzrechtlichen Einstufung herangezogene Einzelparameter mit aufgeführt. Eine teufengetreue Darstellung unter Berücksichtigung der PFOS-Konzentration, der Bodenart und des Feuchtegehalts befindet sich in Anlage 2.

An der KF 500 wurden an fünf der 16 Aufschlüsse die vorläufigen Stufe-2-Werte und an sieben weiteren die vorläufigen Stufe-1-Werte überschritten. Bei vier Aufschlüssen wurden keine Stufenwertüberschreitungen festgestellt.

Tabelle 5-20: Kontaminationsverteilung „Alte Feuerwache“ (KF 500) anhand des Einzelparameters PFOS

Aufschluss	Anzahl Proben	Anzahl Analysen	Enttiefe [m u. GOK]	Phase	PFOS-Konzentration [µg/l] je Schicht								Andere einstufigsrelevante Einzelparameter
					1	2	3	4	5	6	Mittel	Max	
FW-1	3	3	3,1	2015	290	1,2	2				97,73	290	
FW-2	5	5	3,1	2015	5,6	1,5	0,65	0,51	0,49		1,75	5,6	
FW-3	6	5	3,1	2015	1,7	0,53	0,47		0,32		0,62	1,7	
FW-4	4	4	3,1	2015	16	4,2	11	5,6			9,20	16	
FW-5	4	3	3,1	2015	0,29	0,14	0,029				0,15	0,29	
FW-6	5	3	3,1	2015	0,38	0,039			0,27		0,23	0,38	Schicht 1: PFHxS > S2 (1,3 µg/l)
FW-7	4	3	3,1	2015	0,93	0,073	0,051				0,35	0,93	Schicht 2: PFHxS/PFNA > S2 (0,79/0,1,4 µg/l), Schicht 3: PFNA > S1 (0,064 µg/l)
FW-8	3	3	3	2015	<0,01	0,023	0,011				0,02	0,023	
FW-9	4	3	3	2015	<0,01	<0,05	<0,01				n.n.	n.n.	
FW-10	3	3	3,1	2015	2,9	3,2	0,48				2,19	3,2	
AFW-11	5	4	4	2019	0,22	0,05	<0,01	<0,01			0,14	0,22	
AFW-12	5	4	4	2019	0,17	0,03	<0,01	<0,01			0,10	0,17	
AFW-13	6	5	4	2019	0,42	0,02	<0,01	0,19	0,05		0,17	0,42	Schicht 2: PFHxS > S2 (0,46 µg/l)
AFW-14	5	4	4	2019	3	1	0,21	0,03			1,06	3	
AFW-15	2	2	0,85	2019	3,4	3,9					3,65	3,9	
AFW-16	5	4	4	2019	6,8	8,4	1	0,1			4,08	8,4	
AFW-17	5	4	4	2019	0,71	0,03	0,26	0,36			0,34	0,71	Schicht 2: PFHxS > S1 (0,19 µg/l)
AFW-18	5	3	4	2019	0,09	0,04	0,05				0,06	0,09	Schicht 1: PFHxS > S1 (0,21 µg/l)
AFW-19	5	3	4	2019	0,23	0,18	0,02				0,14	0,23	
AFW-20	5	3	4	2019	0,03	<0,01	0,02				0,03	0,03	
AFW-21	5	3	4	2019	0,02	<0,01	0,01				0,02	0,02	
AFW-22	5	3	4	2019	0,18	0,01	0,09				0,09	0,18	
AFW-23	5	3	4	2019	0,01	0,05	0,06				0,04	0,06	
AFW-24	5	2	4	2019	0,2	0,04					0,12	0,2	
AFW-25	6	3	4	2019	0,04	0,02	0,01				0,02	0,04	
AFW-26	6	5	4	2019	0,06	0,07	0,09	0,14	<0,01		0,09	0,14	

Die höchsten Gehalte mit Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte wurden aktuell im Nordwesten der KF an den Aufschlüssen AFW-16 (PFOS 8,4 µg/l), AFW-15 (PFOS 3,9 µg/l), AFW-14 (PFOS 3 µg/l), AFW-17 (PFOS 0,71 µg/l) und AFW-13 (0,42 µg/l) ermittelt und dabei in den oberflächennahen Schichten detektiert. Mit zunehmender Tiefe gehen die PFC-Gehalte zurück, dennoch können an den o.g. Aufschlüssen bis in den Grundwasserschwankungsbereich bodenschutzrechtlich relevante Konzentrationen festgestellt werden.

Die Aufschlüsse AFW-11, AFW-12, AFW-18, AFW-19, AFW-22, AFW-24 und AFW-26 weisen deutlich niedrigere Gehalte (PFOS max. 0,23 µg/l) auf. An diesen wurde der vorläufige Stufe-1-Wert nur vereinzelt, geringfügig und mit Ausnahme der AFW-26 nur oberflächennah bis etwa einen Meter Tiefe überschritten. Bei AFW-26 wurden die höchsten Gehalte (PFOS 0,14 µg/l) im Grundwasserschwankungsbereich in ca. 1,7 – 2,6 m u. GOK gemessen.

An den Aufschlüssen AFW-20, AFW-21, AFW-23 und AFW-25 konnten keine bodenschutzrechtlich relevanten PFC-Konzentrationen festgestellt werden.

Insgesamt belegen die durchgeführten Bodenuntersuchungen eine heterogene bzw. diffuse laterale/vertikale Verteilung der PFC-Kontamination (siehe Tabelle 5-12). In den oberflächennahen Bodenpartien (Oberboden/Auffüllungsbereiche) wurden zumeist die höchsten Konzentrationen festgestellt. Dieser Trend konnte auch bei den Erkundungen 2015 festgestellt werden. Mit Übergang zur gesättigten Bodenzone bei ca. 2 - 2,5 m u. GOK wurde zwar ein deutlicher Konzentrationsrückgang festgestellt, der jedoch in den höher belasteten Bereichen trotzdem zur Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte führt.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 5-21 exemplarisch für die Hauptparameter PFOS und PFHxS dargestellt.

Tabelle 5-21: Konzentrationsentwicklung KF 500 für PFOS und PFHxS

Messpunkt	Tiefe	PFOS [µg/l]						PFHxS [µg/l]					
		Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019	Jul 2014	Sep 2014	Mai 2015	Aug 2015	Jul/Aug 2019	Okt 2019
CMT													
DP11	3m	0,35	0,19	0,79	0,75			1,7	0,87	4,6	1,8		
DP11	5m	0,15	0,11	0,16	0,23	0,1	0,07	0,19	0,1	0,08	0,17	0,09	0,07
DP11	7m	0,13	0,1	0,46	0,32			0,1	0,073	0,11	0,1		
GWM													
P11				0,18	0,14	0,1	0,1			0,15	0,11	0,1	0,1
P12				0,46	0,9	0,7	0,8			0,87	1,5	1,1	1,2
P13				0,18	0,12	0,06	0,06			0,14	0,11	0,04	0,04
P14				0,16	0,13	0,07	0,07			0,11	0,1	0,04	0,04
P20						0,06	0,05					0,03	0,02
P21						1,1	0,9					2,2	1,6
P22						0,4	0,7					0,6	0,8
P23						0,08	0,08					0,06	0,06
DP_GWS													
GWS-28						0,04						0,04	
GWS-47						0,8						1	

	nicht nachweisbar (n.n.)		0,01 - 0,10		0,11 - 0,40		0,41 - 1,00
	1,01 - 1,50		1,51 - 4,00		4,01 - 45,00		

Im Nahbereich der KF 500 „Alte Feuerwache“ befinden sich insgesamt neun Grundwassermessstellen. Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden aktuell an den Messstellen P12 (PFOS max. 0,8 µg/l; PFHxS max. 1,2 µg/l), P21 (PFOS: max. 1,1 µg/l, PFHxS: max. 2,2 µg/l) und P22 (PFOS: max. 0,7 µg/l, PFHxS: max. 0,8 µg/l) festgestellt, die alle im Abstrombereich der KF liegen. An der P12, die bereits 2015 errichtet wurde, liegen die PFC-Konzentrationen auf konstantem Niveau.

Keine Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden aktuell in den an- bzw. seitströmig gelegenen Messstellen P11, P13, P14, P20, P23 sowie DP11 ermittelt. An diesen liegen die Gehalte auf bzw. geringfügig unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte. Im Vergleich zu den früheren Untersuchungen zeigt sich damit ein leicht fallender Konzentrationstrend. Im Jahr 2015 wurden an den Messstellen die vorläufigen Schwellenwerte noch geringfügig überschritten. Des Weiteren ist anzumerken, dass an der CMT-Messstelle DP11 in der Vergangenheit ein tiefenabhängige Konzentrationsabnahme mit zunehmender Tiefe festgestellt werden konnte (siehe Tabelle 5-7). So wurden in 3 m Tiefe deutlich höhere PFC-Belastungen (PFOS max. 0,79 µg/l; PFHxS max. 4,6 µg/l) ermittelt.

Neben den Untersuchungen an den Grundwassermessstellen wurden im weiteren Seit- bzw. Abstrom der KF insgesamt zwei Direct-Push-Grundwassersondierungen (GWS-28

GWS-47 – GWS-09) durchgeführt. Diese lieferten an der GWS-47 (Abstrom, PFOS 0,8 µg/l, PFHxS 1 µg/l) Konzentrationen deutlich oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte und an der im südlichen Seitstrom gelegenen GWS-28 (PFOS 0,04 µg/l, PFHxS 0,04 µg/l) Gehalte unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte.

Untersuchungen Entwässerungssystem

Im Zuge der aktuellen Erkundungen wurde das Regenrückhaltebecken RRB02 untersucht, über welches u.a. die Vorfeldfläche der „Alten Feuerwache“ entwässert (siehe Kapitel 5.1.6). Die Untersuchung erbrachte eine PFOS-Konzentration von 0,08 µg/l und damit eine deutliche Überschreitung der für PFOS festgelegten UQN.

5.2.2.5 Auswertungen und Interpretationen

Die Untersuchungen an der KF 500 „Alte Feuerwache“ belegen eindeutig den Eintrag von PFC-haltigen Schaummitteln in die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Insgesamt belegen die durchgeführten Bodenuntersuchungen eine heterogene bzw. diffuse laterale/vertikale Verteilung der PFC-Kontamination.

Durch die aktuell durchgeführten Untersuchungen konnte eine hinreichende laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Lediglich am Nordwestrand der KF konnte keine vollständige Abgrenzung erzielt werden.

Die bislang erkundete Kontaminationsfläche (PFOS > 0,1 µg/l im Eluat), auf der Stufenwertüberschreitungen festgestellt wurden, umfasst eine Fläche von ca. 6.400 m².

Die PFC-Konzentrationen in der ungesättigten Zone verursachten bereits nachweislich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung, was die Grundwasseruntersuchungen in einer ausreichenden Anzahl repräsentativer Grundwassermessstellen an der KF belegen. Aus diesem Grund wird die abschließende Gefährdungsabschätzung nicht auf der Grundlage der Materialuntersuchungen mit Sickerwasser und Transportprognose gestützt, sondern auf der Grundlage der Ergebnisse der Grundwasseruntersuchung.

Zur überschlägigen Abschätzung der PFOS-Frachten, die über die versickernden Niederschläge und die Bodenkontamination (Eluatkonzentrationen) mobilisiert werden können, wurde eine mittlere (berechnet als Mittelwert der Maximalkonzentrationen je Ansatzpunkt) und eine maximale Konzentration ermittelt, mit welcher über die Sickerwassermenge eine mittlere bzw. maximale Fracht berechnet wurde. Die Sickerwassermenge fällt aufgrund der versiegelten, nicht an die Kanalisation angeschlossenen Flächen höher aus. Für die versiegelten Flächen (Teilbereiche der Vorfeldfläche und sonstige versiegelte Flächen) wurden 90% des mittleren Niederschlags als Grundwasserneubildungsrate angenommen. Dadurch ergibt sich eine Grundwasserneubildungsrate von ca. 250 mm/a. Die Ergebnisse der Frachtbetrachtung (für PFOS) sind in Tabelle 5-22 dargestellt. Aufgrund der bekannten Unschärfe der Abschätzung von Frachten aus dem Bodeneluat sollten diese Werte aber nur als grobe Schätzwerte für den Vergleich mit den Ergebnissen aus den Grundwasseruntersuchungen herangezogen werden.

Tabelle 5-22: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) KF 500

Flächen- größe	GW- Neubildung	Sickerwasser- menge	Konz. mittel	Konz. max.	Fracht mittel	Fracht max.
[m ²]	[mm]	[m ³ /d]	[µg/l]	[µg/l]	g/a	g/a
6370	248	4,33	16,8	290	26,56	458,54

Die abschließende Gefährdungsabschätzung wird aus den Grundwasseruntersuchungen an der KF 500 abgeleitet. Die Standortfaktoren sind für eine derartige Vorgehenseise günstig, da das Grundwasser flach ansteht (mittlerer Flurabstand ca. 2,1 m) und der Standort durch gut verteilte und zahlreiche Grundwasseraufschlüsse (11 Stück) repräsentativ erfasst wird.

Die auf die KF 500 zurückzuführende Grundwasserfahne ist sehr diffus und lässt sich im östlichen Verlauf nicht von evtl. weiteren lokalen PFOS-Fahnen (Phase-IIa) abgrenzen. Grundsätzlich ist aber eine Ausbreitung in südlicher und östlicher Richtung zu den Fließgewässern und temporären Vorflutern Zitzelsheimer Graben und Zeller Kanal zu erkennen.

Während die PFOS-Konzentrationen im Anstrom der KF 500 PFC-Belastungen in der Größenordnung 0,06 / 0,07 µg/l zeigen (P 20, P 14), nehmen die PFOS-Konzentrationen im direkten Abstrom deutlich zu (aktuell maximal 1,1 µg/l in der P 21). Eine Zusammenstellung der KVF-bezogenen Grundwasserergebnisse findet sich in Tabelle 5-21.

Mit dem mehrfachen und konstanten Überschreiten des vorläufigen Schwellenwertes für PFOS in den Abstrommessstellen P 21, DP 11, P 11, P 12, P 13, P 14, P 22 und GWS-47 ist gemäß BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Abbildung 5 eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt sowie der Gefahrenverdacht einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast im Bereich der KF 500 erbracht, was i.d.R. weitere Maßnahmen erforderlich macht.

Rechnet man über die Grundwasseruntersuchungen indirekt die effektiven Sickerwasserwerte zurück (HLUG-Verfahren), so ergibt sich eine Sickerwasserkonzentration am Ort der Beurteilung von ca. 21 µg/l, die deutlich über dem Prüfwert für Sickerwasser von 0,1 µg/l liegt.

In der PFC-Leitlinie sind keine Maßnahmenwerte für PFC in Analogie zu den Stufe-2-Werten des BLfW-Merkblattes definiert, die als direkte Entscheidungshilfe für die Erfordernis von Maßnahmen herangezogen werden könnten. Gemäß BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Anhang 3 liegen Maßnahmenwerte i.d.R. mit dem Faktor 4 bis 10 über den jeweiligen Prüfwerten. Demnach kann auch für den Parameter PFOS von einem Maßnahmenwert zwischen ca. 0,4 µg/l bis ca. 1 µg/l ausgegangen werden, der in

mehreren Messstellen ebenfalls überschritten wird. Demnach wäre nach BLfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 die Erfordernis von Maßnahmen aufgezeigt.

Die abschließende Gefährdungsabschätzung kommt zu dem Ergebnis, dass gemäß § 4 Abs. 3 BBodSchG Maßnahmen in der Regel erforderlich sind. Anhand der folgenden Ausführungen wird gemäß § 4 Abs. 7 BBodSchG die Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen überprüft.

Direkt im Anstrom des Boden-Hotspots sowie im Abstrom wurden die gemittelten Grundwasserergebnisse bestimmt und über die standortspezifischen Geohydraulikparameter die entsprechenden PFOS-Frachten bestimmt.

Die nachfolgende Tabelle 5-23 zeigt die wesentlichen Ergebnisse dieser Berechnungen. Daraus ergibt sich mit ca. 16 g PFOS p.a. eine niedrigere Fracht wie über die Grundwasserneubildung abgeschätzt (siehe Tabelle 5-22). Für die Gefährdungsabschätzung empfehlen wir, die aus den Grundwassertransekten ermittelten Schadstofffrachten heran zu ziehen. Diese sind aus unserer Erfahrung deutlich plausibler als die Frachten, die sich aus der Abschätzung der Grundwasserneubildung ergeben.

Tabelle 5-23: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF 500

Kontaminationsfläche	KF 500		
	Anstrom	Abstrom	Differenz
Abstrombreite Fahne [m]	70	70	
mittlere Aquifermächtigkeit [m]	7,5	7,5	
kf-Wert [m/s]	4,7E-03	4,7E-03	
Hydraulisches Gefälle i [-]	0,04%	0,04%	
GW-Umsatz [l/s]	1,0	1,0	
GW-Umsatz [m³/d]	86	86	
mittlere Konzentration PFOS [µg/l]	0,08	0,59	
Fracht [g/d]	0,01	0,05	0,04
Fracht [g/a]	2,5	18,4	15,9

Nach der Arbeitshilfe LAWA/LABO-Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ entspricht die berechnete Fracht in etwa der zu tolerierenden Fracht einer kleinräumigen Grundwasserverunreinigung, die bei PFOS rechnerisch bei ca. 17 g/a liegt. Dennoch ergibt sich aus den ermittelten Flächen (Kontaktfläche Grundwasser), dass keine Einordnung als kleinräumige Grundwasserverunreinigung (1.000 m²) vorgenommen werden kann. Auch das Kriterium „Dauer“ ist bei der Schadstoffgruppe PFC als ungünstig zu bewerten.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass durch die KF 500 vermutlich ein PFC-Eintrag in den Zeller Kanal über die Regenwasserkanalisation stattfindet.

5.2.2.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-24 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KF 500. Die Untersuchungen erbrachten an fünf der 16 Aufschlusspunkten Überschreitungen der vorläufigen Stufe-2-Werte und an sieben weiteren Überschreitungen der vorläufigen Stufe-1-Werte am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden kann. Laut Merkblatt 3.8/1 ergibt sich daraus eine erhebliche Grundwasserverunreinigung.

Im Grundwasserabstrom selbst, welcher durch die Grundwassermessstellen P12, P21 und P22 erschlossen wird, wurden die Ergebnisse durch Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bestätigt und der kausale Zusammenhang zu den vorgefundenen PFC-Befunden im Boden hergestellt. Der Grundwasseranstrom ist dagegen nahezu unbelastet.

Im Sinne der PFC-Leitlinie (April 2017) liegt bei Überschreiten der vorläufigen Schwellenwerte „...i.d.R. eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vor“. Durch den Zusammenhang der vorläufigen Schwellenwerte mit den GFS-Werten ist damit auch eine Erheblichkeit der Grundwasserverunreinigung gegeben.

Zusammenfassend hat sich an der KF 500 der Altlastenverdacht bestätigt bzw. ergibt sich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung, die aufgrund der berechneten Frachten und Ausmaße des Kontaminationsbereichs bei aktuellem Kenntnisstand nicht als kleinräumige Kontamination betrachtet werden kann. Durch die aktuellen Untersuchungen kann die Kontaminationsfläche aus Sicht des Gutachters hinreichend lateral und vertikal abgegrenzt werden und damit eine abschließende Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden.

Damit sind Maßnahmen i.S. des BBodSchG §4 angezeigt, was Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen oder – soweit nicht möglich oder unzumutbar – weitere Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bedeuten kann. Hierzu sind Sanierungsuntersuchungen bzw. -planungen (Phase III) durchzuführen, in denen durch Varianten- und Machbarkeitsstudien unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit Maßnahmen zur dauerhaften Abwehr der zuvor beschriebenen Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen geprüft werden.

Laut BFR BoGwS ergibt sich u. E. eine Einstufung in die Kategorie D.

Allerdings wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen, die Ergebnisse der Phase IIa-2 Untersuchungen an der KVF 264 „Ehemalige Lagerhalle Feuerwehr“ und ggf. der KVF 501 „Neue Feuerwache“ zu berücksichtigen. Die vorläufigen Untersuchungsergebnisse

an den beiden KVF weisen auf hohe PFC-Belastungen im Boden und Grundwasser hin, sodass sich unter Umständen eine KF/KVF-übergreifende Beurteilung/Bearbeitung als zielführend erweist. Sollte dieser Empfehlung gefolgt werden, muss für die laterale und vertikale Abgrenzung weiterer Untersuchungsaufwand betrieben werden, sodass die Einstufung in diesem Fall in die Kategorie E fallen würde.

Die letztendliche Entscheidung zu diesem Punkt treffen die zuständigen Behörden.

Tabelle 5-24: Zusammenfassung KF 500 „Alte Feuerwache“

KF 500 „Alte Feuerwache“ (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Ehemalige Feuerwehreinsatzstelle des Flugplatzes Neuburg
Dauer:	Beginn unbekannt, bis 2008
Grundwasseruntersuchungen PFT (Gibs, 2014):	
Boden:	Keine Bodenuntersuchungen
Grundwasser:	Errichtung und Untersuchung einer Grundwassermessstelle (CMT, DP11); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte für PFOS (max. 0,35 µg/l), PFHxS (max. 1,7 µg/l) und PFNA (max. 0,079 µg/l)
Phase IIa-1 Untersuchungen (Gibs, 2015):	
Boden:	10 Linersondierungen bis in 3,1 m Tiefe, 41 Bodenproben, Analyse von 35 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 21 Proben bzw. 7 Aufschlüssen, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 5 Proben bzw. einem Aufschluss Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 3.800 m ²
Grundwasser:	Errichtung von 4 Grundwassermessstellen (P11-P14) und zweimalige Beprobung/Analytik der Messstellen DP11 (je drei Proben) und P11-P14 Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei Messstellen für PFOS (P12 max. 1 µg/l, DP11 max. 0,79 µg/l, P11 max. 0,18 µg/l, P13 max. 0,18 µg/l, P14 max. 0,16 µg/l), bzw. PFHxS, PFNA und PFOA
Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb-1: Gibs (2019):	
Boden:	16 Linersondierungen bis max. 4 m Tiefe, daraus 80 Bodenproben, Analytik von 55 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte in 5 Sondierungen bzw. 10 Proben, Überschreitung der vorläufigen Stufe-1-Werte in 7 Sondierungen bzw. 13 Proben Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 6.400 m ² ; Fracht (PFOS) aus Grundwasserneubildung/Eluat: 27 - 459 g/a
Grundwasser:	Errichtung von 4 Grundwassermessstellen (P20-P23) und 2 Direct-Push-Grundwassersondierungen (GWS-28, GWS-47), zweimalige Beprobung/Analytik an neun GWM (DP11, P11-P14, P20-P23); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an drei GWM (P12, P21, P22) für PFOS (max. 1,1 µg/l), PFHxS (max. 2,2 µg/l), PFNA (max. 0,9 µg/l); Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte an bei GWS-47 (PFOS 0,8 µg/l, PFHxS 1 µg/l, PFNA 0,3 µg/l) Fracht mittel (PFOS): ca. 16 g/a
Bewertung u. Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; Kontaminationsbereich weitestgehend abgegrenzt; abschließende Gefährdungsabschätzung möglich
Bewertung nach BFR BoGWS:	Kat. D
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Maßnahmen im Sinne einer Sanierungsuntersuchung erforderlich

6 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die abschließende Gefährdungsabschätzung hat ergeben, dass bei allen zwei Kontaminationsflächen Handlungsbedarf besteht:

- **KF 029: Feuerlöschübungsbecken**
- **KF 500: Alte Feuerwache**

Hierzu sind im Einklang mit der Bundesbodenschutzgesetzgebung Sanierungsuntersuchungen und Sanierungsplanungen in Form von Varianten- und Machbarkeitsstudien durchzuführen.

Bei den Planungen wird empfohlen, die Standorte nicht isoliert zu betrachten, sondern im Kontext auch mit den anderen noch in der Orientierenden Untersuchung befindlichen Flächen. Dies gilt im Besonderen für die KF 500 aufgrund der Nähe zu weiteren in Phase IIa-2 befindlichen KF/KVF und der sich im Grundwasser überlagernden Kontaminationsfahnen.

Als Maßnahmen können Dekontamination (Aushub), Sicherung (Versiegelung), Überwachung (Monitoring) sowie Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen in Frage kommen.

Weiterhin sind Überlegungen für Maßnahmen am Grund- und Oberflächenwasser anzustellen.

Insgesamt sind jedoch alle möglichen und machbaren Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen zu erarbeiten, zu bewerten und unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit für die Zielsetzung zu vergleichen, um zu einer sinnvollen und zielführenden Lösung zu kommen. Aus gutachterlicher Sicht ist jedoch davon auszugehen, dass ein unbelasteter Urzustand sowohl im Boden als auch im Grund- und Oberflächenwasser nicht zu erreichen sein wird. Dazu ist über einen zu langen Zeitraum auf zu vielen und zu großen Flächen mit Substanzen umgegangen worden, die zum damaligen Zeitpunkt als wasserrechtlich unbedenklich galten und entsprechend der gesetzlichen Regelungen eingesetzt wurden.

Weiterhin werden die Maßnahmen beim Oberflächenwasser nicht zum Erreichen der Umweltqualitätsnorm bis zum Jahre 2027 führen können.

Weiterhin wird an dieser Stelle die gutachterliche Empfehlung ausgesprochen, die o.g. Planungen mit der ausreichenden Tiefenschärfe und Sorgfalt durchzuführen.

Die letztendliche Entscheidung über notwendige Maßnahmen treffen die zuständigen Behörden.

7 Zusammenfassung

Mit den vorliegenden Phase IIb-2 Untersuchungen konnte die Gefährdungsabschätzung für die zwei KF

- **KF 029: Feuerlöschübungsbecken**
- **KF 500: Alte Feuerwache**

abgeschlossen werden. Durch die Untersuchungen konnte der eindeutige Zusammenhang zwischen flächigen Bodenverunreinigungen und davon ausgehenden erheblichen Grundwasser- und Oberflächenwasserverunreinigungen belegt werden. Die ermittelten Schadstoffpotenziale im Boden und Schadstofffrachten im Grundwasser können nicht als kleinräumig eingestuft werden.

Eine Außenwirkung größeren Ausmaßes resultiert insbesondere an der nordwestlichen Liegenschaftsgrenze verursacht durch den Standort der KF 029 „Feuerlöschübungsbecken“. Auch die KF 500 „Alte Feuerwache“ trägt zu einer nachteiligen Außenwirkung insbesondere über das Oberflächenwasser (Zeller Kanal) bei.

Bei allen beiden Standorten konnte der Gefahrenverdacht für das Allgemeingut Grundwasser und Oberflächenwasser nachgewiesen werden.

Aus diesem Grunde wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen, Maßnahmen i.S. des BBodSchG §4 innerhalb einer Sanierungsuntersuchung zu prüfen (siehe nachfolgende Tabelle 7-1).

Bei den Planungen wird empfohlen, die Standorte nicht isoliert zu betrachten sondern im Kontext auch mit den anderen noch in der Orientierenden Untersuchung befindlichen Flächen.

Die letztendliche Entscheidung hierüber treffen die zuständigen Behörden.



Tabelle 7-1: Zusammenfassende Bewertung der untersuchten KF

KF	Lokalität	Bewertung und Schadensbereiche:	Bewertung nach AHBöGwS:	Vorgeschlagene Maßnahmen:
029	Feuerlösch-übungsbecken	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; Gefährdungsabschätzung abgeschlossen Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit i.S. §4 BBodSchG belegt	Kat. D	Sanierungsuntersuchung zur Auswahl von Maßnahmen nach §4 BBodSchG erforderlich
500	Alte Feuerwache	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; Gefährdungsabschätzung abgeschlossen Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit i.S. §4 BBodSchG belegt	Kat. D	Sanierungsuntersuchung zur Auswahl von Maßnahmen nach §4 BBodSchG erforderlich

8 Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften

Literatur

- [1] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2014): NATO-Flugplatz Neuburg, Grundwasseruntersuchung PFT – Nürnberg.
- [2] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): NATO-Flugplatz Neuburg, Bodenuntersuchungen im Bereich des ehem. Feuerwehrübungsbeckens – Nürnberg.
- [3] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): "Neubau Kontrollturm" Neuburg a. d. Donau; Bauwasserhaltung; Abschlussbericht zum Betrieb einer Aktivkohle-Reinigungsanlage – Nürnberg.
- [4] BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am NATO-Flugplatz Neuburg/Donau – München.
- [5] Staatliches Bauamt Ingolstadt: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am NATO-Flugplatz Neuburg/Donau – Ingolstadt.
- [6] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU, 2012): PFC-Untersuchungen in Oberflächengewässern in Umfeld von Flughäfen – München.
- [7] Pionierschule und Fachschule des Heeres für Bautechnik (1995): Geologische / Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich des Fliegerhorst Neuburg / Donau – München.
- [8] Tauw gmbH (2014): Fliegerhorst Neuburg a.d. D., Untersuchung von Boden und Grundwasser auf Schadstoffe inkl. PFT – Regensburg.
- [9] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2015): Endbericht Orientierende Untersuchung Phase IIa am Nato-Flugplatz Neuburg a.d. Donau – Nürnberg.
- [10] Mull & Partner Ingenieurgesellschaft GmbH (M&P, 2018): Historische Erkundung NATO-Flugplatz Neuburg – München.
- [11] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs, 2018): PFC-Untersuchungskonzept für weitere Untersuchungen nach Phase IIa/b NATO-Flugplatz Neuburg/D – Nürnberg.
- [12] Sellhoff GmbH (2014): LAK Teil A
- [13] Peter Fischer (2016): „Fluviale Morphodynamik und eigendynamische Entwicklung“. Untersuchungen an einem naturnahen Umgebungsbach im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der Mathematisch-Geographischen Fakultät der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt.

- [14] Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2015): Klimadaten Wetterstation Burgheim
- [15] Bayerisches Landesamt für Umwelt (2019): Tageswerte Grundwasserstände 2014 – 2019 Grundwassermessstelle Heinrichsheim 34.02, Messstellen-Nr.: 11664, Betreiber Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt, Augsburg.
- [16] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010): Umgang mit fluorhaltigen Löschschäumen in NRW. Recklinghausen.

Kartengrundlagen

- [17] Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Nr. 7233, Blatt Neuburg a. d. Donau
- [18] Hydrogeologischer Karte (HK) von Bayern im Maßstab 1:100.000, Planungsregion 10 Ingolstadt
- [19] Hydrogeologischer Karte (HK) von Bayern im Maßstab 1:500.000
- [20] BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung

Rechtsvorschriften, Richtlinien und Merkblätter

- [21] Bundes-Bodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) vom 17.03.1998.
- [22] Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999.
- [23] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31.07.2009.
- [24] Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – BayBodSchG) vom 23.02.1999.
- [25] Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25.02.2010.
- [26] Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2017): Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden. München.
- [27] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Merkblatt 3.8.1: Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer, 31.10.2001.
- [28] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser/Boden (LAWA/LABO) (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, Mainz.
- [29] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) (2018): Baufachliche Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz, Berlin/Bonn.

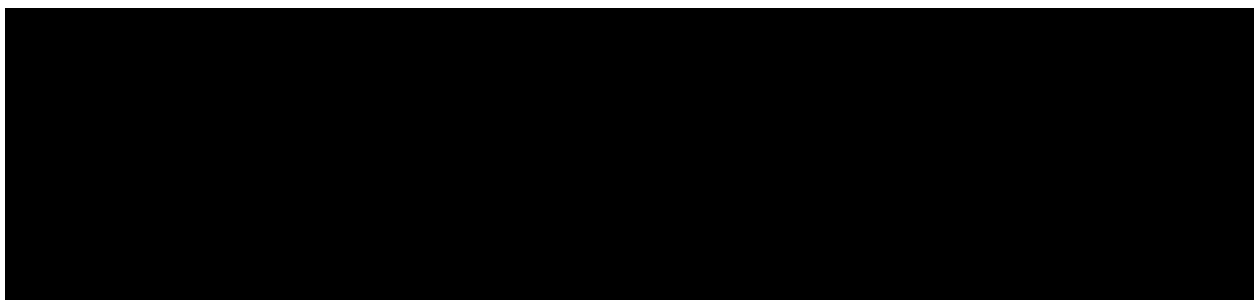
-
- [30] Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2018): Hinweise für Sachverständige und Untersuchungsstellen Boden/Wasser, Newsletter vom 26.06.2018. Augsburg.

Nürnberg, 12. März 2020



GEOLOGEN + INGENIEURE GMBH & Co. KG

DEICHSLERSTRASSE 25, D - 90489 NÜRNBERG



(Sachverständiger §18
BBodSchG SG 1, 2, 5)

(Sachverständiger §18
BBodSchG SG 2, SG 6)

(Projektleitung)