

ENDBERICHT DER DETAIL-UNTERSUCHUNG EINER KONTAMINATIONSFLÄCHE (PHASE IIB) AUF DER BUNDESLIEGENSCHAFT OTTO-LILIENTHAL- KASERNE ROTH KF 112 – FEUERLÖSCHÜBUNGSBECKEN (FÜB)

VERTRAGSNUMMER: 19 D 3238 0 00

LIEGENSCHAFTSNUMMER: WE 3573

DATUM: 14. AUGUST 2020

AUFTRAGGEBER:

STAATLICHES BAUAMT NÜRNBERG

Staatliches Bauamt
Nürnberg



ZOLLHOF 6

D - 90443 NÜRNBERG

AUFTRAGNEHMER:



GEOLOGEN + INGENIEURE GMBH & CO. KG

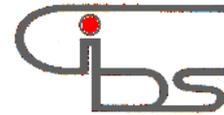
DEICHSLERSTRASSE 25

D - 90489 NÜRNBERG

PROJEKTLEITER: XXXXXXXXXX

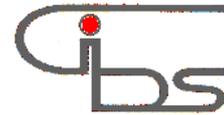
PROJEKTNR. GIBS: 095-G-19/125

AUSFERTIGUNG:



INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass und Aufgabenstellung	6
2	Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn	9
2.1	Vorhandene Unterlagen und Berichte	9
2.2	Liegenschaftsbeschreibung	9
2.2.1	Lage und gegenwärtige Nutzung	9
2.2.2	Historische Entwicklung	11
2.3	Standortsituation	11
2.3.1	Niederschlag und GW-Neubildung	11
2.3.2	Geologie	12
2.3.3	Hydrogeologie	14
2.3.4	Hydrologie	14
2.3.5	Schutzgebiete	14
3	Grundlagen der Ergebnisbeurteilung	15
3.1	Eigenschaften von PFC	15
3.2	Bewertungskriterien und -maßstäbe	17
3.2.1	Wirkungspfad Boden – Mensch	17
3.2.2	Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze	17
3.2.3	Wirkungspfad Boden – Gewässer (LfW-Merkblatt 3.8/1)	17
3.2.4	Bewertungskriterien Oberflächenwasser	20
3.2.5	Kategorisierung nach BFR BoGWS	21
4	Durchführung der Untersuchungen	23
4.1	Feldarbeiten	23
4.1.1	Probenahmen	24
4.1.2	Vermessungsarbeiten	27
4.2	Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz	27
4.3	Laboruntersuchungen/Chemische Analytik	28
4.4	Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter	29
5	Untersuchungsergebnisse	30
5.1	Liegenschaftsbezogene Ergebnisse	30
5.1.1	Ergebnisse von Recherchen	30



5.1.2	Boden- und Untergrundaufbau	31
5.1.3	Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung	32
5.1.4	PFC-Belastung Grundwasser	36
5.1.5	PFC-Belastung Oberflächengewässer	38
5.1.6	PFC-Belastung Entwässerungssystem	41
5.1.7	PFC-Belastung Bodenmischproben und Erntegut.....	42
5.1.8	Qualitätsicherungs (QS) Untersuchungen.....	42
5.2	Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KF	43
5.2.1	KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken FÜB“	45
6	Empfehlungen für das weitere Vorgehen.....	57
7	Zusammenfassung	60
8	Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften.....	62

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Übersichtsplan (BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung).....	10
Abbildung 2-2: Geologische Karte des Untersuchungsgebiets.....	13
Abbildung 3-1: Modellstruktur und Strukturformel von PFOA und PFOS.....	15
Abbildung 3-2: Physikalische und chemische Eigenschaften der PFC in Abhängigkeit von der Kettenlänge.....	16
Abbildung 5-1: Untergrundaufbau im Bereich der Grundwassermessstelle GWMFL1.....	32
Abbildung 5-2: Grundwasserstand und Niederschlag am FÜB.....	33
Abbildung 5-3: Lageplan KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“.....	45
Abbildung 5-4: Querschnitt Feuerlöschübungsbecken nach Standardplanung	47

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Projektteam	6
Tabelle 1-2: Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb	7
Tabelle 2-1: Historische Entwicklung Otto-Lilienthal-Kaserne Roth.....	11
Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Roth	12
Tabelle 3-1: Typische PFC-Konzentrationen in Feuerlöschmitteln, lanuv NRW [mg/kg]	16
Tabelle 3-2: Vorläufige Stufenwerte für den Pfad Boden-Grundwasser	18
Tabelle 3-3: Bewertung der orientierenden Untersuchung nach LfW Merkblatt 3.8/1.....	18
Tabelle 3-4: Vorläufige Schwellenwerte für Grund- und Trinkwasser	19
Tabelle 3-5: Kriterien zur Prüfung Verhältnismäßigkeit nach LAWA/LABO.....	20
Tabelle 3-6: PNEC _{aquatisch} -Werte für PFC für die Beurteilung von Oberflächengewässern	21
Tabelle 4-1: Am Projekt beteiligte Unternehmen	24
Tabelle 4-2: Übersicht Bodenaufschlüsse	25
Tabelle 4-3: Stammdaten 2“-Grundwassermessstellen	26
Tabelle 4-4: Untersuchte Oberflächenwasser und Grundwasseraufschlüsse	26
Tabelle 5-1: PFC-Belastung der Grundwasserproben	37

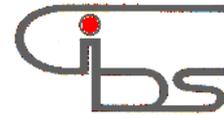


Tabelle 5-2: PFC-Belastung im Oberflächenwasser	39
Tabelle 5-3: Durchflussmessungen und -abschätzungen Oberflächengewässer	40
Tabelle 5-4: Frachtabschätzungen Oberflächengewässer	40
Tabelle 5-5: PFOS-Konzentration Entwässerungssystem.....	41
Tabelle 5-6: Ergebnisse der QS Untersuchungen	43
Tabelle 5-7: PFC-Belastung der Bodenproben (2:1-Eluat) nach Einzelparameter	44
Tabelle 5-8: Bisherige analytische Untersuchungen KF FÜB.....	47
Tabelle 5-9: Kontaminationsverteilung am Feuerlöschübungsbecken anhand des Einzelparameters PFOS.....	49
Tabelle 5-10: PFC-Belastung im Grundwasser an der KF FÜB.....	50
Tabelle 5-11: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF FÜB	53
Tabelle 5-12: Zusammenfassung KF FÜB „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“	56
Tabelle 6-1: Zusammenfassung der empfohlenen Untersuchungen für die Phase IIb-2	58
Tabelle 7-1: Zusammenfassende Bewertung der untersuchten KF	61

ANLAGEN

Anlage 1: Karten

Anlage 2: Analysenergebnisse

Anlage 3: Probenahmeprotokolle

Anlage 4: Laborprotokolle

Anlage 5: Schichtenverzeichnisse

Anlage 6: Vermessungsdaten der Aufschlüsse

Anlage 7: Entwässerung OLK Roth

1 Anlass und Aufgabenstellung

Mit Datum vom 30. September 2019 wurde das Ingenieurbüro Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG vom Staatlichen Bauamt Nürnberg mit dem Projekt „Gefährdungsabschätzung – Phase II fachtechnische Baubegleitung / Sanierungsüberwachung von kontaminationsverdächtigen (KVF) und kontaminierten Flächen (KF) auf der Bundesliegenschaft Otto-Lilienthal-Kaserne Roth“ (Vertragsnr. 19 D 3238 0 00, Maßnahmennummer 40102) nach Vorgabe der Baufachlichen Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz (BFR BoGwS) 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
	Landesbaudirektion Nürnberg
Vertragsangelegenheiten:	Staatliches Bauamt Nürnberg
Auftragnehmer:	Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG
Abteilungsleitung:	██████████
Projektleitung und -bearbeitung:	██████████
Sachverständige gemäß §18 BBodSchG:	██████████ (Sachgebiete 1, 2, 5)
	██████████ (Sachgebiete 2, 6)

Auftragsgegenstand ist die Erbringung von Leistungen für die Orientierende Untersuchung (Phase IIa) bzw. Detailuntersuchung (Phase IIb) des Grundwassers sowie der ungesättigten Bodenzone auf der Otto-Lilienthal-Kaserne in Roth. Eine historische Erkundung (Phase I, 26.09.2018) bezüglich der Schadstoffgruppe PFC wurde durch das Referat K 6 des BW-Kompetenzzentrums durchgeführt und diente als Grundlage für die Erarbeitung des Untersuchungskonzeptes durch das Bauamt Nürnberg und die LBD. Die Untersuchungen dieses Konzeptes waren ursprünglich ausschließlich auf die Erkundung der festgestellten PFC-Kontaminationen im Bereich der Liegenschaft ausgelegt. Im Rahmen des Besprechungstermins vom 17.10.2019 (s.u.) wurde seitens des WWA Nürnberg angeregt, an ausgewählten Stellen noch zusätzliche Schadstoffparameter (MKW, PAK, LHKW und BTEX) mit zu untersuchen. Die Ergebnisse der Phase-IIa Untersuchungen wurden bereits in einem separaten Bericht dokumentiert und vorgelegt und deshalb im Weiteren nicht mehr erläutert (Gibs 2020).

Die aktuellen Untersuchungen (**Phase IIb**) beinhalten eine KF.

Am 17.10.19 fand auf dem Gelände der Otto-Lilienthal-Kaserne in Roth eine Besprechung mit Vertretern des BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6, der Landesbaudirektion, des Wasserwirtschaftsamtes Nürnberg, des Landratsamtes Roth, des Staatlichen Bauamtes Nürnberg und dem Ingenieurbüro Gibs statt. Im Rahmen der Besprechung wurde der Untersuchungsumfang genauer definiert und erweitert. Im Anschluss an die Besprechung wurde das gesamte Untersuchungsgebiet gemeinsam in Augenschein genommen.

Mit Datum vom 15. Januar 2020 wurde auf der Grundlage der Besprechungsinhalte vom 17.10.2019 ein erweitertes Untersuchungs- und Probenahmekonzept erstellt, welches mit dem BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6 (BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6) sowie den Fachbehörden (WWA Nürnberg, LRA Roth) abgestimmt wurde.

Im Zuge dieser Untersuchungen wurden von Januar 2020 bis Mai 2020 die in Tabelle 1-2 aufgeführten Untersuchungen (Hauptauftrag und Nachbeauftragungen) durchgeführt.

Tabelle 1-2: Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb

Phase IIb	
ungesättigte Bodenzone	19 Rammkernsondierungen
	Entnahme von 82 Bodenproben und PFC-Analytik von 68 Bodenproben im 2:1-Eluat, sowie 6 Bodenproben im S4-Eluat
gesättigte Bodenzone	Errichtung von fünf 2"-Grundwassermessstellen
	Entnahme von 10 Grundwasserproben und Analytik auf PFC
Oberflächenwasser und Entwässerungssystem	Entnahme von 2 Oberflächenwasserproben im Umfeld der OLK und Analytik auf PFC
	Durchführung von Durchflussmessungen an zwei Oberflächengewässern
	Entnahme einer Wasserprobe aus dem Schachtbauwerke am FÜB und Analytik auf PFC
Ackerflächen	Entnahme von 40 Bodenproben von 20 Ackerflächen (je 0-10 cm und 10-30 cm) und Analytik auf PFC
	Entnahme von 2 Erntegutproben (Grünfläche) und Analytik auf PFC

Auf der Grundlage der HGR wurde seitens der Bauverwaltung entschieden, dass für die Kampfmittelfreimessung kein Kampfmittelräumkonzept erstellt werden muss, sondern



dass die Ansatzpunkte von der Oberfläche aus frei gemessen werden können (Förster-Sonde).

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

Die Untersuchungen wurden an den folgenden KF durchgeführt:

- **Ehem. Feuerlöschübungsbecken (FÜB)**

Die Lage der KF ist der Anlage 1, Blatt 1 zu entnehmen. Im Anschluss erfolgt eine Gefährdungsabschätzung hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Grundwasser inkl. Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise und evtl. nötiger Gefahrenabwehrmaßnahmen.

Eine Gefährdungsabschätzung hinsichtlich der Wirkungspfade Boden–Mensch bzw. Boden-Nutzpflanze war nicht Gegenstand des Auftrages.

2 Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn

2.1 Vorhandene Unterlagen und Berichte

- OFD Hannover (2005): Historisch-genetische Rekonstruktion Heeresflugplatz Roth / Otto-Lilienthal-Kaserne.
- R & H Umwelt GmbH (2012): Orientierende Bodenuntersuchungen im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens Otto-Lilienthal-Kaserne Roth – Nürnberg.
- R & H Umwelt GmbH (2015): Otto-Lilienthal-Kaserne Roth Errichtung 2“ Schichtwassermessstelle Feuerlöschübungsbecken – Nürnberg.
- BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 (2018): Fragebogen Nacherfassung PFC-Verdachtsflächen – München.
- Referat K 6 BW-Kompetenzzentrum (26.09.2018):“ Fragebogen Nacherfassung PFC-Verdachtsflächen“.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2019): Befund / Gutachten Weiher V – Erlangen.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2019): Befund / Gutachten Weiher III – Erlangen.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (2019): Befund / Gutachten Weiher Eisenhammer – Erlangen.
- Stadtwerke Roth (2019): Untersuchungsberichte zur Untersuchung der Trinkwasserbrunnen im Rothgrund – Roth.
- Wasserwirtschaftsamt Nürnberg (2019): Probenahme an Fließgewässern um die OL-Kaserne Roth – Nürnberg.
- Gibs geologen + ingenieure (2020): Endbericht der Orientierenden Untersuchungen von 6 kontaminationsverdächtigen Flächen (Phase IIa) auf der Bundesliegenschaft Otto-Lilienthal-Kaserne Roth – Nürnberg.

2.2 Liegenschaftsbeschreibung

2.2.1 Lage und gegenwärtige Nutzung

Die Otto-Lilienthal-Kaserne liegt ca. 2 km südlich von Roth (siehe Abbildung 2-1) und umfasst eine Fläche von ca. 173,8 ha bei einer Ost-West-Ausdehnung von ca. 3,2 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 1,5 km. Die Kaserne liegt auf einer Höhe von ca. 387 m im Westen bzw. 370 m im Osten. Der zentrale Bereich der Liegenschaft ist leicht geringfügig nach Osten geneigt. Auf dem Kasernengelände befindet sich ein Start-/Landestreifen für Hubschrauber, der zentral auf der Liegenschaft liegt und in Ost-West-Richtung verläuft. Das Gelände um die Otto-Lilienthal-Kaserne ist überwiegend landwirtschaftlich genutzt oder bewaldet.



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

2.2.2 Historische Entwicklung

Die historische Entwicklung der Otto-Lilienthal-Kaserne ist in Tabelle 2-1 aufgeführt.

Tabelle 2-1: Historische Entwicklung Otto-Lilienthal-Kaserne Roth

Datum	Landnutzung
1938	Errichtung des Flugplatzes durch die Wehrmacht (Luftwaffe).
1938 bis 1945	Nutzung durch die Luftwaffe.
April 1945	Flugplatz durch US-Luftwaffe bombardiert.
22. April 1945	Einnahme durch US Streitkräfte der 45. Infanterie Division
1945 - 1956	Nutzung der Kaserne durch amerikanische Streitkräfte
1956 bis heute	Übergabe an die Bundeswehr und Nutzung als Hubschrauberflugplatz und zu Ausbildungszwecken.

2.3 Standortsituation

2.3.1 Niederschlag und GW-Neubildung

Auf dem Kasernengelände befindet sich seit 1971 die Wetterstation Roth des Deutschen Wetterdienstes (siehe Tabelle 2-2). Im langjährigen Mittel (2005 – 2019) wurde an dieser Station ein Jahresniederschlag von 623,8 mm/a ermittelt. Dies entspricht einem mittleren Monatsniederschlag von ca. 52 mm.

Im Jahr 2019 fielen 566 mm Niederschlag. Dies entspricht einem Monatsmittel von ca. 47 mm. Damit war das Jahr 2019 trockener als im langjährigen Mittel. In der 15-jährigen Zeitreihe der ausgewerteten Niederschlagsdaten gab es seit dem Jahr 2005 nur drei trockenere Jahre. Weniger Niederschlag in der Zeitreihe fiel nur in den Jahren 2017 (absolut trockenstes Jahr), 2015 und 2012. Diese ausgeprägte Dürreperiode kann durch die mittleren Niederschläge der Jahre 2016 und 2018 nicht kompensiert werden, so dass hydro-klimatisch von einer trockenen oder Dürrephase ausgegangen werden kann.

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich der Otto-Lilienthal-Kaserne von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von ca. 125 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei ca. 75 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei ca. 175 mm/a.

Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Roth

Jahr	Niederschlag Roth [mm]
2005	652,9
2006	569,5
2007	857,3
2008	662,8
2009	626,9
2010	724,4
2011	704,6
2012	533,8
2013	618,4
2014	584,3
2015	509,6
2016	650,5
2017	460,1
2018	635,1
2019	566
Minimum	460,1
Maximum	857,3
Mittelwert	623,8

2.3.2 Geologie

Der Untergrund des Untersuchungsgebietes besteht laut der Geologischer Karte (GK) Bayern Nr. 6732, Blatt Roth aus Ablagerungen des Mittleren Burgsandstein. Am Rand der Liegenschaft, vor allem im nördlichen Bereich beißt die Basislettschicht des Mittleren Burgsandstein mit der Grenze der Liegenschaft aus.

Im zentralen östlichen Bereich der Liegenschaft befindet sich ein holozänes Anmoor welches in die holozäne Talfüllung des Rötelgraben übergeht (siehe Abbildung 2-2 und Anlage 1 Plan 2).

Wie in der Abbildung 2-2 gut zu erkennen ist, befindet sich ein Großteil der Liegenschaft auf einem „Höcker“ des Mittleren Burgsandstein. Die Basislettschicht zum unteren Burgsandstein ist durchgängig vorhanden. Es sind mehrere Quellgebiete im Bereich der Basisletten verzeichnet.

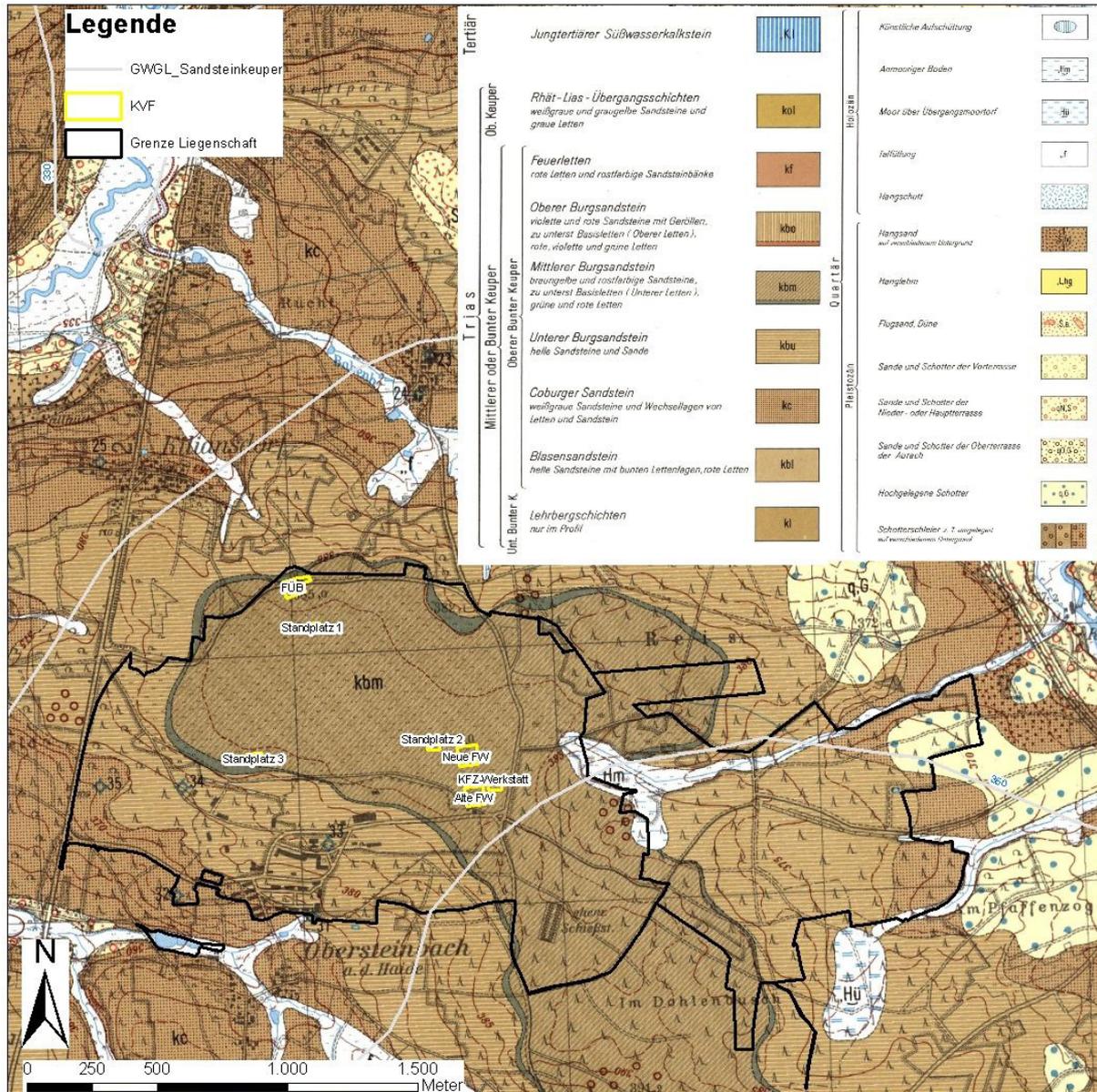


Abbildung 2-2: Geologische Karte des Untersuchungsgebiets



2.3.3 Hydrogeologie

Das oberflächennahe Grundwasser auf der OLK wird aktuell nur mit zwei vier Meter tiefen permanenten 2“-GWM erschlossen. Weitere permanente Aufschlüsse im Bereich der Liegenschaft existieren nach unserem Kenntnisstand bisher nicht. Der Flurabstand des oberen Grundwassers in diesen Messstellen beträgt ca. 1,5 m unter Geländeoberkante (GOK) am FÜB und ca. 3,7 m unter Geländeoberkante (GOK) im südöstlichen Lagerbereich. Die Basis des oberen Grundwasserleiters bildet die Grenzlettschicht zwischen dem Mittleren und Unteren Burgsandstein.

Außerhalb der Liegenschaft wird das Grundwasser durch mehrere Grundwasserbrunnen erschlossen über die keine weiteren Daten vorliegen.

Im Bereich der Otto-Lilienthal-Kaserne fließt das tiefere Grundwasser laut hydrogeologischer Karte von Bayern im Maßstab 1:100.000 (HK 100) in nordwestliche Richtung. Für das obere Grundwasser liegen keine Erkenntnisse über die Fließrichtung vor.

2.3.4 Hydrologie

Hauptvorfluter im Westen der OLK ist die Rednitz, die ca. 1 km westlich der Liegenschaft verläuft. Im Osten ist der Hauptvorfluter die Roth, die ca. 1,5 km östlich der Liegenschaft verläuft. Beide Vorfluter vereinen sich in ca. 2 Km nördlicher Entfernung in der Stadt Roth.

Im Norden der Liegenschaft entspringt der Babenbach in der Nähe der Liegenschaftsgrenze. Im Osten entspringt der Rötelgraben innerhalb der Liegenschaft. Weitere Oberflächengewässer entspringen im Nahbereich der Liegenschaft. Die Regenüberlaufbecken der Liegenschaft entwässern in diese Bachläufe. Die Lage der Oberflächengewässer sind der Anlage 1 Karte 1 zu entnehmen.

Zusätzlich befinden sich zahlreiche Weiher rund um die Liegenschaft die in der Regel landwirtschaftlich genutzt werden.

2.3.5 Schutzgebiete

Das Trinkwasserschutzgebiet Roth, St (Gebietskennzahl 2210673200146) grenzt im Süden der Otto-Lilienthal-Kaserne direkt an die Liegenschaft an. Ca. 2 Km Nordnordöstlich befindet sich ebenfalls ein Trinkwasserschutzgebiet (Gebietskennzahl 2210673200062), welches sich aber größtenteils jenseits des Vorfluters der Roth befindet.

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.

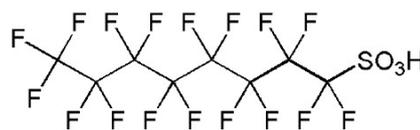
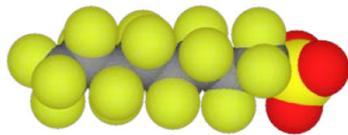
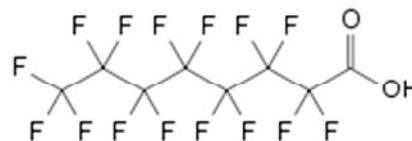


Abbildung 3-1: Modellstruktur und Strukturformel von PFOA und PFOS

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

Grundsätzlich weisen kurz-kettige PFC eine höhere Bodenmobilität auf als lang-kettige PFC, da die Molekülstruktur insgesamt kleiner ist. Somit gelangen kurz-kettige 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				
Perfluordecansulfonsäure (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 Organewebe 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)).

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

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-Verordnung 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 oder verwendet werden.

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). 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

Der Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze wurde lediglich überblicksweise untersucht. Die entsprechenden Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln mit betrachtet.

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.

Aufgrund derzeit laufender Fachdiskussionen sind gemäß 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.

Gemäß den aktuellen Vorgaben der Bundeswehr und des LfU und in Konformität zur Ausschreibung, wurden die Bodenuntersuchungen für PFC im 2:1 Eluat (DIN 19529:2009-01) durchgeführt. Die Qualitätssicherungsproben mussten im S4-Eluat (DIN 38414-4:1984-10) bestimmt werden, da das vorhandene Bodenmaterial in keinem Fall mehr für eine weitere 2:1-Eluat-Untersuchung ausreichend war.

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** beschriebenen Vorgehensweise. Zur Gefährdungsabschätzung des Wirkungspfades Boden - Grundwasser werden die Eluatwerte des S2-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
Perfluomonansäure	PFNA	0,06	$\Sigma (C_i/\text{Stufe-1}_i) \leq 1$	0,25	$\Sigma (C_i/\text{Stufe-2}_i) \leq 1$
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	0,1		0,4	
Perfluoroctansäure	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	
Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	0,1		0,4	
Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	0,3		1	
Perfluorheptansäure	PFHpA	0,3		1	
Perfluorpentansäure	PFPeA	3		12	

Ergeben die im Zuge der „Orientierenden Untersuchung“ (Phase IIa) durchgeführten Elutionsversuche eine Unterschreitung des Stufe-1-Wertes (\cong Prüfwert) am Ort der Probenahme, kann auch für den „Ort der Beurteilung“ von einer Prüfwertunterschreitung ausgegangen werden. Damit gilt der Gefahrenverdacht als ausgeräumt.

Überschreiten die Eluatwerte den Stufe-1-Wert am Ort der Probenahme, kann unter Würdigung der vorgenannten LfU-Leitlinie auch am „Ort der Beurteilung“ (O. d. B.) von einer Prüfwertüberschreitung ausgegangen werden. Damit gilt der Gefahrenverdacht als hinreichend erhärtet. Dies macht in der Regel weitere Erkundungsmaßnahmen im Sinne einer Detailuntersuchung erforderlich. Zusammenfassend ist die Bewertungschronologie in der Tabelle 3-3 wiedergegeben.

Tabelle 3-3: Bewertung der orientierenden Untersuchung nach LfW Merkblatt 3.8/1

Stoffkonzentration am Ort der Beurteilung	Bewertung (orientierende Untersuchung)
< Prüfwert	- Gefahrenverdacht ausgeräumt
> Prüfwert	- hinreichender Gefahrenverdacht erhärtet - Detailuntersuchung erforderlich

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 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.

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

Stoff	Kürzel	Vorläufiger Schwellenwert [µg/l]	Summenbedingung	Begründung
Perfluornonansäure	PFNA	0,06	$\sum (C_i/SW_i) \leq 1$	Jeweils Übernahme des aktuell vorliegenden GFS-Wert-Vorschlages der LAWA
Perfluoroctansulfonsäure	PFOS	0,1		
Perfluoroctansäure	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		
Perfluoroctansulfonamid	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.

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.

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	$PNEC_{aquatisch}$ [$\mu\text{g/l}$]	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.

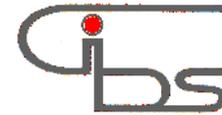
Kategorie E

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. Der Geschäftsführer und Unterzeichner Dr. Heinrich Schoger ist zugelassener Sachverständiger nach §18 BBodSchG für die Sachgebiete 1, 2 und 5. Der Abteilungsleiter und Unterzeichner Heiko Bühler ist zugelassener Sachverständiger nach §18 BBodSchG für die Sachgebiete 2 und 6.

Die Feldarbeiten wurden im Zeitraum von Januar bis Mai 2020 durchgeführt. Im Zuge der Phase IIb Untersuchungen wurden folgende Leistungen ausgeführt:

- Untersuchung der ungesättigten Bodenzone durch insgesamt 19 Rammkernsondierungen mit 82 entnommenen Bodenproben.
- Errichtung und Beprobung von fünf 2“-Grundwassermessstellen im Bereich des FÜB.
- Einmalige Entnahme von 4 Grundwasserproben aus dem offenen Bohrloch.
- Einmalige Beprobung der Bestandsmessstelle GWMFL 1.
- Einmalige Untersuchung des Entwässerungssystems an einer Beprobungsstelle.
- Ca. 3-monatige kontinuierliche Aufzeichnung des Wasserstandes in der Messstelle GWMFL 1 mittels Drucksonde und Datenlogger.
- Vermessung der Bohransatzpunkte nach Lage und teilweise (GWM) nach Höhe.
- Entnahme von 40 Bodenmischproben (jeweils 0-10 cm und 10-30 cm) von 20 Ackerflächen im vermuteten Abstrom des FÜB, Babenbach und Röthelgrabens.
- Messung des Oberflächenabflusses und Probenahme am Babenbach und Röthelgraben.
- Analytik aller Wasserproben (12 Proben) und ausgewählter Bodenproben auf PFC (insgesamt 108 Bodenproben im 2:1-Eluat).
- Analytik von 2 Erntegutproben (Grünland) auf PFC.
- Erstellung eines lokalen Grundwassergleichenplans für den Bereich des FÜB.

Die wasserrechtlich relevanten Maßnahmen (Erdaufschlüsse) wurden in der Auftaktbesprechung am 17.10.19 mit den beteiligten Behörden besprochen und im Untersuchungs- und Probenahmekonzept vom 15.01.2020 schriftlich eingereicht.

Eine Übersicht über die beteiligten Unternehmen im Subunternehmerverhältnis zu Gibs geologen + ingenieure 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/OFD – Durchführung der Rammkernsondierungen. Entnahme von Grund-, Bodenluft- und Oberflächenwasserproben/Bodenproben. Nivellement der 2“-Grundwasserpegel.
AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg	Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG und DAkkS-Akkreditierung, Chemische Untersuchung von Boden- und Wasserproben
JenaBios GmbH	Nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 akkreditiertes Speziallabor , u.a. Chemische Untersuchung Bioabfälle
Süddeutsche Kampfmittelräumung	Kampfmitteltechnische Begleitung der Baumaßnahme

4.1.1 Probenahmen

Rammkernsondierungen

Im Januar/Februar 2020 wurden zur Erkundung der ungesättigten Bodenzone auf PFC-Belastungen am FÜB insgesamt 19 Bodenaufschlüsse (siehe Tabelle 4-2) mittels Rammkernsondierungen bis max. 4 m u GOK angelegt.

Die Ansatzpunkte für die Bodenuntersuchungen wurden unter Berücksichtigung des Untersuchungskonzeptes vom 15. Januar 2020 und des Digitalen Geländehöhenmodells (DGM) 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 mussten einige der Ansatzpunkte (insgesamt 2 Stück) vorgeschachtet werden. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Die Lage der Ansatzpunkte ist den Lageplänen der KF-bezogenen Bewertung (siehe Kapitel 5.2) und der Anlage 1 zu entnehmen. Die Vermessung nach Lage erfolgte durch das Ingenieurbüro Gibs mittels eines GPS (Genauigkeit mindestens 0,5 m). Das Höhennivellement wurde durch das Institut für Grundwasser- und Bodenschutz (Genauigkeit 1 cm) durchgeführt und an einen bekannten Höhenpunkt angebunden.

Die Rammkernsondierungen (Durchmesser 60 - 80 mm), Probenahmen und Schichtenaufnahmen erfolgten durch das Institut für Grundwasser- und Bodenschutz.

Tabelle 4-2: Übersicht Bodenaufschlüsse

Kontaminationsfläche	Kürzel	Anzahl RKS	Summe Bohrmeter [m]	Anzahl GWM	Entnommene Bodenproben	PFC-Analysen im 2:1-Eluat
Feuerlöschübungsbecken	FÜB	19	46,9	5	82	68
Gesamtergebnis		19	46,9	5	82	68

Insgesamt konnten durch die 19 Sondierungen 81 Bodenproben gewonnen werden. Die Bodenproben wurden meter- bzw. horizontweise entnommen. Die Probenahmeprotokolle befinden sich in Anlage 3, die Schichtenverzeichnisse und Ausbauprofile befinden sich in Anlage 5.

Errichtung der 2“-Grundwassermessstellen

Im Anschluss an die Rammkernsondierungen wurden fünf Ansatzpunkte zu 2“-Grundwassermessstellen ausgebaut.

Zum Untersuchungskonzept ergaben sich zwei wesentliche Abweichungen. Zum einen war der vorgesehene Ansatzpunkt der GWMFL 2 bei den Bohrarbeiten trocken, weshalb der Ansatzpunkt FÜB 2 zur Grundwassermessstelle ausgebaut wurde. Die Bezeichnungen der Ansatzpunkte wurden entsprechend vertauscht. Zum anderen war die vorgesehene Endteufe der Grundwassermessstellen von 4 m u GOK mit der vorgesehenen Technik nicht erreichbar, der anstehende geringmächtige Sandstein erwies sich als zu widerständig. Da der Grundwasserstand im Bereich des FÜB höher als erwartet war, war dies unproblematisch für die weitere Erkundung dieser KF.

Die Grundwassermessstelle GWMFL 2 wurde im südwestlichen Randbereich des Feuerlöschübungsbeckens abgeteuft, um den Grundwasseranstrom zu erfassen. Die Messstelle GWMFL 8 sollte den Grundwasserseitstrom erfassen. Drei weitere Messstellen (GWMFL 3, 4 und 7) wurden im erwarteten Abstrom der KF errichtet. Die Lage der Grundwassermessstellen kann Anlage 1 (Plan 4) entnommen werden.

Die Messstellen wurden mittels Rammkernsondierung (Ø 80 mm) abgeteuft und anschließend mit einem 2“-Stahlrammfilter so tief wie möglich ausgebaut. Die Ausbautiefen lagen zwischen ca. 2,0 m und ca. 2,5 m. Bei allen Messstellen wurden 2 m Filterrohr und 1 m Stahlvollrohr verbaut. Der Abschluss erfolgte je mit einer SEBA-Kappe. Die Festlegung der Filter- und Abdichtungsstrecken im Ringraum erfolgte nach den Gegebenheiten vor Ort. Als Filterkies wurde Quarzkies 2 – 3,15 mm gemäß eingebaut. Oberflächlich wurden die Messstellen mit einer ca. 0,3 m mächtigen Tonsperre abgedichtet.

Das Ziel der Bohrungen war es, das oberflächliche schwebende Grundwasserstockwerk möglichst vollständig zu erschließen. Die quartären Schichten wurden unter geringmächtigen Auffüllungsbereichen bzw. geringmächtiger Mutterbodenaufgabe erschlossen und sind überwiegend sandig bzw. schluffig ausgebildet. Die Bohrungen

wurden mit Erreichen des unverwitterten Sandsteins (Keuper) beendet. Die Bohr- und Ausbauprofile sind in Anlage 5 dokumentiert.

Die Messstellen wurden soweit möglich klargepumpt (à 0,5 Std., Förderstrom max. 0,05 l/s) und das Wasser über Aktivkohlefilter abgeleitet und an geeigneter Stelle flächig versickert.

Die Stammdaten der 2“-GWM sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt.

Tabelle 4-3: Stammdaten 2“-Grundwassermessstellen

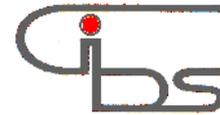
Mess- stelle	X-Koord	Y-Koord	POK	GOK	Filter- oberkante	Filter- unterkante	Endtiefe
	UTM 32N	UTM 32N	NHN	NHN	m u. GOK	m u. GOK	m u. GOK
GWMFL 2	652353,47	5454204,77	386,34	385,40	0,1	2,1	2,1
GWMFL 3	652395,15	5454246,07	385,97	385,41	0,46	2,46	2,48
GWMFL 4	652439,74	5454268,28	385,63	384,88	0,27	2,27	2,29
GWMFL 7	652387,44	5454307,45	385,65	384,58	+0,03	1,95	1,97
GWMFL 8	652351,62	5454257,83	385,66	385,11	0,47	2,47	2,49

Probenahme von Grund- und Oberflächenwasser

Im Anschluss an den Pegelausbau wurden durch das Institut für Grundwasser und Bodenschutz, Fürth (IGB) insgesamt 6 2“-Grundwassermessstellen beprobt. Zusätzlich wurden aus vier Bohrlöchern Grundwasserschöpfproben entnommen nachdem bei den Bohrarbeiten ein Wasserstand in den Bohrlöchern festgestellt wurde. Zwei Oberflächenwasserproben wurden im Zuge der Durchflussmessungen am Babenbach und am Röthelgraben entnommen, eine Oberflächenwasserprobe wurde aus dem Absetzbecken am FÜB entnommen. Eine Auflistung der entnommenen Wasserproben zeigt Tabelle 4-4.

Tabelle 4-4: Untersuchte Oberflächenwasser und Grundwasseraufschlüsse

Beprobungspunkt	Art	Datum
GWMFL 1	2“-GWM	12.02.2020
GWMFL 2	2“-GWM	12.02.2020
GWMFL 3	2“-GWM	12.02.2020
GWMFL 4	2“-GWM	12.02.2020
GWMFL 7	2“-GWM	12.02.2020
GWMFL 8	2“-GWM	12.02.2020
FÜB 4	RKS	22.01.2020
FÜB 6	RKS	27.01.2020
FÜB 10	RKS	27.01.2020
FÜB 14	RKS	27.01.2020
Absetzbecken (FÜB)	OW	21.01.2020
Babenbach	OW	21.01.2020
Röthelgraben	OW	21.01.2020



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.

Durchflussmessungen an den Oberflächengewässern

Am 04.05.2020 wurde der Wasserdurchfluss am Röthelgraben mit einem Ott-Flügel-Messgerät bestimmt. Am Babenbach konnte aufgrund der geringen Wasserführung die geplante Ott-Flügel-Messung nicht durchgeführt werden. Der Wasserdurchfluss wurde hier alternativ ausgelitert.

Entnahme Flächenmischproben

Zur Erkundung von oberflächennahen Einträgen wurden im Februar 2020 40 Bodenmischproben von 20 Ackerflächen im Umfeld der Liegenschaft entnommen. Ausgewählt wurden die Ackerflächen vom BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6. Von jeder Ackerfläche wurden zwei tiefenhorizontierte Mischproben (0-10 cm und 10-30 cm) entnommen. Dazu wurden pro Ackerfläche 25 Bohrstocksondierungen bis in eine Tiefe von 30 cm abgeteuft und das Bodenmaterial nach Ansprache beprobt. Bei der Auswahl der Ansatzpunkte wurden Tiefenlinien und feuchte Bereiche bevorzugt. Die so gewonnenen Bodenmischproben wurden anschließend im Labor auf PFC untersucht. Die Lage der Ackerflächen und ihre Bewertung sind in Anlage 1 (Karte 6) dargestellt. Die Probenahmeprotokolle befinden sich in Anlage 3, die Schichtenverzeichnisse in Anlage 5.

Erntegutbeprobungen

Von den zwei am höchsten beaufschlagten Ackerflächen wurden am 04.05.2020 je eine Erntegutprobe entnommen und im Speziallabor JenaBios auf PFC (13 Parameter) untersucht. Es handelte sich dabei jeweils um Grünland.

4.1.2 Vermessungsarbeiten

Die Vermessungsarbeiten wurden durch die Firma Gibs geologen+ingenieure mittels GPS durchgeführt. Dabei wurden die Ansatzpunkte der Rammkernsondierungen und die neu errichteten Grundwassermessstellen lagemäßig mit einer Genauigkeit von ca. 0,5 m eingemessen (Koordinatensystem UTM 32N/ETRS 89). Die neu errichteten Grundwassermessstellen wurden mittels Nivellement und Anbindung an einen bestehenden Höhenfestpunkt (Höhenbezugssystem DHNN 2016) durch die Firma IGB mit einer Genauigkeit von 1 cm vermessen. Die Vermessungsdaten befinden sich in der Anlage 6.

4.2 Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz

Ein begleitender Arbeits- und Sicherheitsplan war nicht beauftragt. Die Geländearbeiten wurden entsprechend den Vorgaben der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS)

524 / DGUV-Regel 101-004 (ehemals Berufsgenossenschaftlichen Richtlinie BGR 128) ausgeführt.

4.3 Laboruntersuchungen/Chemische Analytik

Wasserproben

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

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 4, 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, gemäß den Ausschreibungsunterlagen, auf PFC (13 Einzelparameter) im 2:1-Eluat 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 nach dem in der Startbesprechung vereinbarten Vorgehen ausgewählt. An jedem Ansatzpunkt wurden mindestens zwei 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.

Im Zuge der Phase IIb Untersuchungen wurden insgesamt 108 Bodenproben auf PFC (13 Einzelparameter) im 2:1-Eluat (DIN 19529:2009-01) nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ (LfU Stand April 2017) analysiert. Zur Qualitätssicherung wurden in vier Bodenproben PFC im S4-Eluat bestimmt, eine Untersuchung im 2:1-Eluat war aufgrund von Materialmangel nicht möglich.

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 4, eine tabellarische Auswertung der Ergebnisse befindet sich in Anlage 2. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

Erntegut

Die Laboruntersuchungen wurden durch das akkreditierte Speziallabor Labor JenaBios GmbH, Jena durchgeführt. Alle Erntegutproben wurden auf PFC (13 Einzelparameter) nach DIN 38414 (S 14) 2011-08 (L80) analysiert.



Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 4, eine tabellarische Auswertung der Ergebnisse befindet sich in Anlage 2. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

Messunsicherheit von PFC-Analysen

Jede physikalisch-chemische Analyse einer Boden- oder Wasserprobe unterliegt naturgemäß einer gewissen systembedingten Messunsicherheit (MU). Die MU wird durch Vergleichsmessungen mit internen Standards kontrolliert und in Ringversuchen durch die Analyse identischer Proben durch verschiedene Labore mit verschiedenen Analysemethoden ermittelt.

Das in diesem Projekt beteiligte Labor Agrolab gibt für PFC-Einzelparameter an Wasserproben einen MU von 27 %, bzw. für Feststoffproben (Bodenproben) eine MU von 35 % an. Für die PFC-Summe ergeben sich MU von 45 % (Wasserproben) und 50 % (Bodenproben).

Durch die relativ geringen Konzentrationen der PFC wirken sich die MU insbesondere im Bereich der Bestimmungsgrenze (hier: 0,01 µg/l) relativ stark aus. Das bedeutet, dass Nachweise von PFC in Proben nahe der Bestimmungsgrenze erst durch wiederholte Analysen bestätigt werden können oder auch, dass ermittelte Konzentrationsunterschiede zwischen zwei Proben (z.B. Probe A: 0,02 µg/l und Probe B: 0,03 µg/l) praktisch nicht vorhanden sind.

4.4 Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter

Grundwasserstichtagsmessung

Zeitgleich mit der Probenahme der 2“-GWM am FÜB wurde am 12. Februar 2020 eine Grundwasserstichtagsmessung an allen sechs Grundwasseraufschlüssen im Bereich des FÜB durchgeführt.

Durchflussmessung

Am 04. Mai 2020 wurden, nach einem Regenereignis, am Röthelgraben und am Babenbach Durchflussmessungen ausgeführt. Für den Röthelgraben wurde ein Durchfluss von 1,8 l/s bestimmt, für den Babenbach wurde ein Durchfluss von 0,012 l/s bestimmt. Die vom WWA Nürnberg im März 2019 ermittelten Durchflussmengen ergaben für den Rötelgraben ca. 6 l/s und für den Babenbach ca. 4 l/s.

Wasserstandsmessung GWMFL 1

Vom 29.01.2020 bis zum 04.05.2020 wurde in der Bestandsmessstelle GWMFL 1 mit einer Drucksonde der Wasserstand permanent aufgezeichnet.



5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Liegenschaftsbezogene Ergebnisse

5.1.1 Ergebnisse von Recherchen

Erstmalige PFC-Nachweise auf dem Gelände der OLK Roth wurden 2011 im Rahmen des Teilrückbaus des Feuerlöschübungsbeckens (Holz, Betonsteinpflaster, Kiesfüllung) ermittelt. Die PFT-haltigen Bauteile wurden nach Auskunft von Hr. Siebenhaar (Bundeswehr) ordnungsgemäß bei der GSB Deponie Gallenbach entsorgt. Im September 2012 wurde im Gutachten zur Orientierenden Erkundung im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens (R&H 2012) eine erhebliche bis erhöhte Verunreinigung des Bodens mit PFT im Umfeld des Feuerlöschübungsbeckens festgestellt. Dabei wurden in der ungesättigten Zone Bodeneluatwerte bis 132 µg/l (Summe PFOS+PFOA+PFHxS) ermittelt.

Im September 2014 wurde eine 2“-GWM im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens abgeteuft und zweimalig beprobt. Dabei wurden PFT Summen bis 291 µg/l ermittelt. Ein im November 2014 durchgeführter Kurzpumpversuch erbrachte PFT Summenkonzentrationen von 155 µg/l. Eine hydraulische Auswertung dieses Kurzpumpversuches war nach Einschätzung des Gutachters nicht durchführbar.

Im Februar 2019 wurde vom Wasserwirtschaftsamt Nürnberg eine Amtsermittlung für die im Norden an die OLK angrenzenden Oberflächenwässer und Quellaustritte durchgeführt. Diese erbrachte Belastungen im Oberflächenwasser bis 0,366 µg/l. Eine orientierende Probenahme an den Fließgewässern um die OLK herum im März 2019 erbrachte Befunde bis 0,141 µg/l im Oberflächenwasser. In beiden Fällen wurden die höchsten Belastungen im Babenbach (Ursprung am RRB Nord) gemessen.

Ein im September 2019 vom Landratsamt Roth durchgeführtes Fischmonitoring erbrachte erhöhte PFT-Befunde in Speisefischen aus mehreren Weihern in der Umgebung der OLK. Die Proben wurden vom Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit als gesundheitsschädlich eingestuft.

Eine bundeswehrinterne historische Recherche hinsichtlich PFT wurde im Jahr 2018 durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 durchgeführt. 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 ab 1987 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. Im Jahr 2011 wurde der gesamte Schaummittelvorrat entsorgt und durch neue Schaummittel ersetzt. Vor 1987 wurden Proteinschäume verwendet.



- PFC-haltige Löschmittel wurden in größeren Mengen in Auffangwannen im Lagerraum der Neuen Feuerwache gelagert. Leckagen sind nicht bekannt.
- 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 (drei bis viermal pro Jahr) mit PFC-haltigem Löschmittel wurden am Feuerlöschübungsbecken (1987 bis 2011) durchgeführt; dabei wurden jeweils ca. 150 l Schaummittel (AFFF) verwendet. Es wurden sowohl Schnellzugriffe als auch Fernzugriffe (Wurfweiten bis 40 m, ab 2010 bis 60 m) geübt.
- Das FÜB der OLK verfügt über einen Ablauf in ein Sammelbecken. Der anfallende Löschschaum wurde dort gesammelt und bei Bedarf von einer Fachfirma entsorgt.
- Die Werkfeuerwehr hat ausschließlich im Bereich des FÜB Löschübungen abgehalten.
- Landebahnbeschäumungen fanden auf der OLK nicht statt, da dies für Helikopter nicht notwendig war.
- Für die OLK sind keine Brandereignisse dokumentiert.
- Die Feuerwehrfahrzeuge und -schläuche wurden in der Neuen Feuerwache gereinigt. Das anfallende Wasser wurde über die Kanalisation abgeleitet.
- Die Neue Feuerwache wurde 1988 bezogen. Für den Bereich der Alten Feuerwache (heute Gebäude 118) sind keine weiteren historischen Daten vorhanden.

Laut dem LRA Roth wurden keine PFT-haltigen Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Äckern aufgebracht.

5.1.2 Boden- und Untergrundaufbau

Der Untergrundaufbau der quartären und triassischen Schichten wurde lediglich bei der Errichtung der 2^o-Grundwassermessstelle erkundet und spiegelt im Wesentlichen die Erkenntnisse aus der geologischen Karte wider. Unter einer geringmächtigen schluffigen Auffüllung folgen im Liegenden bis 3,0 m u. GOK Sande aus der Verwitterung des Mittleren Burgsandstein. Darunter wurde eine geringmächtige Schicht mit angewittertem Sandstein des Mittleren Burgsandstein angetroffen (bis 3,6 m u GOK). Im Liegenden folgt bis 4,3 m u GOK eine tonige Lettenschicht. Diese fungiert als grundwasserhemmende Schicht. Im weiteren Verlauf wurden bis zur Endteufe bei 10 m u GOK Sandsteinschichten des Unteren Burgsandstein angetroffen. Eine Wasserführung wurde auf der Lettenschicht des Mittleren Burgsandstein (Basisletten) angetroffen.

Im südöstlichen Lagerbereich befindet sich ebenfalls ein Aufschluss (B4 Genesis Umwelt Consult 2019). Hier folgen unter einer 1,3 m mächtigen sandigen Auffüllung bis

3,6 m u GOK Sande aus der Verwitterung des mittleren Mittleren Burgsandstein. Darunter wurde eine geringmächtige Schicht mit angewittertem Sandstein des Mittleren Burgsandstein angetroffen (bis 3,8 m u GOK). Im Liegenden folgt ebenfalls eine tonige Lettenschicht die nicht durchteuft wurde.

Abbildung 5-1 zeigt den erkundeten Untergrundaufbau an der Grundwassermessstelle GWMFL1.

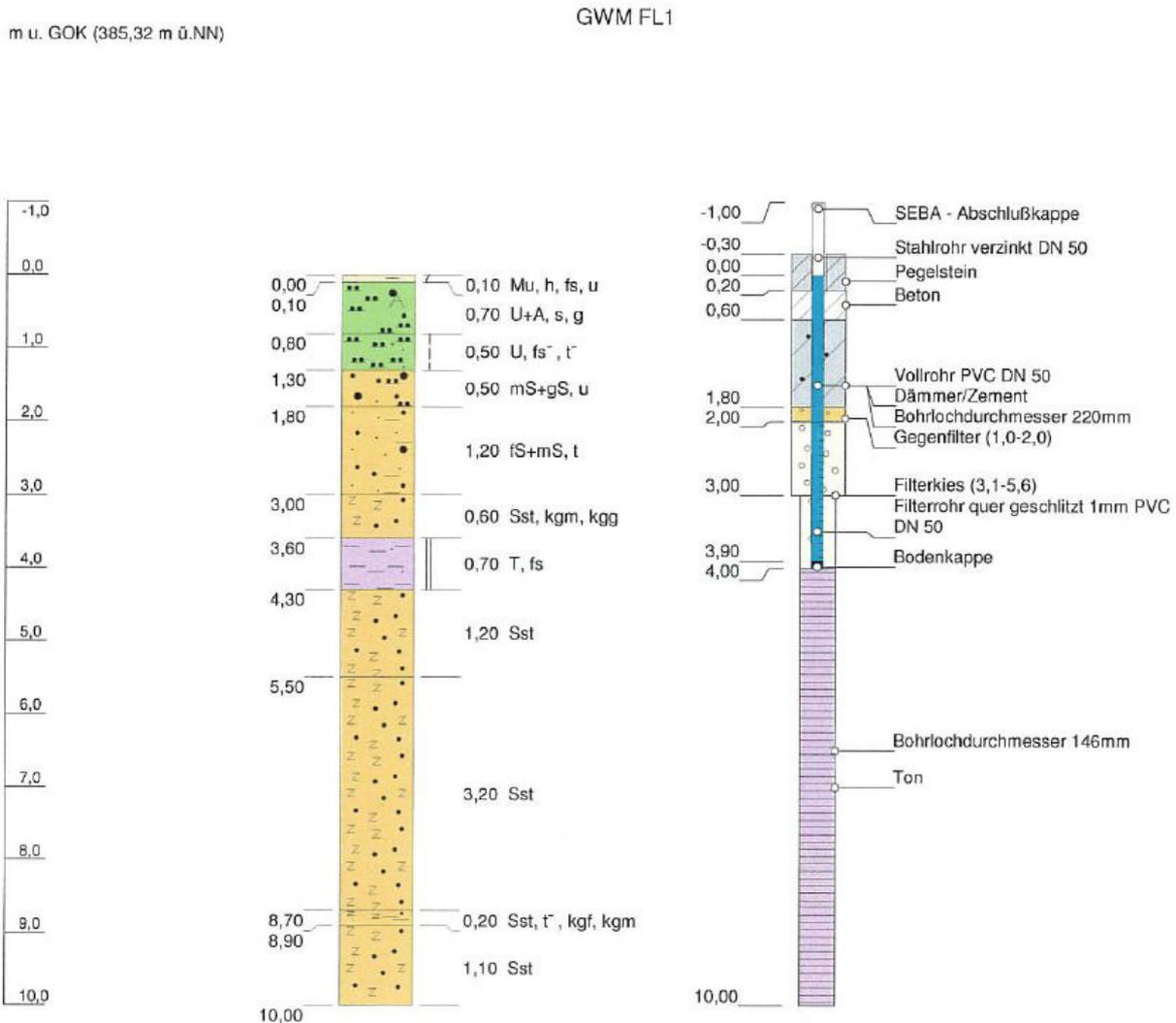


Abbildung 5-1: Untergrundaufbau im Bereich der Grundwassermessstelle GWMFL1

5.1.3 Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung

Auf der Lettenschicht (Basisletten) zwischen Unterem und Mittlerem Burgsandstein ist ein oberflächennahes schwebendes Grundwasserstockwerk (DIN 4049) ausgebildet. Dieses war bislang nur durch eine 2"-Messstelle im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens erschlossen. Bei der Erstellung dieser Messstelle wurden gespannte Verhältnisse in diesem schwebenden Grundwasserstockwerk angetroffen. Aktuell wurden fünf weitere 2"-GWM im Bereich des FÜB als Ausbauserohrungen in

RKS / BS errichtet. Hierbei wurden ebenfalls gespannte Grundwasserverhältnisse angetroffen. Der Flurabstand im Bereich des FÜB beträgt ca. 1,5 m unter Geländeoberkante, so dass von einer Aquifermächtigkeit von ca. 2 m ausgegangen werden muss. Die Grundwasserfließrichtung im gesamten Stockwerk ist aktuell unbekannt. Zwei weitere 2“-GWM wurden im Bereich der Neuen und Alten Feuerwache errichtet. Im Bereich der Neuen und Alten Feuerwache und der KFZ-Werkstatt wird aus regional-hydrologischer Sicht eine östliche Grundwasserfließrichtung erwartet.

Eine Auswertung der in der GWMFL 1 aufgezeichneten Grundwasserstände mit den Niederschlägen (DWD Wetterstation Roth 4280) ist in Abbildung 5-2 dargestellt und bestätigt die dauerhafte Wasserführung in diesem oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk.

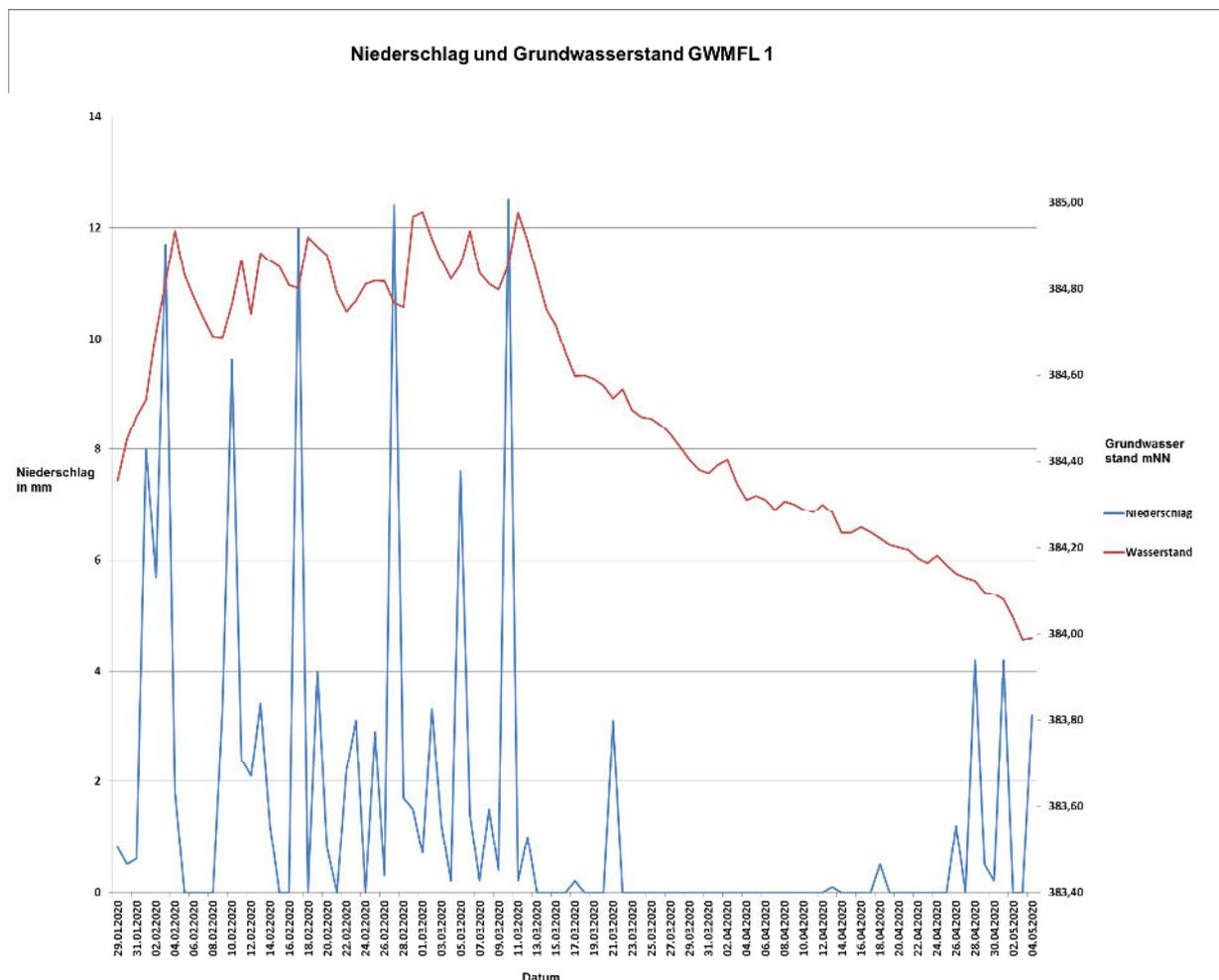


Abbildung 5-2: Grundwasserstand und Niederschlag am FÜB

Im Messzeitraum schwankt der Grundwasserspiegel und damit die Aquifermächtigkeit zwischen ca. 2,5 und 1,5 m. Der Grundwasserstand steigt bis Anfang März mit den Niederschlägen an und fällt mit der darauf folgenden Trockenperiode (ca. 6 Wochen ohne nennenswerte Niederschläge) deutlich ab. Trotz der langen Trockenperiode beträgt die Aquifermächtigkeit Anfang Mai immer noch 1,5 m, ein völliges trockenfallen des schwebenden Grundwassers im Laufe des Jahres erscheint unwahrscheinlich, zumal man sich in einer langjährigen Trockenperiode befindet (vgl. Kapitel 2.3). Vielmehr ist von einem permanent ausgebildeten schwebenden Grundwasserstockwerk auszugehen.

Der sich aus dem schwebenden Grundwasser speisende Oberflächenabfluss ist nach solchen Trockenperioden deutlich reduziert, da der Boden sich erst wieder aufsättigen muss bevor der Grundwasserspiegel ansteigt und die Zuspeisung in den Vorfluter wieder zunimmt. Dies wird auch durch die Anfang Mai durchgeführten Oberflächenwasserabflussmessungen bestätigt, die aktuell deutlich niedrigere Durchflüsse zeigten wie die Messungen des WWA im März 2019.

Das eigentliche tiefere Grundwasser wird im Bereich der OLK nicht erschlossen. Im Bereich der Otto-Lilienthal-Kaserne fließt das tiefere Grundwasser im Sandsteinkeuper laut hydrogeologischer Karte von Bayern im Maßstab 1:100.000 (HK 100) in nordwestliche Richtung auf einem Niveau von ca. 350 mNN im SE der Liegenschaft und ca. 340 mNN im NW der Liegenschaft. Der mittlere Flurabstand des Grundwasserspiegels im Sandsteinkeuper beträgt demnach ca. 40 m.

Grundwasserneubildung

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich der Otto-Lilienthal-Kaserne von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von ca. 125 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei ca. 75 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei ca. 175 mm/a.

Deckschichten

Die vorgefunden Böden zeichnen sich durch geringe organische Bestandteile aus und sind überwiegend sandig, so dass insgesamt von einem geringen Sorptionsvermögen des Bodens auszugehen ist.

Hydraulisch aktive Deckschichten über dem oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk fehlen oder sind nur geringmächtig vorhanden. Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung dieses schwebenden Grundwasserstockwerks ist als sehr gering einzustufen.

Im Bereich der Scholle aus KmBm, die im gesamten Bereich der OLK-Liegenschaft ausgebildet ist, bieten die tonigen Basisletten des kmBm einen wirksamen Schutz vor einer Tieferverlagerung von Schadstoffen in das Grundwasserstockwerk des Sandsteinkeupers. Die Festgesteine des Unteren Burgsandstein (kmBu) bestehen aus



einer Wechsellagerung aus kompakten Sandsteinen und Lettenlagen. Diese mächtige Grundwasserüberdeckung bietet einen weiteren Schutz des Grundwasserstockwerks im Sandsteinkeuper vor Verschmutzung. Allerdings können Klüftungen in Festgesteinen diese Wirkung lokal reduzieren oder unterbinden.

Flurabstand, Grundwassermächtigkeit

Der Flurabstand zum schwebenden Grundwasserstockwerk im Bereich des FÜB beträgt ca. 1,5 m unter Geländeoberkante, so dass von einer Aquifermächtigkeit von ca. 2 m ausgegangen werden muss. Im Bereich der Neuen und Alten Feuerwache beträgt der Flurabstand ca. 4 m u GOK. Die Auswertung des DGM ergab hier einen geschätzten Flurabstand der Grenzletten von 5-6 m u GOK. Somit ist hier ebenfalls von einer Aquifermächtigkeit von 2 m auszugehen. Im südöstlichen Lagerbereich (GM B4) beträgt der Grundwasserflurabstand ca. 3,5 m u GOK.

Zum liegenden Grundwasserstockwerk im Sandsteinkeuper besteht ein Flurabstand von ca. 40 m.

Grundwasserfließrichtung und -abstandsgeschwindigkeiten

Die Grundwasserfließrichtung im schwebenden Grundwasserstockwerk kann im Bereich des FÜB auf der Grundlage der aktuellen Messungen in Form eines lokalen Grundwassergleichenplans abgeschätzt werden. Für den weiteren Kasernenbereich ist dies aktuell nicht möglich, da zu wenige Aufschlüsse vorhanden sind.

Der berechnete lokale Grundwassergleichenplan am FÜB ist in Anlage 1 Karte 4 dokumentiert. Eine detaillierte Beschreibung der Grundwasserfließverhältnisse findet sich unter Kapitel 5.2.

Zu weiteren relevanten, liegenschaftsbezogenen Grundwasserdaten (Abstandsgeschwindigkeit, Porosität) kann anhand der aktuellen Datenlage aktuell keine Aussage getroffen werden. Unter Kapitel 5.2. werden Abschätzungen angestellt, um die Grundlage für überschlägige Frachtbetrachtungen schaffen zu können.

Vorflutverhältnisse

Vorfluter im Westen der OLK ist die Rednitz, die ca. 1 km westlich der Liegenschaft verläuft. Im Osten ist der Vorfluter die Roth, die ca. 1,5 km östlich der Liegenschaft verläuft. Beide Vorfluter vereinen sich in ca. 2 Km Entfernung in der Stadt Roth.

Im Norden der Liegenschaft entspringt der Babenbach in der Nähe der Liegenschaftsgrenze. Im Osten entspringt der Rötelgraben innerhalb der Liegenschaft. Weitere Oberflächengewässer entspringen im Nahbereich der Liegenschaft. Die Regenüberlaufbecken der Liegenschaft entwässern in diese Bachläufe.

Zusätzlich befinden sich zahlreiche Weiher rund um die Liegenschaft, die in der Regel landwirtschaftlich genutzt werden.



Lage zur Trinkwassernutzung

Das Trinkwasserschutzgebiet Roth, St grenzt im Süden der Otto-Lilienthalkaserne direkt an die Liegenschaft an. Ca. 2 Km Nordnordöstlich befindet sich ebenfalls ein Trinkwasserschutzgebiet, welches sich aber größtenteils jenseits des Vorfluters der Roth befindet.

Sonstige Nutzung

Es sind aktuell keine Brauchwasserbrunnen im Bereich der OLK Roth bekannt.

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“ (LfU Stand April 2017) definierten vorläufigen Schwellenwerte (für Grundwasser) herangezogen.

Die Analysenprotokolle sind in Anlage 4 dargestellt.

Tabelle 5-1 zeigt zusammenfassend die PFC-Belastung im Grundwasser der gemäß LfU-Leitlinien untersuchten 13 Einzelparameter. Die räumliche Verteilung der aktuellen PFOS-Konzentrationen ist in Anlage 1 (Plan 3) dargestellt. Die Tabelle beinhaltet außerdem vier Grundwasserproben der Phase II-a. Diese werden hier der Vollständigkeit halber mit dargestellt.

Die Tabelle macht deutlich, dass innerhalb der Liegenschaft bodenschutzrechtlich relevante Konzentrationen oberhalb der vorläufigen Schwellenwerte vor allem bei den Einzelparametern PFOS und PFHxS auftreten. Ebenfalls konnten teilweise Schwellenwertüberschreitungen bei PFNA, bei PFOA, bei PFHpA und H4PFOS nachgewiesen werden. Die restlichen Einzelparameter wurden bislang durchgängig in Konzentrationen unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte detektiert.

Die höchsten PFC-Konzentrationen im **schwebenden Grundwasserstockwerk** mit Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens registriert.

Tabelle 5-1: PFC-Belastung der Grundwasserproben

KF/KVF	Probenbezeichnung	Probenahmedatum	Einheit	vorläufiger Schwellenwert	FÜB								SP 1		AFW	NFW		
					FÜB 4	FÜB 6	FÜB 10	FÜB 14	GWM FL1	GWM FL2	GWM FL3	GWM FL4	GWM FL7	GWM FL8	SP 1_1	SP 1_3	GWM FL5	GWM FL6
					27.01.2020	27.01.2020	27.01.2020	27.01.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	27.01.2020	27.01.2020	12.02.2020	12.02.2020
Perfluoroctansulfonsäure (gPFOS)	µg/l	0,1	81	1	5,4	1,2	57	65	14	0,5	0,2	0,4	0,4	0,5	0,07	0,6		
Perfluoroctansulfonamid (PFOSA)	µg/l	0,1	0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	0,03	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02		
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l		1,1	<0,05	0,11	<0,05	1	1,1	0,37	<0,05	<0,01	0,04	0,01	0,02	<0,01	<0,02		
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS)	µg/l	0,1	0,3	<0,05	<0,01	<0,05	0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02		
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	10	0,6	<0,05	0,06	<0,05	0,5	0,2	0,4	<0,05	<0,01	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,03		
Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	µg/l	6	1,1	<0,05	0,2	0,1	1,8	0,8	3,3	<0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	<0,01	<0,02		
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	0,1	0,01	<0,05	<0,01	<0,05	0,03	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02		
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	0,3	0,7	<0,05	0,06	0,05	0,7	0,2	0,5	<0,05	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02		
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	6	2,24	0,06	0,2	0,2	3,1	0,7	4,4	<0,05	0,02	0,08	<0,01	0,03	<0,01	0,05		
Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	µg/l	0,1	9,4	0,5	1,1	0,9	13	7,9	7,3	0,2	0,2	0,7	0,08	0,2	0,02	0,1		
Perfluormonansäure (PFNA)	µg/l	0,06	0,7	<0,05	0,05	<0,05	0,4	0,04	0,03	<0,05	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,02		
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	0,1	1,2	<0,05	0,1	0,09	1,4	0,6	0,8	<0,05	<0,01	0,04	<0,01	0,02	<0,01	0,04		
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	3	1,4	<0,05	0,09	0,06	1,1	0,2	0,8	<0,05	<0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,04		
Summe PFC	µg/l		100	1,6	7,4	2,6	80	77	32	0,7	0,44	1,4	0,5	0,8	0,09	0,85		
Summenbedingung PFT	µg/l	1*	928,28	15,01	66,91	21,95	721,53	735,94	222,82	7,00	4,01	11,75	4,80	7,21	0,90	7,41		

Ebenfalls zu Überschreitungen der Schwellenwerte im schwebenden Grundwasserstockwerk kommt es am Feuerwehr-KFZ-Standplatz 1 und an der Neuen Feuerwache. Diese KVF wurden im Rahmen des separaten Phase-IIa-Berichtes behandelt.

Eine detaillierte Betrachtung der Grundwassersituation erfolgt im folgenden Kapitel.

Zusammenfassend zeigen die Grundwasseruntersuchungen eine heterogene Schadstoffverteilung, die auf direkte PFC-Einträge im Bereich des FÜB und der Neuen Feuerwache zurückzuführen sind. Auf derzeitiger Datengrundlage lassen sich auf der gesamten Liegenschaft mehrere separate PFC-Schäden im oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk vermuten. Die Kontaminationsbereiche sind bei derzeitigem Kenntnisstand weitgehend auf die Liegenschaft beschränkt.

Lediglich am Nord- bzw. Nordostrand der Liegenschaft könnte die PFC-Fahne bis außerhalb der Liegenschaft reichen.

Zusammenfassend erbrachten die Untersuchungen mehrere kleinräumige PFC-Kontaminationen im schwebenden Grundwasserstockwerk, die an mehreren 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. Hinweise auf PFC-Befunde im tieferen Grundwasserstockwerk des Sandsteinkeuper liegen in Ermangelung geeigneter Aufschlüsse und Untersuchungen bislang nicht vor.



5.1.5 PFC-Belastung Oberflächengewässer

Zur Bewertung wurden die Leitwerte für Oberflächenwasser ($PNEC_{\text{aquatisch}}$) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) herangezogen (siehe Kap. 3.2.4).

Im Oberflächenwasser wurde aktuell (Winter / Frühjahr 2020) in zwei der neun untersuchten Probenahmestellen PFC nachgewiesen (Babenbach Nr.1, Rötelgraben Nr.4). Dabei zeigt sich, ähnlich wie im Grundwasser, eine deutliche Dominanz der Einzelsubstanzen PFOS und PFHxS. Die $PNEC_{\text{aquatisch}}$ -Werte wurden für keine der sechs PFC-Einzelparameter überschritten. Die für PFOS festgelegte UQN von 0,00065 µg/l wird dagegen in den positiven Proben überschritten. Positive Befunde wurden für den Babenbach und den Rötelgraben festgestellt. In den anderen Oberflächengewässern konnten aktuell (Winter / Frühjahr 2020) kein PFC nachgewiesen werden. Dennoch kann auch für diese Untersuchungsstellen nicht ausgeschlossen werden, dass die UQN (0,00065 µg/l) nicht eingehalten wird.

Die Oberflächenwasserproben wurden im Januar bei feuchten Witterungsbedingungen entnommen. An den Bachläufen Babenbach und Rötelgraben wurden im Mai, bei ebenfalls feuchten Bedingungen, parallel zu Durchflussmessungen nochmals das Oberflächenwasser beprobt. Die räumliche Verteilung der aktuellen PFOS-Konzentrationen vom Mai 2020 ist in Anlage 1 Karte 5 dargestellt.

Die im März 2019 vom WWA Nürnberg durchgeführten Oberflächenwasseruntersuchungen erbrachten für den Babenbach und Rötelgraben PFOS-Belastungen auf einem vergleichbaren Niveau mit den aktuell durchgeführten Messungen. Die Belastungen im Steinbach, Probe Nr8 und Probe Nr9 konnten aktuell nicht bestätigt werden. Allerdings wurden die Untersuchungen im März 2019 mit einer Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l durchgeführt, während bei der aktuellen Untersuchung eine Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l verwendet wurde.

Insgesamt zeigen die Befunde eine Verfrachtung der PFC-Belastung mittels Oberflächengewässern v.a. im nördlichen und östlichen Teil der Liegenschaft. Die Verfrachtung wird weitgehend von den Bächen Babenbach und Rötelgraben getragen, alle weiteren Oberflächengewässer nehmen nur eine untergeordnete Stellung bei der Verfrachtung ein.

Tabelle 5-2: PFC-Belastung im Oberflächenwasser

Name	Datum	Einheit	Perfluoromonsäure (PFNA)	Perfluorooctansulfonsäure (gPFOS)	Perfluorooctansäure (gPFOA)	Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	Perfluorhexansäure (PFHxA)	Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	Perfluorbutansäure (PFBA)	Perfluor-pentansäure (PFPeA)	Perfluor-heptansäure (PFHpA)	1H,1H,2H,2H-Perfluor-octansulfonsäure (H4PFOS)	Perfluor-octansulfonamid (PFOSA)	Perfluor-decansäure (PFDA)	Perfluor-heptansulfonsäure (PFHpS)	Summe PFC (13 Parameter)
PNEC_{agquatisch} / UQN				0,00065		250	1000	3700	1260	320		870				
Babenbach Nr1	28.03.2019	µg/l	<0,001	0,12	0,0012	0,014	0,002	0,0015	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0014	0,141
Babenbach Nr1	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Babenbach Nr1	04.05.2020	µg/l	<0,01	0,06	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06
Probe Nr2	28.03.2019	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	n.n.
Probe Nr2	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Probe Nr3	28.03.2019	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	n.n.
Probe Nr3	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Rötelgraben Nr4	28.03.2019	µg/l	0,0021	0,086	0,0053	0,025	0,0051	0,0024	0,0036	<0,001	0,0019	<0,001	<0,001	0,0032	0,0019	0,137
Rötelgraben Nr4	20.01.2020	µg/l	<0,01	0,07	<0,01	0,03	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,11
Rötelgraben Nr4	04.05.2020	µg/l	<0,01	0,1	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,14
Probe Nr5	28.03.2019	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001
Probe Nr5	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Steinbach Nr6	28.03.2019	µg/l	<0,001	0,0022	<0,001	0,0014	<0,001	<0,001	0,0011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0047
Steinbach Nr6	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Probe Nr7	28.03.2019	µg/l	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,0014	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0054
Probe Nr7	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Probe Nr8	28.03.2019	µg/l	<0,001	0,0038	0,0014	0,002	0,0012	0,0011	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0125
Probe Nr8	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.n.
Probe Nr9	28.03.2019	µg/l	<0,001	0,0016	<0,001	0,016	0,0012	0,0038	0,0014	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,024
Probe Nr9	20.01.2020	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03



Um das Gefährdungspotential für das Schutzgut Oberflächengewässer beurteilen zu können, wurden anhand der aktuellen Messdaten Frachtberechnungen für den Einzelstoff PFOS für den Babenbach und den Rötelgraben durchgeführt.

Entscheidend bei derartigen Frachtbetrachtungen sind neben repräsentativen mittleren Schadstoffkonzentrationen die dazugehörigen mittleren Durchflüsse des Fließgewässers. In Tabelle 5-3 sind die bislang vorliegenden Durchflussmessungen zusammengestellt und den Schätzwerten der mittleren Abflüsse (MQ_{HAD}) aus den Einzugsgebietsgrößen und den mittleren jährlichen Abflusshöhen (125 mm/a) aus dem Hydrologischen Atlas Deutschland (HAD) gegenübergestellt.

Tabelle 5-3: Durchflussmessungen und -abschätzungen Oberflächengewässer

Gewässer	Messpunkt	EZG-Größe	Messung #1 (03/2019)	Messung #2 (05/2020)	MQ_{HAD}
		[ha]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
Babenbach	Babenbach Nr.1	6,04	4	0,012	0,25
Rötelgraben	Rötelgraben Nr. 4	12,95	6	1,8	50

Aufgrund des um den Faktor ca. 216 kleineren oberirdischen Einzugsgebietes liegt der zu erwartende mittlere Durchfluss (MQ_{HAD}) im Babenbach mit $\ll 1$ l/s deutlich unter dem Wert des Rötelgrabens (ca. 50 l/s). Während im Rötelgraben alle bislang vorliegenden Durchflussmessungen deutlich unter dem Schätzwert liegen (Dürre?), ist die Schwankungsbreite beim Babenbach signifikant, was auf einen starken Witterungseinfluss hinweisen könnte.

Für die Festlegung der repräsentativen mittleren PFC-Konzentrationen stehen die Messergebnisse aus Tabelle 5-2 zur Verfügung. Für jeden Messpunkt liegen bislang maximal drei Analyseergebnisse seit März 2019 vor.

In Tabelle 5-4 sind die rechnerischen Frachten an den Gewässerstellen Babenbach Nr. 1 und Rötelgraben Nr. 4 zusammengestellt, um einen Eindruck über die Spannbreite der zu erwartenden Schadstofffrachten zu vermitteln.

Tabelle 5-4: Frachtabschätzungen Oberflächengewässer

Gewässer	Messpunkt	PFOS min.	PFOS mittel	PFOS max.
		[g/a]	[g/a]	[g/a]
Babenbach	Babenbach Nr.1	0	0,47	15
Rötelgraben	Rötelgraben Nr. 4	3,97	16,27	157,68

5.1.6 PFC-Belastung Entwässerungssystem

Zur Bewertung wurden, analog zu Kapitel 5.1.5, die Leitwerte für Oberflächenwasser (PNEC_{aquatisch}) des LfU bzw. für PFOS die UQN herangezogen.

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

Die räumliche Verteilung der aktuellen PFOS-Konzentrationen ist in Anlage 1 Karte 7 dargestellt. Tabelle 5-3 gibt einen Überblick über die ermittelten Analysenwerte bei der Untersuchung des Entwässerungssystems, dargestellt durch den Hauptparameter PFOS. Ein Plan des Entwässerungssystems im Bereich der OLK Roth befindet sich in Anlage 7.

Tabelle 5-5: PFOS-Konzentration Entwässerungssystem

Messpunkt	Lage	PFOS [µg/l] (Umweltqualitätsnorm (UQN) 0,00065 µg/l)
RRB Obersteinbach	Südwesten	<0,01
RRB Eckersmühlen	Osten	0,07
RRB UTA neu	Osten	<0,01
RRB UTA alt	Osten	0,02
RRB TB 302	Südosten	<0,01
RRB Nord	Norden	0,20
RRB (NFW)	Zentral	0,05
Schachtbauwerk NFW	Zentral	<0,01
GW#118/1 (AFW)	Zentral	0,08
Absetzbecken (FÜB)	Norden	3,9

	< 0,01		0,21 - 0,40
	0,01 - 0,05		0,41 - 1,00
	0,06 - 0,20		1,00 - 10,00

Aus den RRB (NFW), RRB UTA alt, RRB Nord und RRB Eckersmühlen wurden noch zusätzlich je eine Sedimentprobe entnommen und auf PFC untersucht. In der Sedimentprobe am RRB (NFW) waren keine PFC im Sediment nachweisbar. In den übrigen drei Sedimentproben wurden PFC nachgewiesen (RRB Nord PFOS 0,08 µg/l, RRB Eckersmühlen PFOS 0,03 µg/l, RRB UTA alt PFOS 0,01 µg/l).

PFC-Einträge wurden somit im Bereich des FÜB, an der Neuen Feuerwache sowie im Bereich der ehemaligen Patriotstellung (RRB Eckersmühlen) festgestellt. Die restlichen Bereiche waren unauffällig. Dennoch kann auch für diese Untersuchungsstellen nicht ausgeschlossen werden, dass die UQN (0,65 ng/l) nicht eingehalten wird.



Im Vorfeld der DU wurde das Entwässerungssystem im Bereich des FÜB und des RRB Nord mit dem Ziel untersucht, ob eine Verbindung besteht und somit die PFC-Einträge im RRB Nord eine Erklärung haben. Die Fragestellung konnte dabei nicht abschließend geklärt werden, da die Kanalisation an zahlreichen Stellen eingebrochen war. Eine Kamerabefahrung größerer Streckenabschnitte war somit nicht möglich. Dass zumindest ein Teil der Belastung im RRB Nord und damit letztendlich im Babenbach ihren Ursprung am FÜB haben ist wahrscheinlich.

5.1.7 PFC-Belastung Bodenmischproben und Erntegut

An 20 Ackerflächen wurden insgesamt 40 Bodenproben (Tiefe 0-10 cm und 10-30 cm) entnommen und auf PFC (Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze) im Eluat untersucht. Jede Bodenmischprobe besteht aus 20 Einzelproben, die bevorzugt in erkennbaren Feuchtbereichen oder Tiefenlinien entnommen wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind tabellarisch in der Anlage 2 dargestellt.

Auf sieben der 20 beprobten Äcker konnte PFC nachgewiesen werden. Als Einzelsubstanzen konnten PFBS, PFHxS, PFOSA und PFOS nachgewiesen werden, wobei PFHxS und PFOS die Hauptkontaminanten darstellen. Die höchsten Belastungen wurden auf den Flächen Weiher Eisenhammer (PFOS je 0,11 µg/l) und der Flurnummer 454/0 (0-10 cm PFHxS 0,16 µg/l, PFOS 0,04 und 10-30 cm PFHxS 0,06 µg/l, PFOS 0,07 µg/l) nachgewiesen.

Die Fläche Weiher Eisenhammer liegt im Abstrom des Röthelgraben (siehe auch Anlage 1 Karte 6), die Fläche Flurnummer 454/0 liegt im Abstrom / Quellbereich des Babenbaches. Beide Flächen werden als Grünland genutzt.

Die auf diesen Flächen im Mai entnommenen Erntegutproben waren jeweils ohne PFC-Befund.

Trotz dieser negativen Befunde im Erntegut kann es nicht ausgeschlossen werden, dass es zu PFC-Anreicherungen bei Nutzpflanzen kommt und diese für Nahrungsmittel kritische Werte erreichen, da die durchgeführten Untersuchungen auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze PFC-Nachweise im Oberboden erbracht haben.

5.1.8 Qualitäts sicherungs (QS) Untersuchungen

Zur Sicherstellung der Qualität der Laboranalytik wurden einige Proben doppelt untersucht. Dafür wurden einige der höher mit PFC beaufschlagten Proben vom Gutachter ausgewählt. Da die jeweils noch vorhandene Menge an Bodenmaterial für eine weitere 2:1-Eluat Untersuchung zu gering war, wurden die QS-Untersuchungen im S4-Eluat durchgeführt. Da schon deutlich mehr Proben auf PFC untersucht waren als im Auftrag vorgesehen, wurden die QS-Untersuchungen nur an vier Proben durchgeführt. Die Ergebnisse der Qualitäts sicherungs-Untersuchungen sind in Tabelle 5-6 und in der Anlage 2 dargestellt.

Tabelle 5-6: Ergebnisse der QS Untersuchungen

DU OLK Roth QM Proben Boden															
Labor-Nr.	DU OLK Roth QM Proben Boden														
Bezeichnung	DU OLK Roth QM Proben Boden														
Datum	DU OLK Roth QM Proben Boden														
Feststoff	DU OLK Roth QM Proben Boden														
Parameter	Einheit	Hilfswert 1	Hilfswert 2	168656	222040	222013	242514	168651	222054	222014	242515	174234	223096	222001	242516
Trockensubstanz	%			82,9	82,9	86,3	84,8	89,9	89,9	87,3	87,5	91,8	91,8	83,9	87,5
Fraktion < 2 mm (Wägung)	%											86			
Eluat	Einheit	Stufe-1-wert	Stufe-2-Wert												
Fraktion < 32 mm	%			100		100		100	100	100		96,9		100	
Fraktion > 32 mm	%			<0,1		<0,1		<0,1	<0,1	<0,1		3,1		<0,1	
pH-Wert				5,4	6,2	5,8	4,7	7,8	7,6	6	6,3	8,1	8,6	7,4	7,7
elektrische Leitfähigkeit	µS/cm			135	34	23	17	51	36	18	<10	132	51	58	11
Trübung nach GF-Filtration	NTU			2,9		170		41	42	49		55		610	
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	10	40	0,66	0,12	<0,01	<0,10	0,03	0,04	0,03	<0,10	<0,02	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	µg/l	6	24	4,6	0,88	<0,01	<0,01	0,02	0,03	0,05	0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	0,1	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	0,3	1	1,7	0,32	<0,01	<0,01	0,02	0,02	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	0,3	1	4	0,74	<0,01	<0,01	0,2	0,19	0,07	0,02	0,02	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	6	24	6,7	1,1	<0,01	<0,01	0,04	0,04	0,09	0,02	0,03	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	µg/l	0,1	0,4	56	9,1	0,1	0,02	0,28	0,3	9,61	0,13	0,18	0,03	0,08	<0,03
Perfluornovansäure (PFNA)	µg/l	0,06	0,25	0,09	0,02	<0,01	<0,01	0,08	0,07	0,09	0,02	0,04	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorooctansäure (PFOSA)	µg/l	0,1	0,4	4,9	0,88	<0,01	<0,01	0,09	0,08	0,1	0,02	0,02	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorooctansulfonamid (PFOSa)	µg/l	0,1	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,03
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	µg/l	0,1	0,4	40	6,5	0,2	0,05	13	15	11	1,3	7,5	1,7	0,53	0,09
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	3	12	1,2	0,22	<0,01	<0,01	0,06	0,07	0,07	<0,01	0,02	<0,01	<0,05	<0,03
1H,1H,2H,2H-	µg/l	0,1	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,14	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,03
Summe PFC	µg/l			120	20	0,3	0,07	14	16	12	1,5	7,8	1,7	0,61	0,09
Summenbedingung für Stufe-1		1*		1032,45	165,48	3,00	0,70	135,05	154,98	118,63	14,84	77,67	17,30	6,10	0,90
Summenbedingung für Stufe-2			1*	258,10	41,37	0,75	0,18	33,75	38,73	29,64	3,71	19,41	4,33	1,53	0,23

Die Ergebnisse der im S4-Eluat untersuchten Proben liegen dabei, analog zu den Ergebnissen der Phase-IIa-QM-Untersuchungen, durchweg deutlich unter dem Schadstoffniveau (Faktor 6 bis 10) der 2:1-Eluat Untersuchung. Dies zeigt sich in allen Proben und bei allen Einzelsubstanzen. Eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Untersuchungen ist dementsprechend nicht möglich; zwischen beiden Ergebnissen liegen methodisch-bedingte Abweichungen.

5.2 Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KF

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

Die durchgeführten Phase IIb 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. Daneben wurden auch für PFHxS, PFNA, PFHpS und PFOA noch nennenswerte Belastungen gemessen.

Bei den Bodenuntersuchungen (2:1-Eluat) wurden die vorläufigen Stufenwerte des LfU hauptsächlich für PFOS, PFHxS und PFOA überschritten (siehe Tabelle 5-7). Für die



restlichen Einzelparameter wurden vereinzelt bzw. keine Stufenwertüberschreitungen festgestellt.

In 67 von 68 Proben wurden PFC nachgewiesen. Dabei kam es zur Überschreitung der (vorläufigen) Stufe-2-Werte bei 33 Proben und zur Überschreitung der (vorläufigen) Stufe-1-Werte bei 13 Proben.

Tabelle 5-7: PFC-Belastung der Bodenproben (2:1-Eluat) nach Einzelparameter

Einzelsubstanz	Mittelwert [µg/l]	Anzahl Analysen (68 Stück)			
		<NWG	>NWG	>S1	>S2
PFBA	0,08	44	24	0	0
PFBS	0,47	44	24	0	0
PFDA	0,01	66	2	0	0
PFHpA	0,14	44	22	1	1
PFHpS	0,31	36	27	1	4
PFHxA	0,34	24	43	1	0
PFHxS	1,72	5	30	18	15
PFNA	0,04	50	14	4	0
PFOA	0,24	29	30	4	5
PFOSA	0,04	4	63	1	0
PFOS	4,1	1	20	14	33
PFPeA	0,12	37	28	0	0
H4PFOS	0,03	65	3	0	0
PFC	6,50	1	67		

5.2.1 KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken FÜB“

Abbildung 5-3 zeigt einen Übersichtsplan der KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“.

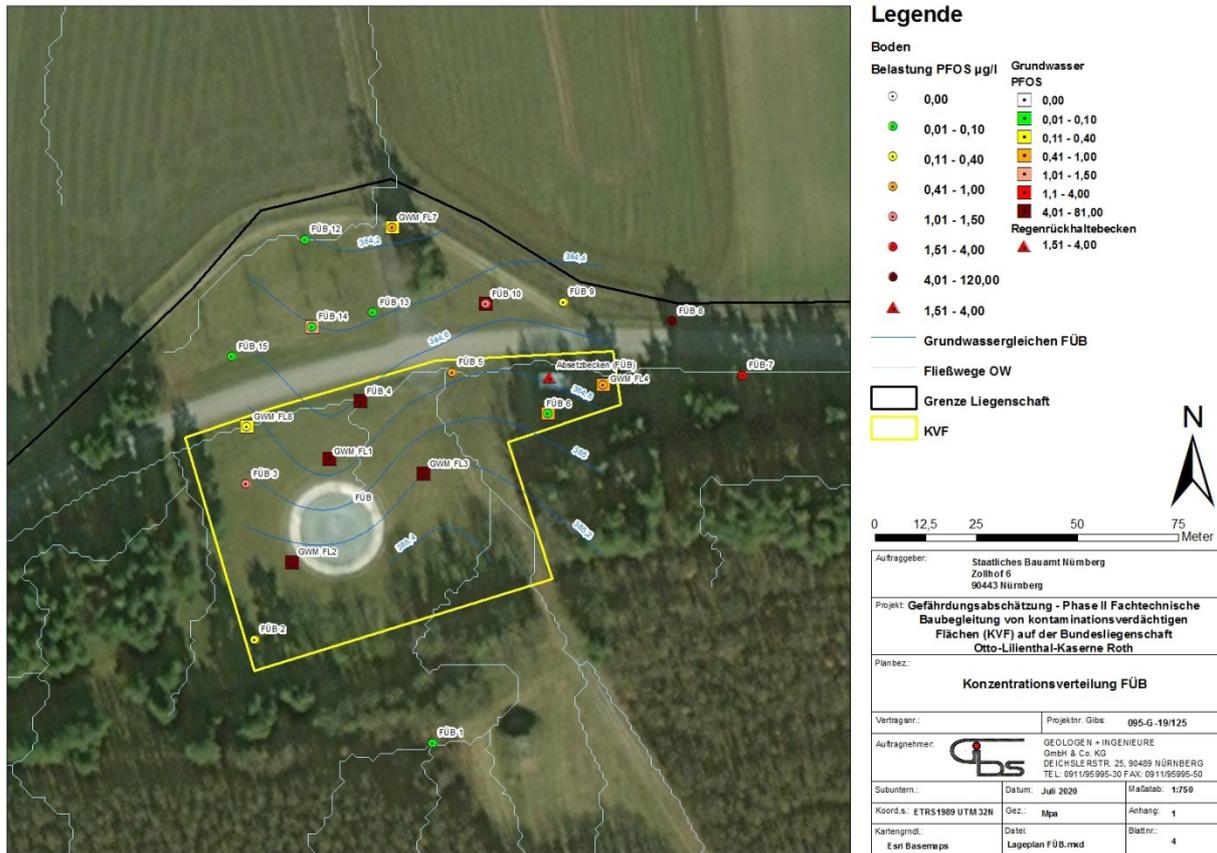


Abbildung 5-3: Lageplan KF „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“

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 nach sich ziehen.

Dieser Sachverhalt wurde im Zuge der Phase IIa Untersuchungen im Jahr 2012 und 2015 festgestellt. Die Untersuchungen erbrachten damals am Ort der Probenahme an vier der sieben Aufschlüsse Überschreitungen der vorläufigen Stufe-2-Werte und an einem Aufschluss eine Überschreitung der vorläufigen Stufe-1-Werte. Stufenwertüberschreitungen im Grundwasserschwankungsbereich wurden 2012 nicht festgestellt, da nur bis zu einer Tiefe von 1,1 m u GOK geschürft wurde. Bei der Errichtung der GWMFL 1 wurden auch Stufenwertüberschreitungen im Grundwasserschwankungsbereich und im Grundwasser festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden konnte.



Damit hatte sich der Gefahrenverdacht für die KF FÜB 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 15. Januar 2020 wurde folgende Untersuchungsstrategie festgelegt:

- **Durchführung von 19 Rammkernsondierung** zur Untersuchung der Schadstoffbelastung im Boden durch Entnahme von Bodenproben (schicht- bzw. meterweise). Untersuchung ausgewählter Proben auf PFC (13 Einzelparameter) im 2:1-Eluat. Acht RKS werden bis in eine Tiefe von 2 m u GOK abgeteuft. 11 RKS werden bis in eine Tiefe von 4 m u GOK abgeteuft.
- **Ausbau von 5 RKS zu 2“-Rammpegeln** (4 m u GOK) zur Messung des Wasserspiegels und zur Entnahme von Grundwasserproben. Die Grundwasserproben werden auf PFC (13 Einzelparameter) untersucht.
- **Probenahme von Wasser und Schlamm** im Auffangbecken und jeweils Analytik auf PFC (13 Einzelparameter).

5.2.1.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Historische Planunterlagen (Bestandsplan) deuten darauf hin, dass das Feuerlöschübungsbecken 1988 in Anlehnung an die „Standardplanung“ des Finanzbauamtes Düren errichtet wurde. Der Durchmesser nach Standardplanung betrug 24 m. Der Aufbau des Feuerlöschübungsbeckens weicht von der in Abbildung 5-4 dargestellten Standardplanung dahingehend ab, dass anstelle der Pflasterung eine mit Holz verkleidete Betonoberfläche errichtet wurde. Es handelt sich um ein technisches Bauwerk mit mehreren Dichtelementen (Holzvertäfelung, Beton, 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 in ein Auffangbecken (in ca. 50 m Entfernung) abgeleitet werden sollte.

Laut einer „Historischen Recherche“ des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 wurden an der KF FÜB regelmäßige Übungen mit PFC-haltigem Löschmittel durchgeführt. Bei den Übungen, die von 1988 bis 2012 ca. drei bis viermal pro Jahr durchgeführt wurden, wurde das Becken mit Wasser gefüllt und anschließend unterschiedliche Mengen Kraftstoff „F-34“ (Flugturbinenkraftstoff auf Kerosinbasis, auch als JP-8 bezeichnet) zugemischt. Das Gemisch wurde entzündet und mit PFC-haltigem Löschschaum gelöscht. Pro Löschübung wurden ca. 100 bis 200 Liter AFFF mit 4.000 l Wasser gemischt. Nach dem Brand wurde die Restlösung im Absetzbecken gesammelt und von einer Fachfirma entsorgt. Weitere Angaben zum Ablauf der Übungen sind nicht bekannt.

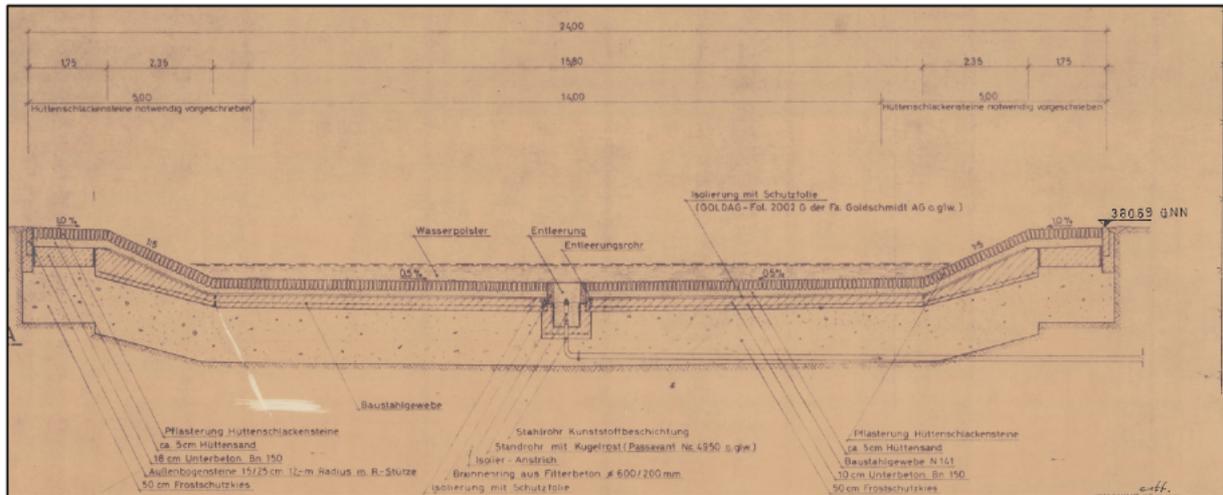


Abbildung 5-4: Querschnitt Feuerlöschübungsbecken nach Standardplanung

Das Feuerlöschübungsbecken wird seit 2012 nicht mehr genutzt.

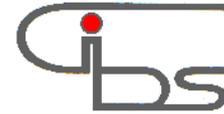
Die vor der aktuellen Erkundungsphase (Phase IIb) durchgeführten (analytischen) Untersuchungen an der KF FÜB sind in Tabelle 5-8 dargestellt. Die tabellarische Zusammenfassung der in der Phase IIb durchgeführten Untersuchungen ist der Tabelle 5-12 zu entnehmen.

Tabelle 5-8: Bisherige analytische Untersuchungen KF FÜB

Phase IIa-1 Untersuchungen (R&H, 2012):	
Boden:	Eine Flächenmischprobe und 7 Baggerschürfe bis in 1,1 m Tiefe, 28 Bodenproben, Analyse von 23 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 9 Proben bzw. 49 Aufschlüssen, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in fünf Proben bzw. einem Aufschluss
Grundwasser:	Es fanden keine Grundwasseruntersuchungen statt
Errichtung 2 ^{te} -Grundwassermessstelle am FÜB (R&H, 2015):	
Boden:	Eine Bohrung bis in 10 m Tiefe, Analyse von vier Bohrkernen auf PFC (S4-Eluat); Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in zwei Proben (GWMFL 1 2,5-2,7 und GWMFL 1 3,9-4,1, PFC-Summe 22 bzw. 10 mg/kg)
Grundwasser:	Entnahme von 2 Grundwasserschöpfproben aus der 2 ^{te} -GWM und Kurzpumpversuch mit vier Probenahmen (2 untersucht) Überschreitung der Stufe-2-Werte für PFHxS, PFOA und PFOS in allen untersuchten Proben.

5.2.1.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den 19 Rammkernsondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Anlage 5 dargestellt. Unter geringmächtigen humosen Oberboden- bzw. Auffüllungsbereichen wurden überwiegend fein- bis mittelsandige schwach schluffig und schwach kiesige Lagen (Tiefe max. 3,4 m u. GOK) erkundet. Zum Teil waren schluffig-tonige Lettenschichten zu finden. Der Übergang zur gesättigten Bodenzone lag zumeist in



Tiefen zwischen 1 – 1,5 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

5.2.1.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 5-9 exemplarisch für den Einzelparameter PFOS schichtbezogen dargestellt. Die Lagen der Untersuchungspunkte sind Abbildung 5-3 bzw. Anlage 1 Karte 4 zu entnehmen. Bei vereinzelt Bodenproben, bei denen PFOS nicht der einstufigsrelevante 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 11 der 19 Aufschlüsse die vorläufigen Stufe-2-Werte und an zwei weiteren die vorläufigen Stufe-1-Werte überschritten. Bei sechs Aufschlüssen wurden keine Stufenwertüberschreitungen festgestellt.

Eine Feststoffprobenahme im Absetzbecken konnte nicht durchgeführt werden, da kein Schlamm im Becken angetroffen wurde.

Die höchsten Gehalte mit Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte wurden aktuell an den Aufschlüssen GWMFL 2 (PFOS 120 µg/l, PFHxS 58 µg/l, PFOA 4,9 µg/l, PFHpS 4,0 µg/l, PFHpA 1,7 µg/l), GWMFL 3 (PFOS 16 µg/l, PFHxS 6,4 µg/l), FÜB 4 (PFOS 13 µg/l, PFHxS 1,2 µg/l), FÜB 8 (PFOS 7,5 µg/l), FÜB 7 (PFOS 2,2 µg/l), FÜB 3 (PFOS 1,3 µg/l), und FÜB 10 (PFOS 1,3 µg/l) ermittelt und können somit rund um das Becken und das Absetzbecken lokalisiert werden. Hier wurden durchgängige PFOS-Befunde oberhalb des vorläufigen Stufe-2-Wertes meist bis zum Übergang in die gesättigte Bodenzone ermittelt. Bei FÜB 5 und GWMFL 4 wurden nur oberflächennah (bis ca. 1,0 m u. GOK) bodenschutzrechtlich relevante PFOS-Konzentrationen gemessen.

Der Aufschluss GWMFL 7 zeigt durchgängige Stufe-1-Wert-Überschreitungen an. Die Aufschlüsse FÜB 9 und FÜB 2 weisen deutlich niedrigere Gehalte auf. An diesen wurde der vorläufige Stufe-1-Wert nur vereinzelt, geringfügig und zumeist oberflächennah (bis max. 0,5 m u. GOK) überschritten. An den Aufschlüssen FÜB 1 (entfernter Anstrom), FÜB 6 (südlich des Absetzbeckens), FÜB 12, FÜB 13, FÜB 14 und FÜB 15 (alle auf der nördlichen Straßenseite) konnten keine bodenschutzrechtlich relevanten PFC-Konzentrationen festgestellt werden.

Insgesamt belegen die durchgeführten Bodenuntersuchungen eine deutliche Konzentration der PFC-Kontamination auf den Bereich des FÜB und des vermuteten Abstroms.

Tabelle 5-9: Kontaminationsverteilung am Feuerlöschübungsbecken anhand des Einzelparameters PFOS

Aufschluss	Anzahl Proben	Anzahl Analysen	PFOS-Konzentration [µg/l] je Schicht								Andere einstuferrelevante Einzelparameter		
			1	2	3	4	5	6	7	Mittel	Max		
FÜB 1	3	2	0,02	<0,01							0,01	0,02	
FÜB 2	4	4	0,13	0,04	0,03						0,07	0,13	PFHxS
FÜB 3	4	4	1	1,3	0,88	0,2					0,85	1,3	
FÜB 4	7	7	7,8	13	3,8	11	2,2	0,06	3		5,84	13	
FÜB 5	5	3	0,61	0,04	0,05						0,23	0,61	
FÜB 6	4	3	0,08	0,05	0,02						0,05	0,08	
FÜB 7	3	3	2,2	0,99	0,33						1,17	2,2	
FÜB 8	4	4	1	7,5	1	0,53					2,51	7,5	
FÜB 9	4	2	0,11	0,05							0,08	0,11	
FÜB 10	5	5	0,08	1,3	0,7	1,2	0,26				0,71	1,3	
FÜB 12	3	2	0,02	0,02							0,02	0,02	
FÜB 13	4	2	0,07	0,02							0,04	0,07	
FÜB 14	6	3	0,04	0,05	0,05						0,05	0,05	
FÜB 15	3	2	0,05	0,02							0,04	0,05	
GWMFL 2	4	3	120	40	17	12					47,25	120	
GWMFL 3	6	6	16	1,2	0,14	0,38	0,48	0,5			3,12	16	PFHxS
GWMFL 4	4	3	0,73	0,13	0,06						0,31	0,73	
GWMFL 7	4	4	0,26	0,84	0,49	0,47					0,43	0,84	
GWMFL 8	5	5	0,23	0,37	0,14	0,13	0,14				0,20	0,37	

Die deutlich beaufschlagten Messpunkte FÜB 8 und FÜB 7 befinden sich auf der nördlichen bzw. südlichen Straßenseite östlich des Absetzbeckens und liefern Hinweise auf eine PFC-Verfrachtung entlang der Straße (siehe Tabelle 5-7 und Anhang 1 Karte 4).

In den oberflächennahen Bodenpartien (Oberboden/Auffüllungsgebiete) wurden zumeist die höchsten Konzentrationen festgestellt, wobei sich in den höher/durchgängig belasteten Bereichen (z.B. GWMFL 2 und FÜB 4) eine geringfügige tiefenorientierte Kontaminationsverfrachtung andeutet. Angesichts der kommunizierten Betriebseinstellung im Jahr 2012 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

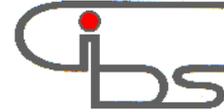
den höher belasteten Bereichen trotzdem zur Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte führt. Mit den vorliegenden Boden- und Materialuntersuchungen ist noch keine abschließende laterale Abgrenzung des Kontaminationsbereiches im Boden möglich. Unsicherheiten bei der Abgrenzung bestehen hauptsächlich im südöstlichen Bereich des FÜB und im Osten entlang der Straße. Die auf der Grundlage der bislang vorliegenden Bodenuntersuchungen vorläufig abgrenzbare Kontaminationsfläche ist in Anlage 1 Karte 4 dargestellt und weist eine Fläche von ca. 5.600 m² auf.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 5-10 dargestellt.

Tabelle 5-10: PFC-Belastung im Grundwasser an der KF FÜB

				DU OLK Roth Grundwasser									
Labornummer				175444	175441	175440	175437	188233	188247	188248	188249	188252	188253
KF/KVF				FÜB									
Probenbezeichnung				FÜB 4	FÜB 6	FÜB 10	FÜB 14	GWM FL1	GWM FL2	GWM FL3	GWM FL4	GWM FL7	GWM FL8
Probenahmedatum				27.01.2020	27.01.2020	27.01.2020	27.01.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020	12.02.2020
	Einheit	Orientierungswert	vorläufiger Schwellenwert										
Färbung		Verfärbung		hellbraun	hellbraun	hellbraun	hellbraun	braun	braun	braun	braun	braun	braun
Trübung		Eintrübung		stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb	stark trüb
Geruch		Fremdgeruch		ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Temperatur	°C			5,1	5,5	5,4	4,9	8,6	3,9	4,2	3,2	5,6	4,8
Leitfähigkeit 20°C	µS/cm	1800		156	120	604	257	148	437	373	789	356	395
Redoxspannung	mV			330	390	380	300	470	-30	20	180	-90	170
pH-Wert		5 - 8,5		5,8	5,3	6,31	6,26	4,94	7,08	7,21	8,88	6,87	7,21
Sauerstoff gelöst	mg/l			6,1	5,8	3,8	4,9	4,1	2,9	5	5	3,5	4,8
Perfluorooctansulfonsäure (gPFOS)	µg/l	0,1	0,1	81	1	5,4	1,2	57	65	14	0,5	0,2	0,4
Perfluorooctansulfonamid (PFOSA)	µg/l	0,1	0,1	0,02	<0,05	<0,01	<0,05	0,02	0,03	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l			1,1	<0,05	0,11	<0,05	1	1,1	0,37	<0,05	<0,01	0,04
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS)	µg/l	0,1	0,1	0,3	<0,05	<0,01	<0,05	0,1	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	10	0,6	0,6	<0,05	0,06	<0,05	0,5	0,2	0,4	<0,05	<0,01	<0,02
Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	µg/l	6	1,1	1,1	<0,05	0,2	0,1	1,8	0,8	3,3	<0,05	0,02	0,04
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	0,1	0,01	0,01	<0,05	<0,01	<0,05	0,03	<0,01	<0,01	<0,05	<0,01	<0,01
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	0,3	0,7	0,7	<0,05	0,06	0,05	0,7	0,2	0,5	<0,05	<0,01	0,02
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	6	2,24	2,24	0,06	0,2	0,2	3,1	0,7	4,4	<0,05	0,02	0,08
Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	µg/l	0,1	9,4	9,4	0,5	1,1	0,9	13	7,9	7,3	0,2	0,2	0,7
Perfluornonansäure (PFNA)	µg/l	0,06	0,7	0,7	<0,05	0,05	<0,05	0,4	0,04	0,03	<0,05	<0,01	0,02
Perfluordecansäure (gPFOA)	µg/l	0,1	1,2	1,2	<0,05	0,1	0,09	1,4	0,6	0,8	<0,05	<0,01	0,04
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	3	1,4	1,4	<0,05	0,09	0,06	1,1	0,2	0,8	<0,05	<0,03	0,02
Summe PFC	µg/l		100	100	1,6	7,4	2,6	80	77	32	0,7	0,44	1,4
Summenbedingung PFT	µg/l	1*	928,28	928,28	15,01	66,91	21,95	721,53	735,94	222,82	7,00	4,01	11,75



Im Nahbereich des Feuerlöschübungsbeckens befinden sich jetzt insgesamt sechs permanente 2"-Grundwassermessstellen mit Ergiebigkeiten von max. 0,05 l/s. Des Weiteren wurden aus vier Bohrlöchern Schöpfproben entnommen.

Es kommt an allen Untersuchungspunkten zu Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte. Dabei werden die vorläufigen Schwellenwerte für PFOS und PFHxS durchgängig in allen Messstellen überschritten. Vereinzelt werden darüber hinaus noch die vorläufigen Schwellenwerte für H4PFOS, PFHpA, PFNA und PFOA überschritten. Die höchsten Konzentrationen wurden im Nahbereich des Feuerlöschübungsbeckens gemessen (FÜB 4 PFOS 81 µg/l, GWMFL 2 PFOS 65 µg/l, GWMFL 1 PFOS 57 µg/l, GWMFL 3 PFOS 14 µg/l). Die Messstellen GWMFL 4 (PFOS 0,5 µg/l) und GWMFL 8 (PFOS 0,4 µg/l) befinden sich im Seitstrom zum FÜB. Die Messpunkte FÜB 10 (PFOS 5,1 µg/l) und GWMFL 7 (PFOS 0,2 µg/l) befinden sich im Abstrom.

Der berechnete Grundwassergleichenplan (siehe Anlage 1 Karte 4) zeigt wie vermutet eine nördliche Grundwasserfließrichtung zur Grenze der Liegenschaft hin.

Insgesamt zeigt sich eine deutliche Beaufschlagung mit PFC im Grundwasser im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens. Da auch die im Grundwasserabstrom an der Grenze der Liegenschaft gelegene Messstelle Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte zeigt, ist eine Verfrachtung der Kontamination mit dem Grundwasser in Bereiche außerhalb der Liegenschaft gesichert.

Eine vollständige Abgrenzung der Grundwasserfahne ist auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse nicht durchführbar. Sowohl westlich der GWM FL 8 als auch östlich der GWM FL 4 sind PFOS-Konzentrationen oberhalb des vorläufigen Schwellenwertes zu erwarten. Auch der Anstrombereich des FÜB ist im Grundwasser noch nicht abgegrenzt.

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 auf den Bereich des FÜB und des Absetzbeckens konzentrierte Verteilung. Die Konzentrationsverteilung im Boden deutet örtlich auf eine langsame vertikale Verfrachtung der PFC hin.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Nach Osten bzw. Südosten ist der Kontaminationsbereich nicht klar begrenzt. Auch im weiteren Verlauf der Straße Richtung RRB Nord ist die laterale Abgrenzung nicht vollständig erfolgt.

Inwieweit außerhalb der Liegenschaft bodenschutzrechtlich relevante Belastungen auftreten, kann bei derzeitigem Kenntnisstand nicht abschließend beurteilt werden.

Auf der Nordseite der Straße wurden keine bodenschutzrechtlich relevanten Konzentrationen ermittelt und somit die Kontaminationsfläche lateral abgegrenzt. In westlicher Richtung konnte die Kontaminationsfläche weitestgehend abgegrenzt werden.



Auch die Grundwasserfahne ist nach Westen, Süden (Anstrom) und Osten noch nicht vollständig abgegrenzt.

Aus Sicht des Gutachters kann aufgrund dieser Datendefizite die Gefährdungsabschätzung noch nicht abschließend durchgeführt werden. Trotz dieser Einschränkung werden im Folgenden auf der Grundlage der bislang vorliegenden Daten Aussagen hinsichtlich der Gefährdungsbeurteilung getroffen, die aber im Rahmen einer noch nachfolgenden Phase-IIb-2 Untersuchung zu überprüfen und validieren sind.

Die bislang erkundete Kontaminationsfläche, auf der Stufenwertüberschreitungen (PFOS > 0,1 µg/l im Eluat) festgestellt wurden, umfasst eine Fläche von ca. 5.600 m².

Die PFC-Konzentrationen in der ungesättigten Zone verursachten bereits nachweislich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung im oberflächennahen, schwebenden Grundwasservorkommen, 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.

Die abschließende Gefährdungsabschätzung wird aus den Grundwasseruntersuchungen abgeleitet. Die Standortfaktoren sind für eine derartige Vorgehensweise günstig, da das Grundwasser flach ansteht (mittlerer Flurabstand ca. 2,0 m) und der Standort durch gut verteilte Grundwasseraufschlüssen (6 Stück permanente Messstellen plus 4 Stück Messungen im offenen Bohrloch) erfasst wird. Eine Zusammenstellung der KF-bezogenen Grundwasserergebnisse findet sich in Tabelle 5-8.

Mit dem mehrfachen Überschreiten des vorläufigen Schwellenwertes für PFOS in den Messstellen GWMFL 1, 2, 3, 4, 7 und 8 ist gemäß BfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 Abbildung 5 eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt sowie der Gefahrenverdacht einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast im Bereich der KF FÜB erbracht, was i.d.R. weitere Maßnahmen erforderlich macht.

In der PFC-Leitlinie sind keine Maßnahmenwerte für PFC in Analogie zu den Stufe-2-Werten des BfW-Merkblattes definiert, die als direkte Entscheidungshilfe für die Erfordernis von Maßnahmen herangezogen werden könnten. Gemäß BfW-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 deutlich überschritten wird. Demnach wäre nach BfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 die Erfordernis von Maßnahmen aufgezeigt.

Die vorläufige 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.



Die Grundwasseruntersuchungen wurden direkt im Abstrom des FÜB entlang eines Transektes GWM FL 8 – GWM FL 1 – GWM FL 3 durchgeführt. Dieses ca. 45 m breite Transekt wurde nach Westen und Osten auf eine Gesamtlänge von ca. 100 m verbreitert, um die Unsicherheiten bei der nicht vollständig durchführbaren Fahnenabgrenzung in beide Richtungen zu reflektieren.

Der Durchlässigkeitsbeiwert für diese Berechnungen wurde anhand der Absenkung während der Pumpbeprobung in der GWM FL 1 abgeschätzt. Als minimale PFOS-Konzentration wurde der Messwert in der GWM FL 8 (0,4 µg/l) angesetzt, als mittlere PFOS-Konzentration der Messwert in der GWM FL 3 (14 µg/l) und als maximale PFOS-Konzentration der Messwert aus der GWM FL 1 (57 µg/l) angesetzt.

Die nachfolgende Tabelle 5-11 zeigt die wesentlichen Daten dieser Berechnungen.

Tabelle 5-11: Ermittelte Schadstofffracht (PFOS) im Grundwasser KF FÜB

Kontaminationsfläche	KF FÜB
	Abstrom
Abstrombreite Fahne [m]	100
mittlere Aquifermächtigkeit [m]	2,0
Querschnittsfläche [m ²]	200
kf-Wert [m/s]	5E-6
Hydraulisches Gefälle i [-]	0,013
GW-Umsatz [l/s]	0,013
GW-Umsatz [m ³ /d]	1,15
minimale Konzentration PFOS [µg/l]	0,4
mittlere Konzentration PFOS [µg/l]	14
maximale Konzentration PFOS [µg/l]	57
PFOS-Fracht minimal [g/a]	0,17
PFOS-Fracht mittel [g/a]	5,89
PFOS-Fracht maximal [g/a]	23,97

Daraus ergibt sich eine Spannweite der rechnerischen PFOS-Frachten im Grundwasser zwischen minimal ca. < 0,2 g/a bis maximal ca. 24 g/a bei einem Mittelwert von ca. 6 g/a.

Nach der Arbeitshilfe LAWA/LABO-Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ liegen die berechneten Frachten in der Größenordnung der zu tolerierenden Fracht einer kleinräumigen Grundwasserverunreinigung, die bei PFOS rechnerisch bei ca. 17 g/a liegt. Aufgrund der Datendefizite bei der Fahnenabgrenzung kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass die zu tolerierende Fracht überschritten wird. Da auch zusätzlich die noch nicht abschließend abgegrenzte Kontaminationsfläche mit derzeit schon ca. 5.600 m² deutlich über dem Grenzwert einer kleinräumigen Grundwasserverunreinigung (1.000 m²) liegt und auch das Kriterium „Dauer“ bei der Schadstoffgruppe PFC als ungünstig zu



bewerten ist, sind weiterführende Phase-IIb-2 Untersuchungen aus gutachterlicher Sicht verhältnismäßig.

5.2.1.6 Zusammenfassende Beurteilung

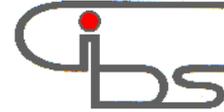
Tabelle 5-12 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KF FÜB. Die Untersuchungen erbrachten an 11 von 19 Aufschlusspunkten Überschreitungen der vorläufigen Stufe-2-Werte und an zwei weiteren Überschreitungen der vorläufigen Stufe-1-Werte am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen 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 wurden die Ergebnisse durch Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bestätigt und der kausale Zusammenhang zu den vorgefundenen PFC-Befunden im Boden hergestellt.

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 über die Liegenschaftsgrenze hinaus bis auf die benachbarten Flächen ausgebreitet hat und dort eine negative Grundwasserbeeinflussung hervorruft.

Zusammenfassend hat sich an der KF FÜB bereits jetzt 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. Andererseits sind bei jetzigem Erkundungsstand noch offene Flanken anzusprechen, die insbesondere in Zusammenhang mit der Verschmutzung der Oberflächengewässer Babenbach und Rötelgraben im nördlichen und nordöstlichen Umfeld der Liegenschaft zu sehen sind. Insbesondere könnte die Belastung im Bereich der Neuen Feuerwache ursächlich für die Kontamination im Rötelgraben sein. Auf der Grundlage der aktuellen Untersuchungsergebnisse ist festzustellen, dass das oberflächennahe schwebende Grundwasserstockwerk auf der Liegenschaft flächendeckend ausgebildet ist und hier eine permanente Wasserführung ausgebildet ist, die selbst in der vorherrschenden Dürrephase nicht trocken fällt. Die Wasserführung in diesem oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk ist zwar nicht sehr ergiebig, führt aber zu einer dauerhaften Zuspelung in die Vorfluter, die bevorzugt im Bereich des Ausbisses des Basisletten entspringen. Die Grundwasserfließverhältnisse konnten mit einem lokalen Grundwassergleichenplan im Bereich des FÜB bestimmt werden, das große Bild der Grundwasserverhältnisse auf der Liegenschaft kann aber bislang nicht erklärt werden.



Im direkten Bereich des FÜB sind in der nächsten Phase IIb-2 Untersuchungen detaillierte Untersuchungen hinsichtlich des hydraulischen Zusammenhangs zwischen dem FÜB und dem Absetzbecken inkl. Verbindungsleitungen zu klären. Ebenfalls unklar ist die Rolle der bestehenden Entwässerungseinrichtungen im Bereich FÜB-Absetzbecken und weiter entlang der Straße in Richtung RRB Nord und weiter in Richtung Babenbach. Derzeit kann für die Belastung im Babenbach das FÜB nicht zweifelsfrei ohne weitere Detailuntersuchungen in ursächlichem Zusammenhang gestellt werden.

Aufgrund der besonderen hydrogeologischen Verhältnisse in dem oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk kann nach u.E. das Gefährdungspotential einzelner KF, der ursächliche Zusammenhang zwischen Kontaminationsfläche – Wirkungspfad und Schutzgut (Oberflächengewässer) sowie eine Empfehlung möglicher Gefahrenabwehrmaßnahmen nur mit einem integralen Ansatz über Grundwasseruntersuchungen erfolgen.

Vor diesem Hintergrund sollten alle KVF der Phase-IIa sowie die KF FÜB auf das gleiche Erkenntnisniveau (Phase-IIb bzw. Phase-IIb-2) gebracht werden, um einen Gesamtüberblick der hydrogeologischen und hydraulischen Situation zu erhalten, was als wesentliche Grundlage zu sehen ist, auf der fundierte und zielführende Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Oberflächengewässer vorbereitet werden können.

Durch die flächendeckende Ausbildung der Grundwasserhemmschicht der Basisletten und der Entwässerung der Liegenschaft über das schwebende Grundwasserstockwerk zu den angrenzenden Vorflutern, ist eine Tiefensickerung des Schadens in das Grundwasserstockwerk des Sandsteinkeuper im kmBu wirksam unterbunden. Jedoch entwässert das Grundwasser über zahlreiche Quellen.

Eine Beeinträchtigung der umliegenden landwirtschaftlichen Flächen (Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze, Wirkungspfad Boden – Mensch) ist für vereinzelte Flächen belegt, für weitere Flächen ist eine Beeinträchtigung nicht auszuschließen. Im Bereich des Babenbaches und des Röthelgrabens ist eine Verfrachtung von PFC mit dem Oberflächenwasser belegt. Dies kann auch weiter entfernt liegende Schutzgüter beeinträchtigen, sowie potentielle Sekundärkontaminationen in Böden verursachen.

Erst nach Durchlaufen dieser nächsten Detailuntersuchungsphase kann über die Erfordernis und Art von Maßnahmen i.S. des BBodSchG §4 entschieden werden, was Dekontaminations- oder Sicherungsmaßnahmen oder – soweit nicht möglich oder unzumutbar – weitere Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen bedeuten kann. Hierzu wären dann 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 E.

Die letztendliche Entscheidung zu diesem Punkt treffen die zuständigen Behörden.



Tabelle 5-12: Zusammenfassung KF FÜB „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“

KF FÜB „Ehemaliges Feuerlöschübungsbecken“ (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Feuerlöschübungsbecken, ca. 150 l Schaummittel pro Übung
Dauer:	Von 1987 bis 2011
Phase IIa-1 Untersuchungen (R&H, 2012):	
Boden:	Eine Flächenmischprobe und 7 Baggerschürfe bis in 1,1 m Tiefe, 28 Bodenproben, Analyse von 23 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 9 Proben bzw. 49 Aufschlüssen, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in fünf Proben bzw. einem Aufschluss
Grundwasser:	Es fanden keine Grundwasseruntersuchungen statt
Errichtung 2“-Grundwassermessstelle am FÜB (R&H, 2015):	
Boden:	Eine Bohrung bis in 10 m Tiefe, Analyse von vier Bohrkernen auf PFC (S4-Eluat); Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in zwei Proben (GWMFL1 2,5-2,7 und GWMFL 1 3,9-4,1, PFC-Summe 22 bzw. 10 mg/kg)
Grundwasser:	Entnahme von 2 Grundwasserschöpfproben aus der 2“-GWM und Kurzpumpversuch mit vier Probenahmen (2 untersucht) Überschreitung der Stufe-2-Werte für PFHxS, PFOA und PFOS in allen untersuchten Proben.
Durchgeführte Untersuchungen Phase IIb-1: Gibs (2020):	
Boden:	19 Rammkernsondierungen bis max. 4 m Tiefe, daraus 82 Bodenproben, Analytik von 68 Bodenproben (S2:1-Eluat) auf PFC; Überschreitung der vorläufigen Stufe-2-Werte in 10 Sondierungen bzw. 33 Proben, Überschreitung der vorläufigen Stufe-1-Werte in 3 Sondierungen bzw. 8 Proben Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 5.600 m ² ;
Grundwasser:	Errichtung von fünf 2“-Grundwassermessstelle, einmalige Beprobung/Analytik an sechs GWM; einmalige Beprobung/Analytik von vier Schöpfproben aus den Bohrlöchern der RKS. Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte in zehn von zehn Proben (für PFOS max. 81 µg/l, PFHxS max. 13 µg/l, PFOA max. 1,4 µg/l, PFNA max. 0,7 µg/l, PFHpA max. 0,7 µg/l, H4PFOS max. 0,4 µg/l. Fracht mittel (PFOS): ca. 6 g/a
Oberflächenwasser:	Entnahme und Analytik einer Schöpfprobe aus dem Absetzbecken; Überschreitung der UQN (PFOS 3,9 µg/l) für PFOS.
Ackerflächen:	Probenahme und Analytik von 20 Ackerflächen mit je 2 Bodenproben (0-10 cm und 10-30 cm), PFC-Nachweise auf 7 Ackerflächen. Entnahme und Analytik von 2 Erntegutproben (Grünland), ohne Befund.
Bewertung u. Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bereits bestätigt; Kontaminationsbereich aber nicht vollständig abgegrenzt; weitere Untersuchungen als Voraussetzung für eine abschließende Gefährdungsabschätzung erforderlich
Bewertung nach BFR BoGwS:	Kat. E
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Erkundungen und Untersuchungen i.S. einer Phase-IIb-2 Untersuchung erforderlich



6 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die Datengrundlage für die Bewertung des Gefährdungspotentials fußt i.w. auf PFC-Messungen der Jahre 2019 und 2020. Diese Datengrundlage ist insbesondere vor dem Hintergrund der großen Messunsicherheiten bei den vorherrschenden geringen Konzentrationen unbefriedigend. Es wird empfohlen, kurzfristig ein Monitoringprogramm aufzustellen und durchzuführen, um dieses Datendefizit zu beheben. Erste Priorität hierbei sollten die Oberflächengewässer Röthelgraben und Babenbach haben. Während der Messpunkt Nr. 4 am Röthelgraben mit seinem ca. 13 km² großen Einzugsgebiet ein großes Verdachtsareal in der nordöstlichen Liegenschaft abdeckt, erfasst der aktuelle Messpunkt am Babenbach (Nr. 1) mit seinem nur ca. 6 ha großen Einzugsgebiet nur ein kleines Liegenschaftsareal. Es wird empfohlen, einen Messpunkt am Babenbach im weiteren Unterstrom festzulegen, der lückenlos angrenzend zum Röthelgraben-Einzugsgebiet ein großes Areal im nördlichen Liegenschaftsbereich abdeckt. An diesen beiden Gewässer-Messpunkten sollten zumindest halbjährlich, besser quartalsweise, PFC-Messungen in Verbindung mit Durchflussmessungen durchgeführt werden, um verlässliche und repräsentative Werte der Gesamtschadstoffemission aus dem verdächtigen nördlichen und nordöstlichen Liegenschaftsbereich in die betroffenen Vorfluter zu gewinnen.

Zusätzlich sollten parallel zum Oberflächenwassermonitoring PFC-Proben aus den 6 permanenten Grundwassermessstellen im Bereich des FÜB sowie zusätzlich aus einer Bestands-Grundwassermessstelle im Osten der Liegenschaft gewonnen werden (Genesis-Messstelle GM B4).

Diese Messstelle verfügt über einen Datenlogger zur kontinuierlichen Messung des Wasserspiegels. Diese Messungen sollten im Bereich des FÜB durch fortgeführte Datenloggermessungen in der GWM FL 1 ergänzt werden. Diese Messungen wurden im Mai 2020 abgebrochen. Durch die Wasserstandsmessungen können weitere wichtige Informationen über das Grundwasserregime im oberflächennahen schwebenden Grundwasserstockwerk erhoben werden.

Zur weiteren Abgrenzung der Kontaminationsfläche im Boden sollten im Rahmen einer Phase-IIb-2 Untersuchung weitere Rammkernsondierungen im Umfeld des FÜB errichtet werden mit Bodenprobenahmen und Untersuchung auf PFC.

Die Abgrenzung der Grundwasserfahne sowie die weitere Auflösung der Grundwasserfließrichtungen sollten mittels Direct-Push Untersuchungen (z.B. GeoProbe-Verfahren) erfolgen, die mit überschaubaren Kosten eine signifikante Verdichtung der Grundwassermesspunkte ermöglichen.

Diese lokale Grundwasseruntersuchungen im Bereich des FÜB sollten in ein regionales Netz der bereits in der Phase-IIa empfohlenen Grundwasseruntersuchungen einbinden, um insbesondere im nördlichen und nordöstlichen Liegenschaftsbereich gesicherte Erkenntnis über die Grundwasserverhältnisse und den Zusammenhang mit den Oberflächengewässer-Belastungen zu erhalten.



Für die empfohlenen Maßnahmen ist ein Untersuchungskonzept mit Probenahmeplan aufzustellen und mit dem AG und den Behörden abzustimmen.

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

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

Des Weiteren empfehlen wir alle noch nicht untersuchten Ackerflächen im Einflussbereich potentieller PFC-Kontaminationswege auf den Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze zu beproben. Auf den Flächen mit den höchst gemessenen Konzentrationen ist im Bedarfsfall über ein vorsorgliches Erntegutmonitoring im Abstrom des FÜB/Babenbaches bzw. des Röthelgrabens zu entscheiden.

Eine Zusammenfassung aller zu empfehlenden weiteren Untersuchungen innerhalb der Phase IIb-2 ist in nachfolgender Tabelle 6-1 dargestellt.

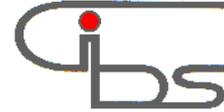
Tabelle 6-1: Zusammenfassung der empfohlenen Untersuchungen für die Phase IIb-2

Untersuchungsmethode	Untersuchungsziel
<u>Bodenuntersuchungen</u>	Laterale Eingrenzung der Bodenkontamination im Bereich des FÜB
3 Stück RKS a 3 m Teufe mit Bodenprobenahme und anschließender Analyse auf PFC im Bodeneluat	W des FÜB
3 Stück RKS a 3 m Teufe mit Bodenprobenahme und anschließender Analyse auf PFC im Bodeneluat	S und SE des FÜB
3 Stück RKS a 3 m Teufe mit Bodenprobenahme und anschließender Analyse auf PFC im Bodeneluat	N des FÜB ca. 5 m außerhalb der Zaunanlage
	Potentielle PFC-Verfrachtung über den Graben vom FÜB in Richtung Babenbach
7 Stück RKS a 1 m Teufe mit Bodenprobenahme und anschließender Analyse auf PFC im Bodeneluat	Im südlichen Straßengraben
5 Stück RKS a 2 m Teufe mit Bodenprobenahme und anschließender Analyse auf PFC im Bodeneluat	Klärung einer möglichen PFC-Akkumulation im Quellbereich des Babenbaches



<u>Grundwasseruntersuchung</u>	Laterale Eingrenzung der Grundwasserkontamination
Direkte Grundwasseraufschlüsse bis ca. 3 m Teufe mittels Geoprobe-Technik (Direct Push) mit Probenahme von Grundwasser und anschließender Analyse auf PFC	
2 Stück	Im Bereich der bestehenden FL8
2 Stück	Im Bereich der bestehenden FL4
2 Stück	Im Anstrom FÜB
4 Stück	Im Abstrom FÜB
Stichtagsmessungen Grundwasser zeitnah zur Geoprobe-Beprobung an allen bestehenden Messstellen	Aktualisierung und Konkretisierung Grundwassergleichenplan
<u>Oberflächenwasseruntersuchung</u>	
Ausarbeitung und Abstimmung eines Monitoring-Programmes einschließlich der Festlegung von Örtlichkeiten und Intervallen für Abflussmessungen zur Frachtbestimmung einschl. Beprobung/Analyse von Grundwasser aus 6 Bestandsmessstellen des FÜB	Frachtbestimmung zur Kalibrierung der Bilanzierung des Schadstoffmengen im Grundwasser
Bodenuntersuchung WP Boden - Pflanze	
Festlegung und Beprobung weiterer Ackerflächen	

Die letztendliche Entscheidung über notwendige Maßnahmen treffen die zuständigen Behörden.



7 Zusammenfassung

Mit den vorliegenden Phase IIb Untersuchungen konnte eine vorläufige Gefährdungsabschätzung für die KF

- **KF FÜB: Feuerlöschübungsbecken**

erstellt 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. Boden- und Grundwasserkontaminationen konnten in der vorliegenden Phase IIb nicht final lateral abgegrenzt werden.

Eine Außenwirkung größeren Ausmaßes resultiert insbesondere an der nördlichen Liegenschaftsgrenze. Die Belastung im Bereich RRB Nord trägt zu einer nachteiligen Außenwirkung insbesondere über das Oberflächenwasser (Babenbach) bei.

Ein Gefahrenverdacht für das Allgemeingut Grundwasser und Oberflächenwasser konnte nachgewiesen werden.

Aus diesem Grunde wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen, weitere Erkundungsmaßnahmen (Phase IIb-2) (siehe nachfolgende Tabelle 7-1) durchzuführen um die noch bestehenden Datenlücken zu füllen.

Bei den Planungen wird empfohlen, den Standort 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:
FÜB	Feuerlös- übungsbecken	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung abschließend bestätigt; Gefährdungsabschätzung nur vorläufig da genaue Abgrenzung noch unklar. Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit i.S. §4 BBodSchG belegt	Kat. E	Phase IIb-2 Untersuchungen zum Schließen der bestehenden Datenlücken



8 Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften

Literatur

- R & H Umwelt GmbH (R&H, 2012): Otto-Lilienthal-Kaserne Roth Orientierende Bodenuntersuchungen im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens – Nürnberg.
- R & H Umwelt GmbH (R&H, 2015): Otto-Lilienthal-Kaserne Roth Errichtung 2“ Schichtwassermessstelle Feuerlöschübungsbecken – Nürnberg.
- BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6: diverse Unterlagen zur PFC-Historie auf der OLK – München.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU, 2012): PFC-Untersuchungen in Oberflächengewässern in Umfeld von Flughäfen – München.
- Deutscher Wetterdienst DWD (2020): Klimadaten Wetterstation Roth
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010): Umgang mit fluorhaltigen Löschschäumen in NRW. Recklinghausen.
- BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6 2018: “Fragebogen Nacherfassung PFC-Verdachtsflächen“ – München.
- Gibs geologen + ingenieure GmbH (Gibs 2020): Endbericht der Orientierenden Untersuchungen von 6 kontaminationsverdächtigen Flächen (Phase IIa) auf der Bundesliegenschaft Otto-Lilienthal-Kaserne Roth – Nürnberg.

Kartengrundlagen

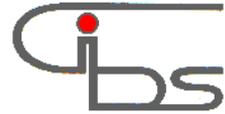
- Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Nr. 6732, Blatt Roth
- Hydrogeologischer Karte (HK) von Bayern im Maßstab 1:100.000
- Hydrogeologischer Karte (HK) von Bayern im Maßstab 1:500.000
- BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung

Rechtsvorschriften, Richtlinien und Merkblätter

- Bundes-Bodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) vom 17.03.1998.
- Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999.
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31.07.2009.
- Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – BayBodSchG) vom 23.02.1999.
- Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25.02.2010.
- Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2017): Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden. München.



- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Merkblatt 3.8.1: Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer, 31.10.2001.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser/Boden (LAWA/LABO) (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, Mainz.
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) (2018): Baufachliche Richtlinien Boden- und Grundwasserschutz, Berlin/Bonn.
- Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2018): Hinweise für Sachverständige und Untersuchungsstellen Boden/Wasser, Newsletter vom 26.06.2018. Augsburg.

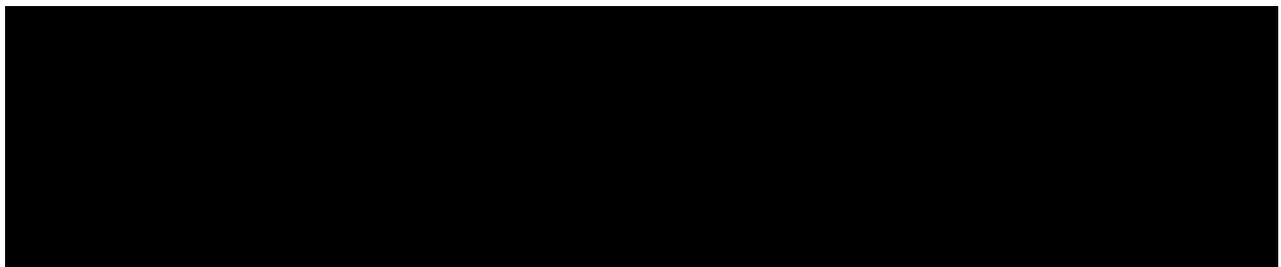


Nürnberg, 14. August 2020



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)



Anlage 1: Karten



Anlage 2: Analyseergebnisse



Anlage 3: Probenahmeprotokolle



Anlage 4: Laborprotokolle



Anlage 5: Schichtenverzeichnisse



Anlage 6: Vermessungsdaten der Aufschlüsse



Anlage 7: Entwässerung OLK Roth