

DETAILUNTERSUCHUNG PHASE IIb AM FLUGPLATZ INGOLSTADT/MANCHING

ENDBERICHT

AUFTRAGSNUMMER: 40213 A 0001

DATUM: 30. OKTOBER 2015

AUFTRAGGEBER:

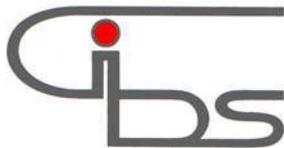


STAATLICHES BAUAMT INGOLSTADT

ELBRACHTSTR. 20

85049 INGOLSTADT

AUFTRAGNEHMER:



GEOLOGEN + INGENIEURE GMBH & Co. KG

DEICHSLERSTRASSE 25

D - 90489 NÜRNBERG

PROJEKTLEITER:

PROJEKTNR. GIBS:

099-G-15/044

AUSFERTIGUNG:

INHALTSVERZEICHNIS

1	Anlass und Aufgabenstellung	7
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	10
2.3	Standortsituation	11
2.3.1	Niederschlag und GW-Neubildung	11
2.3.2	Geologie	11
2.3.3	Hydrogeologie	12
2.3.4	Hydrologie	13
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	21
3.2.5	Kategorisierung nach AHBoGwS	21
4	Durchführung der Untersuchungen	23
4.1	Feldarbeiten	23
4.1.1	Erstellung der Grundwassermessstellen	25
4.1.2	Probenahmen	26
4.1.3	Vermessungsarbeiten	29
4.2	Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz	30
4.3	Laboruntersuchungen / Chemische Analytik	30
4.4	Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter	31
5	Untersuchungsergebnisse	32
5.1	Liegenschaftsbezogene Ergebnisse	32



5.1.1	Ergebnisse von Recherchen	32
5.1.2	Boden- und Untergrundaufbau	33
5.1.3	Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung	34
5.2	Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KVF/KF	41
5.2.1	KF 096: Grundwasser	42
5.2.2	KVF 001: POL-Lager POL-2.....	56
5.2.3	KVF 002: POL-Lager POL-1.....	60
5.2.4	KVF 066: Feuerlöschübungsbecken.....	65
5.2.5	KVF 104: Alte Feuerwache	71
5.2.6	KVF 105: Südbahn (westlich).....	78
6	Empfehlungen für das weitere Vorgehen.....	83
7	Zusammenfassung.....	84
8	Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften	88

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Übersichtsplan [10]	9
Abbildung 2-2: Geologischer Überblick Untersuchungsgebiet [8]	12
Abbildung 2-3: Oberflächengewässer Flugplatz Ingolstadt/Manching [10].....	14
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 4-1: Liner-Sondierung	27
Abbildung 5-1: Schematischer Untergrundaufbau	34
Abbildung 5-2: Wasserstände der untersuchten Grundwassermessstellen	37
Abbildung 5-3: Ergebnisse Doppel- und Parallelanalytik	47
Abbildung 5-4: PFC-Konzentrationen Direct-Push-Sondierungen	49
Abbildung 5-5: PFC-Konzentrationen Oberflächenwasser	51
Abbildung 5-6: Lageplan POL-Lager POL-2 (KVF 001)	56
Abbildung 5-7: Kontaminationsverteilung POL-Lager POL-2 (KVF 001)	58
Abbildung 5-8: Lageplan POL-Lager POL-1 (KVF 002)	60
Abbildung 5-9: Kontaminationsverteilung POL-Lager POL-1 (KVF 002)	62
Abbildung 5-10: Lageplan Feuerlöschübungsbecken (KVF 66).....	65
Abbildung 5-11: Kontaminationsverteilung Feuerlöschübungsbecken (KVF 66)	67
Abbildung 5-12: Lageplan Alte Feuerwache (KVF 104)	71
Abbildung 5-13: Kontaminationsverteilung Alte Feuerwache (KVF 104)	74
Abbildung 5-14: Lageplan Südbahn (KVF 105).....	78
Abbildung 5-15: Kontaminationsverteilung Südbahn (KVF 105).....	80

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1-1: Projektteam.....	7
Tabelle 2-1: Historische Entwicklung Flugplatz Manching/Ingolstadt.....	10
Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Baumannshof.....	11
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 Detailuntersuchung nach LfW Merkblatt 3.8/1.....	19
Tabelle 3-4: Vorläufige Schwellenwerte für Grund- und Trinkwasser.....	20
Tabelle 3-5: Kriterien zur Prüfung Verhältnismäßigkeit nach LAWA/LABO	20
Tabelle 3-6: Leitwerte des LfU für die Bewertung von PFC im Oberflächenwasser	21
Tabelle 4-1: Am Projekt beteiligte Unternehmen	24
Tabelle 4-2: Übersicht Bodenaufschlüsse.....	28
Tabelle 4-3: Pumpversuchsdaten	31
Tabelle 5-1: Übersicht Grundwassermessstellen.....	35
Tabelle 5-2: Reaktion der einzelnen Messstellen während des Pumpversuchs	38
Tabelle 5-3: Zusammenstellung der Pumpversuchsauswertungen.....	39
Tabelle 5-4: Mittelwerte der Vor-Ort-Parameter	43
Tabelle 5-5: Proben mit erhöhter Nachweisgrenze.....	44
Tabelle 5-6: Konzentrationsentwicklung für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC-Gesamt (10 Einzelparameter)	45
Tabelle 5-7: Frachtbetrachtung Σ PFOS/PFHxS/PFOA Hauptfahne Nordbahn	55
Tabelle 5-8: Zusammenfassung POL-Lager POL-2 (KVF 1).....	59
Tabelle 5-9: Zusammenfassung POL-Lager POL-1 (KVF 2).....	64
Tabelle 5-10: Ermittelte Schadstofffracht KVF 066.....	69
Tabelle 5-11: Zusammenfassung Feuerlöschübungsbecken (KVF 066)	70
Tabelle 5-12: Feststoffkonzentrationen [μ g/kg Trockenmasse] im Oberboden „Alte Feuerwache“ [5].....	72
Tabelle 5-13: Ermittelte Schadstofffracht KVF 104.....	76
Tabelle 5-14: Alte Feuerwache (KVF 104)	77
Tabelle 5-15: Zusammenfassung Südbahn (KVF 105).....	82

Tabelle 7-1: Zusammenfassende Bewertung der untersuchten KVF/KF87

ANLAGEN

Anlage 1:	Karten
Anlage 2:	Probenverzeichnis/Probennahmeprotokolle
Anlage 3:	Analysenergebnisse
Anlage 4:	Analysenprotokolle
Anlage 5:	Bohr- und Ausbauprofile neue Grundwassermessstellen
Anlage 6:	Schichtenverzeichnisse der Sondierungen
Anlage 7:	Vermessungsdaten der Aufschlüsse
Anlage 8:	Auswertung hydraulischer Tests
Anlage 9:	Dokumentation zusätzlicher Untersuchungen außerhalb der Liegenschaft

1 Anlass und Aufgabenstellung

Mit Datum vom 23.04.2015 wurde das Ingenieurbüro Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG vom Staatlichen Bauamt Ingolstadt mit dem Projekt „Detailuntersuchung Phase IIb Flugplatz Ingolstadt/Manching“ (Maßnahmennummer 40213 A 0001) nach Vorgabe der Arbeitshilfe Boden und Grundwasserschutz (AHBoGwS) [18] beauftragt.

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

Tabelle 1-1: Projektteam

Auftraggeber:	Staatliches Bauamt Ingolstadt
Fachtechnische Leitung:	Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat
Vertragsangelegenheiten:	Staatliches Bauamt Ingolstadt
Auftragnehmer:	Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG
Fachbereichsleitung:	
Projektleitung und -bearbeitung:	
Sachverständiger gemäß §18 BBodSchG:	

Auftragsgegenstand war ursprünglich die Erbringung von Leistungen für die Detailuntersuchung (Phase IIb) im Grundwasser auf dem Flugplatz Ingolstadt/Manching. Dabei bezieht sich die Detailuntersuchung ausschließlich auf die Erkundung der festgestellten PFC-Kontaminationen im Bereich der Liegenschaft. Aufgrund der diffusen Schadstoffverteilung wird das Grundwasser analog zur Vorgehensweise der Orientierenden Untersuchung (Phase IIa) als separate Kontaminationsfläche (KF) bewertet. Als Nachbeauftragung zu diesen Untersuchungen wurden an fünf kontaminationsverdächtigen Flächen (KVF) die PFC-Belastungen in der ungesättigten Bodenzone untersucht. Diese Bodenuntersuchungen sind nach Einschätzung des Gutachters eher als „Orientierende Untersuchungen“ einzustufen.

Die Phase IIb Untersuchung knüpft an die Erkundungen der Firma [REDACTED] an, die von 2010 bis 2013 die kontaminationsverdächtigen Flächen (KVF) im Zuge einer Phase-1-Erkundung erfassten, sie nachfolgend orientierend erkundeten (Phase IIa) und dabei insbesondere für PFC den Gefahrenverdacht hinreichend bestätigten. Im August 2014 wurden die Ergebnisse der OU durch Gibs geologen + ingenieure im Zuge einer weiteren Beprobungsrunde der Grundwassermessstellen bestätigt.

Auf Grundlage der vorgenannten Erkenntnisse wurde durch das BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6 (BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6) in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt ein Untersuchungsprogramm für Phase-IIb-Untersuchungen am Standort konzipiert, welches im Frühling / Sommer 2015 durch Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG durchgeführt wurde und insgesamt folgende Leistungen umfasste (Hauptauftrag und Nachbeauftragungen):

- Monitoring von Oberflächengewässern, Grundwassermessstellen und landwirtschaftlichen Bewässerungsbrunnen im Zuge von drei Beprobungskampagnen zwischen April 2015 und Juli 2015.
- Errichtung von sechs 2“ Grundwassermessstellen.
- Grundwasserbeprobungen mittels 70 Direct-Push-Aufschlüssen.
- Durchführung von zwei sechsstündigen Pumpversuchen.
- Durchführung von Bodenuntersuchungen durch 32 Linersondierungen und 4 Rammkernsondierungen (197 entnommene Bodenproben).
- Vermessung der neu errichteten Grundwassermessstellen und der temporären Grund- und Bodenaufschlüsse nach Lage und Höhe.
- Beprobung von 67 privaten Hausbrunnen im nördlichen Abstrombereich des Flugplatzes.
- Untersuchung von zwei landwirtschaftlich genutzten Flächen auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (16 entnommene Bodenproben).
- Gewinnung zweier Erntegutproben (Wintergerste und Kartoffeln) an den genannten landwirtschaftlichen Nutzflächen.
- Analytik aller Wasser-, Boden und Erntegutproben auf PFC (insgesamt 475 Analysen).

Die Untersuchungen der privaten Hausbrunnen, der landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Erntegutproben stellen zusätzliche Untersuchungen dar, die nicht im originären Zusammenhang mit der Phase IIb Untersuchung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser stehen und deshalb auch nicht bei der Bewertung berücksichtigt werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in die Anlage 9 ausgegliedert. [REDACTED]

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im vorliegenden Bericht nach Vorgabe der Arbeitshilfe Boden und Grundwasserschutz (AHBoGwS) dokumentiert und bewertet. Im Anschluss erfolgt eine Gefährdungsabschätzung hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Grundwasser inkl. Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise und evtl. nötiger Gefahrenabwehrmaßnahmen.

2 Kenntnisstand vor Untersuchungsbeginn

2.1 Vorhandene Unterlagen und Berichte

[Redacted text block]

[3] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (Gibs): PFT Untersuchungen Flugplatz Manching – Nürnberg, 30.10.2014

[4] BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am Flugplatz Manching - München

[5] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): diverse PFC-Untersuchungen in Grund- und Oberflächenwasser und Boden - München

2.2 Liegenschaftsbeschreibung

2.2.1 Lage und gegenwärtige Nutzung

Der Flugplatz Ingolstadt/Manching liegt ca. 1 km östlich von Manching bei einer West-Ost-Ausdehnung von ca. 3,5 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 2 km (siehe Abbildung 2-1). Auf dem Flugplatz befinden sich zwei Start-/Landebahnen, eine am Nord- und eine am Südrand der Liegenschaft gelegen.



Abbildung 2-1: Übersichtsplan [10]

2.2.2 Historische Entwicklung

Die historische Entwicklung des Flugplatzes Manching/Ingolstadt ist in Tabelle 2-1 aufgeführt [1].

Tabelle 2-1: Historische Entwicklung Flugplatz Manching/Ingolstadt

Datum	Landnutzung
Vor 1936	Über die Nutzung der Liegenschaft vor 1936 liegen keine Informationen vor.
1936 bis 1945	Flugplatz war im Besitz der Deutschen Luftwaffe.
1944 - 1945	Häufige Angriffe der Alliierten; Teile des Kommandanturgebäudes, Staffelunterkünfte, Werfthalle und Flugleitung wurden zerstört.
1945	Flugplatz wurde von der Deutschen Luftwaffe verlassen. Das XI. US Armeekorps besetzte den Fliegerhorst am 26.04.1945.
1945 bis 1948	Im Rahmen der Demilitarisierung existierten auf dem Flugplatz ein Brandplatz und ein Sprenggelände. Der Brandplatz wurde um 1945 durch die USAAF genutzt. Das Sprenggelände wurde von 1946 bis 1948 errichtet.
1950 bis 1952	Erste Kampfmittelräumungen im den Bereichen des Brandplatzes und des Sprenggeländes.
1956	Der unter amerikanischer Verwaltung stehende Flugplatz wurde 1956 den deutschen Behörden übergeben.
1960	Fertigstellung der Start- und Landebahn.
1961	1961 wurde die große Südbahn erbaut. Die Messerschmitt AG (heute Airbus Group) verlegte ihr Werk von München-Riem nach Manching.
Bis 1978	Der südwestliche Abschnitt des Flugplatzes wurde durch die Firma Messerschmitt BB (MBB, heute Airbus Group) genutzt.
Von 1960 bis heute	Der Flugplatz wird von der Bundeswehr betrieben.
1965/1966	Verlegung des WTD 61 nach Manching.
1964 bis 1971	Zweite umfassende Kampfmittelräumung (ca. 500 ha).
1994	Weitere Kampfmittelräumung (17,76 ha).
1995	Integration der „Musterprüfstelle für Luftfahrtgeräte der Bundeswehr“ in die WTD 61, neuer Name: „Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge – Musterprüfwesen für Luftfahrtgeräte der Bundeswehr“
1999	Neuer Flugsicherungskontrollturm wird in Betrieb genommen.

2.3 Standortsituation

2.3.1 Niederschlag und GW-Neubildung

Unmittelbar südlich des Flugplatzes Manching/Ingolstadt wird im Bereich der Ortschaft Forstwiesen die von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft die Wetterstation Baumannshof seit dem Jahr 1989 betrieben (siehe Tabelle 2-2). Im langjährigen Mittel (1990 – 2014) wurde an dieser Station ein Jahresniederschlag von 686 mm/a ermittelt. Dies entspricht einem mittleren Monatsniederschlag von ca. 57 mm [7].

Im Jahr 2015 fielen bis Ende September 434 mm Niederschlag. Dies entspricht einem Monatsmittel von ca. 48 mm. Damit war das Jahr 2015 bislang trockener als im langjährigen Mittel.

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich des Flugplatzes Manching von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von 50 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei 25 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei 75 mm/a.

Tabelle 2-2: Langjährige Niederschlagswerte Station Baumannshof

Jahr	Niederschlag [mm]	Jahr	Niederschlag [mm]
1991	575	2003	466
1992	544	2004	673
1993	368	2005	740
1994	568	2006	700
1995	666	2007	804
1996	596	2008	673
1997	545	2009	735
1998	765	2010	812
1999	733	2011	767
2000	730	2012	715
2001	916	2013	755
2002	935	2014	694
Minimum	368		
Maximum	935		
Mittelwert	686		

2.3.2 Geologie

Der Untergrund des Untersuchungsgebietes besteht laut Geologischer Karte (GK) von Bayern Nr. 7235, Blatt Vohburg aus pleistozänen (würmzeitlichen) Flusssanden oder Flussschottern des „älteren Mündungsschwemmfächer der Paar“ und holozänen kiesigen Sanden des „jüngeren Mündungsschwemmfächer der Paar“, bereichsweise überlagert von sandigen bis schluffigen Auenablagerungen (siehe Abbildung 2-2).

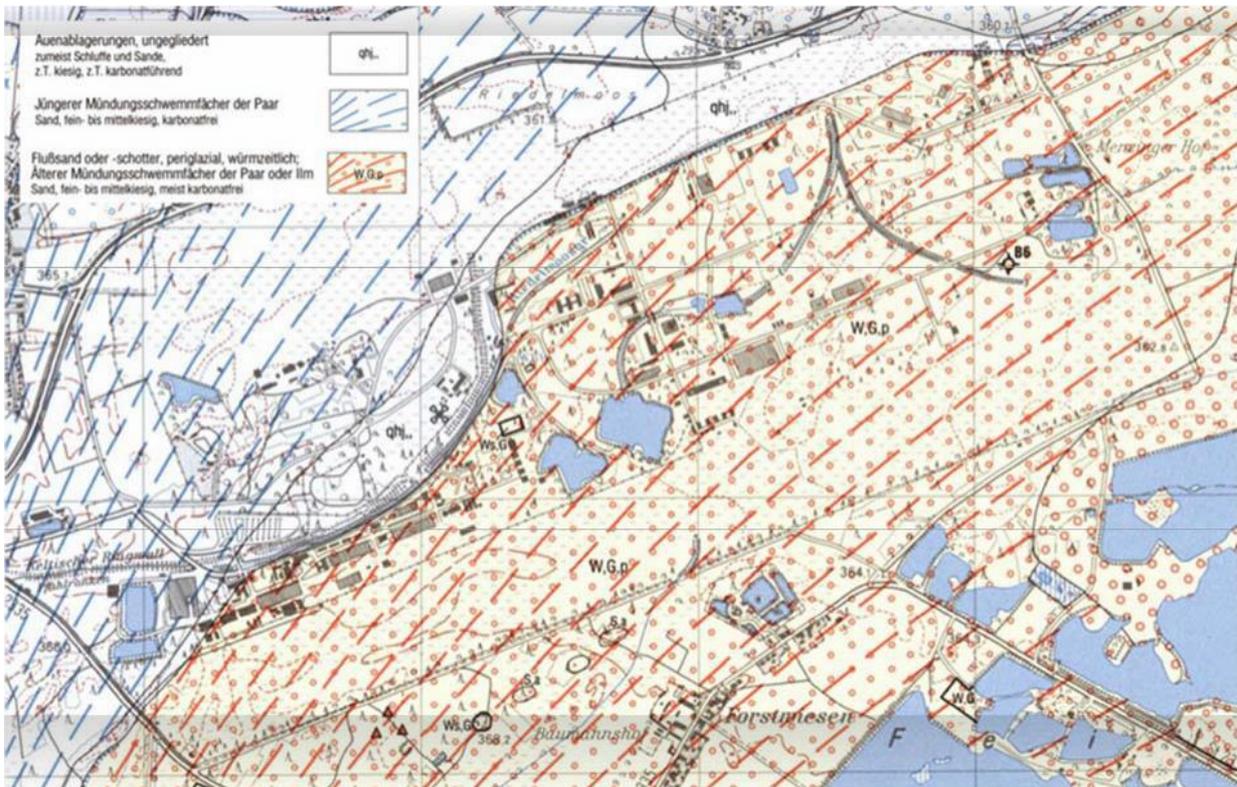


Abbildung 2-2: Geologischer Überblick Untersuchungsgebiet [8]

2.3.3 Hydrogeologie

Das quartäre Grundwasser wird auf dem Flugplatz durch 30 Grundwassermessstellen erschlossen und steht oberflächennah bei ca. 360 mNN mit einem Flurabstand von ca. 1,5 – 3,5 m unter Gelände an. Die Basis des quartären Grundwasserleiters bilden die stauenden grauen Tone der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär), die im Bereich des Flugplatzes bei ca. 7 – 10 m u. GOK angetroffen werden und eine mittlere Aquifermächtigkeit von ca. 6 m bedingen. Es handelt sich um einen homogenen Aquifer mit freien Grundwasserverhältnissen.

Durch hydraulische Versuche (Details siehe Kapitel 5.1.3) wurden Transmissivitäten (T [m^2/s]) zwischen $1,80 \cdot 10^{-2} m^2/s$ und $6,00 \cdot 10^{-2} m^2/s$ (Mittelwert $3,49 \cdot 10^{-2} m^2/s$), Durchlässigkeiten (k_f -Wert [m/s]) zwischen $2,57 \cdot 10^{-3} m/s$ und $8,57 \cdot 10^{-3} m/s$ (Mittelwert $4,98 \cdot 10^{-3} m/s$) und ein Speicherkoeffizient von 0,25 ermittelt. Gemäß DIN 18130-1 kann der Aquifer als „stark durchlässig“ bezeichnet werden. Der ermittelte Speicherkoeffizient von 0,25 ist für den Porengrundwasser durchaus plausibel und bestätigt die freien Regimeverhältnisse.

Die großräumige Grundwasserfließrichtung im Bereich des Flugplatzes Manching ist nach Norden bzw. Nordosten zum Hauptvorfluter Donau hin gerichtet. Die Fließrichtung wurde durch mehrere Stichtagsmessungen bestätigt. Auch die hydrogeologische Karte

(HK) von Bayern im Maßstab 1:100.000 zeigt eine nach Norden bzw. Nordosten gerichtete Grundwasserfließrichtung.

2.3.4 Hydrologie

Auf dem Flugplatz Manching/Ingolstadt befinden sich zahlreiche Oberflächengewässer, wie in Abbildung 2-3 dargestellt. Von Südwesten strömt der Riedelmoosgraben über das Airbus-Gelände in Richtung Flugplatzgelände. Auf Höhe des Baggersees 1 befindet sich ein Stauwehr, durch welches das Fließgewässer in den Baggersee 1 umgeleitet wird und dann weiter in die Baggerseen 4 fließt. Von Süden strömt der Kühpickelgraben ebenfalls dem Baggersee 4 zu. Die Südlandebahn wird in verrohrter Bauart unterquert. Der Baggersee 4 entwässert über die Baggerseen 5 und 6 in den Feilenmooshauptkanal. Ein weiterer Zufluss in den Feilenmooshauptkanal ist der Seitenentwässerungskanal Ost, der den südöstlichen Flugplatzbereich entwässert. Der Feilenmooshauptkanal unterquert die nördliche Start-/Landebahn und mündet in die Westenhauser Ach, die über die Irschinger Ach und die Kleine Donau der Donau zufließt. Über diesen Entwässerungspfad erfolgt der Großteil der oberflächlichen Entwässerung des Flugplatzes. Zwei weitere kleine Gräben (Ottergraben, Ablauf Ost) entwässern den Flugplatz in östliche/südöstliche Richtung. Der Ottergraben führt nur wenig Wasser, der Ablauf Ost weist nur eine temporäre Wasserführung auf (von April bis Juli bei 3 Beprobungen immer trocken). Auf dem Gelände befinden sich weitere Baggerseen. Der Baggersee 3 ist mit dem Baggersee 4 verbunden. Der Baggersee 13 fließt dem Riedelmoosgraben zu. Die im Osten gelegenen fünf Baggerseen (Baggersee 8 – 12) sowie der zentral gelegene Baggersee 7 haben keine Verbindung zu den Fließgewässern.



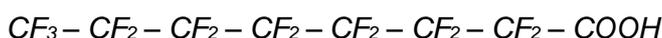
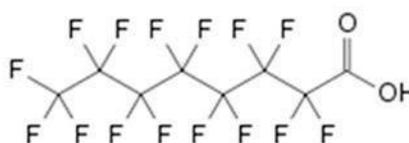
3 Grundlagen der Ergebnisbeurteilung

3.1 Eigenschaften von PFC

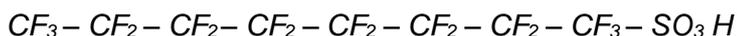
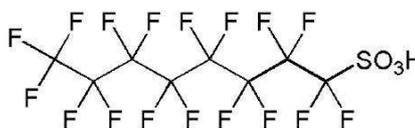
PFC (Per- und polyfluorierte Chemikalien) sind synthetisch hergestellte, organische und oberflächenaktive Kohlenwasserstoffketten mit Fluor als Endglied (siehe Abbildung 3-1), die unter Umweltbedingungen außerordentlich stabil (persistent) sind und mittlerweile ubiquitär in den verschiedensten Umweltmedien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



(PFOA)



(PFOS)

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 langkettige 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				
Perfluordecansäure(PFDA)	10	COOH				
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	10	COOH				
Perfluorundecansäure(PFUnA)	11	COOH				
Perfluordodecansäure(PFDoA)	12	COOH				

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

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

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

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

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), geändert durch die EU-Verordnung 757/2010, verboten. Demnach dürfen, mit einigen Einschränkungen (z.B. Galvanotechnik, Fotoindustrie, Luft- und Raumfahrt), Stoffe oder Gemische mit einem PFOS-Gehalt von > 0,001% nicht in Verkehr gebracht und nicht verwendet werden.

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).

3.2 Bewertungskriterien und –maßstäbe

3.2.1 Wirkungspfad Boden – Mensch

Eine Bewertung des Wirkungspfad Boden-Mensch war nicht Auftragsgegenstand.

3.2.2 Wirkungspfad Boden – Nutzpflanze

Eine Bewertung des Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze war nicht Auftragsgegenstand.

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

In Bayern leisten die „*Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden*“ vom Bayer. Landesamt für Umwelt (Januar 2015) eine Hilfestellung für die Bewertung von PFC.

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 Wirkungspfad Boden-Grundwasser werden die Eluatwerte des S4-Eluats herangezogen. Die ermittelten Eluatkonzentrationen werden auf das Sickerwasser am Ort der Probenahme übertragen.

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

Stoff	Vorläufiger Stufe-1-Wert [$\mu\text{g/l}$]	Vorläufiger Stufe-2-Wert [$\mu\text{g/l}$]
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	0,23	1,0
Summe aus Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) Perfluorooctansäure (PFOA) Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,3	1,0
Perfluorbutansäure (PFBA)	7,0	28,0
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	3,0	12,0
Perfluorpentansäure (PFPeA)	3,0	12,0
Perfluorhexansäure (PFHxA)	1,0	4,0
Perfluorheptansäure (PFHpA)	0,3	1,0
Perfluorononansäure (PFNA)	0,3	1,0
Perfluordekansäure (PFDA)	0,3	1,0

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

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

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

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

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

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

Gefährdungsabschätzung Grundwasser

In den LfU-Leitlinien sind bislang keine Stufenwerte zur Bewertung einer Grundwasserverunreinigung definiert. Stattdessen wurden vorläufige Schwellenwerte für **Grund- und Trinkwasser** definiert, die in Tabelle 3-4 aufgeführt sind. 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.

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

Stoff	Vorläufiger Schwellenwert [$\mu\text{g/l}$]	Begründung
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	0,23	Übernahme des aktuell vorliegenden Geringfügigkeitsschwellenwert-Vorschlages der LAWA
Summe aus Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) Perfluorooctansäure (PFOA) Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	0,3	Übernahme des Trinkwasser-Leitwertes (aus Vorsorgegründen wg. ähnlichem toxischem Risikopotenzials um PFHxS ergänzt)
Perfluorbutansäure (PFBA)	7,0	Übernahme des Leitwertes
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	3,0	Übernahme des GOW
Perfluorpentansäure (PFPeA)	3,0	
Perfluorhexansäure (PFHxA)	1,0	
Perfluorheptansäure (PFHpA)	0,3	
Perfluornonansäure (PFNA)	0,3	Anlehnung an GOW für PFOA
Perfluordekansäure (PFDA)	0,3	

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 Σ PFOS/PFHxS/PFOA der vorläufige Schwellenwert von 0,3 $\mu\text{g/l}$) ab.

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

Kriterien Boden
- Eintragsfläche für Schadstoffe: < 1.000 m ² und
- Frachten (bezogen auf Summe PFOS/PFOA/PFHxS): < 50 g/a
Kriterien Grundwasser
- Schadstoffmasse für Summe PFOS/PFOA/PFHxS im Grundwasser nach Bodensanierung < 300 g

3.2.4 Bewertungskriterien Oberflächenwasser

Zur Bewertung von **Oberflächenwasser** werden in den Leitlinien des LfU für die Einzelparameter PFOS und PFOA sogenannten $PNEC_{\text{aquatisch}}$ -Werte ($PNEC$ = Predicted No Effect Concentration, Konzentration bei der nach derzeitigem Kenntnisstand keine nachteiligen Effekte auf Gewässerorganismen auftreten) für PFC aufgeführt, welche auch bei der Einleitung von PFC-haltigen Abwässern in Gewässer (auch über Kläranlagen) herangezogen werden sollen. Diese sind in Tabelle 3-6 aufgeführt. 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. Die Richtlinie soll zwar bis 2015 in nationales Recht umgesetzt werden, ihre Einhaltung ist allerdings erst ab 2027 erforderlich. Bis zum Vorliegen einer gültigen Umsetzung der Richtlinie gelten weiterhin die $PNEC$ -Werte.

Tabelle 3-6: Leitwerte des LfU für die Bewertung von PFC im Oberflächenwasser

Parameter	Einheit	$PNEC_{\text{aquatisch}}$
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	570
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	µg/l	0,05

3.2.5 Kategorisierung nach AHBoGwS

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

Kategorie A

Der Kontaminationsverdacht hat sich nicht bestätigt bzw. es wurde eine Sanierung durchgeführt. Außer einer Dokumentation besteht kein weiterer Handlungsbedarf. Eine uneingeschränkte Nutzung ist möglich.

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.



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 Projektleiter und Unterzeichner ist zugelassener Sachverständiger nach §18 BBodSchG für die Sachgebiete 1, 2 und 5.

Die Feldarbeiten wurden im Zeitraum vom April bis September 2015 durchgeführt und umfassten folgende Leistungen:

- Monitoring von Oberflächengewässern, Grundwassermessstellen und landwirtschaftlichen Bewässerungsbrunnen im Zuge von drei Beprobungskampagnen zwischen April 2015 und Juli 2015.
- Errichtung von sechs 2“ Grundwassermessstellen.
- Grundwasserbeprobungen mittels 70 Direct-Push-Aufschlüssen.
- Durchführung von zwei sechsstündigen Pumpversuchen.
- Durchführung von Bodenuntersuchungen durch 32 Linersondierungen und 4 Rammkernsondierungen (197 entnommene Bodenproben).
- Vermessung der neu errichteten Grundwassermessstellen und der temporären Grund- und Bodenaufschlüsse nach Lage und Höhe.
- Beprobung von 67 privaten Hausbrunnen im nördlichen Abstrombereich des Flugplatzes.
- Untersuchung von zwei landwirtschaftlich genutzten Flächen auf den Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze (16 entnommene Bodenproben).
- Gewinnung zweier Erntegutproben (Wintergerste und Kartoffeln) an den genannten landwirtschaftlichen Nutzflächen.
- Analytik aller Wasser-, Boden und Erntegutproben auf PFC (insgesamt 475 Analysen).

Das Untersuchungsprogramm für die Phase-IIb-Untersuchungen wurde durch das BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6 in enger Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt konzipiert.

Die wasserrechtlich relevanten Maßnahmen (Erdaufschlüsse) wurden in der Wasserrechtsanzeige vom 17. April 2015 angezeigt und durch die Behörden genehmigt.

Die Untersuchungen der privaten Hausbrunnen, der landwirtschaftlich genutzten Flächen und der Erntegutproben stellen zusätzliche Untersuchungen dar, die nicht im originären Zusammenhang mit der Phase IIb Untersuchung des Wirkungspfades Boden – Grundwasser stehen und deshalb auch nicht bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in die Anlage 9 ausgegliedert. [REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

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

Tabelle 4-1: Am Projekt beteiligte Unternehmen

Firma	Leistung
	Unternehmen mit Zulassung nach §20 Sprengstoffgesetz - Begleitung der Feldarbeiten hinsichtlich Kampfmittelfreigabe
[REDACTED]	Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG und Zertifizierung nach BAM/ODF - Durchführung von Rammkernsondierungen und Entnahme von Wasser- und Bodenproben
	Durchführung der Direct-Push-Sondierungen und Linersondierungen
	Untersuchungsstelle nach §18 BBodSchG und DAkkS-Akkreditierung Chemische Untersuchung von Boden- und Wasserproben
[REDACTED]	Errichtung der Grundwassermessstellen
	Vermessung der neuen Grundwassermessstellen und der temporären Grund- und Bodenaufschlüsse
	DAkkS-Akkreditierung, Chemische Untersuchung von Wasser- und Erntegutproben

4.1.1 Erstellung der Grundwassermessstellen

Die Bohr- und Ausbauarbeiten für die sechs neu zu errichtenden 2“-Grundwassermessstellen wurden im Zeitraum vom 27. April 2015 bis zum 06. Mai 2015 von der [REDACTED] durchgeführt.

Im Vorfeld wurden die Bohrpunkte im Zuge eines Ortstermins am 24. April 2015 festgelegt und dabei die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geklärt. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Vier Messstellen (BwDLZ-GWM-013 - BwDLZ-GWM-016) wurden im östlichen Bereich der nördlichen Landebahn abgeteuft, um in diesem Bereich den Grundwasserabstrom vom Flugplatzgelände zu erfassen. Zwei weitere Messstellen (BwDLZ-GWM-017 und BwDLZ-GWM-018) wurden im Bereich des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens errichtet, welches sich im Südosten des Geländes befindet.

Die Messstellen wurden mittels Trockenbohrtechnik und Bohrschnecke/Ventilbohrer (Ø 190 mm) abgeteuft und mit einem Standrohr (Ø 219 mm) stabilisiert. Dabei wurden gestörte Bodenproben gewonnen.

Die Bohrtiefen lagen zwischen ca. 7 m (BwDLZ-GWM-013) und ca. 10 m (BwDLZ-GWM-017). Das Ziel der Bohrungen war es, den oberflächlichen quartären Grundwasserleiter zu erschließen. Die quartären Schichten wurden unter einer geringen Mutterbodenaufgabe erschlossen und sind überwiegend sandig bzw. kiesig ausgebildet. Die Bohrungen wurden mit Erreichen der stauenden grauen Tone der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) beendet. Die Bohrprofile sind im Anhang 3 dokumentiert.

Die Bohrlöcher wurden zu 2“-Grundwassermessstellen (PVC DN 50) gemäß DIN 4925-1 ausgebaut. Die Festlegung der Filter- und Vollwandrohrstrecken sowie der Filter- und Abdichtungsstrecken im Ringraum erfolgte nach den Gegebenheiten vor Ort. Als Schlitzweite für die Filterstrecken wurden generell 1,0 mm verwendet. Als Filterkies wurde Quarzkies 2 – 3,15 mm gemäß DIN 4924 eingebaut. Oberflächlich wurden alle Messstellen mit einer 1,5 m mächtigen Tonsperre abgedichtet. Die Messstellen entlang der nördlichen Landebahn wurden im Unterflurausbau errichtet. Die Messstellen am Feuerlöschübungsbecken wurden im Überflur-Ausbau gesichert (bestehend aus 1,0 m Stahlrohr 3“ verzinkt, Pegelabschlusskappe 3“, und Betonanfahrtschutz aus Betonring 500 mm). Die Ausbauprofile sind ebenfalls dem Anhang 3 zu entnehmen.

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

4.1.2 Probenahmen

Bodenuntersuchungen an fünf KVF

Im Juli/August 2015 wurden zur Erkundung der ungesättigten Bodenzone auf PFC-Belastungen insgesamt 36 Bodenaufschlüsse mit Linersondierungen bzw. Rammkernsondierungen angelegt.

Die Ansatzpunkte für die Bodenuntersuchungen wurde durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 vorgegeben und im Zuge mehrerer Ortstermine unter Beteiligung des AG vor Ort festgelegt und dabei die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geklärt. Aufgrund unklarer Sparten mussten alle Ansatzpunkte im Bereich der Feuerwache vorgeschachtet werden. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Die Bodenuntersuchungen konzentrieren sich auf fünf PFC-Verdachtsflächen im Bereich der alten Feuerwache (AFW, KVF 104), des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens (FUEB, KVF 66), der Südlandebahn (DPL, KVF 105) und von zwei Tanklagern (POL-1, KVF 2; POL-2, KVF 1). Die Lage der Ansatzpunkte ist in Anlage 1 dargestellt.

Im Zeitraum vom 08. Juli 2015 bis 23. Juli 2015 wurden 32 Aufschlüsse im Liner- Verfahren durch die Firma [REDACTED] abgeteuft. Hierzu wurde der Liner-Typ „Dual Tube DT325“ der Firma [REDACTED] verwendet, mit dem ein Kerndurchmesser von 47 mm gewonnen werden kann.

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

Durch das Verfahren bleibt der ursprüngliche Schichtenverbund erhalten. So können diskrete, ungestörte Proben ohne Gefahr der Querkontamination oder Verschleppung entnommen werden.

Die restlichen vier Punkte mussten aufgrund der Nähe zur südlichen Start-/Landebahn und der damit verbundenen Sicherheitsauflagen durch Rammkernsondierungen (DN80) aufgeschlossen werden, die am 17. August 2015 durch die [REDACTED] durchgeführt wurden.



Abbildung 4-1: Liner-Sondierung

Insgesamt konnten durch die 36 Sondierungen 197 Bodenproben gewonnen werden. Eine Übersicht über die abgeteuften Bodenaufschlüsse sowie der entnommenen/analysierten Proben gibt Tabelle 4-2. Die Bodenproben wurden meter- bzw. horizontweise entnommen. Anlage 2 (Tabelle 5) enthält eine tabellarischen Auflistung der entnommenen Proben. Die Schichtenverzeichnisse der Sondierungen sind in Anlage 6 dokumentiert. Die Bohrarbeiten wurden in Einklang mit den Anforderungen an die Probenahme der AHBoGwS ausgeführt.

Tabelle 4-2: Übersicht Bodenaufschlüsse

Lokalität	Aufschluss	Datum	Art	Endteufe [m u. GOK]	Bodenproben	
					entnommen	analysiert
POL-Lager POL-2 (KVF 1)	POL-2-L1	09.07.2015	Liner	4,8	6	3
	POL-2-L2	09.07.2015	Liner	4,8	6	3
	POL-2-L3	09.07.2015	Liner	3,6	5	3
	POL-2-L4	09.07.2015	Liner	3,6	7	3
	POL-2-L5	09.07.2015	Liner	3,6	6	3
POL-Lager POL-1 (KVF 2)	POL-1-L1	08.07.2015	Liner	3,6	7	3
	POL-1-L2	08.07.2015	Liner	3,6	4	4
	POL-1-L3	08.07.2015	Liner	3,6	7	5
	POL-1-L4	08.07.2015	Liner	3,6	7	3
Feuerlösch- übungs- becken (KVF 66)	FÜB-L1	15.07.2015	Liner	2,4	4	3
	FÜB-L2	14.07.2015	Liner	2,4	6	6
	FÜB-L3	14.07.2015	Liner	2,4	5	4
	FÜB-L4	10.07.2015	Liner	2,4	5	3
	FÜB-L5	15.07.2015	Liner	2,4	6	5
	FÜB-L6	15.07.2015	Liner	2,4	5	5
	FÜB-L7	15.07.2015	Liner	2,4	6	5
	FÜB-L8	15.07.2015	Liner	2,4	5	5
	FÜB-L9	14.07.2015	Liner	2,4	6	5
	FÜB-L10	14.07.2015	Liner	2,4	4	3
	FÜB-L11	14.07.2015	Liner	2,4	7	3
FÜB-L13	16.07.2015	Liner	2	6	5	
Alte Feuerwache (KVF 104)	AFW-L1	21.07.2015	Liner	3,9	4	3
	AFW-L2	21.07.2015	Liner	3,9	5	5
	AFW-L3	22.07.2015	Liner	3,9	6	4
	AFW-L4	22.07.2015	Liner	3,9	5	4
	AFW-L5	23.07.2015	Liner	3,9	6	5
	AFW-L6	16.07.2015	Liner	3,9	7	4
	AFW-L7	17.07.2015	Liner	3,9	7	3
	AFW-L8	21.07.2015	Liner	3,9	5	3
	AFW-L9	21.07.2015	Liner	3,9	6	6
	AFW-L10	23.07.2015	Liner	3,8	6	6
	AFW-L11	23.07.2015	Liner	3,9	6	5
Südlande- bahn (KVF 105)	DPL-01	17.08.2015	RKS	0,6	2	2
	DPL-02	17.08.2015	RKS	1	2	2
	DPL-03	17.08.2015	RKS	3	5	4
	DPL-04	17.08.2015	RKS	3	5	5
Gesamt				113,6	197	143

Grundwassersondierungen mittels Direct-Push

Die Ansatzpunkte für die Direct-Push-Untersuchungen wurde durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 vorgegeben und im Zuge mehrerer Ortstermine unter Beteiligung des AG vor Ort festgelegt und dabei die Kampfmittel- und Leitungsfreiheit der Ansatzpunkte geklärt. Bei den Aufschlussarbeiten wurden keine Leitungen beschädigt.

Die Lage der Direct-Push-Bohrungen ist in Anlage 1 dargestellt. Insgesamt wurden im Zeitraum vom 12. Mai 2015 bis 06. Juli 2015 70 Grundwassersondierungen mittels Direct-Push durch die Firma [REDACTED] durchgeführt.

Hierzu wurde die Sonde „SP16“ der Firma [REDACTED] verwendet. Das Sondiergestänge (Außendurchmesser 4 cm) wurde unter Verwendung einer „verlorenen Spitze“ drehend/drückend/schlagend auf die Sondierungstiefe (2 m unterhalb des Grundwasserspiegels) gebracht. Anschließend wurde das Schutzrohr angehoben (max. 1 m) und damit die Filterstrecke aus Edelstahl frei gelegt. Mittels Saugpumpe (Peristaltikpumpe) wurde das Wasservolumen mehrfach ausgetauscht, in Messstellennähe versickert und anschließend eine fachgerechte Grundwasserbeprobung inkl. der Bestimmung des Wasserspiegels und der Vor-Ort- Parameter durchgeführt. Nach erfolgter Probenahme wurde das Sondiergestänge gezogen und der Aufschluss verschlossen.

Anlage 2 fasst die ermittelten Vor-Ort-Parameter (Tabelle 3) und Wasserspiegelstände (Tabelle 4) der Direct-Push-Sondierungen zusammen. In Anlage 2 sind weiterhin die Probenahmeprotokolle der Grundwasseruntersuchungen dokumentiert.

Monitoring von Grund- und Oberflächenwasser

Im Zuge der drei Beprobungskampagnen des Grund- und Oberflächenwassermonitorings wurden durch das [REDACTED] insgesamt 30 Grundwassermessstellen, 15 Bewässerungsbrunnen und 25 Oberflächenwassermesspunkte beprobt und dabei insgesamt 177 Wasserproben (inkl. sechs Proben für Parallel- und Doppelbestimmungen zur Qualitätssicherung) entnommen.

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

Anlage 2 beinhaltet neben einer Auflistung der untersuchten Probenahmelokalitäten (Tabelle 1) die ermittelten Vor-Ort-Parameter (Tabelle 2) und Wasserspiegelstände (Tabelle 4). Die Lage der Untersuchungspunkte ist in Anlage 1 dargestellt. Anlage 2 sind weiterhin die Probenahmeprotokolle der Grundwasseruntersuchungen dokumentiert.

4.1.3 Vermessungsarbeiten

Die Vermessungsarbeiten wurden durch die Firma [REDACTED] im Zuge mehrerer Ortstermine durchgeführt. Dabei wurden die Ansatzpunkte der 36

Bodenuntersuchungen, die Ansatzpunkte der 70 Direct-Push-Aufschlüsse, die sechs neu errichteten Grundwassermessstellen und die 15 beprobten Bewässerungsbrunnen lage- und höhenmäßig eingemessen.

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

4.2 Begleitender Arbeits- und Immissionsschutz

Im Vorfeld der Phase IIb Untersuchungen wurde durch Gibs geologen + ingenieure mit Datum vom 17.04.2015 ein Arbeits- und Sicherheitsplan (ArSi-Plan) entsprechend den Vorgaben der Berufsgenossenschaftlichen Richtlinie BGR 128 erstellt.

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

4.3 Laboruntersuchungen / Chemische Analytik

Wasserproben

Die Laboruntersuchungen wurden durch das DakKS akkreditierte Labor [REDACTED], [REDACTED] durchgeführt. Alle Wasserproben wurden auf PFC (14 Einzelparameter) analysiert.

In den „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ des bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) werden zehn relevante Einzelparameter genannt, die alle im PFC-Umfang des beauftragten Analysenlabors enthalten sind. Die restlichen vier Parameter wurden nur vereinzelt und in äußerst geringen Konzentrationen gemessen und werden daher bei der Auswertung nicht weiter berücksichtigt. Die ermittelten Konzentrationen können den Analysenprotokollen entnommen werden.

Zur Qualitätssicherung der Analysenergebnisse wurden stichprobenartig durch anonymisierte Doppelbeprobungen das beauftragte Analysenlabor [REDACTED] kontrolliert. Weiterhin wurden stichprobenartig Vergleichsanalysen durch das Labor [REDACTED] [REDACTED] veranlasst. Die [REDACTED] ist ebenfalls nach DakKS akkreditiert.

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 4. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

Bodenproben

Die Laboruntersuchungen wurden durch das DakKS akkreditierte Labor [REDACTED] [REDACTED] durchgeführt. Die Bodenproben wurden auf PFC (14 Einzelparameter) im S4-Eluat nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC- Verunreinigungen in Wasser und Boden“ analysiert. Zur Bewertung wurden wiederum

nur die 10 relevanten PFC-Einzelparameter nach Vorgabe der „Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden“ herangezogen.

Bei den Bodenuntersuchungen an den fünf KVF wurden nicht alle Proben analytisch untersucht. Von den insgesamt 197 Bodenproben wurden 143 analytisch untersucht. Die restlichen 54 Proben wurden bislang rückgestellt.

Die Analysenprotokolle befinden sich in Anlage 4. Den Prüfberichten können die jeweiligen Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen und Messgenauigkeiten entnommen werden.

4.4 Untersuchungen zur Bestimmung hydraulischer Parameter

Durchführung der Pumpversuche

An den Grundwassermessstellen BwDLZ-GWM-003 und BwDLZ-GWM-008 wurde am 22. Juli 2015 jeweils ein ca. sechsstündiger Pumpversuch durch die Firma [REDACTED] durchgeführt. Ziel der Versuche war es, wichtige hydraulische Parameter (kf-Wert, Transmissivität, Speicherkoeffizient) für den quartären Grundwasserleiter zu bestimmen. Beim Pumpversuch an der BwDLZ-GWM-003 wurde die in ca. 25 m Entfernung gelegene Grundwassermessstelle BwDLZ-GWM-004 mit beobachtet.

Aufgrund der bekannt hohen Ergiebigkeit des quartären Aquifers wurden beide Pumpversuche mit der maximal möglichen (pumpenabhängigen) Förderrate durchgeführt, um eine möglichst hohe hydraulische Anregung zu erzielen. In den Förderbrunnen sowie in der Beobachtungsmessstelle wurden die Wasserspiegel kontinuierlich mittels Drucksonden erfasst sowie die Förderrate mittels IDM (induktiven Durchflussmesser) aufgezeichnet. In Tabelle 4-3 sind die wichtigsten Pumpversuchsdaten dargestellt.

Tabelle 4-3: Pumpversuchsdaten

Messstelle	BwDLZ-GWM-003	BwDLZ-GWM-008
POK [mNN]	364,91	364,64
Endteufe [m u. GOK]	10,45	10,5
Beobachtungsmessstelle	BwDLZ-GWM-004	-
Pumpenart	U-Pumpe	
Einbautiefe	ca. 0,5 m über Endtiefe	
Ableitung	Ableitung über Schlauchleitung in Kanalisation	
Durchschnitt Förderleistung	ca. 5,0 l/s	ca. 3,6 l/s
Start PV	22.07.2015, 11:15 Uhr	22.07.2015, 10:00 Uhr
Ende PV	22.07.2015, 18:00 Uhr	22.07.2015, 16:00 Uhr

5 Untersuchungsergebnisse

5.1 Liegenschaftsbezogene Ergebnisse

5.1.1 Ergebnisse von Recherchen

Auf dem Flugplatz Ingolstadt/Manching wurden erste PFC-Untersuchungen durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) im Boden, Grund- und Oberflächenwasser durchgeführt und dadurch flächige Belastungen im Grund- und Oberflächenwasser und punktuelle Kontaminationsschwerpunkte im Boden festgestellt.

Zwischen 2010 und 2013 erfolgte eine Phase I Untersuchung für den gesamten Flugplatz durch die Firma [REDACTED] es wurden insgesamt 103 kontaminationsverdächtige Flächen ausgewiesen. PFC-verdächtige Flächen wurden nicht explizit aufgeführt.

Darauf aufbauend erfolgte im Jahr 2013 die Orientierende Untersuchung (Phase IIa) ebenfalls durch die Firma [REDACTED] bei der insgesamt 104 Verdachtsflächen erkundet wurden. Die Untersuchungen bezüglich PFC wurden ausschließlich auf die KF 096 Grundwasser bezogen. In diesem Zuge wurden zwölf Grundwassermessstellen errichtet und eine anschließende Beprobung der neuen und bestehenden Grundwassermessstellen (insgesamt 24 Stück) durchgeführt. Dabei konnte der Gefahrenverdacht hinreichend bestätigt werden.

Eine historische Recherche hinsichtlich PFC wurde auch durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 durchgeführt. Dabei wurden folgende Erkenntnisse ermittelt:

- PFC haltige Löschmittel wurden in größeren Mengen in den Bundeswehr-Gebäuden (51) (38.000 l, stationärer Vorratsbehälter) und 250 in den Cassidian-Gebäuden (Tankzuganhänger), 125 (2.000 l, Löschfahrzeuge) 252 (1.500 l, stationärer Vorratsbehälter), 254 (2.000 l, stationärer Vorratsbehälter) gelagert
- Abstellplätze für Feuerwehr-Kfz: Geb. 430, 630, 647 (BW), 125, 261 (Cassidian)
- Regelmäßige Übungen mit PFC-haltigem Löschmittel wurden am Feuerlöschübungsbecken und im Bereich der alten Feuerwache (Geb. 226/227) durchgeführt
- Bekannte „scharfe“ Einsätze von PFC-haltigem Löschmitteln in den letzten 20 Jahren:
 - Flugzeugbrand im Bereich Gebäude 636/Zaun (26. April 1989)
 - Flugzeugbrand im Bereich Nordbahn vor Feuerwache (23. Juni 1998)
 - Schaumteppich Landebahn Süd zwischen A3 und A4 (14. April 2004)
 - Flugzeugbrand/Startabbruch wegen Vogelschlag auf Landebahn Süd bei A4 (11. Juli 2005)
 - Schaumteppich Landebahn Süd zwischen A2 und A3 (15.04.2008)

- Schaumteppich Landebahn Nord bei B4

Angaben zu verbrauchten Mengen an PFC-Löschschäumen liegen jedoch nicht vor.
Die ermittelten Verdachtsflächen sind in Anlage 1 (Karte 2) dargestellt.

5.1.2 Boden- und Untergrundaufbau

Der Untergrundaufbau der quartären Schichten bis zu den stauenden Lagen der der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär) wurden bei der Errichtung der sechs neuen Grundwassermessstellen erkundet. In allen Bohrungen wurden oberflächlich geringmächtige sandige Deckschichten (Oberboden- bzw. Auffüllungshorizonte) bis maximal 1,40 m u. GOK erkundet. Darunter folgen durchgehend die quartären Kiese und Sande bis in Tiefen zwischen 7,8 m u. GOK bis 9,1 m u. GOK, die ab ca. 1,5 bis 2,0 m u. GOK wasserführend waren. Im oberen Bereich konnten zum Teil auch feinsandige bis schluffige Einschaltungen erkundet werden. Die Bohrungen wurden mit Erreichen der tertiären Schichten der Oberen Süßwassermolasse beendet. Die tertiären Schichten sind im Übergangsbereich feinsandig bis tonig ausgebildet und fungieren im Untersuchungsgebiet als Hemmschicht für das quartäre Grundwasser. Im Bereich des Feuerlöschübungsbeckens sind die tertiären Lagen eher feinsandig bis schluffig ausgebildet, im Bereich der Nordlandebahn überwiegend durch graue Tone gekennzeichnet.

Abbildung 5-1 zeigt schematisch den erkundeten Untergrundaufbau am Beispiel der Grundwassermessstelle BwDLZ-GWM-015.

BwDLZ-GWM-015

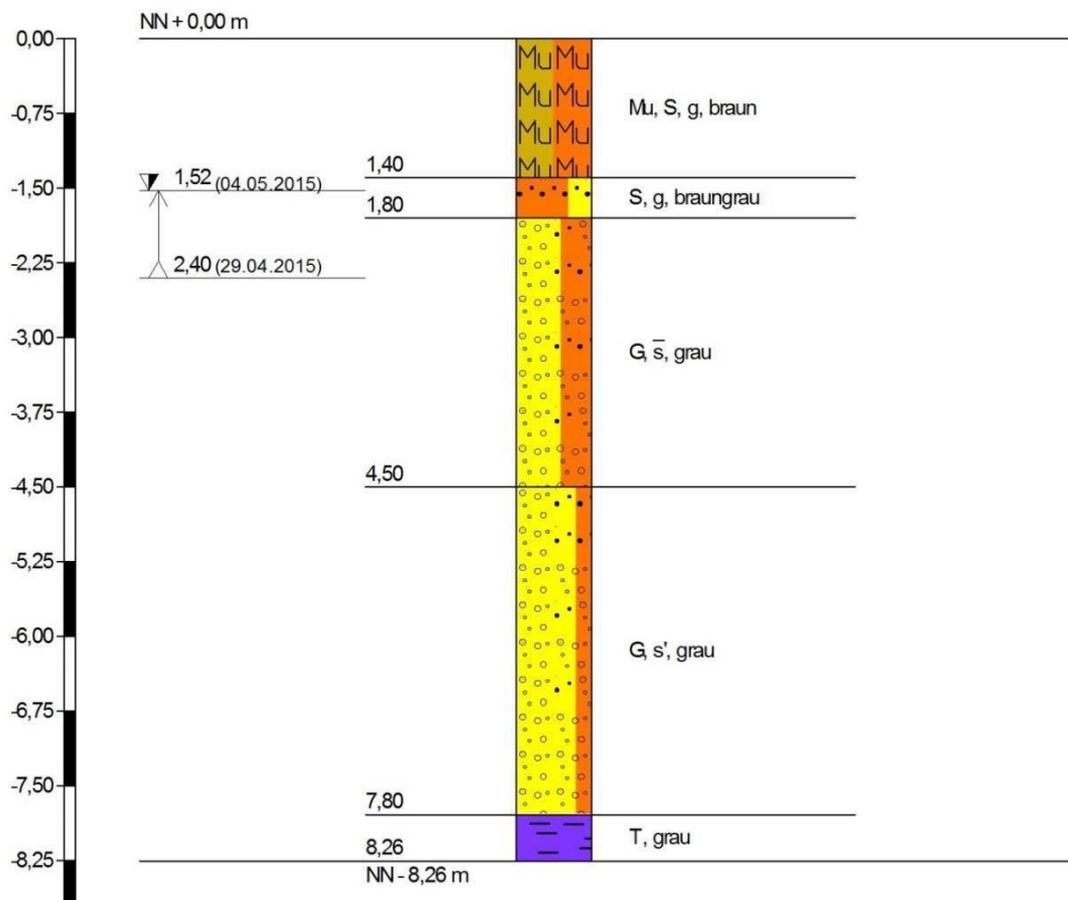


Abbildung 5-1: Schematischer Untergundaufbau

5.1.3 Hydrogeologische und hydrologische Beschreibung

Die quartären Schotter stellen im weiteren Umgriff des Flugplatzes Ingolstadt/Manching den maßgeblichen Grundwasserleiter dar. Die Basis des quartären Porengrundwasserleiters bilden die stauenden grauen Tone der Oberen Süßwassermolasse (Tertiär), die im Bereich des Flugplatzes bei ca. 7 – 10 m u. GOK angetroffen werden. Es handelt sich um einen homogenen Aquifer mit freien Grundwasserverhältnissen.

Das quartäre Grundwasser wird im Bereich des Flugplatzes Manching durch insgesamt 30 Grundwassermessstellen erschlossen. Die wichtigsten Kenndaten der Grundwassermessstellen inkl. der Wasserspiegelmessungen sind in Tabelle 5-1 aufgeführt.

Tabelle 5-1: Übersicht Grundwassermessstellen

Messstelle	GOK	POK	Filter- oberkante	Filter- unterkante	Endtiefe	Endtiefe	Beginn Stauer	Ausbau- durchmesser	Wasserspiegelstände								Mittlerer Flurabstand	Mittlere GW- Mächtigkeit	
									Dez 13	Aug 14	Apr 15	Mai 15	Jul 15	Min	Max	Mittelwert			Differenz Min-Max
									mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN	mNN			m
BwDLZ-GWM-001	362,89	363,67	2,70	7,70	7,7	8,46	7,70	125	360,42	360,24	360,46	360,45	360,23	360,23	360,46	360,36	0,23	2,53	5,17
BwDLZ-GWM-002	362,86	363,48	2,40	7,40	7,4	8	7,40	125	360,41	360,23	360,44	360,43	360,24	360,23	360,44	360,35	0,21	2,51	4,89
BwDLZ-GWM-003	364,14	364,91	2,70	9,70	9,7	10,47	9,70	125	361,06	361,19	361,12	361,1	360,99	360,99	361,19	361,092	0,2	3,05	6,65
BwDLZ-GWM-004	363,98	364,66	2,40	8,40	8,4	9,02	8,40	125	361,03	360,94	361,09	361,06	360,94	360,94	361,09	361,012	0,15	2,97	5,43
BwDLZ-GWM-005	363,51	363,39	2,20	7,20	7,2	7,08	7,20	125	360,61	360,36	360,64	360,5	360,33	360,33	360,64	360,488	0,31	3,02	4,18
BwDLZ-GWM-006	362,68	363,51	1,70	9,70	9,7	10,5	9,70	125	361,25	361,1	361,19	361,16	361,01	361,01	361,25	361,142	0,24	1,54	8,16
BwDLZ-GWM-007	361,67	361,54	2,10	7,10	7,1	7,09	7,10	125	359,88	359,74	359,68	359,73	359,68	359,68	359,88	359,742	0,2	1,93	5,17
BwDLZ-GWM-008	363,89	364,64	2,80	9,80	9,8	10,54	9,80	125	360,44	360,34	360,48	360,47	360,34	360,34	360,48	360,414	0,14	3,48	6,32
BwDLZ-GWM-009	363,52	364,22	2,80	7,80	7,8	8,49	7,80	125	360,53	360,34	360,56	360,56	360,33	360,33	360,56	360,464	0,23	3,06	4,74
BwDLZ-GWM-010	362,57	362,44	1,60	6,60	6,6	6,51	6,60	125	360,52	360,3	360,56	360,47	360,32	360,3	360,56	360,434	0,26	2,14	4,46
BwDLZ-GWM-011	362,62	363,27	1,90	6,90	6,9	7,5	6,90	125	360,51	360,24	360,52	360,56	360,23	360,23	360,56	360,412	0,33	2,21	4,69
BwDLZ-GWM-012	363,56	364,31	2,30	9,30	9,3	9,98	9,30	125	360,87	360,66	360,91	360,88	360,66	360,66	360,91	360,796	0,25	2,76	6,54
BwDLZ-GWM-013	361,97	361,84	2,30	7,30	7,3	7,17	7,80	50				360,504	360,224	360,224	360,504	360,364	0,28	1,61	6,19
BwDLZ-GWM-014	361,93	361,82	2,30	8,30	8,3	8,19	8,30	50				360,12	359,87	359,87	360,12	359,995	0,25	1,94	6,36
BwDLZ-GWM-015	361,45	361,37	2,30	7,30	7,3	7,22	7,80	50				359,847	359,627	359,627	359,847	359,737	0,22	1,71	6,09
BwDLZ-GWM-016	361,51	361,43	2,30	8,30	8,3	8,22	8,90	50				359,435	359,285	359,285	359,435	359,36	0,15	2,15	6,75
BwDLZ-GWM-017	362,50	363,31	2,10	9,10	9,1	9,91	9,10	50				361,157	360,997	360,997	361,157	361,077	0,16	1,42	7,68
BwDLZ-GWM-018	362,83	363,63	1,90	8,90	8,9	9,71	8,90	50				361,133	360,953	360,953	361,133	361,043	0,18	1,78	7,12
BwDLZ-GWP-01	363,45	364,34				13,55		125	361,14	361,09	361,14	361,16	361,05	361,05	361,16	361,116	0,11	2,33	
BwDLZ-GWP-02	362,48	362,64				7,74		125	359,92	359,83	359,95	359,95	359,8	359,8	359,95	359,89	0,15	2,59	
BwDLZ-GWP-03	362,11	362,25				5,91		125	359,77	359,65	359,75	359,76	359,58	359,58	359,77	359,702	0,19	2,41	
BwDLZ-GWP-04	364,50	365,37				8,25		125	361,54	361,44	361,58	361,55	361,43	361,43	361,58	361,508	0,15	2,99	
BwDLZ-GWP-05	362,80	362,77				5,45		300	360,5	360,43	360,49	360,48	360,4	360,4	360,5	360,46	0,1	2,34	
BwDLZ-GWP-06	362,89	362,84				9,8		30	361,36	361,23	361,33	361,31	361,16	361,16	361,36	361,278	0,2	1,61	
BwDLZ-GWP-07	363,19	363,15				7,47		30	361,45	361,4	361,47	361,48	361,38	361,38	361,48	361,436	0,1	1,75	
BwDLZ-GWP-08	364,67	364,60				8,73		300		362,92	363,12	363,08	362,9	362,9	363,12	363,005	0,22	1,67	
BwDLZ-GWP-09	364,50	364,26				10,15		30	361,99	361,92	362,04	362,02	361,88	361,88	362,04	361,97	0,16	2,53	
BwDLZ-GWP-16	362,90	363,67				4,4		30	361,06	360,96	360,84	361,03	360,92	360,84	361,06	360,962	0,22	1,94	
	363,12	363,54				6,31		30	359,83	359,61	359,92	359,87	359,61	359,61	359,92	359,768	0,31	3,35	
	360,85	360,85				5,17		125	359,15	358,43	nicht beprobbar		358,43	359,15	358,79	0,72	2,06		

Grundwasserneubildung

Laut der Hydrogeologischen Karte von Bayern 1 : 500.000 (HK 500) kann im Bereich des Flugplatzes Manching von einer mittleren Grundwasserneubildung (1971 – 2000) von 50 mm/a ausgegangen werden. Im Trockenzeitraum (1971 – 1973) liegt die Grundwasserneubildung bei 25 mm/a, im Nasszeitraum (1979 – 1981) bei 75 mm/a.

Deckschichten

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

Hydraulisch aktive Deckschichten fehlen oder sind nur geringmächtig vorhanden und in sandiger/kiesiger Ausführung als (stark) durchlässig zu bezeichnen. Die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung ist demnach gering einzustufen.

Flurabstand, Grundwassermächtigkeit

Die Flurabstände beziehen sich auf die Wasserspiegelmessungen an den vorhandenen Grundwassermessstellen im Zeitraum von Dezember 2013 bis Juli 2015.

Die Wasserspiegel bewegen sich zwischen ca. 359 mNN im Nordosten und ca. 364 mNN im Südwesten des Flugplatzes. Im zeitlichen Verlauf ergeben sich nur geringe Schwankungen bei den Wasserspiegelständen (siehe auch Abbildung 5-2).

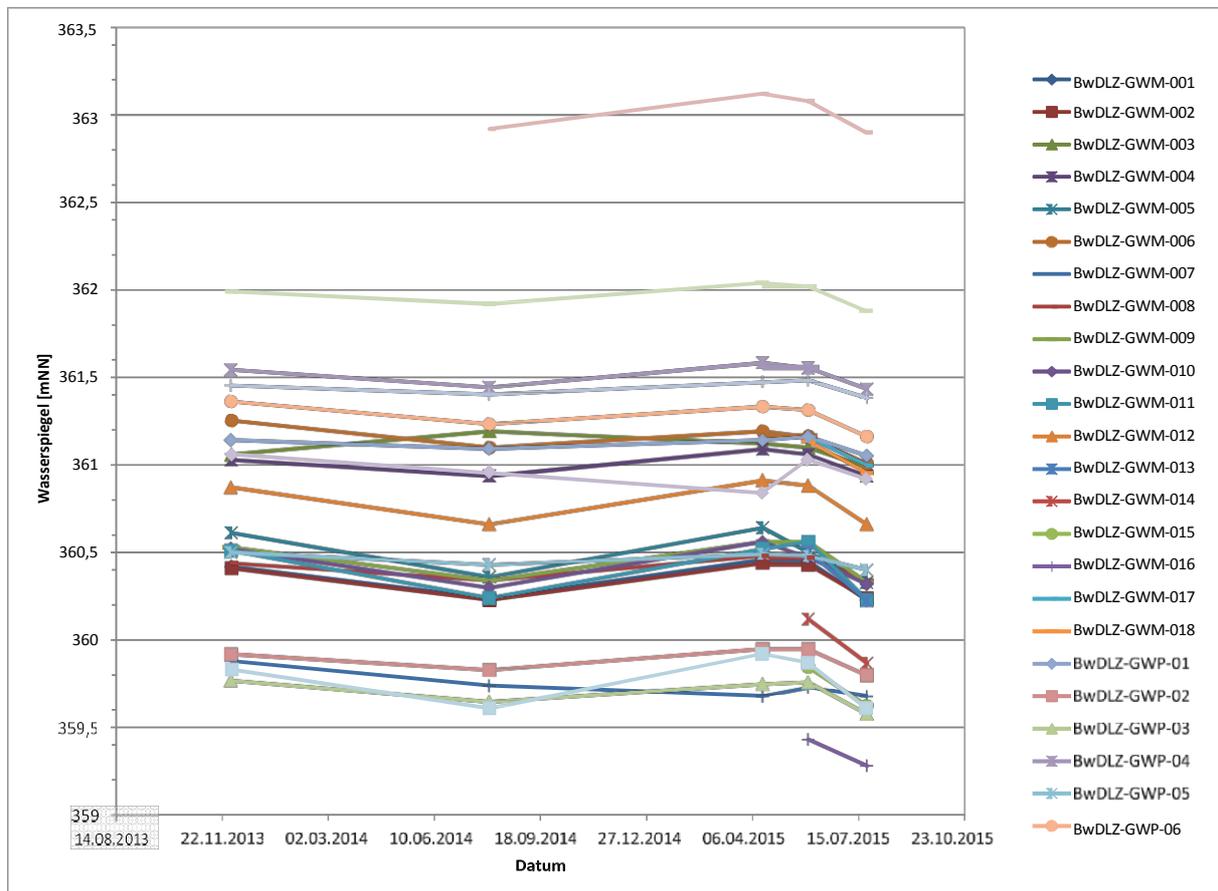


Abbildung 5-2: Wasserstände der untersuchten Grundwassermessstellen

Der mittlere Flurabstand schwankt zwischen 1,42 m u. GOK (BwDLZ-GWM-017) und 3,48 m u. GOK (BwDLZ-GWM-008). Daraus ergibt sich ein mittlerer Grundwasserflurabstand von ca. 2,30 m u. GOK.

Die mittlere Grundwassermächtigkeit schwankt zwischen 4,18 m (BwDLZ-GWM-005) und 8,12 m (BwDLZ-GWM-006).

Geohydraulische Parameter

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

Hierzu wurden an den Grundwassermessstellen BwDLZ-GWM-003 und BwDLZ-GWM-008 sechsstündige Pumpversuche durchgeführt.

Im Anhang 4 sind die Absenkungsverläufe und Auswertungsgraphiken der Pumpversuche zusammenfassend dargestellt. Tabelle 5-2 zeigt die Reaktionen beider Förderbrunnen sowie der Beobachtungsmessstelle BwDLZ-GWM-004 während des Pumpversuchs.

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

Messstelle	BwDLZ-GWM-003	BwDLZ-GWM-004	BwDLZ-GWM-008
Art	Förderbrunnen	Beobachtungsmessstelle	Förderbrunnen
Entfernung zum Förderbrunnen [m]	-	25	-
Durchschnittliche Förderrate [l/s]	ca. 5,0 l/s	-	ca. 3,6 l/s
Wasserspiegel u POK [m] bei			
-> Start PV	3,92	3,71	4,28
-> Ende Pumpphase	4,03	3,73	4,45
-> Ende Aufzeichnung Wiederanstieg	3,95	3,72	4,32
Maximale Absenkung [m]	0,11	0,02	0,17
Restabsenkung [m]	0,03	0,01	0,04

An beiden Förderbrunnen konnte ein unverzögerter und kontinuierlicher Absenkungsverlauf festgestellt werden. Aufgrund der hohen Ergiebigkeit fiel der Wasserspiegel jedoch nur geringfügig um 0,11 m (BwDLZ-GWM-003) bzw. 0,17 m (BwDLZ-GWM-008) bis zum Ende der Pumpdauer ab. Nach Pumpenstopp stiegen an beiden Förderbrunnen die Wasserspiegel unverzögert und kontinuierlich wieder an und verblieben bis zum Ende der Aufzeichnung bei einer Restabsenkung von ca. 0,03 m bzw. 0,04 m.

In der ca. 25 m entfernten Beobachtungsmessstelle BwDLZ-GWM-004 (Förderbrunnen BwDLZ-GWM-003) fiel der Wasserspiegel minimal um 0,02 m ab. Trotz der geringen Absenkung kann aufgrund des Wasserspiegelverlaufes von einer hydraulischen Reaktion gesprochen werden, denn nach Pumpenstopp konnte ein zeitverzögerter (minimaler) Wiederanstieg von 0,01 m registriert werden.

In der folgenden Tabelle 5-3 werden die hydraulischen Parameter zusammengestellt, die unter Berücksichtigung der Auswertergebnisse an allen Messstellen (Pump- und Beobachtungsmessstellen) gewonnen wurden. Hier flossen nur Auswertungen ein, die nach fundierter Prüfung durch einen erfahrenen Hydrogeologen als plausibel gewertet wurden.

Durch die hohen Durchlässigkeiten des kiesigen Aquifers konnten aufgrund der limitierten Pumpenleistungen (hervorgerufen durch den Ausbaudurchmesser der Grundwassermessstellen (DN 125)) nur geringe Absenkungsbeträge erzeugt werden. Die ermittelten hydraulischen Parameter sind zunächst repräsentativ für den Nahbereich der Messstellen. Aufgrund der festgestellten Homogenität des Aquifers können diese Werte aber überschlägig auch auf die großräumigen Aquifereigenschaften übertragen werden.

Tabelle 5-3: Zusammenstellung der Pumpversuchsauswertungen

Brunnen	Bezeichnung	Auswertmethode	T [m ² /s]	Kf [m/s]	S
GWM3	Theiss_1	THEIS mit Jacob-Korrektur	6,00E-02	8,57E-03	
GWM3	JC_1	COOPER & JACOB I	1,80E-02	2,57E-03	
GWM3	WA_1	THEIS Wiederanstieg	2,09E-02	2,98E-03	
GWM4	Theiss_GWM4_1	THEIS mit Jacob-Korrektur	5,00E-02	7,14E-03	
GWM4	JC_GWM4_1	COOPER & JACOB I	5,00E-02	7,14E-03	2,50E-01
GWM4	WA_GWM4_1	THEIS Wiederanstieg	4,51E-02	6,44E-03	2,50E-01
GWM8	Theiss_1	THEIS	2,24E-02	3,20E-03	
GWM8	JC_1	COOPER & JACOB I	2,09E-02	2,98E-03	
GWM8	WA_1	THEIS Wiederanstieg	2,65E-02	3,79E-03	
		Minimum	1,80E-02	2,57E-03	2,50E-01
		Maximum	6,00E-02	8,57E-03	2,50E-01
		Mittelwert	3,49E-02	4,98E-03	2,50E-01

Zusammenfassend ergeben sich Transmissivitäten (T [m²/s]) zwischen $1,80 \cdot 10^{-2}$ m²/s und $6,00 \cdot 10^{-2}$ m²/s (Mittelwert $3,49 \cdot 10^{-2}$ m²/s), woraus Durchlässigkeiten (kf-Wert [m/s]) zwischen $2,57 \cdot 10^{-3}$ m/s und $8,57 \cdot 10^{-3}$ m/s (Mittelwert $4,98 \cdot 10^{-3}$ m/s) resultieren. Gemäß DIN 18130-1 kann der Aquifer als „stark durchlässig“ bezeichnet werden. Die geringe Spannweite der Parameter zeigt weiterhin, dass es sich um einen homogenen Aquifer handelt.

Der ermittelte Speicherkoeffizient von 0,25 fußt zwar nur auf einer minimalen Absenkung in einem Beobachtungsbrunnen, ist für den Porengrundwasser aber durchaus plausibel und bestätigt die freien Regimeverhältnisse.

Bei freien Grundwasserverhältnissen entspricht der Speicherkoeffizient dem nutzbaren Porenvolumen. Die Kenntnis des Parameters nutzbares Porenvolumen ist erforderlich für die Bestimmung der Grundwasser-Abstandsgeschwindigkeit sowie der Abschätzung von hydraulischen Reichweiten und Isochronen.

Grundwasserfließrichtung und -abstandsgeschwindigkeiten

Im Bereich des Flugplatzes Ingolstadt/Manching konnte auf der Grundlage der Wasserspiegelmessungen von Mai bis Juli 2015 ein detaillierter Grundwassergleichenplan berechnet werden (vgl. Anlage 1). Neben den Wasserspiegelständen, die in den Grundwassermessstellen gemessen wurden, wurden die Wasserstände der Direct-Push-Grundwassersondierungen berücksichtigt. Zur Datenüberprüfung bzw. zur Ermittlung von Ausreißern wurden vorab geostatistische Auswertungen durchgeführt.

Zunächst wurde im Zuge einer Variogrammanalyse das optimale Modell für die Durchführung der Kriging-Interpolation ermittelt (Modell: Gauss; Parameter: Scale 1,1; Length 1400 m). Eine zur Plausibilitätsprüfung der Interpolationsergebnisse durchgeführte Kreuzkorrelations-analyse ergab maximale Abweichungen von -0,42 m bis 0,47 m zwischen den Messwerten und den Berechnungsergebnissen. Der absolute Fehler von 4‰ unterstreicht die Plausibilität der flächig interpolierten Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet.

Für das quartäre Grundwasser ergibt sich eine nördliche bis nordöstliche Grundwasserfließrichtung mit einem durchschnittlichen hydraulischen Gefälle von 0,14%. Im Südwesten des Untersuchungsgebiets ist die nordöstliche Fließrichtung stärker ausgeprägt, nach Nordosten hin überwiegt die nördliche Strömungsrichtung. Des Weiteren zeigt sich eine Beeinflussung der Grundwassergleichen durch die lokalen Oberflächengewässer.

Unter Verwendung der mittleren Durchlässigkeit k_f von $4,98 \cdot 10^{-3}$ m/s, dem mittleren hydraulischen Gefälle von 0,0015 und der nutzbaren Porosität von 0,25 errechnet sich eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von ca. 2,4 m/d bzw. 880 m/a.

Vorflutverhältnisse

Als Hauptvorfluter für das quartäre Grundwassersystem fungiert die Donau, die ca. 5 km nördlich des Untersuchungsgebiets liegt. Auch ohne Einbeziehung von Wasserspiegelhöhen der Oberflächengewässer zeichnet sich in dem berechneten Grundwassergleichenplan die Vorflutfunktion der Hauptgewässer (Feilenmoosgraben, Seitenentwässerungskanal Ost und diverse Baggerseen) ab, was die enge Verzahnung des Grundwassers mit den Vorflutern andeutet.

Lage zur Trinkwassernutzung

Im Nahbereich bzw. im Abstrombereich des Flugplatz Manching/Ingolstadt befinden sich keine Trinkwasser- oder Heilwasserschutzgebiete. Das nächstgelegene Trinkwasserschutzgebiet mit dem Gebietsnamen „Manching“ liegt ca. 4 km westlich vom Flugplatz im Süden von Manching und damit nicht im Einzugsgebiet des Flughafens.

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

5.2 Untersuchungen und Untersuchungsergebnisse einzelner KVF/KF

Die Bewertung der Gefährdung des Grundwassers für die einzelnen Teilflächen wird aus der Summe der Ergebnisse der Phase I und sonstiger Voruntersuchungen, Phase-IIa und Phase-IIb Untersuchungen abgeleitet. Dazu sind eine repräsentative Anzahl von Untersuchungspunkten und ein durch BBodSchV und LfW Merkblatt 3.8/1 vorgegebener Parameterumfang nach Stand des bodenschutzrechtlichen Vorgehensweise untersucht worden.

Räumliche Restrisiken (punktuelle Belastungen zwischen den Untersuchungspunkten) sind nicht zu vermeiden.

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 Summenparameter PFOS/PFOA/PFHxS als Leitparameter definiert, da die PFC- Belastung hauptsächlich auf PFOS und PFHxS zurückzuführen ist und der Summenparameter für einen Großteil der Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte verantwortlich ist.

Eine abfallrechtliche Beurteilung war nicht Teil des Auftrages.

5.2.1 KF 096: Grundwasser

5.2.1.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen, welche bei den gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen auf das Grundwasser erwarten lassen.

Das Untersuchungskonzept wurde durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 in Abstimmung mit dem Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt konzipiert. Sechs neue Grundwassermessstellen wurden errichtet, um den Grundwasserabstroms im Nordosten der Liegenschaft bzw. den Abstrombereich des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens zu erfassen.

Des Weiteren sollte durch das umfangreiche Monitoring von Grund- und Oberflächenwasser die Entwicklung der PFC-Konzentrationen auf der Liegenschaft und im Norden der Liegenschaft ermittelt werden.

Die 70 Direct-Push-Sondierungen dienten dazu, weitere Schadensbereiche auf der Liegenschaft herauszufinden.

5.2.1.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Die KF 096 „Grundwasser“ war nicht Bestandteil der Phase I Erkundung.

In der Phase IIa wurde zur Erkundung von PFC-Verunreinigungen die KF 096 „Grundwasser“ definiert. Hierbei wurden zwölf Grundwassermessstellen errichtet und eine anschließende Beprobung der neuen und bestehenden Grundwassermessstellen (insgesamt 24 Stück) durchgeführt. Dabei wurde bei 16 Messstellen der vorläufige Schwellenwert für Σ PFOS/PFHxS/PFOA überschritten und damit eine großflächige PFC-Kontamination mit einem Schadensschwerpunkt bei der KVF 2 (POL-Lager POL-1) im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn festgestellt. Dort wurden die höchsten Gehalte bei den Grundwassermessstellen BwDLZ-GWM-001 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 53,44 $\mu\text{g/l}$) und BwDLZ-GWM-002 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 42,81 $\mu\text{g/l}$) festgestellt. Weiterhin deutlich erhöhte Gehalte konnten in den benachbarten Messstellen BwDLZ-GWM-007 - BwDLZ-GWM-010 und BwDLZ-GWP-02 gemessen werden (siehe auch Tabelle 5-6). Der Gefahrenverdacht konnte somit hinreichend für die KF 096 bestätigt werden, wodurch weitere Maßnahmen in Form einer Phase II Erkundung erforderlich wurden.

Im August 2014 wurde Gibs geologen + ingenieure beauftragt, die „Orientierenden Untersuchungen“ der [REDACTED] durch eine weitere Beprobungsrunde an 24 Grundwassermessstellen fortzusetzen und die Erkundungsphase damit abzuschließen. Die Untersuchungen zeigten, trotz fallender Belastungen im Vergleich zur Beprobung im Dezember 2013, eine großflächige PFC-Belastung des oberflächennahen Grundwassers

mit auf. Die vorläufigen Schwellenwerte wurden dabei in 13 von insgesamt 24 Grundwassermessstellen überschritten. Der Kontaminationsschwerpunkt im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn an den Messstellen BwDLZ-GWM-001, BwDLZ-GWM-002, BwDLZ-GWM-007 und BwDLZ-GWM-010 konnte bestätigt werden.

5.2.1.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der großräumige Boden- und Untergrundaufbau der Liegenschaft ist im Kapitel 5.1.2 dokumentiert.

5.2.1.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Vor-Ort-Parameter

Eine Auflistung der gemessenen **Vor-Ort-Parameter** befindet sich in Anlage 2 (Tabelle 2). Tabelle 5-4 zeigt die Mittelwerte der gemessenen Vor-Ort-Parameter im Zuge des Grund- und Oberflächenwassermonitorings. Dabei konnten keine großen Schwankungen zwischen den einzelnen Beprobungsrunden festgestellt werden. Auffallend sind die niedrigen Sauerstoffgehalte im Grundwasser.

Tabelle 5-4: Mittelwerte der Vor-Ort-Parameter

Parameter	Beprobungs- runde	Bewässerungs- brunnen	Grundwasser- messstellen	Oberflächen- gewässer	Mittelwert
Elektrische Leitfähigkeit [µs/cm]	1	675	635	549	610
	2	694	574	544	579
	3	696	562	565	592
	Mittelwert	690	591	553	594
pH-Wert [-]	1	6,83	6,93	7,88	7,24
	2	6,87	6,79	7,76	7,14
	3	6,95	7,10	7,91	7,33
	Mittelwert	6,90	6,94	7,85	7,24
Sauerstoffgehalt [mg/l]	1	2,6	1,1	10,5	4,5
	2	1,6	0,6	7,6	3,1
	3	0,5	0,9	8,7	3,4
	Mittelwert	1,3	0,9	9,0	3,7
Temperatur [°C]	1	8,8	10,1	13,3	11,1
	2	10,4	11,5	16,5	13,1
	3	12,1	12,9	24,5	16,6
	Mittelwert	10,8	11,5	18,2	13,7
Redoxspannung [mV]	1	300	205	320	256
	2	243	161	300	219
	3	259	163	327	238
	Mittelwert	265	177	316	238

PFC-Untersuchungen

Anhang 5 zeigt die Analysenergebnisse der PFC-Untersuchungen im Grund- und Oberflächenwasser in tabellarischer Form und in Diagrammen dargestellt. Dabei werden alle Untersuchungsergebnisse seit Dezember 2013 berücksichtigt. Die Analysenprotokolle sind im Anhang 6 dargestellt. Zur Bewertung wurden die vorläufigen Schwellenwerte für Grund- und Trinkwasser des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) herangezogen (Stand Januar 2015).

Bei vereinzelt Proben betrug die Nachweisgrenze für die Einzelparameter $<0,25 \mu\text{g/l}$. Vor allem für PFOS bzw. den Summenparameter PFOS/PFOA/PFHxS kann dies zu Unterschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte führen. Dies war bei den in Tabelle 5-5 aufgeführten Analysen der Fall und sollte bei der Bewertung berücksichtigt werden. Auf Nachfrage beim Labor konnte für manche Proben eine qualitative Aussage gemacht werden, z.B. dass die Konzentration für PFOS bei $>0,2 \mu\text{g/l}$ liegt. Dieses Vorgehen wurde nur bei den einmaligen Direct-Push-Sondierungen praktiziert, bei denen keine anderen vorläufigen Schwellenwerte überschritten wurden.

Tabelle 5-5: Proben mit erhöhter Nachweisgrenze

Probenahemstelle	Datum	Erhöhte Nachweisgrenze für	Bemerkung	Überschreitungen vorläufiger Schwellenwerte für
BwDLZ-GWM-005	16.04.2015	PFOS, PFHxS $<0,25 \mu\text{g/l}$		-
BwDLZ-GWM-006	03.06.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		-
BwDLZ-GWM-008	03.06.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS
Baggersee N3	26.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		-
Baggersee N4	26.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		-
DP-07	06.07.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$	Qualitative Aussage PFOS $>0,24 \mu\text{g/l}$	-
DP-15	27.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		PFOS
DP-20	03.06.2015	PFOS, PFHxS $<0,25 \mu\text{g/l}$	Qualitative Aussage PFOS, PFHxS $>0,2 \mu\text{g/l}$	-
DP-35	21.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS
DP-36	20.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS
DP-38	27.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS
DP-56	19.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS
DP-63	20.05.2015	PFOS $<0,25 \mu\text{g/l}$		Σ PFOS/PFOA/PFHxS

Grund- und Oberflächenwassermonitoring

Tabelle 5-6 gibt einen Überblick über die bislang ermittelten Analysenwerte im **Grund- und Oberflächenwasser** der Hauptparameter PFOS, Summe PFOS/PFHxS/PFOA und PFC gesamt (10 Einzelparameter nach LfU). Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte sind farblich gekennzeichnet.

Tabelle 5-6: Konzentrationsentwicklung für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC-Gesamt (10 Einzelparameter)

	PFOS (vorläufiger Schwellenwert Grundwasser: 0,23µg/l; Oberflächenwasser: 0,05µg/l)							Σ PFOS+PFOA+PFHxS(vorläufiger Schwellenwert: 0,3 µg/l)							Σ PFC (10 Einzelparameter)						
	Dez 2013	Aug 2014	Mrz 2015	Apr 2015	Mai 2015	Jun 2015	Jul 2015	Dez 2013	Aug 2014	Mrz 2015	Apr 2015	Mai 2015	Jun 2015	Jul 2015	Dez 2013	Aug 2014	Mrz 2015	Apr 2015	Mai 2015	Jun 2015	Jul 2015
Bewässerungsbrunnen																					
BwdLZ-GWM-001	43,6	12		18		4,4	7,4	53,44	16,64	21,3			8,11	11,23	61,02	19,921	26,533			13,13	16,73
BwdLZ-GWM-002	34,8	4,8		8,9		3,7	2,7	42,81	8,83	12,2			6,8	5,82	49,94	11,82	16,09			11,42	9,5
BwdLZ-GWM-003	0,37	0,14		0,24		0,22	0,22	0,64	0,28	0,49			0,45	0,47	0,82	0,492	0,84			0,79	0,91
BwdLZ-GWM-004	0,3	0,1		0,11		0,18	0,14	0,54	0,27	0,27			0,37	0,37	0,65	0,608	0,5			0,62	0,75
BwdLZ-GWM-005	0,14	0,05		<0,25	0,04		0,061	0,35	0,19	n.n.	0,21		0,26	0,49	0,577	0	0,54				0,667
BwdLZ-GWM-006	0,92	0,42		0,26		<0,25	0,35	1,64	0,61	0,45		0,28	0,61	1,64	0,61	0,45			0,28	0,62	
BwdLZ-GWM-007	16,8	4,8		4,3	2,1		2,2	21,73	8,09	6,6	4,59		4,82	24,62	10,895	8,41	6,81				7,54
BwdLZ-GWM-008	0,7	0,58		0,42		<0,25	0,26	1,67	1,35	1,07		0,49	0,73	2,3	1,864	1,54			0,49	1,14	
BwdLZ-GWM-009	9,57	1,4		2,1		0,9	1,7	13,82	3,34	4,06		2,63	3,53	15,8	4,928	5,421			3,88	5,29	
BwdLZ-GWM-010	3,34	2,9		1,6	1,2		1,2	5,76	5,02	3,13	3,02		3,21	7,1	6,363	4,048	4,02			4,09	
BwdLZ-GWM-011	0,13	0,15		0,18	0,16		0,16	0,8	1,06	0,77	0,68		0,89	1,01	1,436	1,128	0,83			1,35	
BwdLZ-GWM-012	0,2	0,21		0,28		0,18	0,23	0,56	0,7	0,54		0,43	0,53	0,86	1,157	0,92			0,8	0,98	
BwdLZ-GWM-013					7,3		4,5				10,27		9				12,94			11,61	
BwdLZ-GWM-014					4,9		4				14,3		8,2				17,82			10,99	
BwdLZ-GWM-015					7,3		6,4				12,21		10,75				17,15			15,01	
BwdLZ-GWM-016					0,38		0,45				0,91		1,06				1,06			1,46	
BwdLZ-GWM-017						0,25	0,22					0,42	0,36						0,42	0,37	
BwdLZ-GWM-018						0,17	0,07					0,33	0,14						0,33	0,14	
BwdLZ-GWP-01	<0,05	<0,01		<0,01		0,01	<0,01	n.n.	n.n.	n.n.		0,01	n.n.	n.n.	0,025	n.n.			0,01	n.n.	
BwdLZ-GWP-02	7,35	1,6		1,3		0,76	1,3	10,12	3,36	3,25		2,47	3,16	11,76	4,622	4,502			3,27	4,8	
BwdLZ-GWP-03	0,13	0,08		0,07		0,06	0,07	0,2	0,15	0,14		0,13	0,13	0,2	0,187	0,16			0,14	0,16	
BwdLZ-GWP-04	0,14	0,18		0,08		0,11	0,14	0,33	0,42	0,26		0,36	0,37	0,62	0,67	0,51			0,63	0,65	
BwdLZ-GWP-05	3,19	2,2		3,7		2,2	3,2	3,89	3,02	5,14		2,89	4,11	5,56	4,137	7,28			3,87	5,81	
BwdLZ-GWP-06	<0,05	<0,01		<0,01		<0,01	<0,01	n.n.	n.n.	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	0,021	n.n.			n.n.	n.n.	
BwdLZ-GWP-07	0,61	0,4		0,6		0,45	0,3	0,73	0,497	0,76		0,58	0,41	0,73	0,571	0,847			0,66	0,52	
BwdLZ-GWP-08	0,06	0,02		0,02		0,02	0,02	0,11	0,02	0,02		0,03	0,02	0,11	0,053	0,032			0,05	0,04	
BwdLZ-GWP-09	<0,05	<0,01		<0,01		0,02	<0,01	n.n.	n.n.	n.n.		0,02	n.n.	n.n.	0,019	n.n.			0,02	n.n.	
BwdLZ-GWP-16	<0,05	0,03		0,02		0,02	0,03	n.n.	0,056	0,036		0,04	0,05	n.n.	0,089	0,036			0,04	0,05	
	0,09	0,09		0,07		0,07	0,07	0,17	0,146	0,146		0,14	0,14	0,17	0,196	0,158			0,15	0,16	
		0,01						n.n.	0,01					n.n.	0,029						
Oberflächengewässer				0,17	0,19		0,22			0,32	0,31		0,28			0,378	0,36			0,32	
Baggersee 1																					
Baggersee 3				0,44	0,26		0,23			0,55	0,39		0,23			0,615	0,45			0,23	
Baggersee 4				0,14	0,16		0,28			0,19	0,23		0,37			0,21	0,26			0,43	
Baggersee 6				0,12	0,13		0,23			0,17	0,2		0,29			0,19	0,25			0,35	
Baggersee 9				0,05	0,07		0,06			0,117	0,15		0,12			0,142	0,18			0,15	
Baggersee 12				0,51	0,39		0,48			0,88	0,72		0,79			0,925	0,8			0,84	
Baggersee 13				1,2	0,15		0,04			1,263	0,18		0,06			1,299	0,21			0,1	
Ablauf Nordost	0,21			0,14	0,38			0,293				0,25	0,55	0,34			0,32			0,69	
Baggersee N1	0,02			0,03	0,02			0,16				0,19	0,17	0,171		0,2			0,19		
Baggersee N2		0,06		0,06	0,06			0,25				0,19	0,25	0,29		0,22			0,3		
Baggersee N3		0,4		<0,25		0,34	1,19			0,55	1,06		1,474			0,77			1,31		
Baggersee N4		0,23		<0,25		0,28	0,73			0,32	0,75		0,89			0,48			0,98		

Grüne Markierung: Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte bzw. des PNEC_{aquatisch} (0,05 µg/l)

In nahezu allen untersuchten Grundwasseraufschlüssen (30 Grundwassermessstellen und 15 Bewässerungsbrunnen) konnten PFC-Belastungen festgestellt werden. Dabei wurden die vorläufigen Schwellenwerte in 21 Grundwassermessstellen sowie in vier Bewässerungsbrunnen überschritten (siehe Anhang 5).

Betrachtet man das Gesamtspektrum (siehe auch Diagramme in Anhang 3), so wird deutlich, dass ein Großteil der Belastung die in Löschmitteln enthaltenen Einzelsubstanzen PFHxS und PFOS ausmachen. Daneben wurden auch für PFNA deutliche Belastungen (mit Schwellenwertüberschreitungen) gemessen. Auf PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFNA gehen auch der Großteil der Schwellenwertüberschreitungen zurück.

Die höchsten Konzentrationen wurden im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache im Bereich der Messstellen BwDLZ-GWM-001 (bis zu 53 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) und BwDLZ-GWM-002 (bis zu 43 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) ermittelt. Die ebenfalls in diesem Bereich gelegenen Pegel BwDLZ-GWM-007, BwDLZ-GWM-009, die neu errichteten Messstellen BwDLZ-GWM-013 und BwDLZ-GWM-014 sowie der Bewässerungsbrunnen [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] weisen mit Konzentrationen in der Größenordnung zwischen 8 – 22 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA ebenfalls noch deutliche Belastungen auf.

Im zeitlichen Verlauf zeigt sich, dass im Dezember 2013 die bislang mit Abstand höchsten PFC-Konzentrationen gemessen wurden. Seither konnte, vor allem an den höher belasteten Aufschlüssen, ein deutlicher Konzentrationsrückgang beobachtet werden. Der Rückgang geht zum größten Teil auf niedrigere PFOS- und PFHxS-Gehalte zurück. Seit August 2014 kann keine eindeutige Trendentwicklung festgestellt werden.

Abbildung 5-3 stellt die Ergebnisse der Doppel- bzw. Vergleichsanalytik dar, die stichprobenartig an den Grundwassermessstellen BwDLZ-GWM-001, BwDLZ-GWM-005 und BwDLZ-GWP-05 durchgeführt wurden. Dabei stimmen sowohl die ermittelten Werte der anonymisierten Doppelbeprobungen (jeweils 3. Balken) als auch die von [REDACTED] durchgeführte Vergleichsanalytik (jeweils 1. Balken) sehr gut überein, wodurch die Qualität der Analytik durch [REDACTED] (2. Balken) bestätigt wird. In diesem Zuge sind auch die vom Landesamt für Umwelt durchgeführten Untersuchungen an vereinzelt Bewässerungsbrunnen zu nennen, die durch zeitnahe (ca. 14 Tage) Untersuchungen unsererseits bestätigt wurde und ebenfalls eine sehr gute Übereinstimmung aufweist.

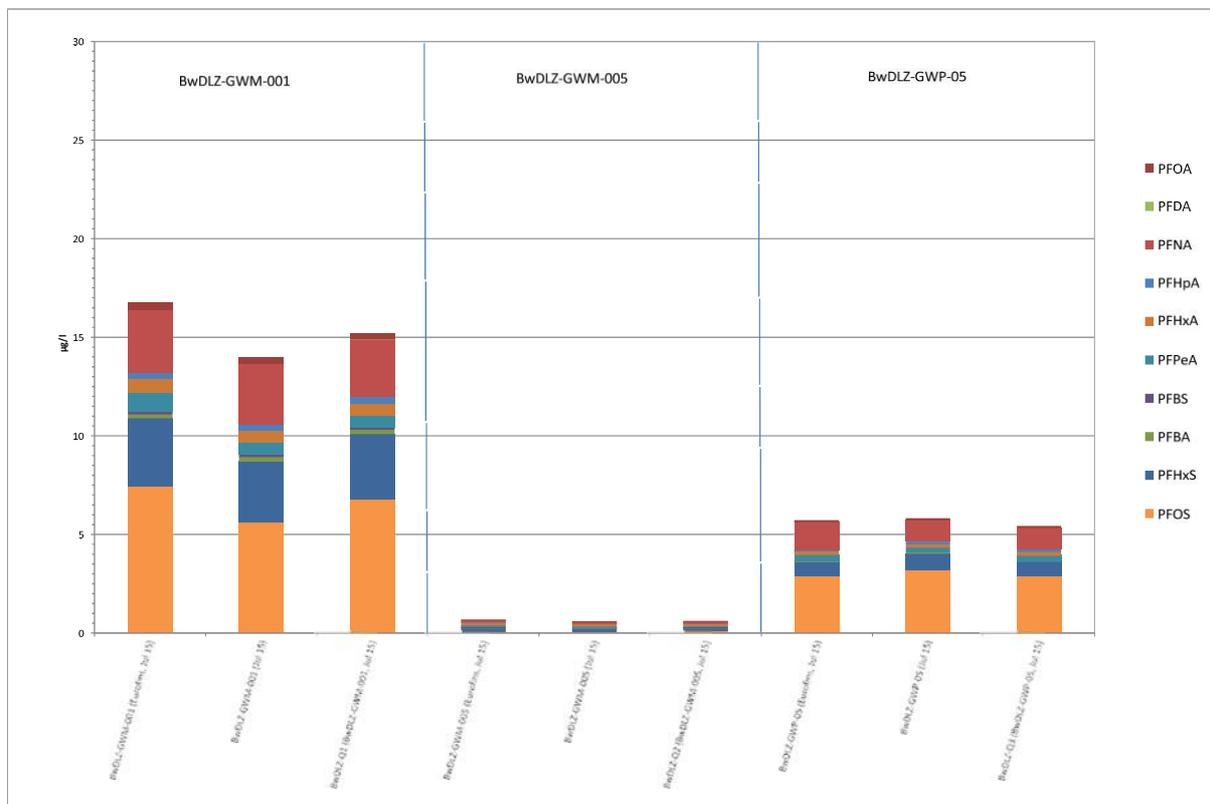


Abbildung 5-3: Ergebnisse Doppel- und Parallelanalyse

Direct-Push-Grundwassersondierungen

Zur weiteren Eingrenzung der PFC-Belastungen im Grundwasser wurden über den ganzen Flugplatz verteilt 70 **Direct-Push-Sondierungen (DP)** abgeteuft und daraus Grundwasserproben entnommen.

Abbildung 5-4 zeigt die PFC-Belastungssituation der Direct-Push-Untersuchungen. PFC-Belastungen konnten in nahezu allen Grundwasseraufschlüssen festgestellt werden, wobei auch die DP-Untersuchungen die deutliche Dominanz der Einzelsubstanzen PFOS, PFHxS und PFNA bestätigten. Die vorläufigen Schwellenwerte wurden in 48 Grundwasserproben überschritten (siehe Anhang 5).

Auch die DP-Untersuchungen bestätigten den Kontaminationsschwerpunkt im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache. Die höchsten Konzentrationen wurden bei DP-60 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA: 22 µg/l) gemessen. Ähnliche Konzentrationen (ca. 6 – 15 µg/l Σ PFOS/PFHxS/PFOA) wurden auch in den nahegelegenen Aufschlüssen DP-58, DP-59, DP-61 und DP-65 bis DP-68 gemessen.

Erhöhte Gehalte wurden des Weiteren in den Sondierungen DP-48 bis DP-50 (Nahbereich alte Feuerwache), der DP-08 (im zentralen Bereich der Südlandebahn) und den Aufschlüssen DP-16, DP-28 und DP-29 (im Bereich des Seitenentwässerungskanal Ost) erkundet.

Die weiteren DP-Sondierungen zeigen deutlich niedrigere Gehalte. Auch im Bereich der Südlandebahn wurden, mit Ausnahme der DP-08, vergleichsweise niedrige Gehalte gemessen.

Generell korrelieren die Ergebnisse der DP-Untersuchungen sehr gut mit denen der permanenten Grundwasseraufschlüsse. Die durchgeführten DP-Untersuchungen erlauben eine deutlich differenziertere Betrachtung der PFC-Belastungen im Grundwasser.

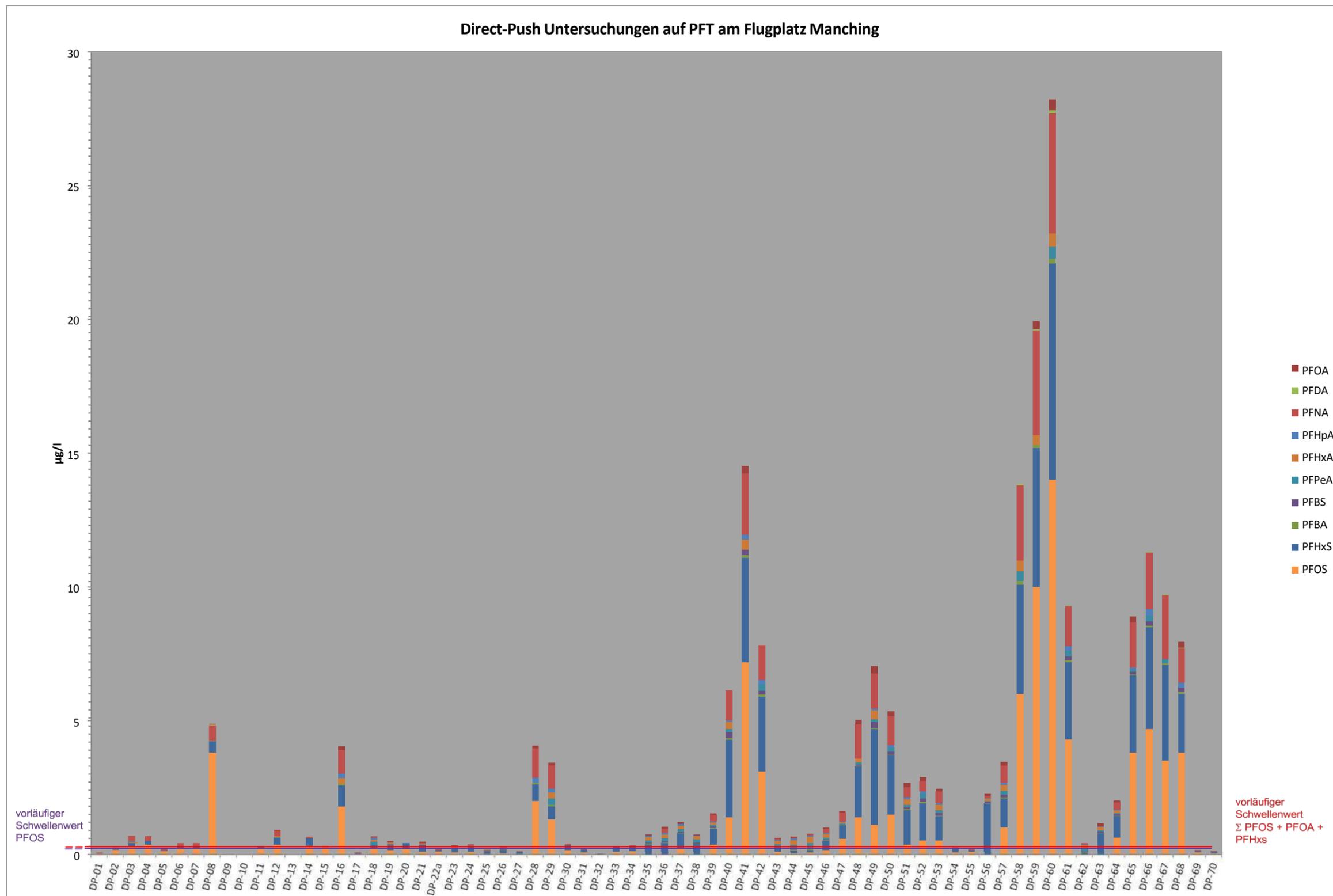


Abbildung 5-4: PFC-Konzentrationen Direct-Push-Sondierungen

Oberflächenwasser

Zur Bewertung wurden die Leitwerte für Oberflächenwasser ($\text{PNEC}_{\text{aquatisch}}$) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) herangezogen. Diese Leitwerte wurden nur für PFOS (0,05 µg/l) bzw. PFOA (570 µg/l) definiert. Aufgrund der vorgefundenen Belastungssituation auf dem Flugplatz-Gelände ist nur der Leitwert für PFOS von Bedeutung für die weitere Bewertung. In Abbildung 5-5 werden die aktuellen Untersuchungsergebnissen visualisiert.

Im Oberflächenwasser wurden in fast allen Wasserproben PFC nachgewiesen. Dabei zeigt sich, ähnlich wie im Grundwasser, eine deutliche Dominanz der Einzelsubstanzen PFOS, PFHxS und PFNA, was zumeist mit der Überschreitung des $\text{PNEC}_{\text{aquatisch}}$ für PFOS (0,05 µg/l) einhergeht.

Generell sind die PFC-Belastungen im Oberflächenwasser aber deutlich geringer als im Grundwasser. Die Maximalwerte liegen für PFOS bei 0,51 µg/l ¹(Baggersee 12) bzw. für PFC gesamt bei 1,5 µg/l (Baggersee N3). Die niedrigeren PFC-Konzentrationen im Grundwasser sind dem Umstand geschuldet, dass die meisten Oberflächengewässer nicht in der Hauptkontaminationsfahne liegen bzw. die Gewässer eine integrale Belastungssituation wiedergeben.

¹ Ohne den als Ausreißer gewerteten einmaligen Befund am Baggersee 3 von 1,2 µg/l



5.2.1.5 Auswertungen und Interpretationen

Die räumliche Verteilung der PFC-Belastung (anhand des Summenparameters Σ PFOS/PFHxS/PFOA im Grundwasser bzw. anhand PFOS für Oberflächenwasser) als Punktwerte ist in Anlage 1 (Karten 2 bis 4) für die einzelnen Beprobungsrunden dargestellt. Bei der zweiten Beprobungsrunde (Karte 3) wurden weiterhin die Ergebnisse der Direct-Push-Grundwassersondierungen berücksichtigt. Den Plänen können weiterhin potenzielle PFC-Eintragsherde entnommen werden, die durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 recherchiert wurden.

Die höchsten PFC-Konzentrationen im quartären **Grundwasser** wurden im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache ermittelt. Dort wurden an zahlreichen Grundwassermessstellen und Direct-Push-Sondierungen deutliche Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte gemessen und damit ein großflächiger PFC-Schaden festgestellt, der als Kontaminationsschwerpunkt gewertet werden muss. Die Messstellen BwDLZ-GWM-001 (bis zu 53 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) und BwDLZ-GWM-002 (bis zu 43 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) weisen dabei die höchsten Konzentrationen auf. Die ebenfalls in diesem Bereich gelegenen Pegel BwDLZ-GWM-007, BwDLZ-GWM-009, die neu errichteten Messstellen BwDLZ-GWM-013 und BwDLZ-GWM-014, der Bewässerungsbrunnen [REDACTED] sowie die DP-Sondierungen DP-58, DP-59, DP-60, DP-61 und DP-65 bis DP-68 weisen mit Konzentrationen in der Größenordnung zwischen 6 – 22 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA ebenfalls noch deutliche Belastungen auf.

Diese Messstellen liegen relativ nah beieinander und deuten somit auf einen PFC-Kontaminationsschwerpunkt hin, der vermutlich durch mehrere Eintragsherde hervorgerufen wird (siehe Anlage 1, Karte 1). Neben der Alten Feuerwache (KVF 104, siehe Kapitel 5.2.5), bei welcher der PFC-Eintrag durch Bodenuntersuchungen bereits nachgewiesen wurde, gibt es weitere potenzielle Eintragsherde, die bislang noch nicht näher erkundet wurden. So wurden westlich der Feuerwache Löschübungen abgehalten und auf der Nordbahn wurden zwei Löschteppiche beim Absturz zweier Flugzeuge (PA 200 und C 172) auf Höhe der Feuerwache bzw. östlich der Feuerwache ausgebracht.

Jedoch konnten bereits im Zustrom der Feuerwache durch die Aufschlüsse DP-40 bis DP-42 erhöhte PFC-Belastungen (ca. 4 – 11 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) festgestellt werden. In diesem Bereich ist bislang kein Eintragsherd bekannt.

[REDACTED]

[REDACTED]

Weitere Belastungsschwerpunkte mit Schwellenwertüberschreitungen sind weiträumig und z.T. diffus über den Flugplatz verteilt und können zum Großteil bekannten PFC-Eintragsquellen zugeordnet werden.

So werden im Bereich des ehemaligen Feuerlöschübungsbeckens (KVF 066, siehe Kapitel 5.2.4), welches sich im Südosten der Liegenschaft befindet, die vorläufigen Schwellenwerte überschritten. Jedoch sind hier die Gehalte deutlich niedriger als an der alten Feuerwache. Die Maximalkonzentrationen in diesem Bereich liegen bei 1,64 µg/l für Σ PFOS/PFHxS/PFOA.

Erhöhte Gehalte mit Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte wurden weiterhin im Bereich des Seitenentwässerungskanals Ost an der Grundwassermessstelle BwDLZ-GWP-05 und an den Aufschlüssen DP-16, DP-28 und DP-29 erkundet. Dort werden Belastungen von ca. 2 – 5 µg/l Σ PFOS/PFHxS/PFOA gemessen. Im Bereich des Seitenentwässerungskanals Ost war bislang kein eindeutiger Eintragsherd bekannt. Nach aktuellen Erkenntnissen des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 befanden sich dort zwei weitere Übungsflächen, an den mit Löschschaum geübt wurde. Die Übungen fanden zur Systemprüfung der Fahrzeugteile sowie zu Ausbildungszwecken mindestens einmal im Jahr statt. Die Lage der Übungsflächen ist in Anlage 1 (Karte 2) zu sehen.

Im Bereich der Südbahn, an der auch einige Löschschaumeinsätze stattfanden (siehe Anlage 1, Karte 1), wurden die vorläufigen Schwellenwerte an der Grundwassermessstelle GWP-07 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA maximal 0,76 µg/l) und den Aufschlüssen DP-03 (0,52 µg/l), DP-04 (0,51 µg/l) und DP-08 (4,25 µg/l) überschritten. Außer an der DP-08 handelt es sich aber nur um geringfügige Schwellenwertüberschreitungen. Bei den restlichen Grundwassersondierungen in diesem Bereich wurden die vorläufigen Schwellenwerte nicht überschritten.

Als unbelastete Anstrommessstelle kann die südlich der Südländebahn gelegene Messstelle BwDLZ-GWP-09 gesehen werden, die bislang nur einen einmaligen minimalen Befund von 0,02 µg/l aufwies. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die festgestellten Belastungen im Grundwasser auf PFC-Einträge innerhalb der Liegenschaft zurückzuführen sind.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Die im Grundwasser ermittelte Belastungssituation wird auch durch die Untersuchungen im **Oberflächenwasser** bestätigt.

Alle Baggerseen auf dem Flugplatz [REDACTED] weisen Belastungen über dem $PNEC_{aquatisch}$ auf, der für PFOS bei $0,05 \mu\text{g/l}$ liegt. Am höchsten belastet ist der im Südosten im Nahbereich des Feuerlöschübungsbeckens gelegene Baggersee 12. Die am Südrand der Liegenschaft gelegenen Zuflüsse/Abflüsse sind dagegen nahezu unbelastet, so dass auch hier die PFC-Belastungen auf Einträge aus dem Flugplatzgelände zurückzuführen sind.

[REDACTED]

5.2.1.6 Zusammenfassende Beurteilung

Die Untersuchungen erbrachten eine großflächige PFC-Kontamination im Grundwasser, die an einer Vielzahl von Grundwasseraufschlüssen zu Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte seit 2013 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.

Der Hauptschaden befindet sich im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache. Für diesen Bereich ergibt sich eine **Schadstofffracht von ca. $11,66 \text{ kg/a}$** Σ PFOS/PFHxS/PFOA (siehe Tabelle 5-7).

Tabelle 5-7: Frachtbetrachtung Σ PFOS/PFHxS/PFOA Hauptfahne Nordbahn

Abstrombreite Fahne [m]	1.500
mittlere Aquifermächtigkeit [m]	6
Filtergeschwindigkeit [m/d]	0,65
GW-Umsatz [m ³ /d]	5.808,67
Konz mittel [μ g/l]	5,5
Fracht [g/d]	31,95
Fracht [kg/a]	11,66

Zur Abschätzung der gesamten Schadstoffmenge im Grundwasser (nach der LAWA/LABO Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“) wurde des Weiteren ein Kontaminationsbereich abgegrenzt, für welchen der vorläufige Schwellenwert für Σ PFOS/PFHxS/PFOA überschritten wird. Der Kontaminationsbereich umfasst eine Fläche von ca. 4,5 km² und ist im Mittel mit 1,92 μ g/l Σ PFOS/PFHxS/PFOA belastet. Für diesen Bereich ergibt sich eine Schadstoffmenge von **ca. 52 kg** an Σ PFOS/PFHxS/PFOA, die sich im Grundwasser befindet. Nach der Arbeitshilfe der LAWA/LABO kann bei einer Schadstoffmenge von 300 g für Σ PFOS/PFHxS/PFOA nicht mehr von einer punktuellen Schadstoffquelle gesprochen werden. Dieser Betrag wurde deutlich überschritten.

Die bislang ermittelten PFC-Einträge der ausgewiesenen KVF (siehe Kapitel 5.2.2 bis 5.2.6) stellen jedoch nur einen Bruchteil der ermittelten Schadstofffracht im Grundwasser dar. Es ist zu vermuten, dass vor allem im Bereich der Nordbahn ein deutlich größeres Schadstoffpotential im Boden besteht als bislang erkundet wurde. Vor einer abschließenden Gefährdungsbeurteilung ist eine weitere Schadenseingrenzung erforderlich. Laut AHBoGwS ergibt sich damit bei derzeitigem Kenntnisstand eine Einstufung in die Kategorie E.



Auf dem Flugplatz selbst wird bei derzeitigem Kenntnisstand kein Grundwasser genutzt.

5.2.2 KVF 001: POL-Lager POL-2

Abbildung 5-6 zeigt einen Übersichtsplan der KVF 001.



Legende

Konzentrationsniveau

Grundwasser Beprobung Mai/Juni 2015

Direct Push GWM

△	○	0,00
△	○	0,01 - 0,30
△	○	0,31 - 0,60
△	○	0,61 - 0,90
△	○	0,91 - 1,20
△	○	1,21 - 4,00
△	○	4,01 - 20,00

Boden (Maximalwerte)

Summe PFOS + PFOA + PFHxS [µg/l] aus S4-Eluat
vorläufiger Stufe-1-Wert: 0,3 µg/l
vorläufiger Stufe-2-Wert: 1,0 µg/l

△	0,00
△	0,01 - 0,30
△	0,31 - 0,60
△	0,61 - 1,00
△	1,00 - 4,00
△	4,00 - 10,00
△	10,01 - 200,00

— Grundwassergleichen

→ GW-Fließrichtung

0 10 20 40
Meter



Abbildung 5-6: Lageplan POL-Lager POL-2 (KVF 001)

5.2.2.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen. Bei Eluatbefunden der entnommenen Bodenproben sind aufgrund der gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen für das Grundwasser zu erwarten.

Das Untersuchungskonzept für die Bodenuntersuchungen an der KVF 001 wurde durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 vorgegeben. Die KVF 001 wurde aufgrund festgestellter PFC-Belastungen im Grundwasser der KVF 002 mit untersucht. Bei den beiden KVF handelt es sich um zwei POL-Lager, die baugleich ausgeführt wurden und eine identische Nutzung aufweisen. Zur Eingrenzung potenzieller Belastungen wurden insgesamt vier Linersondierungen durchgeführt.

5.2.2.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

In der Phase I Erkundung wurde für die KVF 001 keine PFC-Verdachtsmomente geäußert.

In der Phase IIa wurden lediglich für die KF 096 „Grundwasser“ Untersuchungen bezüglich PFC durchgeführt. Hierzu wurden die Messstellen BwDLZ-GWM-003 und BwDLZ-GWM-004, die im direkten Abstrombereich des POL-Lagers POL-2 liegen, errichtet und beprobt. Dabei wurden PFC-Gehalte geringfügig über den vorläufigen Schwellenwerten festgestellt. PFC-Untersuchungen im Boden (Feststoff/Eluat) wurden nicht durchgeführt.

5.2.2.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den fünf Linersondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Abbildung 5-7 dargestellt. Unter einer geringmächtigen humosen Oberbodenaufgabe wurden überwiegend sandige und kiesige Lagen bis zur Endteufe erkundet. Lediglich in den Sondierungen POL-2-L4 und POL-2-L5 wurden ca. 40 cm mächtige bindigere Partien (schluffige Tone) unterhalb des Oberbodens erkundet. Die Sondierungen reichen bis in Tiefen zwischen 3,6 – 4,8 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

5.2.2.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 5-7 exemplarisch für Σ PFOS/PFHxS/PFOA dargestellt. Es konnten keinerlei PFC-Belastungen festgestellt werden.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind im Kapitel 5.2.1 (KF 096 Grundwasser) in Tabelle 5-6 exemplarisch für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC (10 Einzelparameter)

dargestellt. An beiden Grundwassermessstellen können geringfügige Überschreitungen des vorläufigen Schwellenwertes festgestellt werden.

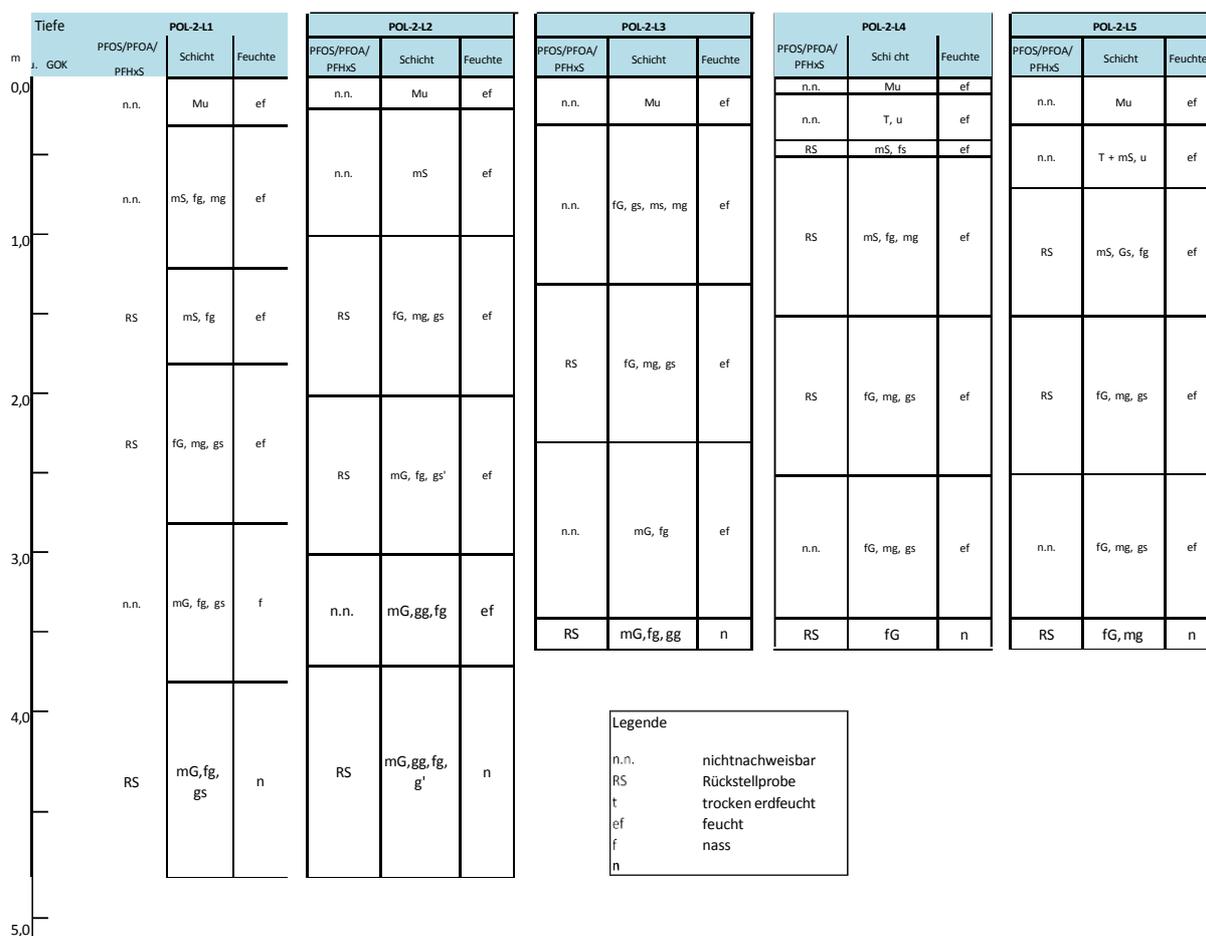


Abbildung 5-7: Kontaminationsverteilung POL-Lager POL-2 (KVF 001)

5.2.2.5 Auswertungen und Interpretationen

Die durchgängig unauffälligen Untersuchungsergebnisse der Bodenuntersuchungen deuten darauf hin, dass im Bereich des POL-Lagers POL-2 keine oberflächlichen PFC-Einträge stattgefunden haben. Die Belastungen im Grundwasser stehen nicht im originären Zusammenhang mit dem POL-Lager POL-2.

5.2.2.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-8 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KVF 001. Aufgrund der durchgehend unauffälligen Bodenbefunde, die nicht in Zusammenhang mit den gemessenen Belastungen im Grundwasser zu stehen scheinen, kann für die KVF 001 der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gesehen werden. Nach AHBoGwS erfolgt bei derzeitigem Kenntnisstand die Einstufung in die Kategorie A.

Tabelle 5-8: Zusammenfassung POL-Lager POL-2 (KVF 1)

KVF 001: POL-Lager POL-2 (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Zentrallager für Flugkraftstoffe (Kerosin F34), Flachbodentank mit 1.250 m ³ Fassungsvermögen
Dauer:	Laut Phase I Erkundung von 1979 bis 1989
Durchgeführte Untersuchungen:	
Phase IIa: BfM (2013)	Errichtung/Untersuchung von 2 Grundwassermessstellen (BwDLZ-GWM-003, BwDLZ-GWM-004), 4 Baggerschürfe
Phase IIb: Gibs (2015)	5 Linersondierungen, 30 Bodenproben, Analyse von 15 Bodenproben (S4-Eluat); Untersuchung BwDLZ-GWM-003, BwDLZ-GWM-004
Ergebnisse der chemischen Analytik:	
Phase IIa:	Boden: Keine Bodenuntersuchungen Grundwasser: Geringfügige Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-003 (0,64 µg/l) bzw. BwDLZ-GWM-004 (0,54 µg/l)
Phase IIb:	Boden: Durchgängig PFC-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze Grundwasser: Geringfügige Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-003 (max. 0,49 µg/l) bzw. BwDLZ-GWM-004 (max. 0,37 µg/l)
Bewertung und Schadensbereiche:	Verdacht bei derzeitigem Kenntnisstand ausgeräumt, Belastungen im Grundwasser stehen nicht in Zusammenhang mit KVF 1
Bewertung nach AHBoGwS:	Kat. A
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Keine weiteren Maßnahmen

5.2.3 KVF 002: POL-Lager POL-1

Abbildung 5-8 zeigt einen Übersichtsplan der KVF 002.



Legende

Konzentrationsniveau

Grundwasser Beprobung Mai/Juni 2015

Direct Push GWM

△	○	0,00
△	○	0,01 - 0,30
△	○	0,31 - 0,60
△	○	0,61 - 0,90
△	○	0,91 - 1,20
△	○	1,21 - 4,00
△	○	4,01 - 20,00

Boden (Maximalwerte)

Summe PFOS + PFOA + PFHxS [µg/l] aus S4-Eluat
vorläufiger Stufe-1-Wert: 0,3 µg/l
vorläufiger Stufe-2-Wert: 1,0 µg/l

△	0,00
△	0,01 - 0,30
△	0,31 - 0,60
△	0,61 - 1,00
△	1,00 - 4,00
△	4,00 - 10,00
△	10,01 - 200,00

→ GW-Fließrichtung

0 10 20 40
Meter



Abbildung 5-8: Lageplan POL-Lager POL-1 (KVF 002)

5.2.3.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen. Bei Eluatbefunden der entnommenen Bodenproben sind aufgrund der gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen für das Grundwasser zu erwarten.

Das Untersuchungskonzept für die Bodenuntersuchungen an der KVF 002 wurde durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 vorgegeben. Die Untersuchungen wurden aufgrund festgestellter PFC-Belastungen im Grundwasser im Abstrombereich der KVF 002 durchgeführt. Zur Eingrenzung potenzieller Belastungen wurden insgesamt vier Linersondierungen durchgeführt.

5.2.3.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

In der Phase I Erkundung wurde für die KVF 2 keine PFC-Verdachtsmomente geäußert.

In der Phase IIa wurden lediglich für die KF 096 „Grundwasser“ Untersuchungen bezüglich PFC durchgeführt. Hierzu wurden die Messstellen BwDLZ-GWM-001 und BwDLZ-GWM-002, die im direkten Abstrombereich des POL-Lagers POL-1 liegen, errichtet und beprobt. Dabei wurden die höchsten PFC-Gehalte am Standort deutlich über den vorläufigen Schwellenwerten festgestellt. PFC-Untersuchungen im Boden (Feststoff/Eluat) wurden nicht durchgeführt.

5.2.3.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den vier Linersondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Abbildung 5-9 dargestellt. Unter einer geringmächtigen humosen Oberbodenauflage wurden überwiegend sandige und kiesige Lagen bis zur Endteufe erkundet. Lediglich in den Sondierungen POL-1-L3 und POL-1-L4 wurden geringmächtige (ca. 20 cm) bindigere Partien (schluffige Tone) unterhalb des Oberbodens erkundet. Die Sondierungen reichen bis in Tiefen zwischen 3,6 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

5.2.3.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungen am POL-Lager erbrachten an drei der vier Aufschlüssen (POL1-L2 bis POL1-L3) geringfügige Überschreitungen des Stufe-1-Wertes, wobei die maximalen Konzentrationen für Σ PFOS/PFHxS/PFOA mit 0,41 µg/l bei POL1-L3 gemessen wurden. Auffällig ist, dass positive PFC-Befunde erst im Grundwasserschwankungsbereich gemessen wurden, wohingegen die überlagernden Bodenpartien durchgehend unbelastet waren.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind im Kapitel 5.2.1 (KF 096 Grundwasser) in Tabelle 5-6 exemplarisch für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC (10 Einzelparameter) dargestellt. An beiden Grundwassermessstellen wurden deutliche Überschreitungen des vorläufigen Schwellenwertes festgestellt.

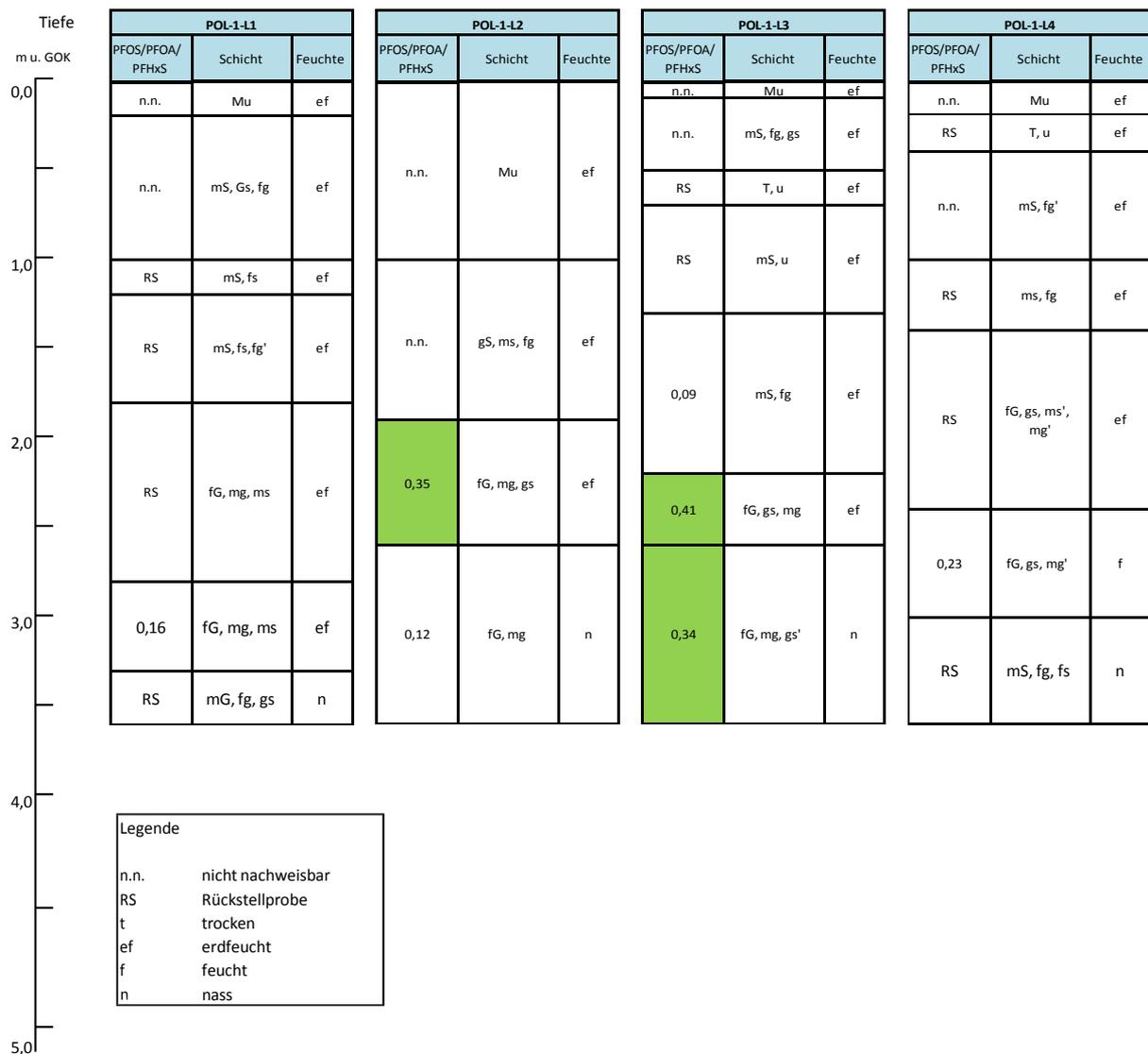


Abbildung 5-9: Kontaminationsverteilung POL-Lager POL-1 (KVF 002)

5.2.3.5 Auswertungen und Interpretationen

Die Konzentrationsverteilung deutet darauf hin, dass die Belastungen nicht auf direkte oberflächliche Einträge zurückzuführen sind, sondern auf Belastungen zurückgehen, die über das Grundwasser verfrachtet wurden. Alle positiven PFC-Befunde wurden im Grundwasserschwankungsbereich gemessen, was bei den deutlich erhöhten PFC-Gehalten im Grundwasser in diesem Bereich (siehe BwDLZ-GWM-001 und BwDLZ-GWM-002) als Ursache durchaus plausibel ist.

5.2.3.6 Zusammenfassende Beurteilung

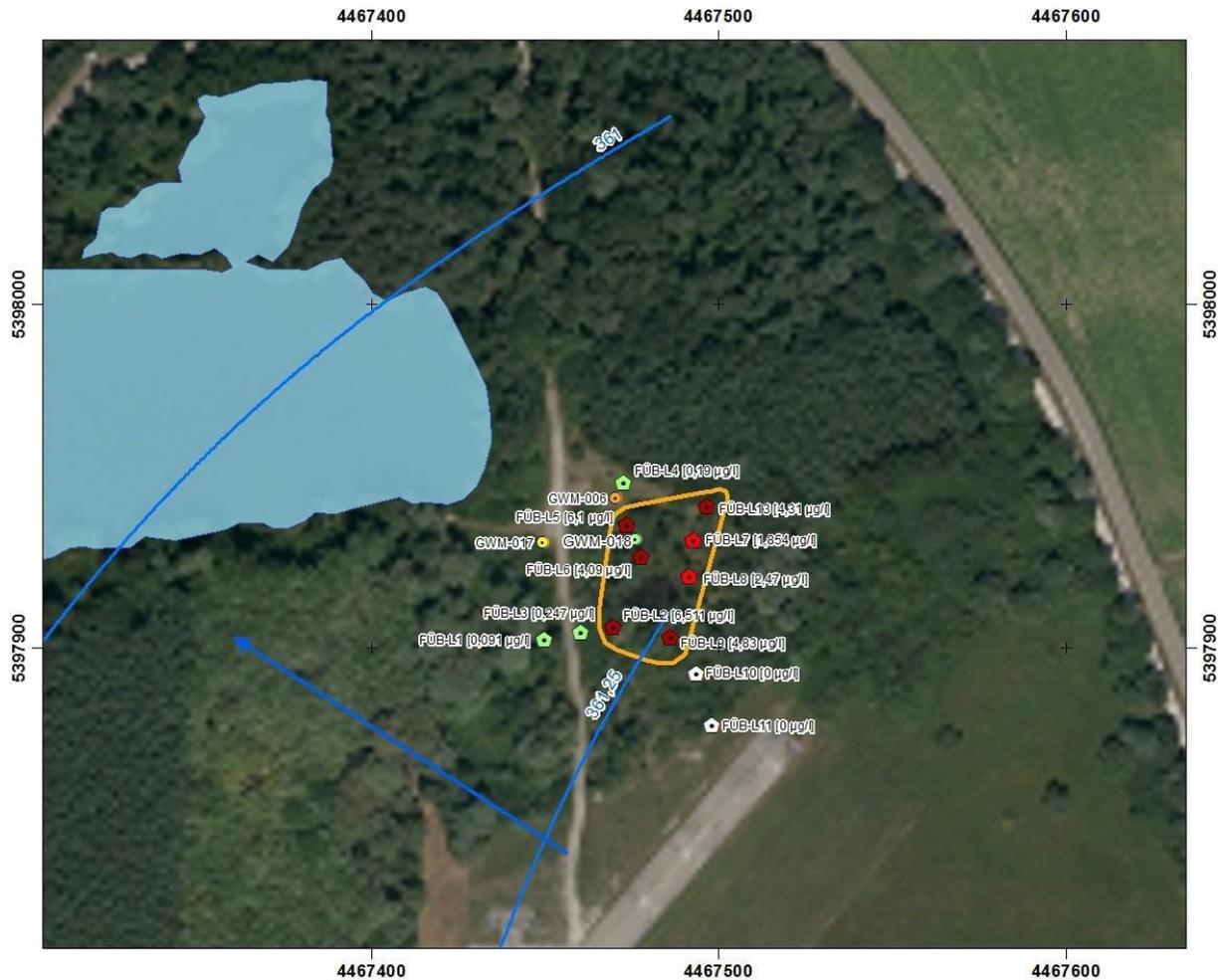
Tabelle 5-9 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KVF 002. Die festgestellten Belastungen mit Stufe-1-Wert-Überschreitungen wurden ausschließlich im Grundwasserschwankungsbereich gemessen. Diese Belastungen können nicht für die abströmig gelegenen PFC-Belastungen an den Grundwassermessstellen BwDLZ-GWM-001 und BwDLZ-GWM-002 verantwortlich sein. Eher handelt es sich bei den Bodenbelastungen um eine Sekundärkontamination hervorgerufen durch das Grundwasser. Aus Sicht des Gutachters kann somit für die KVF 002 der Gefahrenverdacht als ausgeräumt gesehen werden. Da jedoch im Grundwasserschwankungsbereich PFC-Belastungen festgestellt wurden, sollte nach der AHBoGwS bei derzeitigem Kenntnisstand die Einstufung in die Kategorie B erfolgen.

Tabelle 5-9: Zusammenfassung POL-Lager POL-1 (KVF 2)

KVF 002: POL-Lager POL-1 (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Zentrallager für Flugkraftstoffe (Kerosin F34), Flachbodentank mit 1.250 m ³ Fassungsvermögen, identisch zu KVF1
Dauer:	Laut Phase I Erkundung von 1979 bis 1989
Durchgeführte Untersuchungen:	
Phase IIa: BfM (2013)	Errichtung/Untersuchung von 2 Grundwassermessstellen (BwDLZ-GWM-001, BwDLZ-GWM-002), 4 Baggerschürfe, 2 RKS
Phase IIb: Gibs (2015)	4 Linersondierungen, 25 Bodenproben, Analyse von 15 Bodenproben (S4-Eluat); Untersuchung BwDLZ-GWM-001, BwDLZ-GWM-002, Direct-Push-Sondierung DP-50
Ergebnisse der chemischen Analytik:	
Phase IIa:	<p>Boden: Keine Bodenuntersuchungen</p> <p>Grundwasser: Deutliche Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-001 (53,44 µg/l) bzw. BwDLZ-GWM-002 (42,81 µg/l)</p>
Phase IIb:	<p>Boden: Geringfügige Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 3 Proben</p> <p>Grundwasser: Deutliche Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-001 (max. 21,3 µg/l), BwDLZ-GWM-002 (max. 12,2 µg/l), DP-50 (3,86 µg/l)</p>
Bewertung und Schadensbereiche:	Verdacht bei derzeitigem Kenntnisstand ausgeräumt, Bodenbelastungen im GW-Schwankungsbereich sind höchstwahrscheinlich auf Sekundärkontamination des GW zurückzuführen; Belastungen im Grundwasser stehen nicht im Zusammenhang mit KVF 2
Bewertung nach AHBoGwS:	Kat. B
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Keine weiteren Maßnahmen

5.2.4 KVF 066: Feuerlöschübungsbecken

Abbildung 5-10 zeigt einen Übersichtsplan der KVF 066.



Legende

Konzentrationsniveau

Grundwasser
Beprobung Mai/Juni 2015

Direct Push	GWM	Concentration Range (µg/l)
△	○	0,00
△	○	0,01 - 0,30
△	○	0,31 - 0,60
△	○	0,61 - 0,90
△	○	0,91 - 1,20
△	○	1,21 - 4,00
△	○	4,01 - 20,00

Boden (Maximalwerte)

Summe PFOS + PFOA + PFHxS [µg/l] aus S4-Eluat
vorläufiger Stufe-1-Wert: 0,3 µg/l
vorläufiger Stufe-2-Wert: 1,0 µg/l

△	0,00
△	0,01 - 0,30
△	0,31 - 0,60
△	0,61 - 1,00
△	1,00 - 4,00
△	4,00 - 10,00
△	10,01 - 200,00

- Baggersee
- Grundwassergleichen
- GW-Fließrichtung
- Kontaminationsbereich

0 12,5 25 50
Meter



Abbildung 5-10: Lageplan Feuerlöschübungsbecken (KVF 66)

5.2.4.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen. Bei Eluatbefunden der entnommenen Bodenproben sind aufgrund der gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen für das Grundwasser zu erwarten.

Die Voruntersuchungen erbrachten bereits erhöhte PFC-Gehalte im Grundwasser im Abstrombereich der KVF 066. Zu Klärung der PFC-Belastungen wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, die vom BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 konzipiert wurden.

Zur Untersuchung der PFC-Belastungen wurden 12 Linersondierungen durchgeführt. Die Ansatzpunkte wurden unter Berücksichtigung der Gegebenheiten vor Ort vom Beckenrand ausgehend kreuzförmig in 4 Richtungen angeordnet und jeweils drei Sondierungen in bestimmten Abständen (direkt am Beckenrand, im Abstand von ca. 10 - 15 m und im Abstand von ca. 20 - 25 m) durchgeführt.

5.2.4.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

In der Phase I Erkundung wurde für die KVF 066 lediglich die Aussage getroffen, dass „Schaumflüssigkeiten“ verwendet wurden und der Verdacht einer PFC-Kontamination geäußert.

Laut einer „Historischen Recherche“ des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 wurden an der KVF 066 regelmäßige Übungen mit PFC-haltigem Löschmittel durchgeführt. Bei der heute bewachsenen Fläche handelte es sich früher um ein Freigelände. Das FUB wird seit 1989 nicht mehr genutzt.

Bei den Übungen, die mindestens einmal pro Monat abgehalten wurden, wurde Wasser ins Becken eingelassen und anschließend Kerosin darauf verteilt. Der Schaum ist durch das Löschen auch im Umkreis des Beckens zu finden. Nach Angaben der Feuerwehr, die durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 erhoben wurden, wurde ca. 500 - 700 l Schaummittel pro Übung ausgebracht. Das Becken wurde meistens von Westen angefahren. Die Feuerwehrfahrzeuge (FW-KFZ) begannen ca. 100 m vor dem Becken das Schaummittel anzustellen. Dabei wurde das Wurfrohr jedoch zunächst auf den Boden gerichtet, um einen Schaumteppich zum Schutz des FW-KFZ zu bilden. Kurz vor Erreichen des Übungsbeckens wurde das Wurfrohr aufgerichtet.

In der Phase IIa wurden lediglich für die KF 096 „Grundwasser“ Untersuchungen bezüglich PFC durchgeführt. Hierzu wurde die Messstelle BwDLZ-GWM-006 errichtet und beprobt. Dabei wurden PFC-Gehalte (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 1,61 $\mu\text{g/l}$) über dem vorläufigen Schwellenwerte festgestellt. PFC-Untersuchungen im Boden (Feststoff/Eluat) wurden nicht durchgeführt.

höchsten Gehalte wurden im direkten Umgriff des Übungsbeckens an den Aufschlüssen FÜB-L2 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 6,51 $\mu\text{g/l}$), FÜB-L6 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 4,09 $\mu\text{g/l}$), FÜB-L8 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 2,47 $\mu\text{g/l}$) und FÜB-L9 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 4,83 $\mu\text{g/l}$) gemessen. Mit zunehmendem Abstand zum Übungsbecken nehmen die Gehalte ab, wobei in nördliche Richtung weiterhin deutliche Belastungen mit Überschreitungen des Stufe-2-Wertes an den Aufschlüssen FÜB-L5 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 6,1 $\mu\text{g/l}$), FÜB-L7 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 1,85 $\mu\text{g/l}$) und FÜB-L13 (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 4,31 $\mu\text{g/l}$) gemessen wurden. Die Aufschlüsse, die im Westen bzw. Süden des Übungsbeckens liegen, weisen dagegen deutlich niedrigere Gehalte auf.

In den obersten Bodenschichten (Oberboden/Auffüllungsbereiche) wurden vergleichsweise geringe PFC-Belastungen festgestellt, die nur an zwei Stellen zur Überschreitung des Stufe-1-Wertes führten. Erst in den unterlagernden Schichten konnten signifikante Konzentrationen festgestellt werden. Die höchsten Konzentrationen wurden zumeist im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, der im Bereich des Übungsbeckens bei ca. 1,5 m u. GOK liegt. Die untersten Proben, die bereits in der gesättigten Bodenzone lagen, weisen dagegen deutlich niedrigere PFC-Gehalte und nur vereinzelte Stufe-1-Wert-Überschreitungen auf.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind im Kapitel 5.2.1 (KF 096 Grundwasser) in Tabelle 5-6 exemplarisch für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC (10 Einzelparameter) dargestellt.

An allen drei Grundwassermessstellen wurden Überschreitungen des vorläufigen Schwellenwertes festgestellt. Die Konzentrationen liegen in allen drei Messstellen recht nah beieinander. Die höchsten Werte wurden an der BwDLZ-GWM-006 (max. 0,61 $\mu\text{g/l}$) gemessen, bei BwDLZ-GWM-017 (max. 0,42 $\mu\text{g/l}$) und BwDLZ-GWM-018 (max. 0,33 $\mu\text{g/l}$) liegen die Werte leicht darunter. Im Vergleich zur Phase IIa Untersuchung sind die Gehalte an der BwDLZ-GWM-006 deutlich gesunken.

5.2.4.5 Auswertungen und Interpretationen

Die Untersuchungen am Feuerlöschübungsbecken belegen eindeutig den Eintrag von PFC-haltigen Schaummitteln in die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Die Konzentrationsverteilung deutet auf eine langsame vertikale Verfrachtung der PFC hin. Da das Feuerlöschübungsbecken nicht mehr zu Übungszwecken verwendet wird und somit kein weiterer oberflächlicher Eintrag stattfinden kann, sind die Gehalte oberflächlich geringer als in den unterlagernden Bodenpartien.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Die bislang erkundete Kontaminationsfläche, auf der Stufenwertüberschreitungen festgestellt wurden, umfasst eine Fläche von ca. 1.330 m^2 . Für diesen Kontaminationsbereich wurde eine mittlere (berechnet als Mittelwert der Maximalkonzentrationen je Ansatzpunkt) und eine

maximale Konzentration ermittelt, mit welcher über die Sickerwassermenge eine mittlere bzw. maximale Fracht berechnet wurde. Die Ergebnisse der Frachtbetrachtung (für Σ PFOS/PFHxS/PFOA) für sind in Tabelle 5-10 dargestellt.

Tabelle 5-10: Ermittelte Schadstofffracht KVF 066

Flächen- größe	GW- Neubildung	Sickerwasser- menge	Konz. mittel	Konz. max.	Fracht mittel	Fracht max.	Fracht mittel	Fracht max.
[m ²] 1330	[mm] 50	[m ³ /d] 0,18	[µg/l] 4,31	[µg/l] 6,50	g/d 0,001	g/d 0,001	g/a 0,29	g/a 0,43

Nach der Arbeitshilfe LAWA/LABO-Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“ ist zwar die Fracht als gering zu betrachten (bis 51,6 g/a für Σ PFOS/PFHxS/PFOA), jedoch wird die festgelegt Eintragsfläche von 1.000 m² bereits bei der bisherigen Abgrenzung überschritten.

5.2.4.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-11 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KVF 066. Die Untersuchungen erbrachten an sieben Aufschlüssen Überschreitungen des vorläufigen Stufe-2-Wertes am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden kann. Dies wird auch durch die Grundwasserbelastungen in den abstromig gelegenen Grundwassermessstellen über dem vorläufigen Schwellenwert belegt. Damit hat sich der Gefahrenverdacht für die KVF 066 bestätigt, die eine erhebliche Grundwasserverunreinigung bewirkt.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte jedoch keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden, womit für die KVF 066 die Gefährdungsabschätzung nicht abgeschlossen werden kann. Es sind somit weitere Erkundungsmaßnahmen zur weiteren Abgrenzung des Kontaminationsbereichs angezeigt. Laut AHBogWS ergibt sich damit eine Einstufung in die Kategorie E.

Tabelle 5-11: Zusammenfassung Feuerlöschübungsbecken (KVF 066)

KVF 066: Feuerlöschübungsbecken (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Feuerlöschübungsbecken, Übungen mindestens einmal pro Monat, ca. 500 – 700 l Schaummittel pro Übung
Dauer:	Bis 1989
Durchgeführte Untersuchungen:	
Phase IIa: BfM (2013)	Errichtung einer Grundwassermessstelle (BwDLZ-GWM-006), 4 RKS
Phase IIb: Gibs (2015)	Errichtung/Untersuchung von 2 Grundwassermessstellen (BwDLZ-GWM-017, BwDLZ-GWM-018), 12 Linersondierungen, 65 Bodenproben, Analyse von 52 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; dreimalige Beprobung/Analytik BwDLZ-GWM-006, BwDLZ-GWM-017, BwDLZ-GWM-018
Ergebnisse der chemischen Analytik:	
Phase IIa:	Boden: Keine Bodenuntersuchungen Grundwasser: Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-006 (1,64 µg/l)
Phase IIb:	Boden: Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 18 Proben, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 6 Proben Erkundete Kontaminationsfläche: ca. 1.330 m ² Fracht mittel/max: ca. 0,3 g/a / 0,45 g/a Grundwasser: Geringfügige Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-006 (0,61 µg/l), BwDLZ-GWM-017 (0,42 µg/l), BwDLZ-GWM-018 (0,33 µg/l)
Bewertung und Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung möglich
Bewertung nach AHBoGwS:	Kat. E
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich

5.2.5 KVF 104: Alte Feuerwache

Abbildung 5-12 zeigt einen Übersichtsplan der KVF 104 „Alte Feuerwache“.



Legende

Konzentrationsniveau

Grundwasser
Beprobung Mai/Juni 2015

Direct Push	GWM	Konzentrationsniveau
△	○	0,00
△	○	0,01 - 0,30
△	○	0,31 - 0,60
△	○	0,61 - 0,90
△	○	0,91 - 1,20
△	○	1,21 - 4,00
△	○	4,01 - 20,00

Boden (Maximalwerte)

Summe PFOS + PFOA + PFHxS [$\mu\text{g/l}$] aus S4-Eluat
vorläufiger Stufe-1-Wert: 0,3 $\mu\text{g/l}$
vorläufiger Stufe-2-Wert: 1,0 $\mu\text{g/l}$

△	0,00
△	0,01 - 0,30
△	0,31 - 0,60
△	0,61 - 1,00
△	1,00 - 4,00
△	4,00 - 10,00
△	10,01 - 200,00

- Grundwassergleichen
- GW-Fließrichtung
- Kontaminationsbereich

0 12,5 25 50
Meter



Abbildung 5-12: Lageplan Alte Feuerwache (KVF 104)

5.2.5.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen. Bei Eluatbefunden der entnommenen Bodenproben sind aufgrund der gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen für das Grundwasser zu erwarten.

Die Voruntersuchungen erbrachten erhöhte PFC-Gehalte im Grundwasser im Bereich der KVF 104. Zu Klärung der PFC-Belastungen wurden weitere Untersuchungen geplant, die vom BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 konzipiert wurden.

Zur Untersuchung der PFC-Belastungen wurden 11 Linersondierungen durchgeführt. Neun Aufschlusspunkte wurde auf der Nordseite im direkten Umgriff der Vorfeldfläche der Feuerwache platziert. Dabei wurden die Gegebenheiten vor Ort mit potenziellen Oberflächenabflusspfaden berücksichtigt. Zwei weitere Ansatzpunkte wurden auf der Südseite des Gebäudes positioniert.

5.2.5.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Die KVF 104 „Alte Feuerwache“ war nicht Bestandteil der Phase I Erkundung.

In der Phase IIa wurden lediglich für die KF 096 „Grundwasser“ Untersuchungen bezüglich PFC durchgeführt. Hierzu wurde die Messstellen BwDLZ-GWM-009 im Nahbereich der „Alten Feuerwache“ errichtet und beprobt. Dabei wurden deutliche PFC- Gehalte über den vorläufigen Schwellenwerten festgestellt. PFC-Untersuchungen im Boden (Feststoff/Eluat) wurden nicht durchgeführt.

Im Jahr 2012 wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt Feststoffuntersuchungen des Oberbodenmaterials auf PFC durchgeführt und dabei im Bereich der alten Feuerwache zwei Bodenproben entnommen. Die Untersuchungen erbrachten deutliche PFC-Belastungen im Feststoff (siehe Tabelle 5-12). An der Probe FW BW 2 wurden PFC-Konzentrationen von 10.571 µg/kg Trockenmasse gemessen, an der Probe FW BW 1 PFC-Gehalte von 2.551 µg/kg. Bei der Probe FW BW 1 wurde zudem ein Großteil der Belastung durch das Fluortelomer 8:2 FTSA hervorgerufen.

Tabelle 5-12: Feststoffkonzentrationen [µg/kg Trockenmasse] im Oberboden „Alte Feuerwache“ [5]

Probenbezeichnung	FW BW 2	FW BW 1
PN-Datum	03.08.2012	03.08.2012
LfU-Nummer	1043-LfU-1	1043-LfU-2
PFOS	7900	200
8:2 FTSA	140	1300
S PFC (10 EP)	9.159,5	393,3
S PFC (gesamt)	10.571,5	2.551,3
S PFOS/PFOA/PFHxS	8.283,0	260,0

5.2.5.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den elf Linersondierungen angetroffene Untergrundaufbau ist in Abbildung 5-13 dargestellt. Unter geringmächtigen Oberboden- bzw. Auffüllungsbereichen wurden durchgehend sandige und kiesige Lagen bis zur Endteufe erkundet. Die Sondierungen reichen bis in Tiefen von 3,9 m u. GOK. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

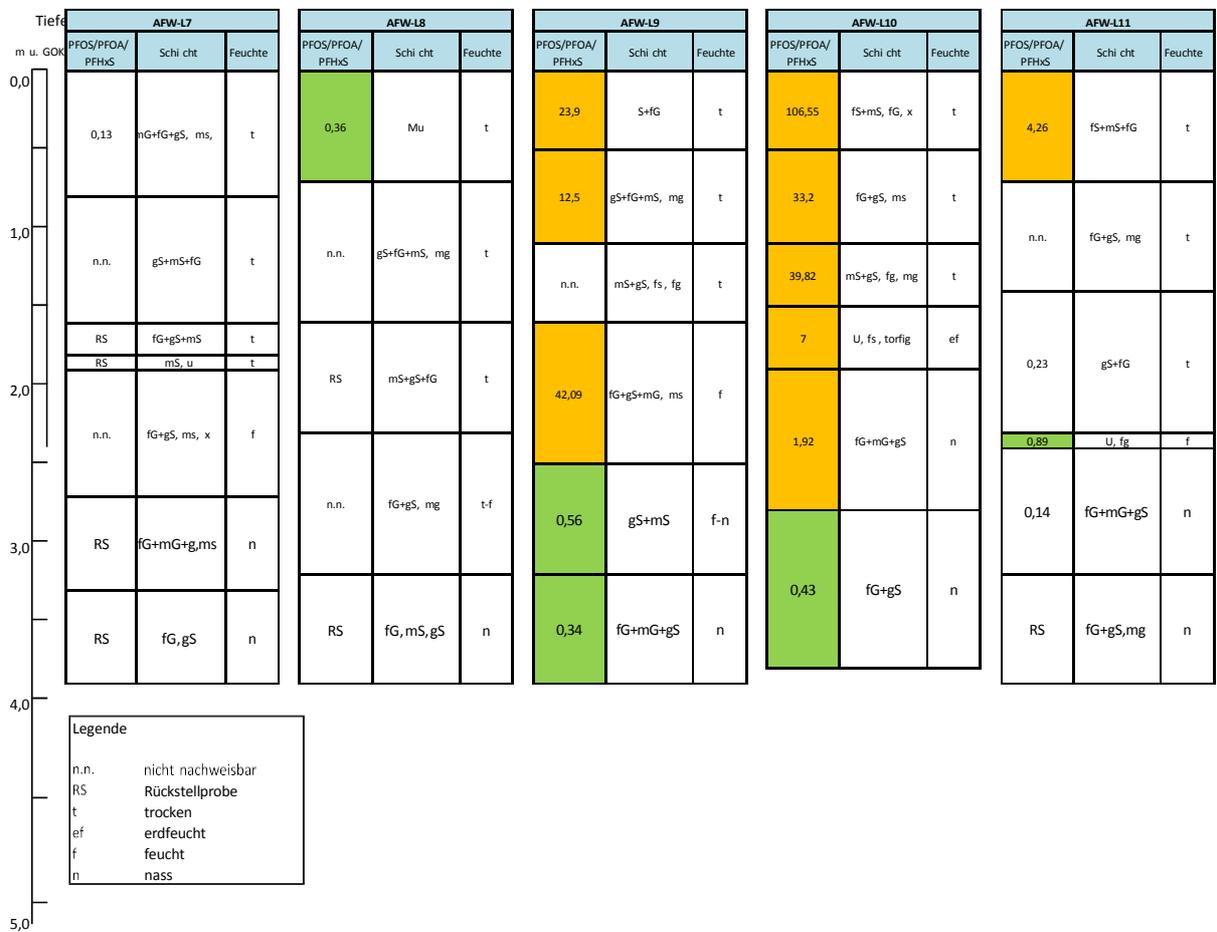


Abbildung 5-13: Kontaminationsverteilung Alte Feuerwache (KVF 104)

5.2.5.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 5-13 exemplarisch für Σ PFOS/PFHxS/PFOA dargestellt. Die mit Abstand höchsten Belastungen wurden an der alten Feuerwache festgestellt. Die nördlich des Gebäudes gelegenen Aufschlüsse wiesen durchgehend Überschreitungen des vorläufigen Stufe-2-Wertes auf. Am höchsten belastet sind die Sondierungen AFW-L5 (184,94 $\mu\text{g/l}$) und AFW-L10 (106,55 $\mu\text{g/l}$). Ebenfalls deutliche Befunde wurden bei AFW-L2 (20,21 $\mu\text{g/l}$), AFW-L3 (8,39 $\mu\text{g/l}$) bzw. AFW-L9 (42,09 $\mu\text{g/l}$) festgestellt. Die weiteren im Norden der Feuerwache gelegenen Aufschlüsse zeigten PFC-Konzentrationen (Σ PFOS/PFHxS/PFOA) zwischen 1,5 und 4,5 $\mu\text{g/l}$.

Die höchsten Belastungen wurden zumeist im Oberboden festgestellt. Mit zunehmender Tiefe nehmen die Gehalte (mit Ausnahme der Sondierung AFW-L10) rasch ab. Die untersten Proben, die bereits in der gesättigten Bodenzone lagen, weisen deutlich niedrigere PFC-Gehalte und nur vereinzelte Stufe-1-Wert-Überschreitungen auf.

Südlich der alten Feuerwache wurden nur geringe Konzentrationen im Oberboden mit einer geringfügigen Stufe-1-Wert-Überschreitung (maximal 0,36 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA) gemessen.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind im Kapitel 5.2.1 (KF 096 Grundwasser) in Tabelle 5-6 exemplarisch für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC (10 Einzelparameter) dargestellt.

An der Grundwassermessstelle BwDLZ-GWM-006, die westlich der versiegelten Vorfeldfläche der alten Feuerwache liegt, wurde mit Maximalgehalten von 4,06 $\mu\text{g/l}$ für Σ PFOS/PFHxS/PFOA eine deutliche Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes festgestellt.

Im Vergleich zur Phase IIa Untersuchung sind die Gehalte an der BwDLZ-GWM-009 deutlich gesunken.

5.2.5.5 Auswertungen und Interpretationen

Die Untersuchungen an der alten Feuerwache belegen eindeutig den Eintrag von PFC-haltigen Schaummitteln in die ungesättigte und gesättigte Bodenzone. Die Konzentrationsverteilung deutet auf eine langsame vertikale Verfrachtung der PFC hin. Vor allem der Oberboden wies zum Teil noch erhebliche Belastungen auf.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der historischen Recherche des BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 ist davon auszugehen, dass die Kontaminationsfläche im Bereich der alten Feuerwache weitaus größer ist als der bislang erkundete Bereich.

Die bislang erkundete Kontaminationsfläche, auf der Stufenwertüberschreitungen festgestellt wurden, umfasst eine Fläche von ca. 5.140 m². Für diesen Kontaminationsbereich wurde eine mittlere (berechnet als Mittelwert der Maximalkonzentrationen je Ansatzpunkt) und eine maximale Konzentration ermittelt, mit welcher über die Sickerwassermenge eine mittlere bzw. maximale Fracht berechnet wurde. Die Sickerwassermenge fällt aufgrund der versiegelten, nicht an die Kanalisation angeschlossene Vorfelddfläche höher aus. Für die Vorfelddfläche wurden 90% des mittleren Niederschlags als Grundwasserneubildungsrate angenommen. Die Ergebnisse der Frachtbetrachtung (für Σ PFOS/PFHxS/PFOA) für sind in Tabelle 5-10 dargestellt.

Für die KVF 104 ergibt sich dabei der derzeitigen Kontaminationsfläche eine Fracht, die zwischen 0,20 g/d bis 0,89 g/d schwankt und damit deutlich über der „geringen Fracht“ der LAWA/LABO-Arbeitshilfe liegt.

Tabelle 5-13: Ermittelte Schadstofffracht KVF 104

Flächen- größe	GW- Neubildung	Sickerwasser- menge	Konz. mittel	Konz. max.	Fracht mittel	Fracht max.	Fracht mittel	Fracht max.
[m ²]	[mm]	[m ³ /d]	[μ g/l]	[μ g/l]	g/d	g/d	g/a	g/a
5140	343	4,83	41,487	184,94	0,20	0,89	73,09	325,83

5.2.5.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-14 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KVF 104. Die Untersuchungen erbrachten an neun Aufschlüssen Überschreitungen des vorläufigen Stufe-2-Wertes am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden kann. Dies wird auch durch die Grundwasserbelastungen in der im zentralen Kontaminationsbereich gelegenen Grundwassermessstelle BwDLZ-GWM-009 deutlich über dem vorläufigen Schwellenwert belegt. Damit ergibt sich an der KVF 104 eine erhebliche Grundwasserverunreinigung, die aufgrund der berechneten Frachten und Ausmaße des Kontaminationsbereichs bereits bei aktuellem Kenntnisstand als großflächige Kontamination betrachtet werden muss, obwohl eine vollständige Abgrenzung des Kontaminationsbereichs bisher nicht erreicht wurde. Für die KVF 104 hat sich der Gefahrenverdacht damit bestätigt.

Durch die durchgeführten Untersuchungen konnte jedoch keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden, womit für die KVF 104 trotz der deutlichen Belastungen die Gefährdungsabschätzung nicht abgeschlossen werden kann. Es sind somit weitere Erkundungsmaßnahmen zur weiteren Abgrenzung des Kontaminationsbereichs angezeigt. Laut AHBoGwS ergibt sich damit eine Einstufung in die Kategorie E.

Tabelle 5-14: Alte Feuerwache (KVF 104)

KVF 104: Alte Feuerwache (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Feuerwehreinsatzstelle des Flugplatzes Ingolstadt/Manching
Dauer:	unbekannt
Durchgeführte Untersuchungen:	
Phase IIa: BfM (2013)	Errichtung einer Grundwassermessstelle (BwDLZ-GWM-009)
Phase IIb: Gibs (2015)	11 Linersondierungen, 63 Bodenproben, Analyse von 48 Bodenproben (S4-Eluat) auf PFC; dreimalige Beprobung/Aanalytik BwDLZ-GWM-009
Ergebnisse der chemischen Analytik:	
Phase IIa:	<p>Boden: Keine Bodenuntersuchungen</p> <p>Grundwasser: Deutliche Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-009 (13,82 $\mu\text{g/l}$)</p>
Phase IIb:	<p>Boden: Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 21 Proben, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 10 Proben</p> <p>Grundwasser: Überschreitung des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWM-009 (max. 4,06 $\mu\text{g/l}$)</p>
Bewertung und Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht bestätigt; erhebliche großräumige Grundwasserverunreinigung belegt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung möglich
Bewertung nach AHBoGwS:	Kat. E
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich

5.2.6 KVF 105: Südbahn (westlich)



Legende

Konzentrationsniveau

Grundwasser Beprobung Mai/Juni 2015

Direct Push GWM

△	○	0,00
△	○	0,01 - 0,30
△	○	0,31 - 0,60
△	○	0,61 - 0,90
△	○	0,91 - 1,20
△	○	1,21 - 4,00
△	○	4,01 - 20,00

Boden (Maximalwerte)

Summe PFOS + PFOA + PFHxS [$\mu\text{g/l}$] aus S4-Eluat
vorläufiger Stufe-1-Wert: 0,3 $\mu\text{g/l}$
vorläufiger Stufe-2-Wert: 1,0 $\mu\text{g/l}$

△	0,00
△	0,01 - 0,30
△	0,31 - 0,60
△	0,61 - 1,00
△	1,00 - 4,00
△	4,00 - 10,00
△	10,01 - 200,00

— Grundwassergleichen

→ GW-Fließrichtung

0 10 20 40
Meter



Abbildung 5-14: Lageplan Südbahn (KVF 105)

5.2.6.1 Kontaminationshypothesen und Untersuchungsstrategie

Durch den Einsatz von PFC-haltigen Feuerlöschmitteln sind Bodenbelastungen der ungesättigten Bodenzone nicht auszuschließen. Bei Eluatbefunden der entnommenen Bodenproben sind aufgrund der gegebenen hydrogeologischen Bedingungen (hohe Durchlässigkeiten, geringer Grundwasserflurabstand) direkte Auswirkungen für das Grundwasser zu erwarten.

Zur Verifizierung der vom LfU festgestellten PFC-Belastungen im Oberboden im Bereich der KVF 105 wurden weitere Bodenuntersuchungen in diesem Bereich veranlasst. Dazu wurden vier Rammkernsondierungen nach Vorgabe des BAIUDBw abgeteuft. Drei Ansatzpunkte wurden direkt neben den befestigten Flächen der Südbahn unter Berücksichtigung der Oberflächenabflusspfade gelegt, der vierte Ansatzpunkt ca. 20 m nördlich der Startbahn in die Grünlandfläche platziert.

5.2.6.2 Recherchen und Datenaufbereitungen

Die KVF 105 „Südbahn (westlich)“ war nicht Bestandteil der Phase I Erkundung.

In der Phase IIa wurden lediglich für die KF 096 „Grundwasser“ Untersuchungen bezüglich PFC durchgeführt. Hierzu wurde die Messstellen BwDLZ-GWP-08 im Nahbereich der KVF 105 errichtet und beprobt. Dabei wurden geringe PFC-Konzentrationen (Σ PFOS/PFHxS/PFOA 0,11 $\mu\text{g/l}$) unterhalb der vorläufigen Schwellenwerten festgestellt. PFC-Untersuchungen im Boden (Feststoff/Eluat) wurden nicht durchgeführt.

Im Jahr 2012 wurden durch das Bayerische Landesamt für Umwelt Feststoffuntersuchungen des Oberbodenmaterials auf PFC durchgeführt und dabei im Bereich der KVF 105 eine Bodenprobe entnommen. Die Untersuchungen erbrachten PFC-Belastungen im Feststoff von 109 $\mu\text{g/kg}$ für Σ PFOS/PFHxS/PFOA bzw. 123,8 $\mu\text{g/kg}$ PFC-Gesamt. Über die damalige Untersuchungsstrategie des LfU liegen keine Informationen vor.

5.2.6.3 Boden- und Untergrundaufbau

Der bei den vier Rammkernsondierungen erkundete Untergrundaufbau ist in Abbildung 5-15 dargestellt. Unter geringmächtigen Auffüllbereichen wurden überwiegend sandige und kiesige Lagen bis zur Endteufe erkundet. Die Sondierungen reichen bis in Tiefen zwischen 0,6 und 3,0 m u. GOK. Die Rammkernsondierungen DPL-01 und DPL-02 mussten aufgrund angetroffener Sparten nicht bis zur angedachten Tiefe abgeteuft werden. Die Sondierungen bestätigen die bislang gewonnenen lithologischen Erkenntnisse.

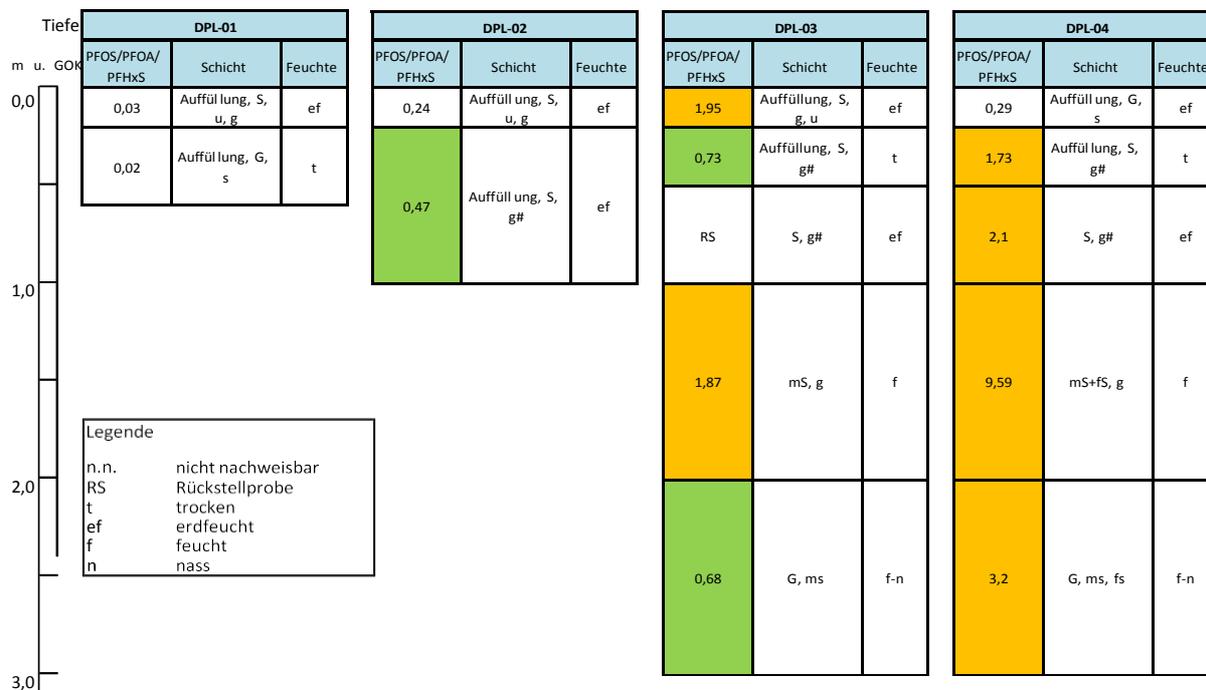


Abbildung 5-15: Kontaminationsverteilung Südbahn (KVF 105)

5.2.6.4 Ergebnisse chemischer Analysen

Bodenuntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 5-15 exemplarisch für Σ PFOS/PFHxS/PFOA dargestellt. Überschreitungen des Stufe-2-Wertes wurden bei den Sondierungen DPL-03 und DPL-04 festgestellt. An der DPL-02 konnte eine Stufe-1- Wert-Überschreitung gemessen werden. An der DPL-04 wurden mit 9,59 $\mu\text{g/l}$ Σ PFOS/PFHxS/PFOA die höchsten Konzentrationen ermittelt. An der DPL-03 lagen die Konzentrationen bei maximal 1,95 $\mu\text{g/l}$, bei der DPL-02 bei maximal 0,47 $\mu\text{g/l}$. Die Untersuchungen lassen keine eindeutige tiefenabhängige Konzentrationsentwicklung erkennen. Während an der DPL-04 die Konzentrationen nach unten hin zunehmen, sind sie in den anderen Sondierungen relativ konstant.

Grundwasseruntersuchungen

Die Untersuchungsergebnisse sind im Kapitel 5.2.1 (KF 096 Grundwasser) in Tabelle 5-6 exemplarisch für PFOS, Σ PFOS/PFHxS/PFOA und PFC (10 Einzelparameter) dargestellt.

An der Grundwassermessstelle BwDLZ-GWP-08 wurde mit Maximalgehalten von 0,03 $\mu\text{g/l}$ für Σ PFOS/PFHxS/PFOA der vorläufige Schwellenwert deutlich unterschritten.

5.2.6.5 Auswertungen und Interpretationen

Die getätigten Untersuchungen hatten im Bereich der KVF 105 eher orientierenden Charakter. Durch die vier Aufschlüsse wurde eine diffuse Kontaminationsverteilung erkundet, die keine laterale Eingrenzung des Schadens zulässt. Dafür ist die Aufschlusssdichte zu gering. Die Abgrenzung einer Kontaminationsfläche auf Basis von Stufenwertüberschreitungen ist bei derzeitigem Erkundungsstand nicht möglich.

5.2.6.6 Zusammenfassende Beurteilung

Tabelle 5-15 zeigt zusammenfassend die Untersuchungsergebnisse der KVF 105. Die Untersuchungen erbrachten an drei Aufschlüssen Überschreitungen des vorläufigen Stufe-2-Wertes am Ort der Probenahme. Stufe-2-Wert-Überschreitungen wurden auch im Grundwasserschwankungsbereich festgestellt, sodass auch für den Ort der Beurteilung von Stufe-2-Wert-Überschreitungen ausgegangen werden kann. Laut Merkblatt 3.8/1 ergibt sich daraus eine erhebliche Grundwasserverunreinigung.

Im Grundwasserabstrom selbst, welcher durch die Grundwassermessstelle BwDLZ- GWP-08 und die Direct-Pusch-Sondierung DP-01 erschlossen wird, wurden bislang nur geringe PFC-Konzentrationen deutlich unterhalb der vorläufigen Schwellenwerte gemessen. Die geringen Konzentrationen im Grundwasser könnten ein Hinweis darauf sein, dass es sich im Bereich der KVF 105 nur um einen kleinräumigen Schaden handelt.

Durch die durchgeführten Untersuchungen hat sich der Gefahrenverdacht erhärtet, eine abschließende Gefährdungsabschätzung kann bei der derzeitigem Kenntnisstand jedoch nicht durchgeführt werden. Durch die bislang getätigten Bodenaufschlüsse konnte keine vollständige laterale Abgrenzung der Kontaminationsfläche erzielt werden. Es sind somit weitere Erkundungsmaßnahmen zur weiteren Abgrenzung des Kontaminationsbereichs angezeigt. Laut AHBoGwS ergibt sich damit eine Einstufung in die Kategorie E.

Tabelle 5-15: Zusammenfassung Südbahn (KVF 105)

KVF 105: Südbahn (westlich) (ausschließlich auf PFC bezogen)	
Nutzung:	Südliche Start-/Landebahn
Dauer:	
Durchgeführte Untersuchungen:	
LfU (2012)	Untersuchung einer Oberbodenprobe
Phase IIa: BfM (2013)	Untersuchung einer Grundwassermessstelle (BwDLZ-GWP-08)
Phase IIb: Gibs (2015)	4 Rammkernsondierungen, 14 Bodenproben, Analyse von 13 Bodenproben (S4-Eluat); Untersuchung einer Grundwassermessstelle (BwDLZ-GWP-08), Direct-Push-Sondierung DP-01
Ergebnisse der chemischen Analytik:	
LfU:	Boden: Oberbodenprobe 109 µg/kg Σ PFOS/PFHxS/PFOA
Phase IIa:	Boden: Keine Bodenuntersuchungen Grundwasser: Geringe Konzentrationen unterhalb des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA (0,11 µg/l)
Phase IIb:	Boden: Überschreitung des vorläufigen Stufe-2-Wertes in 6 Proben, Überschreitung des vorläufigen Stufe-1-Wertes in 3 Proben Grundwasser: Geringe Konzentrationen unterhalb des vorläufigen Schwellenwertes Σ PFOS/PFHxS/PFOA an BwDLZ-GWP-08 (max. 0,03 µg/l), DP-01 (0,05 µg/l)
Bewertung und Schadensbereiche:	Gefahrenverdacht erhärtet, erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung/Frachtbetrachtung möglich
Bewertung nach AHBoGwS:	Kat. E
Vorgeschlagene Maßnahmen:	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich

6 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Bei folgenden KVF/KF sind weitere Untersuchungen aufgrund der aktuellen Befundlage zu empfehlen:

- KVF 066 Feuerlöschübungsbecken
- KF 096 Grundwasser
- KVF 104 Alte Feuerwache
- KVF 105 Südbahn (westlich).

Wir empfehlen die Erstellung eines gezielten Untersuchungskonzeptes zur abschließenden Gefährdungsabschätzung für die o.g. KVF/KF auf Grundlage der aktuellen Untersuchungsergebnisse sowie einer Nachverdichtung der Historischen Recherche.

Für die zu pflegenden Grünflächen innerhalb der Bodenkontaminationsbereiche auf der Liegenschaft wird die Empfehlung gegeben, das Mähgut als Mulch liegen zu lassen und nicht anderweitigen Nutzungen zuzuführen.

7 Zusammenfassung

Mit Datum vom 23.04.2015 wurde das Ingenieurbüro Gibbs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG vom Staatlichen Bauamt Ingolstadt mit dem Projekt „Detailuntersuchung Phase IIb Flugplatz Ingolstadt/Manching“ (Maßnahmennummer 40213 A 0001) nach Vorgabe der Arbeitshilfe Boden und Grundwasserschutz (AHBoGWS) für den Wirkungspfad Boden – Grundwasser beauftragt. [REDACTED]

Dabei bezieht sich die Detailuntersuchung ausschließlich auf die Erkundung der festgestellten PFC-Kontaminationen im Bereich der Liegenschaft.

Aufgrund der diffusen Schadstoffverteilung wird das Grundwasser analog zur Vorgehensweise der Orientierenden Untersuchung (Phase IIa) als separate KF 096 bewertet. Des Weiteren wurden an fünf weiteren KVF die PFC-Belastungen in der ungesättigten Bodenzone untersucht. Diese Bodenuntersuchungen sind nach Einschätzung des Gutachters eher als „Orientierende Untersuchungen“ einzustufen.

Für die **KF 096 (Grundwasser)** wurde eine großflächige PFC-Belastung des quartären Grundwassers erkundet, die durch zahlreiche und deutliche Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte belegbar ist. Auch die Oberflächengewässer, die als lokale Vorfluter dienen, weisen noch deutliche PFC-Belastungen über dem $PNEC_{aquatisch}$ für PFOS auf und zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster wie im Grundwasser.

Im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache (KVF 104) konnte ein eindeutiger Kontaminationsschwerpunkt ermittelt werden. In diesem Bereich befinden sich, neben der KVF 104, mehrere weitere potenzielle Eintragsherde (zwei Schaumteppiche auf Nordbahn, Übungsfläche östlich der Alten Feuerwache).

[REDACTED]

Weitere Belastungsschwerpunkte mit Schwellenwertüberschreitungen sind weiträumig und z.T. diffus über den Flugplatz verteilt und können zum Großteil bekannten PFC-Eintragsquellen (z.B. ehemaliges Feuerlöschübungsbecken, Übungsflächen im Bereich des Seitenentwässerungskanal Ost, Schaumteppiche Südbahn) zugeordnet werden. Das Belastungsniveau dieser Bereiche ist jedoch deutlich niedriger als der im Bereich der Nordbahn erkundete Hauptschaden. Ein weiterer Belastungsschwerpunkt wurde südöstlich im Zustrom der alten Feuerwache durch DP-Sondierungen festgestellt. Für diesen gibt es bislang keinen potenziellen Eintragsherd.

Der Grundwasserzstrom aus südlicher Richtung ist nahezu unbelastet. Hier wurden nur äußerst geringe Konzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser im Bereich der Nachweisgrenze gemessen.

Für die Hauptkontaminationsfahne im Bereich der nördlichen Start-/Landebahn auf Höhe der alten Feuerwache ergibt sich eine **Schadstofffracht von ca. 11,66 kg/a** Σ PFOS/PFHxS/PFOA.

Zur Abschätzung der gesamten Schadstoffmenge im Grundwasser (nach der LAWA/LABO Arbeitshilfe „Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen“) wurde des Weiteren ein Kontaminationsbereich abgegrenzt, für welchen der vorläufige Schwellenwert für Σ PFOS/PFHxS/PFOA überschritten wird. Der Kontaminationsbereich umfasst eine Fläche von ca. 4,5 km² und ist im Mittel mit 1,92 µg/l Σ PFOS/PFHxS/PFOA belastet. Für diesen Bereich ergibt sich eine Schadstoffmenge von **ca. 52 kg** an Σ PFOS/PFHxS/PFOA, die sich im Grundwasser befindet. Nach der Arbeitshilfe der LAWA/LABO kann bei einer Schadstoffmenge von 300 g für Σ PFOS/PFHxS/PFOA nicht mehr von einer punktuellen Schadstoffquelle gesprochen werden. Dieser Betrag wurde deutlich überschritten.

Aufgrund der festgestellten Belastungen mit zahlreichen Überschreitungen der vorläufigen Schwellenwerte des LfU liegt laut den Leitlinien in der Regel eine schädliche Veränderung des Grundwassers im Sinne des WHG vor.

Trinkwasserschutzonen im Abstrom sind nicht bekannt. Es findet jedoch eine Nutzung des Grund- und Oberflächenwassers (private Brauchwasserbrunnen und landwirtschaftliche Bewässerungsbrunnen; Fischerei, Badeseen) statt. Diese Nutzungen bzw. die Auswirkungen über die Wirkungspfade Boden-Mensch und Boden-Nutzpflanze müssen durch die zuständigen Behörden bewertet werden.

Auf dem Flugplatz selbst wird bei derzeitigem Kenntnisstand kein Grundwasser genutzt.

Für die zu pflegenden Grünflächen innerhalb der Bodenkontaminationsbereiche auf der Liegenschaft wird die Empfehlung gegeben, das Mähgut als Mulch liegen zu lassen und nicht anderweitigen Nutzungen zuzuführen.

Zur Erkundung der Eintragspfade wurden an fünf KVF Untersuchungen in der ungesättigten Bodenzone vorgenommen.

Für die **KVF 001 (POL-Lager POL-2)** und **KVF 002 (POL-Lager POL 1)** konnte aufgrund der unauffälligen Analysenergebnisse der Gefahrenverdacht bei derzeitigem Kenntnisstand ausgeräumt werden. An beiden Standorten wurden zwar Belastungen im Grundwasser nachgewiesen, diese stehen jedoch nicht im Zusammenhang mit der jeweiligen KVF.

An den drei weiteren Standorten **KVF 066 (Feuerlöschübungsbecken)**, **KVF 104 (Alte Feuerwache)** und **KVF 105 (Südbahn (westlich))** wurden deutliche PFC-Belastungen mit Stufe-2-Wertüberschreitungen im Bodeneluat festgestellt, die auch im Grundwasserabstrom zur Überschreitung der vorläufigen Schwellenwerte führten und somit eine „erhebliche Grundwasserverunreinigung“ belegten. Jedoch konnte mit den getätigten Untersuchungen an allen drei KVF keine Abgrenzung des Kontaminationsbereichs erzielt werden, sodass eine abschließende Gefährdungsbeurteilung bei derzeitigem Kenntnisstand nicht durchgeführt werden kann. An diesen KVFs sind weitere Untersuchungsmaßnahmen zur Eingrenzung der Kontaminationsbereiche erforderlich. Die Bewertung der untersuchten KVFs ist zusammenfassend in Tabelle 7-1.

Die bislang ermittelten PFC-Einträge stellen nur einen Teil der ermittelten Schadstofffracht im Grundwasser dar. Es ist zu vermuten, dass vor allem im Bereich der Nordbahn ein deutlich größeres Schadstoffpotential im Boden besteht als bislang erkundet wurde. Deshalb sollten neben den bereits genannten weiteren Maßnahmen an den kontaminationsverdächtige Flächen 066, 104 und 105 auch weitere potenzielle Eintragsherde, die durch das BAIUDBw KompZ BauMgmt M K 6 recherchiert wurden und bei denen im Nahbereich eine erhebliche Grundwasserverunreinigung erkundet wurde, weitere KVFs ausgewiesen und im Boden und Grundwasser untersucht werden. In diesem Zug sind auch die Kontaminationen östlich der Alten Feuerwache (DP-40 bis DP-42) zu nennen, für die bislang kein eindeutiger Eintragsherd lokalisiert werden konnte. Auch in diesem Bereich sollten weitere Erkundungsmaßnahmen durchgeführt werden, gegebenenfalls auch durch Nachverdichtung der Historischen Erkundung.

Erst wenn diese Defizite geklärt sind, kann eine abschließende Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden, die die Beurteilungsgrundlage für die Notwendigkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen, d.h. Sanierungs-, Schutz- oder Beschränkungsmaßnahmen, darstellt.

Tabelle 7-1: Zusammenfassende Bewertung der untersuchten KVF/KF

KFV	Lokalität	Bewertung und Schadensbereiche:	Bewertung nach AHBogWS:	Vorgeschlagene Maßnahmen:
096	Grundwasser	Erhebliche großräumige Grundwasserverunreinigung bestätigt; weitere Erkundung zur abschließenden Gefährdungsabschätzung nötig, da Eintragsherde nur teilweise identifiziert	Kat. E	Weitere Maßnahmen zur Erkundung der Eintragsherde erforderlich
001	POL-Lager POL 2	Verdacht abschließend ausgeräumt, Belastungen im Grundwasser stehen nicht in Zusammenhang mit KVF 001	Kat. A	Keine weiteren Maßnahmen
002	POL-Lager POL 1	Verdacht abschließend ausgeräumt, Bodenbelastungen im GW-Schwankungsbereich sind höchstwahrscheinlich auf Sekundärkontamination des GW zurückzuführen; Belastungen im Grundwasser stehen nicht im Zusammenhang mit KVF 002	Kat. B	Keine weiteren Maßnahmen
066	Feuerlöschübungsbecken	Gefahrenverdacht und erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung möglich	Kat. E	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich
104	Alte Feuerwache	Gefahrenverdacht bestätigt; erhebliche großräumige Grundwasserverunreinigung belegt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung möglich	Kat. E	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich
105	Südbahn (westlich)	Gefahrenverdacht erhärtet, erhebliche Grundwasserverunreinigung bestätigt; jedoch keine abschließende Gefährdungsabschätzung aufgrund unvollständiger lateraler Eingrenzung/Frachtbetrachtung möglich	Kat. E	Weitere Maßnahmen zur Eingrenzung der Bodenkontamination erforderlich

8 Literaturverzeichnis und Liste der Rechtsvorschriften

Literatur

- [1] bfm GmbH (2013): Erfassung von kontaminationsverdächtigten Flächen, Flughafen Manching, (ALFV-Nr. 643 019 800 7-rüs), München
- [2] bfm GmbH (2013): Orientierende Untersuchung Phase IIa, Flughafen Manching (ALFV-Nr. 643 019 800 7-rüs), München
- [3] Gibs geologen + ingenieure GmbH & Co. KG (2014): PFT Untersuchungen Flugplatz Manching, Nürnberg
- [4] BAIUDBw Kompetenzzentrum Baumanagement München Referat K6: diverse Unterlagen zur PFC-Historie am Flugplatz Manching, München
- [5] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): diverse PFC-Untersuchungen in Grund- und Oberflächenwasser und Boden, München
- [6] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010): Umgang mit fluorhaltigen Löschschäumen in NRW. Recklinghausen.
- [7] Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2015): Klimadaten Wetterstation Baumannshof

Kartengrundlagen

- [8] Geologische Karte von Bayern 1:25.000, Nr. 7235, Blatt Vohburg [9]
- Hydrogeologischer Karte (HK) von Bayern im Maßstab 1:500.000 [10]
- BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung

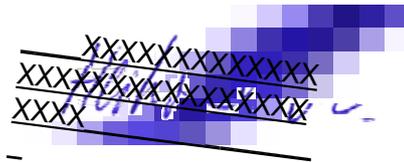
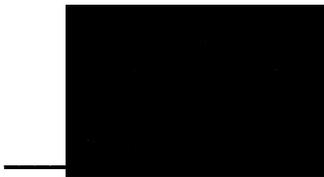
Rechtsvorschriften, Richtlinien und Merkblätter

- [11] Bundes-Bodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) vom 17.03.1998.
- [12] Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999.
- [13] Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vom 31.07.2009.
- [14] Bayerisches Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (Bayerisches Bodenschutzgesetz – BayBodSchG) vom 23.02.1999.
- [15] Bayerisches Wassergesetz (BayWG) vom 25.02.2010.
- [16] Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2015): Leitlinien zur vorläufigen Bewertung von PFC-Verunreinigungen in Wasser und Boden. München.
- [17] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Merkblatt 3.8.1: Untersuchung und Bewertung von Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen – Wirkungspfad Boden-Gewässer, 31.10.2001.
- [18] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser/Boden (LAWA/LABO) (2006): Grundsätze des nachsorgenden Grundwasserschutzes bei punktuellen Schadstoffquellen, Mainz
- [19] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014): Arbeitshilfen Boden- und Grundwasserschutz, Berlin

Nürnberg, 30. Oktober 2015



GEOLOGEN + INGENIEURE GMBH & Co. KG
DEICHSLERSTRASSE 25, D - 90489 NÜRNBERG



Dr.
(Sachverständiger §18
BBodSchG)

(Fachbereichsleitung)

(Projektleitung)

**Anlage 1:
Karten**



Anlage 2:
Probenverzeichnis/Probenahmeprotokolle



Anlage 3: Analysenergebnisse



**Anlage 4:
Analysenprotokolle**



**Anlage 5:
Bohr- und Ausbauprofile neue
Grundwassermessstellen**



Anlage 6:
Schichtenverzeichnisse der Sondierungen



**Anlage 7:
Vermessungsdaten der Aufschlüsse**



**Anlage 8:
Auswertung hydraulischer Tests**



**Anlage 9:
Dokumentation zusätzlicher Untersuchungen
außerhalb der Liegenschaft**