

Heidelberger Sand und Kies GmbH, Kieswerk Waghäusel-Wiesental

- Erweiterung des Baggersees Wiesental nach Westen -

**Ergebnisse der hydrochemischen,
isotopenhydrologischen
und spurengasspezifischen
Untersuchungen
im Umfeld des Baggersees Wiesental**

Untersuchungen zwischen 23.07.2020 und 04.05.2022

Landkreis Karlsruhe

**Auftraggeber: Heidelberg Sand und Kies GmbH
Triebstraße 34
68753 Waghäusel-Wiesental**

Bearbeiter: Dipl. Hydrol. E. Binder

Emmendingen, den 08.12.2022

E. Binder

Inhaltsverzeichnis	Seite
0. Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen, Anlagen und des Anhangs	3
1. Vorgang	6
2. Hydrogeologische Verhältnisse	8
3. Untersuchungsgebiet	10
4. Durchgeführte Untersuchungen	11
5. Ergebnisse	15
5.1 Vor Ort Messungen	16
5.1.1 Wassertemperatur (Temp.)	16
5.1.2 spezifische elektrische Leitfähigkeit bei 25 °C (LF).....	16
5.1.3 pH-Wert.....	16
5.1.4 gelöster Sauerstoffgehalt (O ₂ -Gehalt) und Redoxspannung.....	16
5.2 Hydrochemie	17
5.2.1 Hauptinhaltsstoffe.....	17
5.2.2 Bor	19
5.2.3 Süßstoff Acesulfam.....	19
5.2.4 Pflanzenschutzmittel-Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS).....	20
5.2.5 Organische Schadstoffe (Seewasser-Screening)	20
5.3 Isotope.....	22
5.3.1 Sauerstoff-18 (¹⁸ O), Deuterium (² H) und Deuterium-Exzess	22
5.3.2 Tritium (³ H).....	24
5.4 Spurengase	26
5.4.1 Schwefelhexafluorid (SF ₆).....	27
6. Vernetzende Auswertung der Ergebnisse.....	29
6.1 Kombinierte Auswertung von Tritium und Spurengasen zur Altersbestimmung.....	29
6.2 Erfassung von Seewasseranteilen im Grundwasser unterstromig des Baggersees.....	35
6.3 Auswertungen zur Grundwasser-Komponentenanalyse	36
6.4 Auswertungen zu Wechselwirkungen OGWL – MGWL – Oberflächengewässer	40
6.5 Erfassung der Austauschrate des Baggersees Wiesental mittels stabiler Isotope	42
7. Diskussion und Fazit	46
8. Zusammenfassung.....	50
9. Literaturverzeichnis.....	54

0. Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen, Anlagen und des Anhangs

Tabellen

- Tab. 1: Übersicht zu den durchgeführten Probenahmen und zum Untersuchungsumfang
- Tab. 2: Statistische Kennwerte zu den untersuchten Parametern
- Tab. 3: Ergebnisse zum Seewasser-Screening
- Tab. 4: Vernetzende Auswertungen und die damit verbundenen Fragestellungen
- Tab. 5: Übersicht zu den berechneten und dargestellten Modellansätzen
- Tab. 6: Ergebnisse der kombinierten Auswertung von Tritium und SF6
- Tab. 7: Seewasseranteile an den Grundwassermessstellen und Trinkwasserbrunnen
- Tab. 8: Charakterisierung der Grundwasserkomponenten anhand der Leitparameter
- Tab. 9: Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte im Baggersee Wiesental zu Beginn und am Ende der Vollzirkulationsphase 2020/2021
- Tab. 10: Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte im Baggersee Wiesental zu Beginn und am Ende der Vollzirkulationsphase 2021/2022
- Tab. 11: ^{18}O -/ ^2H -Signaturen der Zustrommessstellen des Baggersees Wiesental

Abbildungen:

- Abb. 1: Übersicht zu den Wasserschutzgebieten im Umfeld des Baggersees Wiesental
- Abb. 2: Lage der geplanten Erweiterungsfläche (rot gestrichelt) im Anschluss an die genehmigte Abbaufäche von 1968 und 1999 (schwarz umrandet)
- Abb. 3: Hydrogeologisches Längsprofil vom nördlichen Umfeld des Baggersees Wiesental
- Abb. 4: Grundwasserfließrichtung im Umfeld des Baggersees Wiesental (HGK KASP, 2007)
- Abb. 5: Voraussichtliche Veränderungen der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung
- Abb. 6: Untersuchungsgebiet Grundwasserbeschaffenheit (grün umschlossener Bereich)
- Abb. 7: Schematischer Vergleich der Tritium- und SF6-Verweilzeit

Anlagen

- Anl. 1: Ergebnisse der Untersuchungen im Umfeld des Baggersees Wiesental
- Anl. 2: Übersicht zu den Endteufen
- Anl. 3: Übersicht zu den Ruhewasserspiegeln
- Anl. 4: Übersicht zu den Wassertemperaturen bei der Probenahme
- Anl. 5: Übersicht zu den spez. el. Leitfähigkeiten bei der Probenahme
- Anl. 6: Übersicht zu den pH-Werten bei der Probenahme
- Anl. 7: Übersicht zum gelösten Sauerstoffgehalt bei der Probenahme
- Anl. 8: Übersicht zur Redoxspannung bei der Probenahme
- Anl. 9: Übersicht zu den Natrium-Konzentrationen
- Anl. 10: Übersicht zu den Kalium-Konzentrationen
- Anl. 11: Übersicht zu den Calcium-Konzentrationen
- Anl. 12: Übersicht zu den Magnesium-Konzentrationen
- Anl. 13: Übersicht zu den Hydrogenkarbonat-Konzentrationen
- Anl. 14: Übersicht zu den Chlorid-Konzentrationen
- Anl. 15: Übersicht zu den Sulfat-Konzentrationen
- Anl. 16: Übersicht zu den Nitrat-Konzentrationen
- Anl. 17: Übersicht zu den Bor-Konzentrationen
- Anl. 18: Übersicht zu den Acesulfam-Konzentrationen
- Anl. 19: Übersicht zu den N,N-Dimethylsulfamid (DMS) -Konzentrationen
- Anl. 20: Übersicht zu den Sauerstoff-18-Gehalten
- Anl. 21: Übersicht zu den Deuterium-Gehalten
- Anl. 22: Übersicht zu den Deuterium-Exzess-Gehalten
- Anl. 23: Übersicht zu den Tritium-Gehalten
- Anl. 24: Übersicht zu den Schwefelhexafluorid (SF₆) -Gehalten
- Anl. 25: Übersicht zu den gelösten Feststoffen im Grundwasser und Oberflächenwasser
- Anl. 26: Flächenhafte Verbreitung der Chlorid-Konzentrationen
- Anl. 27: Flächenhafte Verbreitung der Nitrat-Konzentrationen
- Anl. 28: Flächenhafte Verbreitung der Sauerstoff-18-Gehalte
- Anl. 29: Flächenhafte Verbreitung der Deuterium-Exzess-Gehalte
- Anl. 30: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ³H-/SF₆-Gehalte vom November 2021 (Mittlere Verweilzeit berechnet aus 100 % Exponential-Modell)
- Anl. 31: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ³H-/SF₆-Gehalte vom November 2021 (Mittlere Verweilzeit berechnet durch Reihenschaltung aus 75 % Exponential- und 25 % Pistonflow-Modell)

- Anl. 32: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ^3H -/ SF_6 -Gehalte vom November 2021 (Mittlere Verweilzeit berechnet durch Reihenschaltung aus 50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell)
- Anl. 33: Korrelation Tritium versus Acesulfam
- Anl. 34: Korrelation Tritium versus N,N-Dimethylsulfamid (DMS)
- Anl. 35: Korrelation Tritium versus Chlorid
- Anl. 36: Korrelation Tritium versus Sulfat
- Anl. 37: Korrelation Deuterium-Exzess versus Nitrat
- Anl. 38: Korrelation Sauerstoff-18 versus Nitrat
- Anl. 39: Korrelation Deuterium-Exzess versus Hydrogenkarbonat
- Anl. 40: Korrelation Sauerstoff-18 versus Hydrogenkarbonat
- Anl. 41: Korrelation Deuterium-Gehalt versus Sauerstoff-18-Gehalt
- Anl. 42: Bestimmung der Mittleren Austauschrate und der Mittleren Aufenthaltszeit des Grundwassers für den Baggersee Wiesental auf Basis der stabilen Isotope $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ während den Vollzirkulationsphasen vom 06.11.2020 bis 30.04.2021 und 11.11.2021 bis 04.05.2022
- Anl. 43: Vergleich der Wasserbeschaffenheit von Baggersee Wiesental und Bauer-See
- Anl. 44: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der ^{18}O -Gehalte im OGWL
- Anl. 45: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Nitrat-Gehalte im OGWL
- Anl. 46: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Sulfat-Gehalte im OGWL
- Anl. 47: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der DMS-Gehalte im OGWL
- Anl. 48: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Acesulfam-Gehalte im OGWL

Anhang

- Anh. I: Übersichtsplan mit allen Messstellen des hydrochemischen und isopenhydrologischen Untersuchungsprogramm
- Anh. II: Prüfbericht Seewasser Screening vom 21.01.2021
- Anh. III: Jahreszeitlicher Verlauf des $\delta^2\text{H}$ -Gehaltes eines zunehmend „alternden“ bzw. kolmatierenden Baggersees unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Variationen (ZIMMERMANN, 1969, verändert)
- Anh. IV: Sauerstoff-18-Zeitreihe der Niederschlagsstation Freiburg
- Anh. V: Deuterium-Zeitreihe der Niederschlagsstation Freiburg

1. Vorgang

Die Firma Heidelberger Sand und Kies GmbH (HSK) betreibt auf Gemarkung Waghäusel, Ortsteil Wiesental, Landkreis Karlsruhe, ein Kieswerk zum Nassabbau von Sand und Kies.

Der bestehende Baggersee Wiesental des Kieswerks Waghäusel/Wiesental soll zur Aufrechterhaltung des Kieswerkbetriebes in westliche Richtung erweitert werden (s. Abb. 1 und 2). Das Plangebiet liegt somit im Abstrom des Bestandssees. Die Flächengröße des Sees gemäß Antragsgrenze der Planfeststellung vom Jahr 1999 beträgt ca. 62 ha. Mit der zukünftigen Erweiterung vergrößert sich die Seefläche um etwa 18,2 ha auf rund 80 ha.

Die bisher genehmigte Abbautiefe gemäß Planfeststellung vom Jahr 1999 liegt bei 76 m + NN. Da die Basis des Oberen Grundwasserleiters (OGWL, früher OKL, auch Mannheim-Formation genannt) im Bereich der Erweiterungsfläche nicht eben ausgebildet ist, sondern nach Auswertung der 12 neuen Bohrungen vom Jahr 2019 zwischen 76 m + NN und 81 m + NN liegt, soll die geplante Abbautiefe daher auch nur bis hierhin reichen, d. h. bis zu einer Tiefe von ca. 27 m bis 32 m u. GOK. Ein hydraulischer Trennhorizont zum Mittleren Grundwasserleiter ist am Standort des Sees nicht (flächig) abdichtend ausgebildet.

Die Erweiterungsfläche soll, wie der bisherige Bestandssee, nur den Oberen Grundwasserleiter erfassen.

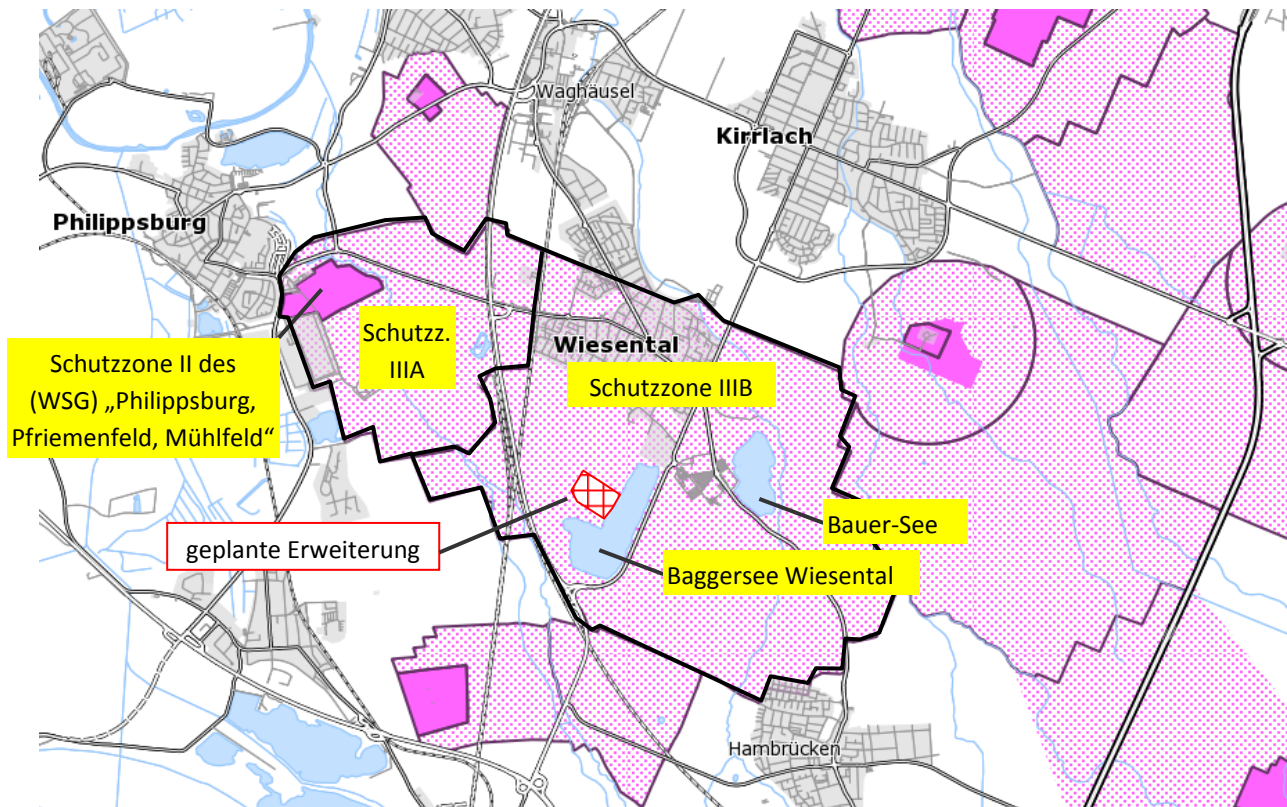


Abb. 1: Übersicht zu den Wasserschutzgebieten im Umfeld des Baggersees Wiesental

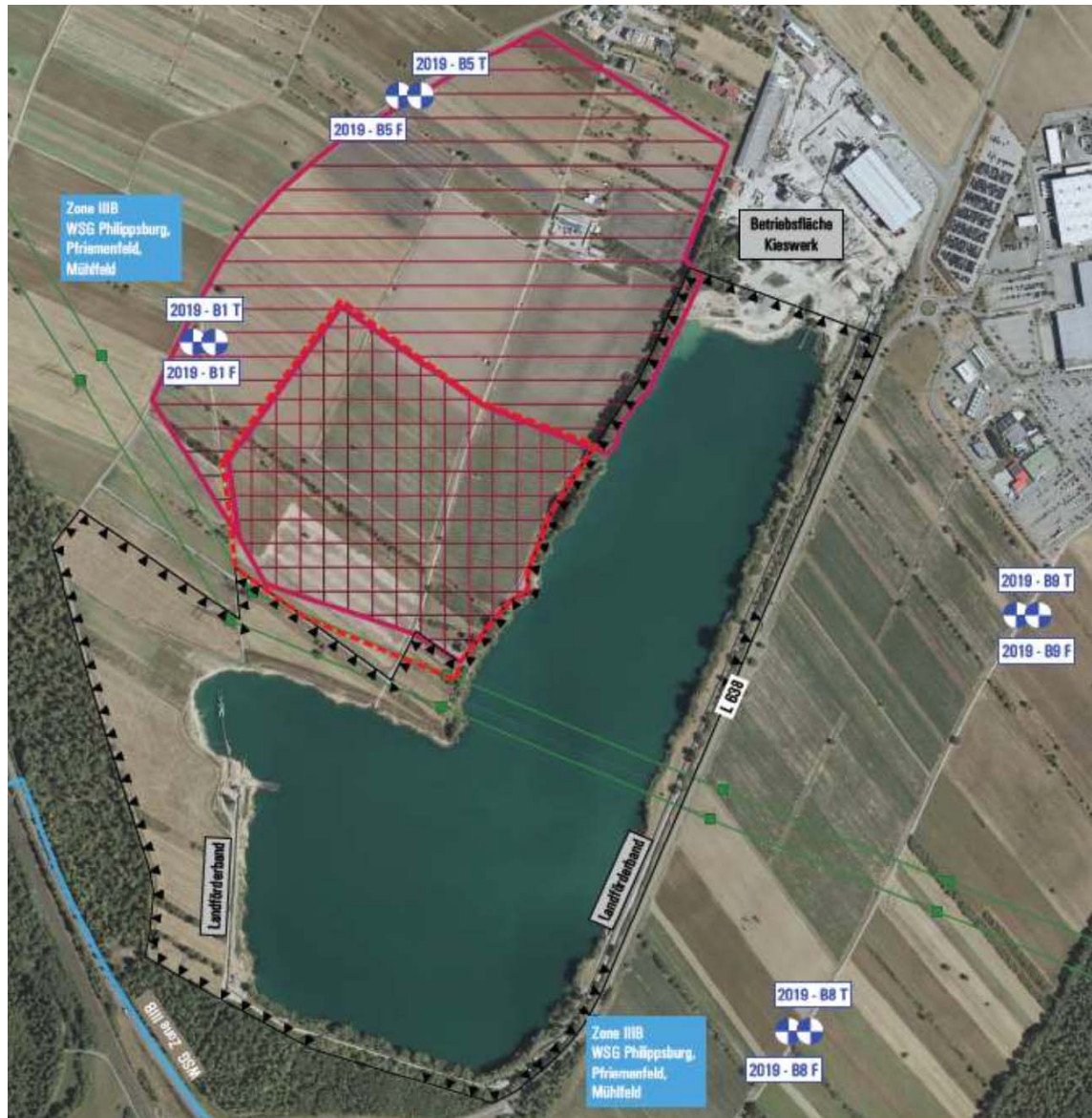


Abb. 2: Lage der geplanten Erweiterungsfläche (rot gestrichelt) im Anschluss an die genehmigte Abbaufäche von 1968 und 1999 (schwarz umrandet) (Quelle: arguplan GmbH)

Für die geplante Erweiterung ist ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen, in dem alle Umweltbelange beurteilt werden. Da sich die Erweiterungsfläche sowie der Bestandssee und sein Umfeld vollständig innerhalb der Schutzzone IIIB des Wasserschutzgebietes (WSG) „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“ befinden (s. Abb. 1), wird auf die Brunnen der Stadt Philippsburg im Besonderen eingegangen. Bei der Abgrenzung des WSG wurde damals berücksichtigt, dass das Fließbild durch Entnahmen aus den gewerblichen Brunnen von Goodyear Philippsburg stark beeinflusst wird. Aktuell werden die Brunnen von Goodyear nicht mehr genutzt.

Die Wasserversorgung Philippsburg besteht aus drei Brunnen (s. Abb. 4 und 5). Der Trinkwasserbrunnen „Br. 1 Philippsburg“ (Filter: 5,6 - 11,6 m u. GOK, Ausbau Ø 350 mm) und der „Br. 2 Philippsburg“ (Filter: 7,5 - 14,0 m u. GOK, Ausbau Ø 400 mm) werden in der Regel mit jeweils 15 l/s betrieben. Der vergleichsweise tiefere Brunnen „Br. 3 Philippsburg“ (Filter: 12,2 - 42,2 m u. GOK, Ausbau Ø 600 mm) erfasst stockwerksübergreifend den OGWL, OZH und MGWL. Der Brunnen 3 Philippsburg wird aktuell mit einer Entnahmerate von ca. 35 l/s betrieben.

2. Hydrogeologische Verhältnisse

Zur Erkundung der geologischen Verhältnisse wurden im Jahr 2019 insgesamt 12 Erkundungsbohrungen abgeteuft, wovon 4 als tiefe Grundwassermessstellen (GWM) im Mittleren Grundwasserleiter ausgebaut wurden. Direkt daneben wurden jeweils flache GWM abgeteuft, die den Oberen Grundwasserleiter erfassen. Zur Lage der „Doppelmessstellen“ siehe Abbildung 5: 2019 B1F/2019 B1T; 2019 B5F/2019 B5T; 2019 B8F/2019 B8T; 2019 B9F/2019 B9T.

Nach der betriebsinternen Auswertung der o. g. Erkundungsbohrungen durch die HSK sollen aktuell nur die Sande und Kiese des OGWL abgebaut werden.

Die Basis des OGWL (bzw. OK OZH) liegt im Bereich der geplanten Erweiterungsfläche nach Auswertung der 12 neuen Bohrungen vom Jahr 2019 zwischen 76 m + NN und 81 m + NN (arguplan, 25.02.2020) bzw. zwischen 27 und 32 m u. GOK (bezogen auf GOK = 108 m + NN). Ein hydraulischer Trennhorizont (OZH) zum MGWL ist am Standort des Sees nicht (flächig) abdichtend ausgebildet, sondern zeigt gewisse Durchlässigkeiten (LGRB, 01.04.2020), was durch die annähernd identischen Grundwasserständen angeigt ist. Die Potenzialdifferenzen liegen in einer Größenordnung von 1 bis 3 Zentimetern. Die Wasserstände verlaufen zudem meist parallel.

Ein hydrogeologisches Längsprofil, das die Verhältnisse im nördlichen Umfeld des Baggersees Wiesental widerspiegelt, zeigt Abbildung 3. An den hier dargestellten Doppelmessstellen B5F/B5T und B9F/B9T konnten jeweils abwärtsgerichtete Grundwasserfließverhältnisse festgestellt werden (hydrag, Juni 2022). Bei B1F/B1T liegen hingegen aufwärtsgerichtete und bei B5F/B5T sowohl auf- als auch abwärtsgerichtete Fließverhältnisse vor.

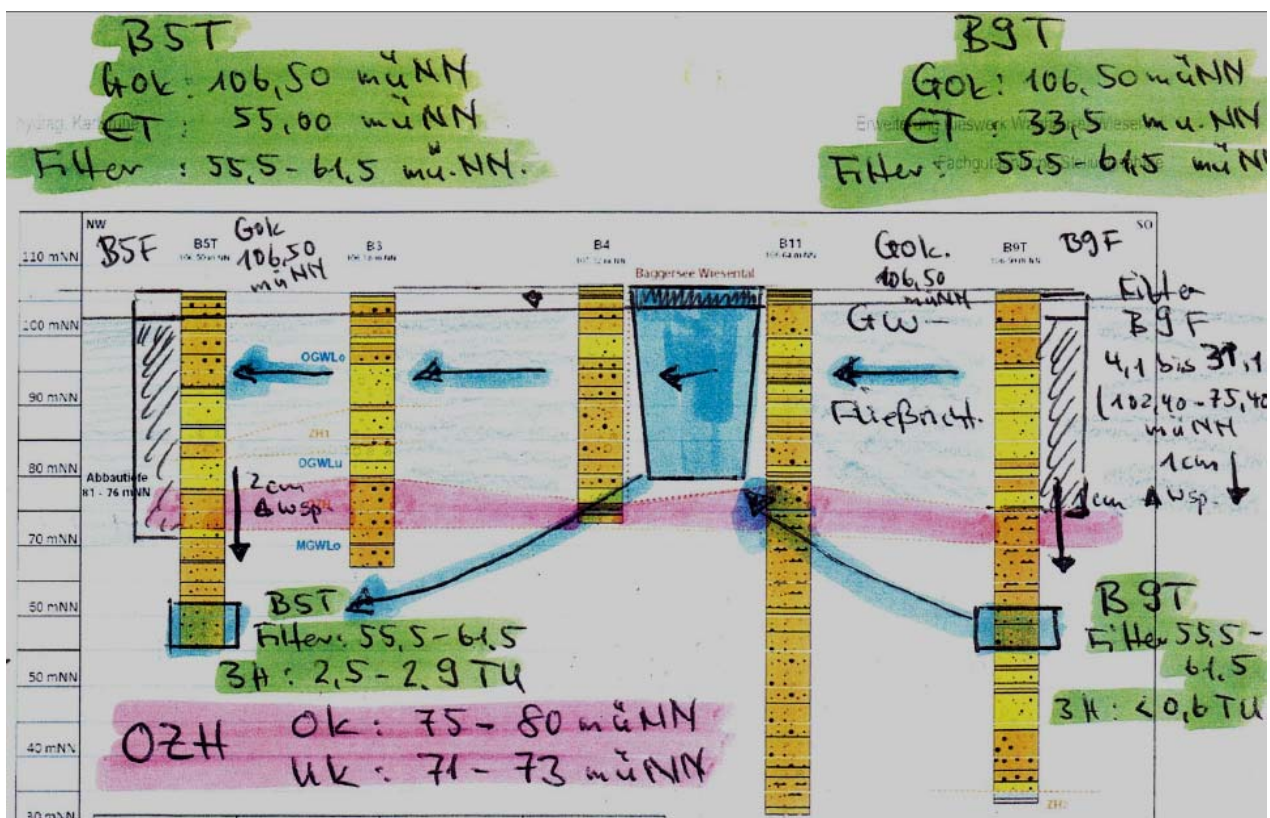


Abb. 3: Hydrogeologisches Längsprofil vom nördlichen Umfeld des Baggersees Wiesental
 Quelle: hydrag (Juni 2022), ergänzt

Die Fließverhältnisse im Umfeld des Baggersees können durch die Verkippung der Seeoberfläche oder durch Bewässerungsbrunnen beeinflusst sein. Großräumig wird angenommen, dass unterstromig des Baggersees mit zunehmender Entfernung aufwärts gerichtete und oberstromig des Baggersees abwärts gerichtete Grundwasserfließverhältnisse zwischen OGWL und MGWL vorliegen. Die Grundwasserfließrichtung ist im Untersuchungsgebiet von Südosten nach Nordwesten bzw. Westen gerichtet (siehe Abb. 4 und 5).

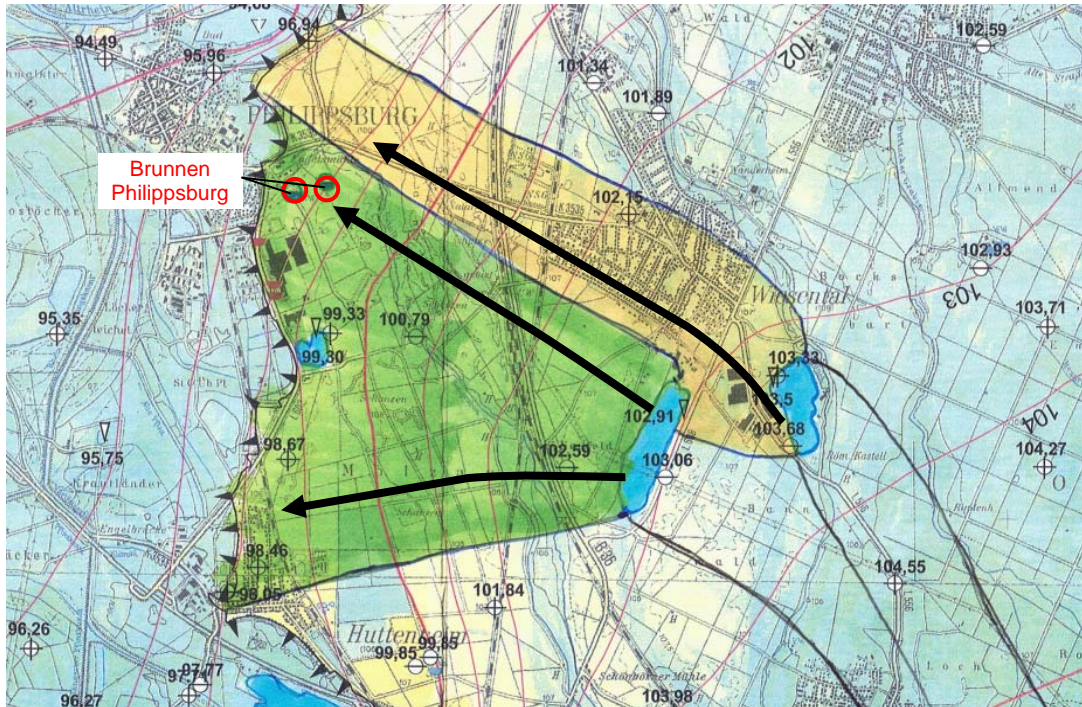


Abb. 4: Grundwasserfließrichtung im Umfeld des Baggersees Wiesental
 Quelle: HGK KASP (2007), ergänzt um die Abstrombereiche der beiden Kieseen

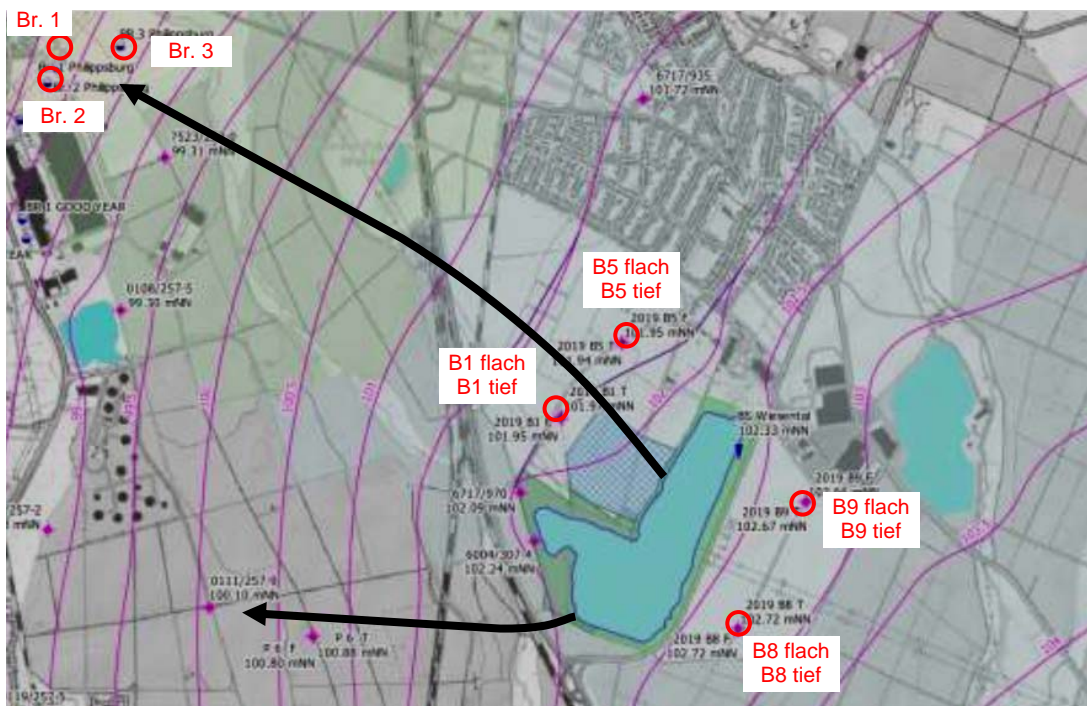


Abb. 5: Voraussichtliche Veränderungen der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung
 Quelle: hydrog (Juni 2022)

3. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet entspricht in etwa dem WSG „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“ sowie einem Bereich südwestlich davon (Abb. 1 und 6, grün umschlossener Bereich, und Anh I).

Der aus hydrogeologischer Sicht notwendige Untersuchungsrahmen hinsichtlich Untersuchungsgebiet wurde in der Stellungnahme des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) vom 1.4.2020 (Az. 94-4763.4//20_3244) und 6.8.2021 sowie im Untersuchungskonzept der Firma arguplan vom 26.05.2021 festgelegt und begründet.

In das Untersuchungsgebiet wurden beispielsweise neben dem Zu- und Abstrom auch seitstromig liegende Messstellen einbezogen, was die Aussagemöglichkeiten verbessert. Zudem wurden alle relevanten Oberflächengewässer im Umfeld des Kieselsees mit untersucht (Duttlacher Graben, Saugraben, Saalbach, Wagbach und Bauer-See).

Mit Hilfe der Messstellen westlich des WSG „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“ soll geklärt werden, ob und inwieweit Seewasser nach Westen abströmt. Nach den Grundwassergleichkarten in Abbildung 4 und 5 wäre ein Abstrom in Richtung Westen nicht ausgeschlossen.

Zwischen dem Baggersee Wiesental und den Brunnen Philippsburg (Distanz Bestandssee ca. 3,28 km, nach Erweiterung ca. 3,22 km) wurden im Vorfeld der Bestandsaufnahme alle vorhandenen Messstellen und Brunnen recherchiert und auf Probenahme-Tauglichkeit überprüft.

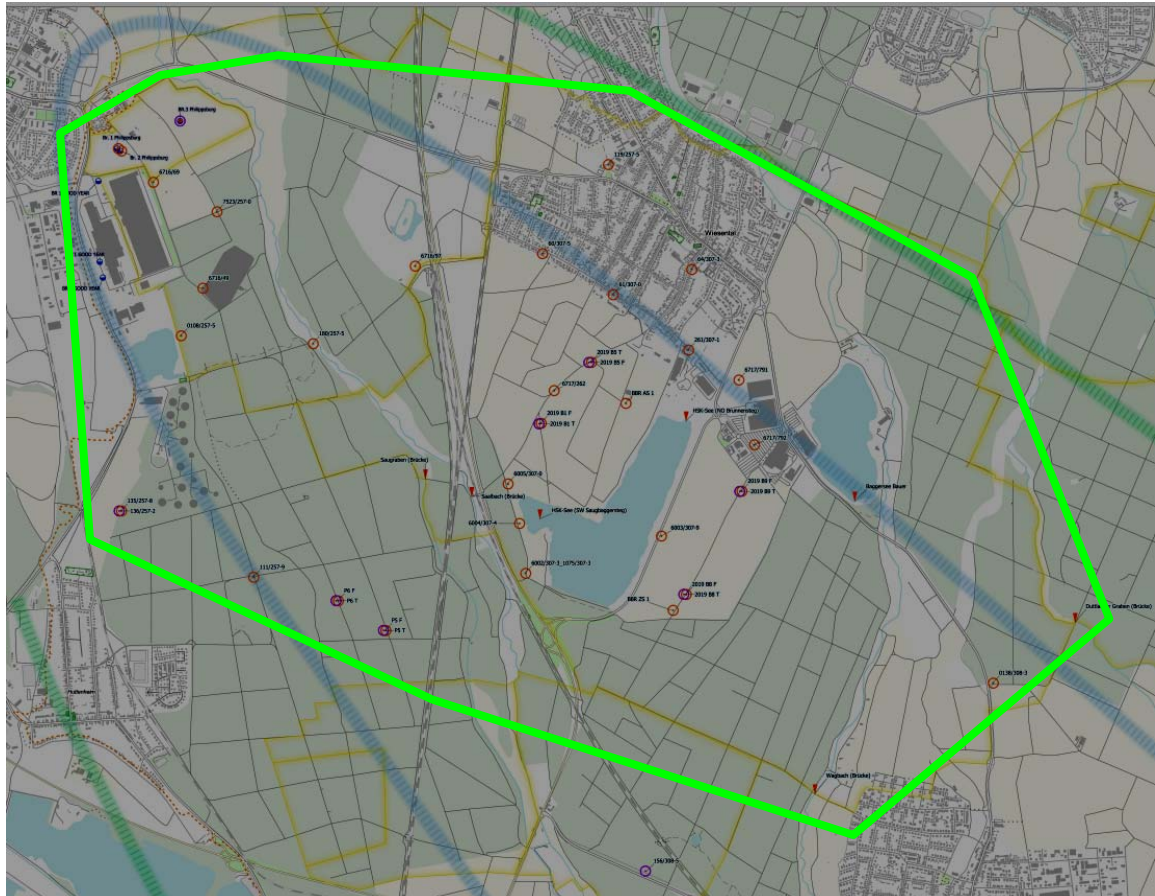


Abb 6: Untersuchungsgebiet Grundwasserbeschaffenheit (grün umschlossener Bereich)
Quelle: von Firma hydrag (2022) zur Verfügung gestellt, ergänzt

4. Durchgeführte Untersuchungen

Für eine nähere Charakterisierung der Beschaffenheit der Grundwässer der verschiedenen Grundwasserstockwerke (OGWL und MGWL) sowie zur Beschreibung der Austauschprozesse zwischen den Grundwasserstockwerken und dem Baggersee wurden die in Tabelle 1 aufgeführten hydrochemischen, isopenhydrologischen und spurengasspezifischen Untersuchungen im Baggersee, in den Oberflächengewässern und im umgebenden Grundwasser durchgeführt.

Der aus hydrogeologischer Sicht notwendige Untersuchungsrahmen hinsichtlich der Untersuchungsmethoden und der hydrogeologischen Zielsetzungen der Untersuchungen wurde in der Stellungnahme des LGRB vom 1.4.2020 und 6.8.2021 sowie im Untersuchungskonzept der Firma arguplan vom 26.05.2021 festgelegt und begründet.

In das Untersuchungsprogramm wurden auch umweltrelevante Stoffen, wie z.B. Dimethylsulfamid und Acesulfam aufgenommen, um deren Herkunft nachzugehen. Hier stehen insbesondere die Oberflächengewässer im Umfeld des Kieselsee - Duttlacher Graben, Saugraben, Saalbach und Wagbach – im Fokus.

Tab. 1: Übersicht zu den durchgeführten Probenahmen und zum Untersuchungsumfang

Probenahmen	Anzahl Analytik									
	23.07.2020	06.11.2020	18.11.2020	21.01.2021	30.04.2021	04. bis 13.11.2021	20.11.2021	20.12.2021	04.05.2022	Gesamt
Vor-Ort-Messungen:										
Temp., Leitfähigkeit, pH-Wert, O2, Redox, SK4,3	2	6	2		9	41	9	10	1	80
Hydrochemische Untersuchungen:										
Hauptionen (Na, K, Mg, Ca, HCO ₃ , Cl, SO ₄ , NO ₃)	2	6	2		9	41	9	10	1	80
Bor						41	9			50
Acesulfam		2				41	9			52
Dimethylsulfamid (DMS)						38	9			47
Weitere Spurenstoffe (Seewasser-Screening)				1						1
Isopenhydrologische Untersuchungen:										
Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$)	2	6	2		9	41	9	14	3	86
Deuterium ($\delta^2\text{H}$)	2	6	2		9	41	9	14	3	86
Tritium (^3H)					3	16	2			20
Spurengasspezifische Untersuchungen										
Schwefelhexafluorid (SF6)				3		16				19

Insgesamt wurden 86 Wasserproben entnommen und auf ausgewählte Parameter analysiert.

Isotopehydrologische und spurengasspezifische Untersuchungen:

- 86 Proben auf die stabilen Isotope Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$),
- 20 Proben auf das Isotop Tritium (^3H),
- 19 Proben auf das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF_6).

Hydrochemische Untersuchungen:

- 80 Proben auf die Hauptinhaltsstoffe (Lf, pH, Na, K, Mg, Ca, HCO_3 , Cl, SO_4 , NO_3),
- 50 Proben auf den Spurenstoff Bor,
- 52 Proben auf den Süßstoff Acesulfam,
- 47 Proben auf das Pflanzenschutzmittel-Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS).
- 1 Probe auf ausgewählte anthropogene Spurenstoffe (48 Einzelsubstanzen)

Alle 86 Proben wurden auf die stabilen Isotope Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$) untersucht. Mit Hilfe der Wertepaare $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ und dem daraus berechenbaren Deuterium-Exzess soll die Abstromfahne des Uferfiltrats qualitativ und quantitativ erfasst werden.

Zudem sollte nach der Stellungnahme des LGRB neben der hydraulischen Bilanzierung der Durchströmung des Bestandssees zusätzlich auch eine Bilanzierung der Durchströmungsrate des Sees mittels Isotopenmethoden vorgenommen werden, um eventuelle Grundwassermodellierungen plausibilisieren zu können und Vergleichswerte für die spätere langfristige Entwicklung des Sees zu dokumentieren.

Knapp ein Viertel der Proben wurden auf das Isotop Tritium (^3H) und das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF_6) untersucht. Die Wertepaare dienen in erster Linie der Abschätzung der Altersstruktur der Grundwässer und in zweiter Linie der Grundwasserkomponentenanalyse.

Der Augenmerk der hydrochemischen Wasseruntersuchungen liegt bei den Hauptinhaltsstoffen Na, K, Mg, Ca, HCO_3 , Cl, SO_4 und NO_3 , um die Beschaffenheit der Grundwässer aus den verschiedenen Grundwasserstockwerke OGWL und MGWL näher zu charakterisieren.

Nach der Stellungnahme des LGRB sind insbesondere die Verhältnisse von Nitrat im OGWL und MGWL von Interesse, weshalb für Nitrat ein extra Verteilungsplan mit Benennung der Messorte und der Messwerte gefordert wurde.

Schwerpunkt Nitrat:

Da der Bestandssee in einer Landschaft liegt, in der stark reduzierte, weitgehend nitratfreie Grundwässer auftreten, soll anhand von flächenhaften Nitratuntersuchungen geklärt werden, ob und inwieweit das abströmende Uferfiltrat Nitrat-haltig ist und wie sich das Grundwasser unterstromig des Sees hinsichtlich Nitrat verändert. Da sich die reduzierenden Grundwasser-Verhältnisse hier noch nicht wieder in vollem Umfang eingestellt haben, könnte ein „Reaktionsraum“ für den Nitratabbau westlich des Sees vorhanden sein. Nach der Stellungnahme des LGRB soll durch das vorliegende Untersuchungsprogramm dargestellt werden, wie die Abstromfahne des Baggersees aussieht und wie sich die Nitratgehalte zwischen dem Baggersee und den im Nordwesten gelegenen Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung sowie der dortigen gewerblichen und privaten Brunnen derzeit darstellen.

Der Bestandssee sowie die geplante Erweiterung betreffen zwar ausschließlich den OGWL. Da der OZH am Standort des Sees jedoch nicht (flächig) abdichtet, sondern eine gewisse Durchlässigkeit zeigt, kann es wegen der hydraulischen Einflüsse durch den See auf das Grundwasser neben der Beeinflussung des OGWL im Abstrombereich auch zu einer Beeinflussung des MGWL kommen, was mit den vorliegenden Untersuchungen geklärt werden soll.

Die Wechselwirkung zwischen Seeinfluss und den Nitratgehalten im Grundwasser soll mittels vernetzender Auswertung von Nitrat und den Gehalte an stabilen Isotopen des Wassers (Untersuchungsparameter zur Erfassung von Uferfiltrat) dargestellt werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Untersuchung der Bestandsverhältnisse soll eine Prognose zu den zukünftigen Verhältnissen gemacht werden (Verkürzung der Fließstrecke zu den Brunnen von ca. 3,28 km auf ca. 3,22 km um etwa 60 m). Die Nitratfahne, die sich als Folge landwirtschaftlicher Einträge unterstromig des Sees ausbildet, sollte hierbei im Vordergrund stehen.

Schwerpunkt Pflanzenschutzmittel-Metabolite:

Da im Umfeld des Sees und an den drei Brunnen der Stadt Philippsburg deutlich nachweisbare Konzentrationen des Pflanzenschutzmittel-Metabolit "N,N-Dimethylsulfamid" (DMS) bekannt sind, wurde dieser Parameter in die Untersuchungen mit einbezogen. Anhand des Anzeigerparameters soll der Ursache der erhöhten DMS-Gehalte nachgegangen werden. DMS gilt als nicht „relevanter Metabolit“, weshalb dauerhafte Konzentrationen von bis zu 1 µg/l erlaubt sind. Würde DMS als relevant eingestuft, gilt der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 0,1 µg/l.

Schwerpunkt Abwasser-Einfluss (Urbane Wässer):

Ebenso verhält es sich mit dem Süßstoff Acesulfam. Von diesem Spurenstoff ist ebenfalls bekannt, dass er an den drei Brunnen der Stadt Philippsburg nachweisbar ist. Deshalb wurde auch dieser Anzeigerparameter in die hydrochemischen Untersuchungen mit aufgenommen. Mit Hilfe der Ergebnisse zum Süßstoff Acesulfam und zu Bor kann für das Untersuchungsgebiet der Ursache der Abwasser-Einflüsse näher nachgegangen werden.

Mittels der Acesulfam-Untersuchungen können zudem theoretisch mögliche Eintragungspotentiale durch Badegäste überprüft werden. Da jedoch eine Badenutzung im Baggersee Wiesental verboten ist, ist diese Form des Acesulfam-Eintrags vermutlich vernachlässigbar. Angenommen wird, dass die Abwasser-Einflüsse von den Oberflächengewässern Duttbacher Graben, Sauggraben, Saalbach und/oder Wagbach stammen.

Probenahmeverhältnisse:

An den Grundwassermessstellen (zur Lage siehe Abb. 5 und 6 sowie Anl. 26 bis 29 und Anh I) erfolgten die Probenahmen mittels Unterwasserpumpen, die jeweils dem Ausbaudurchmesser anzupassen waren. Der Wasserinhalt im Pegel wurde vor der Probenahme mindestens 3-malig ausgetauscht. Während dem Pumpen wurden die Vor-Ort-Parameter mit aufgezeichnet. Insgesamt konnten dabei keine markanten pumpbedingten Veränderungen in der Grundwasserbeschaffenheit festgestellt werden. Die Ruhewasserspiegel liegen an den Grundwassermessstellen zwischen etwa 3,5 m und 8 m u. MOK (siehe Anl. 1 und 3).

Die Oberflächenwasserproben wurden geschöpft. Auch hier wurden größtenteils die Vor-Ort-Parameter mit gemessen. Der Baggersee Wiesental wurde in der Regel an zwei Stellen beprobt, im NO vom Steg der Betriebswasserpumpe und im SW vom Steg des Saugbaggers aus, um mögliche Beschaffenheitsunterschiede innerhalb des Sees zu erfassen.

Die eigentliche Bestandsaufnahme fand zwischen 04.11.2021 und 20.12.2021 statt. Die Untersuchungen davor (23.07.2020 bis 30.04.2021) fanden im Rahmen der Messstellenrecherche, Messstellenauswahl und der Seewasseruntersuchungen statt. Zudem wurde am 04.05.2022 der See ein letztes mal beprobt, um die Bilanzierungen zur Austauschrate mittels Isotopenmethode durch eine zweite Vollzirkulationsphase abzusichern (Nov 2020-April 2021 und Nov 2021-Mai 2022). Näheres dazu in Kapitel 6.5.

Die untersuchten 86 Proben lassen sich nachstehenden Messstellengruppen zuordnen:

- 6 Beprobungen an den Oberflächengewässern Duttbacher Graben (1x), Saugraben (1x), Saalbach (1x), Wagbach (1x) und Bauer-See (2x); (s. Anl. 2 bis 24; violette Säulen)
- 10 Beprobungen an flachen GWM (OGWL) im Zu- und Seitstrom des BS (dito; gelbe Säulen)
- 5 Beprobungen an tiefen GWM (MGWL) im Zu- und Seitstrom des BS (dito; graue Säulen)
- 27 tiefenorientierte Beprobungen des Baggersees Wiesental (s. Anl. 2 - 24; blaue Säulen)
- 27 Beprobungen an flachen GWM (OGWL) im Abstrom des BS (dito; gelbe Säulen)
- 5 Beprobungen an tiefen GWM (MGWL) im Abstrom des BS (dito; graue Säulen)
- 2 Beprobungen an „Br. 1 Philippsburg“ (OGWL), (s. Anl. 2 - 24; rote Säulen)
- 2 Beprobungen an „Br. 2 Philippsburg“ (OGWL), (s. Anl. 2 - 24; rote Säulen)
- 2 Beprobungen an „Br. 3 Philippsburg“ (OGWL+OZH+MGWL), (s. Anl. 2 - 24; rote Säulen)

Von den meisten Grundwasseraufschlüssen liegt eine Zuordnung zu den erschlossenen Grundwasserleitern vor, bzw. konnte eine Zuordnung anhand der Endteufe abgeleitet werden, die vor Ort mittels Lichtlot ermittelt werden konnte. Ausbauzeichnungen, Filterstrecken oder Ergebnisse von geophysikalischen Bohrlochmessungen liegen nur von den Bohrungen aus dem Jahr 2019 vor. Die vor Ort erfassten Kenndaten zu den Messstellen sind in Anlage 1 zusammengestellt. Anlage 2 gibt eine Übersicht zu den Endteufen der beprobten Grundwassermessstellen und Oberflächengewässer im Umfeld des Baggersees Wiesental.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Bestandsaufnahme zur Grundwasserbeschaffenheit sollten vertiefte Erkenntnisse zu den hydrogeologischen Verhältnissen im nahen und weiteren Umfeld des Baggersees (BS) Wiesental herausgearbeitet werden.

Nachstehende Punkte gilt es zu klären:

1. Erfassung der Grundwasseraltersstrukturen im OGWL und MGWL
2. Qualitative und quantitative Erfassung der Seewasseranteile im Gw unterstromig des BS
3. Berechnung der aktuellen Durchströmungsrate des Sees mittels Isotopenmethode
4. Charakterisierung der Grundwässer im Umfeld des Sees im OGWL und im MGWL
5. Aussagen zur Wechselwirkung zwischen den Grundwasserstockwerken OGWL und MGWL
6. Charakterisierung des seebeeinflussten Grundwassers im Hinblick auf Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit und eventuelle Spurenstoffbeeinflussungen durch Badegäste
7. Erfassung sonstiger anthropogener Einflüsse auf das Seewasser, insbesondere durch PFC (polyfluorierte Verbindungen)

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist die Dokumentation und Beurteilung des aktuellen Ist-Zustandes in den Jahren 2020-2022. Ein Vergleich der aktuellen mit früheren Ergebnissen ist nicht möglich, da keine früheren Daten zur Verfügung stehen.

5. Ergebnisse

Die Analysenergebnisse zu den Untersuchungen zwischen 23.07.2022 und 04.05.2022 sind in der Anlage 1 tabellarisch zusammengestellt. In den Anlagen 2 bis 24 sind die Ergebnisse zu den einzelnen Vor-Ort-Parametern sowie zu den hydrochemischen, isotopehydrologischen und spurengasspezifischen Parametern graphisch gegenübergestellt.

Bei der graphischen Gegenüberstellung sind die Oberflächengewässer, die im Zustrom des Baggersees Wiesental liegen, jeweils als violette Säulen ganz links in den Anlagen aufgeführt (Duttacher Graben (1x), Saalbach (1x), Saugraben (1x), Wagbach (1x) und Bauer-See (2x)). Die Grundwasseraufschlüsse des OGWL (jeweils gelbe Säulen) und MGWLo (jeweils graue Säulen), die im Zustrom oder Seitstrom des Baggersees Wiesental liegen, folgen rechts neben den Oberflächengewässern. Vergleichsweise mittig liegen dann die tiefenorientierten Proben des Baggersees Wiesental (jeweils blaue Säulen), die im NO oder SW des Sees beprobt wurden. In der rechten Hälfte der Übersichtsgrafiken folgen die Grundwasseraufschlüsse des OGWL und MGWLo, die im Abstrom des Baggersees Wiesental liegen (jeweils gelbe bzw. graue Säulen). Ganz rechts sind die Ergebnisse zu den Brunnen der Stadt Philippsburg jeweils als rote Säulen dargestellt. Die Gegenüberstellung erfolgt somit von links nach rechts in Fließrichtung.

Die statistischen Kennwerte zu den einzelnen Parametern fasst Tabelle 2 zusammen.

Tab. 2: Statistische Kennwerte zu den untersuchten Parametern

Parameter	Einheit	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung	Max.	Min.	Max. - Min.	Anlage
Temperatur (Probenahme)	°C	76	12,0	2,5	21,0	6,7	14,3	4
spez. el. Leitfähigkeit (25°C)	µS/cm	80	734	132	1438	601	837	5
pH-Wert (tgem) vor Ort	-	76	7,52	0,44	8,50	7,00	1,50	6
gelöster Sauerstoffgehalt	mg/l	76	4,5	4,7	12,9	< 0,1	12,8	7
Redoxspannung (ber.)	mV	76	286	134	502	85	417	8
Natrium (Na+)	mg/l	80	18,5	19,6	180	7,3	172,7	9
Kalium (K+)	mg/l	80	4,5	4,1	30	1,5	28,5	10
Calcium (Ca2+)	mg/l	80	107	18,4	160	81,3	78,7	11
Magnesium (Mg2+)	mg/l	80	18	4,6	33	10	23	12
Hydrogenkarbonat (HCO3-)	mg/l	86	240	74	389	143	247	13
Chlorid (Cl-)	mg/l	80	33	18	150	7,8	142,2	14
Sulfat (SO42-)	mg/l	80	128	31	220	71	149	15
Nitrat (NO3-)	mg/l	80	10	18	120	< 0,2	120	16
Bor	µg/l	50	49	41	314	19	295	17
Acesulfam	µg/l	52	4	28	200	< 0,01	200	18
N,N-Dimethylsulfamid	ng/l	47	175	349	2.000	< 0,02	2.000	19
Sauerstoff-18 (18O)	‰	86	-6,90	1,44	-5,13	-8,65	3,52	20
Deuterium (2H)	‰	86	-51,2	7,2	-42,0	-60,1	18,1	21
Deuterium-Exzess	‰	86	4,0	4,3	9,5	-1,6	11,1	22
Tritium (3H)	TU	20			5,7	< 0,6		23
Schwefelhexafluorid (SF6)	fmol/l	19			4,4	< 0,1		24

5.1 Vor Ort Messungen

Vor Ort wurden folgende Parameter bestimmt: Endteufe (Anl. 2); Ruhewasserspiegel (Anl. 3), Wassertemperatur (Anl. 4), spez. elektr. Leitfähigkeit bei 25°C (Anl. 5), pH-Wert (Anl. 6), gelöster Sauerstoffgehalt (Anl. 7), Redoxspannung (Anl. 8), Sk-Wert (pH 4,3) und Bk-Wert (pH 8,2).

5.1.1 Wassertemperatur (Temp.)

Die Wassertemperaturen der von Oberflächengewässern unbeeinflussten GWM liegen im OGWL und MGWL in einer vergleichbaren Größenordnung zwischen etwa 11,5 und 13,0 °C. Die relativ hohe Spannbreite bei den Oberflächengewässern (7 °C und 15 °C) spiegelt sich teilweise an den Grundwasseraufschlüssen wieder, wie beispielsweise an der GWM 6004/307-5 mit 21 °C. An den Brunnen Philippsburg liegen die Temperaturen bei etwa 12 °C (s. Anl. 4).

5.1.2 spezifische elektrische Leitfähigkeit bei 25 °C (LF)

Der Duttbacher Graben weist mit etwa 1440 µS/cm die mit Abstand höchste LF auf (s. Anl. 5). Die drei Oberflächengewässer – Saalbach, Saugraben und Wagbach - zeigen ebenfalls vergleichsweise hohe LF zwischen etwa 1050 und 1100 µS/cm. An einzelnen GWM, die den OGWL erfassen, lassen sich ebenso leichte Überhöhungen erkennen, wie beispielsweise an der GWM B9 flach (970 µS/cm) und GWM 180/257-5 (F, 967 µS/cm), was auf Einflüsse durch Fließgewässer im Zustrom oder auf Einflüsse durch Landwirtschaft zurück zu führen ist. Die LF der von Oberflächengewässern und/oder Landwirtschaft unbeeinflussten GWM liegen im OGWL als auch im MGWL zwischen etwa 700 µS/cm und 800 µS/cm. Der Baggersee Wiesental weist die geringsten LF mit etwa 630 µS/cm auf. Die LF vom Bauer-See sind mit etwa 700 µS/cm gegenüber dem Baggersee Wiesental etwas höher. An den Brunnen Philippsburg liegen die LF insgesamt eng beieinander in einer unauffälligen Größenordnung von etwa 700 bis 720 µS/cm.

5.1.3 pH-Wert

Die höchsten pH-Werte mit 7,9 bis 8,5 konnten im Baggersee Wiesental gemessen werden (Anl. 6). Die anderen Oberflächengewässer zeigen erwartungsgemäß ebenfalls hohe pH-Werte zwischen 7,8 und 8,1. Die pH-Werte der von Oberflächengewässern unbeeinflussten GWM liegen sowohl im OGWL als auch im MGWL zwischen etwa 7,1 und 7,3. In diesen Bereich liegen auch die pH-Werte der Brunnen Philippsburg. Die pH-Werte der GWM mit Uferfiltrateinfluss liegen nur geringfügig über denen ohne Einfluss (7,2 bis 7,5).

5.1.4 gelöster Sauerstoffgehalt (O₂-Gehalt) und Redoxspannung

Die höchsten O₂-Gehalte sind erwartungsgemäß an den Oberflächengewässern festzustellen (Anl. 7 und Tab. 2: Baggersee Wiesental: 9 - 13 mg/l; Bauer-See und Fließgewässer: 8 - 10 mg/l). Der MGWL ist mehr oder weniger O₂-frei. Die flachen GWM (OGWL) im Zu- und Seitstrom des Baggersee Wiesental zeigen O₂-Gehalte zwischen < 0,1 mg/l und 3,6 mg/l. Im Abstrom des Baggersees Wiesental liegen die O₂-Gehalte in einer vergleichbaren Größenordnung (< 0,1 mg/l bis 4,6 mg/l, GWM mit Seewasseranteilen von 20 bis 100 %). An den vom Baggersee Wiesental gering beeinflussten oder unbeeinflussten GWM liegen die O₂-Gehalte am höchsten (0,3 mg/l bis 6,6 mg/l). Die Brunnen Philippsburg zeigen O₂-Gehalte zwischen 0,4 und 1,7 mg/l, wobei die beiden flachen Brunnen die vergleichsweise höheren (1,6 bis 1,7 mg/l) und der tiefere Brunnen die vergleichsweise geringeren O₂-Gehalte aufweist (0,4 mg/l). Die vor Ort gemessenen Redoxspannungen (s. Anl. 8) sind im Vergleich zu den O₂-Gehalten teilweise widersprüchlich. Zur Beurteilung der Redoxverhältnisse werden deshalb die O₂-Gehalte bevorzugt.

5.2 Hydrochemie

Hydrochemisch wurden die Hauptinhaltsstoffe (Na, K, Ca, Mg, HCO₃, Cl, SO₄ und NO₃) sowie die Spurenstoffe Bor, Acesulfam und das Pflanzenschutzmittel-Metabolit "N,N-Dimethylsulfamid" (DMS) analysiert.

Das Seewasser wurde zudem auf anthropogene organische Spurenstoffe untersucht.

5.2.1 Hauptinhaltsstoffe

Natrium/Chlorid (Na/Cl):

Die Na/Cl-Gehalte können über die landwirtschaftliche Düngung oder durch Altablagerungen erhöht werden sowie durch Einflüsse von Auftausalzen.

Die mit Abstand höchsten Na/Cl-Gehalte sind am Duttbacher Graben mit 180 mg/l bzw. 150 mg/l festzustellen (s. Anl. 9 und 14). Die Na/Cl-Gehalte der anderen drei Fließgewässer sind im Vergleich dazu fast unauffällig (26 bis 30 mg/l Na/ 62 bis 70 mg/l Cl). Der MGWL ist durch die geringsten Na/Cl-Gehalte charakterisiert (7 bis 17 mg/l Na/ 8 bis 32 mg/l Cl), was bei der Grundwasserkomponentenanalyse berücksichtigt werden kann. Die flachen GWM (OGWL) im Zustrom und Seitstrom des Baggersee Wiesental zeigen Na/Cl-Gehalte von 12 bis 37 mg/l Na bzw. von 29 bis 65 mg/l Cl. Im Abstrom des Baggersees Wiesental liegen die Na/Cl-Gehalte in einer vergleichbaren Größenordnung (11 bis 39 mg/l Na/ 19 bis 57 mg/l Cl). Zwischen GWM mit und GWM ohne Seewasseranteilen ist kaum ein Unterschied erkennbar. Der Baggersee Wiesental selbst weist Na/Cl-Gehalte von 14 bis 16 mg/l Na bzw. von 28 bis 31 mg/l Cl auf. Die Na/Cl-Gehalte an den Brunnen Philippsburg liegen auf einem vergleichsweise geringen Niveau mit Konzentrationen von 12 bis 15 mg/l Na bzw. von 22 bis 28 mg/l Cl.

Eine Übersicht zu allen gelösten Hauptinhaltsstoffen (Na, K, Ca, Mg, HCO₃, Cl, SO₄ und NO₃) liefert Anlage 25.

In Anlage 26 sind die Chlorid-Konzentrationen flächenhaft dargestellt. Eine zusammenhängende flächenhafte Zonierung ist nicht eindeutig erkennbar.

Kalium (K):

Erhöhte Kalium-Gehalte deuten auf Abwasser hin.

Von den Fließgewässern hat auch hier der Duttbacher Graben mit 23 mg/l den mit Abstand höchsten K-Gehalt (s. Anl. 10). Der insgesamt höchste K-Gehalt konnte jedoch an der flachen GWM 119/307-5 mit 30 mg/l festgestellt werden, was höchstwahrscheinlich auf Einflüsse eines defekten Abwassernetzes in der Ortslage von Wiesental zurück zu führen ist. Die Na/Cl-Gehalte der flachen GWM 119/307-5 sind gegenüber den K-Gehalten moderat, was dominante Einflüsse durch Duttbacher-Graben-Uferfiltrat als Ursache ausschließt. Die K-Gehalte der drei Fließgewässer Saalbach, Saugraben und Wagbach (9 - 12 mg/l) deuten ebenfalls auf Einflüsse durch Abwasser hin. Der MGWL ist durch geringe K-Gehalte charakterisiert (2 mg/l), was bei der Grundwasserkomponentenanalyse berücksichtigt werden kann. Die flachen GWM des OGWL im Zustrom und Seitstrom des Baggersee Wiesental zeigen unauffällige K-Gehalte von 2 bis 4 mg/l. Im Abstrom des Baggersees Wiesental liegen die K-Gehalte im Schnitt zwischen 2 und 6 mg/l. Überhöhungen, wie an der GWM 61/307-0 (11 mg/l), GWM 180/257-0 (8 mg/l) und GWM 60/307-5 (8 mg/l), sind auf Abwassereinflüsse in Verbindung mit Uferfiltrat oder auf ein defektes Abwassernetz innerhalb der Ortslage zurück zu führen. Der Baggersee Wiesental selbst weist K-Gehalte von 4 bis 6 mg/l auf. Die K-Gehalte an den Brunnen Philippsburg sind mit 4 bis 5 mg/l auf einem mittleren bis leicht erhöhten Niveau.

Calcium/Magnesium (Ca/Mg):

Die vergleichsweise höchsten Ca/Mg-Gehalte sind an den drei Fließgewässern Saalbach, Saugraben und Wagbach festzustellen (Anl. 11 und 12: 150 mg/l Ca/ 32 bis 33 mg/l Mg). Dem gegenüber sind die vergleichsweise geringsten Gehalte im Baggersee Wiesental (81 bis 91 mg/l Ca/ 16 bis 19 mg/l Mg), im Bauer-See (96 bis 97 mg/l Ca/ 19 bis 20 mg/l Mg) und im Duttbacher Graben anzutreffen (95 mg/l Ca/ 17 mg/l Mg), was auf Calcitfällung zurück zu führen ist. Die Ca/Mg-Gehalte der Grundwasseraufschlüsse (GWM und Brunnen) liegen auf einem mittleren Niveau zwischen 87 und 160 mg/l Ca bzw. zwischen 10 und 29 mg/l Mg.

Hydrogenkarbonat (HCO₃):

Die vergleichsweise höchsten HCO₃-Gehalte sind an den vier Fließgewässern festzustellen (Anl. 13: 372 bis 389 mg/l HCO₃), was insgesamt auf Abbau von organischen Substanzen hinweist. Die vergleichsweise geringsten Gehalte sind, wie auch schon bei den Ca/Mg-Gehalten, im Baggersee Wiesental (143 bis 173 mg/l HCO₃) und im Bauer-See festzustellen (178 bis 181 mg/l HCO₃), was auf die Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und der daraus resultierenden Calcitfällung zurück zu führen ist. GWM mit markanten Seewassereinflüssen zeigen meist vergleichbar geringe Gehalte von 150 bis 200 mg/l. Mit zunehmendem Abstand vom See nimmt der Einfluss von Karbonatlösung und somit der HCO₃-Gehalt zu (ca. 200 bis ca. 280 mg/l HCO₃). GWM ohne Seewassereinflüsse sind durch vergleichsweise hohe HCO₃-Gehalt von 280 bis 365 mg/l charakterisiert. Im MGWL sind im Vergleich zum OGWL tendenziell noch etwas höheren HCO₃-Gehalte festzustellen.

Sulfat (SO₄):

Bei Sulfat sind neben geogenen Quellen (z. B. Pyritoxidation) auch Einträge aus der Landwirtschaft oder lokal von anderen anthropogenen Quellen anzunehmen. Die höchsten SO₄-Gehalte sind an den beiden flachen GWM B9 flach (220 mg/l SO₄) und B5 flach (180-200 mg/l SO₄) festzustellen (s. Anl. 15), was hier auf Düngung und/oder Pyritoxidation hinweist. Vom Umfeld dieser beiden GWM ist bekannt, dass hier die Sonderkulturen beregnet werden und somit beide Ursachen eine Rolle spielen könnten (näheres siehe Kap. 7). An den beiden Seen und den 4 Fließgewässern sind die SO₄-Gehalte in einer Größenordnung von 130 bis 160 mg/l. Der MGWL ist, bis auf GWM B5 tief, durch die geringsten SO₄-Gehalte charakterisiert (71 bis 110 mg/l SO₄). Die GWM B5 tief ist durch ein hydraulisches Fenster oder den Ausbau der GWM B5 flach beeinflusst (s. Abb. 3). Messstellen mit markanten Seewassereinflüssen zeigen vergleichsweise hohe SO₄-Gehalte (130 bis 170 mg/l SO₄), was auf „Pyritoxidation“ im näheren Abstrombereich hinweist (Thema Reaktionsraum unterstromig des Baggersee Wiesental). Dies würde hier auch die geringen O₂-Gehalte erklären. Mit abnehmendem Seewassereinfluss sind geringere SO₄-Gehalte (70-150 mg/l) angezeigt. Die SO₄-Gehalte an den Brunnen Philippsburg sind mit 89 bis 110 mg/l auf einem vergleichsweise geringen Niveau.

Nitrat (NO₃):

Bei erhöhten NO₃-Gehalten sind Einträge aus der Landwirtschaft anzunehmen. Der mit Abstand höchste NO₃-Gehalte ist an der flachen Zustrommessstelle 138/308-3 am südöstlichen Rand des Untersuchungsgebietes mit 120 mg/l festzustellen (s. Anl. 16), was jedoch als absolute Ausnahme anzusehen ist, da alle anderen GWM im Zustrom und Seitstrom des Baggersees Wiesental NO₃-Gehalte von maximal nur 4 mg/l aufweisen. Die Ursache für diesen derart hohen NO₃-Gehalt ist nicht bekannt.

Im Baggersee Wiesental liegen die Nitratgehalte auf einem äußerst geringen Niveau von maximal 1,6 mg/l NO₃. Anlage 27 gibt einen Überblick zur flächenhaften Verbreitung der Nitratkonzentrationen im Untersuchungsgebiet. Im Abstrom der beiden Seen stechen die NO₃-Gehalte der beiden flachen GWM 6716/97 (63 mg/l) und 119/307-5 (57 mg/l) hervor. Die NO₃-Gehalte im flachen Abstrombereich (OGWL) der Seen zeigen insgesamt gesehen einen relativ großen Wertebereich von nicht nachweisbar (< 0,1 mg/l) bis zu den o.g. 63 mg/l, was einerseits auf umfangreiche Nitratbauprozesse und andererseits auf einen z. T. lokal hohen NO₃-Input unterstromig des Baggersee Wiesental hinweist. GWM mit markanten Seewassereinflüssen von 55 bis 100 % zeigen vergleichsweise geringe NO₃-Gehalte von < 0,1 bis 15 mg/l. Mit abnehmendem Seewassereinfluss sind erhöhte NO₃-Gehalte festzustellen. Im MGWL ist NO₃ grundsätzlich nicht nachweisbar (< 0,2 mg/l). Die NO₃-Gehalte an den Brunnen Philippsburg liegen mit 9 bis 15 mg/l auf einem vergleichsweise durchschnittlichen Niveau für den OGWL im Abstrom der Seen. Für die etwas geringeren Gehalte am tiefen Brunnen 3 mit 9 mg/l könnte der Ausbau und somit der Zustrom von NO₃-freiem GW aus dem MGWL verantwortlich sein.

5.2.2 Bor

Urbane Einflüsse auf das Grundwasservorkommen können hydrochemisch teilweise anhand des Anzeigerparameters Bor festgestellt werden. Die geogenen Hintergrundkonzentrationen von Bor liegen jedoch sowohl für den OGWL als auch für den MGWL auf einem vergleichsweise hohen Niveau von ca. 20-30 µg/l (s. Anl. 17). Lokal verstärkte anthropogene Einträge sind insbesondere an der flachen GWM 147/308-4 im Seitstrom (Bor 92 µg/l) sowie an der flachen GWM 119/307-5 im Abstrom des Bauer-Sees festzustellen (Bor 85 µg/l). Für die Gehalte an der GWM 119/307-5 sind höchstwahrscheinlich Einflüsse eines defekten Abwassernetzes in der Ortslage von Wiesental verantwortlich (siehe auch Kap. 5.2.1: Kalium).

Von den vier Fließgewässern zeigt lediglich der Duttbacher Graben auffällig hohe Konzentrationen an Bor (314 µg/l). Alle Anderen zeigen nur mäßig überhöhte Bor-Gehalte (64 bis 77 µg/l). Eine Detektierung von Uferfiltrat ist dennoch qualitativ möglich. Die Bor-Gehalte der beiden Baggerseen sind quasi identisch (42 bis 44 µg/l). An den Brunnen Philippsburg sind die Bor-Gehalte mit 37 bis 53 µg/l auf einem vergleichsweise durchschnittlichen Niveau.

5.2.3 Süßstoff Acesulfam

Als weiterer Anzeigerparameter für Abwasser wurde der Parameter Acesulfam mit untersucht. Dieser Süßstoff wird in der Lebensmittelindustrie verstärkt seit Ende der 1990-er Jahre eingesetzt, was ihn somit z. T. zu einem „Datierungstracer“ macht (s. Kap. 6.1: GWM B9 flach). Er ist im Oberflächenwasser und Grundwasser stabil und kann daher zur Detektierung von Abwassereinflüssen gut genutzt werden. Die Nachweisgrenze liegt bei 10 bis 20 ng/l. Die grafische Darstellung der Analyseergebnisse in Anl. 18 verdeutlicht, dass alle vier Fließgewässer durch Acesulfam gut bis sehr gut markiert sind (410 ng/l bis 200.000 ng/l). Auch an den meisten GWM des OGWL im Zu- und Seitstrom des Baggersees Wiesental sind erhöhte Konzentrationen festzustellen (147/308-4: 2100 ng/l; B8 flach: 1700 ng/l; B9 flach: 1400 ng/l; P5 F: 740 ng/l; 6003/307-9: 640 ng/l; 6717/792: 630 ng/l; 6717/791: 460 ng/l und P6 F: 190 ng/l). Im Baggersee Wiesental kann der Süßstoff ebenfalls deutlich nachgewiesen werden (90 bis 160 ng/l). Im MGWL ist Acesulfam nicht nachweisbar (< 10 ng/l bzw. < 20 ng/l), auch bei B5 tief (s. Altersstruktur in Kap. 6.1). An den GWM des OGWL im Abstrom des Baggersees Wiesental liegen die Konzentrationen zwischen nicht nachweisbar (< 10 ng/l) und 320 ng/l. An den Brunnen Philippsburg ist Acesulfam, wie auch schon Bor, auf einem vergleichsweise unauffälligen Niveau von 80 bis 100 ng/l nachweisbar.

5.2.4 Pflanzenschutzmittel-Metabolit N,N-Dimethylsulfamid (DMS)

Als weiterer Anzeiger wurde das Pflanzenschutzmittel-Metabolit „N,N-Dimethylsulfamid“ (DMS) mit untersucht, da hiervon bekannt ist, dass er im Umfeld des Baggersee Wiesental und an den drei Brunnen Philippsburg deutlich nachweisbar ist. Die höchsten DMS-Gehalte sind an den 4 flachen GWM im weiteren Abstrom des Baggersee Wiesental festzustellen (s. Anl. 19: 7523/257-0: 2000 ng/l; 6716/69: 1000 ng/l; 6716/49: 850 ng/l und GWM 6716/97: 630 ng/l). Auffällig ist, dass alle 4 Messstellen westlich und somit unterstromig der Eisenbahntrasse liegen. Dies deutet darauf hin, dass im Bereich der Bahntrasse die Herkunft und somit Ursache für die hohen DMS-Gehalte an den Brunnen Philippsburg mit 430 bis 550 ng/l liegen könnte. DMS gilt als „nicht relevanter Metabolit“, weshalb Konzentrationen von bis zu 1000 ng/l erlaubt sind. Würde DMS als relevant eingestuft, gilt der Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 100 ng/l. Die beiden Seen und die 4 Fließgewässer weisen deutlich geringere DMS-Gehalte in der Größenordnung von 40 bis maximal 100 ng/l auf. Der MGWL ist komplett DMS-frei (< 20 ng/l).

5.2.5 Organische Schadstoffe (Seewasser-Screening)

Zur Erfassung sonstiger anthropogener Einflüsse auf das Seewasser wurden am 21.01.2021 zusätzlich 48 Einzelsubstanzen analysiert (Seewasser-Screening, siehe Tab. 3 bzw. Prüfbericht in Anh. II). 7 von 48 Einzelsubstanzen konnten hierbei nachgewiesen werden. Der höchste und zugleich deutlichste Nachweis konnte bei Melamin mit 0,740 µg/l festgestellt werden. Die Bestimmungsgrenze (BG) liegt hier mit 0,025 µg/l um etwa den Faktor 30 niedriger. Melamin und Melaminharze werden vor allem in den Branchen Holzverarbeitung, Bau, Textil sowie Farben und Lacke eingesetzt (IKSR, 2020). Für Melamin existiert in Deutschland derzeit kein Grenzwert. Der niederländische Grenzwert für Trinkwasser liegt bei 35 µg/l (IKSR, 2020). Der zweithöchste und zugleich zweitdeutlichste Nachweis hat der Süßstoff Acesulfam mit 0,100 µg/l. Die BG von 0,010 µg/l ist um den Faktor 10 geringer. Der am 21.01.2021 analysierte Acesulfam-Gehalt entspricht den sonstigen analysierten Seewasserproben (siehe Kap. 5.2.3). Alle weiteren nachgewiesenen Spurenstoffe liegen im Bereich der jeweiligen BG vor und somit auf einem äußerst geringen Niveau. Der Süßstoff Cyclamat mit 0,022 µg/l (BG 0,010 µg/l). Polyfluorierten Verbindungen (PFC) - Perfluorbutanoat (PFBA), Perfluoroctanoat (PFOA) und Perfluoroctansulfonat (PFOS) mit 0,001 µg/l bzw. 0,006 µg/l bzw. 0,002 µg/l (die BG ist jeweils 0,001 µg/l). Das Steroidhormon Estron wurde mit 0,0001 µg/l nachgewiesen, was der BG entspricht.

Tab. 3: Ergebnisse zum Seewasser-Screening (von BGL, Okt 2022, zur Verfügung gestellt)

Nr.	Parameter	Ergebnis	Einheit	Bestimmungsgrenze (BG)
1	Benzotriazol	< BG	µg/l	0,010
2	4-Methylbenzotriazol	< BG	µg/l	0,010
3	5-Methylbenzotriazol	< BG	µg/l	0,010
4	Melamin	0,74	µg/l	0,025
Synthetische Komplexbildner				
5	NTA (Nitrilotriacetat)	< BG	µg/l	0,50
6	EDTA (Ethylendinitrilotetraacetat)	< BG	µg/l	0,50
7	DTPA (Diethylentriaminpentaacetat)	< BG	µg/l	1,0
PSM-Wirkstoffe und Metabolite				
8	Carbendazim	< BG	µg/l	0,010
9	DEET	< BG	µg/l	0,010
10	MCPP (Mecoprop)	< BG	µg/l	0,010
11	Terbutryn	< BG	µg/l	0,010

Fortsetzung Tab. 3: Ergebnisse zum Seewasser-Screening (von BGL, Okt 2022, z. Verf. gestellt)

Nr.	Parameter	Ergebnis	Einheit	Bestimmungsgrenze (BG)
Pharmazeutische Wirkstoffe				
12	10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin	< BG	µg/l	0,010
13	Amidotrizesäure	< BG	µg/l	0,010
14	Azithromycin	< BG	µg/l	0,010
15	Bezafibrat	< BG	µg/l	0,010
16	Candesartan	< BG	µg/l	0,010
17	Carbamazepin	< BG	µg/l	0,010
18	Ciprofloxacin	< BG	µg/l	0,010
19	Clarithromycin	< BG	µg/l	0,010
20	Dehydrato-Erythromycin A	< BG	µg/l	0,010
21	Diclofenac	< BG	µg/l	0,010
22	Erythromycin A	< BG	µg/l	0,010
23	Gabapentin	< BG	µg/l	0,010
24	Guanylharnstoff	< BG	µg/l	0,010
25	Hydrochlorothiazid	< BG	µg/l	0,010
26	Ibuprofen	< BG	µg/l	0,010
27	Iohexol	< BG	µg/l	0,010
28	Iomeprol	< BG	µg/l	0,010
29	Iopamidol	< BG	µg/l	0,010
30	Iopromid	< BG	µg/l	0,010
31	Irbesartan	< BG	µg/l	0,010
32	Metformin	< BG	µg/l	0,010
33	Metoprolol	< BG	µg/l	0,010
34	Sulfamethoxazol	< BG	µg/l	0,010
Steroidhormone				
35	17-beta-Estradiol	< BG	µg/l	0,0001
36	Estron	0,0001	µg/l	0,0001
37	17-alpha-Ethinylestradiol	< BG	µg/l	0,0001
Trialkylphosphate				
38	Tris-(2-chlorethyl)-phosphat	< BG	µg/l	0,025
39	Tris-(2-chlorpropyl)-phosphat	< BG	µg/l	0,025
Moschusduftstoffe				
40	AHTN	< BG	µg/l	0,005
41	HHCB	< BG	µg/l	0,005
Polyfluorierte Verbindungen				
42	Perfluorbutanoat (PFBA)	0,001	µg/l	0,001
43	Perfluoroctanoat (PFOA)	0,006	µg/l	0,001
44	Perfluorbutansulfonat (PFBS)	< BG	µg/l	0,001
45	Perfluoroctansulfonat (PFOS)	0,002	µg/l	0,001
Künstliche Süßstoffe				
46	Acesulfam	0,10	µg/l	0,010
47	Cyclamat	0,022	µg/l	0,010
48	Sucralose	< BG	µg/l	0,050

5.3 Isotope

Die Gehalte der stabilen Isotope des Wassers Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$) wurde an allen 86 Proben gemessen, das Isotop Tritium an etwa einem Viertel aller Proben (20 Stck.).

5.3.1 Sauerstoff-18 (^{18}O), Deuterium (^2H) und Deuterium-Exzess

Im Wasserkreislauf kommen die Wassermoleküle $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$, $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$ und $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$ in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Bei allen Phasenumwandlungen des Wassers, wie Kondensations- bzw. Verdunstungsvorgängen, findet eine temperaturabhängige Isotopenfraktionierung statt. Als Teil des Wassermoleküls stellen die stabilen Isotope Sauerstoff-18 (^{18}O) und Deuterium (^2H) ideale Tracer dar, die flächenhaft mit dem Niederschlag eingetragen werden.

Die ^{18}O - und ^2H -Gehalte werden als $\delta^{18}\text{O}$ - bzw. $\delta^2\text{H}$ -Werte in ‰ dargestellt. Sie beziehen sich auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) und weisen wegen der generellen Abreicherung gegenüber dem Meerwasser negative Werte auf. Der analytische Fehlerbereich liegt bei $\pm 0,15$ ‰ ($\delta^{18}\text{O}$) bzw. $\pm 1,5$ ‰ ($\delta^2\text{H}$).

Zwischen den ^{18}O - und ^2H -gehalten im Niederschlag besteht eine lineare Beziehung, die sich durch die sogenannte Niederschlagsgerade darstellen lässt ($\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + d$). Im Bereich des Oberrheingrabens liegt d (Deuterium-Exzess) zwischen 8 und 10. Im vorliegenden Untersuchungsgebiet liegt d bei etwa 9, was hier zu einer Niederschlagsgerade mit der Gleichung $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 9$ führt (s. Anl. 41).

Die obere Wasserschicht eines Baggersees (Epilimnion) ist in den Sommermonaten als Folge von Verdunstungsprozessen durch Anreicherung der schweren Isotope ^{18}O und ^2H im Verhältnis zu den leichten Isotope ^{16}O und ^1H markiert. Dies äußert sich durch vergleichsweise schwere Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte (je mehr ^{18}O - bzw. ^2H -Isotope im Verhältnis zu ^{16}O bzw. ^1H , umso „isotopisch schwerer“ ist ein Wasser). Durch die Isotopenfraktionierung verringert sich auch der Deuterium-Exzess. Die Wässer, die bei fortschreitender Verdunstung eines Ausgangswasser entstehen, liegen im $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm auf der so genannten Verdunstungsgeraden (s. Anl. 41; $\delta^2\text{H} = m \times \delta^{18}\text{O} + d$; die Steigung m liegt meist zwischen 4 und 5). Die Markierungen des See-Uferfiltrats werden unterstromig durch Vermischungsprozesse mit Grundwässern anderer Herkunft überlagert. Ein durch Verdunstungsprozesse markiertes Seewasser lässt sich somit unterstromig des Sees durch eine Art „Fahne“ mit vergleichsweise isotopisch schweren ^{18}O - und ^2H -gehalten sowie geringen Deuterium-Exzessen verfolgen. Dies kann genutzt werden, um die Vermischung von Seewasser und von Seewasser unbeeinflusstem Grundwasser zu bilanzieren (siehe hierzu Kap. 6.2). Zusätzlich lassen sich aus dem Verlauf der „Fahne“ die Grundwasserfließrichtung und bei Zeitreihenuntersuchungen der $\delta^2\text{H}$ und/oder $\delta^{18}\text{O}$ -Gehalte auch Grundwasserfließzeiten, Abstandsgeschwindigkeiten und/oder Austauschraten von Seen abschätzen (vgl. Kap. 6.5).

Baggerseen mit einer geringen Anbindung an den Grundwasserstrom aufgrund von Kolmation (bei „Seenalterung“) oder Selbstabdichtung durch sedimentierte Schwebstoffe (bei Baggerbetrieb) zeigen aufgrund ihrer geringen Austauschrate eine zunehmende Isotopenanreicherung (vgl. Anhang III).

Bei den vorliegenden Untersuchungen konnte ein deutlich differenzierbares Spektrum an Sauerstoff-18-, Deuterium- und Deuterium-Exzess-Gehalten gemessen werden:

- Sauerstoff-18-Gehalte: - 8,65 ‰ bis - 5,13 ‰ (siehe Anlage 20 und Anlage 28)
- Deuterium-Gehalte: - 60,1 ‰ bis - 42,0 ‰ (siehe Anlage 21)
- Deuterium-Exzess-Gehalte: - 1,6 ‰ bis 9,5 ‰ (siehe Anlage 22 und Anlage 29)

Das Wertespektrum lässt sich, anhand der Deuterium-Exzess-Gehalte, grob in 3 Gruppen untergliedern, wobei die Gruppe 3 eine Mischung aus der Gruppe 1 und der Gruppe 2 darstellt. Zwischen den Gruppen bestehen fließende Übergänge (z. B: bei den Messstellen GWM 180/257-5 (F) und 6716/69 (F)). Anlage 28 und 29 geben einen Überblick zur flächenhaften Verbreitung der Sauerstoff-18- und Deuterium-Exzess-Gehalte im Untersuchungsgebiet.

Gruppe 1: D-Exzess: 8,5 bis 9,5 ‰, ¹⁸O: -8,65 ‰ bis ca. -8,3 ‰; ²H: -60,1 ‰ bis ca. -58 ‰

Saalbach, Saugraben, Wagbach, 138/308-3 (F), Beregnungsbr. Zustrom (BBr. ZS) 1 (F), B8 flach, B9 flach, 6003/307-9 (F), 147/308-4 (F), P5 F, P6 F, B8 tief, B9 tief, 156/308-5 (T), P5 T, P6 T, 111/257-9 (F), 60/307-5 (F), 6716/69 (F) 20.11.21, 136/257-2 (F), 108/257-5 (F), 135//257-8 (T)

Der Wertebereich ist charakteristisch für Grundwässer und Oberflächengewässer, welche dominant lokal über die Niederschläge im Rheintal neugebildet werden. Verdunstungseinflüsse sind an diesen Wässern nicht zu erkennen, was die Deuterium-Exzess-Gehalte von 8,5 bis 9,5 ‰ belegen. Zwischen den Grundwasserproben aus dem OGWL und dem MGWL sind keine wesentlichen Unterscheidung zu erkennen. Zur Gruppe 1 zählen auch die Oberflächengewässer Saalbach, Saugraben und Wagbach. Dies zeigt, dass diese überwiegend lokales, aus Niederschlägen im Rheintal entstandenes (Grund-) Wasser ableiten. An Oberflächengewässern kann die ¹⁸O/²H-Signatur kurzfristig durch Niederschläge stärkere Variationen aufzeigen als im Gw.

Gruppe 2: D-Exzess: -1,5 bis +0,5 ‰, ¹⁸O: ca. -5,5 ‰ bis -5,1 ‰; ²H: ca. -45 ‰ bis -42 ‰

Bauer-See, 6717/791 (F), 6717/792 (F),
Baggersee Wiesental, 6004/307-4 (F), 6005/307-0 (F), 6002/307-3 (F)

Die Grund- und Oberflächenwasserproben dieser Gruppe weisen Signaturen bei den stabilen Isotopen auf, die durch Verdunstungsprozesse deutlich überprägt sind. Dies ist an den vergleichsweise geringen Deuterium-Exzess-Gehalten erkennbar, welche in der Gruppe 2 Werte von ca. -1,5 bis ca. +0,5 ‰ aufweisen (Anl. 22). Die Deuterium-Exzess-Werte hängen dabei vom Grad der Verdunstung (+0,5 ‰: geringe Verdunstung, -1,5 ‰: hohe Verdunstung) und von der Ausgangssignatur des unbeeinflussten Grundwassers/Uferfiltrats ab (s. Kap. 6.2 sowie Anl. 41).

Die vorliegenden Proben zum Baggersee Wiesental zeigen insgesamt starke Verdunstungsprozesse an. Die Signaturen sind von Saisonalität weitgehend unbeeinflusst. Auch räumlich und tiefenbezogen betrachtet sind die Signaturen quasi fast identisch. Dies alles weist auf einen eingeschränkten Grundwasseraustausch hin. Eine Abschätzung der aktuellen Austauschrate des Baggersees Wiesental mittels stabiler Isotope erfolgt in Kapitel 6.5.

An vereinzelt GWM, unmittelbar unterstromig der beiden Seen Bauer-See und Baggersee Wiesental (6717/791 (F), 6717/792 (F), 6004/307-4 (F), 6005/307-0 (F), 6002/307-3 (F) lassen sich vergleichbare Sauerstoff-18-, Deuterium- und Deuterium-Exzess-Gehalte und somit vergleichbar hohe Verdunstungseinflüsse bzw. hohe Uferfiltratanteile, erkennen.

Es handelt sich hierbei ausschließlich um GWM des OGWL. Die hohen Verdunstungseinflüsse an den Messstellen 6717/791 (F) und 6717/792 (F), jeweils Feuerlöschbrunnen, sind auf hohe Uferfiltratanteile (> 80 %) des Bauer-Sees zurück zu führen. An den GWM 6004/307-4 (F), 6005/307-0 (F) und 6002/307-3 (F) sind für die hohen Einflüsse der Baggersee Wiesental verantwortlich (> 80 % Uferfiltratanteil). Uferfiltrat des Bauer-Sees lässt sich anhand der stabilen Isotope nicht von Uferfiltrat des Baggersees Wiesental unterscheiden. Hierzu sind kombinierte Auswertungen zusammen mit hydrochemischen Parametern notwendig.

Gruppe 3: D-Exzess: +0,5 bis +8,5 ‰, ¹⁸O: ca. -8,3 ‰ bis -5,5 ‰; ²H: ca. -58 ‰ bis -45 ‰

64/307-7 (F), B5 flach, 6717/262 (F), 261/307-1 (F), 7523/257-0 (F), Beregnungsbrunnen Abstrom (BBr. AS) 1 (F), 61/307-0 (F), 6716/97 (F), 119/307-5 (F), 6716/49 (F), 6716/69 (F) am 20.12.2021, 180/257-5 (F), B1 tief 30.04.2021, B5 tief 30.04.2021, Br. 1 Philippsburg, Br. 2 Philippsburg, Br. 3 Philippsburg, (Spezialfall: Duttbacher Graben)

Die Grund- und Oberflächenwasserproben dieser Gruppe weisen Signaturen bei den stabilen Isotopen auf, die in unterschiedlicher Intensität durch Verdunstungsprozesse überprägt sind bzw. die durch unterschiedlich hohe Uferfiltratanteile beeinflusst sind. Dies ist, wie bei den anderen Gruppen, insbesondere am Deuterium-Exzess erkennbar. Das Wertespektrum liegt hier zwischen etwa 0,5 ‰ und 8,5 ‰ (s. Anl. 22), bzw. zwischen den Werten der Gruppe 1 und der Gruppe 2. Geringe Deuterium-Exzess-Werte von beispielsweise +0,5 ‰ belegen einen hohen Verdunstungseinfluss bzw. hohe Uferfiltratanteile, hohe Deuterium-Exzess-Werte von beispielsweise +7 ‰ belegen hingegen geringe Uferfiltratanteile.

Bei den Grundwasserproben der Gruppe 3 handelt es sich, mit Ausnahme des Duttbacher Grabens, um Mischwässer der Gruppe 1 und der Gruppe 2 (sog. Zweikomponenten-Mischsystem), weshalb die Gruppe 3 auch das größte Wertespektrum aufweist. Die quantitative Erfassung von Seewasseranteilen der Gruppe 2 und von Grundwasseranteilen der Gruppe 1 im Grundwasser unterstromig des Baggersees Wiesental und Bauer-Sees ist in Kapiteln 6.2 näher erläutert.

Der Duttbacher Graben ist innerhalb der Gruppe 3 ein Spezialfall. Es handelt sich hier nicht um ein Mischwasser, sondern um ein eigenständig durch Verdunstung beeinflusstes Oberflächenwasser. Uferfiltrat des Duttbacher Grabens lässt sich anhand der stabilen Isotope deshalb nicht von Uferfiltrat der beiden Seen, Bauer-See und Baggersee Wiesental, unterscheiden. Hierzu sind Anzeigerparameter notwendig (z. T. kann auch die Lage der GWM hier weiterhelfen).

5.3.2 Tritium (³H)

Tritium ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs (³H; Halbwertszeit 12,3 Jahre). Die natürliche Produktionsrate von Tritium ist gerade so hoch, dass die Niederschläge ca. 5 TU enthalten (TU = Tritium-units, 1 TU = 0,119 Bq/l). Als Folge der Wasserstoffatombombentests in den 1950-er und 1960-er Jahren kam es zu Tritiumgehalten in den Niederschlägen von mehreren 1000 TU. Die aktuellen Niederschläge weisen als Spätfolge dieser und jüngerer Tests noch Tritiumgehalte von etwa 4-12 TU mit längerfristig nach wie vor stetig abnehmender Tendenz auf. Winterniederschläge weisen tendenziell vergleichsweise geringe und Sommerniederschläge vergleichsweise hohe Tritiumgehalte auf. Im Mittel ergibt sich für aktuell neugebildetes Grundwasser ein Gehalt von ca. 4-8 TU, was sich aus der überwiegend winterzeitlichen Grundwasserneubildung ableitet.

Grundwässer, in denen Tritium nicht nachweisbar ist, enthalten keine Niederschlagsanteile aus dem Zeitraum nach 1953 („> 68 Jahre altes Tritium-freies Grundwasser“). Die Geschütztheit dieser Gw ist als relativ gut anzusehen, da sie meist frei von organischen Schadstoffen sind.

Im vorliegenden Untersuchungsgebiet liegen die ermittelten Tritiumgehalte in einem relativ weiten Spektrum von nicht nachweisbar ($< 0,6$ TU) bis $5,7 \pm 0,6$ TU vor (Anl. 23). Das Wertespektrum lässt sich grob in 3 Gruppen untergliedern, wobei die Gruppe 3 eine Mischung aus der Gruppe 1 und der Gruppe 2 darstellt. Zwischen den Gruppen bestehen fließende Übergänge.

Gruppe 1: Tritium $< 0,6$ TU bis ca. 1,1 TU

$< 0,6$ TU:	B9 tief (10.11.2021)
$< 0,6$ TU:	P6 T (13.11.2021)
$0,7 \pm 0,4$ TU:	B1 tief (10.11.2021)
$0,7 \pm 0,4$ TU:	B8 tief (10.11.2021)
$0,7 \pm 0,4$ TU:	156/308-5 (T) 13.11.2021

Tritium-freie ($< 0,6$ TU) oder annähernd Tritium-freie (jeweils $0,7 \pm 0,4$ TU) Grundwässer konnten nur im MGWL festgestellt werden. Dieser Sachverhalt, wird bei der Grundwasserkomponentenanalyse ein entscheidendes Kriterium sein. An diesen GWM dominieren Grundwässer, die vor über 68 Jahren neugebildet wurden. Sogenanntes Jungwasser, das während der letzten 68 Jahre neu gebildet wurde, kann bei den Grundwässern der Gruppe 1 nur zu einem geringen Anteil von bis zu 20 % enthalten sein.

Gruppe 2: Tritium ca. 3,7 TU bis ca. 6,3 TU

$4,3 \pm 0,6$ TU:	Br. 1 Philippsburg, 04.11.2021
$4,2 \pm 0,4$ TU:	B5 flach (10.11.2021)
$4,3 \pm 0,5$ TU:	B5 flach (30.04.2021)
$4,7 \pm 0,6$ TU:	Baggersee Wiesental (Südwest), 10 m Wassertiefe, 11.11.2021
$5,0 \pm 0,9$ TU:	Baggersee Wiesental (Südwest), 10 m Wassertiefe, 30.04.2021
$4,8 \pm 0,6$ TU:	B8 flach, 10.11.2021
$4,7 \pm 0,3$ TU:	Br. 3 Philippsburg, 04.11.2021
$5,2 \pm 0,6$ TU:	Baggersee Wiesental (Nordost), 10 m Wassertiefe, 11.11.2021
$5,2 \pm 0,5$ TU:	B1 flach, 10.11.2021
$5,4 \pm 0,7$ TU:	B9 flach, 10.11.2021
$5,5 \pm 0,7$ TU:	Br. 2 Philippsburg, 04.11.2021
$5,7 \pm 0,6$ TU:	P6 F, 13.11.2021

Die Tritium-Gehalte zwischen 3,7 TU und 6,3 TU liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, was eine Dominanz junger Grundwässer mit Verweilzeiten von Monaten bis max. 68 Jahren anzeigt. Dieses Tritiumspektrum charakterisiert den OGWL im Umfeld des Baggersees Wiesental und ist somit entscheidend bei der Grundwasserkomponentenanalyse.

Da auch am Brunnen 3 der Stadt Philippsburg, der stockwerksübergreifend den OGWL, OZH und MGWL erfasst, dieses Tritiumspektrum ermittelt wurde, ist das ein deutlicher Hinweis dafür, dass hier dominant Grundwasser aus dem OGWL gefördert wird.

Die vergleichsweise geringen Tritiumgehalte des o.g. Spektrums liegen jedoch auch in einem Wertebereich von Grundwässern, die Anteile eines alten, Tritium-freien Grundwassers aufweisen können. Insbesondere am Br. 3 Philippsburg wäre aufgrund des stockwerksübergreifenden Ausbaus ein Mischwasser aus „ < 68 Jahre altem Jungwasser“ und „ > 68 Jahre altem Tritium-freien Grundwasser“ durchaus plausibel. Allein anhand von Tritium kann eine eindeutige Alters-einstufung z. T. nicht erfolgen. Hierzu ist eine kombinierte Auswertung von zwei Datierungsstracern, wie Tritium und Schwefelhexafluorid, notwendig (siehe Kap. 6.1).

Gruppe 3: Tritium ca. 1,1 TU bis ca. 3,7 TU

2,7 ± 0,8 TU:	135/257-8 (T) 20.11.2021
2,5 ± 0,4 TU:	B5 tief (10.11.2021)
2,9 ± 0,8 TU:	B5 tief (30.04.2021)

Wenn Tritiumgehalte unterhalb der Gehalte von aktuell neugebildeten Grundwässern (< 4 TU) nachgewiesen werden, zeigt dies in der Regel Mischwässer mit Beteiligung von „> 68 Jahre alter Grundwässer“ an. Im Untersuchungsgebiet sind hiervon nur drei Grundwassermessstellen, die alle den MGWL erfassen, betroffen. Grundsätzlich könnten jedoch auch in OGWL-Messstellen Anteile von „> 68 Jahre alter Tiefenwässer“ a.

Zur detaillierten Erfassung der Mischungsanteile von „jungen“ (< 68 Jahre) und „alten“ (> 68 Jahre, 3H-frei) Grundwasserkomponenten ist neben Tritium immer ein zweiter Datierungstracer, wie z. B. das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF₆), notwendig. Eine kombinierte Auswertung der Altersstruktur mittels Tritium und SF₆ erfolgt in Kapitel 6.1.

5.4 Spurengase

Die Spurengasuntersuchungen sollten unterstützend zum Tritium eine kombinierte Auswertung und somit eine detaillierte Erfassung der Grundwasseraltersstruktur ermöglichen.

Spurengase, wie SF₆, F11, F12 und F113, sind Spurenstoffe, die seit ca. 50 Jahren zunehmend in die Atmosphäre gelangen. Die Stoffe sind gasförmig und lösen sich im Niederschlagswasser. Tritium ist dagegen im Wassermolekül enthalten. Über Niederschläge gelangen die Spurengase in das Grundwasser und können somit zur Altersbestimmung herangezogen werden.

Die FCKW - Spurenstoffe F11, F12 und F113 können zusätzlich auch durch weitere Eintragsquellen – wie z. B. Kanalisations- und Deponie- Abwässer – ins Grundwasser gelangen. Aufgrund der extrem sensiblen Analysetechnik können diese Überhöhungen auch schon bei geringsten Einflüssen erfasst werden (Messbereich des Spurenstoffes pmol/l = 10⁻¹² mol/l), was sie dann zu einem hervorragenden Anzeigerparameter macht. Da im vorliegenden Untersuchungsprogramm die Erfassung der Grundwasseraltersstruktur im Vordergrund steht, und nicht die Erfassung von Überhöhungen bei den FCKW - Spurenstoffen F11, F12 und F113, wurde deshalb nur das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF₆) untersucht.

5.4.1 Schwefelhexafluorid (SF6)

Schwefelhexafluorid (SF6) ist ein vergleichsweise langlebiges Spurengas (3200 Jahre), das seit ca. 50 Jahren zunehmend in die Atmosphäre gelangt. Der Aggregatzustand ist unter Normalbedingungen gasförmig. SF6 löst sich im Niederschlags- oder Sickerwasser in Abhängigkeit von den Temperatur- und Druckverhältnissen (bzw. der Grundwasserneubildungshöhe). Die Temperaturabhängigkeit ist hierbei bestimmend. Über die Niederschläge und die Sickerwasserphase gelangt SF6 in das Grundwasser. Da die Konzentrationen in der Troposphäre stetig ansteigen, kann SF6 zur Altersbestimmung genutzt werden. Aufgrund seiner Struktur ist SF6 praktisch inert (sehr reaktionsträge).

Schwefelhexafluorid wird als Isolationsgas in der Mittel- und Hochspannungstechnik eingesetzt, beispielsweise in Hochspannungsschaltern wie auch in komplett gekapselten Schaltanlagen. Es dient auch als Löschgas oder als Schutzgas in Koaxialkabeln.

Die Konzentrationen von SF6 werden in fmol/l angegeben (entsprechend 10^{-15} mol). Aktuell neu gebildete Grundwässer können SF6-Gehalte von etwa 3,0 bis 5,0 fmol/l aufweisen. SF6 gilt als relativ stabil im Hinblick auf Abbauvorgänge im Untergrund. Zusätzliche, anthropogene Quellen sind selten. In Gegenwart von Schwefelwasserstoff ist die Komproportionierung (Spezialfall einer Redoxreaktion bei der Reduktion und Oxidation gleichzeitig stattfindet) zu elementarem Schwefel und Fluorwasserstoff (HF) nicht ausgeschlossen: $2 \text{ SF}_6 + 6 \text{ H}_2\text{S} \rightarrow \text{S}_8 + 12 \text{ HF}$. Dies kann dann zu einer Verringerung des ursprünglichen SF6-Gehaltes führen.

Im Untersuchungsgebiet liegen die ermittelten SF6-Gehalte in einem relativ breiten Spektrum von nicht nachweisbar ($< 0,1$ fmol/l) bis $4,4 \pm 0,5$ fmol/l (siehe Anl. 24). Wie schon bei Tritium, lässt sich auch bei SF6 das Wertespektrum grob in 3 Gruppen untergliedern. Gruppe 1 und Gruppe 2 zeigen hierbei sehr deutliche Unterschiede und gelten somit als Endglieder. Bei der Gruppe 3 handelt es sich, wie auch schon bei der Gruppierung von Tritium, um eine Mischung aus der Gruppe 1 und Gruppe 2. Zwischen den Gruppen bestehen fließende Übergänge.

Gruppe 1: SF6 von $< 0,1$ fmol/l bis ca. $0,3$ fmol/l

$< 0,1$ fmol/l:	B1 tief (10.11.2021)
$< 0,1$ fmol/l:	B9 tief (10.11.2021)
$< 0,1$ fmol/l:	156/308-5 (T) 13.11.2021
$< 0,1$ fmol/l:	P6 T (13.11.2021)
$0,1 \pm 0,1$ fmol/l:	B5 tief (30.04.2021)
$0,1 \pm 0,1$ fmol/l:	B8 tief (10.11.2021)
$0,2 \pm 0,1$ fmol/l:	B5 tief (10.11.2021)

SF6-freie ($< 0,1$ fmol/l) oder annähernd SF6-freie (bis $0,2 \pm 0,1$ fmol/l) Grundwässer konnten nur im MGWL festgestellt werden. An diesen GWM dominieren Grundwässer, die vor über 50 Jahren neugebildet wurden. Sogenanntes Jungwasser, das während der letzten 50 Jahre neu gebildet wurde, kann bei GWM der Gruppe 1 nur zu einem Anteil von bis zu 20 % enthalten sein.

Die SF6-Gehalte sind neben Tritium entscheidend bei der Grundwasserkomponentenanalyse.

Gruppe 2: SF6 von ca. 2,7 fmol/l bis ca. 4,9 fmol/l

3,0 ± 0,3 fmol/l:	B5 flach (10.11.2021)
3,0 ± 0,3 fmol/l:	B5 flach (30.04.2021)
3,5 ± 0,4 fmol/l:	Br. 2 Philippsburg, 04.11.2021
3,5 ± 0,4 fmol/l:	B1 flach am 10.11.2021
3,5 ± 0,4 fmol/l:	B8 flach am 10.11.2021
3,8 ± 0,4 fmol/l:	Baggersee Wiesental (Südwest), 10 m Wassertiefe, 30.04.2021
4,0 ± 0,5 fmol/l:	P6 F am 13.11.2021
4,4 ± 0,5 fmol/l:	Baggersee Wiesental (Südwest), 10 m Wassertiefe, 11.11.2021
4,4 ± 0,5 fmol/l:	Baggersee Wiesental (Nordost), 10 m Wassertiefe, 11.11.2021

Das SF6-Spektrum zwischen etwa 2,7 fmol/l und 4,9 fmol/l charakterisiert den OGWL im Umfeld des Baggersees Wiesental. Das Wertespektrum entspricht in etwa dem Bereich der aktuell neugebildeten Grundwässer, was für die Wässer der Gruppe 2 eine Dominanz an jungen Grundwässern mit Mittleren Verweilzeiten (MVZ) von Monaten bis maximal 20 Jahren anzeigt.

Gruppe 3: SF6 von ca. 0,3 fmol/l bis 2,7 fmol/l

1,0 ± 0,2 fmol/l:	B9 flach am 10.11.2021
2,2 ± 0,3 fmol/l:	Br. 3 Philippsburg, 04.11.2021
2,4 ± 0,3 fmol/l:	Br. 1 Philippsburg, 04.11.2021

Wenn SF6-Gehalte unterhalb der Gehalte von aktuell neugebildeter Grundwässer (< 3,0 fmol/l) angetroffen werden, zeigt dies in der Regel Mischwässer mit Beteiligung alter Grundwässer an.

Im Untersuchungsgebiet sind hiervon die zwei Trinkwasserbrunnen, Brunnen 1 Philippsburg und Brunnen 3 Philippsburg, betroffen. Da der Brunnen 3 stockwerksübergreifend den OGWL, OZH und MGWL erfasst, ist die Zumischung von SF6-freien Grundwasserkomponenten hier als plausibel anzusehen. Möglicherweise wird auch der benachbarte Brunnen 1 von diesen Vermischungsprozessen mit betroffen.

An der Messstelle B9 flach (OGWL) sind auf Basis des vergleichsweise geringen SF6-Gehaltes von 1,0 ± 0,2 fmol/l deutliche Anzeichen einer Zumischung von > 50 Jahre alten Tiefenwässern angezeigt. Wie schon in Kapitel 5.3.2 erwähnt, ist jedoch allein anhand eines Datierungstracer keine eindeutige Alterseinstufung möglich. Hierzu ist eine kombinierte Auswertung von mindestens zwei Datierungstracern, wie z. B. Tritium und SF6, notwendig. Hierbei können die Mischungsanteile von „jungen“ (< 50 Jahre) und „alten“ (> 50 Jahre) Grundwasserkomponenten bestimmt werden.

Eine nähere Auswertung zur Altersstruktur von SF6 erfolgt deshalb in Kapitel 6.1 in Kombination mit dem Datierungstracer Tritium.

6. Vernetzende Auswertung der Ergebnisse

Für die vernetzende Analyse der Grundwasserbeschaffenheitsdaten wurden in Abhängigkeit von der Fragestellung, unterschiedliche Untersuchungsparameter ausgewählt und kombiniert ausgewertet. Nachstehende Tabelle 4 gibt eine Übersicht zu den verwendeten Kombinationen und den damit verbundenen Fragestellungen.

Tabelle 4: Vernetzende Auswertungen und die damit verbundenen Fragestellungen

Vernetzende Auswertungen (bzw. verwendete Kombinationen)	Fragestellungen	Kapitel (Anlagen)
Tritium versus SF6	Erfassung der Altersstruktur	6.1 (Anl. 30-32)
Sauerstoff-18 versus Deuterium	Erfassung von Uferfiltrat-Anteilen	6.2 (Anl. 41)
Tritium versus SF6 Sauerstoff-18 versus Deuterium Tritium versus Acesulfam Tritium versus DMS Tritium versus Cl Tritium versus SO4 D-Exzess versus NO3 Sauerstoff-18 versus NO3 D-Exzess versus HCO3 Sauerstoff-18 versus HCO3	Erfassung von Grundwasserkomponenten (sog. „Grundwasserkomponenten-Analyse“)	6.3 (Anl. 30-41)
	Abschätzung der Wechselwirkungen zwischen OGWL, MGWL und den Oberflächengewässern	6.4 (Anl. 30-41)
Sauerstoff-18 und Seevolumen bzw. Deuterium und Seevolumen	Abschätzung der Austauschrate des Sees	6.5 (Anl. 42)

6.1 Kombinierte Auswertung von Tritium und Spurengasen zur Altersbestimmung

Die Spurengasuntersuchungen auf SF6 sollten unterstützend zum Tritium eine kombinierte Auswertung und somit eine detaillierte Erfassung der Grundwasseraltersstruktur ermöglichen. Mit Hilfe der kombinierten Auswertung der beiden Datierungstracer Tritium und SF6 können die Mischungsanteile von „jungen“ (< 68 Jahre nach 3H bzw. < 50 Jahre nach SF6) und „alten“ (> 68 Jahre nach 3H bzw. > 50 Jahre nach SF6) Grundwasserkomponenten bestimmt werden.

Die anhand der Tritiumgehalte abgeleitete Verweilzeit entspricht der Zeit zwischen dem Niederschlagsereignis und der Probenahme, da Tritium (^3H) im Wassermolekül enthalten ist ($^3\text{H}_2\text{O}$).

Dem gegenüber ist die anhand der SF6-Gehalte abgeleitete Verweilzeit die Zeit zwischen der Grundwasserneubildung (Übertritt des Sickerwassers in die gesättigte Zone) und der Probenahme (s. Abb. 7), da sich die SF6-Gehalte in der Sickerwasserphase bis zum Erreichen des Grundwasserspiegels den SF6-Gehalten der ungesättigten Zone anpassen. Das bedeutet, je mächtiger die ungesättigte Zone bzw. je höher der Flurabstand ist, umso größer ist die Differenz zwischen der abgeleiteten Tritium-Verweilzeit und der SF6-Verweilzeit.

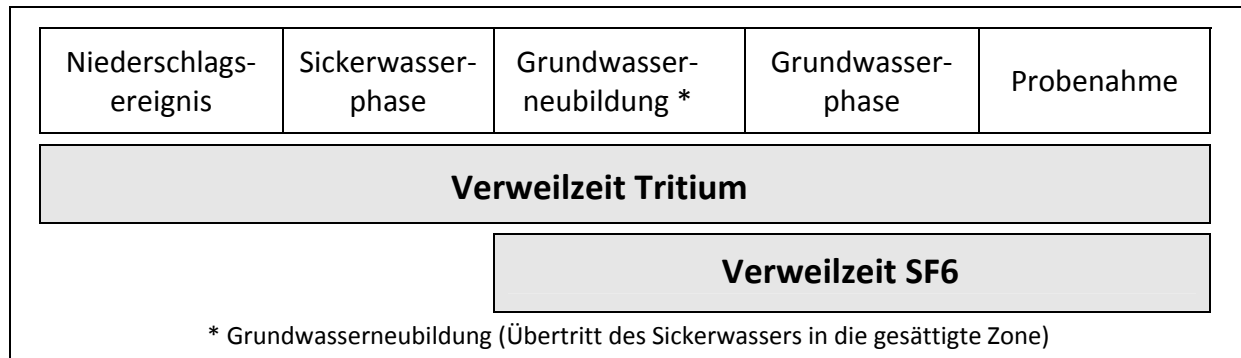


Abbildung 7: Schematischer Vergleich der Tritium- und SF6-Verweilzeit

Im Vergleich mit Tritium, dessen Konzentrationen in der Atmosphäre und im Grundwasser kontinuierlich abnehmen, ist der SF6-Gehalt kontinuierlich steigend.

Für die kombinierte Auswertung von Tritium mit dem Spurengas SF6 wurden auf Grundlage verschiedener Modellansätze jeweils Berechnungen für die mittleren Verweilzeiten (MVZ) des Tritium- und SF6-haltigen Jungwassers vorgenommen und in so genannten Harfendiagrammen mit den Messdaten graphisch dargestellt. Die blauen Linien in den Anlagen 30 bis 32 kennzeichnen beispielsweise die für ein „junges Grundwasser“ zu erwartenden Tritium- und SF6-Gehalte (100 % Jungwasser) im November 2021. Die Projektion auf eine alte, Tritium- und SF6-freie Komponente erlaubt in diesen Harfendarstellungen die Ermittlung von Mischwässern aus jungen und alten (Tritium- und SF6-freien) Grundwässern.

Als Tritium-Input für die verschiedenen Modellberechnungen wurden die niederschlagsgewichteten Tritiumwerte der Messstation Karlsruhe verwendet. Die Inputdaten für SF6 gelten für eine Grundwasserneubildungshöhe von 100 m ü. NN und eine Grundwasserneubildungstemperatur von 11 °C. Es wurden insgesamt 3 Modellansätze berechnet und ausgewertet (s. Tab. 5 sowie Anl. 30 bis 32). Die Mittleren Verweilzeiten auf der blauen Linie (100 % Jungwasser) wurden für den November 2021 berechnet, da in diesem Monat fast alle Probennahmen stattfanden.

Tabelle 5: Übersicht zu den berechneten und dargestellten Modellansätzen

Modellansatz	EMM	EPM 75	EPM 50
$^3\text{H}/\text{SF}_6$	Anlage 30	Anlage 31	Anlage 32

EMM = reines Exponential-Modell (100 %)

EPM = seriell gekoppeltes Exponential-Pistonflow-Modell (EPM)
 mit Exponentialmodell-Anteilen von 75 % (EPM 75) und 50 % (EPM 50)

Anlage 30: EMM (100 % Exponential-Modell)

Das Exponentialmodell geht von einer flächenhaften Grundwasserneubildung ausgehend vom Grundwasserentnahmestandort (Brunnen, Grundwassermessstelle, Quelle) bis zum Rand des Einzugsgebiets der Entnahmestelle aus. Die Gewichtungsfunktion ist eine Exponentialfunktion. Dieser Modellansatz trifft insbesondere für flache Grundwassermessstellen oder Brunnen von flach zirkulierenden Grundwasserkomponenten zu.

Wie die Auswertungen in Anlage 30 zeigen, kommen die beiden Wertepaare der GWM B5 tief (MGWL) und der GWM 9 flach (OGWL) außerhalb der Harfe zum Liegen. Somit ist eine Auswertung hinsichtlich Altersstruktur für diese GWM nach dem EMM-Modellansatz nicht möglich. Für alle anderen GWM und Brunnen ist eine Auswertung jedoch möglich. Eine weitere Ausnahme ist das Wasser des Baggersees Wiesental. Die SF₆-Gehalte des Baggerseewassers sind hier aufgrund des Kontaktes mit der Atmosphäre gegenüber Tritium leicht überhöht. Möglicherweise beeinflusst diese Überhöhung auch die unterstromig liegenden GWM.

Anlagen 31: EPM 75 (75 % Exponential- und 25 % Pistonflow-Modell)

Treten in einem Untersuchungsgebiet gering durchlässige Deck- oder Zwischenschichten auf, die eine lokale Grundwasserneubildung verhindern bzw. stark verzögern, so kann dies modelltechnisch durch serielle Zuschaltung einer PM-Komponente zum EM berücksichtigt werden.

Die graphische Darstellung dazu in Anlage 31 lässt beispielsweise diesen Modellansatz im Vergleich zum EMM als plausibel erscheinen, da alle Wertepaare innerhalb der Harfe oder zumindest in unmittelbarer Nähe zur Harfe liegen. Die einzige Ausnahme ist wieder das Wasser des Baggersees Wiesental, da SF₆ gegenüber Tritium leicht überhöht ist.

Anlagen 32: EPM 50 (50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell)

Mit Erhöhung des Pistonflow-Modell-Anteils auf 50 % reduziert sich der Anteil an lokaler Grundwasserneubildung im näheren Umfeld der Messstellen. Der Anteil an Grundwasserkomponenten aus weiter entfernten Bereichen nimmt hingegen zu, weshalb dieser Modellansatz insbesondere für die tiefen GWM des MGWL geeignet sein könnte.

Wie die Auswertungen in Anlage 32 zeigen, kommen auch hier, mit Ausnahme der zwei Proben des Baggersees Wiesental, alle Wertepaare innerhalb der Harfe zum Liegen. Mit diesem Modellansatz wäre somit, wie auch beim Modellansatz EPM 75, für alle Messstellen eine Auswertung hinsichtlich Altersstruktur möglich.

Auswertung der Alterstruktur anhand der ³H/SF₆-Wertepaare (Tab. 6)

Mit Hilfe der modellierten ³H/SF₆-Harfen können die Grundwässer quantitativ als Mischwässer beschrieben werden, indem der Anteil an „Jungwasser“ (in Tab. 6 mit Kürzel „JW“, Grundwasserkomponenten mit Mittleren Verweilzeiten von < 70 Jahre) und der Anteil an „> 70 Jahre alten Grundwasserkomponenten“ abgeschätzt werden kann. Die Harfenmodellierung erlaubt zudem die Bestimmung der Mittleren Verweilzeit der jungen Grundwasserkomponente (MVZ).

In Tabelle 6 sind die Wertepaare aus den Anlagen 30 bis 32 rein formalistisch für jeden Modellansatz je Grundwasserprobe ausgewertet. Diese Auswertung berücksichtigt keine weiteren Kenntnisse und hydrogeologischen Bedingungen. Mit Ausnahme der GWM B9 flach und der Seeproben vom November 2021 zeigen sich insgesamt plausible Ergebnisse bei den Auswertungen. Der Modellansatz EPM 75 eignet sich insbesondere zur Bestimmung der Altersstruktur.

Tabelle 6 Ergebnisse der kombinierten Auswertung von Tritium und SF6
(Jungwasseranteile, Mittlere Verweilzeit des Jungwassers)

Modellansatz	EMM (Anl. 30)	EPM 75 (Anl. 31)	EPM 50 (Anl. 32)
Messstelle	Auswertung der Altersstruktur mittels Kombination 3H-SF6		
Grundwassermessstellen OGWL im Zu- und Seitstrom des Baggersees Wiesental			
B8 flach (10.11.2021)	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a
B9 flach (10.11.2021)	nicht auswertbar	JW: 85 - 100 %; MVZ: 40 - 55 a	JW: 75 - 90 %; MVZ: 32 - 38 a
P6 F (13.11.2021)	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 11 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 10 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 11 a
Grundwassermessstellen MGWL im Zu- und Seitstrom des Baggersees Wiesental			
B8 tief (10.11.2021)	JW: 0 - 20 %; MVZ: 50 - 70 a	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 15 %; MVZ: 30 - 70 a
B9 tief (10.11.2021)	JW: 0 - 10 %; MVZ: 50 - 70 a	JW: 0 - 10 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 10 %; MVZ: 30 - 70 a
156/308-5 (T) (13.11.21)	JW: 0 - 20 %; MVZ: 50 - 70 a	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 15 %; MVZ: 30 - 70 a
P6 T (13.11.2021)	JW: 0 - 10 %; MVZ: 50 - 70 a	JW: 0 - 10 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 10 %; MVZ: 30 - 70 a
Baggersee Wiesental			
See (SW) 10 m (30.04.21)	nicht auswertbar	nicht auswertbar	nicht auswertbar
See (SW) 10 m (11.11.21)	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 11 a	JW: 85 - 100 %; MVZ: 1 - 11 a	JW: 85 - 100 %; MVZ: 1 - 12 a
See (NO) 10 m (11.11.21)	nicht auswertbar	nicht auswertbar	nicht auswertbar
Grundwassermessstellen OGWL im Abstrom des Baggersees Wiesental			
B1 flach (10.11.2021)	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a
B5 flach (30.04.2021)	JW: 70 - 80 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 15 a	JW: 75 - 100 %; MVZ: 1 - 15 a
B5 flach (10.11.2021)	JW: 70 - 85 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 15 a	JW: 75 - 100 %; MVZ: 1 - 16 a
Grundwassermessstellen MGWL im Zu- und Seitstrom des Baggersees Wiesental			
B1 tief (30.04.2021)	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 15 %; MVZ: 30 - 70 a
B1 tief (10.11.2021)	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 20 %; MVZ: 40 - 70 a	JW: 0 - 15 %; MVZ: 30 - 70 a
B5 tief (30.04.2021)	nicht auswertbar	JW: 40 - 70 %; MVZ: 60 - 70 a	JW: 25 - 45 %; MVZ: 50 - 60 a
B5 tief (10.11.2021)	nicht auswertbar	JW: 40 - 60 %; MVZ: 60 - 70 a	JW: 25 - 35 %; MVZ: 40 - 50 a
Trinkwasserbrunnen Philippsburg			
Br. 1 Philippsburg (11/2021)	JW: 70 - 85 %; MVZ: 13 - 15 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 15 - 21 a	JW: 80 - 100 %; MVZ: 15 - 21 a
Br. 2 Philippsburg (11/2021)	JW: 80 - 100 %; MVZ: 1 - 14 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 1 - 13 a
Br. 3 Philippsburg (11/2021)	JW: 80 - 90 %; MVZ: 17 - 21 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 19 - 25 a	JW: 90 - 100 %; MVZ: 18 - 23 a

JW = „Jungwasser“ (Grundwasserkomponenten mit Mittleren Verweilzeiten < 60 Jahre)

MVZ = Mittlere Verweilzeit der jungen Grundwasserkomponente

An der GWM B9 flach (OGWL) fällt der geringe SF6-Gehalt von $1,0 \pm 0,2$ fmol/l gegenüber dem vergleichsweise unauffälligen Tritiumgehalt von $5,4 \pm 0,7$ TU auf. Tritiumgehalte zwischen etwa 3,7 TU und 6,3 TU sind charakteristisch für den OGWL (Kap. 5.3.2). Der SF6-Gehalte von $1,0 \pm 0,2$ fmol/l liegt jedoch deutlich unterhalb des SF6-Spektrums für den OGWL mit 2,7 bis 5,0 fmol/l (Kap. 5.4.1). Für die GWM B9 flach deutet sich an, dass der ursprünglich höhere SF6-Gehalt aufgrund von Redoxreaktionen bei der Uferpassage am Bauer-See reduziert ist. Hinweise hierfür liefert der vergleichsweise geringe Sauerstoffgehalte und/oder die Redoxspannung.

An der GWM B9 flach liegt der gemessene Sauerstoffgehalt bei $< 0,1$ mg/l und die Redoxspannung bei +135 mV. Im Vergleich dazu ist an der ebenfalls im Zustrom befindlichen GWM B8 flach ein deutlich höherer Sauerstoffgehalt von 1,0 mg/l und eine leicht höhere Redoxspannung von 146 mV festzustellen. Alternativ könnte die Veränderung beim SF6-Gehalt an der GWM B9 flach auch auf Einflüsse durch Pyritoxidation zurück zu führen sein (s. Kap. 5.2.1). Die rein formalistischen Auswertungen zu GWM B9 flach in Tabelle 6 sind insgesamt als unplausibel anzusehen, da JW-Anteile von 0 bis 10 % und MVZ der JW-Anteile von 30 bis 70 Jahren mit den mehr als deutlich nachweisbaren Acesulfam-Konzentrationen von 1400 ng/l nicht in Einklang zu bringen sind. Der Süßstoff Acesulfam wird von der Lebensmittelindustrie erst seit Ende der 1990-er Jahre eingesetzt. Vermutlich liegt der ursprüngliche SF6-Gehalt der GWM B9 flach im Bereich der B8 flach, was dann JW-Anteile von 80 - 100 % und MVZ von 1 - 13 Jahren anzeigt.

Für die Baggerseewässer vom November 2021 (SW und NO) mit SF6-Gehalten von $4,4 \pm 0,5$ fmol/l deutet sich aufgrund des Kontaktes zwischen dem Seewasser und der Atmosphäre eine Veränderung gegenüber dem ursprünglichen SF6-Gehalt an. Der ursprüngliche SF6-Gehalt des in den See einströmenden Grundwassers liegt nach der Zustrommesstelle GWM B8 flach bei $3,5 \pm 0,4$ fmol/l und somit deutlich geringer. Ursache für die Veränderung des SF6-Gehaltes ist, dass sich durch den o. g. Kontakt der SF6-Gehalt des Seewassers entsprechend der Temperatur und der Höhenlage neu einstellt (d.h. die Uhr fängt für SF6 wieder neu an zu ticken, während bei Tritium der Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses nach wie vor den Start bestimmt; siehe Abb. 7). Bei Oberflächengewässerproben ist es deshalb nicht ausgeschlossen, dass die $^3\text{H}/\text{SF}_6$ -Wertepaare außerhalb der Harfe zum Liegen kommen. Für das Baggerseewasser deutet sich ein realistischer Jungwasseranteil von 85 bis 100 % an. Die Mittlere Verweilzeit der Jungwasserkomponente liegt bei etwa 1 bis 15 Jahren, vergleichbar der MVZ des OGWL. Die SF6-Überhöhung des Baggerseewassers könnte sich auch auf die unterstromig liegenden GWM B1 flach und B5 flach auswirken. Eine markante SF6-Überhöhung oder eine markante SF6-Reduzierung, vergleichbar B9 flach, ist jedoch bei beiden GWM nicht angezeigt.

Der vergleichsweise hohe Anteil an „> 70 Jahre alten GW-Komponenten“ von bis zu 30 % an der GWM B5 flach ist vermutlich auf den vergleichsweise tief reichenden Ausbau, bis in den OZH/ggf. auch MGWL hinein, zurück zu führen. Die GWM B5 tief (MGWL) fällt ihrerseits durch vergleichsweise hohe Anteile an „Jungwasser“ auf (25 bis 70 %), was ebenfalls mit dem Ausbau der GWM B5 flach in Verbindung stehen könnte (s. Filterbereich B5 flach und B5 tief in Abb. 3). Auch hydrochemisch fällt die GWM B5 tief durch vergleichsweise hohe Sulfatgehalte auf. Insgesamt deuten sich an der Doppelmessstelle B5 flach / B5 tief erhöhte Wechselwirkungen zwischen OGWL und MGWL an, die vermutlich auf den Ausbau zurück zu führen sind. Alternativ könnten hydraulische Fenster die Ursache dafür sein. An der tiefen GWM 135/257-8 (MGWL) deutet sich der gleiche Effekt an, da auch hier ein vergleichsweise hoher Tritiumgehalt von $2,7 \pm 0,8$ TU festzustellen ist. Hydrochemisch lassen sich jedoch zwischen den beiden GWM 136/275-2 (OGWL) und 135/257-8 (MGWL) keine markanten Wechselwirkungen erkennen.

Nach den vorliegenden Auswertungen zur Altersstruktur in Tab. 6 sind für den OGWL (GWM als auch Baggersee Wiesental) Jungwasseranteile von etwa 80 bis 100 % angezeigt. Die Mittleren Verweilzeiten des Jungwassers liegen in der Größenordnung von 1 bis 15 Jahren. Lediglich an den Trinkwasserbrunnen – Br. 1 Philippsburg und Br. 3 Philippsburg – sind etwas höhere MVZ von bis zu 25 Jahren festzustellen. Eine weitere Ausnahme im OGWL ist GWM B5 flach (s.o.).

Im MGWL dominieren die „> 70 Jahre alten GW-Komponenten“ mit Anteilen von etwa > 80 %. Die JW-Anteile liegen somit bei maximal 20 %. Die MVZ des JW liegt in der Größenordnung von 30 bis 70 Jahren. Ausnahmen im MGWL sind die GWM B5 tief und 135/257-8 (T), siehe oben.

Tabelle 7: Seewasseranteile an den Grundwassermessstellen und Trinkwasserbrunnen
(grafische Auswertung anhand Anlage 41)

Einstufung Seewasseranteil	Messstellen OGWL	Messstellen MGWL	Messstellen Oberflächengewässer
ohne erkennbare Anteile 0 %	138/308-3 (F): 0 % Bereg.-br. Zustrom 1 (F): 0 %, B8 flach: 0 %, B9 flach: 0 % 6003/307-9 (F): 0 % 147/308-4 (F): 0 % P5 F: 0 % P6 F: 0 % 111/257-9 (F): 0 % 60/307-5 (F): 0 % 6716/69 (F) 20.11.21: 0 % 136/257-2 (F): 0 % 108/257-5 (F): 0 %	B8 tief: 0 % B9 tief: 0 % 156/308-5 (T) : 0 % P5 T: 0 % P6 T: 0 % 135//257-8 (T) : 0 %	Saalbach 0 %, Saugraben 0 %, Wagbach 0 %,
Anteile von ca. 5 %	180/257-5 (F): 5 %	B1 tief: 5 % B5 tief: 5 %	
Anteile von 10 % bis ca. 20 %	Br. 1 Philippsburg: 10 % 119/307-5 (F): 10 % 6716/69 (F): 10 % Br. 2 Philippsburg: 15 % Br. 3 Philippsburg: 15 % 6716/49 (F): 15 % 7523/257-0 (F) 20.12.2021: 15 %		
Anteile von 20 % bis ca. 50 %	6716/97 (F): 20 % 7523/257-0 (F) 13.11.2021: 30 % Bereg.-br. Abstrom 1 (F): 30 % 261/307-0 (F) Br. Schmitt: 35-45 % 61/307-0 (F): : 40 - 45 %		
Anteile von 50 % bis ca. 70 %	B8 flach: 55 - 70 % 6717/262: 70 %		
Anteile von 70 % bis ca. 90 %	64/307-7 (F): 75 % * 6717/791 (F): 80-85 % * 6717/792 (F): 80-85 % * B1 flach: 85 %		
Anteile von 90 % bis 100 %	6002/307-3 (F): 95 % 6004/307-4 (F): 100 % 6005/307-0 (F): 100 %		

* Die Seewasseranteile an den GWM 6717/791 (80-85 %), 6717/792 (80-85 %) und 64/307-7 (75 %) sind auf Einflüsse durch Bauer-See-Uferfiltrat zurück zu führen.

6.2 Erfassung von Seewasseranteilen im Grundwasser unterstromig des Baggersees

Mit Hilfe der kombinierten Auswertung zu den Wertepaaren $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ und dem daraus berechenbaren Deuterium-Exzess können die Seewasseranteile im Grundwasser unterstromig des Baggersees Wiesental und Bauer-Sees erfasst werden.

In Kapitel 5.3.1 wurden die Messstellen anhand der analysierten Wertepaare $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ und dem daraus berechenbaren Deuterium-Exzess bereits wie folgt untergliedert.

$^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des lokalen Grundwassers:

Die Grundwässer und Oberflächengewässer der Gruppe 1 in Kap. 5.3.1 sind im wesentlichen lokal über die Niederschläge im Rheintal neugebildet (sog. „lokale $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur“). An diesen Wässern sind keine Verdunstungseinflüsse zu erkennen.

Die „**Mittlere Isotopensignatur des lokalen Grundwassers**“ ist wie folgt charakterisiert:

Deuterium-Exzess: 9,0 ‰	Sauerstoff-18 (^{18}O): -8,50 ‰	Deuterium (^2H): -59,0 ‰
-------------------------	--	-------------------------------------

$^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des Seewassers vom Baggersee Wiesental:

Die $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des Seewassers vom Baggersee Wiesental ist durch Verdunstungsprozesse deutlich überprägt.

Die „**Mittlere Isotopensignatur des Seewassers vom BS Wiesental**“ ist wie folgt charakterisiert.

Deuterium-Exzess: -1,0 ‰	Sauerstoff-18 (^{18}O): -5,25 ‰	Deuterium (^2H): -43,0 ‰
--------------------------	--	-------------------------------------

Da somit beide Endglieder gut bekannt sind, die „Mittlere Isotopensignatur des Seewassers vom Baggersee Wiesental“ und die „Mittlere Isotopensignatur des lokalen Grundwassers“, kann für die Grundwasserproben im Abstrom des Baggersees der prozentuale Seewasseranteil mittels einer einfachen linearen Mischungsrechnung bestimmt werden (Tab. 7). Das Ausmaß der Isotopenfraktionierung (Differenz zwischen $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des Seewassers und $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des lokalen Grundwassers) liegt bei 3,25 ‰ (^{18}O) bzw. 16 ‰ (^2H).

Auswertung der Seewasseranteile anhand der $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Wertepaare (Tab. 7)

Im oberen Grundwasserleiter (OGWL) ist nach den vorliegenden Untersuchungen ein nach NNW reichender Einflussbereich mit Seewasseranteilen angezeigt, der bis zu den beiden flachen Brunnen Philippsburg reicht (Br. 1 Philippsburg: 10 % Seewasseranteil; Br. 2 Philippsburg: 15 % Seewasseranteil; jeweils OGWL; vgl. Anlage 41). Die relativ weit reichende Ausbreitung des Seewassers konnte auch am tiefen Br. 3 Philippsburg (OGWL, OZH und MGWL) mit einem vergleichbaren Anteil von 15 % nachgewiesen werden, was für den Brunnen 3 hohe Zustromanteile aus dem OGWL anzeigt. Zur Überprüfung dieser Hinweise, werden in den Kapiteln 6.3 und 6.4 weitere vernetzende Auswertungen durchgeführt.

Im näheren Umfeld des Sees sind unterstromig im MGWL vergleichsweise geringe Seewasseranteile von nur ca. 5 % festzustellen (GWM B5 tief (MGWL) und GWM B1 tief (MGWL)). An den jeweils benachbarten flachen Messstellen sind hingegen deutlich höhere Seewasseranteile nachzuweisen (GWM B5 flach (OGWL): 50-55 % und GWM B1 flach (OGWL): etwa 85 %).

Auf Basis der Ergebnisse zu den flachen Messstellen GWM 111/257-9 (F), 136/257-2 (F), P5 flach und P6 flach (jeweils OGWL) sowie den tiefen Messstellen GWM 135/257-8 (T), P5 tief und P6 tief (jeweils MGWL) ist eine weitere Ausbreitung von Seewasser in Richtung Westen (Richtung Brunnenstandort Neudorf-Huttenheim) nicht angezeigt.

Deutliche Einflüsse von Uferfiltrat zeigen auch die beiden GWM 6817/791 (OGWL) und 6817/792 (OGWL) im Zu- und Seitstrom des Baggersees Wiesental (ca. 85 %). Die Lage der beiden Messstellen legt nahe, dass es sich hier um Uferfiltrat des Bauer-Sees handelt.

Die flächige Verbreitung der Sauerstoff-18- und Deuterium-Exzess-Gehalte, ist in den Anlagen 28 und 29 dokumentiert und dargestellt. In Anlage 44 wurde daraus die flächenhafte Verbreitung der Seewasseranteile abgeleitet.

Da die Seewasseranteile an den Trinkwasserbrunnen Philippsburg mit ca. 10 bis 15 % (vgl. Tabelle 7 sowie Anl. 41 und 44) in einer mit den umliegenden Messstellen 6716/49 (F), 7523/257-0 (F) und 6716/69 (F) vergleichbaren Größenordnung liegt, lässt sich daraus ableiten, dass sich die Brunnen Philippsburg bei den aktuellen Untersuchungen vom Jahr 2021 im zentralen Abstrombereich des Baggersees Wiesental befinden. Bereits etwas weiter westlich, an der flachen GWM 108/257-5 (F), können keine Seewassereinflüsse mehr festgestellt werden. Am weiter östlich liegenden Brauchwasserbrunnen der Jagdgesellschaft Wiesental eV (6716/97) können hingegen Seewasseranteile von etwa 20 % festgestellt werden. Nähere Aussagen zur Grenze zwischen Einflussbereich Baggersee Wiesental-Uferfiltrat und Bauer-See-Uferfiltrat folgt in Kapitel 7.

6.3 Auswertungen zur Grundwasser-Komponentenanalyse

Für eine nähere Charakterisierung der Beschaffenheit der Grundwässer der verschiedenen Grundwasserstockwerke (OGWL und MGWL) sowie zur Beschreibung der Austauschprozesse zwischen den Grundwasserstockwerken und dem Baggersee wurden unterschiedliche Kombinationen zwischen hydrochemischen, isotopehydrologischen und spurengasspezifischen Parametern durchgeführt.

Für die vernetzende Analyse der Grundwasserbeschaffenheitsdaten wurden die untersuchten Parameter in zahlreichen Korrelationsdiagrammen grafisch miteinander in Beziehung gestellt. Dabei zeigte sich, dass die Wertepaare keine zufällige Verteilung aufweisen, sondern in linearer Beziehung zueinander stehen (sog. Mischungslinien, insbesondere bei Sauerstoff-18 und Deuterium, wie in Anlage 41 dargestellt und in Kap. 6.2 ausgewertet) und durch einzelne charakteristische Endglieder begrenzt sind (z.B. durch Anzeigerparameter wie Acesulfam oder DMS, wie in den Anlagen 33 bis 36 dargestellt). Darüber hinaus ergaben sich auch charakteristische räumliche Beziehungen.

Die Auswertungen hinsichtlich der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Grundwasserkomponenten wurden mit Hilfe der Anlagen 30 bis 41 durchgeführt. In Tabelle 8 sind die Ergebnisse dazu zusammengestellt.

Aussagekräftige Parameter sind insbesondere Tritium, SF₆, Sauerstoff-18, Deuterium sowie Chlorid, Sulfat, Nitrat, Acesulfam-K und DMS.

Insgesamt können anhand der kombinierten Betrachtung der untersuchten Parameter 7 Grundwasserkomponenten voneinander unterschieden werden:

Komponente 1: Altes Grundwasser MGWL

Tritium-freie ($< 0,6$ TU) oder annähernd Tritium-freie (jeweils $0,7 \pm 0,4$ TU) Grundwässer bzw. SF6-freie ($< 0,1$ fmol/l) oder annähernd SF6-freie (jeweils $0,2 \pm 0,1$ fmol) Grundwässer konnten nur im MGWL festgestellt werden. An diesen GWM dominieren Grundwässer, die vor über 70 Jahren neugebildet wurden. Sogenanntes Jungwasser kann hier nur zu einem geringen Anteil von bis zu 20 % enthalten sein.

Im MGWL ist Acesulfam (< 20 ng/l), DMS (< 20 ng/l) und Nitrat ($< 0,2$ mg/l) nicht nachweisbar.

Die insgesamt geringen Konzentrationen an Natrium, Chlorid, Kalium und Sulfat sind charakteristisch für den MGWL und belegen eine gute Geschützttheit vor landwirtschaftlichen und urbanen Einflüssen (7 bis 17 mg/l Na; 8 bis 32 mg/l Cl; ca. 2 mg/l K; 71 bis 110 mg/l SO₄).

Anhand der Sauerstoff-18-, Deuterium- und Deuterium-Exzess-Gehalte lassen sich die Grundwasserproben aus dem MGWL nicht eindeutig von denen aus dem OGWL unterscheiden.

Komponente 2: Junges Grundwasser (OGWL) ohne oder nur mit geringem Einfluss durch DMS

Der OGWL ist durch ein Tritiumspektrum zwischen etwa 3,7 TU und 6,3 TU charakterisiert. Diese Tritium-Gehalte liegen im Bereich der aktuellen Niederschläge, was eine Dominanz junger Grundwässer mit Verweilzeiten von Monaten bis maximal 70 Jahren anzeigt. Auch das für den OGWL typische SF6-Spektrum von etwa 2,7 fmol/l bis 4,9 fmol/l entspricht dem Bereich von „jungen“ Grundwässern der letzten 30 Jahre, was insgesamt eine geringe Geschützttheit belegt.

Die DMS-Gehalte der Komponente 2 liegen zwischen < 20 ng/l und maximal 130 ng/l.

An den GWM des OGWL dieser Komponente können deshalb auch Acesulfam-Konzentrationen von nicht nachweisbar (< 10 ng/l) bis 2100 ng/l auftreten. Die teilweise massiv erhöhten Konzentrationen an Acesulfam belegen hohe Einflüsse durch urbane Abwässer. Die Acesulfam-Konzentrationen an den Brunnen Philippsburg liegen zwischen 80 und 100 ng/l.

Die Komponente 2 ist durch ein vergleichsweise breites Konzentrationenspektrum an Natrium, Chlorid, Kalium und Sulfat charakterisiert, was lokal auf landwirtschaftliche und urbane Einflüsse zurück zu führen ist (11 bis 39 mg/l Na; 19 bis 65 mg/l Cl; ca. 2 bis 6 mg/l K; 71 bis 220 mg/l SO₄). Deshalb sind in Zusammenhang mit der Komponente 2 auch die höchsten SO₄-Gehalte aufgrund von Düngung und Beregnung festzustellen (GWM B9 flach mit 220 mg/l SO₄ und B5 flach mit 180-200 mg/l SO₄; s. Anl. 15). Die vergleichsweise hohen Konzentrationen belegen für den OGWL eine geringe Geschützttheit vor landwirtschaftlichen und urbanen Einflüssen.

An den Brunnen Philippsburg sind dem entgegen vergleichsweise geringe bis moderate Konzentrationen an Natrium, Chlorid und Sulfat festzustellen.

Komponente 3: Junges Grundwasser (OGWL) mit massivem Einfluss durch DMS

Die Grundwasser-Komponente 3 ist durch auffällig hohe DMS-Gehalte zwischen 630 und 2000 ng/l charakterisiert (vgl. Anl. 19: 7523/257-0: 2000 ng/l; 6716/69: 1000 ng/l; 6716/49: 850 ng/l; 6716/97: 630 ng/l).

Alle 4 Messstellen liegen westlich und somit unterstromig der Eisenbahntrasse. Die räumliche Auswertung der Ergebnisse zum DMS legt nahe, dass im Bereich der Bahntrasse die Herkunft und somit Ursache für die hohen DMS-Gehalte an den Brunnen Philippsburg mit 430 bis 550 ng/l liegen könnte. Die vergleichsweise hohen DMS-Gehalte an den Brunnen Philippsburg deuten auf hohe Anteile dieser Grundwasserkomponente hin.

Alle anderen Parameter der Komponente 3 sind mehr oder weniger wie bei Komponente 2.

Komponente 4: Duttbacher Graben-Uferfiltrat

Der Duttbacher Graben ist durch den Süßstoff Acesulfam sehr deutlich markiert (200.000 ng/l). Da die Bestimmungsgrenze von Acesulfam bei 20 ng/l liegt, lässt sich theoretisch schon 1 ‰ an Duttbacher Graben-Uferfiltrat im Grundwasser erkennen. Zudem ist der Duttbacher Graben durch erhöhte Borgehalte von 314 µg/l charakterisiert. Die DMS-Konzentration von 90 ng/l liegt hingegen auf einem vergleichsweise geringen und somit unauffälligen Niveau.

Der Duttbacher Graben ist durch die höchsten Konzentrationen an Natrium, Chlorid und Kalium charakterisiert (180 mg/l Na; 150 mg/l Cl; 23 mg/l K). Der SO₄-Gehalt von 160 mg/l ist auf einem durchschnittlichen Niveau.

Komponente 5: Saalbach-, Saugraben-, Wagbach-Uferfiltrat

Die Oberflächengewässer Saalach, Saugraben und Wagbach sind deutlich durch Acesulfam und Kalium markiert (560 ng/l bis 760 ng/l Acesulfam bzw. 9 bis 12 mg/l Kalium). DMS ist auf einem vergleichsweise geringen Niveau von 60 ng/l nachweisbar.

Die Na/Cl-Gehalte der drei Fließgewässer (26 bis 30 mg/l Na; 62 bis 70 mg/l Cl) sind insgesamt unauffällig, ebenso die SO₄-Gehalte mit 160 mg/l.

Komponente 6: Baggersee Wiesental-Uferfiltrat

Der Baggersee Wiesental ist durch vergleichsweise isotopisch schwere ¹⁸O-Gehalte von -5,4 ‰ bis -5,1 ‰, ²H-Gehalte von -44 ‰ bis -42 ‰ und D-Exzess-Gehalte von ca. 1 ‰ charakterisiert.

Der Süßstoff Acesulfam ist im Baggersee Wiesental mit 90 bis 160 ng/l nachweisbar. Die geringen DMS-Gehalte von 40 ng/l liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze.

Die Tritium- und SF₆-Gehalte liegen im Bereich der Gehalte von Komponente 2 (OGWL).

Die Konzentrationen an Natrium, Chlorid und Sulfat (14 bis 16 mg/l Na; 28 bis 31 mg/l Cl; 130 bis 150 mg/l SO₄) sind insgesamt unauffällig. Die Nitratgehalte sind gering (< 0,2 bis 1,6 mg/l).

Komponente 7: Bauer-See-Uferfiltrat

Die Unterschiede in der Beschaffenheit der beiden Seen sind in Anlage 44 aufgeführt. Im wesentlichen lassen sich die beiden Seen durch Acesulfam unterscheiden (um Faktor 4). Natrium, Kalium, Chlorid und DMS unterscheiden sich nur leicht. Die ¹⁸O-/²H-Gehalte des Bauer-Sees sind mit ca. -5,5 ‰ bis -5,4 ‰ bzw. -45 ‰ im Vergleich zum BS Wiesental etwas isotopisch leichter.

Tabelle 8: Charakterisierung der Grundwasserkomponenten anhand von Leitparametern

Komponenten	Bezeichnung Referenz-Messstellen	Charakterisierung / Leitparameter (Konz.) n.n. = nicht nachweisbar
Komponente 1 (Grundwasser)	Altes Grundwasser (MGWL) B8 tief B9 tief 156/308-5 (T) P5 T P6 T	Tritium: < 0,6 bis 1,1 TU SF6: < 0,1 bis 0,3 fmol/l Acesulfam-K, n.n.: < 10 bzw. < 20 ng/l DMS, n.n.: < 20 ng/l Nitrat, n.n.: < 0,2 mg/l Natrium vgl. gering: 7 bis 17 mg/l Kalium vgl. gering: ca. 2 mg/l Chlorid vgl. gering: 8 bis 32 mg/l Sulfat vgl. gering: 71 bis 110 mg/l Sauerstoff-18: -8,65 bis -8,3 ‰
Komponente 2 (Grundwasser)	Junges Grundwasser (OGWL) ohne/geringer Einfluss durch DMS 138/308-3 (F), BBr. ZS 1 (F) B8 flach, B9 flach 6003/307-9 (F) 147/308-4 (F), P5 F, P6 F 111/257-9 (F), 60/307-5 (F) 136/257-2 (F), 108/257-5 (F)	Tritium: 3,7 bis 6,3 TU SF6: 2,7 bis 4,9 fmol/l DMS ohne / gering: < 20 bis 130 ng/l Acesulfam-K: < 10 bis 2100 ng/l Natrium vgl. hoch: 11 bis 39 mg/l Kalium vgl. hoch: 2 bis 6 mg/l Chlorid vgl. hoch: 19 bis 65 mg/l Sulfat vgl. hoch: 71 bis 220 mg/l Sauerstoff-18: -8,65 bis -8,3 ‰
Komponente 3 (Grundwasser)	Junges Grundwasser (OGWL) mit sehr hohem Einfluss durch DMS (s. Anl. 19) 7523/257-0, 6716/69, 6716/49, 6716/97	DMS, sehr hoch: 630 bis 2000 ng/l Tritium, SF6 wie Komponente 2 Acesulfam-K, Natrium, Kalium, Chlorid, Sulfat, Sauerstoff-18 wie Komponente 2
Komponente 4 (Oberflächen- Wasser)	Duttlacher-Graben- Uferfiltrat „jung“, OGWL	Acesulfam-K, sehr hoch: 200.000 ng/l Bor, sehr hoch: 314 µg/l Natrium, hoch: 180 mg/l Chlorid, hoch: 150 mg/l Kalium, hoch: 23 mg/l DMS: 90 ng/l Sulfat, Sauerstoff-18 wie Komponente 2
Komponente 5 (Oberflächen- Wasser)	Saugraben- Saalbach- Wagbach- Uferfiltrat „jung“, OGWL	Acesulfam-K, hoch: 560 bis 760 ng/l Kalium hoch: 9 bis 12 mg/l DMS: 60 ng/l Natrium vgl. hoch: 26 bis 30 mg/l Chlorid vgl. hoch: 62 bis 70 mg/l Sulfat, Sauerstoff-18 wie Komponente 2
Komponente 6 (Oberflächen- Wasser)	Baggersee Wiesental- Uferfiltrat „jung“ OGWL	Sauerstoff-18: -5,4 bis -5,1 ‰ Acesulfam-K: mäßig 90 bis 160 ng/l Tritium, SF6, DMS, Sulfat, Natrium, Kalium und Chlorid wie Komponente 2
Komponente 7 (Oberflächen- Wasser)	Bauer-See-Uferfiltrat „jung“, OGWL	Sauerstoff-18: -5,5 bis -5,4 ‰ Acesulfam-K: hoch 410 ng/l DMS, Sulfat, Natrium, Kalium und Chlorid wie Komponente 2

6.4 Auswertungen zu Wechselwirkungen OGWL – MGWL – Oberflächengewässer

Beurteilung zum „Reaktionsraum“ Nitratabbau unterstromig des Baggersees Wiesental:

Da der Bestandssee in einer Landschaft liegt, in der stark reduzierte, weitgehend nitratfreie Grundwässer auftreten, sollte anhand von flächenhaften Nitratuntersuchungen geklärt, ob und inwieweit das abströmende Uferfiltrat Nitrat-haltig ist und wie sich das Grundwasser unterstromig des Sees hinsichtlich Nitrat verändert. Da sich die reduzierenden Grundwasserverhältnisse hier noch nicht wieder in vollem Umfang eingestellt haben, könnte ein „Reaktionsraum“ für den Nitratabbau westlich des Sees vorhanden sein. Die Wechselwirkung zwischen Seeinfluss und den Nitratgehalten im Grundwasser sind mittels vernetzender Auswertung von Nitrat und den Gehalte an stabilen Isotopen des Wassers (Untersuchungsparameter zur Erfassung von Uferfiltrat) in den Anlagen 37 und 38 dargestellt.

Aus der flächenhaften Verbreitung der Nitrat-Konzentrationen in Anlage 27 kann abgeleitet werden, dass im OGWL an vier Messstellen im näheren Abstrom des Baggersees Wiesental kein Nitrat ($< 0,2$ mg/l) oder nur Spuren von Nitrat (bis 2 mg/l NO_3) nachweisbar sind (6004/307-4; 6005/307-0; 6717/262 und B5 flach). An zwei benachbarten GWM im OGWL konnten jedoch auch NO_3 -Konzentrationen von 9 bis 15 mg/l festgestellt werden (6002/307-3: 9 mg/l; B1 flach: 14-15 mg/l). Der insgesamt höchste Nitratgehalt unterstromig des Baggersees Wiesental ist an der GWM 6716/97 mit 63 mg/l nachzuweisen. Zwischen dieser Messstelle und dem Baggersee Wiesental herrscht intensive landwirtschaftliche bzw. gartenbauliche Nutzung mit Flächenbearbeitung für die Sonderkulturen vor (wie z. B. am Spargel- und Beerenhof Jörg Schreiber). Das Thema Pyritoxidation und Reaktionsraum wird in Kapitel 7 näher diskutiert.

Im näheren Abstrom des Bauer-Sees sind ebenfalls nur geringe Nitratgehalte festzustellen. Auch hier sind erst im weiteren Abstrom, an den Messstellen 261/307-1 und 61/307-0, höhere NO_3 -Konzentrationen in der Größenordnung von 26 bis 30 mg/l festzustellen.

Eine „Nitrat-Fahne“ lässt sich demnach im näheren Abstrom der Seen nicht erkennen (Anl. 45). Im weiteren Abstrom lassen sich lokale Überhöhungen erkennen. Tendenziell zeigt sich jedoch für den OGWL, dass die Nitratgehalte zwischen dem Baggersee im SO und den im NW gelegenen Brunnen der öffentlichen Wasserversorgung sowie der dortigen gewerblichen und privaten Brunnen leicht ansteigen. Die lokalen Überhöhungen reichen nicht bis an die Brunnen heran.

Beurteilung zum „Reaktionsraum“ Nitratabbau im MGWL

Die Auswertung zum MGWL unterstromig des Baggersees Wiesental zeigt (siehe Konzentrationen in Anl. 27), dass die beiden Abstrommessstellen im MGWL, B1 tief und B5 tief, jeweils NO_3 -frei sind ($< 0,2$ mg/l). Dies zeigt, wie auch schon die geringen Seewasseranteile vermuten lassen (ca. 5 %), dass aktuell trotz hydraulisch möglicher Einflüsse durch den See auf das Grundwasser im Abstrombereich keine wesentliche Beeinflussung auf den MGWL erkennbar ist.

Beurteilung zum „Reaktionsraum“ Aufhärtung unterstromig des Baggersees Wiesental:

Aus den Anlagen 39 und 40 ist zu entnehmen, wie die Seewasseranteile und die Konzentrationen an Hydrogenkarbonat in Verbindung stehen. Mit zunehmender Abnahme der Seewasseranteile ist eine zunehmende Aufhärtung der Grundwasserproben angezeigt. Eine Differenzierung von Baggersee Wiesental-Uferfiltrat und Bauer-See-Uferfiltrat ist, wie auch schon bei den stabilen Isotopen, nicht eindeutig möglich. Mit Hilfe der Konzentrationen zum Hydrogenkarbonat lassen sich die Uferfiltratanteile der GWM unterstromig des Baggersees Wiesental grob abschätzen. Die Unsicherheiten sind jedoch deutlich höher im Vergleich zu den stabilen Isotope.

Zustromanteile Baggersee Wiesental

Anhand der Auswertungen zu den Grundwasserkomponenten kann rückgeschlossen werden, dass der Baggersee Wiesental den wesentlichen Anteil des Seezustroms aus dem OGWL erhält. Aufbauend auf der Komponentenanalyse kann eine nähere Bilanzierung des Seewasserzustroms durchgeführt werden. Hierzu dienen vor allem die Parameter Chlorid, Acesulfam, Bor und Tritium. Die Abschätzungen basieren dabei auf vereinfachten Mehr-Komponenten-Mischungs-berechnungen für die festgestellten, relevanten Zustromkomponenten.

Anteilmäßige Abschätzung des Seezustroms für den Baggersee Wiesental (2020-2022):

Komponente 1:	altes Grundwasser (MGWL)	5-15 %
Komponente 2:	junges Grundwasser (OGWL) ohne Einfluss DMS	ca. 75 %
Komponente 3:	junges Grundwasser (OGWL) mit Einfluss DMS	0 %
Komponente 4:	Duttlacher Graben-Uferfiltrat (OGWL)	< 5 %
Komponente 5:	Saalbach-, Saugraben-, Wagbach-Uferfiltrat (OGWL)	< 5 %
Komponente 7:	Bauer-See-Uferfiltrat (OGWL)	ca. 10 %

Auf Basis der durchgeführten Bilanzierungen wird der Grundwasserzustrom zum Baggersee Wiesental zu etwa 85 bis 95 % aus dem OGWL gespeist und nur zu etwa 5 bis 15 % aus dem MGWL. Die Abstromverhältnisse sind vergleichbar.

Zustromanteile Brunnen Philippsburg

Die vergleichsweise hohen Tritium-, Nitrat- DMS- und Acesulfam-Gehalte belegen für alle drei Trinkwasserbrunnen vergleichbare Zutromanteile aus dem OGWL zwischen etwa 90 und 100 %.

Die Chlorid-Gehalte an den Brunnen Philippsburg liegen auf einem vergleichsweise geringen Niveau von 22 bis 26 mg/l, was nach der flächenhaften Verbreitung der Chloridgehalte (Anl. 26) auf einen relativ zentrale Zustrombereich, von B1 flach und 6717/262 über 6716/49 und 6716/69 7 zu den Brunnen, hindeutet.

Die K-Gehalte an den Brunnen Philippsburg mit 4 bis 5 mg/l deuten auf Saalbach- und Saugraben-Uferfiltrat hin.

Anteilmäßige Abschätzung der Zustromanteile für die Brunnen Philippsburg:

Komponente 1:	altes Grundwasser (MGWL)	0-10 %
Komponente 2:	junges Grundwasser (OGWL) ohne Einfluss DMS	30-40 %
Komponente 3:	junges Grundwasser (OGWL) mit Einfluss DMS	30-40 %
Komponente 4:	Duttlacher Graben-Uferfiltrat (OGWL)	< 5 %
Komponente 5:	Saalbach-, Saugraben-, Wagbach-Uferfiltrat (OGWL)	10-20 %
Komponente 6:	Baggersee-Wiesental-Uferfiltrat (OGWL)	10-15 %
Komponente 7:	Bauer-See-Uferfiltrat (OGWL)	0 %

6.5 Erfassung der Austauschrate des Baggersees Wiesental mittels stabiler Isotope

Mit Hilfe der stabilen Isotope $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ lassen sich für den Baggersee Wiesental die Austauschrate zwischen Grundwasser und Seewasser abschätzen und darauf aufbauend die mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See berechnen. Die Berechnungsgrundlagen der Austauschraten sind ausführlich in LGRB (2001) sowie in LGRB (2006, „OZH-Projekt“) dargestellt. Alternativ kann die Austauschrate auch nach dem Gesetz von DARCY hydraulisch ermittelt werden.

Der Vergleich der $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signaturen am Baggersee Wiesental jeweils zu Beginn und am Ende der Vollzirkulation zeigt (s. Tab. 9 und 10), dass sich die Isotopengehalte des Seewassers zwischen 6. November 2020 und 30. April 2021 bzw. zwischen 11. November 2021 und 4. Mai 2022 nur geringfügig den isotopisch leichteren Werten des zuströmenden Grundwasser nähern. Die $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signaturen zur Vollzirkulationsphase zwischen 06.11.2020 und 30.04.2021 sind quasi identisch. Die Differenzen zwischen den beiden Stichtagen liegen bei $\Delta 0,03 \text{ ‰}$ (^{18}O) bzw. $\Delta 0,48 \text{ ‰}$ (^2H). Derart geringe Unterschiede sind charakteristisch für Seen mit einem eingeschränkten Austausch zum Grundwasser.

Tabelle 9: Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte im Baggersee Wiesental zu Beginn und am Ende der Vollzirkulationsphase 2020/2021

Sauerstoff-18 Baggersee Wiesental	06.11.2020	30.04.2021
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,37	-5,26
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,33	-5,29
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-5,29	-5,28
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,26	-5,29
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,34	-5,33
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-5,30	-5,31
Mittelwert	-5,32	-5,29
	18O-Differenz Stichtage	$\Delta 18\text{O}: -0,03$
Deuterium Baggersee Wiesental	06.11.2020	30.04.2021
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-43,1	-43,3
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,3	-43,3
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-43,6	-43,3
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-43,1	-43,7
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-43,0	-43,7
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-43,2	-43,5
Mittelwert	-43,0	-43,5
	2H-Differenz Stichtage	$\Delta 2\text{H}: 0,48$

Tabelle 10: Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte im Baggersee Wiesental zu Beginn und am Ende der Vollzirkulationsphase 2021/2022

Sauerstoff-18 Baggersee Wiesental	11.11.2021	04.05.2022
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,16	-5,32
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,15	-5,23
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-5,17	-5,37
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,15	
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,13	
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-5,13	
Mittelwert	-5,15	-5,30
	18O-Differenz Stichtage	$\Delta 18\text{O}$: 0,15
Deuterium Baggersee Wiesental	11.11.2021	04.05.2022
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-42,5	-43,4
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,8	-42,8
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-42,0	-43,3
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-42,5	
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,4	
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-42,2	
Mittelwert	-42,5	-43,2
	2H-Differenz Stichtage	$\Delta 2\text{H}$: 0,72

Auch die $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signaturen zur Vollzirkulationsphase zwischen 11.11.2021 und 04.05.2022 sind unter Berücksichtigung der analytischen Messgenauigkeit quasi identisch. Die Differenzen zwischen den beiden Stichtagen liegen jedoch mit $\Delta 0,15 \text{ ‰}$ (^{18}O) bzw. $\Delta 0,72 \text{ ‰}$ (^2H) im Vergleich zur Vollzirkulationsphase zwischen 06.11.2020 und 30.04.2021 etwas höher. Trotzdem ist auch hier immer noch eine geringe Austauschrate angezeigt.

Die Differenz der mittleren Sauerstoff-18- bzw. Deuterium-Signaturen zu den beiden Stichtagen ($\Delta 18\text{O}$ bzw. $\Delta 2\text{H}$) ist letztendlich die Kenngröße zur Abschätzung der Austauschrate bzw. der Aufenthaltszeit des Grundwassers im See.

Die $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signatur des Grundwassers im Zustrom des Baggersees Wiesental wurde aus den $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signaturen der Zustrommessstellen ermittelt (s. Tab. 11). Alternativ können die Signaturen auch aus dem Schnittpunkt der Mittleren Niederschlags- und der Verdunstungsgerade ermittelt werden (s. Anl. 41), was hier jedoch aufgrund des Einflusses durch das Bauer-See-Uferfiltrat nicht möglich ist (siehe in Tabelle 11: $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Signaturen der GWM 6817/792 mit $-5,80 \text{ ‰}$ bzw. $-46,0 \text{ ‰}$). Hierbei wird berücksichtigt, dass ein Teil des zuströmenden Grundwassers schon vor dem Eintritt in den Baggersee Wiesental durch Verdunstungseinflüsse beeinflusst ist (insbesondere der Zustrom von Bauer-See-Uferfiltrat).

Tabelle 11: ^{18}O -/ ^2H -Signaturen der Zustrommessstellen des Baggersees Wiesental

Zustrom-Messstellen Baggersee Wiesental					
Bezeichnung Messstellen	Datum	Labor-Nr.	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	D-Exzess
Beregnungs-Brunnen Zustrom 1	23.07.2020	356888	-8,34	-57,6	9,12
B8 flach	10.11.2021	374824	-8,57	-59,1	9,46
B9 flach	10.11.2021	374825	-8,45	-58,7	8,90
6003/307-9	11.11.2021	374833	-8,53	-59,0	9,24
147/308-4	20.11.2021	375477	-8,61	-59,6	9,28
B8 tief	10.11.2021	374823	-8,50	-59,2	8,80
B9 tief	10.11.2021	374826	-8,54	-59,5	8,82
6817/792	11.11.2021	374834	-5,80	-46,0	0,40
Mittelwert Zustrom			-8,17	-57,34	8,00

Mit nachfolgender linearen Mischungsgleichung lässt sich zuerst der Anteil des zuströmenden Grundwassers im Seewasser (x_{GW}) ermitteln.

$$x_{\text{GW}} = (\text{MW}-\text{SW})/(\text{GW}-\text{SW}) \cdot 100 = -0,9 \% \text{ bis } 5,0 \% \text{ (Anl. 42)} \quad (\text{a})$$

x_{GW} = Anteil Grundwasser (GW) im Seewasser (SW) in %

GW = Signatur Grundwasser im Zustrom = -8,17 ‰ ($\delta^{18}\text{O}$) bzw. -57,34 ‰ ($\delta^2\text{H}$); vgl. Tab. 11)

SW = Signatur Seewasser, Beginn der Vollzirkulation = -5,32 ‰ bzw. -5,15 ‰ (2020 / 2021)
 -43,0 ‰ bzw. -42,5 ‰ (2021 / 2022)

MW = Signatur Seewasser, Ende der Vollzirkulation = -5,29 ‰ bzw. -5,30 ‰ (2020 / 2021)
 -43,5 ‰ bzw. -43,2 ‰ (2021 / 2022)

In Abhängigkeit vom Seevolumen (9.400.000 m³, Seevermessung vom 13.07.2020) und dem sog. „Verdünnungszeitraum“ (Zeit zwischen 06.11.2020 und 30.04.2021 bzw. 11.11.2021 und 04.05.2022), während dem der o. g. Grundwasseranteil das Seewasser austauscht, berechnet sich die Grundwasserzustromrate für das gesamte Seevolumen (Formel (b)). Es gilt, je geringer der Grundwasseranteil im Seewasser bei gleichem Verdünnungszeitraum, desto mehr Zeit benötigt der See um sein Volumen auszutauschen, bzw. desto höher ist die mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See (Formel (c)).

$$Q_{\text{GW}} = (V_{\text{See}} \cdot x_{\text{GW}}) / t = 21 \text{ bis } 31 \text{ l/s} \quad (\text{b})$$

$$T_m = V_{\text{See}} / Q_{\text{GW}} = 9,6 \text{ bis } 14,4 \text{ Jahre} \quad (\text{c})$$

Q_{GW} = mittlere Austauschrate in m³/s bzw. l/s

T_m = Mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See in Sekunden

V_{See} = Volumen See in m³ = 9.400.000 m³ (13.07.2020)

t = Verdünnungszeitraum, Zeit zwischen SW (06.11.2020 bzw. 11.11.2021)
 und MW (30.04.2021 bzw. 04.05.2022)
 175 bzw. 174 Tage = 15.120.000 s bzw. 15.033.600 s

Einfluss der Niederschläge und der Verdunstung während des sog. „Verdünnungszeitraum“

Der Baggersee Wiesental hatte am 13.07.2020 eine Seefläche von 532.000 m² mit einer mittleren Seetiefe von 17,20 m. Das Seevolumen war 9.400.000 m³.

Im Zeitraum zwischen 06.11.2020 und 30.04.2021 bzw. 11.11.2021 und 04.05.2022 lag die Niederschlagssumme bei jeweils etwa 400 mm, mit einem durchschnittlichen niederschlagsgewichteten Sauerstoff-18-Gehalt zwischen etwa -11,3 ‰ und -11,5 ‰ (vgl. Anhang IV: Niederschlagsmessstation Freiburg i. Breisgau). Der durchschnittliche niederschlagsgewichtete Deuterium-Gehalt in diesen Zeitraum lag zwischen etwa -83 ‰ und -84 ‰ (vgl. Anhang V: Niederschlagsmessstation Freiburg i. Breisgau). Bei der o.g. Seeoberfläche von 532.000 m² entspricht der Niederschlag von 400 mm einem eingetragenen Niederschlagsvolumen von ca. 212.800 m³, was etwa 2,3 ‰ des Seevolumens ausmacht. Dieses Seevolumen ist im Vergleich zur ¹⁸O/²H-Signatur des Grundwassers im Zustrom des Baggersees Wiesental deutlich isotopisch schwerer. Unter Berücksichtigung dieser Einflussgröße würde sich der Anteil des Grundwassers im Seewasser (Formel a) um etwa die Hälfte verringern. Da im gleichen Zeitraum jedoch auch Verdunstungsprozesse an der Seeoberfläche stattfinden, was das oberflächennahe Seewasser wiederum isotopisch schwerer macht, gleichen sich diese beiden Einflussfaktoren meist aus. Die größte Unsicherheit hierbei liegt beim Verdunstungseinfluss während des sog. „Verdünnungszeitraum“. Die Niederschlagsmenge und die ¹⁸O/²H-Signatur des Niederschlags lässt sich relativ gut abschätzen.

Vergleich der mittleren Aufenthaltszeit mittels stabiler Isotope und mittels Gesetz von DARCY:

Aus dem Seevolumen von etwa 9,4 Millionen m³ und einem Grundwasserzustromanteil im Seewasser von etwa 3 bis 5 ‰ des Seevolumens im Verdünnungszeitraum von etwa 175 Tagen (06.11.2020 bis 30.04.2021 bzw. 11.11.2021 bis 04.05.2022) errechnet sich eine Grundwasserzustromrate für den gesamten See von etwa 20 bis 30 l/s. Die mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See liegt für die beiden Vollzirkulationsphasen 2020/2021 und 2021/2022 in einer Größenordnung von 10 bis 15 Jahren. Die Berechnungen sind als Näherungswerte zu verstehen und zeigen, dass etwa 7 bis 10 ‰ des Seevolumens jährlich durch zuströmendes Grundwasser ausgetauscht wird.

Der hydraulisch nach dem Gesetz von DARCY ermittelte Volumenstrom (Austauschrate) liegt mit etwa 40 l/s (Hydrag, Juni 2022) etwas höher.

$$V = kf * A * i$$

	Minimum	Maximum	Mittelwert
V = Volumenstrom [m ³ /s]	0,023	0,060	0,039
kf = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	0,00094	0,00146	0,00120
A = durchflossene Fläche [m ²]	28.206	39.175	33.691
i = Grundwassergefälle [-]	0,00087	0,00105	0,00096

Die Bandbreite der Durchlässigkeitsbeiwerte „kf“ wurde aus dem großräumigen Grundwassermodell mit den zur Verfügung gestellten kf-Werten des LGRB herangezogen. Die durchflossene Fläche „A“ wurde aus der Mächtigkeit des Sees und der Breite der Zustromlinie mittels Kipplinie berechnet. Die Bandbreite des Grundwassergefälles „i“ im Zustrombereich des Baggersees Wiesental wurde anhand von Grundwassergleichen zu den Stichtagen 04.10.1976, 02.04.1979 und 20.10.1986 ermittelt (aus Hydrag, Juni 2022).

7. Diskussion und Fazit

Da sich die Erweiterungsfläche sowie der Bestandssee und sein Umfeld vollständig innerhalb der Schutzzone IIIB des Wasserschutzgebietes (WSG) „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“ befinden (s. Abb. 1), wird im Rahmen des durchzuführenden Planfeststellungsverfahrens insbesondere auf die Brunnen der Stadt Philippsburg eingegangen.

Anhand der Seewasseranteile an den Trinkwasserbrunnen Philippsburg (ca. 10 bis 15 %, vgl. Tabelle 7 und Anl. 41) sowie der umliegenden Messstellen 6716/49 (F), 7523/257-0 (F) und 6716/69 (F), mit vergleichbar hohen Seewasseranteilen, lässt sich ableiten, dass sich die Brunnen Philippsburg bei den aktuellen Untersuchungen vom Jahr 2021 im zentralen Abstrombereich des Baggersees Wiesental befinden (vgl. Anl. 44).

Ob und inwieweit in den Sommermonaten durch die Oberflächengewässer Saalbach und Saugraben Uferfiltrat mit Verdunstungseinfluss in den OGWL infiltriert, kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht beurteilt werden, da die meisten Beprobungen im November 2021 stattfanden. Die isotopisch relativ leichte $18\text{O}/2\text{H}$ -Signatur an der unmittelbar neben dem Saalbach liegenden GWM 180/257-5 (F) zeigt für den Untersuchungszeitraum November 2021 keinen Einfluss durch Verdunstung. Dies passt zudem zu den $18\text{O}/2\text{H}$ -Signaturen der Oberflächengewässer Saalbach und Saugraben. Nach Anlage 44 wäre am Standort 180/257-5 jedoch Verdunstungseinfluss durch Baggersee Wiesental-Uferfiltrat zu erwarten. Hieraus lässt sich ableiten, dass die GWM 180/257-5 (F) am 13.11.2021 dominant durch Saalbach-/Saugraben-Uferfiltrat beeinflusst ist, was auch die vergleichsweise erhöhte spez. el. Leitfähigkeit (Anl. 5), der vergleichsweise erhöhte Kalium-, Magnesium- und Chloridgehalt (Anl. 10, 12, 14) sowie die erhöhte Konzentration an Acesulfam belegt (Anl. 18).

Um den Einfluss von Saalbach-Uferfiltrat und somit das mögliche Risiko auf die Trinkwasserbrunnen zu erfassen, wären Sauerstoff-18- oder Acesulfam-Zeitreihenuntersuchungen notwendig (s.u.). Alternativ könnte auch ein Markierversuch zielführend sein. Ob bereits derartige Untersuchungen im Rahmen der Wasserschutzgebietsabgrenzung durchgeführt wurden, ist nicht bekannt.

Bei der Verbreitung des Einflussbereichs durch Baggersee Wiesental-Uferfiltrat in Anlage 44 überrascht, dass zwischen den benachbarten Messstellen 6716/49 (mit Einfluss) und 108/257-5 (ohne Einfluss) die Beeinflussungsgrenze verläuft. Die Messstellen 111/257-9 (F) und 136/257-2 (F) bestätigen diesen Sachverhalt, obwohl auch diese Messstellen nach dem Verlauf der Grundwassergleichen eindeutig unterstromig des Baggersees Wiesental liegen. Entweder ist die Grundwasserfließrichtung hier falsch eingeschätzt, oder die beiden Oberflächengewässer Saalbach und Saugraben nehmen das komplette Baggersee Wiesental-Uferfiltrat auf, oder das Uferfiltrat ist erst seit der aktuellen Erweiterung in Richtung Westen unterwegs und somit zeitlich noch nicht so weit vorgedrungen. Dies könnte sich dann in den kommenden Jahren verändern.

Auf Basis der Ergebnisse zu den flachen Messstellen GWM 108/257-5 (F), 111/257-9 (F), 136/257-2 (F), P5 flach und P6 flach (jeweils OGWL) sowie den tiefen Messstellen GWM 135/257-8 (T), P5 tief und P6 tief (jeweils MGWL) vom November 2021 ist eine Ausbreitung von Seewasser in Richtung Westen, und somit in Richtung Brunnenstandort Neudorf-Huttenheim, nicht angezeigt.

Am gegenüber liegenden Rand des Einflussbereichs durch Baggersee Wiesental-Uferfiltrat fällt die Messstelle 60/307-5 mit einer von Verdunstung unbeeinflussten $^{18}\text{O}/^{2}\text{H}$ -Signatur auf (Probenahme am 12.11.2021), obwohl unmittelbar benachbart Bauer-See-Uferfiltrat (nördlich) und Baggersee Wiesental-Uferfiltrat (südlich) festzustellen ist. Entweder trennen sich die beiden Einflussbereiche hier tatsächlich, oder es liegt ein Messstellendefekt vor, oder ein analytischer Messfehler. Zur Beurteilung der Verhältnisse an den Brunnen Philippsburg ist diese Klärung jedoch nicht relevant.

Entscheidende Messstellen zur Beurteilung der näheren Zustromverhältnisse an den Brunnen Philippsburg sind hingegen die Messstellen 6716/97 (Brauchwasserbrunnen der Jagdgesellschaft Wiesental eV), GWM 7523/257-0 (6"-Pegel), 6716/49 (Brauchwasserbrunnen Schießanlage Philippsburg) und GWM 6716/69 (4"-Pegel). Diese Messstellen zeigen mit den Brunnen vergleichbare Uferfiltrateinflüsse zwischen 10 und 30 %, was auf deren Rolle als Vorfeldmessstellen hinweist. Sowohl an den 4 Vorfeldmessstellen als auch an den Trinkbrunnen Philippsburg sind auffällig hohe Konzentrationen an dem Pflanzenschutzmittel-Metabolit "N,N-Dimethylsulfamid (DMS)" festzustellen. Da derart hohe Konzentrationen erst westlich und somit unterstromig der Eisenbahntrasse auftreten, legen die Überhöhungen hier nahe, dass im Bereich der Bahntrasse die Ursache für die hohen DMS-Gehalte an den Brunnen Philippsburg mit 430 bis 550 ng/l liegen könnte (siehe Anlage 47). Die beiden Seen und die 4 Fließgewässer weisen dem gegenüber deutlich geringere DMS-Gehalte in der Größenordnung von nur 40 bis maximal 100 ng/l auf. Der MGWL ist komplett DMS-frei (< 20 ng/l).

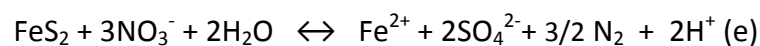
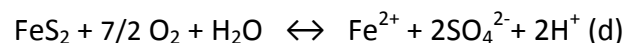
Ob und inwieweit für die auffällig hohen Konzentrationen an DMS bei den Brunnen Philippsburg der Bereich der Bahntrasse verantwortlich ist, kann nicht eindeutig geklärt werden. Wollte die Stadt Philippsburg jedoch DMS-freies oder -armes Trinkwasser fördern, dann müsste der stockwerksübergreifend ausgebaute Brunnen abgedichtet und stattdessen ein neuer Brunnen, der nur den MGWL erfasst, abgeteuft werden. Nach den vorliegenden Untersuchungen deutet sich für den MGWL eine relativ gute Geschützteheit an (siehe Kap. 5.3.2, 5.4.1 und 6.1).

Im Vergleich zum Einfluss durch DMS sind die Einflüsse durch urbane Abwässer, die insbesondere mittels dem Süßstoff Acesulfam erfasst werden konnten, gering (Bor ist geringer aussagekräftig). Der massiv durch Abwässer belastete Duttbacher Graben (200.000 ng/l) hat sowohl für die Beschaffenheit des Baggersee Wiesental als auch für die Beschaffenheit der Trinkwasserbrunnen Philippsburg keinen relevanten Einfluss (Anl. 48 sowie Kap. 6.4: Anteil Komponente 4: Duttbacher Graben-Uferfiltrat (OGWL) jeweils < 5 %). Von den weiteren Oberflächengewässern könnte der Saalbach aufgrund seines Verlaufs noch am meisten Einfluss auf die Brunnen nehmen. Auf Basis der Ergebnisse zum Acesulfam liegt der Einfluss bei max. 20 % (Kap. 6.4: Einfluss Komponente 5: Saalbach-, Saugraben-, Wagbach-Uferfiltrat: 10-20 %). Dem gegenüber liegt der Einfluss durch Grundwasser aus dem Bereich der Bahntrasse bei 30 bis 40 % (s. Kap. 6.4: Komponente 3: junges Grundwasser (OGWL) mit Einfluss DMS: 30-40 %).

Schwerpunkt Nitrat:

Da der Bestandssee in einer Landschaft liegt, in der stark reduzierte, weitgehend nitratfreie Grundwässer auftreten, wurde anhand von flächenhaften Nitratuntersuchungen geklärt, wo und inwieweit das abströmende Uferfiltrat Nitrat-haltig ist und wie sich das Grundwasser unterstromig des Sees hinsichtlich Nitrat verändert. Da sich die reduzierenden Grundwasserverhältnisse unmittelbar unterstromig des Sees noch nicht wieder in vollem Umfang eingestellt haben, könnte ein „Reaktionsraum“ für den Nitratabbau westlich des Sees vorhanden sein.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann dargestellt werden, dass es unmittelbar unterstromig des Sees keine Nitrat-haltige Abstromfahne gibt (Anl. 45). Stattdessen kann eher von einer Sulfat-haltige Abstromfahne gesprochen werden (Anl. 46), die hier auf Pyritoxidation hinweist. Die Messstellen mit markanten Seewassereinflüssen zeigen vergleichsweise hohe SO₄-Gehalte von 130 bis 170 mg/l. Denkbar wäre, dass im näheren Abstrombereich des Baggersees Wiesental („naher Reaktionsraum“) sowohl Pyritoxidation unter Sauerstoffbeteiligung (d) als auch unter Nitratüberschuss (e) für die vergleichsweise hohen Sulfatgehalte verantwortlich ist. Dies würde hier auch die vergleichsweise geringen O₂-Gehalte erklären (Anl. 7). Durch die intensive landwirtschaftliche bzw. gartenbauliche Nutzung mit Beregnung und Düngung für die Sonderkulturen, wie z. B. am Spargel- und Beerenhof Jörg Schreiber, könnte der „Reaktionsraum Sulfat“ durch Sauerstoff- und Stickstoffzufuhr quasi wie befeuert werden.



Mit abnehmendem Seewassereinfluss sind zunehmend geringere SO₄-Gehalte von 70-150 mg/l angezeigt (Anl. 46). Die SO₄-Gehalte an den Brunnen Philippsburg sind mit 89 bis 110 mg/l auf einem derart geringen Niveau, dass sie fast schon mit dem MGWL vergleichbar sind.

Dem gegenüber sind mit abnehmendem Seewassereinfluss erhöhte NO₃-Gehalte festzustellen. Die Nitratgehalte zwischen dem Baggersee und den im Nordwesten gelegenen Trinkwasserbrunnen zeigen erst ab der Ortslage von Wiesental und westlich der Eisenbahntrasse nennenswerte Konzentrationen (s. Anl. 45), die insgesamt jedoch noch auf einem relativ niedrigen Niveau liegen, was auch für die Nitratgehalte an den flachen Brunnen der Stadt Philippsburg zutrifft (9 bis 15 mg/l NO₃). Für die etwas geringeren Gehalte am vergleichsweise tieferen Brunnen 3 mit 9 mg/l ist der Ausbau und somit der Zustrom von NO₃-freiem GW aus dem MGWL verantwortlich. Stellenweise zeigen sich lokale Überhöhungen, die jedoch nicht bis zu den Brunnen reichen. Ob und inwieweit der Saalbach für die nachweisbaren Nitratgehalte an den Trinkwasserbrunnen verantwortlich ist, könnte durch einen Markierversuch oder durch Zeitreihenuntersuchungen näher beurteilt werden (s.o.).

Aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen der vernetzenden Auswertung von Nitrat und den Gehalte an stabilen Isotopen des Wassers (Untersuchungsparameter zur Erfassung von Uferfiltrat) sind durch die geplante Erweiterung keine nennenswerten Veränderungen gegenüber den aktuellen Verhältnissen zu erwarten. Die unauffälligen Nitratgehalte, die sich als Folge landwirtschaftlicher Einträge (ggf. auch Saalbach-Uferfiltrat) erst im weiteren Abstrom des Sees ausbilden, werden sich auch nach der Erweiterung vergleichbar darstellen.

Thema Haverie

Die aktuelle Entfernung zwischen dem Baggersee Wiesental und den Brunnen Philippsburg liegt bei etwa 3,28 km. Nach der geplanten Erweiterung verkürzt sich die Grundwasserfließstrecke um etwa 60 m auf 3,22 km.

Da die Wasserfassung Philippsburg bereits derzeit im Abstrombereich des Baggersees gelegen ist, ergibt sich aus der zukünftigen Lage im Seeabstrom grundsätzlich keine qualitative Änderung der Grundwassergefährdung im Havariefall. Im Falle des Eintretens eines Havariefalles wären die gleichen Schutz- und Sanierungsmaßnahmen sowie der gleiche Maßnahmenumfang für den Status-quo wie für den geplanten Zustand infolge der Erweiterung und Vertiefung erforderlich.

Die Fließdauer des Grundwassers zwischen dem Baggersee Wiesental und der Trinkwasserfassung Philippsburg beträgt für den Ist-Zustand bereits jetzt mehrere Jahre (etwa 10-15 Jahre). Mit der Abbauerweiterung tritt nur eine Verkürzung um etwa 60 m gegenüber dem derzeitigen Abstand von ca. 3,2 km zur Trinkwasserfassung auf. Die Fließzeit des Grundwassers bleibt daher, unter Voraussetzung gleichbleibender Grundwasserförderraten, auch nach Realisierung des Vorhabens annähernd unverändert (die Verkürzung der Fließzeit liegt bei etwa 2 bis 3 Wochen unter der Annahme einer Abstandsgeschwindigkeit von 0,6 m/s bis 0,8 m/d).

Somit ist keine nennenswerte Verkürzung der Fließdauer von Schadstofffahnen im Havariefall zu besorgen. Der zeitliche Rahmen für die Umsetzung von Schutz- und Sanierungsmaßnahmen bezüglich des Trinkwasserschutzes im Falle eines Havariefalles bleibt somit quasi gleich. Im Hinblick auf Gefährdungspotenzial durch Havarien bestehen durch das Vorhaben gegenüber dem Ist-Zustand keine wesentlichen Änderungen.

Thema Wechselwirkung OGWL – MGWL – Baggersee Wiesental

Der Bestandssee sowie die geplante Erweiterung betreffen zwar ausschließlich den OGWL. Da der OZH am Standort des Sees jedoch nicht (flächig) abdichtet, sondern eine gewisse Durchlässigkeit zeigt, kann es wegen der hydraulischen Einflüsse durch den See auf das Grundwasser neben der Beeinflussung des OGWL im Abstrombereich auch zu einer Beeinflussung des MGWL kommen, was mit den vorliegenden Untersuchungen geklärt werden konnte.

Im näheren Umfeld des Sees sind im MGWL vergleichsweise geringe Seewasseranteile festzustellen (GWM B5 tief (MGWL) und GWM B1 tief (MGWL): Anteile von ca. 5 %). An den jeweils benachbarten flachen Messstellen liegen die Seewasseranteile hingegen deutlich höher (GWM B5 flach (OGWL): 50-55 % und GWM B1 flach (OGWL): etwa 85 %).

Auf Basis der Auswertungen zur Beschaffenheit sind die Wechselbeziehungen zwischen OGWL und MGWL als gering anzusehen. Nach den Potenzialen von OGWL und MGWL, die quasi fast identisch sind, wären vergleichsweise höhere Wechselwirkungen zu erwarten gewesen.

Insgesamt dominiert im Baggersee Wiesental das Grundwasser aus dem OGWL (85-95 %), was anhand der Tritium-, Acesulfam- und DMS-Gehalte abgeleitet werden kann. Im Abstrom zeigen sich vergleichbare Verhältnisse. Der Abstrom erfolgt relativ zentral über GWM B1 flach, 67117/262, 6716/97, 6716/49, 6716/69, 7523/257-0 und 6716/69 zu den Brunnen hin.

Die relativ geringe Abstromrate von Seewasser aus dem Baggersee Wiesental von ca. 30 l/s wird durch die unterstromig stattfindende Grundwasserneubildung relativ schnell überlagert.

Beurteilung der Aussagekraft

Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Bestandsaufnahme zur Grundwasserbeschaffenheit konnten vertiefte Erkenntnisse zu den hydrogeologischen Verhältnissen im nahen und weiteren Umfeld des Baggersees Wiesental herausgearbeitet werden. Die vorliegenden Ergebnisse konnten darüber hinaus auch einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Zustrom- und Beschaffenheitsverhältnisse der Trinkwasserbrunnen Philippsburg liefern. Insbesondere zeigt sich, dass die Bahntrasse und der Saalbach hinsichtlich Beschaffenheit einen deutlich höheren Einfluss auf die Trinkwasserbrunnen ausübt im Vergleich zum Baggersee Wiesental.

Mit Hilfe der vorliegenden Untersuchungen konnte der aktuelle Ist-Zustand vom Jahr 2021 umfangreich dokumentiert und beurteilt werden. Die gegebenen Fragen aus Kapitel 4 konnten insgesamt alle geklärt werden.

8. Zusammenfassung

Die Firma Heidelberger Sand und Kies GmbH (HSK) betreibt auf Gemarkung Waghäusel, Ortsteil Wiesental, Landkreis Karlsruhe, ein Kieswerk zum Nassabbau von Sand und Kies.

Der bestehende Baggersee Wiesental des Kieswerks Waghäusel/Wiesental soll zur Aufrechterhaltung des Kieswerkbetriebes in westliche Richtung erweitert werden. Die Flächengröße des Sees gemäß Antragsgrenze der Planfeststellung vom Jahr 1999 beträgt ca. 62 ha. Mit der zukünftigen Erweiterung vergrößert sich die Seefläche um etwa 18,2 ha auf rund 80 ha.

Die bisher genehmigte Abbautiefe gemäß Planfeststellung vom Jahr 1999 liegt bei 76 m + NN. Da die Basis des Oberen Grundwasserleiters (OGWL, früher OKL, auch Mannheim-Formation genannt) im Bereich der Erweiterungsfläche nicht eben ausgebildet ist, sondern nach Auswertung der 12 neuen Bohrungen vom Jahr 2019 zwischen 76 m + NN und 81 m + NN liegt, soll die geplante Abbautiefe daher auch nur bis hierhin reichen, d. h. bis zu einer Tiefe von ca. 27 m bis 32 m u. GOK (bezogen auf GOK = 108 m + NN). Ein hydraulischer Trennhorizont (OZH = Oberer Zwischenhorizont) zum Mittleren Grundwasserleiter (MGWL) ist am Standort des Sees nicht (flächig) abdichtend ausgebildet. Die Erweiterungsfläche soll, wie der bisherige Baggersee, nur den Oberer Grundwasserleiter erfassen.

Für die geplante Erweiterung ist ein Planfeststellungsverfahren durchzuführen, in dem alle Umweltbelange beurteilt werden. Da sich die Erweiterungsfläche sowie der Bestandssee und sein Umfeld vollständig innerhalb der Schutzzone IIIB des Wasserschutzgebietes (WSG) „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“ befinden, wird auf die Brunnen der Stadt Philippsburg im Besonderen eingegangen.

Der aus hydrogeologischer Sicht notwendige Untersuchungsrahmen (Untersuchungsgebiete, Untersuchungsmethoden) und die hydrogeologischen Zielsetzungen der Untersuchungen wurden in der Stellungnahme des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) vom 1.4.2020 (Az. 94-4763.4//20_3244) und 6.8.2021 sowie im Untersuchungskonzept der Firma arguplan vom 26.05.2021 festgelegt.

In das Untersuchungsgebiet wurden neben dem Zu- und Abstrom auch seitstromig liegende Messstellen einbezogen, was die Aussagemöglichkeiten verbessert. Zudem wurden alle relevanten Oberflächengewässer im Umfeld des Kieselsees mit untersucht (Duttbacher Graben, Saugraben, Saalbach, Waghbach und Bauer-See), um der Herkunft von umweltrelevanten Stoffen nachzugehen.

Für eine nähere Charakterisierung der Beschaffenheit der Grundwässer der verschiedenen Grundwasserstockwerke sowie zur Beschreibung der Austauschprozesse zwischen den Grundwasserstockwerken und dem Baggersee wurden nachstehende hydrochemische, isopenhydrologische und spurengasspezifische Untersuchungen im See und im umgebenden Grundwasser durchgeführt:

Hydrochemische Untersuchungen:

- 80 Proben auf die Hauptinhaltsstoffe (Lf, pH, Na, K, Mg, Ca, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃),
- 50 Proben auf den Spurenstoff Bor,
- 52 Proben auf den Süßstoff Acesulfam,
- 47 Proben auf das Pflanzenschutzmittel-Metabolit "N,N-Dimethylsulfamid" (DMS).
- 1 Probe auf ausgewählte anthropogene Spurenstoffe

Isotopehydrologische und spurengasspezifische Untersuchungen:

- 86 Proben auf die stabilen Isotope Sauerstoff-18 ($\delta^{18}\text{O}$) und Deuterium ($\delta^2\text{H}$),
- 20 Proben auf das Isotop Tritium (^3H),
- 19 Proben auf das Spurengas Schwefelhexafluorid (SF₆).

Anhand der vorliegenden Ergebnisse der Bestandsaufnahme zur Grundwasserbeschaffenheit konnten nachstehende Erkenntnisse zu den hydrogeologischen Verhältnissen im nahen und weiteren Umfeld des Baggersees Wiesental herausgearbeitet werden.

Ein wichtiges Ergebnis der $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ -Isotopenuntersuchungen ist, dass der Baggersee Wiesental bereits in seinem jetzigen Zustand eine vergleichsweise geringe Seewasser-Austauschrates von etwa 30 l/s aufweist, was sowohl für den See-Input (bzw. Nährstoff-Input) als auch den See-Output (Abstrom von See-Uferfiltrat in Richtung Trinkwasserbrunnen) als positiv anzusehen ist. Die nach hydraulischen Kenngrößen (DARCY-Gesetz) abgeschätzte Austauschrates liegt mit etwa 40 l/s nur geringfügig höher. Das Baggerseeevolumen wird demnach etwa alle 10-15 Jahre einmal ausgetauscht.

Anhand der Grundwasser-Komponentenanalyse konnte aufgezeigt werden, dass sich die Grundwässer aus dem OGWL und MGWL sowohl hydrochemisch als auch isotopehydrologisch und spurengasspezifisch deutlich voneinander unterscheiden lassen (insbesondere bei Tritium, SF₆, Acesulfam und N,N-Dimethylsulfamid (DMS) sowie bei Natrium, Chlorid und Sulfat).

An den tiefen Messstellen im MGWL (GWM B1T, B5T, B8T, B9T, P5T, P6T, 135/257-8 und 156/308-5) sind dominant Grundwasserkomponenten mit vergleichsweise höheren Mittlere Verweilzeiten (MVZ) von > 70 Jahren anzutreffen. Diese Grundwasserkomponenten sind relativ gut geschützt, weshalb landwirtschaftliche und urbane Anzeiger, wie Acesulfam, DMS und Nitrat, nicht nachweisbar sind. Die Natrium-, Kalium-, Chlorid- und Sulfat-Gehalte sind ebenso auf einem vergleichsweise geringen Niveau.

Die Mittleren Verweilzeiten der flachen Messstellen (GWM B1F, B5F, B8F, P6F) liegen hingegen unterhalb von 15 Jahren. Diese Grundwasserkomponenten sind mäßig bis schlecht geschützt, weshalb hier landwirtschaftliche und urbane Anzeiger nachweisbar sind. Die Konzentrationen an Natrium-, Kalium-, Chlorid- und Sulfat liegen hier auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Die überhöhten Natrium-/Chlorid-Gehalte deuten auf Einflüsse von den umliegenden Fließgewässern hin.

Auf Basis der Auswertungen zur Beschaffenheit sind die Wechselbeziehungen zwischen OGWL und MGWL als gering anzusehen. Nach den Potenzialen von OGWL und MGWL, die quasi fast identisch sind, wären vergleichsweise höhere Wechselwirkungen zu erwarten gewesen.

Im näheren Abstrom des Baggersees Wiesental sind im MGWL beispielsweise Seewasseranteile von nur etwa 5 % festzustellen. An den jeweils benachbarten flachen Messstellen im OGWL liegen die Seewasseranteile dagegen mit 50 bis 85 % deutlich höher.

Auch der tiefe Trinkwasserbrunnen „**Brunnen 3 Philippsburg**“, der mit seiner Filterstrecke zwischen 12,2 und 42,2 m u. GOK (Ø 600 mm) stockwerksübergreifend den OGWL und MGWL erfasst, fördert bei einer Entnahmerate von 35 l/s fast ausschließlich junges Grundwasser aus dem OGWL (80-100 %) mit Verweilzeiten von etwa 17 bis 25 Jahren. Daraus lässt sich ableiten, dass hier der Grundwasserumsatz im OGWL um etwa ein 10-faches höher als im MGWL ist. Der Anteil an Seewasser aus dem Baggersee Wiesental am Förderwasser des Brunnens 3 liegt bei etwa 15 %.

Eine vergleichbare Alterstruktur mit Verweilzeiten von 13 bis 21 Jahren zeigt der flache Trinkwasserbrunnen „**Brunnen 1 Philippsburg**“, der mit seiner Filterstrecke von 5,6 bis 11,6 m u. GOK (Ø 350 mm) nur den oberen Bereich des OGWL erfasst. Möglicherweise hängt dies mit der benachbarten Lage zum Brunnen 3 zusammen. Der Brunnen 1 wird in der Regel mit 15 l/s betrieben. Der Anteil an Seewasser aus dem Baggersee Wiesental am Förderwasser liegt hier bei etwa 10 %.

Am flachen Trinkwasserbrunnen „**Brunnen 2 Philippsburg**“ (Filterstrecke: 7,5 bis 14,0 m u. GOK; Ø 400 mm; erfasster Aquifer: OGWL₀; Entnahmerate: 15 l/s) sind die mittleren Verweilzeiten mit 1 bis 14 Jahren vergleichsweise geringer. Der Anteil an Seewasser aus dem Baggersee Wiesental ist vergleichbar mit den anderen Brunnen (ca. 15 %).

Bis zu einer Entfernung von etwa 500 m können an den Grundwassermessstellen im näheren Abstrom des Baggersees Wiesental Seewasseranteile von bis zu 80 % festgestellt werden (Bsp.: GWM B1F). Ab einer Entfernung von etwa 1500 m zum Baggersee liegen die Seewasseranteile dann bereits bei etwa 20 % (Bsp.: Brunnen Jagdgesellschaft Wiesental e.V.) oder unterhalb. Dieser Bereich entspricht in etwa der Grenze zwischen Schutzzone IIIA und IIIB des WSG „Philippsburg, Pfriemenfeld, Mühlfeld“.

Das Baggerseewasser selbst weist eine mittlere Verweilzeit von 1 bis 12 Jahren auf, was für eine dominante Anbindung an den OGWL spricht (85 - 95 %). Auch hydrochemisch gibt es keine Hinweise auf nennenswerte Zuströme aus dem MGWL. Im Baggerseewasser treten nach den umfangreichen Seewasser-Untersuchungen vom 21.01.2021 (Seewasser-Screening) keine oder nur sehr geringe Konzentrationen an umwelt-relevanten Stoffen auf. Die darüber hinaus durchgeführten hydrochemischen Untersuchungen am Baggerseewasser zeigen insgesamt geringe Gehalte von Nitrat mit maximal 2 mg/l, von Acesulfam mit 0,09 µg/l bis 0,16 µg/l und von DMS mit 0,04 µg/l. Im Hinblick auf Stoffeinträge stellt der See eine Senke für bestimmte Wasserinhaltsstoffe dar. Aus der Vergrößerung des Seevolument resultiert eine Erhöhung des Puffervermögens.

Ein Einfluss des Baggersees Wiesental auf die Verbreitung von umwelt-relevanten Stoffen im Grundwasser ist nach den vorliegenden Untersuchungen nicht angezeigt. Vielmehr zeigen sich zwischen dem Baggersee und den Trinkwasserbrunnen Einflüsse durch Landwirtschaft sowie Gemüse- und Obstanbau (Nitrat, Sulfat und DMS), die auf Düngung, Pflanzenschutz und Beregnung zurück zu führen sind.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann dargestellt werden, dass es unmittelbar unterstromig des Sees keine Nitrat-haltige, sondern stattdessen eine Sulfat-haltige Abstromfahne gibt, die hier auf Pyritoxidation zurück zu führen ist. Durch die intensive landwirtschaftliche bzw. gartenbauliche Nutzung mit Beregnung und Düngung der Sonderkulturen, wird der „Reaktionsraum“ durch Sauerstoff- und Stickstoffzufuhr quasi wie befeuert.

Die Nitratgehalte zeigen erst ab der Ortslage von Wiesental und westlich der Eisenbahntrasse nennenswerte Konzentrationen. Stellenweise zeigen sich hier auch lokale Überhöhungen, die sich jedoch nicht bis zu den Brunnen auswirken. Stattdessen deutet sich an, dass der Saalbach für die nachweisbaren Nitratgehalte an den Trinkwasserbrunnen verantwortlich sein könnte. Ansonsten sind auf Basis der Bor- und Acesulfam-Untersuchungen jedoch keine nennenswerten Einflüsse durch Uferfiltrat der umliegenden Fließgewässer auf die Brunnen angezeigt.

An allen drei Trinkwasserbrunnen der Wasserversorgung Philippsburg sind bereits jetzt Seewasseranteile zwischen 10 und 15 % festzustellen. Aufgrund der Erweiterung des Baggersees innerhalb des zentralen Abstrombereichs des Bestandssees ist mit einer nur gering zunehmenden Abstrombreite des Seeuferfiltrats zu rechnen. Eine nennenswerte Erhöhung der Austauschrate aufgrund einer erhöhten „Grundwasserverkippung“ ist ebenfalls nicht zu erwarten, da die Erweiterung unterstromig des Bestandssees nur etwa 60 m beträgt. Dadurch wird an den Brunnen Philippsburg nur eine geringe Erhöhung der Seewasseranteile erwartet, die kaum feststellbar sein wird. Der Grundwasserzufluss und der Abstrom von Seeuferfiltrat wird auch am zukünftigen Baggersee Wiesental aufgrund der vergleichsweise höheren Durchlässigkeit dominant im OGWL erfolgen.

Da die Trinkwasserfassung Philippsburg bereits derzeit im zentralen Abstrombereich des Baggersees gelegen ist, ergibt sich aus der zukünftigen Lage im Seeabstrom grundsätzlich keine qualitative Änderung der Grundwassergefährdung im Havariefall. Im Falle des Eintretens eines Havariefalles wären die gleichen Schutz- und Sanierungsmaßnahmen sowie der gleiche Maßnahmenumfang für den Status-quo wie für den geplanten Zustand infolge der Erweiterung und Vertiefung erforderlich.

Die Fließdauer des Grundwassers zwischen dem Baggersee Wiesental und der Trinkwasserfassung Philippsburg beträgt für den Ist-Zustand bereits jetzt mehrere Jahre. Mit der Abbauerweiterung tritt keine nennenswerte Verkürzung des derzeitigen Abstandes von ca. 3 km zur Trinkwasserfassung auf. Die Fließzeit des Grundwassers bleibt daher, unter Voraussetzung gleichbleibender Grundwasserförderraten, auch nach Realisierung des Vorhabens annähernd unverändert. Somit ist keine verkürzte Fließdauer von Schadstofffahnen im Havariefall zu besorgen. Der zeitliche Rahmen für die Umsetzung von Schutz- und Sanierungsmaßnahmen bezüglich des Trinkwasserschutzes im Falle eines Havariefalles bleibt somit gleich. Im Hinblick auf Gefährdungspotenzial durch Havarien bestehen durch das Vorhaben gegenüber dem Ist-Zustand keine wesentlichen Änderungen.

9. Literaturverzeichnis

arguplan GmbH (25.02.2020): Tischvorlage zum Scopingverfahren

BGL, Boos, K.-J. (Oktober 2022): Limnologische Untersuchungen zur Erweiterung des Baggersees Wiesental in Waghäusel, unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Heidelberger Sand und Kies GmbH.

hydrag (Juni 2022): Erweiterung Kieswerk Waghäusel-Wiesental, datiert auf 24.06.2022, unveröffentl. Fachgutachtliche Stellungnahme im Auftrag der Heidelberger Sand und Kies GmbH.

Hydroisotop (1997): Isotopehydrologische und hydrochemische Untersuchungen im Bereich des Oberrheingrabens, datiert auf 27.05.1997, unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), 60 S., 7 Anl., Schweitenkirchen

IKSR (2020): Internationale Kommission zum Schutz des Rheins: Melamin-Bericht (Ber.-Nr. 270)

LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft - Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaues von Kies und Sand, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 88), Karlsruhe, 104 S.

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2001): Wechselwirkungen zwischen Baggersee und Grundwasser, Ergebnisse isotopehydrologischer und hydrochemischer Untersuchungen im Teilprojekt 6 des Forschungsvorhabens „Konfliktarme Baggerseen (KaBa)“, Freiburg i. Br., 2001

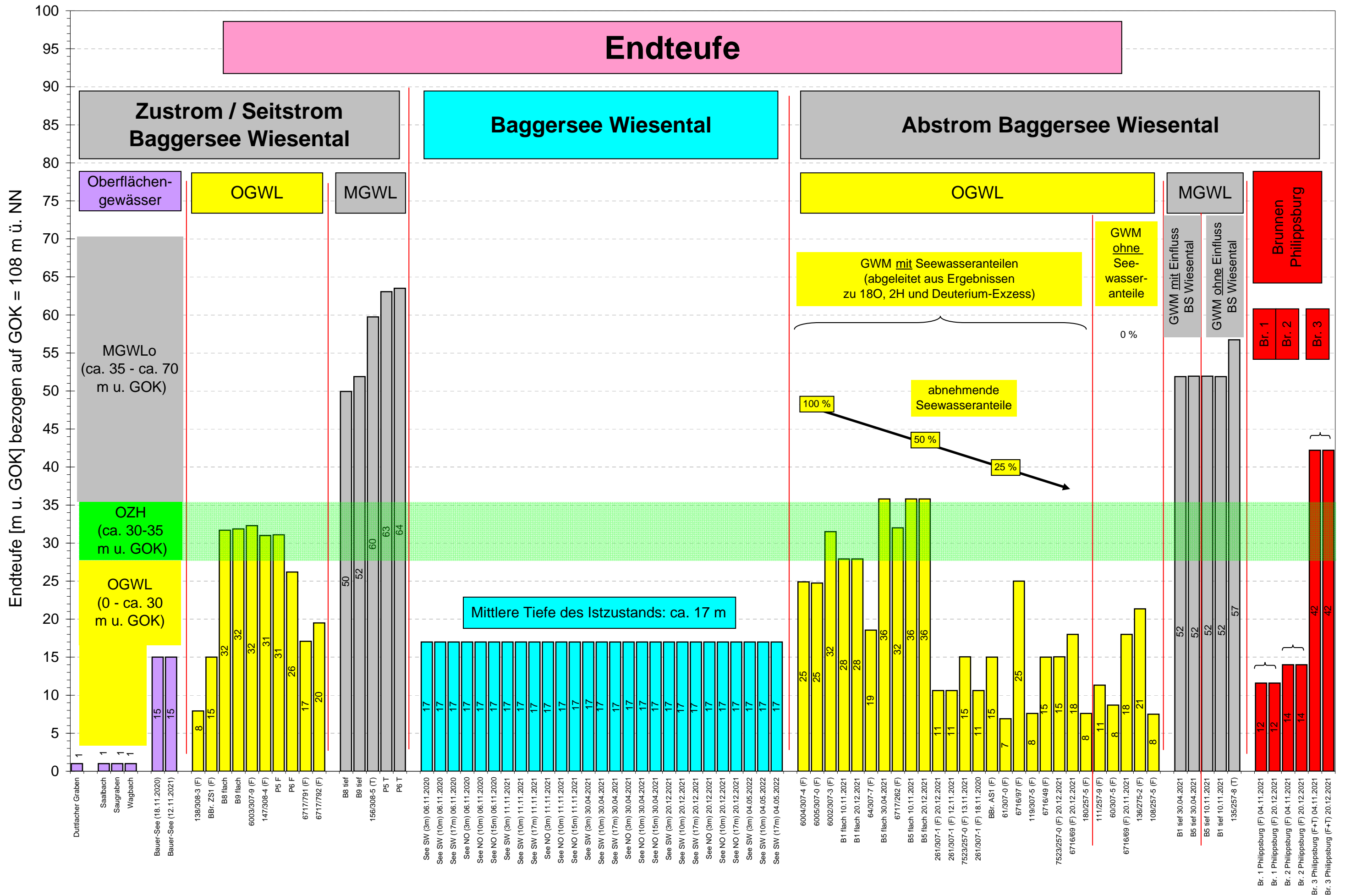
LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2006): Hydrogeologische Untersuchungen zur Beurteilung von Tiefenbaggerungen durch den Oberen Zwischenhorizont in der Rheinniederung nördlich von Karlsruhe, Zusammenfassender Auswertungsbericht des OZH-Projekts, LGRB-Fachbericht 1/06, 66 S., 37 Abb., 7 Tab., Freiburg i. Br., Juli 2006

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (13.08.2019): Hydrogeologische Stellungnahme zu Bohraufschlüssen für die Rohstofferkundung und den Bau von Grundwassermessstellen durch die Heidelberger Sand und Kies GmbH in Waghäusel, OT Wiesental; Az. 94-4721.5///19_6461

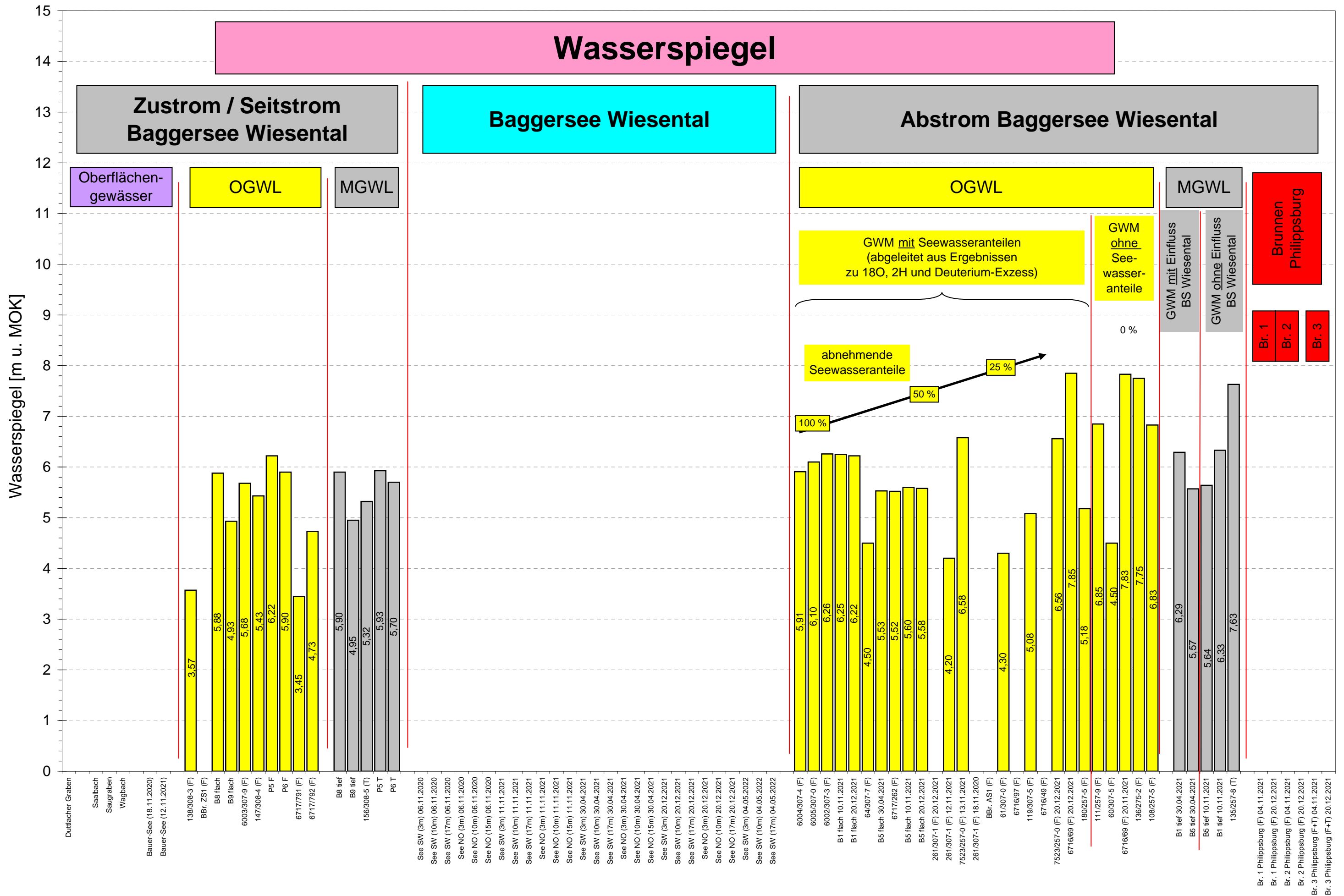
LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (17.03.2020): Hydrogeologische Stellungnahme, Az. 51.14004-692.213-5427727

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (01.04.2020): Hydrogeologische Stellungnahme zum Scoping für die Umweltverträglichkeitsprüfung für das Planfeststellungsverfahren zur Erweiterung des Kieswerks Waghäusel der Firma Heidelberger Sand und Kies GmbH in Waghäusel, OT Wiesental, Landkreis Karlsruhe (TK25 Blatt-Nr. 6717 Waghäusel), Az. 94-4763.4//20_3244

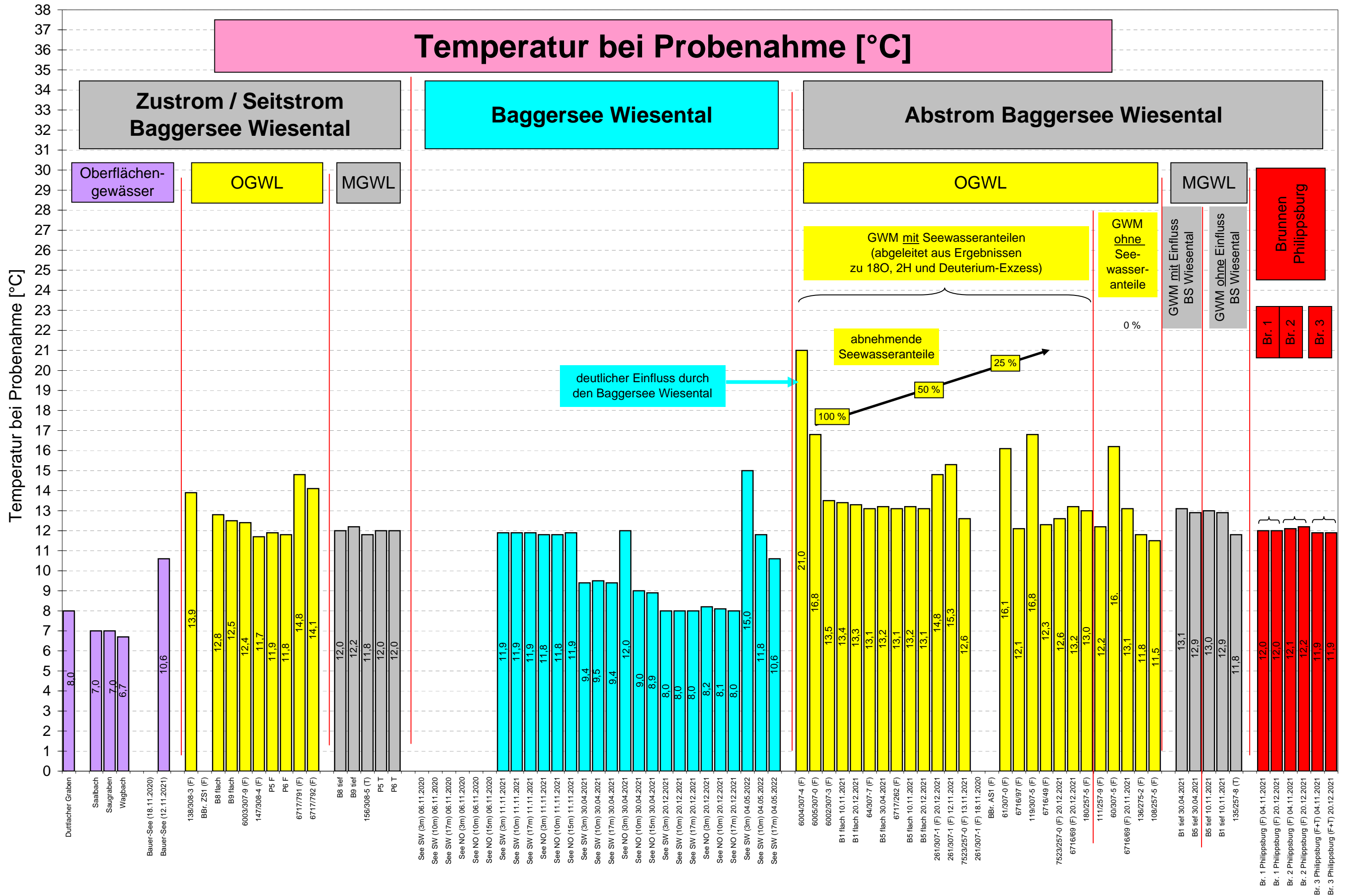
Umweltministerium Baden-Württemberg, HGK KASP (2007): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Raum Karlsruhe-Speyer – Fortschreibung 1986-2005 – Beschreibung der geologischen, hydrogeologischen und hydrologischen Situation, Hrsg. Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz, 111 S., 11 Anl., Stuttgart-Mainz.



Anlage 2: Übersicht zu den Endteufen der Grundwasser-Messstellen und Oberflächengewässer im Umfeld des Baggersees Wiesental

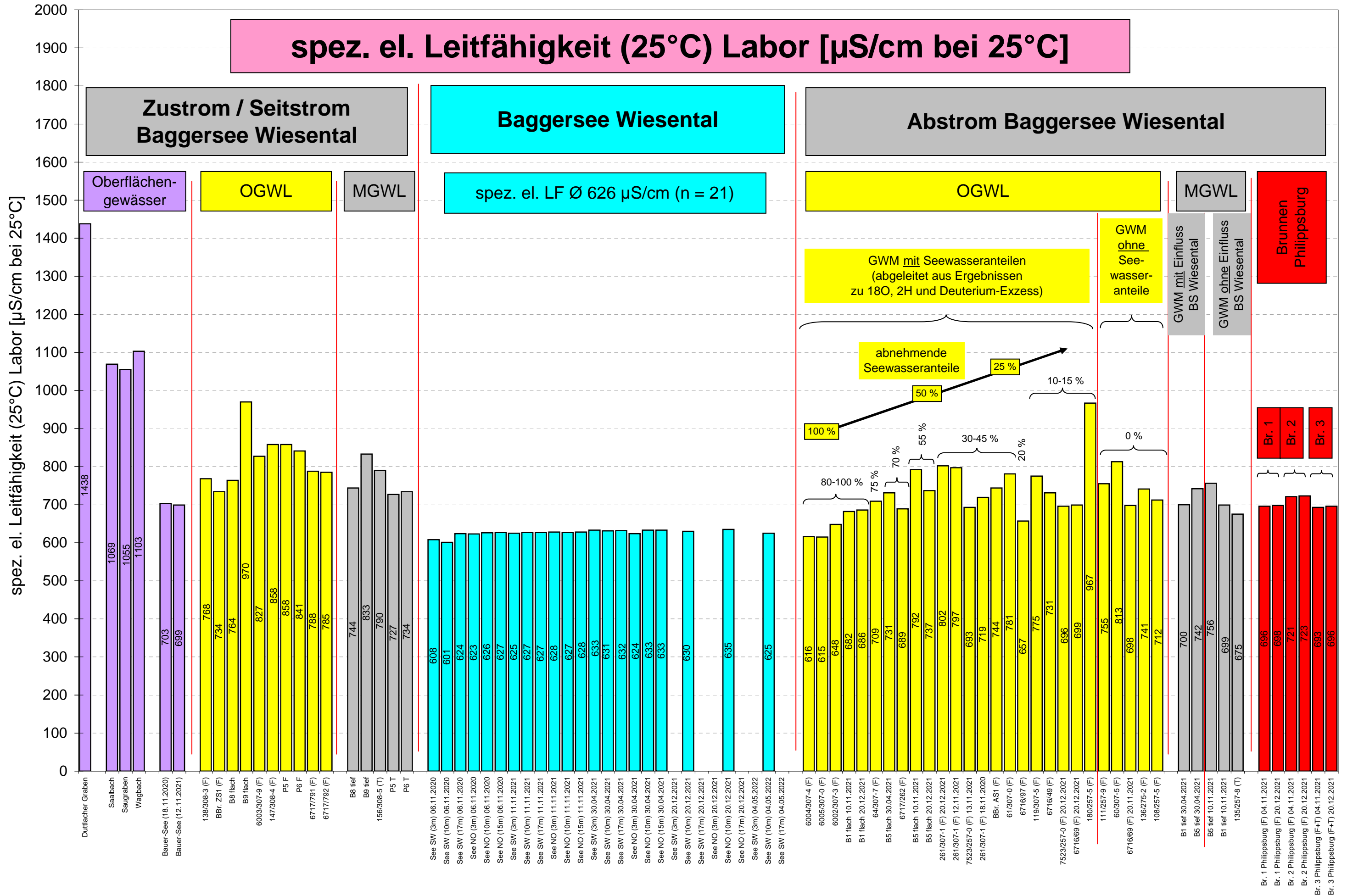


Anlage 3: Übersicht zu den Ruhewasserspiegeln an den Grundwassermessstellen und Brunnen



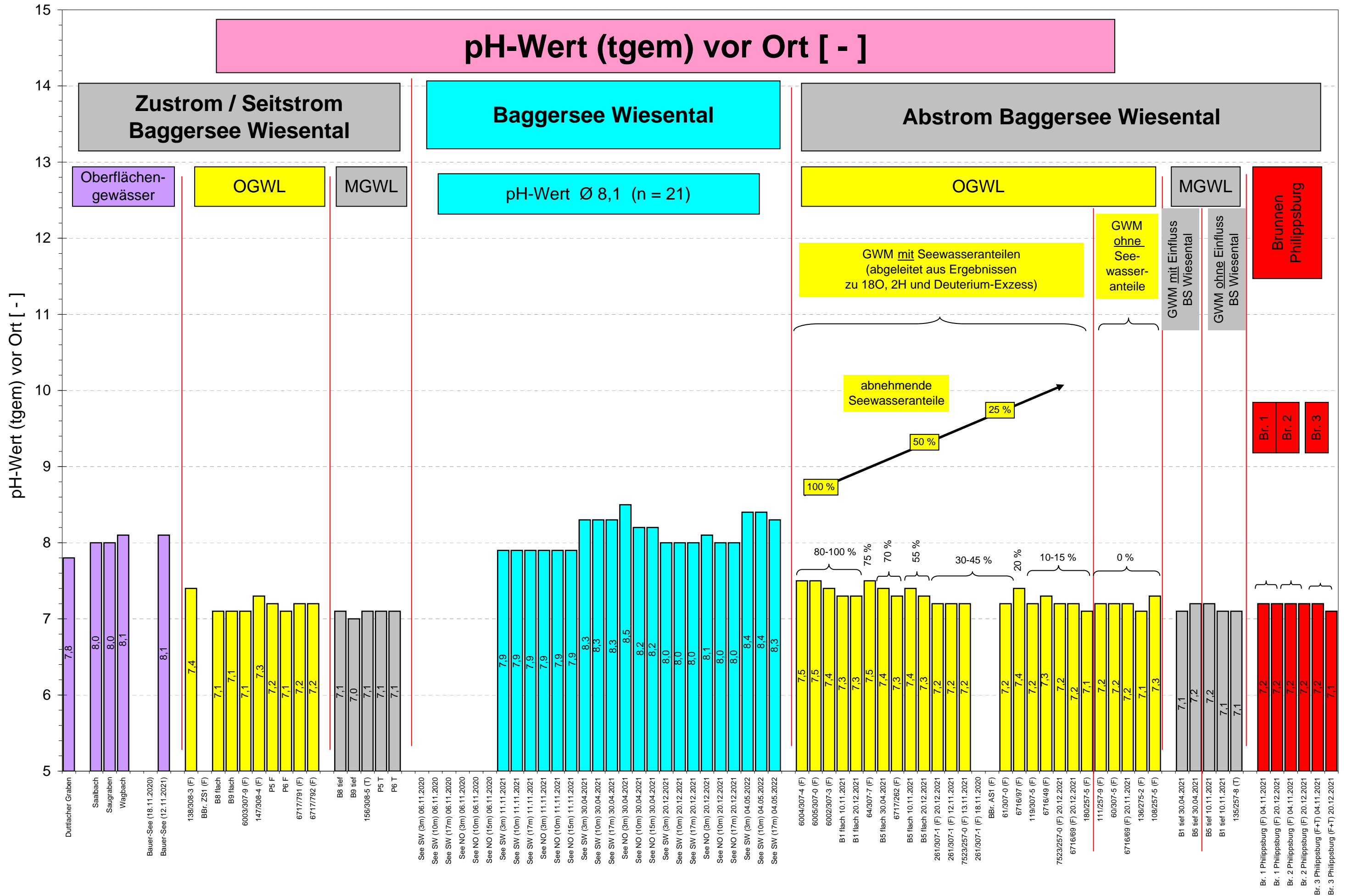
Anlage 4: Übersicht zu den Wassertemperaturen bei der Probenahme

spez. el. Leitfähigkeit (25°C) Labor [$\mu\text{S}/\text{cm}$ bei 25°C]

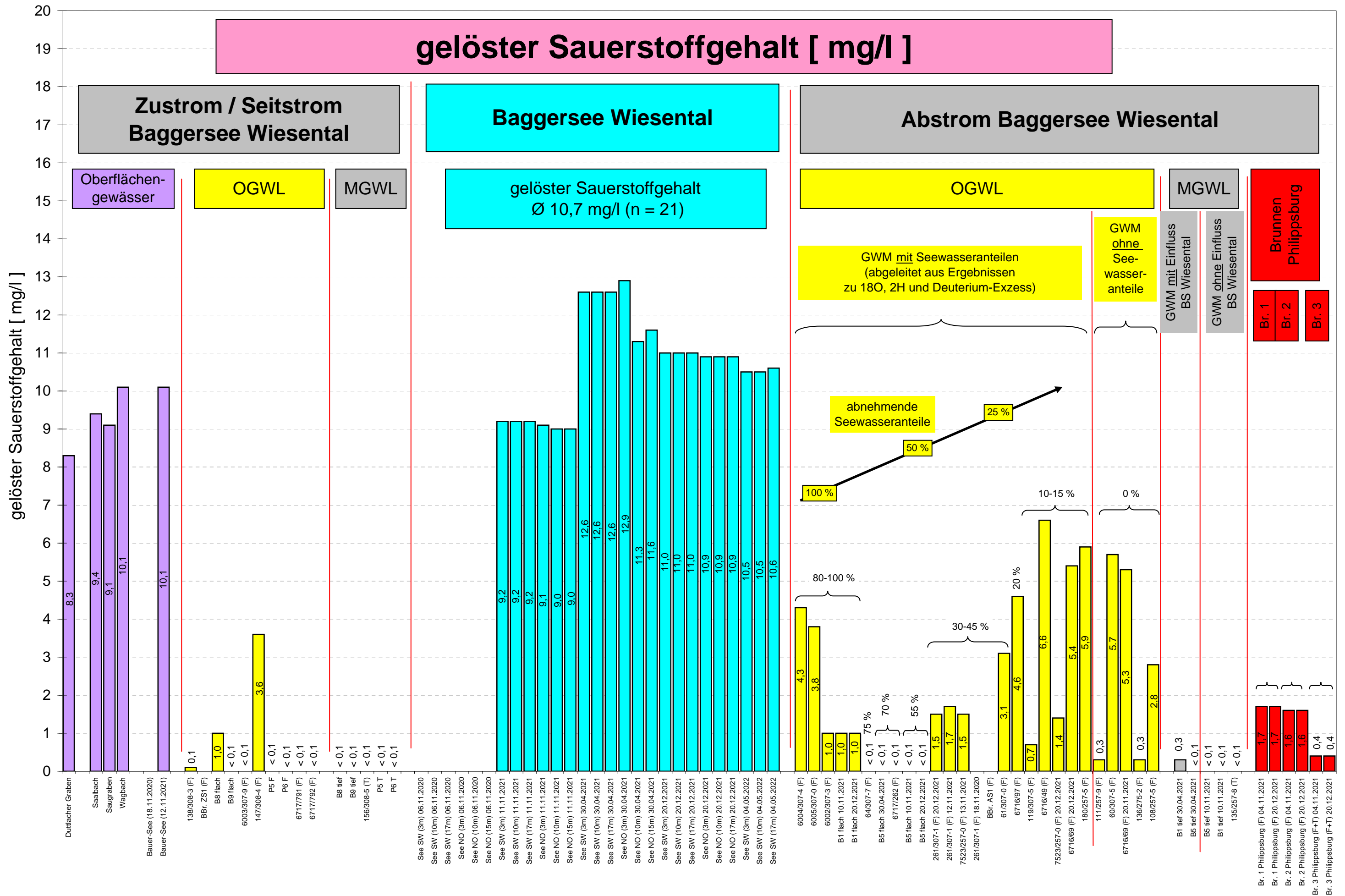


Anlage 5: Übersicht zu den spez. el. Leitfähigkeiten

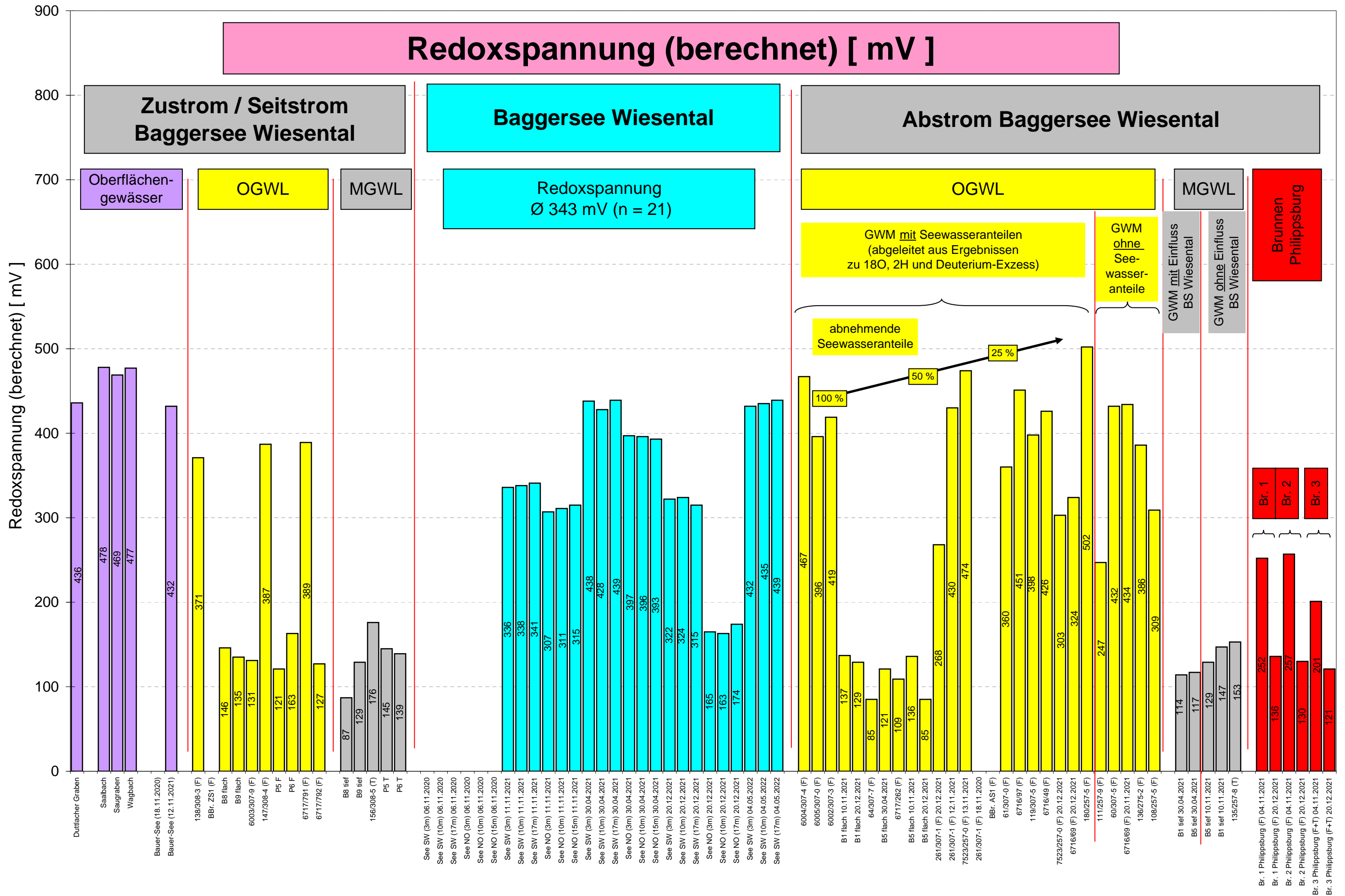
pH-Wert (tgem) vor Ort [-]



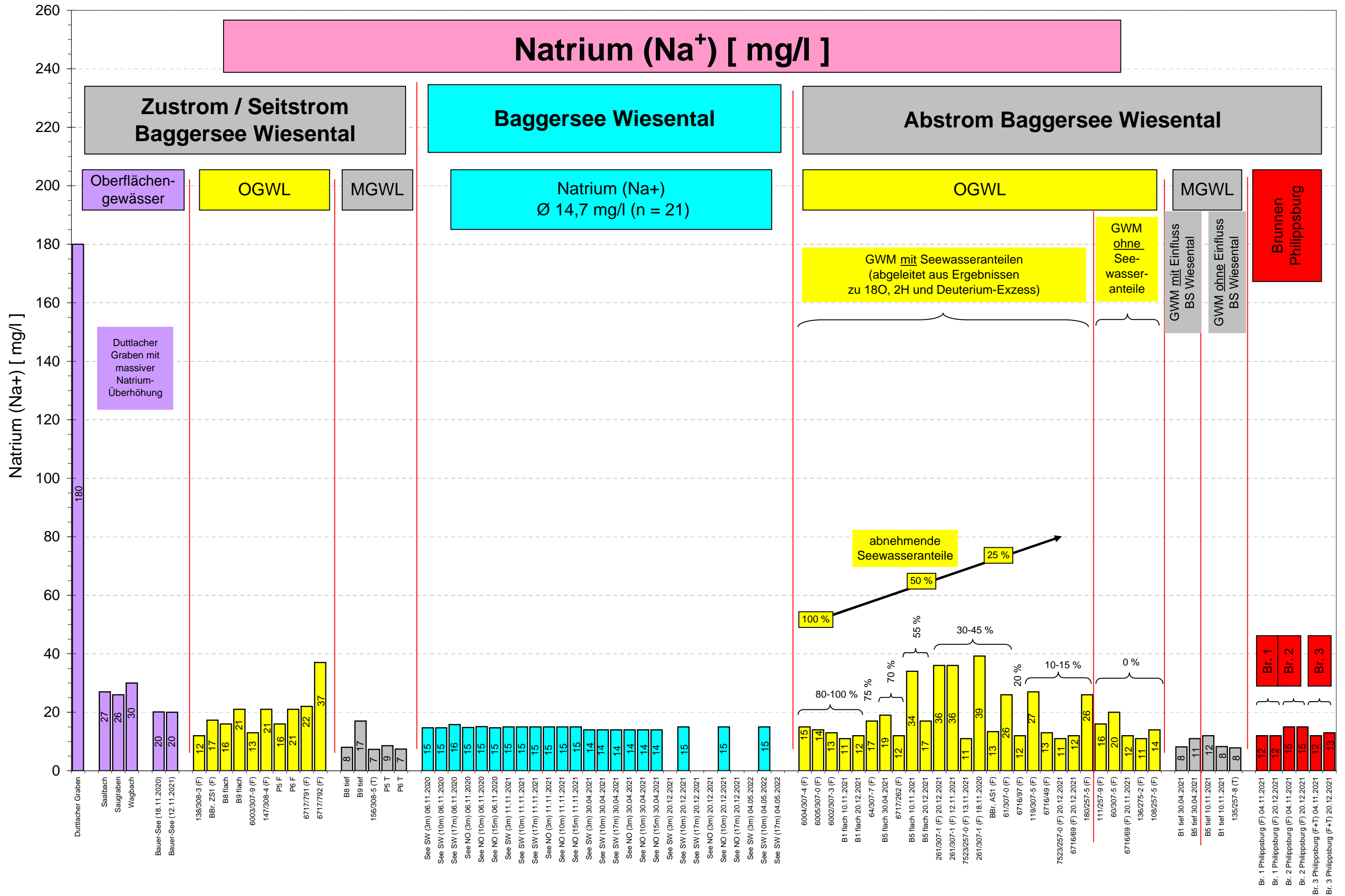
Anlage 6: Übersicht zu den pH-Werten



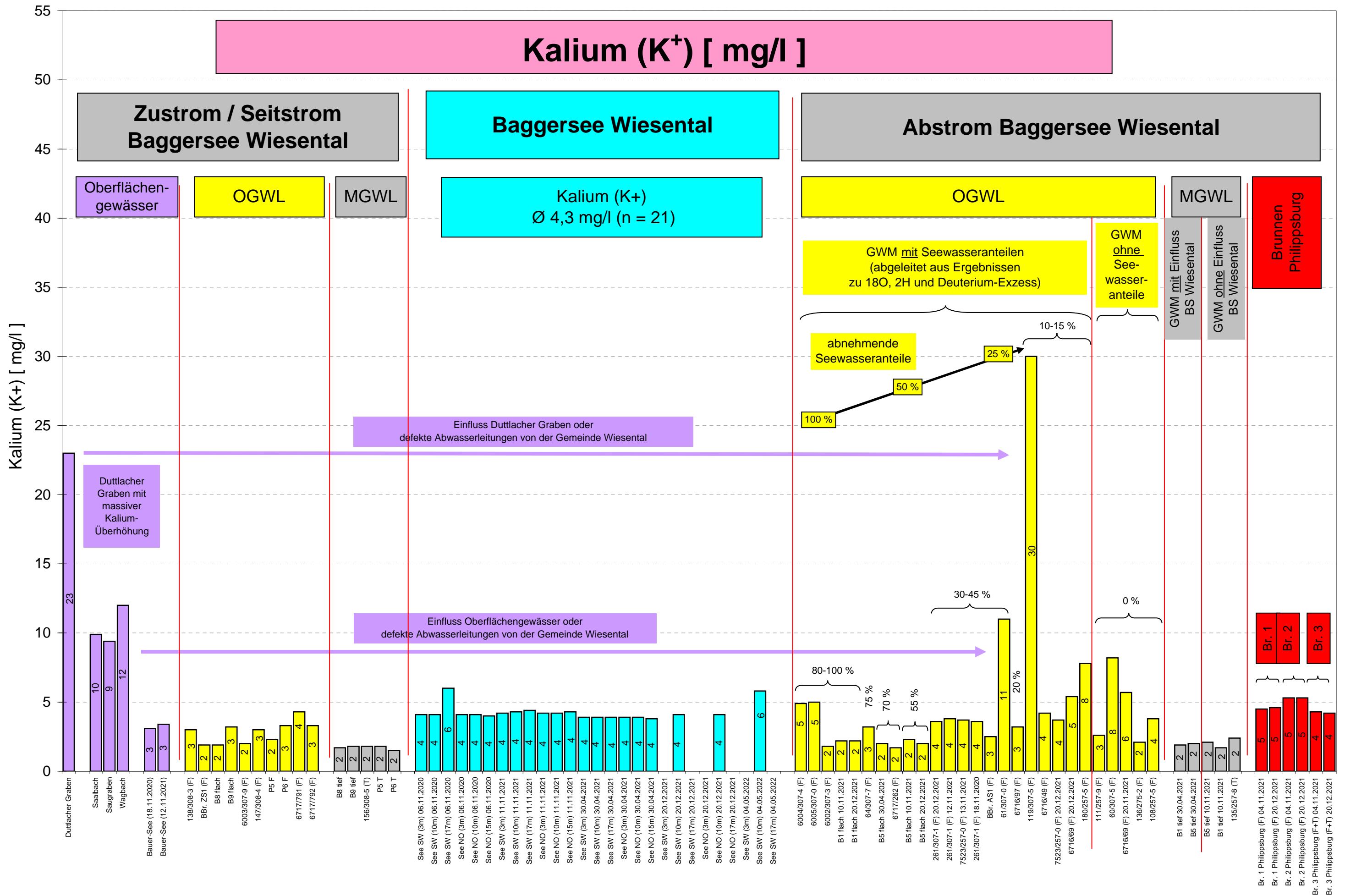
Anlage 7: Übersicht zum gelösten Sauerstoffgehalt



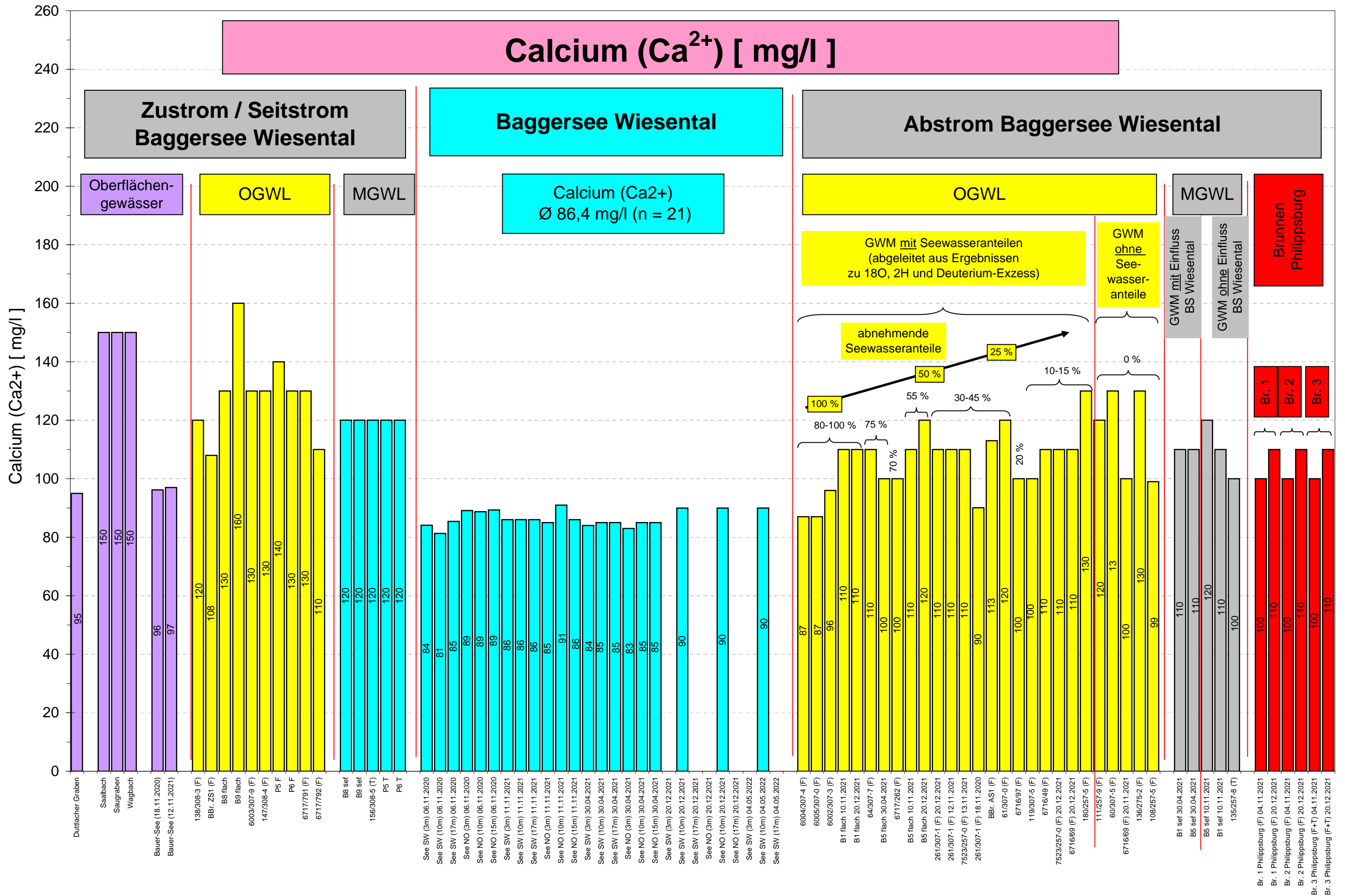
Anlage 8: Übersicht zur Redoxspannung der Messstellen und Oberflächengewässer im Umfeld des Baggersees Wiesental



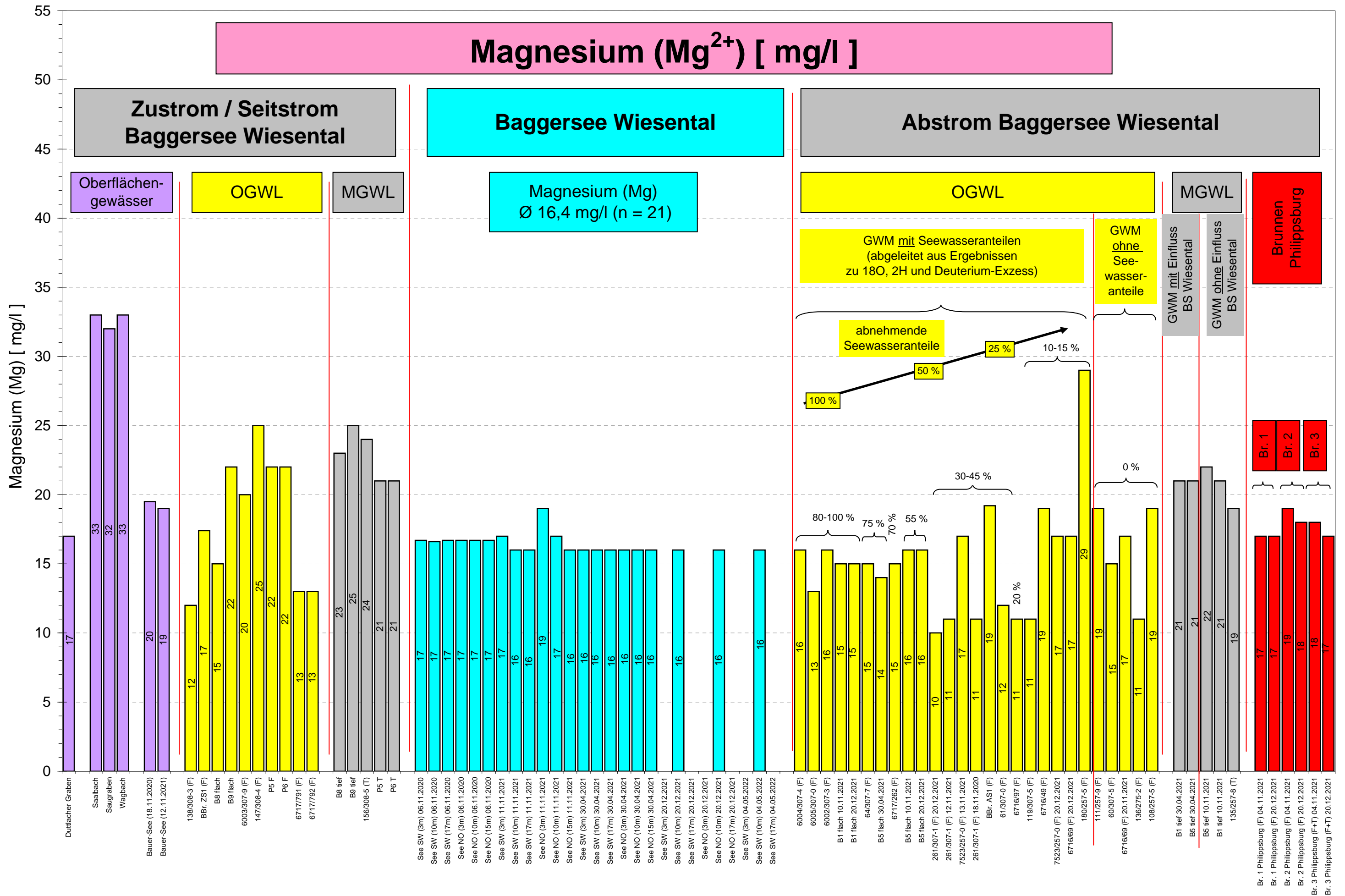
Anlage 9: Übersicht zu den Natrium-Konzentrationen



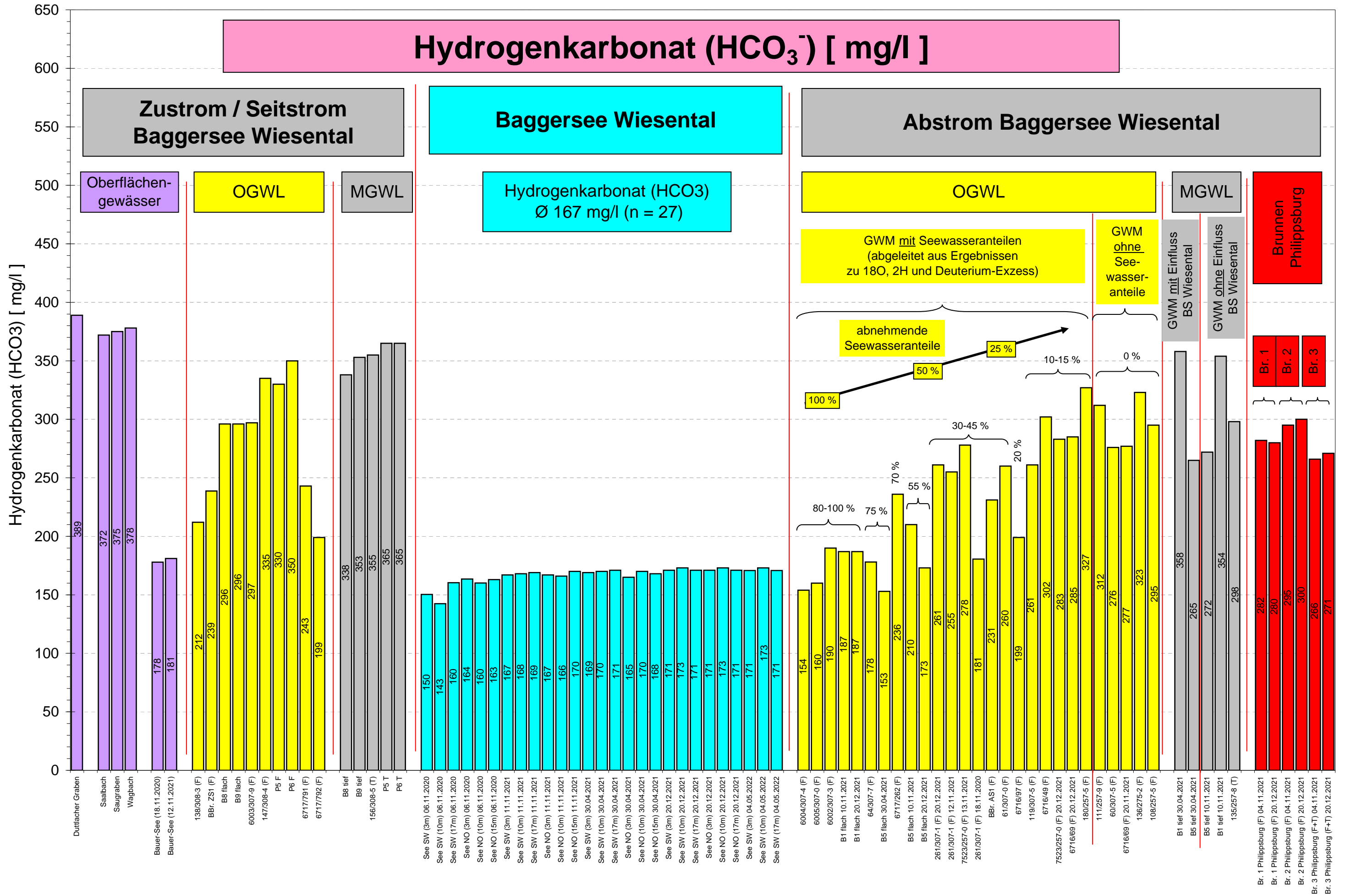
Anlage 10: Übersicht zu den Kalium-Konzentrationen



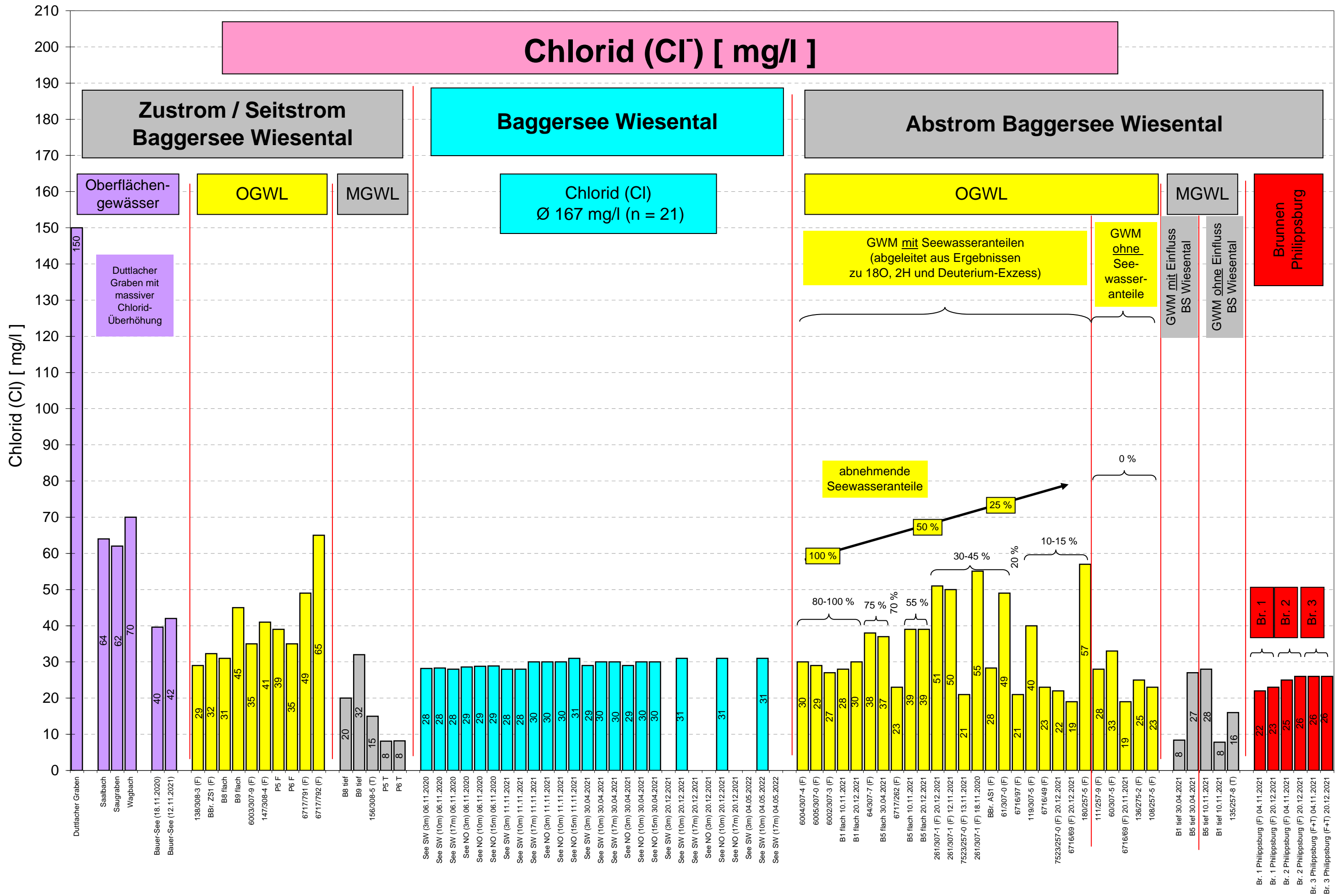
Anlage 11: Übersicht zu den Calcium-Konzentrationen



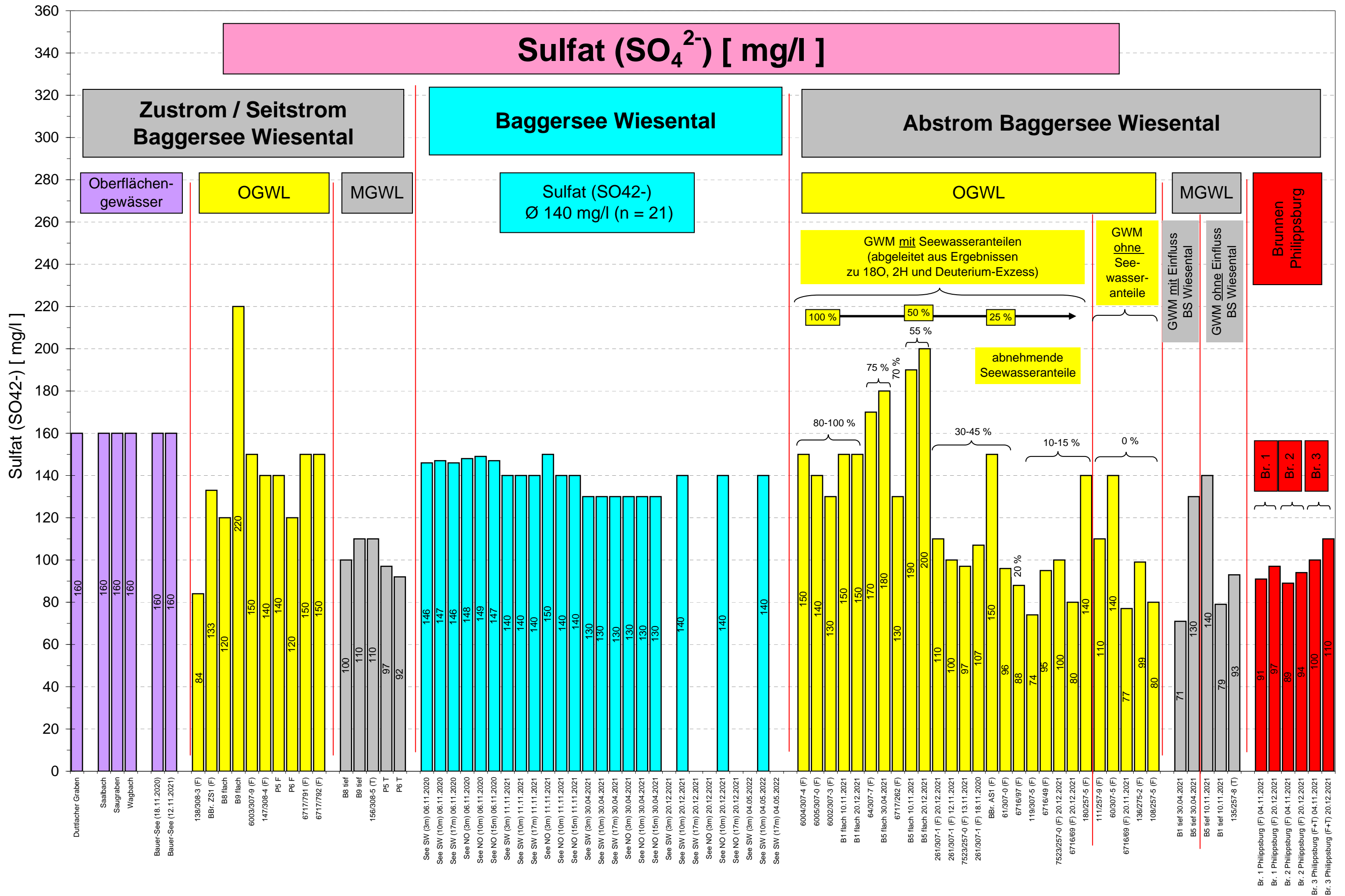
Anlage 12: Übersicht zu den Magnesium-Konzentrationen



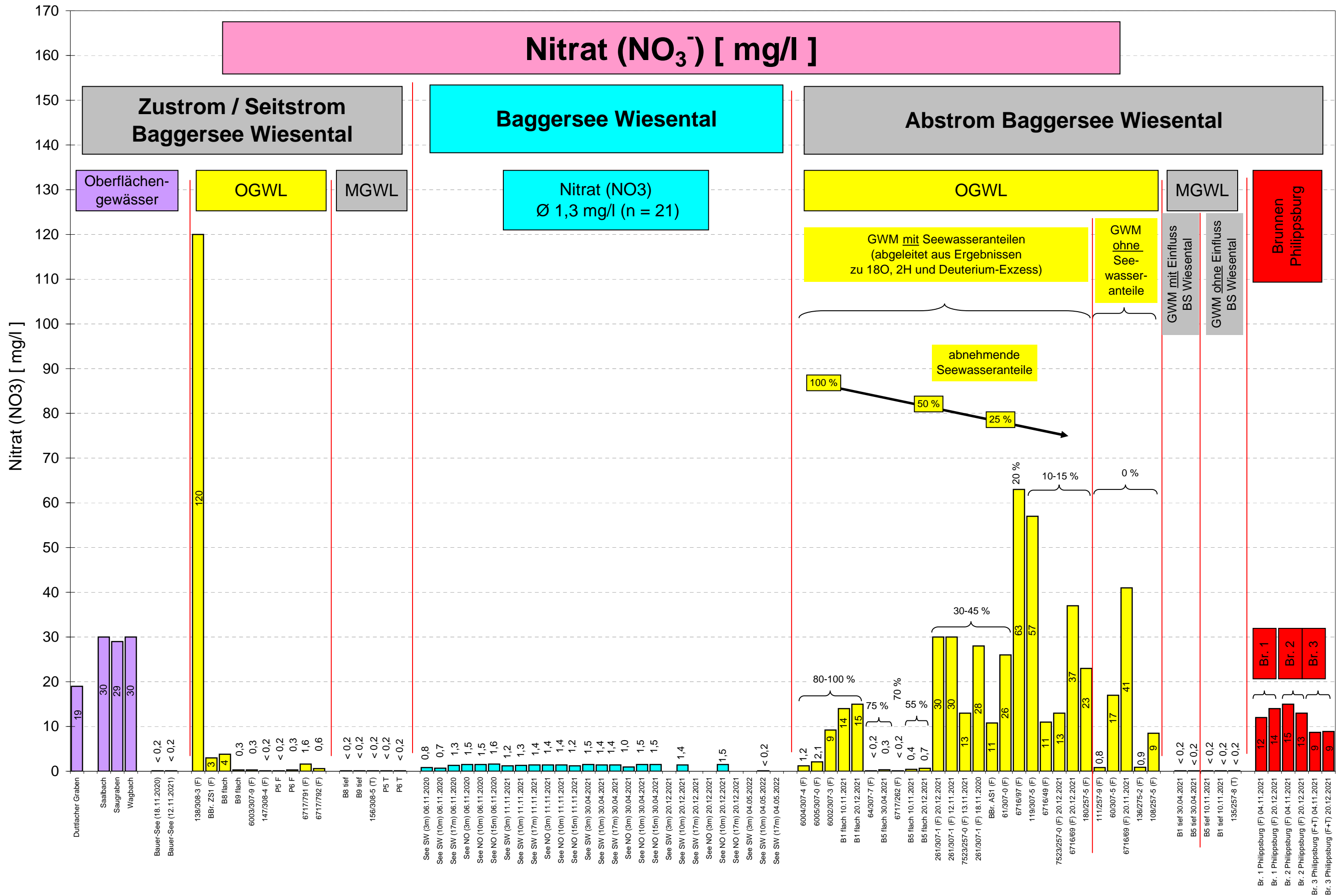
Anlage 13: Übersicht zu den Hydrogenkarbonat-Konzentrationen



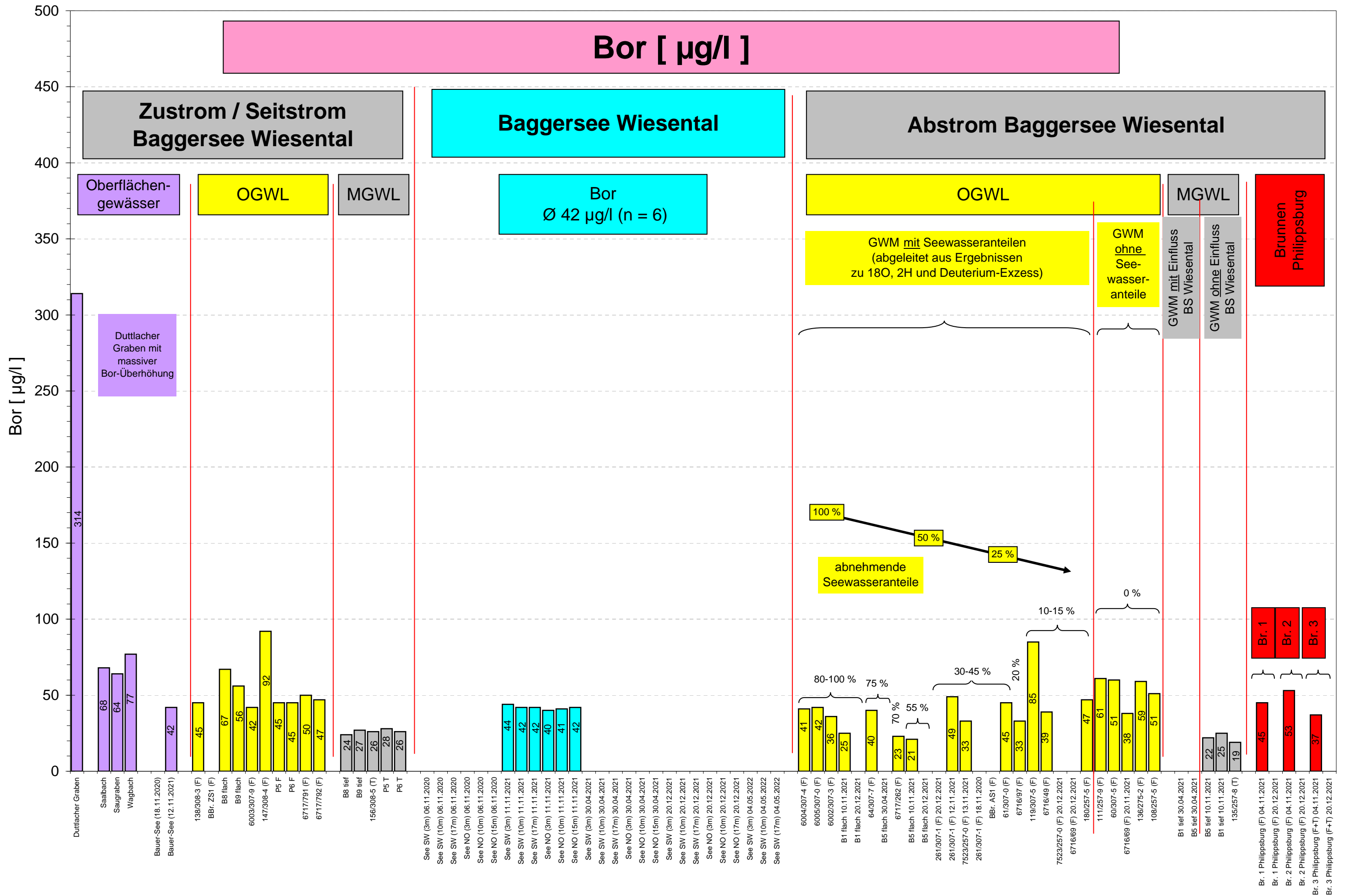
Anlage 14: Übersicht zu den Chlorid-Konzentrationen



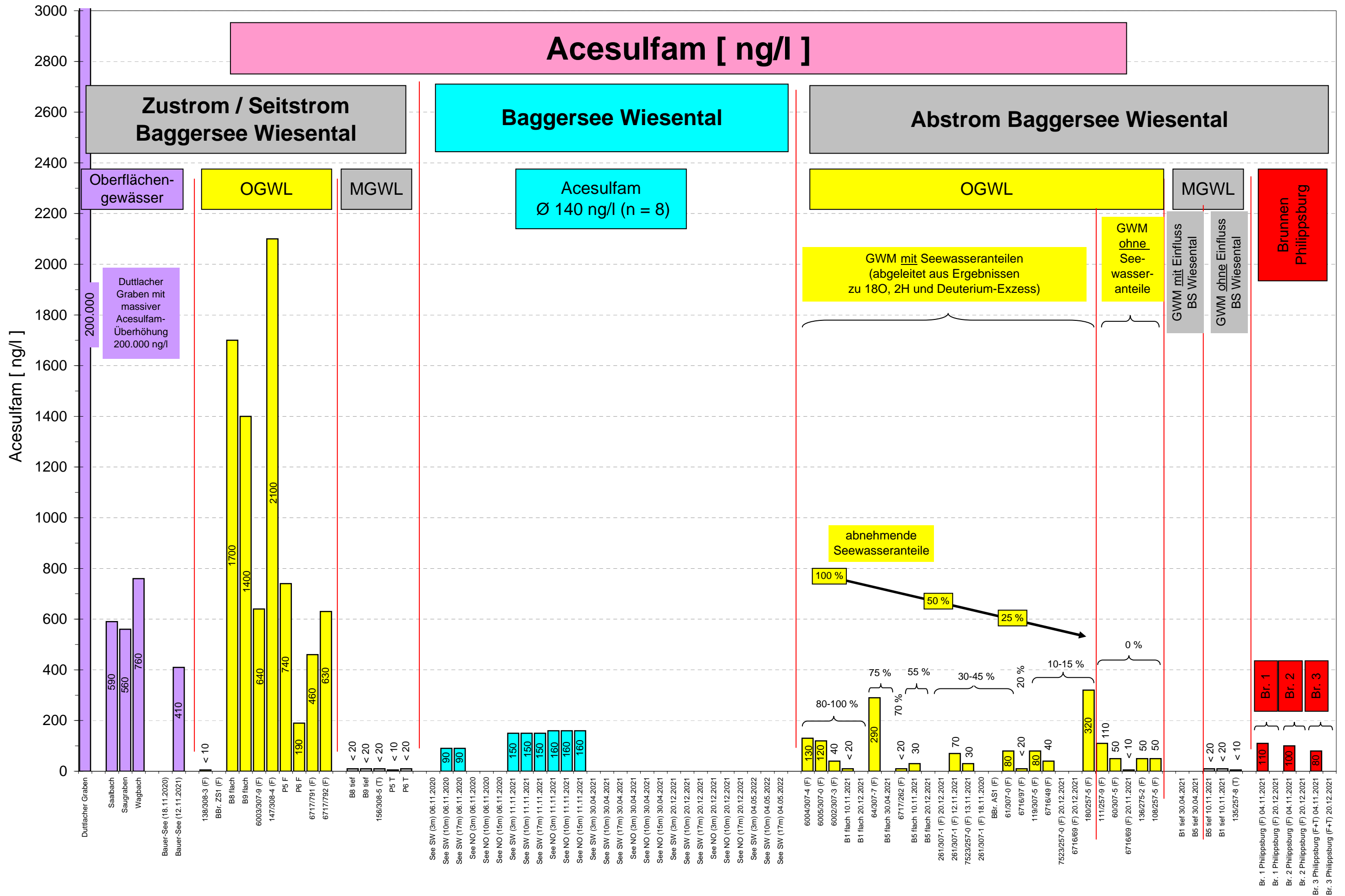
Anlage 15: Übersicht zu den Sulfat-Konzentrationen



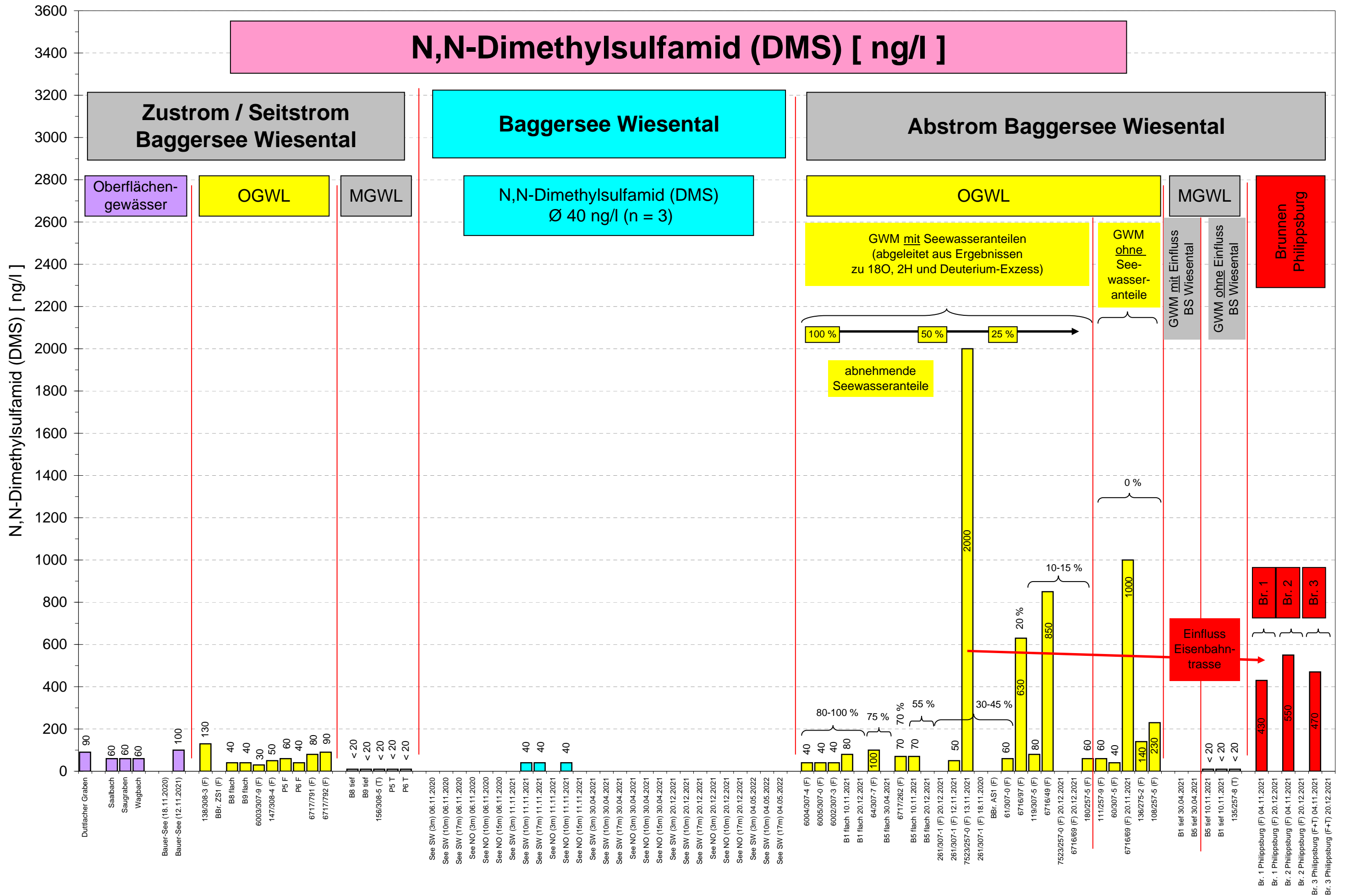
Anlage 16: Übersicht zu den Nitrat-Konzentrationen



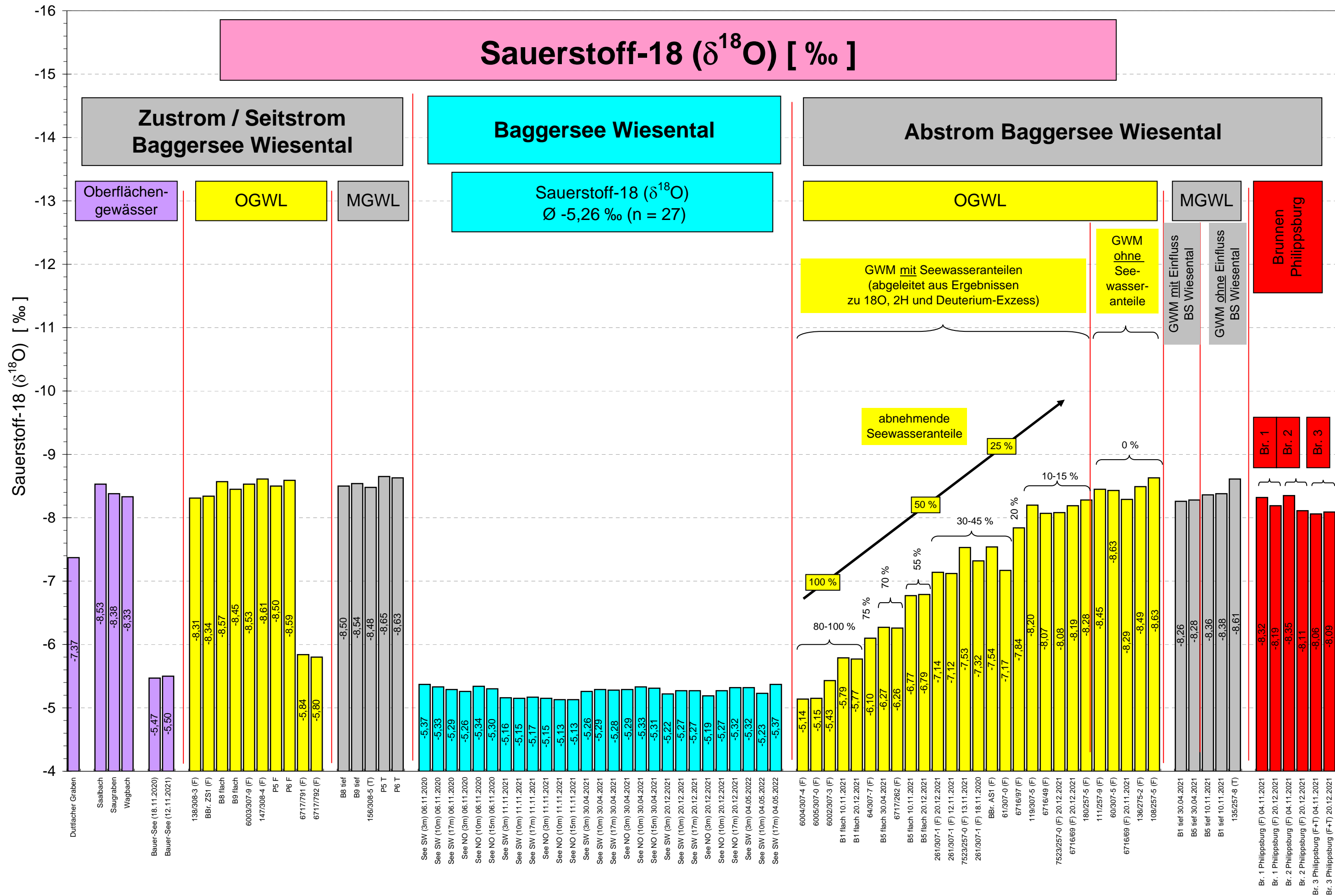
Anlage 17: Übersicht zu den Bor-Konzentrationen



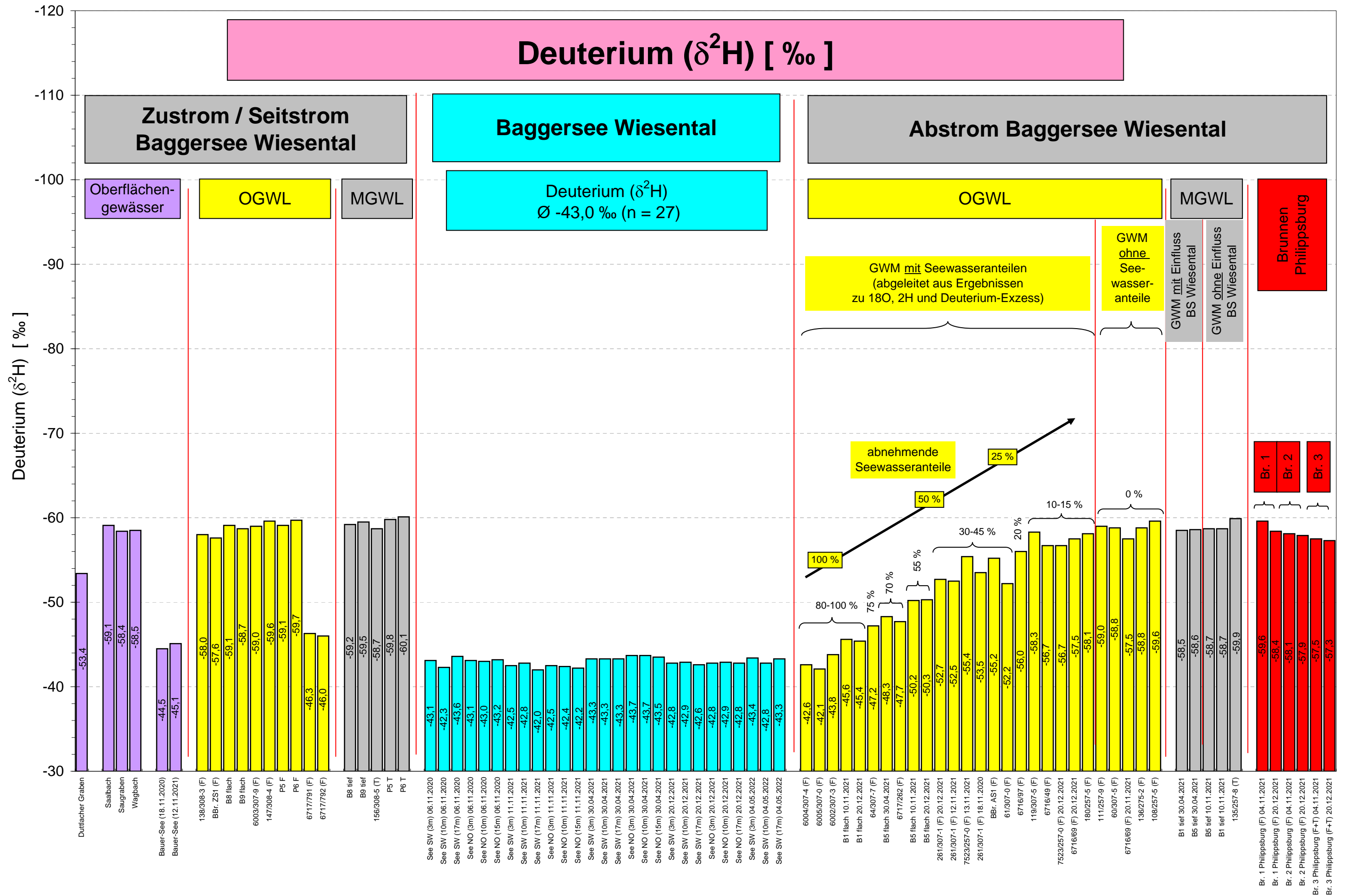
Anlage 18: Übersicht zu den Acesulfam-Konzentrationen



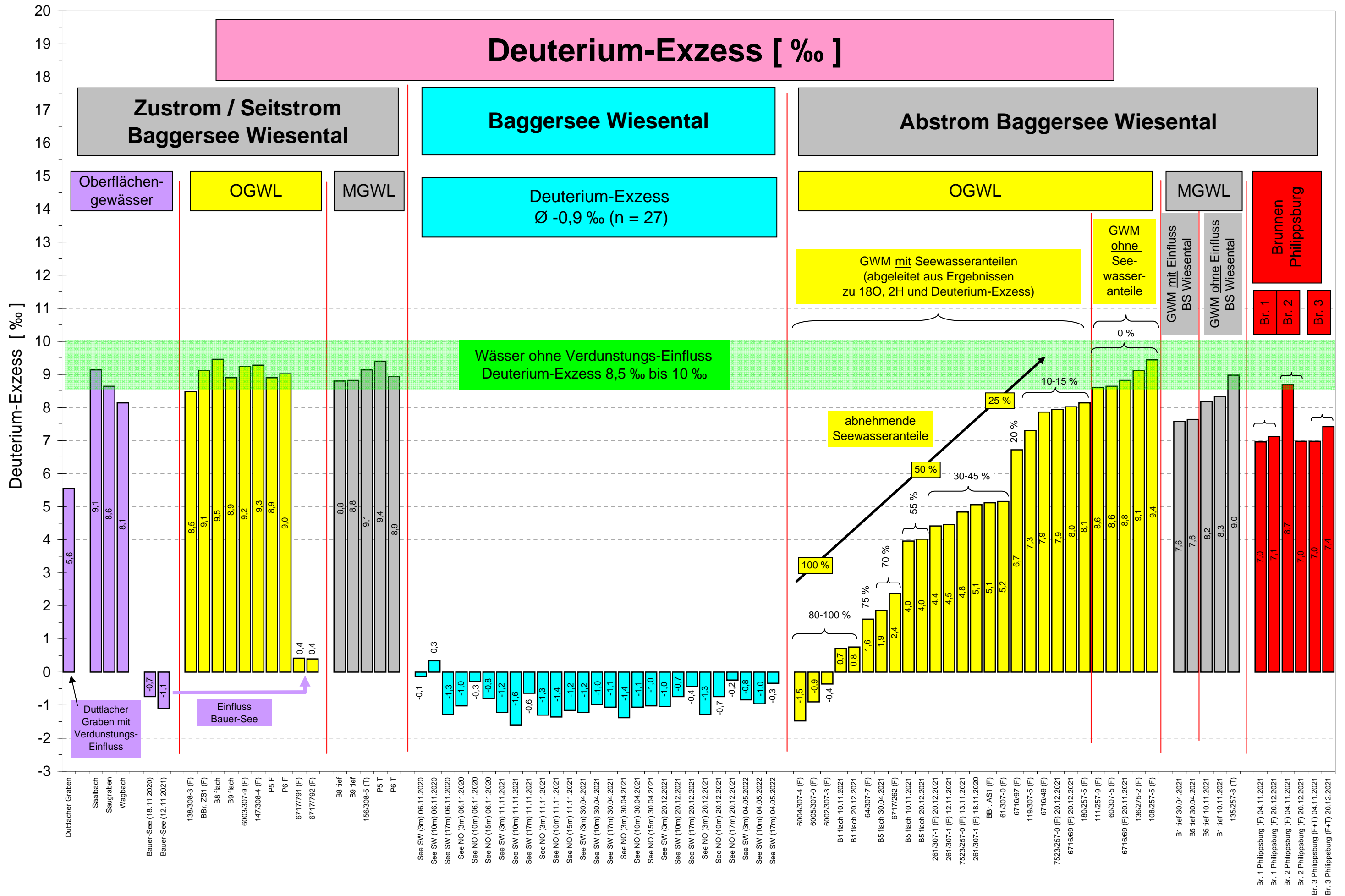
Anlage 19: Übersicht zu den N,N-Dimethylsulfamid (DMS) -Konzentrationen



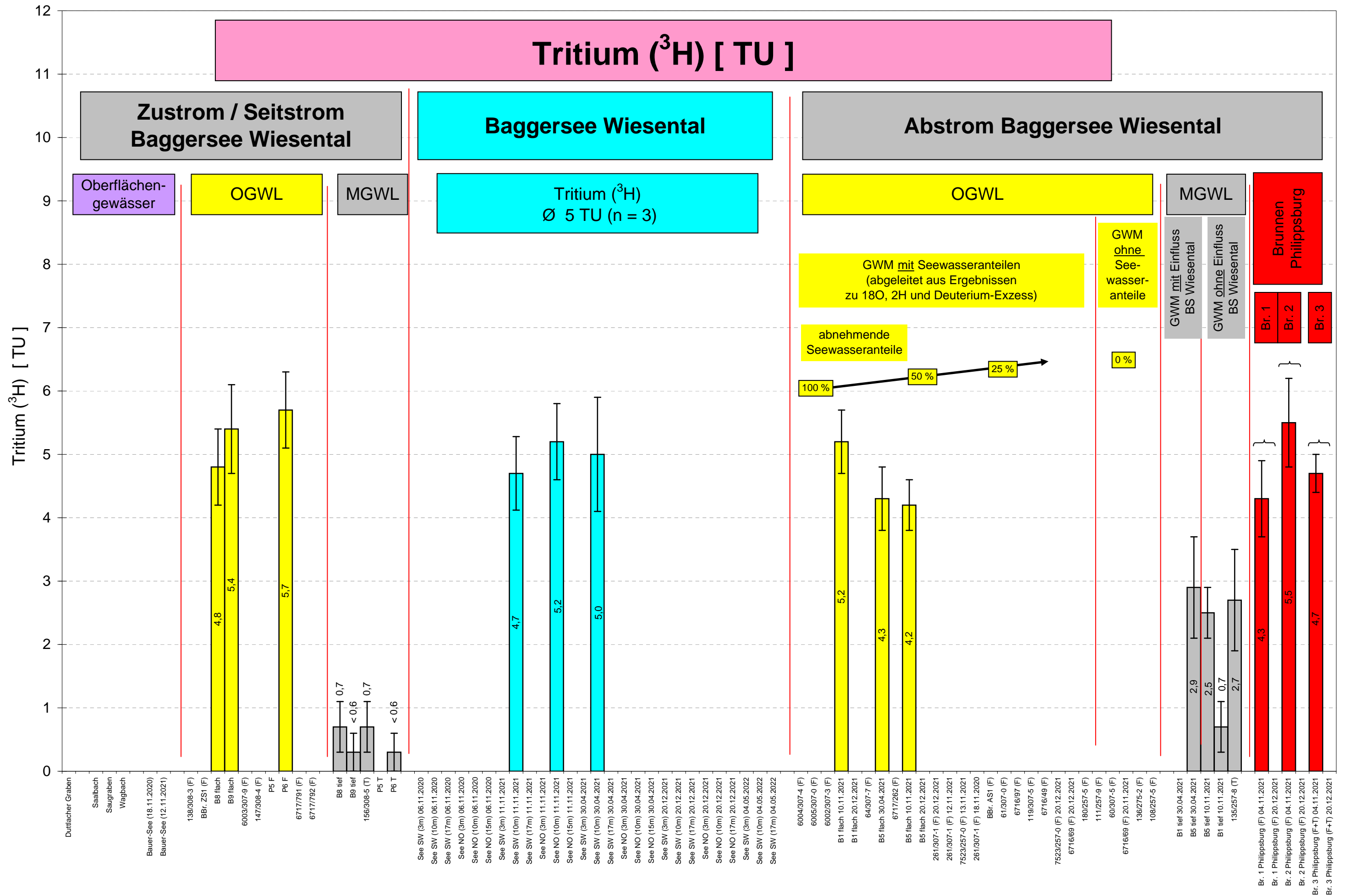
Anlage 20: Übersicht zu den Sauerstoff-18-Gehalten



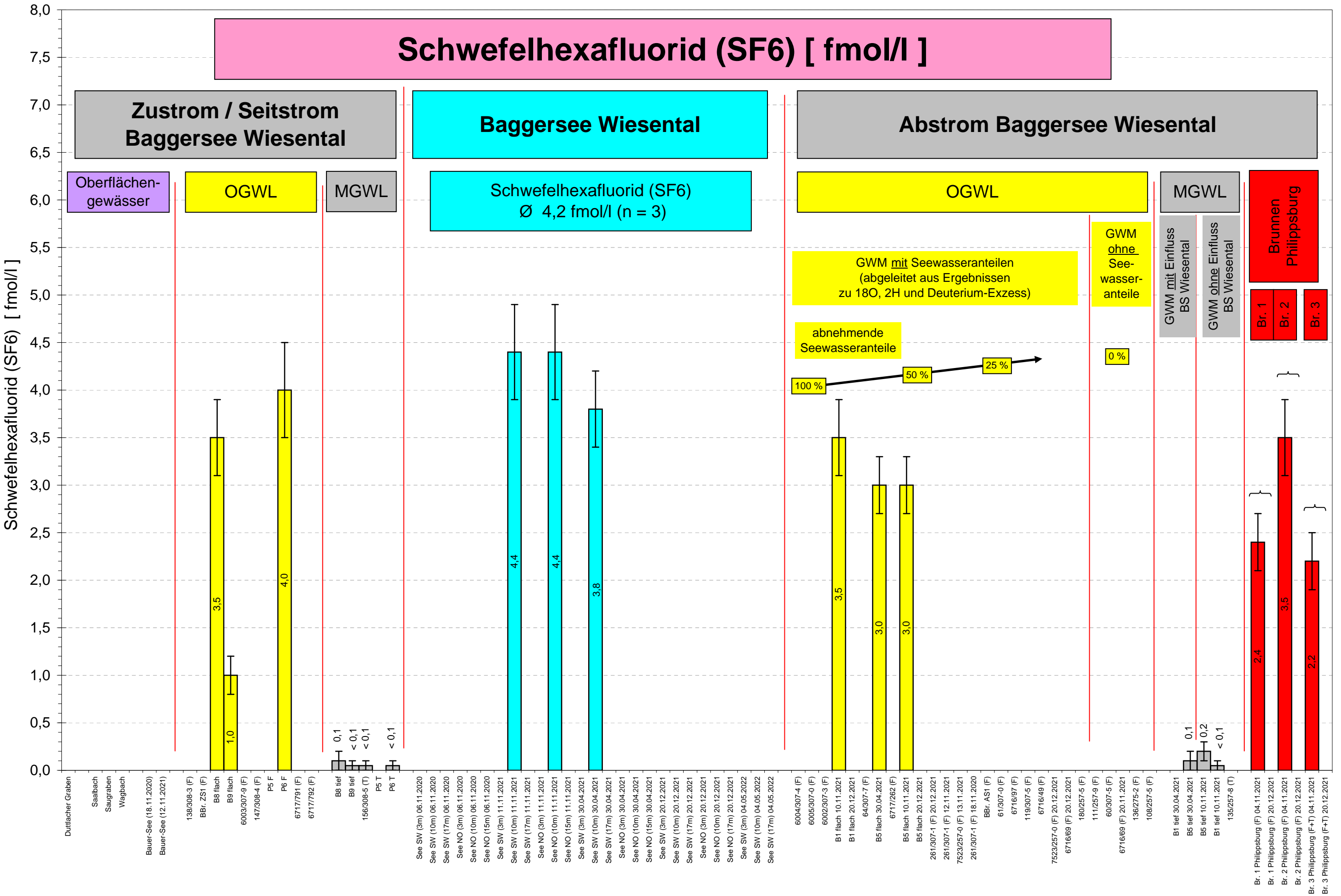
Anlage 21: Übersicht zu den Deuterium-Gehalten



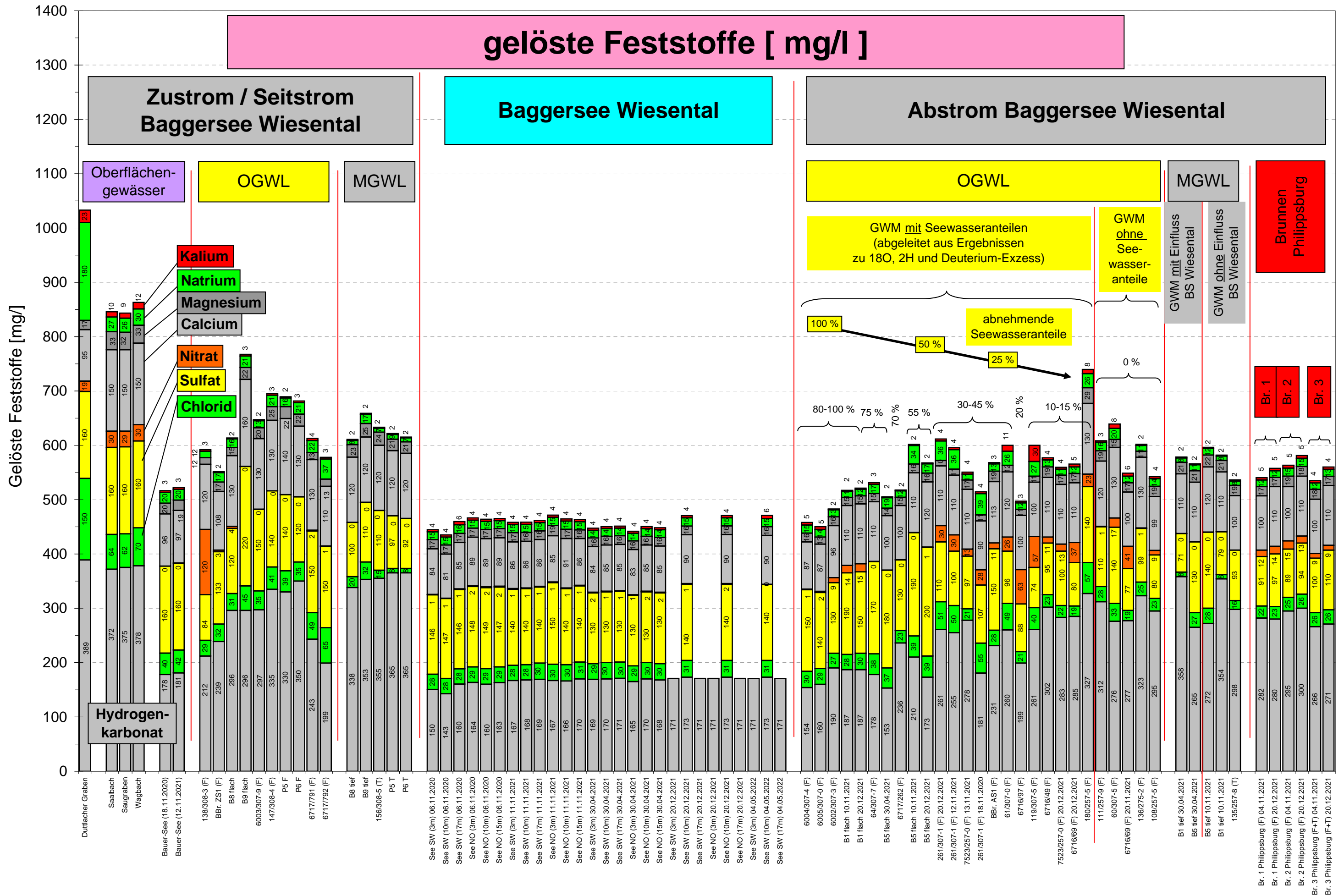
Anlage 22: Übersicht zu den Deuterium-Exzess-Gehalten



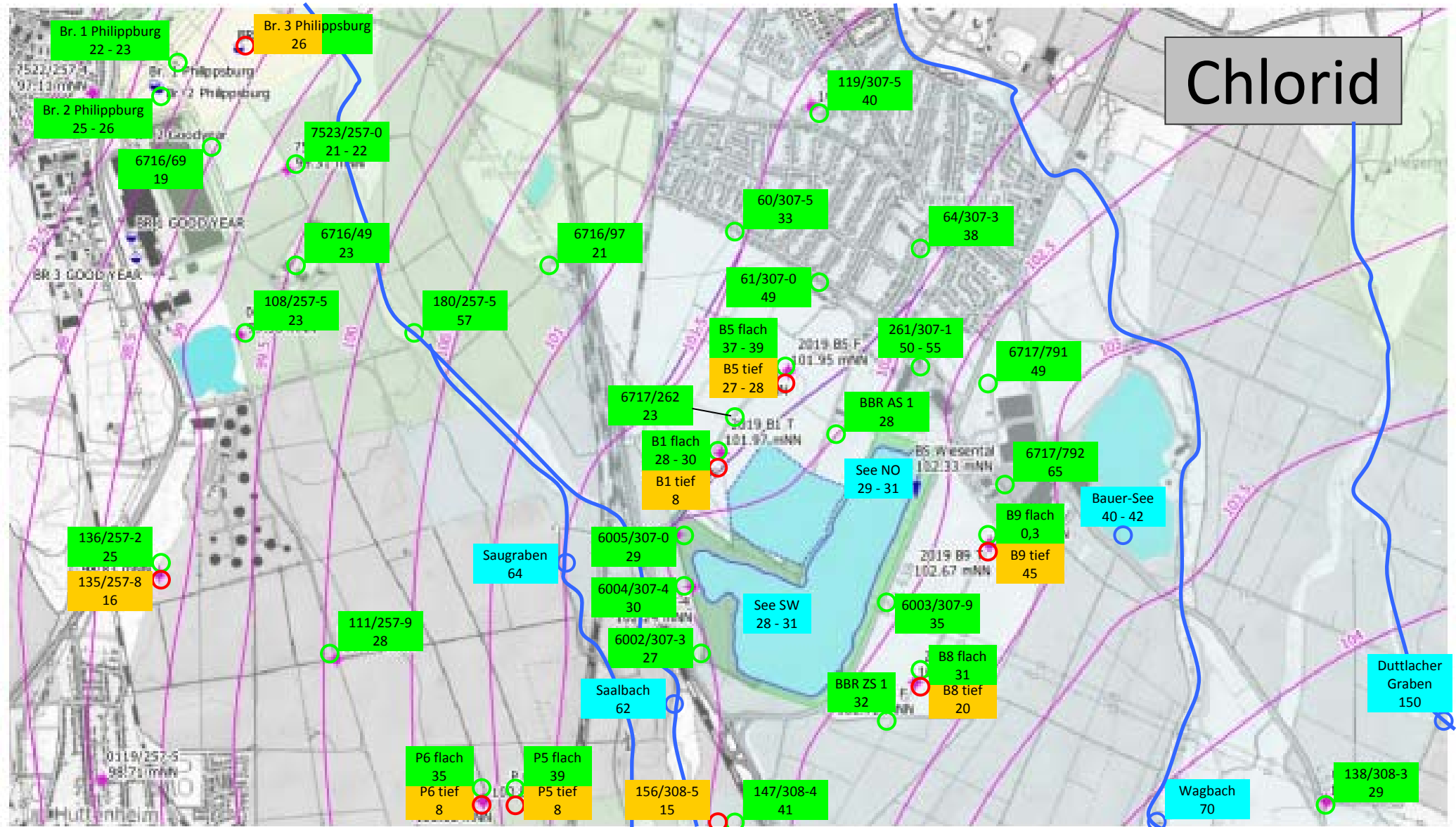
Anlage 23: Übersicht zu den Tritium-Gehalten



Anlage 24: Übersicht zu den Schwefelhexafluorid (SF6) -Gehalten



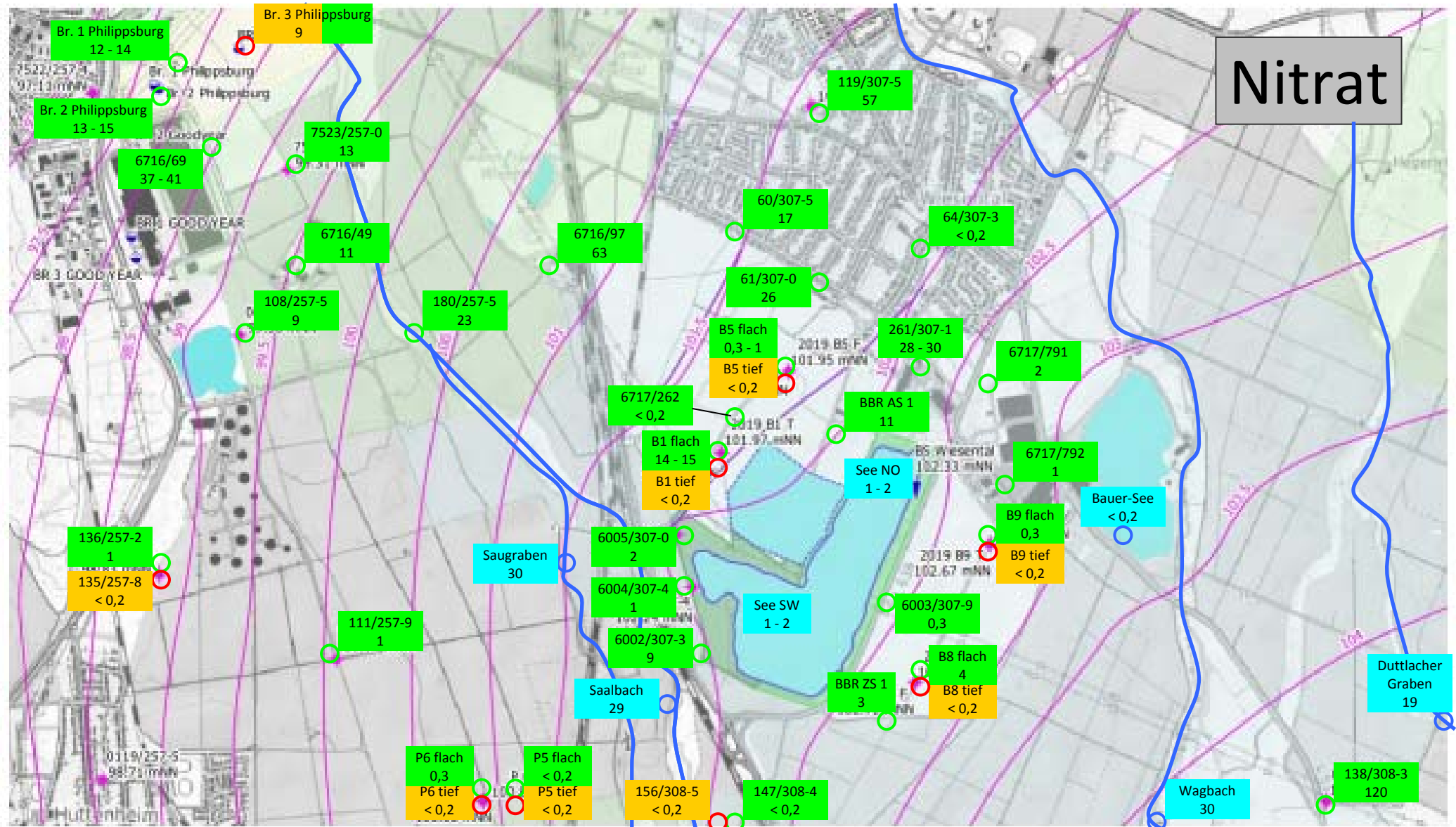
Anlage 25: Übersicht zu den gelösten Feststoffen



- Oberflächengewässer Chlorid in mg/l
- GWM OGWL Chlorid in mg/l
- GWM MGWL Chlorid in mg/l

Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

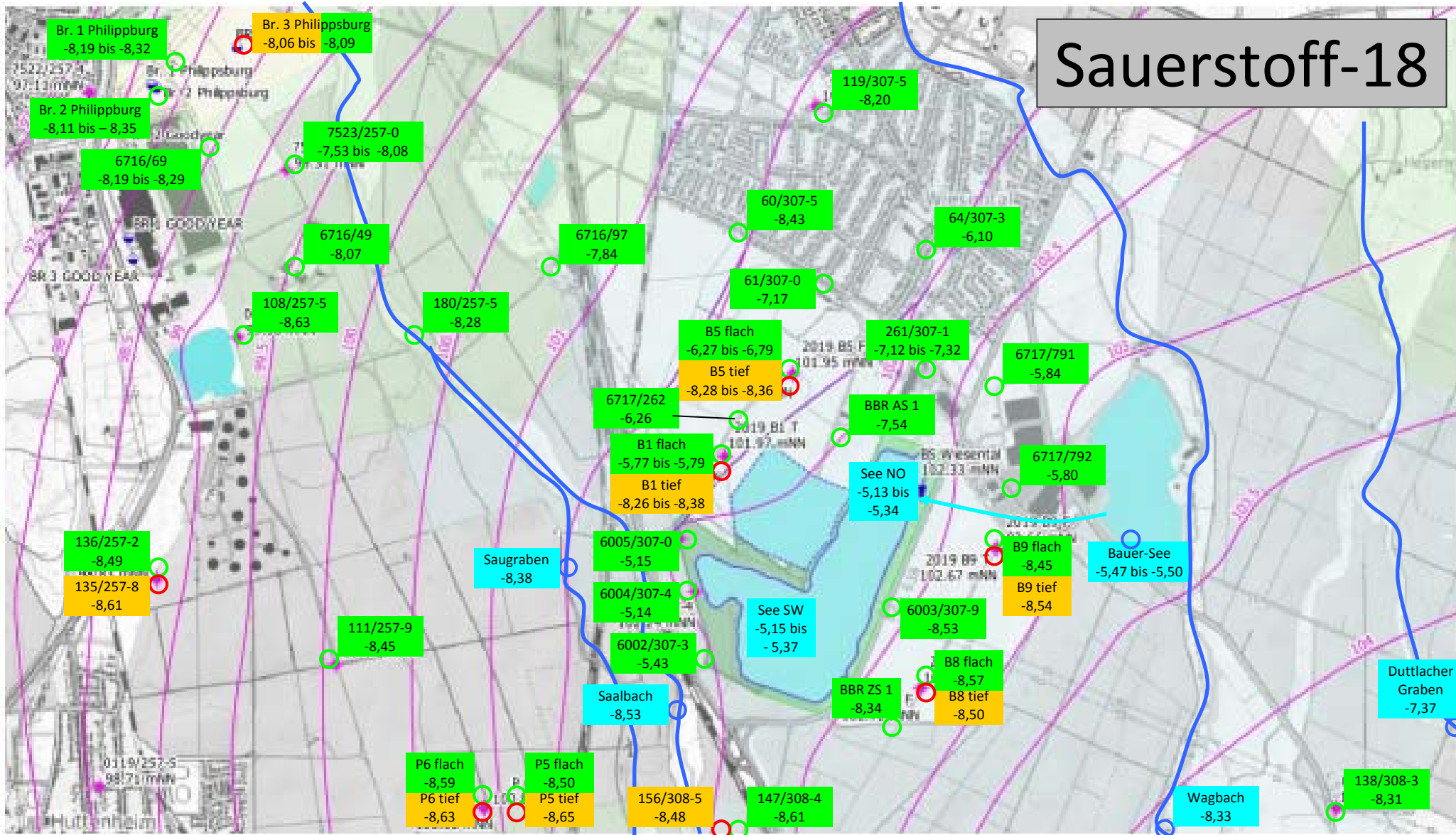
Anlage 26: flächenhafte Verbreitung der Chlorid- Konzentrationen



○	○	○	Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)
Oberflächengewässer Nitrat in mg/l	GWM OGWL Nitrat in mg/l	GWM MGWL Nitrat in mg/l	
○	○	○	

Anlage 27: flächenhafte Verbreitung der Nitrat-Konzentrationen

Sauerstoff-18



Oberflächengewässer
Sauerstoff-18 in ‰

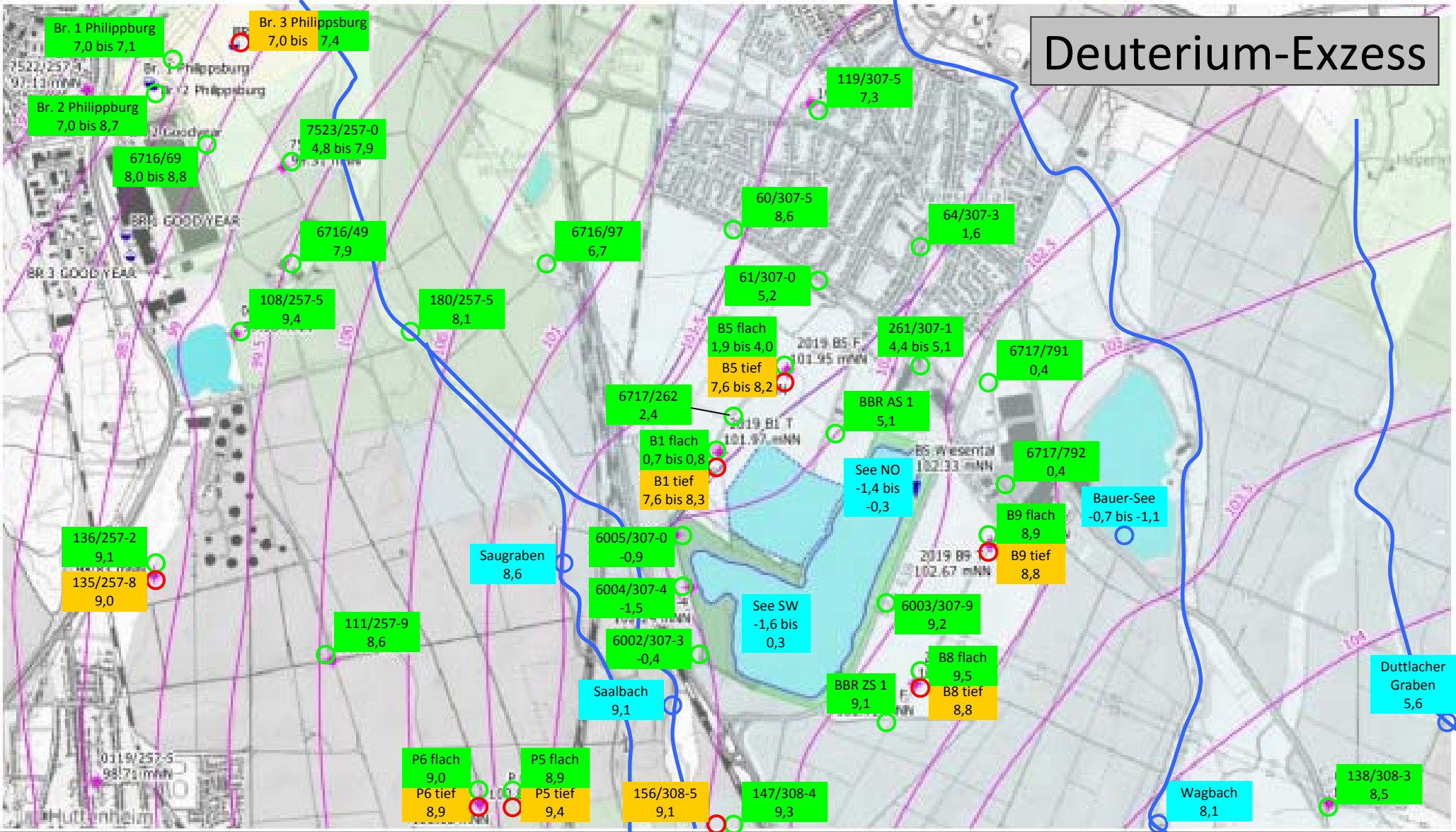
GWM OGWL
Sauerstoff-18 (‰)

GWM MGWL
Sauerstoff-18 (‰)

Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 28: Flächenhafte Verbreitung der Sauerstoff-18-Gehalte

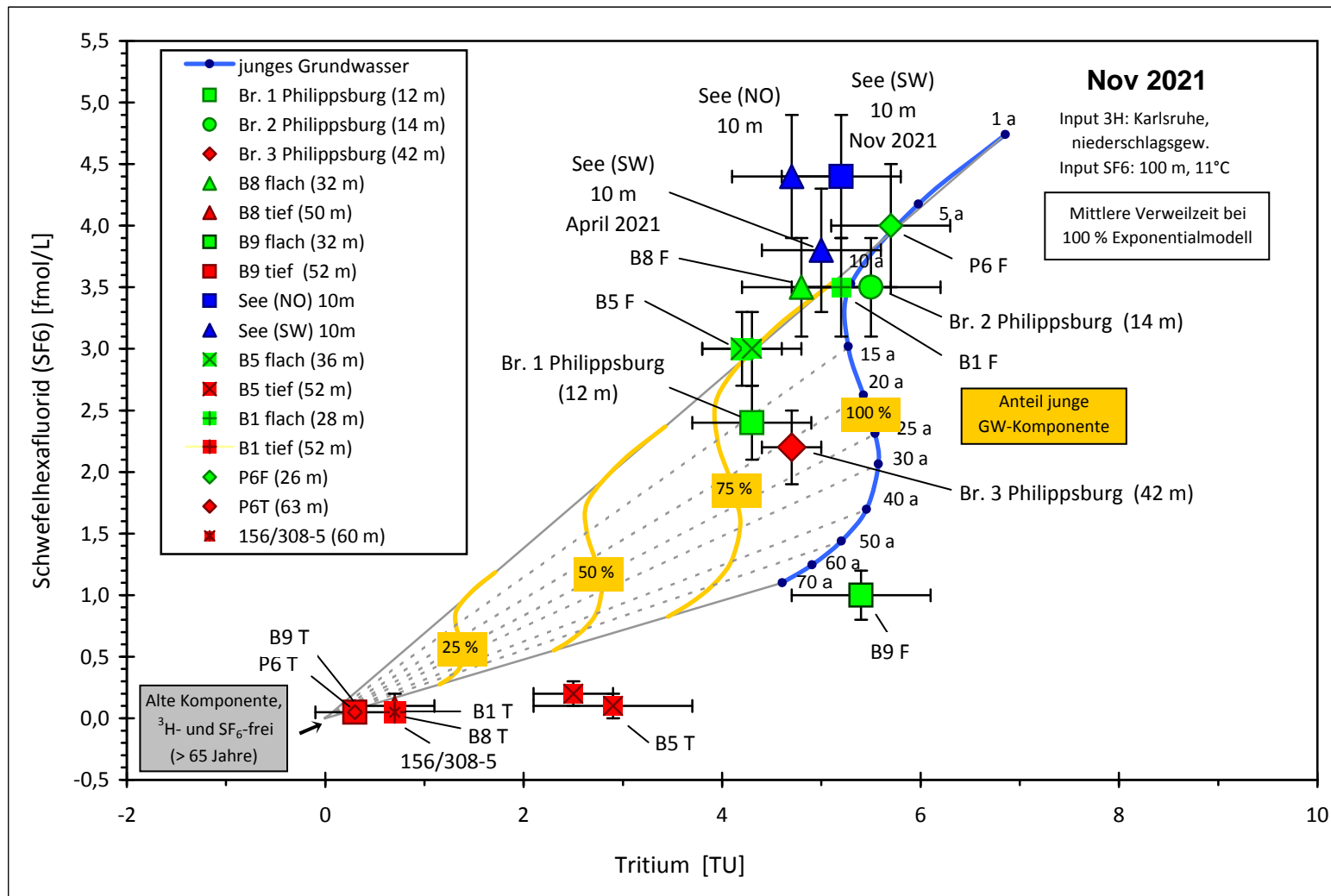
Deuterium-Exzess



- Oberflächengewässer
Deuterium-Exzess in ‰
- GWM OGWL
D-Exzess in ‰
- GWM MGWL
D-Exzess in ‰

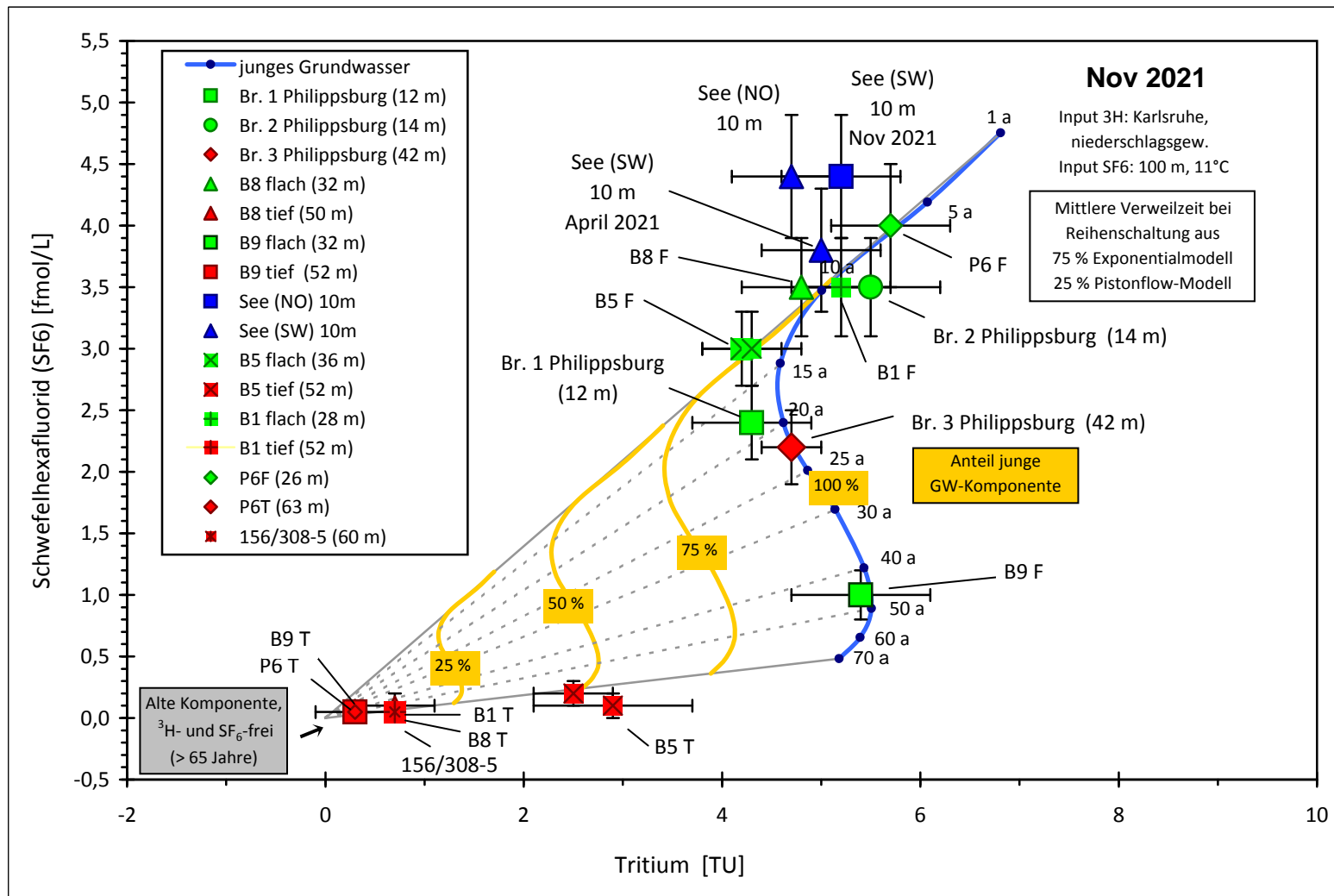
~ Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 29: Flächenhafte Verbreitung der Deuterium-Exzesse

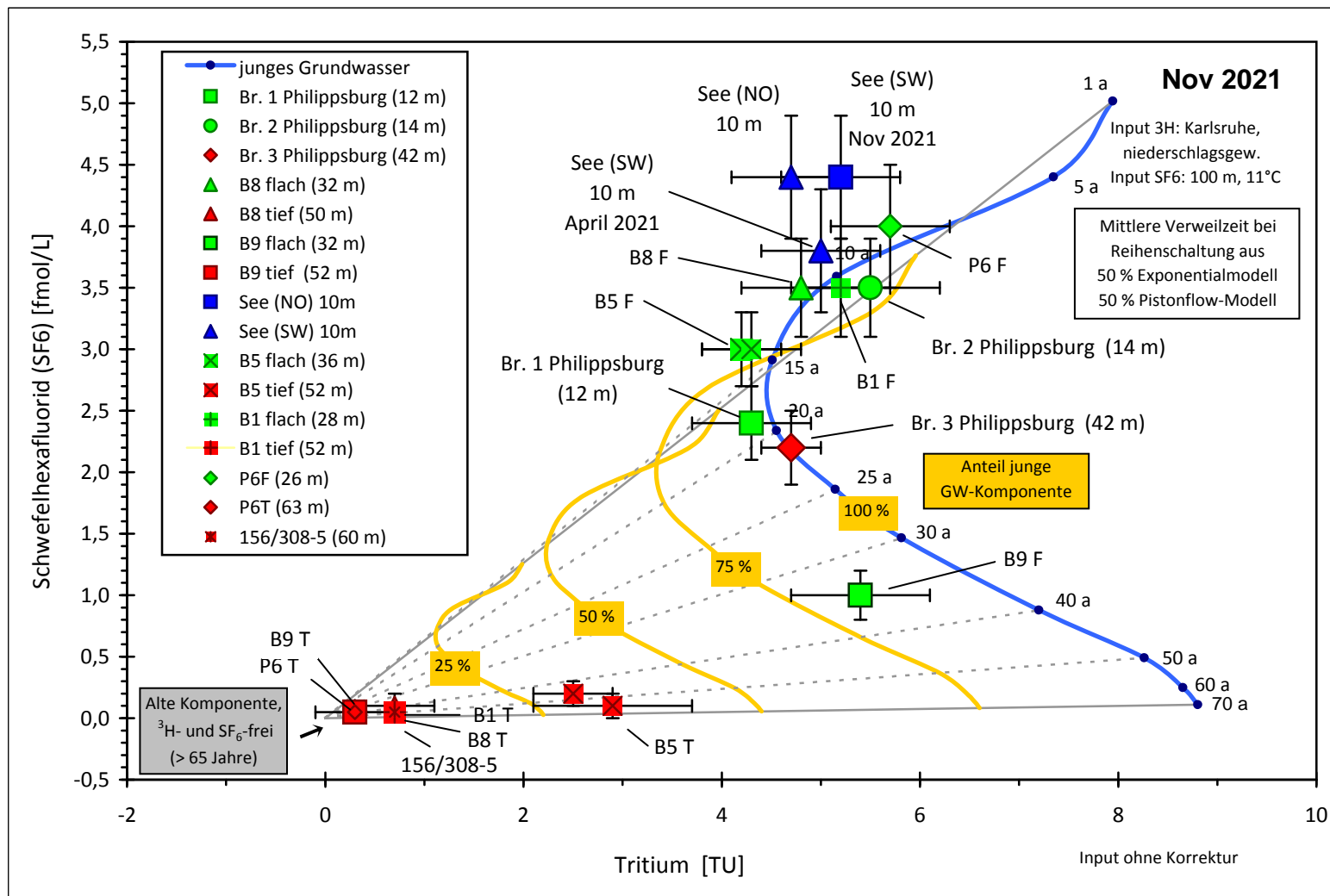


Anlage 30:

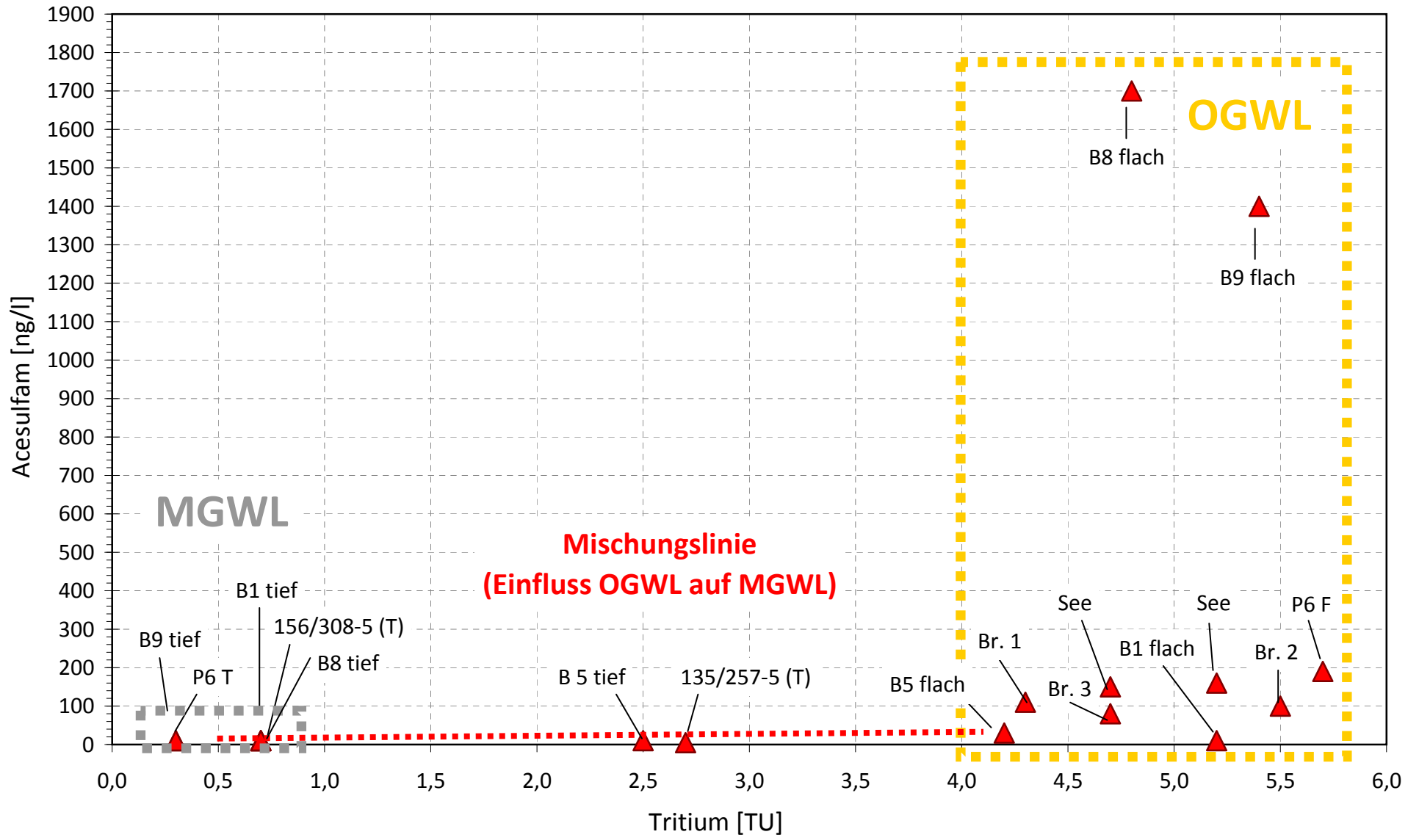
Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ^3H -/ SF_6 -Gehalte vom November 2021
 (Mittlere Verweilzeiten berechnet aus 100 % Exponential-Modell)



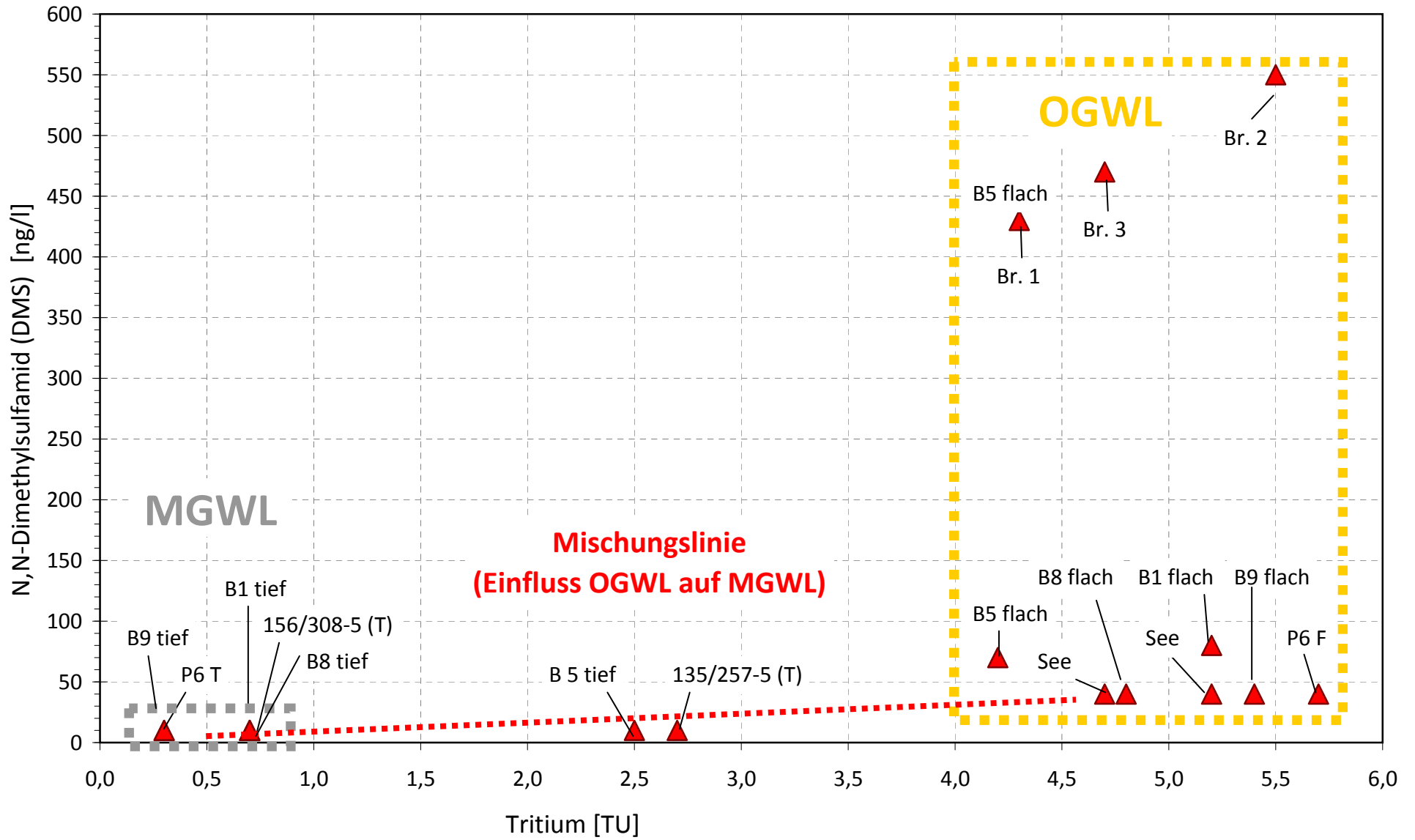
Anlage 31:
Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ^3H -/ SF_6 -Gehalte vom November 2021
(Mittlere Verweilzeiten berechnet durch Reihenschaltung aus 75 % Exponential- und 25 % Pistonflow-Modell)



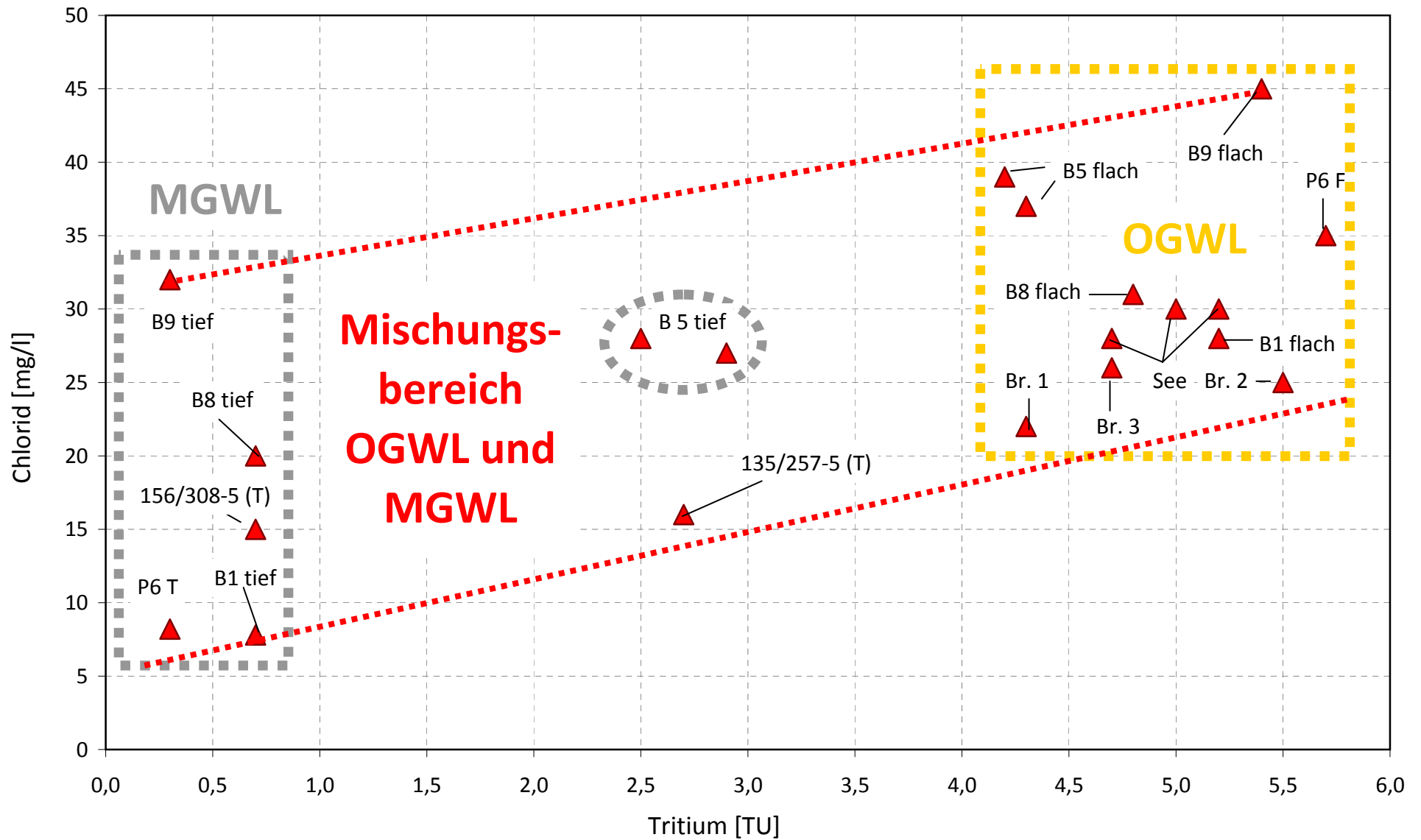
Anlage 32:
 Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der ^3H / SF_6 -Gehalte vom November 2021
 (Mittlere Verweilzeiten berechnet durch Reihenschaltung
 aus 50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell)



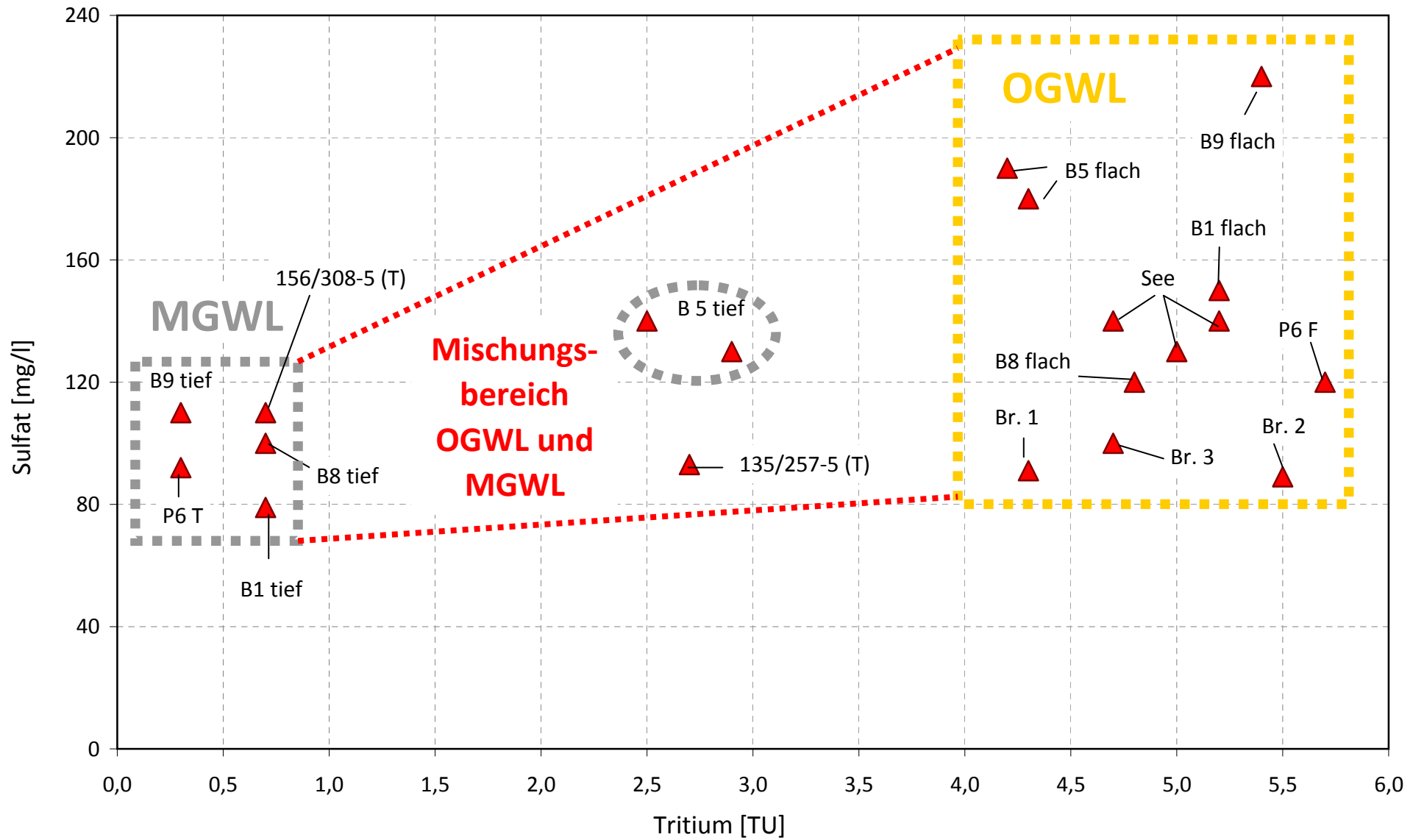
Anlage 33: Korrelation Tritium versus Acesulfam



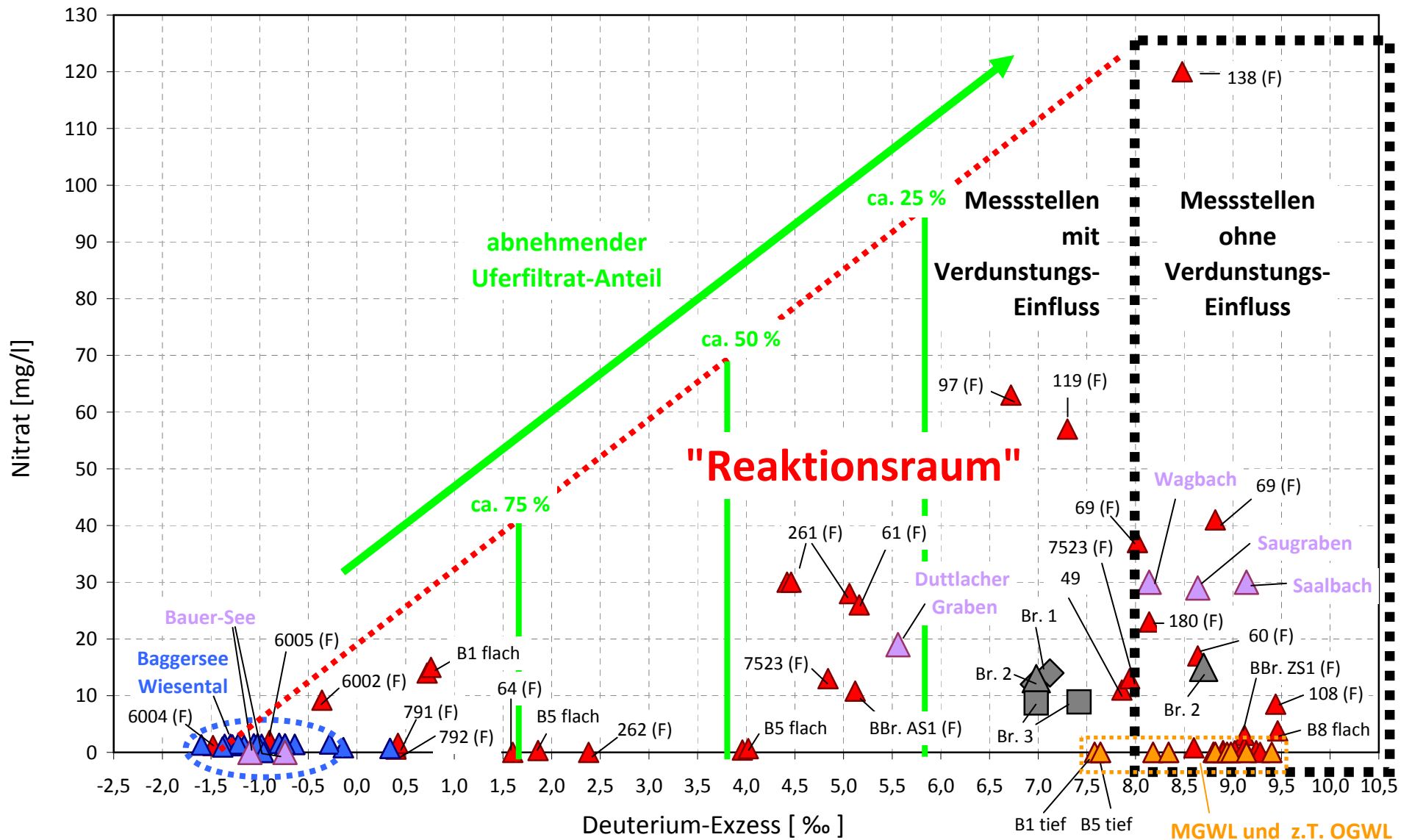
Anlage 34: Korrelation Tritium versus N,N-Dimethylsulfamid (DMS)



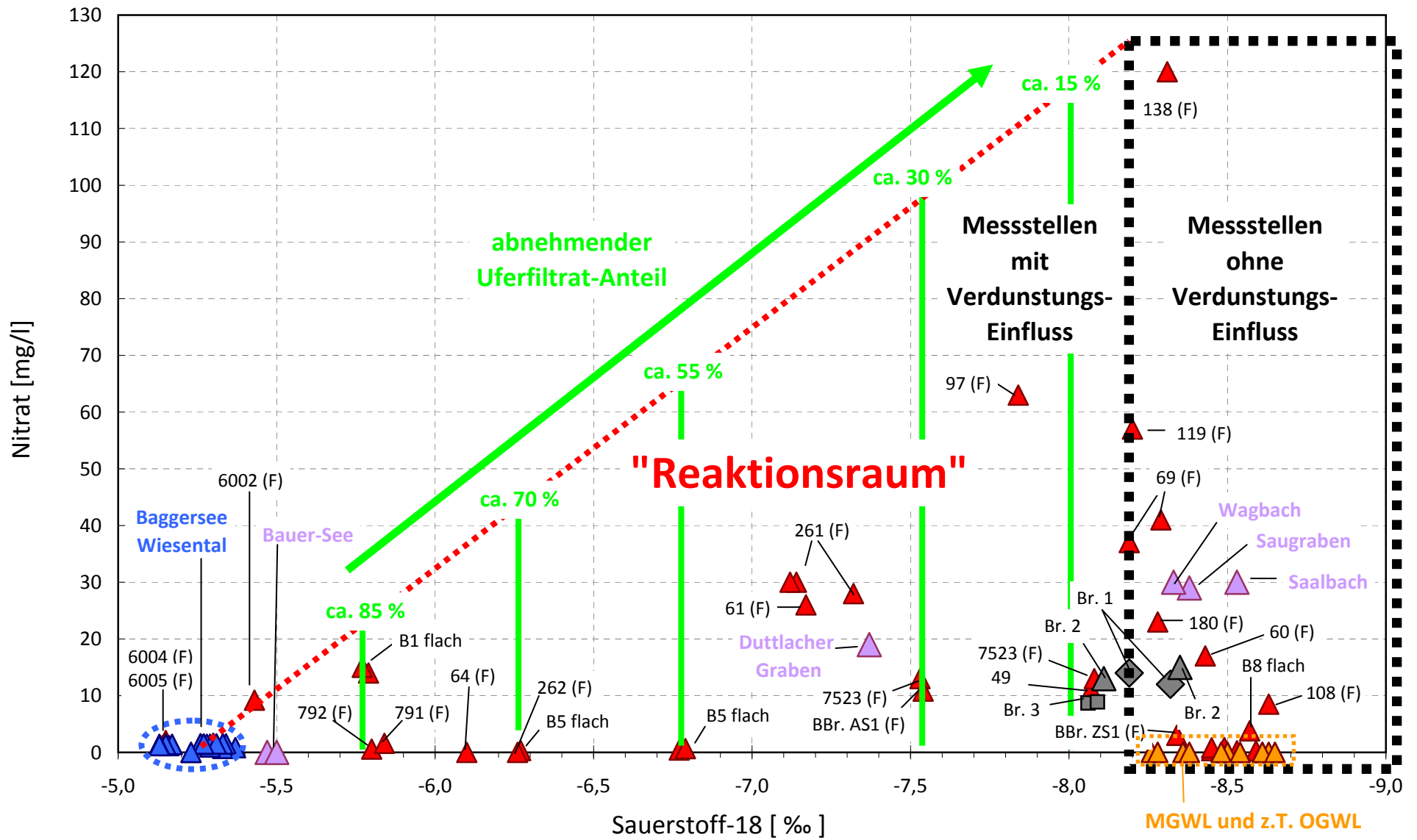
Anlage 35: Korrelation Tritium versus Chlorid



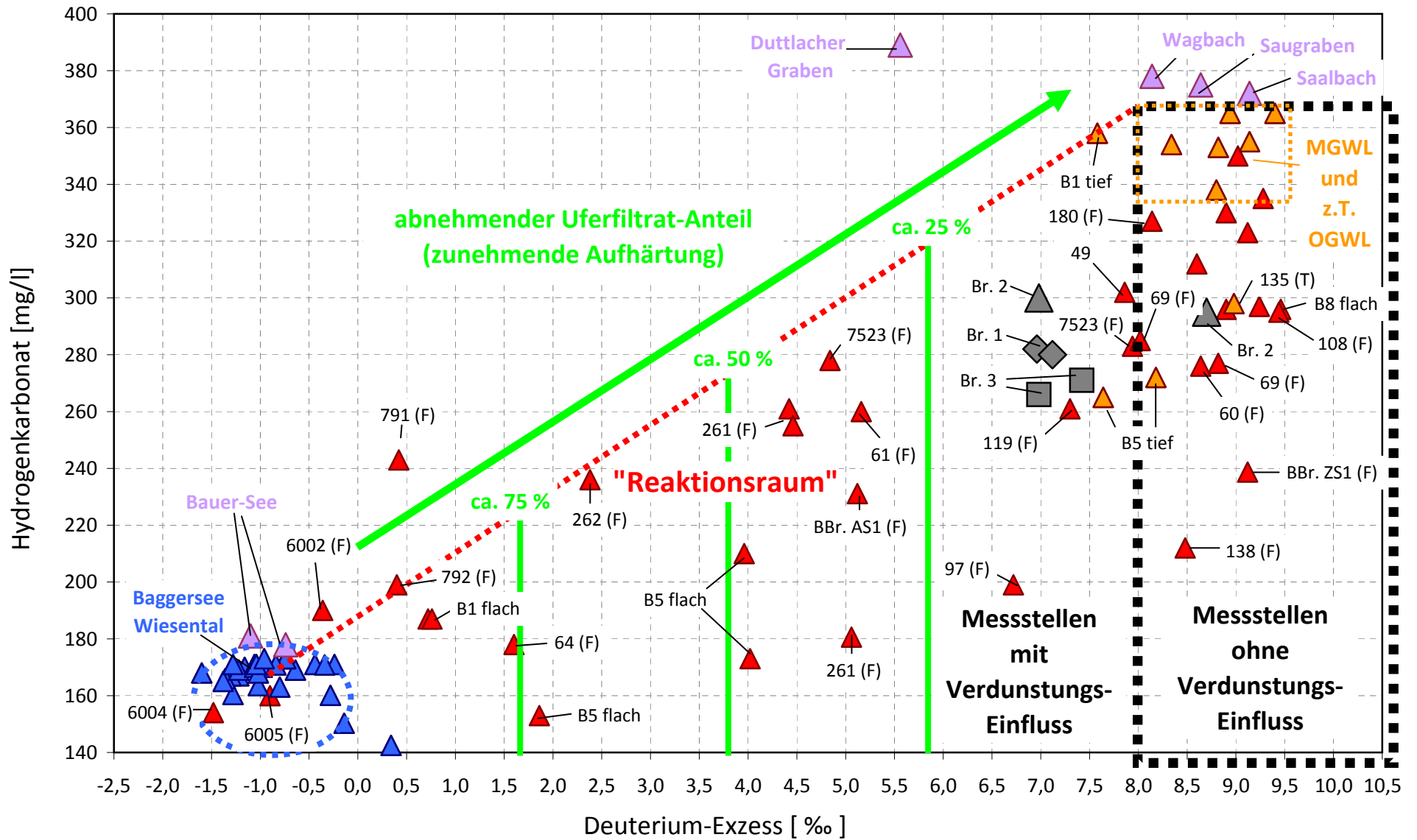
Anlage 36: Korrelation Tritium versus Sulfat



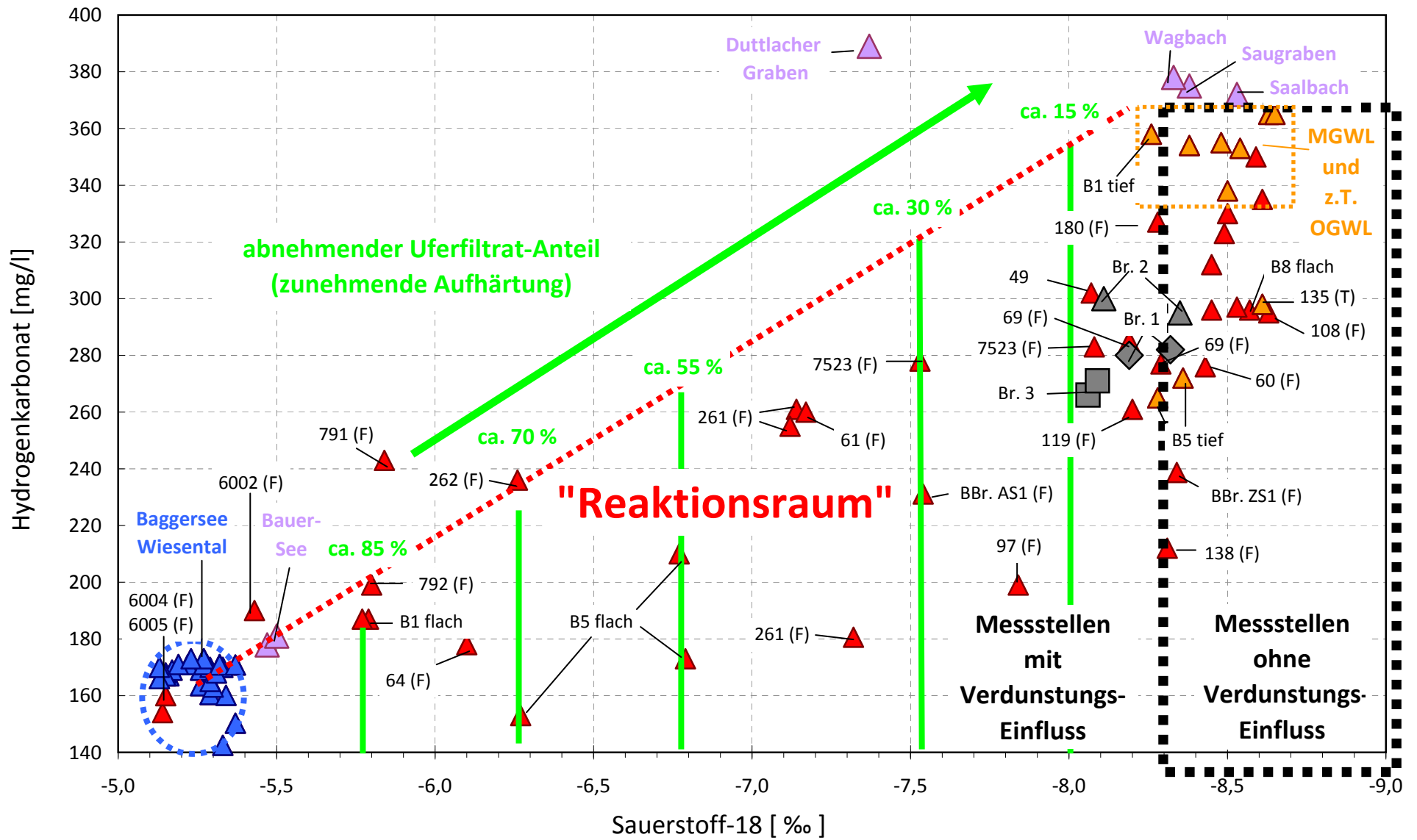
Anlage 37: Korrelation Deuterium-Exzess versus Nitrat



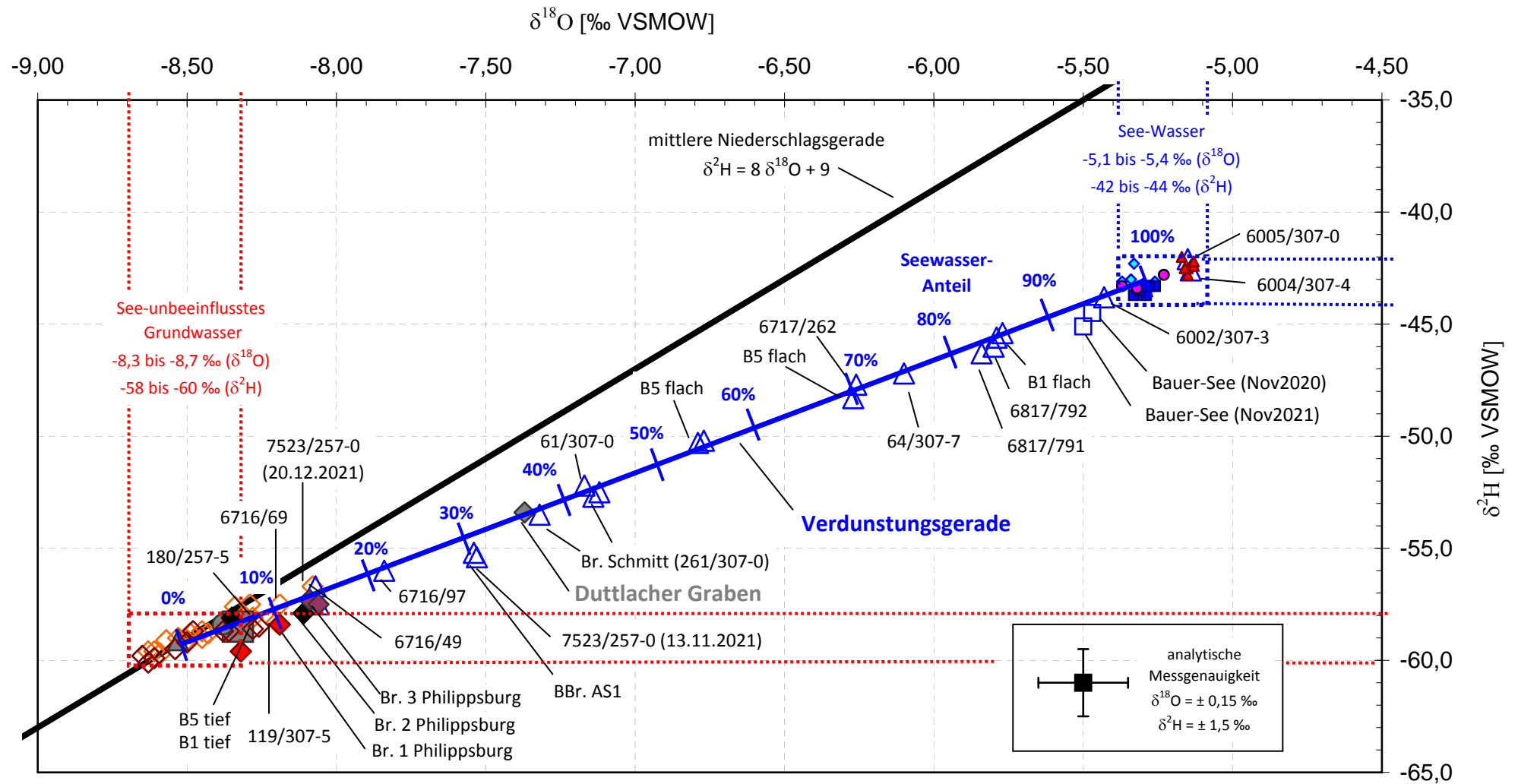
Anlage 38: Korrelation Sauerstoff-18 versus Nitrat



Anlage 39: Korrelation Deuterium-Exzess versus Hydrogenkarbonat



Anlage 40: Korrelation Sauerstoff-18 versus Hydrogenkarbonat



- | | | |
|---|---|---------------------------|
| ◇ flache Messstellen (< 25 m) ohne See-Einfluss | △ Messstellen mit See-Einfluss | □ Bauer-See |
| ◆ Duttlacher Graben | ■ Wagbach | ▲ Saugraben |
| ● Saalbach | ◇ tiefe Messstellen (49-64 m) ohne See-Einfluss | ◆ BS Wiesental 06.11.2020 |
| ■ BS Wiesental 30.04.2021 | ▲ BS Wiesental 11.11.2021 | ● BS Wiesental 04.05.2022 |
| ◆ Br. 1 Philippsburg | ◆ Br. 2 Philippsburg | ◆ Br. 3 Philippsburg |

Anlage 41: Korrelation Deuterium-Gehalt / Sauerstoff-18-Gehalt

Zirkulationsphase 2020/2021		Zirkulationsphase 2021/2022			
Anfang Zirkulationsphase	06.11.2020	Anfang Zirkulationsphase	11.11.2021		
Ende Zirkulationsphase	30.04.2021	Ende Zirkulationsphase	04.05.2022		
Tage	175	Tage	174		
Sekunden	15.120.000	Sekunden	15.033.600		
Seevolumen in m ³	9.400.000	Seevolumen	9.400.000		
Niederschlag in m ³ (18O: -11 bis -12 ‰; 2H: -80 bis -85 ‰)	200.000	Niederschlag in m ³ (18O: -11 bis -12 ‰; 2H: -80 bis -85 ‰)	200.000		
Niederschlag-Anteil im Vergleich zum Seevolumen in %	2,1	Niederschlag-Anteil im Vergleich zum Seevolumen in %	2,1		
Anteil Grundwasser im Seewasser in %:		Anteil Grundwasser im Seewasser in %:			
(((18O SW Ende Zirk.) - (18O SW Anfang Zirk.)) / ((18O GW Zustrom) - (18O SW Anfang Zirk.))) x 100		(((18O SW Ende Zirk.) - (18O SW Anfang Zirk.)) / ((18O GW Zustrom) - (18O SW Anfang Zirk.))) x 100			
Anteil Grundwasser im Seewasser in % (nach 18O)	-0,9	Anteil Grundwasser im Seewasser in % (nach 18O)	5,0		
(((2H SW Ende Zirk.) - (2H SW Anfang Zirk.)) / ((2H GW Zustrom) - (2H SW Anfang Zirk.))) x 100		(((2H SW Ende Zirk.) - (2H SW Anfang Zirk.)) / ((2H GW Zustrom) - (2H SW Anfang Zirk.))) x 100			
Anteil Grundwasser im Seewasser in % (nach 2H)	3,3	Anteil Grundwasser im Seewasser in % (nach 2H)	4,8		
Mittlere Austauschrate des Seewassers		Mittlere Austauschrate des Seewassers			
(Seevolumen in m ³) x (Anteil Grundwasser im Seewasser in %) / (Austauschzeit in Sek.) x 10		(Seevolumen in m ³) x (Anteil Grundwasser im Seewasser in %) / (Austauschzeit in Sek.) x 10			
Mittlere Austauschrate in L/s (nach 18O)	-6	Mittlere Austauschrate in L/s (nach 18O)	31		
Mittlere Austauschrate in L/s (nach 2H)	21	Mittlere Austauschrate in L/s (nach 2H)	30		
(Seevolumen in m ³) / (Mittlere Austauschrate in L/s) / 31.536		(Seevolumen in m ³) / (Mittlere Austauschrate in L/s) / 31.536			
Mittlere Aufenthaltszeit des GW im See in Jahre (nach 18O)	-51,1	Mittlere Aufenthaltszeit des GW im See in Jahre (nach 18O)	9,6		
Mittlere Aufenthaltszeit des GW im See in Jahre (nach 2H)	14,4	Mittlere Aufenthaltszeit des GW im See in Jahre (nach 2H)	9,9		
Sauerstoff-18 Baggersee Wiesental					
	06.11.2020	30.04.2021			
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,37	-5,26			
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,33	-5,29			
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-5,29	-5,28			
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,26	-5,29			
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,34	-5,33			
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-5,30	-5,31			
Mittelwert	-5,32	-5,29			
	18O-Diff. Stichtage	-0,03			
Deuterium Baggersee Wiesental					
	06.11.2020	30.04.2021			
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-43,1	-43,3			
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,3	-43,3			
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-43,6	-43,3			
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-43,1	-43,7			
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-43,0	-43,7			
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-43,2	-43,5			
Mittelwert	-43,0	-43,5			
	2H-Diff. Stichtage	0,48			
Sauerstoff-18 Baggersee Wiesental					
	11.11.2021	04.05.2022			
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,16	-5,32			
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,15	-5,23			
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-5,17	-5,37			
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-5,15				
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-5,13				
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-5,13				
Mittelwert	-5,15	-5,30			
	18O-Diff. Stichtage	0,15			
Deuterium Baggersee Wiesental					
	11.11.2021	04.05.2022			
See SW (3m), Volumen-Anteil 45%	-42,5	-43,4			
See SW (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,8	-42,8			
See SW (17m) Volumen-Anteil 20%	-42,0	-43,3			
See NO (3m), Volumen-Anteil 45%	-42,5				
See NO (10m) Volumen-Anteil 35%	-42,4				
See NO (15m) Volumen-Anteil 20%	-42,2				
Mittelwert	-42,5	-43,2			
	2H-Diff. Stichtage	0,72			
Zustrom-Messstellen Baggersee Wiesental					
Bezeichnung	Datum	Labor-Nr.	d ¹⁸ O [‰]	d ² H [‰]	D-Exzess
Beregnungs-Br. ZS1	23.07.2020	356888	-8,34	-57,6	9,12
B8 flach	10.11.2021	374824	-8,57	-59,1	9,46
B9 flach	10.11.2021	374825	-8,45	-58,7	8,90
6003/307-9	11.11.2021	374833	-8,53	-59,0	9,24
147/308-4	20.11.2021	375477	-8,61	-59,6	9,28
B8 tief	10.11.2021	374823	-8,50	-59,2	8,80
B9 tief	10.11.2021	374826	-8,54	-59,5	8,82
6817/792	11.11.2021	374834	-5,80	-46,0	0,40
Mittelwert Zustrom			-8,17	-57,34	8,00

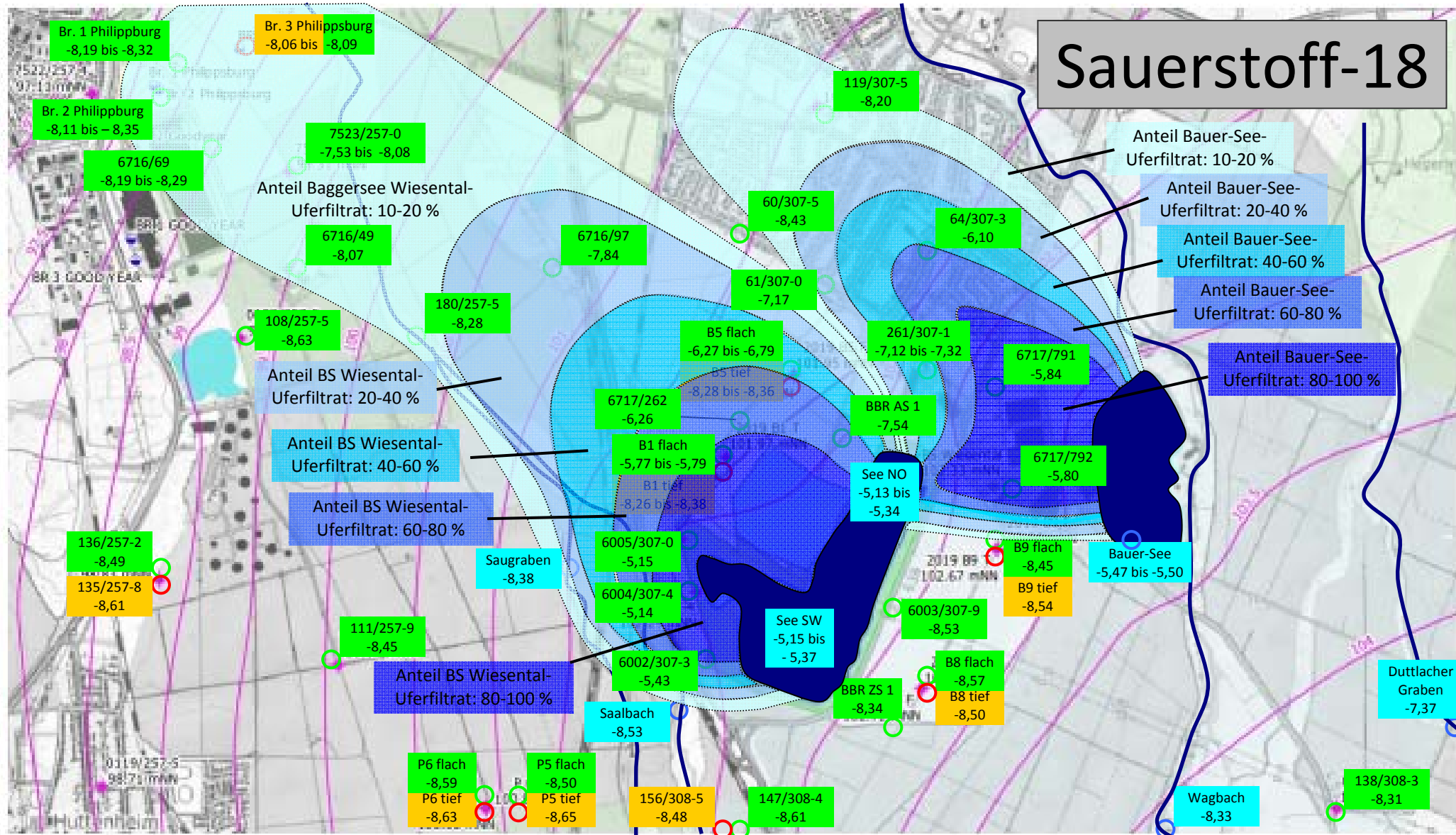
Anlage 42: Bestimmung der Mittleren Austauschrate und der Mittleren Aufenthaltszeit des Grundwassers für den Baggersee Wiesental auf Basis der 18O-/2H-Gehalte vom 06.11.2020 / 30.04.2021 und 11.11.2021 / 04.05.2022

Bezeichnung	Einheit	Anzahl Daten	Mittelwerte Bauer-See	Anzahl Daten	Mittelwerte HSK-See	Differenz Bauer-HSK	Differenz Bauer-HSK
							%
spez. el. Leitfähigkeit (25°C) Labor	µS/cm	2	701	20	626	74,9	11
Natrium (Na+)	mg/l	2	20,1	20	14,7	5,4	27
Kalium (K+)	mg/l	2	3,3	20	4,2	0,9	28
Calcium (Ca2+)	mg/l	2	96,6	20	86,2	10,4	11
Magnesium (Mg2+)	mg/l	2	19,3	20	16,5	2,8	15
Hydrogenkarbonat (HCO3-)	mg/l	2	179	20	165	14	8
Chlorid (Cl-)	mg/l	2	40,8	20	29,4	11,4	28
Sulfat (SO42-)	mg/l	2	160	20	140	20	13
Nitrat (NO3-)	mg/l	2	< 0,2	20	1,3	1,1	562
Natrium (Na+)	(meq/%)	2	12	20	10	1,9	16
Kalium (K+)	(meq/%)	2	1,1	20	1,7	0,5	48
Calcium (Ca2+)	(meq/%)	2	65	20	67	1,7	3
Magnesium (Mg2+)	(meq/%)	2	22	20	21	0,4	2
Hydrogenkarbonat (HCO3-)	(meq/%)	2	40	20	42	2,4	6
Chlorid (Cl-)	(meq/%)	2	16	20	13	2,6	17
Sulfat (SO42-)	(meq/%)	2	45	20	45	0,2	0
Nitrat (NO3-)	(meq/%)	2	0	20	0	0,0	0
Bor	mg/l	1	0,042	6	0,042	0,000	0
Acesulfam	µg/l	1	0,410	8	0,139	0,271	66
N,N-Dimethylsulfamid (DMS)	µg/l	1	0,100	3	0,040	0,060	60
Sauerstoff-18 (18O)	‰	2	-5,49	20	-5,25	0,23	4
Deuterium (2H)	‰	2	-44,8	20	-43,0	1,8	4
Deuterium-Exzess	‰	2	-0,92	20	-0,93	0,01	1

Bemerkung			beide Ca-Mg-SO4-HCO3-Wassertyp			Differenz > 20 %
						Natrium (Na+)
						Kalium (K+)
						Chlorid (Cl-)
						Acesulfam
						DMS

Anlage 43: Vergleich der Wasserbeschaffenheit von HSK-See und Bauer-See

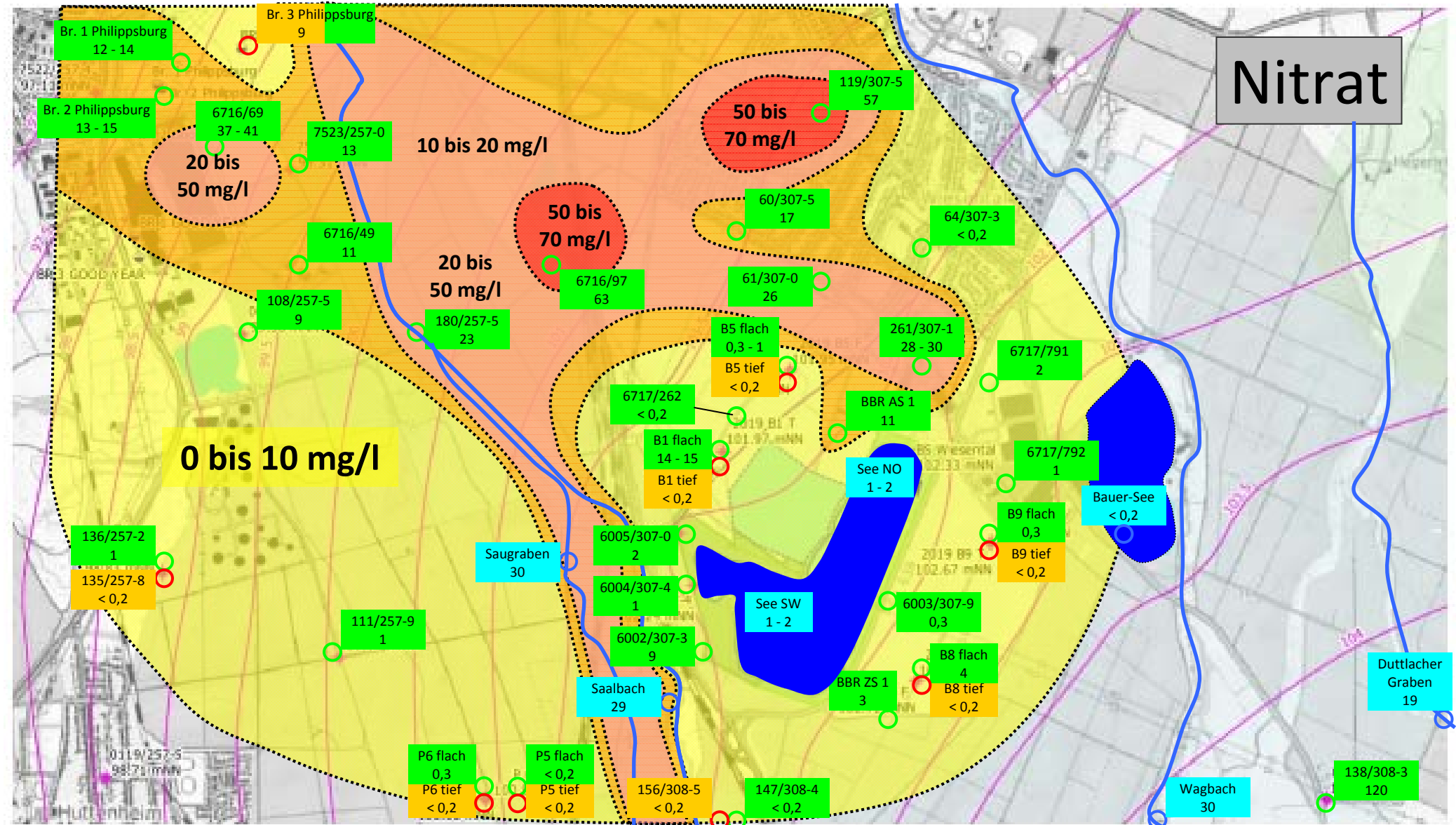
Sauerstoff-18



- Oberflächengewässer Sauerstoff-18 in ‰
- GWM OGWL Sauerstoff-18 (‰)
- GWM MGWL Sauerstoff-18 (‰)

Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 44: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Sauerstoff-18-Gehalte im OGWL

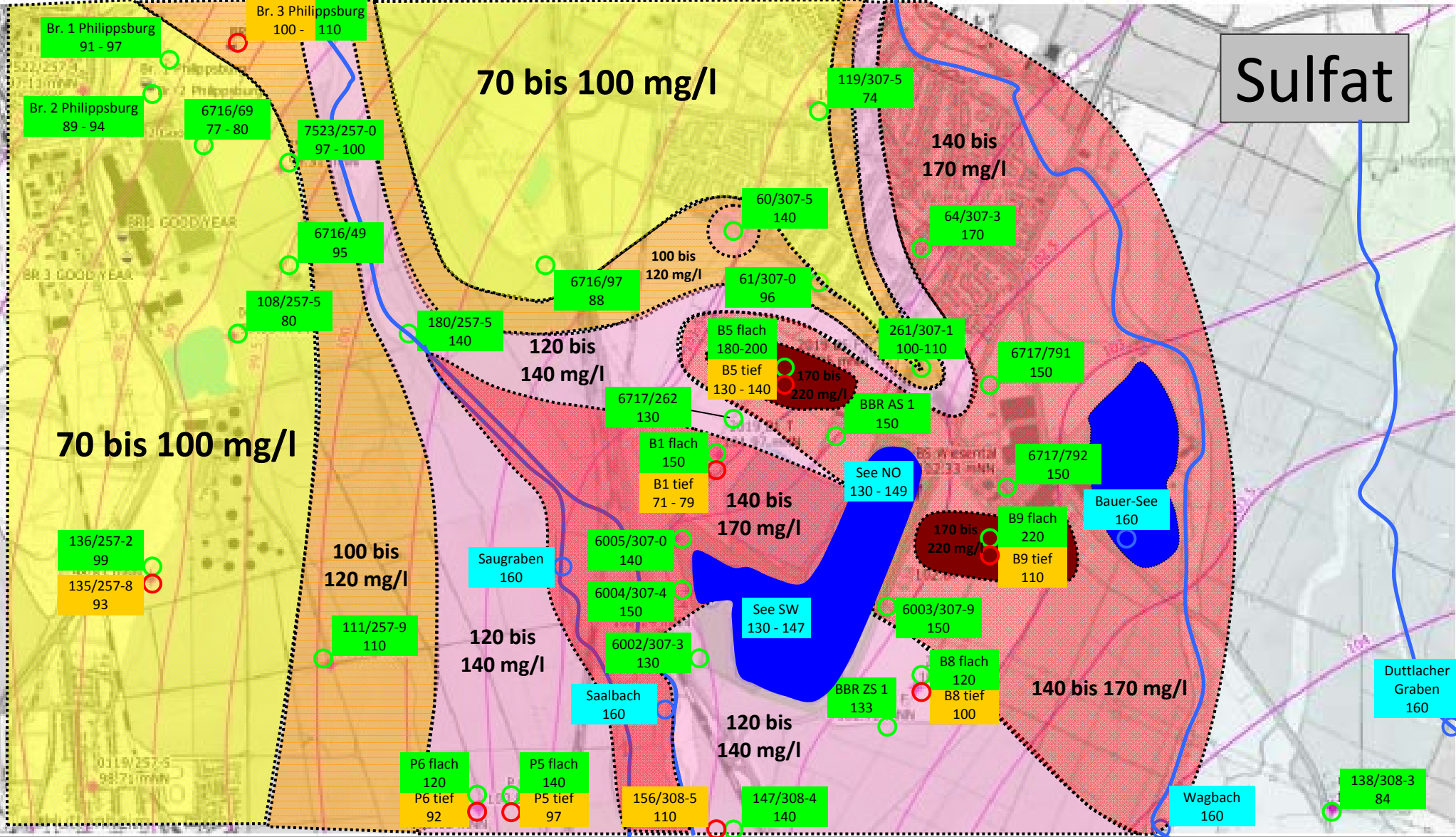


Nitrat

○ Oberflächengewässer Nitrat in mg/l
○ GWM OGWL Nitrat in mg/l
○ GWM MGWL Nitrat in mg/l
~ Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 45: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Nitrat- Gehalte im OGWL

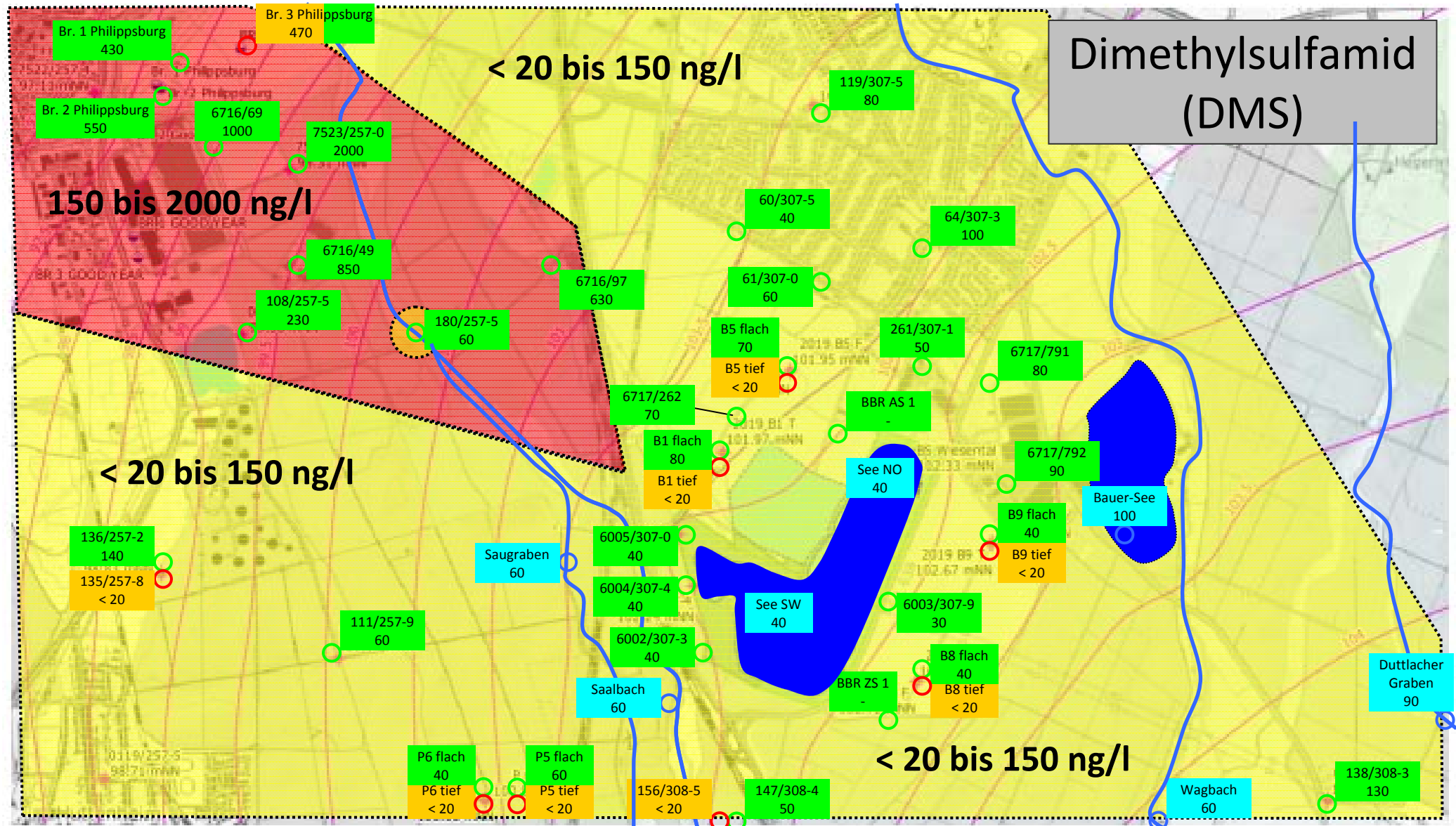
Sulfat



Oberflächengewässer Sulfat in mg/l (blue circle) **GWM OGWL Sulfat in mg/l** (green circle) **GWM MGWL Sulfat in mg/l** (yellow circle)

Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 46: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Sulfat-Gehalte im OGWL



Oberflächengewässer
DMS in ng/l

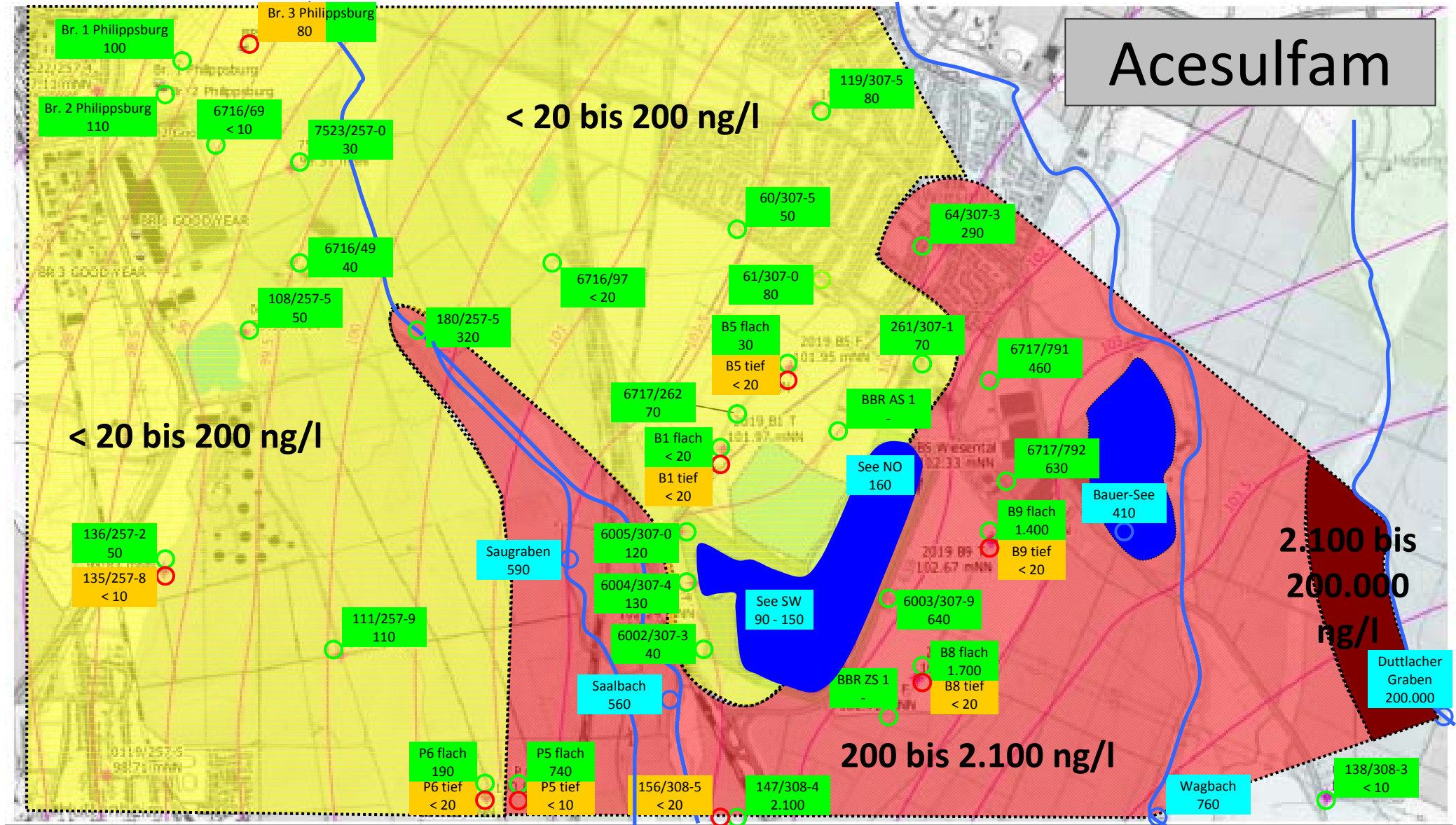
GWM OGWL
DMS in ng/l

GWM MGWL
DMS in ng/l

Voraussichtliche Veränderung der Grundwasserhöhengleichen bezogen auf die Gw-hydrologische Situation vom 03.05.2021 nach Durchführung der Erweiterung (hydrag, Juni 2022)

Anlage 47: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der DMS-Gehalte im OGWL

Acesulfam

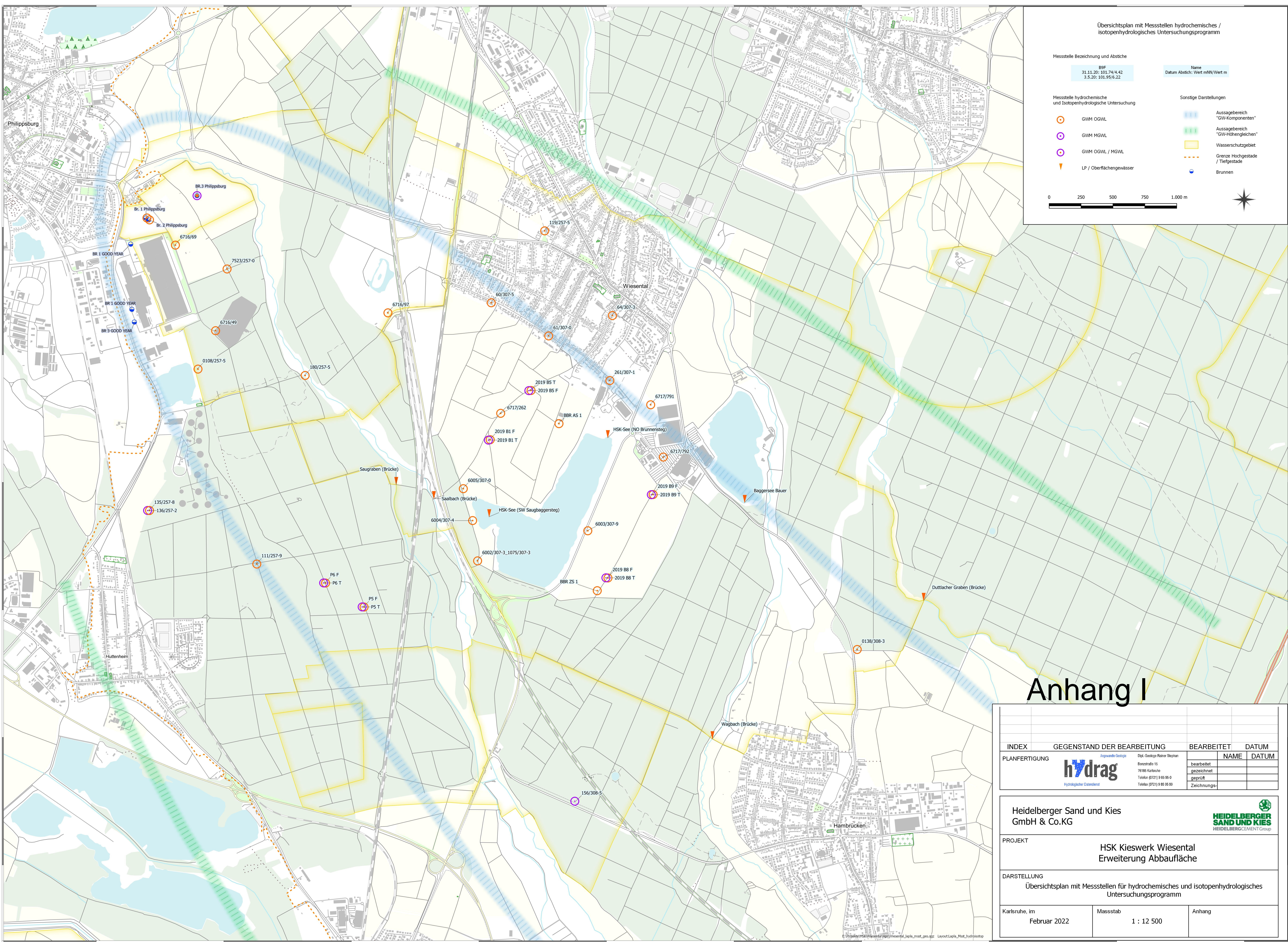


Anlage 48: Interpretation zur flächenhaften Verbreitung der Acesulfam-Gehalte im OGWL

Übersichtsplan mit Messstellen hydrochemisches / isotopenhydrologisches Untersuchungsprogramm

Messstelle Bezeichnung und Abstiche
 B9F
 31.11.20: 101,7/14,42
 3.5.20: 101,95/6,22
 Name
 Datum Abstich: Wert m/N/Wert m

- Messstelle hydrochemische und Isotopenhydrologische Untersuchung
- GWM OGWL
 - GWM MGWL
 - GWM OGWL / MGWL
 - LP / Oberflächengewässer
- Sonstige Darstellungen
- Aussagebereich "GW-Komponenten"
 - Aussagebereich "GW-Höhengleichen"
 - Wasserschutzgebiet
 - Grenze Hochgestade / Tiefgestade
 - Brunnen



Anhang I

INDEX	GEGENSTAND DER BEARBEITUNG	BEARBEITET	DATUM
PLANFERTIGUNG	 Dipl.-Geologe Rainer Stephan Bornstr. 15 76185 Karlsruhe Telefon (0721) 9 85 95-0 Telefax (0721) 9 85 95-99	bearbeitet gezeichnet geprüft Zeichnungs-	NAME DATUM
PROJEKT Heidelberger Sand und Kies GmbH & Co.KG HSK Kieswerk Wiesental Erweiterung Abbaufäche		 HEIDELBERGCEMENT Group	
DARSTELLUNG Übersichtsplan mit Messstellen für hydrochemisches und isotopenhydrologisches Untersuchungsprogramm			
Karlsruhe, im Februar 2022	Massstab 1 : 12 500	Anhang	

DVGW-Technologiezentrum Wasser; Karlsruher Str. 84, 76139 Karlsruhe

Auftraggeber Büro für Gewässerkunde und Landschaftsökologie**Zieherstr. 11
66130 Saarbrücken****Probennahmestelle****Wiesenthal, Baggersee**

Probenahme	Probeneingang, Untersuchungsbeginn	Probenehmer	Probe-Nr.
22.01.2021	22.01.2021	Auftraggeber	2021000966

Parameter	bei °C	Ergebnis	Einheit	BG	GW	Verfahren
Benzotriazol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
4-Methylbenzotriazol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
5-Methylbenzotriazol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Melamin		0,74	µg/L	0,025		PV M 3300/0
<i>Synthetische Komplexbildner</i>						
NTA (Nitrilotriacetat)		< BG	µg/L	0,50		DIN EN ISO 16588:2004-02
EDTA (Ethylendinitrilotetraacetat)		< BG	µg/L	0,50		DIN EN ISO 16588:2004-02
DTPA (Diethylentriaminpentaacetat)		< BG	µg/L	1,0		DIN EN ISO 16588:2004-02
<i>PSM-Wirkstoffe und Metabolite</i>						
Carbendazim		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
DEET		< BG	µg/L	0,010		PV M 1001/0
MCPP (Mecoprop)		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Terbutryn		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
<i>Pharmazeutische Wirkstoffe</i>						
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Amidotrizoensäure		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Azithromycin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2200/0
Bezafibrat		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Candesartan		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Carbamazepin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Ciprofloxacin		< BG	µg/L	0,020		PV M 2900/0
Clarithromycin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Dehydrato-Erythromycin A		< BG	µg/L	0,010		PV M 2200/0
Diclofenac		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Erythromycin A		< BG	µg/L	0,010		PV M 2200/0
Gabapentin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Guanylharnstoff		< BG	µg/L	0,050		PV M 2002/0
Hydrochlorothiazid		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Ibuprofen		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Iohexol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Iomeprol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Iopamidol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Iopromid		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0

Probenahme 22.01.2021	Probeneingang, Untersuchungsbeginn 22.01.2021	Probenehmer Auftraggeber	Probe-Nr. 2021000966
---------------------------------	---	------------------------------------	--------------------------------

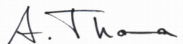
Parameter	bei °C	Ergebnis	Einheit	BG	GW	Verfahren
Irbesartan		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Metformin		< BG	µg/L	0,010		PV M 2002/0
Metoprolol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
Sulfamethoxazol		< BG	µg/L	0,010		PV M 2007/0
<i>Steroidhormone</i>						
17-beta-Estradiol		< BG	µg/L	0,0001		PV M 1020/0
Estron		0,0001	µg/L	0,0001		PV M 1020/0
17-alpha-Ethinylestradiol		< BG	µg/L	0,0001		PV M 1020/0
<i>Trialkylphosphate</i>						
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat		< BG	µg/L	0,025		PV M 1021/0
Tris-(2-chlorpropyl)-phosphat		< BG	µg/L	0,025		PV M 1021/0
<i>Moschusduftstoffe</i>						
AHTN		< BG	µg/L	0,005		PV M 1013/0
HHCB		< BG	µg/L	0,005		PV M 1013/0
<i>Polyfluorierte Verbindungen</i>						
Perfluorbutanoat (PFBA)		0,001	µg/L	0,001		DIN 38407-42:2011-03
Perfluoroctanoat (PFOA)		0,006	µg/L	0,001		DIN 38407-42:2011-03
Perfluorbutansulfonat (PFBS)		< BG	µg/L	0,001		DIN 38407-42:2011-03
Perfluoroctansulfonat (PFOS)		0,002	µg/L	0,001		DIN 38407-42:2011-03
<i>Künstliche Süßstoffe</i>						
Acesulfam		0,10	µg/L	0,010		PV M 3700/0
Cyclamat		0,022	µg/L	0,010		PV M 3700/0
Sucralose		< BG	µg/L	0,050		PV M 3700/0

Bemerkung:

BG = Bestimmungsgrenze; GW = Grenzwert nach TrinkwV

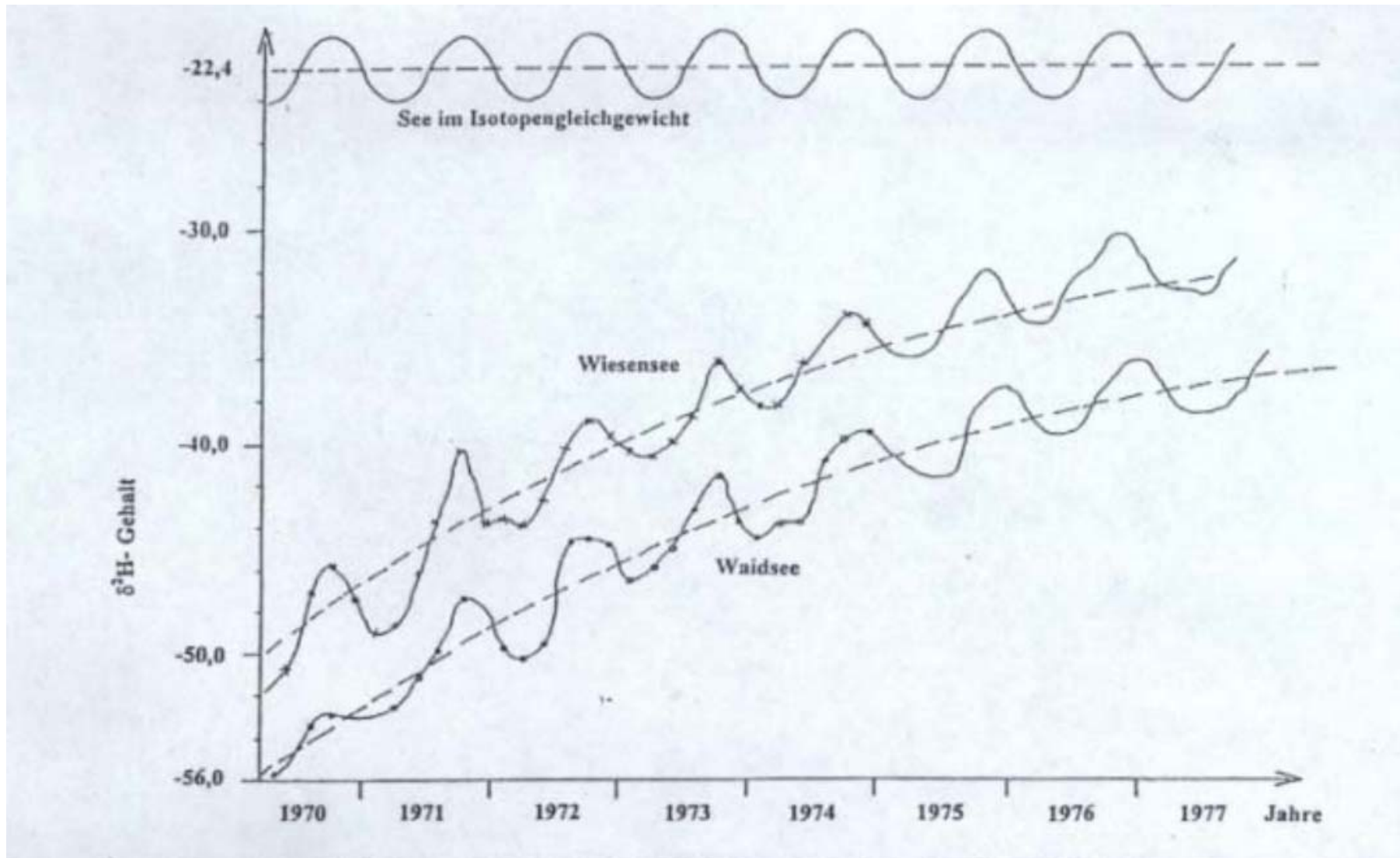
Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchte Probe.

Untersuchungsende, Karlsruhe, den 19.02.2021

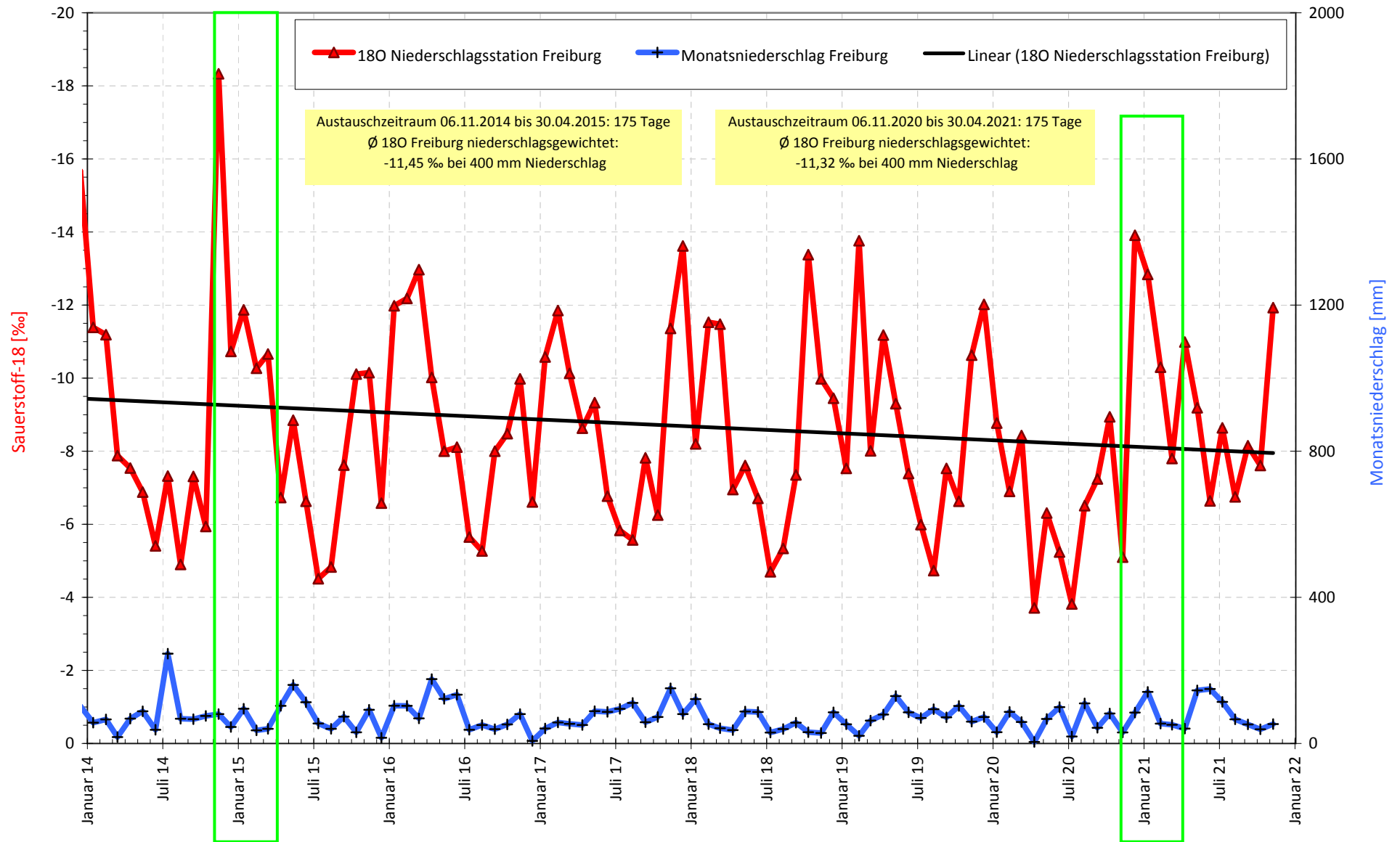

Dipl.-Geoökol. A. Thoma
Gruppenleiterin

*: interner PN im QM-System **: externer PN im QM-System

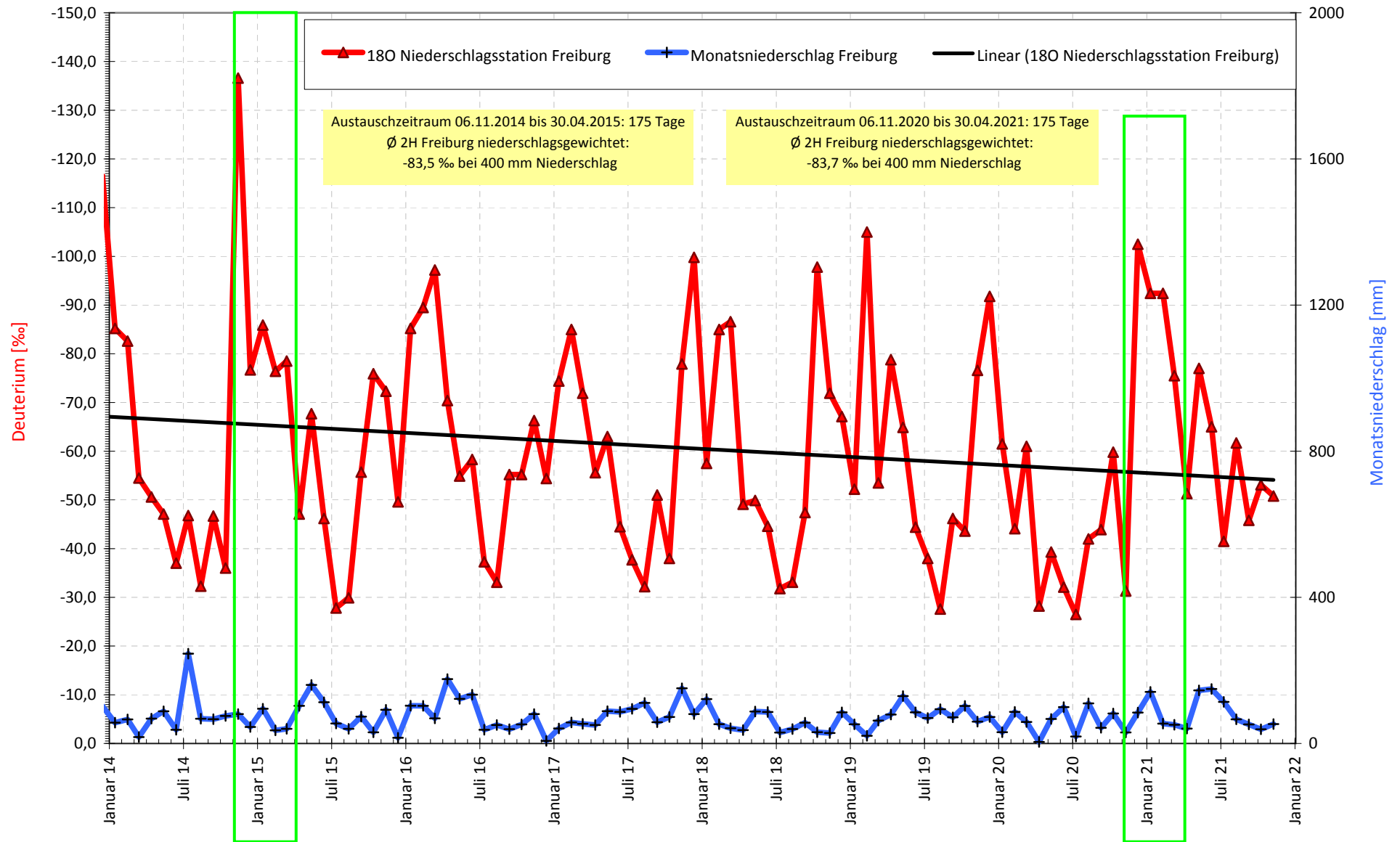
bei Probenehmer = Auftraggeber gilt: Ergebnisse für Probe wie erhalten



Anhang III: Jahreszeitlicher Verlauf des $\delta^2\text{H}$ -Gehaltes eines zunehmend „alternden“ bzw. kolmatierenden Baggersees unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Variationen (ZIMMERMANN, 1969, verändert)



Anhang IV: Sauerstoff-18-Zeitreihe der Niederschlagsstation Freiburg



Anhang V: Deuterium-Zeitreihe der Niederschlagsstation Freiburg