



E. Funk HYDROGEOLOGIE

E. Funk

Büro für Hydrogeologie

Rothofweg 5

79219 Staufen

Tel. 07633/7270

Fax 07633/5797

[funk@geohydraulik.com](mailto:funk@geohydraulik.com)

[www.geohydraulik.com](http://www.geohydraulik.com)

**Vogel-Bau GmbH  
Baggersee Waldmattsee  
Kippenheimweiler,  
Gemarkung Kippenheimweiler**

**Fachbereich Hydrogeologie  
Ergänzende Untersuchungen 2020/21**

**Projekt:** Wasserrechtliche Zulassung zum Weiterbetrieb der Kiesgrube „Waldmattensee“ der Vogel-Bau GmbH Gemarkung Kippenheimweiler innerhalb der bestehenden Konzessionsgrenzen

**Auftraggeber:** Vogel-Bau GmbH  
Dinglinger Hauptstraße 28, 77933 Lahr

**Maßnahmen:** Bestandsaufnahme Messstellen, Stichtagsbeprobungen, Auswertungen

Bericht erstellt: Staufen, 23.07.2021

E. Funk  
(Dipl. Geologe)

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Anlass .....	3
1.2 Lage des Untersuchungsgebietes .....	3
<b>2. Durchgeführte Untersuchungen</b> .....	<b>3</b>
2.1 Ältere Untersuchungen .....	3
2.2 Entnahme von Grundwasser- und Seeproben 2020/21 .....	4
2.3 Hydrochemische Analysen .....	4
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>4</b>
3.1 Geologisch- Hydrogeologische Verhältnisse .....	4
3.2 Hydrochemische Analysen .....	5
3.2.1 Grundwasseranalysen .....	6
3.3 Isotopenhydrologische Analysen .....	10
3.3.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium - Grundlagen und Ergebnisse .....	10
3.4 Tiefenprofilmessungen im Baggersee .....	15
<b>4. Abschließende Bewertung</b> .....	<b>18</b>
<b>5. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>21</b>

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ergebnisse der Grundwasseranalysen .....	19
Tabelle 2: Ergebnisse der Seewasseranalysen .....	20

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Ergebnisse Chloridanalysen .....	8
Abbildung 2: Ergebnisse Nitratanalysen .....	8
Abbildung 3: Ergebnisse Sulfatanalysen .....	9
Abbildung 4: Ergebnisse der Phosphoranalysen .....	9
Abbildung 5: Deuterium versus Sauerstoff-18 Herbstbeobachtung .....	12
Abbildung 6: Deuterium versus Sauerstoff-18 Frühjahrsbeobachtung .....	13
Abbildung 7: Tiefenprofilmessung September 2020 .....	16
Abbildung 8: Tiefenprofilmessung März 2021 .....	17

## **Anlagenverzeichnis**

Anlage 1: Übersichtskarte Maßstab 1: 10.000	
Anlage 2: Lageplan Maßstab 1: 5.000	
Anlage 3-1: Protokolle der hydrochemischen Analysen 2020	
Anlage 3-2: Protokolle der hydrochemischen Analysen 2021	

## **1. Einleitung**

### **1.1 Anlass**

Die Firma Vogel-Bau GmbH betreibt auf Gemarkung Kippenheimweiler den Baggersee „Waldmattensee“ zur Naßauskiesung mit Betriebseinrichtungen zur Kiesaufbereitung. Im Rahmen des Planfeststellungsbeschlusses vom 11.03.2016 zur Erweiterung der bestehenden Kiesgrube wurden u.a. die Errichtung von zwei zusätzlichen Grundwassermessstellen im Abstrom des Baggersees als Auflage festgelegt. Zusätzlich wurde, um die Entwicklung der Anbindung des Sees an das Grundwasser und Veränderungen der Abstrom-Situation zu untersuchen, zur Auflage gemacht, dass im Abstand von sechs Jahren hydrochemische Übersichtsuntersuchungen sowie Untersuchungen der stabilen Isotope des Wassers durchzuführen sind.

Die Ergebnisse der früheren und im Herbst 2020 sowie im Frühjahr 2021 von der Fa. Vogelbau GmbH veranlassten Untersuchungen werden im vorliegenden Bericht vorgestellt und erläutert.

### **1.2 Lage des Untersuchungsgebietes**

Der Baggersee Waldmattensee der Vogel-Bau GmbH liegt im Ortenaukreis, Gemarkung Kippenheimweiler, zwischen der westlich gelegenen Ortschaft Kippenheimweiler sowie der ca. 160 m östlich des Sees verlaufenden Bundesautobahn A5. Die maximale Längserstreckung des Baggersees in Grundwasserfließrichtung beträgt derzeit ca. 850 m, die maximale Breite ca. 350 m. Der Baggersee befindet sich Bereich der quartären Ablagerungen des Rheintalgrabens bzw. im Bereich der Niederterrassenschotter, ca. 3,7 km östlich des Rheins. Die Region im Bereich des Baggersees wird land- und forstwirtschaftlich genutzt.

## **2. Durchgeführte Untersuchungen**

### **2.1 Ältere Untersuchungen**

Ältere Isotopenhydrologische und hydrochemische Untersuchungen sind im Bericht der Fa. Hydroisotop (2010) dargestellt. Im Rahmen des Gutachtens zur Erweiterung der Abbaufäche des Baggersee Waldmatten (Funk 2012), welcher sich ca. 1.500 nordwestlich des Waldmattensees befindet, wurde am 10.09.2012 in ausgewählten Grundwassermessstellen in der Umgebung des Baggersees eine Stichtagsmessung durchgeführt. Die bei der Stichtagsmessung erhobenen Daten wurden zur Erstellung eines Grundwassergleichenplans verwendet.

Des Weiteren wurden durch das Landratsamt Ortenaukreis Grundwassergütedaten sowie Wasserstände zu ausgewählten Messstellen im Ober- und Unterstrom des Sees sowie dem See aus den Jahren 2010 bis 2018 zur Verfügung gestellt.

## 2.2 Entnahme von Grundwasser- und Seeproben 2020/21

Am 10.09.2020 wurden im Baggersee in drei verschiedenen Tiefen (Epilimnion, Hypolimnion, 1 m über dem Seegrund) Wasserproben durch das Büro ZehnEck, Büro für Umwelt- und Geowissenschaften entnommen. Zwischen dem 21.10.2020 – 23.10.2020 wurden in fünf Grundwassermessstellen sowie in der Seemitte (Mischprobe), je eine Wasserprobe ebenfalls durch das Büro ZehnEck entnommen. Am 19.03.2021 wurde eine zweite Stichtagsbeprobung durch die SGS Analytics Germany GmbH in denselben fünf Grundwassermessstellen sowie im Bereich der Seemitte (Mischprobe) durchgeführt.

## 2.3 Hydrochemische Analysen

Die Wasserproben wurden durch die Synlab Analytics & Services Germany GmbH (Herbst 2020) sowie der SGS Analytics Germany GmbH (Frühjahr 2021) nach dem Untersuchungsumfang A1 analysiert. Zusätzlich wurden die Proben auf Isotope (Deuterium, Sauerstoff -18) durch die Hydroisotop GmbH analysiert.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Geologisch- Hydrogeologische Verhältnisse

Es wird auf die in Kapitel 5 aufgelisteten Unterlagen verwiesen, in denen die geologisch- hydrogeologischen Verhältnisse bereits ausführlich dargestellt sind. Nachfolgend werden die geologisch- hydrogeologischen Verhältnisse am Standort des Baggersees Waldmattensee zusammenfassend erläutert.

Der Standort liegt im Bereich der quartären Ablagerungen des Rheintalgrabens bzw. im Bereich der Niederterrassenschotter. Die Kiese und Sande der Niederterrasse wurden während der letzten Eiszeit abgelagert, und im Bereich der Niederungen anschließend umgelagert. Die Ablagerungen reichen vom Holozän bis ins älteste Quartär und Jungtertiär. Der regionale Schichtenaufbau in der Umgebung des Bauvorhabens kann aus dem hydrogeologischen Querschnitt 13 der LGRB-Informationen-Nr. 19 (Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben, LGRB 2007) entnommen werden. Demnach und gemäß von Bohrungen in der Umgebung des Standortes, wird der Untergrund entsprechend der aktuellen Gliederung in o. g. Veröffentlichung in folgende Einheiten unterteilt:

- 0,00 - 2,0 m: Deckschichten  
Schluffe und Tone
- 40,0 m: Oberer Grundwasserleiter (Neuenburg-Formation)  
Sandige bis schwach sandige Kiese.  
Bereichsweise Feinklastischer Horizont 1 und 2

- 65,0 m: Unterer Grundwasserleiter (Breisgau-Formation)  
Fein- bis Grobkiese, sandig
- > 65,0 m: Iffezheim-Formation/fluviatiles Jungtertiär

Gemäß Informationssystem Oberflächennahe Geothermie für Baden-Württemberg (ISONG) ist unterhalb der wenige Meter mächtigen Iffezheim-Formation eine tertiäre Gesteinsabfolge aus Tonmergel, Feinsand, Kalksandstein und möglicherweise Sulfatgestein (Gips/Anhydrit) zu erwarten.

Der obere Grundwasserleiter stellt den regional bedeutsamsten Grundwasserleiter dar. Der untere Grundwasserleiter hat in der Regel etwas geringere Durchlässigkeiten. Die Aquiferbasis liegt gemäß Veröffentlichung des LGRB (Informationen Nr. 19) bei ca. 94 m+NN. Demnach ergibt sich eine Gesamtmächtigkeit des Aquifers des quartären Porengrundwasserleiters von ca. 63,0 m. Der Grundwasserspiegel liegt sehr nahe unter der Oberfläche. Der Flurabstand in der Umgebung des Baggersees beträgt bei relativen Mittelwasserständen ca. 1,0 – 1,30 m. Die Aquifermächtigkeit der gut durchlässigen Schotter des Oberen Grundwasserleiters kann mit ca. 38,0 m angegeben werden.

### **Grundwasserstände – Grundwasserfließrichtung - Durchlässigkeiten**

Zur Veranschaulichung der lokalen Fließverhältnisse wurde in Anlage 1 ein Grundwassergleichplan mit Stichtag vom 10.09.2021 für Mittel- Niedrigwasserverhältnisse dargestellt. Das Grundwasser strömt mit relativ einheitlichem Gefälle und einem flachen Gradienten von ca. 0,0008 in nördliche Richtung ab. Aus weiteren Unterlagen ergibt sich ein mittlerer Schwankungsbereich des Grundwassers von ca. 1,45 m. Extremwasserstände werden diesen Wert überschreiten. Der kf-Wert für den Oberen Grundwasserleiter im Untersuchungsgebiet wird in der Veröffentlichung des LGRB (Informationen Nr. 19) mit ca.  $4 \cdot 10^{-3}$  m/s angegeben. Die mittlere Fließgeschwindigkeit des Grundwassers für Mittelwasserverhältnisse beträgt bei  $p = 0,15$  (durchflusswirksamer Porenraum) nach  $V_0 = (k_f \cdot i_0 \cdot 86.400)/p$  ca. 1,9 m/Tag. Die bekannten Wasserstände zeigen, dass das Grundwasser relativ oberflächennah ansteht und aufgrund der vorhandenen Decklage zum Teil gespannt sein kann.

### **3.2 Hydrochemische Analysen**

Zur Bewertung der hydrochemischen Verhältnisse im Bereich des Baggersees werden nachfolgend die von der Fa. Vogelbau GmbH ergänzend durchgeführten Analysen aufgeführt bzw. erläutert. Aus vorangegangenen Untersuchungen stehen Daten aus den Jahren 2010 bis 2018 für ausgewählte Messstellen und den See zur Verfügung. Diese werden im Folgenden um die Ergebnisse aus der Beprobung Herbst 2020 und Frühjahr 2021 ergänzt.

Die Analyseergebnisse bezüglich Chlorid, Nitrat, Sulfat und Phosphor (Gesamt) für den Baggersee und die Grundwassermessstellen sind in Abbildung 2 – 4 dargestellt. In den Tabellen 1

und 2 sind die vollständigen Ergebnisse der hydrochemischen Analysen aufgeführt. Die Vor-Ort- sowie die Laborprotokolle sind, soweit verfügbar, in Anlage 3 dokumentiert.

### 3.2.1 Grundwasseranalysen

Die Grundwassermessstellen Raststätte West (6,8 m tief) und 2060/066-3 (GWM 1 VB, 38,3 m tief) befinden sich in ca. 100 – 470 m Entfernung im südlichen Zustrom des Baggersees. Die Messstellen 3302/066-6 (GWM 4 neu, 20 m tief) und 0123/066-5 (GWM BK 2/04, 55,5 m tief) befinden sich ca. 50 – 80 m nördlich des Sees, im Abstrom des Sees. Die Messstelle 3303/066-6 (GWM 5 neu, 20 m tief) befindet sich ca. 370 m nordwestlich im Abstrom des Baggersees.

- Die Konzentration für den Parameter Chlorid zeigt für alle Messstellen in den vergangenen Jahren einen relativ gleichbleibenden Trend. Die gemessenen Konzentrationen liegen in einem Bereich von 24,4 mg/l und 49,7 mg/l. Die geringsten Konzentrationen werden in den Zustrommessstellen 2060/066-3 sowie der GWM Raststätte West festgestellt. Die höchsten Chloridkonzentrationen werden in der Messstelle 3303/066-6 (GWM 5 neu) gemessen. Im See werden Konzentrationen von 41 mg/l – 46 mg/l gemessen, die mit den gemessenen Konzentrationen in den Abstrommessstellen nahezu identisch sind.

Insgesamt befinden sich die gemessenen Chloridkonzentrationen in einem unauffälligen Bereich von <50 mg/l, was sich vermutlich aus der Salzarmut der durchflossenen Kieskörper sowie den Grundwasserrandzuströmen und Flusswasserversickerungen aus dem Schwarzwald erklären lässt. Es ist allerdings auffällig, dass die Chloridkonzentrationen im Zustrom zum See geringer als im See selbst sind. Möglicherweise erfolgt ein Zustrom von durch Streusalz beeinflusstem Grundwasser aus dem westlich des Sees gelegenen Bereich der Autobahn. Ein Hinweis hierfür könnten die relativ hohen Chloridkonzentrationen in der GWM 3303/066-5 sein.

- Insgesamt weisen die gemessenen Nitratkonzentrationen in den Messstellen sowie im See unauffällige Werte bis maximal 13,8 mg/l auf. Insbesondere in der Zustrommessstelle 2060/066-3 ist seit 2016 ein eindeutiger Trend zu höheren Konzentrationen zu beobachten. In den restlichen Messstellen sowie im See werden nur sehr geringe Konzentrationen gemessen, teilweise liegt die Nitratkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze. In der letzten Seewasserprobe vom Frühjahr 2021 wurde im See mit ca. 8,5 mg/l eine deutlich höhere Konzentration als in den Jahren zuvor gemessen, die allerdings immer noch eine sehr unauffällige Konzentration darstellt. Eine Zunahme der Nitratkonzentration abstromig des Baggersees durch einen baggerseebedingten Sauerstoffeintrag in das durch hydrochemisch reduzierende Verhältnisse geprägte Grundwasser, ist nicht erkennbar.

- Die gemessenen Sulfatkonzentrationen befinden sich insgesamt auf einem relativ hohen Niveau zwischen ca. 71 – 124 mg/l. Die Sulfatkonzentration im See liegt dabei vergleichsweise konstant bei ca. 91,5 – 98,5 mg/l, die abstromigen Messstellen weisen ähnliche, leicht geringere Werte auf. Für die Zustrommessstellen ergibt sich kein klares Bild, so sind die Konzentrationen in den Jahren 2010, 2020 und 2021 in der Messstelle 2060/066-3 deutlich höher als im See. Im Jahr 2016 lag die Konzentration allerdings deutlich unter der im See gemessenen. Für die ebenfalls im Zustrom befindliche Messstelle GWM Raststätte West zeigt sich in den Jahren 2020 und 2021 ein ähnliches Bild. So liegt die Sulfatkonzentration im Jahr 2020 über und im Jahr 2021 unterhalb der Sulfatkonzentration im See.

Die hohen Sulfatkonzentrationen lassen sich zum einen auf anthropogene Einträge (landwirtschaftliche Düngung) und zum anderen auf geogene Einflüsse zurückführen. Gemäß dem Leitfaden Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft (2004) können im Lahrer Raum tiefe Grundwässer in die oberen Kieskörper aufsteigen.

- Die Phosphorkonzentration liegt für den Messzeitraum von 2010 bis 2021 in einem Bereich zwischen <0,01 mg/l und 0,34 mg/l. In der Frühjahrmessung vom März 2021 wurden in den Abstrommessstellen 0123/066-5 und 3302/066-6 die bisher höchsten Konzentrationen von 0,23 – 0,34 mg/l gemessen. Die Werte liegen deutlich über den Werten die in den Jahren zuvor im Abstrom gemessen wurden. Die Konzentration in den Zustrommessstellen befinden sich zumeist geringfügig unterhalb der Phosphatkonzentration im See. Die Phosphatkonzentration im See liegt nur in den Messungen vom Frühjahr 2014 oberhalb des, eine einsetzende Eutrophierung kennzeichnenden, Konzentrationsbereiches von 0,045 mg/l. In den Messungen im Herbst 2020 und Frühjahr 2021 konnte kein Phosphor über der Bestimmungsgrenze festgestellt werden.

Über den Konzentrationsbereich von 0,045 mg/l erhöhte Wässer sind meist weniger von natürlichen Gehalten aus moorigen Bereichen verursacht, sondern durch landwirtschaftliche Dünger, Versickerungen von Abwasser in Siedlungs- und Industriebereichen und Infiltrationen von aus Kläranlagen phosphorhaltigem Flusswasser in das Grundwasser.

Mögliche Ursachen bzw. zusätzliche Nährstoffeinträge können sich gemäß dem Leitfaden Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft (2004) aus der Nutzung des Sees ergeben. So soll bei Badebetrieb pro Badegast und Tag ein Eintrag von ca. 0,1 g P und 1,8 g N möglich sein. Für einen durchschnittlich genutzten 10 ha großen Baggersee (1.500 Badegäste pro Tag und 55 Badetage im Jahr) würden sich dabei Belastungen von 0,8 kg P und 15 kg N pro Jahr und ha Seefläche ergeben. Tatsächlich ist im Norden des Sees ein Bereich als offizieller Badensee ausgewiesen.

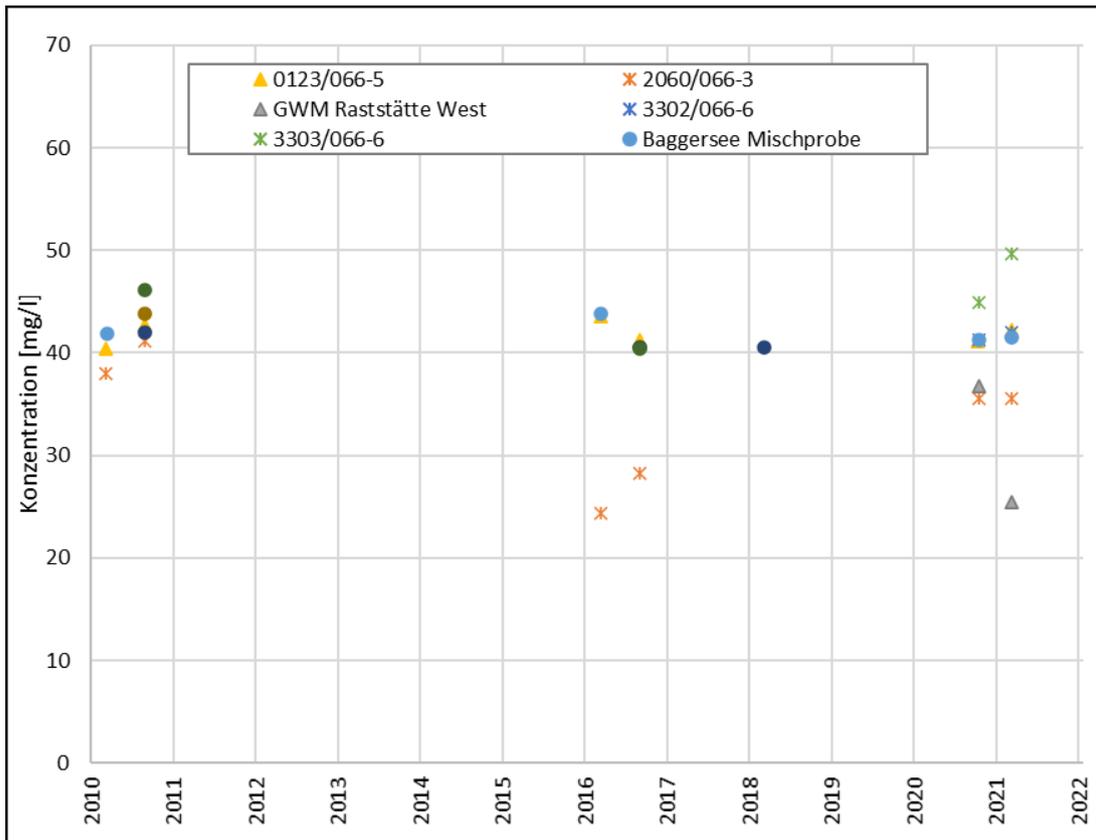


Abbildung 1: Ergebnisse Chloridanalysen

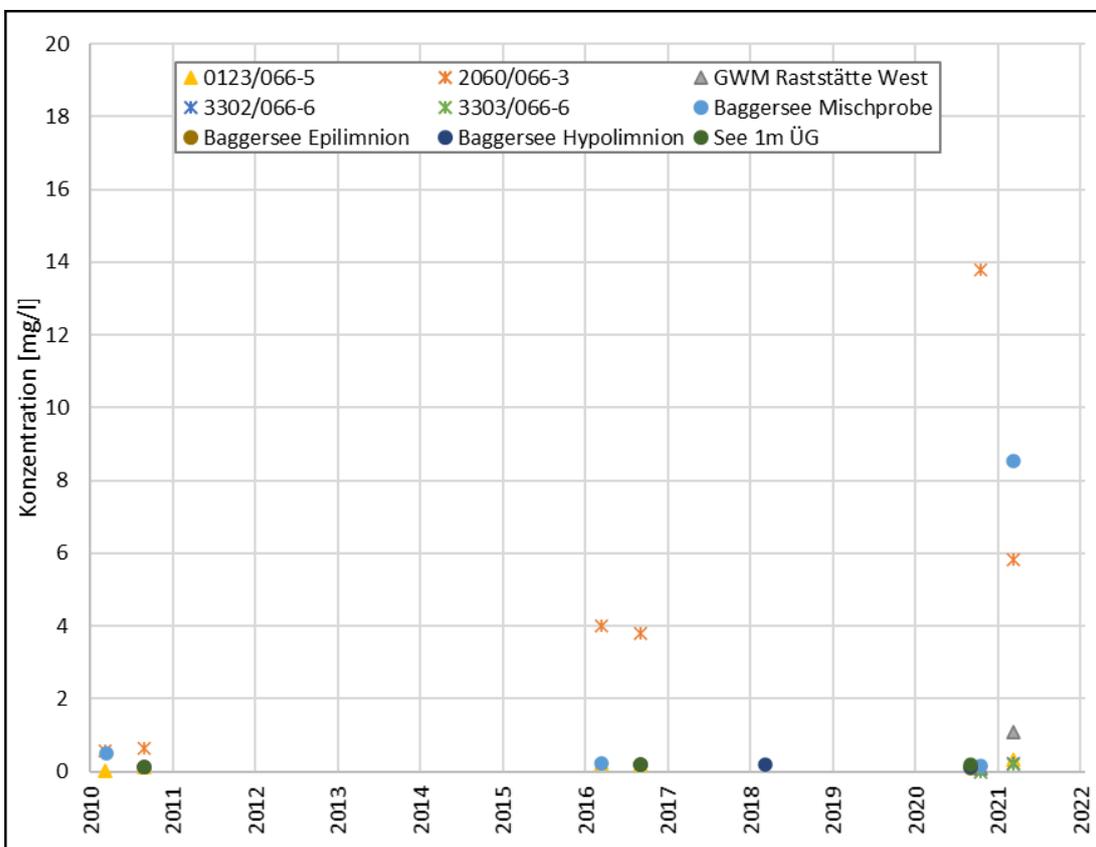


Abbildung 2: Ergebnisse Nitratanalysen

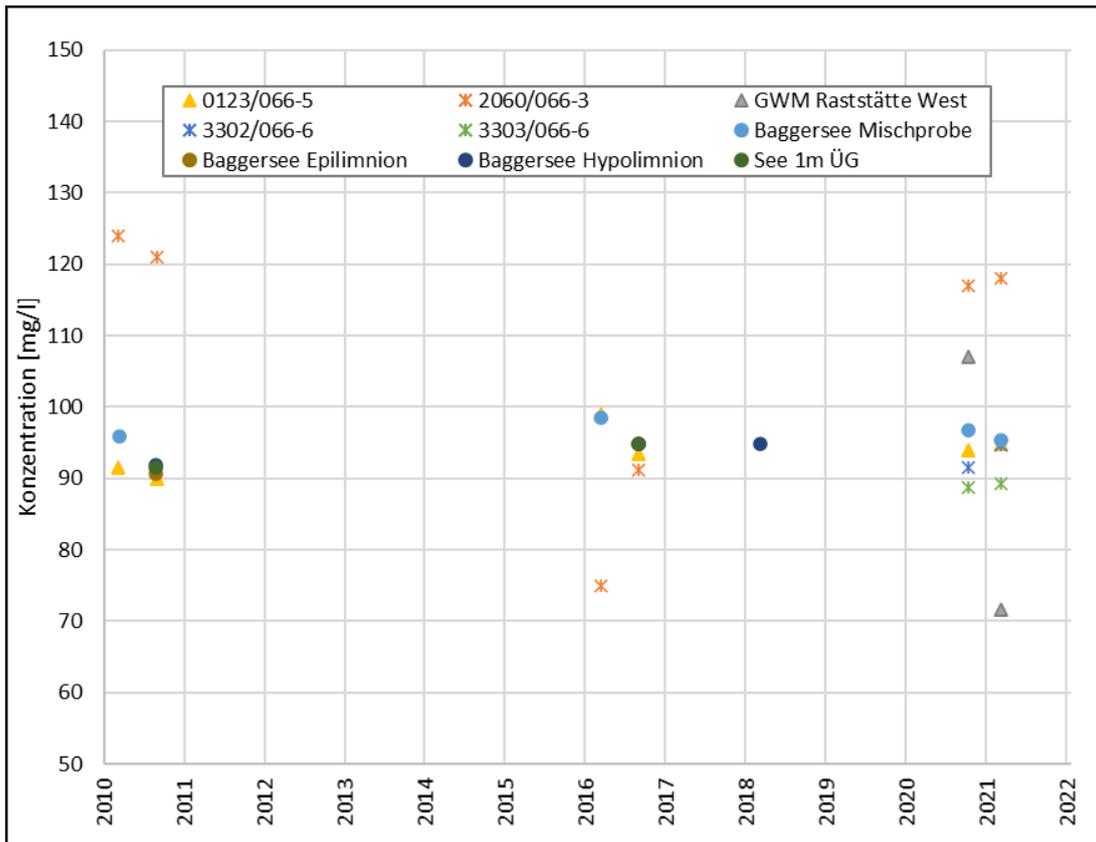


Abbildung 4: Ergebnisse Sulfatanalysen

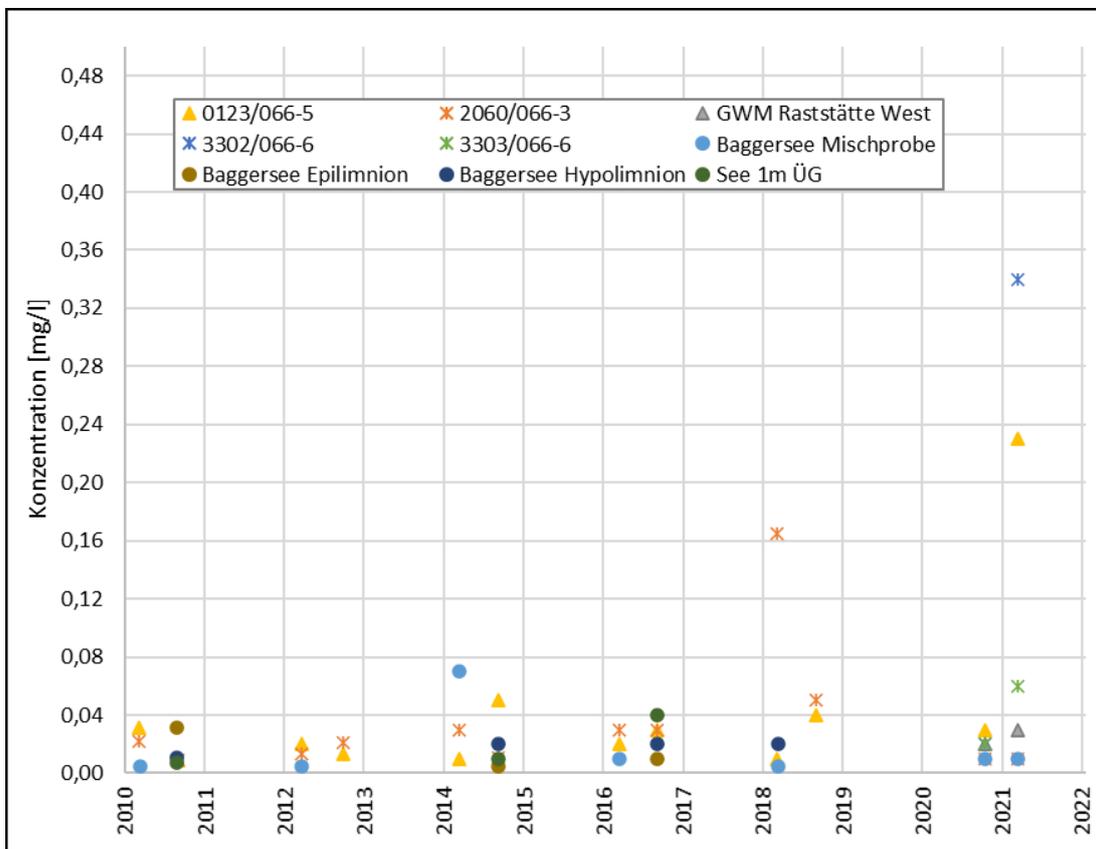


Abbildung 3: Ergebnisse der Phosphoranalysen

### 3.3 Isotopenhydrologische Analysen

In Tabelle 1 und 2 sind die Ergebnisse der Isotopenanalysen vom Oktober 2020 und März 2021 für die Grundwassermessstellen und den See zusammengefasst. Im Rahmen der Untersuchung sind die Sauerstoff-18-, Deuteriumgehalte sowie der Deuterium-Excess (Nur in der Herbstbeprobung 2020) in den Messstellen bestimmt worden. Aus Zeitgründen konnte vom Labor Hydroisotop kein ausführlicher Bericht zu den Ergebnissen der Isotopenanalysen zur Verfügung gestellt werden. Die Auswertung der vorliegenden Analyseergebnisse wurde daher vom Unterzeichner in Abstimmung mit dem Labor Hydroisotop durchgeführt.

#### 3.3.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 und Deuterium - Grundlagen und Ergebnisse

Im Wasserkreislauf kommen diese Wassermoleküle 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 und Deuterium ideale Tracer dar, die flächenhaft mit dem Niederschlag eingetragen werden. Somit liefern die stabilen Isotope des Wassers Sauerstoff-18 und Deuterium Hinweise auf die Herkunft und Bildungsbedingungen von Grundwässern.

Hierbei kann auch der Höheneffekt eine Rolle spielen. Grund- und Oberflächenwässer aus höher gelegenen Einzugsgebieten oder Einzugsgebieten mit kälteren Klimabedingungen, wie z. B. beim Rheinwasser aufgrund seines dominierend alpinen Einzugsgebietes, zeigen eine charakteristische Markierung durch niedrige Sauerstoff-18-Werte (leichte Signatur), wohingegen höhere Werte (schwere Signatur) auf wärmere Bedingungen bzw. niedriger gelegene Einzugsgebiete hinweisen (z. B. Oberrheinebene). Grund- und Oberflächenwässer aus dem Schwarzwald (Bsp. Kinzig-Uferfiltrat) nehmen hier eine Mittelstellung ein. Der Höheneffekt zwischen Oberrheinebene und Schwarzwald liegt bei etwa 0,2 ‰ pro 100 m.

Die  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -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. Die analytischen Messgenauigkeiten liegen bei  $\pm 0,15$  ‰, bzw. bei  $\pm 1,5$  ‰ (Deuterium). Zwischen den  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Gehalten im Niederschlag besteht eine lineare Beziehung, die sich durch die sogenannte Niederschlagsgerade darstellen lässt. Im Bereich des Oberrheingrabens liegt  $d$  (Deuterium-Exzess) bei etwa 8 bis 10, Rhein-Uferfiltrat weist in der Regel einen vergleichsweise höheren Deuterium-Exzess von etwa  $d = 10$  auf.

Mit Hilfe von  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Untersuchungen lassen sich zudem Einflüsse von Baggersee-Uferfiltrat erkennen, da die obere Wasserschicht eines Grundwassersees (Epilimnion) in den Sommermonaten als Folge von Verdunstungsprozessen durch Anreicherung der Isotopen  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$  im Verhältnis zu  $^{16}\text{O}$  und  $^1\text{H}$  markiert ist. Dies äußert sich durch vergleichsweise schwere

Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte (je mehr  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Isotope im Verhältnis zu  $^{16}\text{O}$  und  $^1\text{H}$  umso „isotopisch schwerer“ ist ein Wasser). Durch die Isotopenfraktionierung verringert sich auch der Deuterium-Exzess. Die Wässer, die bei fortschreitender Verdunstung eines Ausgangswassers entstehen, liegen im Diagramm auf der so genannten Verdunstungsgeraden. Die Markierungen des See-Uferfiltrats werden unterstromig durch Vermischungsprozesse mit Grundwässern anderer Herkunft überlagert. Ein durch Verdunstungsprozesse markiertes Seewasser lässt sich unterstromig des Sees durch eine Art „Fahne“ mit vergleichsweise isotopisch schweren  $^{18}\text{O}$  und  $^1\text{H}$ -Gehalten sowie geringen Deuterium-Exzessen verfolgen.

Dies kann genutzt werden, um die Vermischung von Seewasser und von Seewasser unbeeinflusstem Grundwasser zu bilanzieren. Zusätzlich lassen sich aus dem Verlauf der „Fahne“ die Grundwasserfließrichtung und bei Zeitreihenuntersuchungen auch Grundwasserfließzeiten und Abstandsgeschwindigkeiten abschätzen. Baggerseen mit einer geringen Anbindung an den Grundwasserstrom aufgrund von Kolmation („Seenalterung“) oder Selbstabdichtung durch sedimentierte Schwebstoffe (bei Baggerbetrieb) zeigen aufgrund ihrer geringen Austauschrate eine zunehmende Isotopenanreicherung.

## Ergebnisse

An den Proben der untersuchten Messstellen wurden insgesamt Isotopengehalte von  $-5,6$  bis  $-8,0$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) und  $-44,8$  bis  $-55,3$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) gemessen sowie Deuterium-Exzesse von  $2,04$  bis  $9,3$  ‰ berechnet (siehe Abbildung 5 und 6 sowie Tabelle 2 und 3). Insgesamt liegen die gemessenen Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte der Grundwassermessstellen in der Herbstmessung (2020) und der Frühjahrmessung (2021) auf einem ähnlichen Niveau.

In den Zustrommessstellen 2060/066-3 und der GWM Raststätte West werden für die Herbst- bzw. - Frühjahrsbeprobung Werte in einem Wertebereich von  $-7,57$  bis  $-8,00$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $-54,0$  bis  $-55,3$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) gemessen. Für die Abstrommessstellen 3302/066-6 und 0123/066-5 wurden Werte in einem Wertebereich von  $-5,6$  bis  $-6,26$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $-44,8$  bis  $-46,1$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) festgestellt. Die nordwestlich des Sees im seitlichen Abstrom befindliche GWM 3303/066-6 weist Wertebereiche von  $-6,84$  bis  $-6,92$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $-50,0$  bis  $-50,8$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) auf (siehe Tabelle 1). Im Waldmattensee werden Werte in einem Wertebereich zwischen  $-5,78$  bis  $-5,88$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $-45,0$  bis  $-46,9$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) gemessen (siehe Tabelle 2).

Die Analysewerte der Messstellen im Zustrom des Baggersees entsprechen dem typischen Wertebereich von jungen Grundwässern der Region, die unter heutigen Klimabedingungen neu gebildet wurden. Die Messstellen liegen im Rahmen der analytischen Messungenauigkeit noch im Bereich der Niederschlagsgeraden. In der Frühjahrmessung (2021) liegen die Messwerte etwas mehr in Richtung zur Verdunstungsgeraden. Möglicherweise wird die Messstelle Raststätte West durch den See, der südöstlich der Autobahnraststätte Mahlberg Ost liegt, beeinflusst.

Die im See festgestellten Isotopenwerte zeigen einen deutlichen Einfluss durch Verdunstungseffekte. Als Folge der Verdunstungsprozesse werden die Isotopen  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$  im Verhältnis zu  $^{16}\text{O}$  und  $^1\text{H}$  im See angereichert. In den abstromig gelegenen Messstellen 0123/066-85 und 3302/066-6 sind die Wässer ebenfalls deutlich durch die isotopisch schweren  $^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}$  Werte markiert. Aufgrund ihrer Lage auf der Verdunstungsgeraden sind hier entsprechend dem Baggerseewasser Verdunstungsprozesse eindeutig angezeigt (siehe Abbildung 5 und 6).

Auch die Werte der Messstelle 3303/066-6 befinden sich im Bereich der Verdunstungsgeraden, die Messstelle ist somit ebenfalls von Waldmattensee-Uferfiltrat beeinflusst. Aufgrund der Entfernung der Messstelle zum See ist das Wasser in der Messstelle durch Vermischungsprozesse mit Grundwässern anderer Herkunft überlagert und zeigt daher eine isotopisch etwas schwächere Signatur als die Messstellen im direkten Abstrom des Sees.

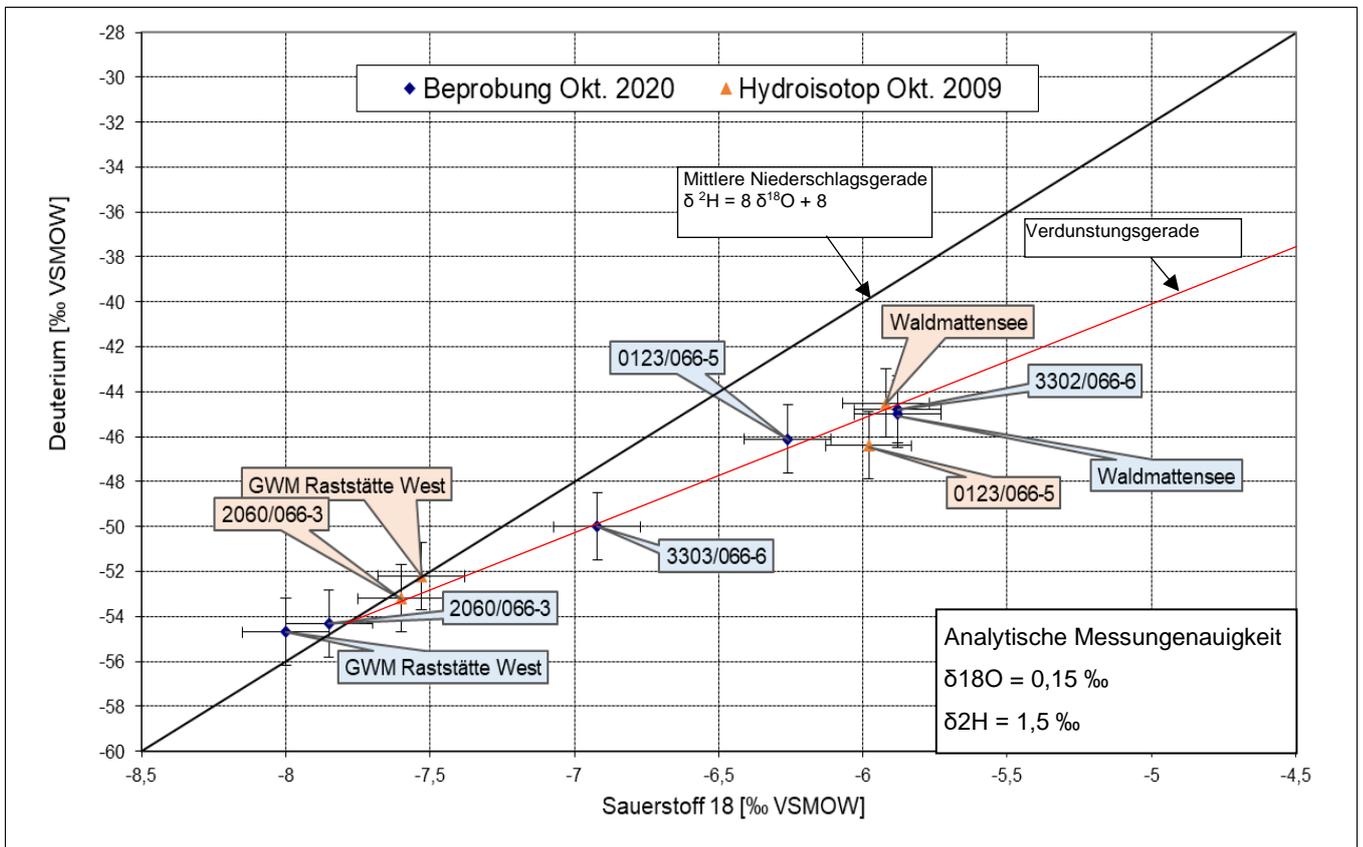


Abbildung 12: Deuterium versus Sauerstoff-18 Herbstbeprobung 2020

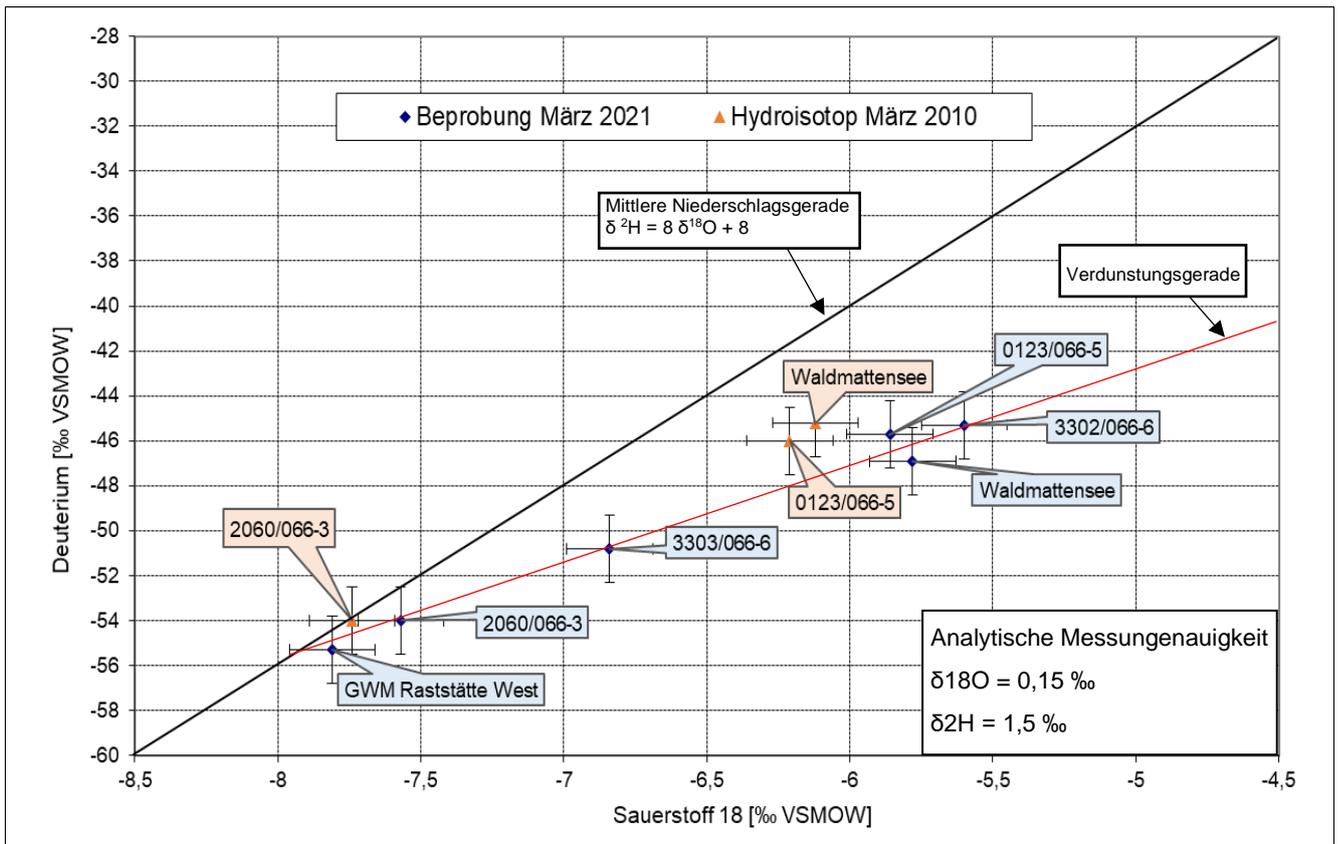


Abbildung 18: Deuterium versus Sauerstoff-18 Frühjahrsbeprobung 2021

### Abschätzung der Grundwasseraustauschrate des Baggersees

Mit Hilfe der 2H- und 18O-Konzentrationen im Seewasser können die Austauschraten zwischen Baggersee und Grundwasser abgeschätzt werden. Dazu wird die Vermischung des isotopisch schwereren Baggerseewassers mit dem zuströmenden, isotopisch leichteren Grundwasser ausgewertet. Betrachtet wird der Zeitraum der Zirkulation mit möglichst einheitlicher Beschaffenheit des gesamten Seewassers. Hierzu wurden für den Stichtag „Anfang Zirkulation“ im Herbst die 18O- bzw. 2H-Werte im Seewasser vom 22.10.2020 und für den Stichtag „Ende Zirkulation“ im Frühjahr die Werte vom 19.03.2021 verwendet.

Zunächst kann der prozentuale Anteil von Grundwasser im Seewasser mit Hilfe einer einfachen Mischungsformel abgeschätzt werden (siehe LGRB-Informationen Nr. 10). Demnach liegt der prozentuale Anteil von Grundwasser im Seewasser auf Basis der 2H-Werte bei 19,84 %. Auf Basis der 18O-Werte kann der prozentuale Anteil des Grundwassers im Seewasser nicht berechnet werden, da im Frühjahr ein isotopisch schwereres Wasser im Baggersee festgestellt wurde als im Herbst. Theoretisch müsste sich allerdings das Seewasser im Verlauf der Zirkulationsphase dem isotopisch leichteren Werten des zuströmenden Grundwassers nähern. Da keine Vergleichsproben zur Verfügung stehen, kann ein Messfehler nicht ausgeschlossen werden. Die analytische Fehlerbreite beträgt  $\pm 0,15 \text{ ‰}$ . Aufgrund der geringen Differenz zwischen

Herbst- und Frühjahrsbeprobung kann der Grund für die höheren 18O- Werte im Frühjahr auch in der analytischen Fehlerbreite begründet sein.

Der Einfluss von direkt auf die Seefläche fallenden Niederschlags im betrachteten Zeitraum wurde hierbei nicht berücksichtigt. Das Seewasservolumen des Waldmattensees beträgt laut Vogelbau GmbH mit Stand vom 31.03.2021 in etwa 7.843.053 m<sup>3</sup>. Die Grundwasserzuströmrate (QGW) für den betrachteten Zeitraum ergibt sich gemäß LGRB-Informationen Nr. 10 nach

$$\text{QGW} = (\text{Vol. See} \cdot \text{xGW})/\text{t}$$

mit

<b>QGW</b>	= Grundwasserzuströmrate (m <sup>3</sup> /s)
<b>Vol. See</b>	= Seewasservolumen (= 7.846.053 m <sup>3</sup> )
<b>xGW</b>	= Anteil von Grundwasser im Seewasser (%)
<b>t</b>	= Zeitraum 22.10.20.- 19.03.21 = 148 Tage

für den betrachteten Zeitraum auf Basis der 2H-Werte zu ca. 122 l/s.

Weiterhin kann mit diesen Ergebnissen noch ein Anhaltswert für die mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See nach folgender Formel abgeschätzt werden:

$$\text{Tm} = \text{VSee}/\text{QGW}$$

mit

<b>Tm</b>	= Mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers im See [s]
<b>QGW</b>	= Grundwasserzuströmrate [m <sup>3</sup> /s]
<b>VSee</b>	= Volumen des Sees [m <sup>3</sup> ]

Es ergibt sich eine mittlere Verweildauer von ca. 2 Jahren auf Basis der 2H-Werte.

### **Abstrombereich See**

In der Anlage 1 ist der Zu- sowie Abstrombereich des Sees auf der Basis des Grundwassergleichensplans vom 10.09.2012 skizziert. Der hydraulisch bedingte Abstrombereich wird durch die Isotopenbestimmungen in den abstromigen Grundwassermessstellen bestätigt. Die Brunnen Kaiserwald im Nordwesten des Baggersees werden vom Abstrombereich des Baggersees nicht tangiert.

### 3.4 Tiefenprofilmessungen im Baggersee

Die Ergebnisse der Tiefenprofilmessungen vom 22.10.2020 und 19.03.2021 sind in den Abbildungen 7 und 8 dargestellt. In den Messungen vom Oktober 2020 wurde das Tiefenprofil des Sees bis in eine Tiefe von 49 m aufgenommen. Im März 2021 wurde das Profil bis zum Grund des Sees in ca. 56 m Tiefe aufgenommen.

Die Messungen im September stellen die Phase der Seestagnation dar. Hier ist eine deutliche Temperaturschichtung zu erkennen. Im oberen Bereich des Sees liegt die Temperatur bei ca. 20°C und nimmt konstant bis zu einer Tiefe von ca. 10 m, auf ca. 14,5 °C, ab. Im tieferen Bereich des See bleibt die Temperatur anschließend relativ konstant.

Auch die Sauerstoffkonzentration zeigt geringfügig höhere Werte in den oberen Metern, verläuft daran anschließend konstant, und nimmt im unteren Bereich des Sees noch einmal leicht ab. Während der Verlauf der pH-Kurve auch hier relativ konstant bleibt. Die Leitfähigkeit ist im oberen Bereich des Sees deutlich geringer, steigt dann bis 10 m an, und bleibt danach konstant bis sie im tieferen Bereich noch einmal leicht ansteigt.

Die Messung im März 2021 stellt die Phase der Zirkulation dar. Der Kurvenverlauf der Wassertemperatur ist im Vergleich zu den Septembermessungen deutlich abgeflacht, und die Temperatur mit knapp unter 8 °C deutlich geringer. Der pH-Wert ist in der Zirkulationsphase sehr konstant. Die Sauerstoffkonzentration ist im Vergleich zu den September-Messungen deutlich erhöht. Im oberen Bereich des Sees liegt die Sauerstoffkonzentration am höchsten, sinkt dann auf einen konstant bleibenden Wert ab (ca. 10 mg/l). Im untersten Bereich, wenige Meter über dem Grund des Sees fällt die Sauerstoffkonzentration noch einmal deutlich ab. Die Leitfähigkeits-Kurve verläuft relativ konstant bei ca. 670µS/cm.

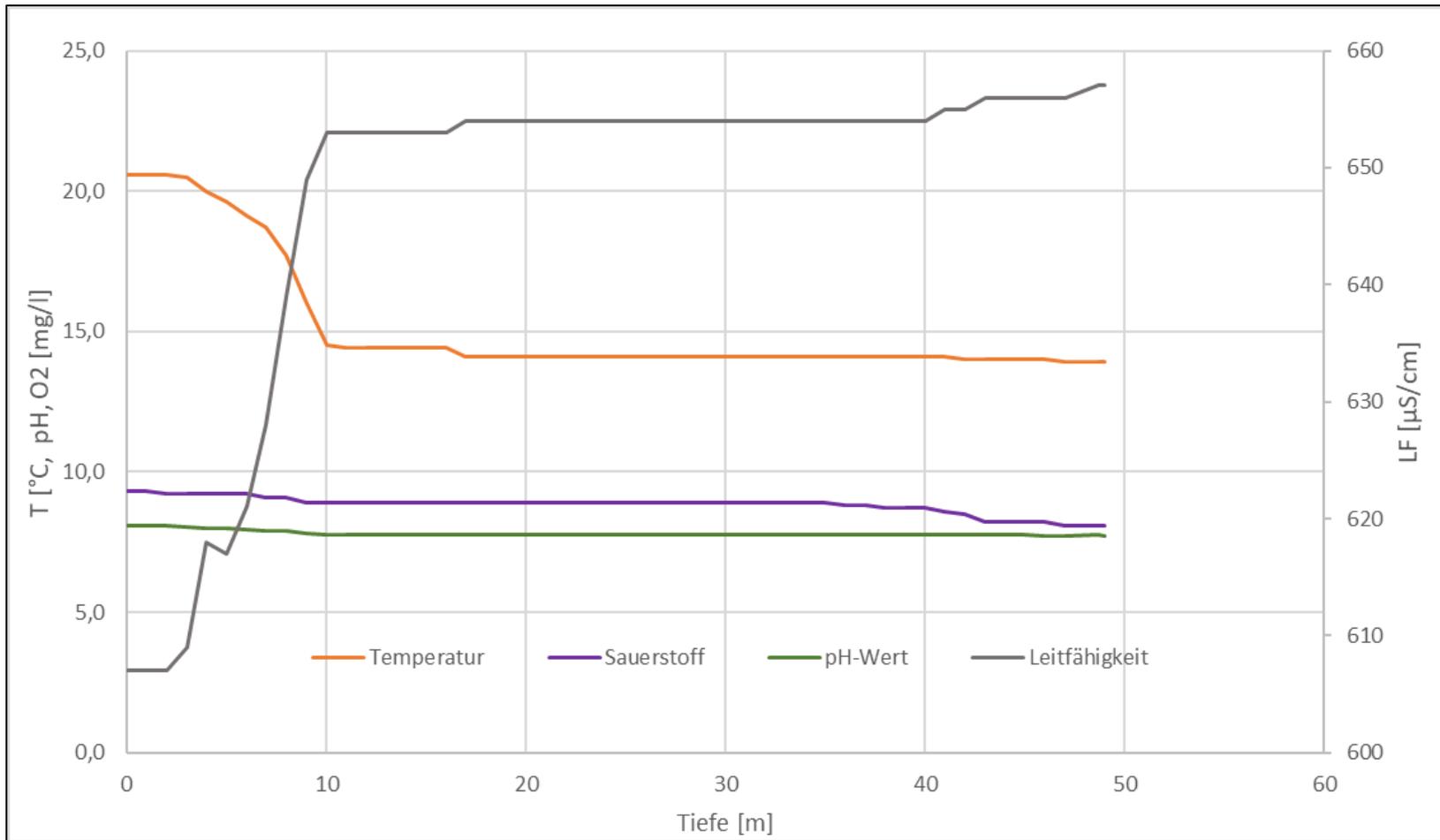


Abbildung 19: Tiefenprofilmessung September 2020 (Stagnation)

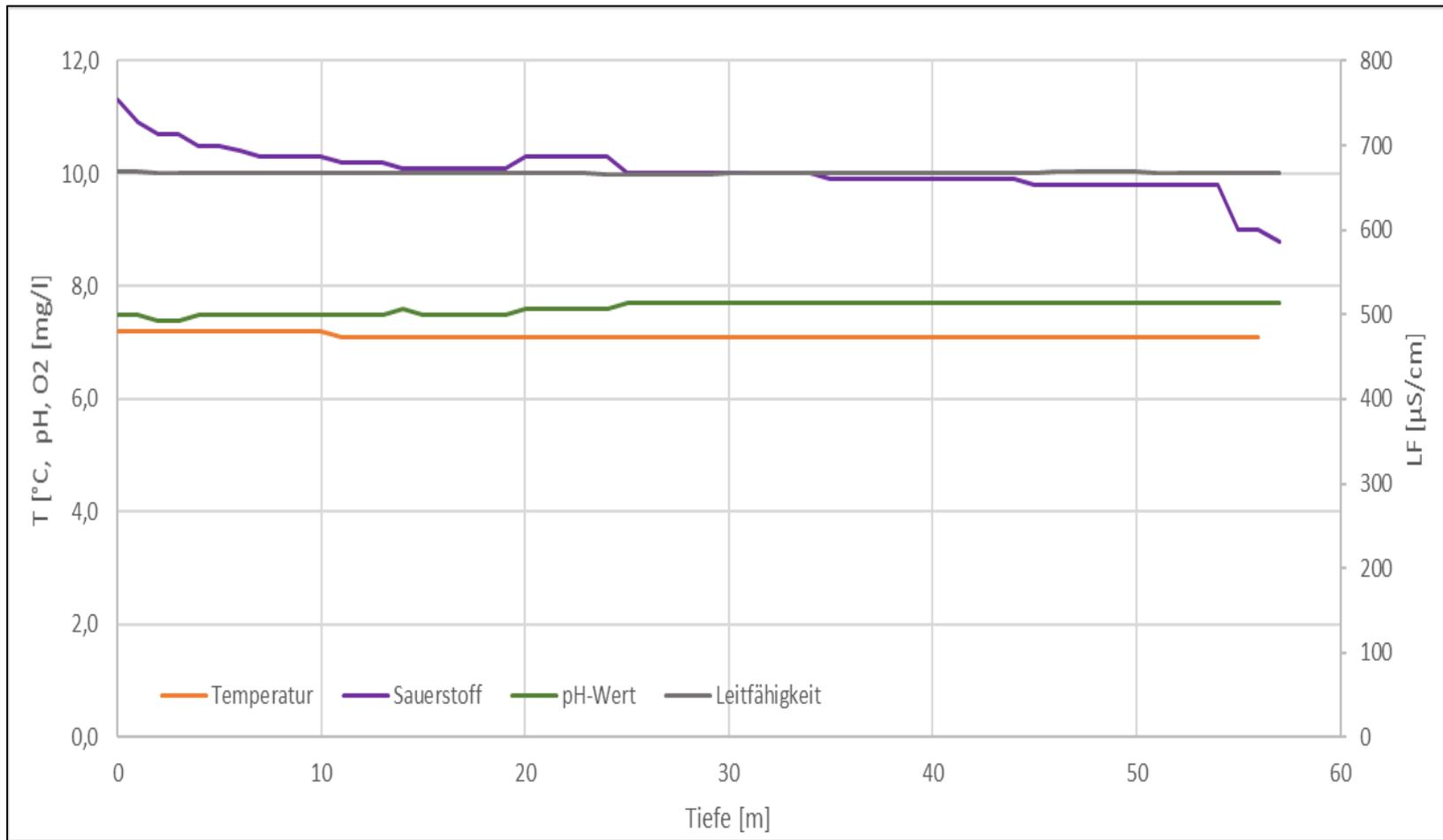


Abbildung 20: Tiefenprofilmessung März 2021 (Zirkulation)

#### 4. Abschließende Bewertung

Um die Entwicklung der Anbindung des Sees an das Grundwasser und Veränderungen der Abstromsituation zu untersuchen, wurden im Herbst 2020 sowie im Frühjahr 2021 hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen im Bereich des Baggersees durchgeführt. Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen, kann insgesamt von einer unauffälligen Belastungssituation im Bereich des Baggersees ausgegangen werden. Möglicherweise durch aufsteigendes Tiefenwasser sind die Sulfatgehalte im See sowie in Zu- und Abstrommessstellen zum See leicht erhöht. Die Phosphatgehalte sind nur im Abstrom des Sees - eventuell durch Badebetrieb - erhöht, innerhalb des Sees sind in den Beprobungen 2020 und 2021 keine erhöhten Konzentrationen gemessen worden.

Anhand des stabilen Isotops Deuterium konnte für den Waldmattensee eine Grundwasseraustauschrate von ca. 122 l/s festgestellt bzw. eine mittlere Aufenthaltszeit des Grundwassers von ca. 2 Jahren abgeschätzt werden.

Auf Basis der vorliegenden isotopenhydrologischen Untersuchungsergebnisse kann der Abstrombereich des Sees bis wenige Meter westlich der Autobahn angenommen werden. Dies wird auch durch den hydraulisch ermittelten Abstrombereich unterstützt. In östliche Richtung kann kein isotopenhydrologisch ermittelter Abstrombereich bestimmt werden, da in östlicher Richtung keine entsprechenden Messungen zur Verfügung stehen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Brunnen Kaiserwald im Nordwesten vom Abstrombereich des Baggersees nicht tangiert werden.

Im Zustrom zum See kann auf Grundlage der im Rahmen der isotopenhydrogeologischen Untersuchungen angezeigten geringen Verdunstungseinflüsse in der Messstelle Rastätte West, ein Einfluss durch den benachbarten See bei der Autobahnraststätte Mahlberg Ost nicht ausgeschlossen werden. In der Zustrommessstelle 2060/066-3 lassen sich allenfalls geringe Verdunstungseinflüsse erkennen, deren Herkunft aber unklar ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der hydrochemischen und isotopehydrologischen Grundwasseranalysen

Parameter	Dim.	GWM Raststätte West		GWM1 VB (GWM 1 VB)		GW-Messstelle GWM 4 neu		GW-Messstelle GWM 5 neu		GW-Messstelle BK 2/04	
		-		2060/066-3		3302/066-6		3303/066-6		0123/066-5	
Datum Probenahme	--	22.10.2020	19.03.2021	23.10.2020	19.03.2021	21.10.2020	19.03.2021	21.10.2020	19.03.2021	21.10.2020	19.03.2021
Ruhewasserspiegel	m u. ROK	3,75	-	3,72	-	-	-	-	-	3,09	-
Trübung visuell	--	l. trüb	klar	-	klar	gering trüb	lt. trüb	-	klar	mittel trüb	lt. trüb
Farbe	--	l. bräunl.	farblos	l. bräunl.	farblos	l. bräunlich	bräunlich	l. bräunlich	gelblich	l. bräunlich	bräunlich
Geruch	--	-	ohne	-	ohne	muffig	erdig	-	ohne	-	erdig
Bodensatz	--	-	ohne	-	ohne	-	lt. vorhanden	-	ohne	-	lt. vorhanden
pH-Wert (vor Ort)	--	6,91	7,2	6,9	7	7,38	7,4	7,19	7,3		7,5
elektrische Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	830	711	907	840	638	580	743	732	658	590
elektrische Leitfähigkeit bei 20°C	µS/cm	744	-	813	-	572	-	666	-	590	-
Sauerstoff gelöst (O <sub>2</sub> )	mg/l	0,5	2	0,4	<0,2	0,3	2,2	2,6	0,4	0,4	0,5
Temperatur	°C	16,6	10,2	14,4	12,4	13,3	13,3	11,9	10,6	11,7	11,4
Chlorid	mg/l	36,8	25,4	35,6	35,6	41,3	42	44,9	49,7	41,1	42,3
Nitrat	mg/l	<0,1	0,3	13,8	5,81	<0,1	0,23	<0,1	0,19	0,11	0,32
Sulfat	mg/l	107	71,7	117	118	91,6	94,6	88,7	89,2	93,9	94,9
Ammonium	mg/l	0,03	0,02	0,05	<0,010	0,02	<0,010	0,08	<0,010	0,03	<0,010
Nitrit	mg/l	<0,005	<0,005	0,01	0,03	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Natrium	mg/l	16,7	11,5	8,11	8,24	14,9	15,6	22	32,3	14,6	15,8
Kalium	mg/l	3,41	1,43	0,99	1	2,22	2,25	2,35	2,57	1,8	1,61
Calcium	mg/l	143	140	163	165	89,8	90,7	114	120	97,2	97,6
Magnesium	mg/l	16,8	16,4	20,4	20,9	17,9	18,5	14,4	15,2	16,9	17,8
Mangan	mg/l	0,3	0,37	0,44	1,2	0,17	1,5	0,31	0,33	0,22	0,49
Eisen	mg/l	0,68	3,64	0,62	1,13	1,32	23,1	3,2	6,31	2,18	16,1
ortho-Phosphat als o-PO <sub>4</sub> -P	mg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Phosphor, gesamt	mg/l	0,02	0,03	<0,010	0,01	0,02	0,34	0,02	0,06	0,03	0,23
Säurekapazität bis pH 4,3 (Ks 4,3)	mmol/l	6,07	6,52	6,59	6,92	3,68	3,55	4,77	5,4	3,9	3,81
Oxidierbarkeit (als O <sub>2</sub> )	mmol/l	<0,5	-	<0,5	-	<0,5	-	0,6	-	<0,5	-
Hydrogencarbonat	mg/l		398		422		216		330		232
Schwefelwasserstoff	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Silicium	mg/l	4	-	4,2	-	3,7	-	5,5	-	5,1	-
Gesamthärte	°dH	23,9	-	27,5	-	16,7	-	19,2	-	17,5	-
DOC	mg/l	1,64	-	1,36	-	0,92	-	1,84	-	0,97	-
Ionenbilanzfehler	(%)		1,54		1,28		1,29		0,45		1,24

Tabelle 2: Ergebnisse der hydrochemischen und isotopehydrologischen Seewasseranalysen

Parameter	Dim.	See Epilimnion	See Hypolimnion	See 1m über Grund	See Mischprobe	See Mischprobe
Datum Probenahme	--	10.09.2020	10.09.2020	10.09.2020	22.10.2020	19.03.2021
Trübung visuell	--	-	-	-	-	klar
Farbe	--	-	-	-	-	farblos
Geruch	--	-	-	-	-	ohne
Sichttiefe	m	-	-	-	-	4,6
pH-Wert (vor Ort)		-	-	-	-	7,5
elektrische Leitfähigkeit bei 25°C	S/cm	-	-	-	-	667
Sauerstoff gelöst (O <sub>2</sub> )	mg/l	-	-	-	-	10,1
Bodensatz	--	-	-	-	-	ohne
Temperatur	°C	-	-	-	-	7,1
Chlorid	mg/l	-	-	-	41,3	41,5
Nitrat	mg/l	<0,1	0,14	0,19	0,16	8,52
Sulfat	mg/l	-	-	-	96,8	95,4
Ammonium	mg/l	0,02	-	0,03	<0,010	<0,010
Nitrit	mg/l	-	-	-	<0,005	0,02
Natrium	mg/l	-	-	-	14,9	15,4
Kalium	mg/l	-	-	-	1,92	2,27
Calcium	mg/l	-	-	-	84,4	93,1
Magnesium	mg/l	-	-	-	18,8	18,9
Mangan	mg/l	-	-	-	0,007	0,014
Eisen	mg/l	-	-	-	0,07	0,03
ortho-Phosphat als o-PO <sub>4</sub> -P	mg/l	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Phosphor, gesamt	mg/l	-	-	-	<0,010	<0,010
Säurekapazität bis pH 4,3 (Ks 4,3)	mg/l	-	-	-	3,36	3,58
Hydrogencarbonat	mg/l	-	-	-	-	218
Schwefelwasserstoff	mg/l	-	<0,010	<0,01	<0,01	<0,01
Silicium	mg/l	-	-	-	3,2	-
Gesamthärte	°dH	-	-	-	16,1	-
DOC	mmol/l	-	-	-	1,3	-
Chlorophyll a	µg/l	<1,0	-	-	-	-
Phaeophytin	µg/l	<1,0	-	-	-	-
Sauerstoff-18 (δ <sup>18</sup> O)	‰	-	-	-	-5,88	-5,78
Deuterium (δ <sup>2</sup> H)	‰	-	-	-	-45	-46,9
Deuterium-Exzess	‰	-	-	-	2,04	-
Ionenbilanzfehler	(%)	-	-	-	-	0,90

## 5. Literaturverzeichnis

FUNK (2012): Fa. Vogel-Bau GmbH, 77933 Lahr/Schwarzwald; Erweiterung der Abbaufäche Baggersee Waldmatten Lgb.Nr. 3580 Gemarkung Kippenheimweiler, Ergänzende hydrogeologische Untersuchungen, Staufen

FUNK (2017): Vogel-Bau GmbH; Erweiterung Kfz-Werkstatt Lahr-Kippenheimweiler Flurstück-Nr. 2114, Erläuterungsbericht zur Neuerstellung des Tiefbrunnens 3, Staufen

Hydroisotop (2010): Waldmattensee der Vogel-Bau GmbH Isotopenhydrologische und hydrochemische Untersuchung (Untersuchungen von August 2009 – März 2010), Schweitenkirchen

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1978): - Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg, Oberrheingebiet Raum Lahr, Maßstab 1: 50.000, Freiburg

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2007): LGRB-Informationen 19, Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben, Freiburg

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (2001), Wechselwirkung zwischen Baggerseen und Grundwasser: Ergebnisse isotopenhydrologischer und hydrochemischer Untersuchungen im Teilprojekt 6 des Forschungsvorhabens „Konfliktarme Baggerseen (KaBa)“, Freiburg,

Landesamt für Umweltschutz (1998): Leitfaden für die Eingriffs- und Ausgleichsbewertung bei Abbauvorhaben, Karlsruhe

Landesanstalt für Umweltschutz (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft – Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaus von Kies und Sand, Karlsruhe

Landesanstalt für Umweltschutz (1998): Ab- und Umbauprozesse in Baggerseen und deren Einfluss auf das Grundwasser, Karlsruhe

Landesanstalt für Umweltschutz (1995): Hydrochemische Typisierung von Baggerseen der Oberrheinebene anhand der Hauptionen, Karlsruhe

Landesamt für Umwelt- und Bodenschutz, LUBW (2002): Wasser und Boden Atlas Baden-Württemberg (WaBoA). – Landesamt für Umwelt- und Bodenschutz; Karlsruhe.

Landesanstalt für Umweltschutz (1981): - Wasserwirtschaftliche Untersuchungen Baggerseen, 3. Bericht, Karlsruhe

Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forst (1981): Kiesabbau aus der Sicht der Wasserwirtschaft, Stuttgart

Vogel-Bau GmbH (2021): Ergebnisse hydrochemischer Untersuchungen, Wasserspiegelmessungen, Tiefenprofilmessungen des Sees, Lagepläne

Landratsamt Ortenaukreis Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz (2020): Untersuchungen an der Kiesgrube Kippenheimweiler, Offenburg

# ANLAGEN

Anlage 1: Übersichtskarte Maßstab 1: 10.000

Anlage 2: Lageplan Maßstab 1: 5.000

Anlage 3-1: Protokolle der hydrochemischen Analysen 2020

Anlage 3-2: Protokolle der hydrochemischen Analysen 2021