

# **Limnologisches Gutachten zur Entwicklung der Abgrabungsstätte Steinbruch Jaeger der Firma Günter Jae- ger Steinbruchbetriebe GmbH, Reichshof- Nespen nach Einstau und Erweiterung**



BÜRO FÜR GEWÄSSERKUNDE  
UND LANDSCHAFTSÖKOLOGIE  
KLAUS- JÜRGEN BOOS

erstellt von:  
Klaus-Jürgen Boos (Dipl. Geogr.)  
Saarbrücken,

**- Version 1, 19.8.2024 -**

Ziehrerstraße 11  
66130 Saarbrücken  
Telefon: (0681) 872962

Telefax: (0681) 872962  
E-Mail: [BGL.Boos@ t-online.de](mailto:BGL.Boos@t-online.de)  
Internet: [www.bgl-boos.de](http://www.bgl-boos.de)

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b><u>EINLEITUNG.....</u></b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><u>VORHABENSBESCHREIBUNG.....</u></b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b><u>QUALITÄTSZIELE UND GÜTEANFORDERUNGEN.....</u></b>	<b>9</b>
3.1	QUALITÄTSZIELE UND GÜTEANFORDERUNGEN FÜR SEEN .....	9
3.1.1	NÄHRSTOFFGEHALTE .....	9
3.1.2	SAUERSTOFFGEHALTE.....	10
3.1.3	CHLOROPHYLLGEHALTE .....	10
3.1.4	SICHTTIEFE.....	10
3.2	GÜTEANFORDERUNGEN FÜR FLIEßGEWÄSSER.....	11
<b>4</b>	<b><u>EXTERNE EINFLUSSGRÖßEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET .....</u></b>	<b>13</b>
4.1	LANDNUTZUNGEN .....	13
4.2	ATMOSPÄRISCHE EINTRAGSPOTENTIALE FÜR NÄHRSTOFFE .....	13
4.3	BELASTUNGEN DURCH ZUFLÜSSE .....	14
4.3.1	WASSERHAUSHALT.....	14
4.3.2	BESCHAFFENHEIT DES GRUNDWASSERZUFLUSSES.....	16
4.3.3	WASSERBESCHAFFENHEIT DES OBERFLÄCHENZUFLUSSES.....	18
<b>5</b>	<b><u>GÜTEZUSTAND DES BESTEHENDEN SEES.....</u></b>	<b>20</b>
5.1	TEMPERATURHAUSHALT UND GEWÄSSERSCHICHTUNG.....	20
5.2	SAUERSTOFFHAUSHALT .....	21
5.3	LEITFÄHIGKEITSWERTE .....	22
5.4	PH-WERT.....	23
5.5	VERTEILUNG AUSGESUCHTER IONEN .....	23
5.5.1	NÄHRSTOFFHAUSHALT UND BIOMASSE.....	25
5.5.1.1	Phosphorgehalte und TOC.....	25
5.5.1.2	Stickstoffgehalte.....	25
5.6	ZUSAMMENFASSENDE BESCHREIBUNG DES AKTUELLEN GEWÄSSERZUSTANDES.....	26
<b>6</b>	<b><u>PROGNOSE DER WASSERQUALITÄT DES ENTSTEHENDEN SEES.....</u></b>	<b>27</b>
6.1	METHODISCHE VORGEHENSWEISE .....	28
6.1.1	PROGNOSEMODELL UND MODELLKONSTANTEN.....	28
6.1.2	INPUTDATEN .....	30
6.1.2.1	Meteorologie.....	30
6.1.2.2	Zehrungsrate des Sediments .....	31
6.1.3	DARSTELLUNG DER PROGNOSEERGEBNISSE .....	32
6.2	PROGNOSE DES TEMPERATURHAUSHALTES UND DES ZIRKULATIONSVERHALTENS .....	33
6.2.1	NULLFALL.....	33
6.2.2	PLANFALL 1 UND PLANFALL 2 .....	36
6.2.3	OPTIMIERUNGSVARIANTEN.....	43
6.3	SAUERSTOFFHAUSHALT DES WASSERKÖRPERS.....	45
6.3.1	NULLFALL.....	45
6.3.2	PLANFALL 1 UND PLANFALL 2 .....	45
6.3.3	OPTIMIERUNGSVARIANTEN.....	47
6.4	PHOSPHORGEHALTE IM WASSERKÖRPER.....	49
6.5	CHLOROPHYLL-A GEHALTE IM SEEWASSER .....	52
6.6	SICHTTIEFENWERTE.....	55

<b><u>7</u></b>	<b><u>VORHABENSBEDINGTE AUSWIRKUNGEN AUF DEN ELBACH.....</u></b>	<b><u>57</u></b>
<b><u>7.1</u></b>	<b><u>ABLAUFMENGEN .....</u></b>	<b><u>57</u></b>
<b><u>7.2</u></b>	<b><u>WASSERBESCHAFFENHEITSKENNWERTE .....</u></b>	<b><u>58</u></b>
7.2.1	WASSTERTEMPERATUR IM ABLAUF .....	58
7.2.2	SAUERSTOFFGEHALTE IM ABLAUF.....	59
7.2.3	TOC- GEHALTE IM ABLAUF .....	59
7.2.4	AMMONIUM- UND PHOSPHOR- GEHALTE IM ABLAUF.....	60
7.2.5	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG DER BEEINFLUSSUNG DES ELBACH DURCH DEN SEEÜBERLAUF 61	
<b><u>8</u></b>	<b><u>MÖGLICHE FOLGENUTZUNGEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DIE GEWÄSSERGÜTE .....</u></b>	<b><u>62</u></b>
<b><u>9</u></b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG .....</u></b>	<b><u>63</u></b>
<b><u>10</u></b>	<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>65</u></b>
<b><u>11</u></b>	<b><u>TABELLENVERZEICHNIS.....</u></b>	<b><u>67</u></b>
<b><u>12</u></b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>68</u></b>

# **1      Einleitung**

Der vorliegende Bericht erarbeitet die limnologischen und gewässerökologischen Unterlagen für das Erweiterungsvorhaben der Abgrabungsstätte Steinbruch Jaeger der Firma Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH, Reichshof-Nespen.

Derzeit wird im Bereich der Vorhabensfläche der Wasserspiegel durch Sumpfungsmaßnahmen beeinflusst. Erst nach Beendigung der Sumpfungsmaßnahmen steigt der Wasserspiegel soweit an (ca. 323 m ü.NN), dass hier ein See mit größerer Wasserfläche und einer Wassertiefe von bis zu 69 m entstehen wird. Die derzeitige (Juli/August 2024) Wassertiefe des Südbeckens betrug je nach Sumpfungsintensität 16-17 m.

Ziel des Gutachtens ist die Prognose der Seewasserbeschaffenheit bei unterschiedlichen Gestaltungsvarianten des Sees und verschiedenen Belastungsmustern. Hierzu wird das Programmpaket DYRESM/CAEDYM benutzt, das an einer Vielzahl von Gewässern erfolgreich eingesetzt wurde.



## **2 Vorhabensbeschreibung**

Nach Abschluss des derzeit genehmigten Abbaus wird eine Abgrabungsfläche von 10,8 ha (323 m ü.NN<sup>1</sup>) mit einer Sohltiefe von 254 m ü.NN entstanden sein. Auf dieser Fläche bildet sich nach Beendigung der Sumpfungmaßnahmen und dem Anstieg des Seewasserspiegels eine Wasserfläche aus.

Über diesen im Folgenden als "Nullfall" bezeichneten Status, der dem jetzigen Genehmigungszustand entspricht, hinaus plant die Firma Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH zusätzliche Flächenerweiterungen. Dabei wird als Alternative zur Erweiterung ohne Eintrag des grubeneigenen Abraums in den See (Planfall 1) eine Verfüllung der tiefsten Seebereiche mit Teilen dieses Materials (Planfall 2) in Aussicht genommen. Dies verursacht eine Aufhöhung der Seesohle von 254 auf 265 m ü.NN. Für den Planfall 2 sind zudem zwei Optimierungsvarianten vorgesehen. Demnach ergeben sich insgesamt fünf Szenarien, deren Auswirkungen auf den Gewässerzustand des entstehenden Sees den Gegenstand der folgenden Untersuchungen bilden.

1. Nullfall (=Genehmigungszustand)

Nach Anstieg des Seewasserspiegels auf 323 m ü.NN wird in dem durch Trockenabbau entstandenen Becken ein See mit einer Seefläche von 10,8 ha, einer maximalen Wassertiefe von 69 m und einem Seevolumen von ca. 3,3 Mio. m<sup>3</sup> entstehen.

2. Planfall 1

Im Verlauf einer Erweiterung des Trockenabbaus auf 19,8 ha wird nach Wiederanstieg des Wasserspiegels auf 323 m ü.NN ein See mit einer Seefläche von 19,8 ha, einer maximalen Wassertiefe von 69 m und einem Seevolumen von ca. 8,5 Mio. m<sup>3</sup> entstehen.

3. Planfall 2

Durch die Verfüllung der tiefsten Abgrabungsbereiche mit grubeneigenem Abraum bildet sich bei gleicher Seefläche wie im Planfall 1 (19,8 ha) ein See mit einer maximalen Wassertiefe von 58 m und einem Seevolumen von ca. 8,4 Mio. m<sup>3</sup>.

4. Planfall 2a (mit Optimierungsvariante 2.1)

Aus dem teilverfüllten See (Planfall 2) wird zum Zweck des Nährstoffexports über einen Tiefenablass Seewasser in den Vorfluter abgeleitet. Die Entnahmetiefe beträgt 5 m über Grund und liegt somit bei 270 m ü.NN. Der Seeüberlauf ist mengenmäßig so ausgelegt, dass 90 % des Seeabflusses ausschließlich über den Tiefenablass erfolgen. Dieser ist ausschließlich während der Monate Mai bis Oktober an insgesamt 150 Tagen aktiv. Hieraus ergibt sich eine Seespiegelschwankung von ca. 1m. Für die Tiefenwasserableitung käme die Installation einer Heberleitung in Frage (vgl. Abbildung 2.1).

---

<sup>1</sup> ü.NN wird hier und im Folgenden identisch mit NHN verwendet.

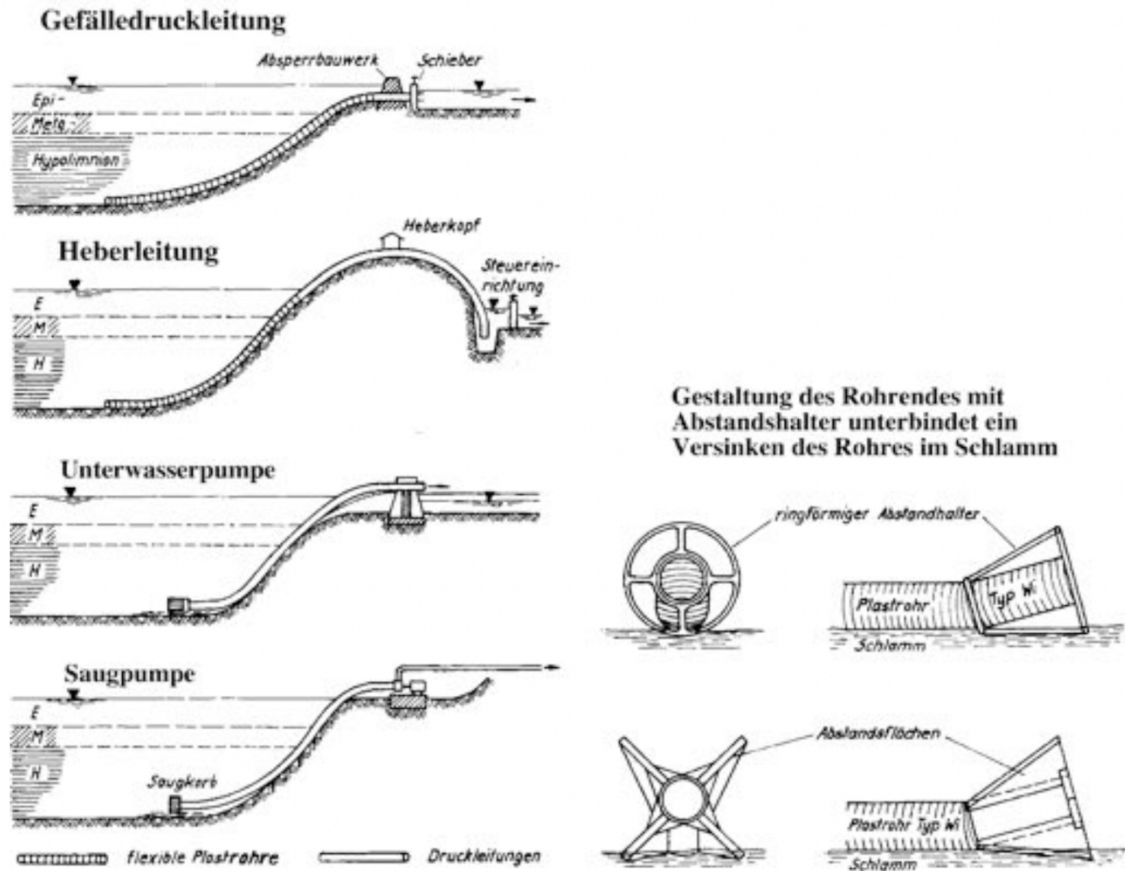


Abbildung 2.1: Möglichkeiten der Tiefenwasserableitung (Abb. aus Klapper 1992)

5. Planfall 2b (mit Optimierungsvariante 2.2)

In dem teilverfüllten See (Planfall 2) wird eine Zwangszirkulation zur besseren Durchmischung des Seewassers initiiert. Dies erfolgt mittels eines vertikal im See ausgerichteten Rohres mit einem aufgesetzten Rührwerk. Die Röhre hat einen Durchmesser von 150 cm und eine Länge von 57 Metern und befindet sich im Bereich der tiefsten Seestelle.

Die Maßnahmen verursacht im Sommer einen Zustrom von warmem, epilimnischem Wasser in die Tiefe. Dieses Wasser steigt anschließend aufgrund seiner geringeren Dichte wieder auf und verursacht durch die dabei entstehende Auftriebsstrahlströmung eine Zirkulation des Wasserkörpers. Im Winter ergeben sich bei geringen Temperaturunterschieden einfache Umschichtungseffekte. Das Verfahren ist in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt.

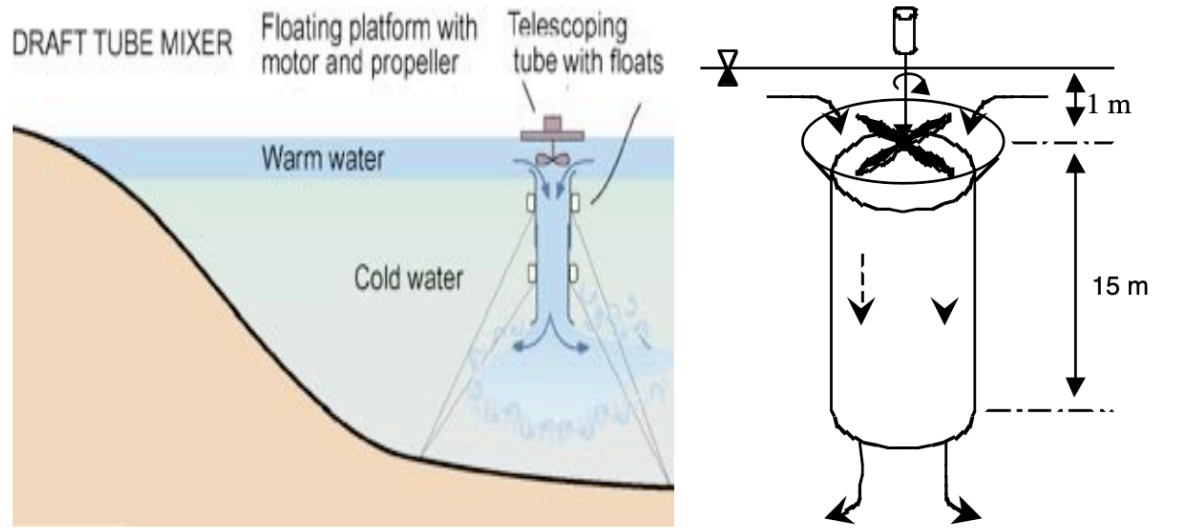


Abbildung 2.2: Zirkulation durch Rührwerke (Abb. aus SHERMAN 2000)

Als Rührwerk kommt ein XYLEM 4410 IE3 BANANA mit 1,4m Propeller in Frage, das bei 25 U/min eine Leistungsaufnahme von 0,65 KW hat. Damit lässt sich ein Volumenstrom von 0,69 m<sup>3</sup>/s erzeugen. Durch Rohrreibungsverluste und die zu überwindenden Dichteunterschiede wird von einer Minderung des Wasserumsatzes auf 0,5 m<sup>3</sup>/s ausgegangen. Die Anlage wird ganzjährig 12h/Tag betrieben. Durch das sehr effiziente Anlagendesign mit einer Leistungsaufnahme von nur 0,65 KW ergibt sich ein Energiebedarf von nur 2850 kWh/Jahr.

Die den fünf Szenarien zugrundeliegenden morphologischen Kennwerte für den Nullfall, den Planfall 1 und den Planfall 2 (einschließlich der beiden Optimierungsvarianten) sind in der Tabelle 2.1 angegeben. Alle Angaben beziehen sich auf einen Seepegelstand von 323 m ü.NN.

Tabelle 2.1: Morphologische Kennwerte der Fallvarianten

Wasserspiegel MW 323 m ü.NN	Seesohle [m. ü.NN]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Mittlere Tiefe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Nullfall [Tmax= 69 m]	254	108.126	69	30,2	3.263.923
Planfall 1 [Tmax= 69 m]	254	197.955	69	43,0	8.520.324
Planfall 2, 2a & 2b [Tmax= 58 m]	265	197.955	58	42,5	8.405.105

Insgesamt ergeben sich nach der Auffüllung des Beckens mit Oberflächen- und Grundwasser die in Abbildung 2.3 bis Abbildung 2.5 dargestellten Flächen- und Volumenkurven. Die Volumen- und Flächenwerte für den gesamten See und das Hypolimnion (30% der maximalen Seetiefe über Grund) sind in der Tabelle 2.2 gesondert angegeben.

Tabelle 2.2: Volumen der grundnahen und tiefen Seebereiche

	Einheit	Nullfall	Planfall 1	Planfall 2, 2a & 2b
Seevolumen gesamt	m <sup>3</sup>	3.263.923	8.520.324	8.405.105
Seevolumen bis 30% der maximalen Seetiefe	m <sup>3</sup>	160.000	1.150.000	1.981.576
Seefläche gesamt	m <sup>2</sup>	108.126	197.955	197.955
Seefläche bis 30% der maximalen Seetiefe	m <sup>2</sup>	14.000	114.000	120.500

Wie aus den folgenden Abbildungen zu ersehen ist, verfügen insbesondere die Varianten Nullfall und Planfall 1 über sehr kleinvolumige hypolimnische Wasserkörper. In den kleinen Volumen werden die absedimentierenden Stoffe stark konzentriert und verursachen hier bei der Mineralisierung organischen Materials erhebliche Sauerstoffzehrungen.

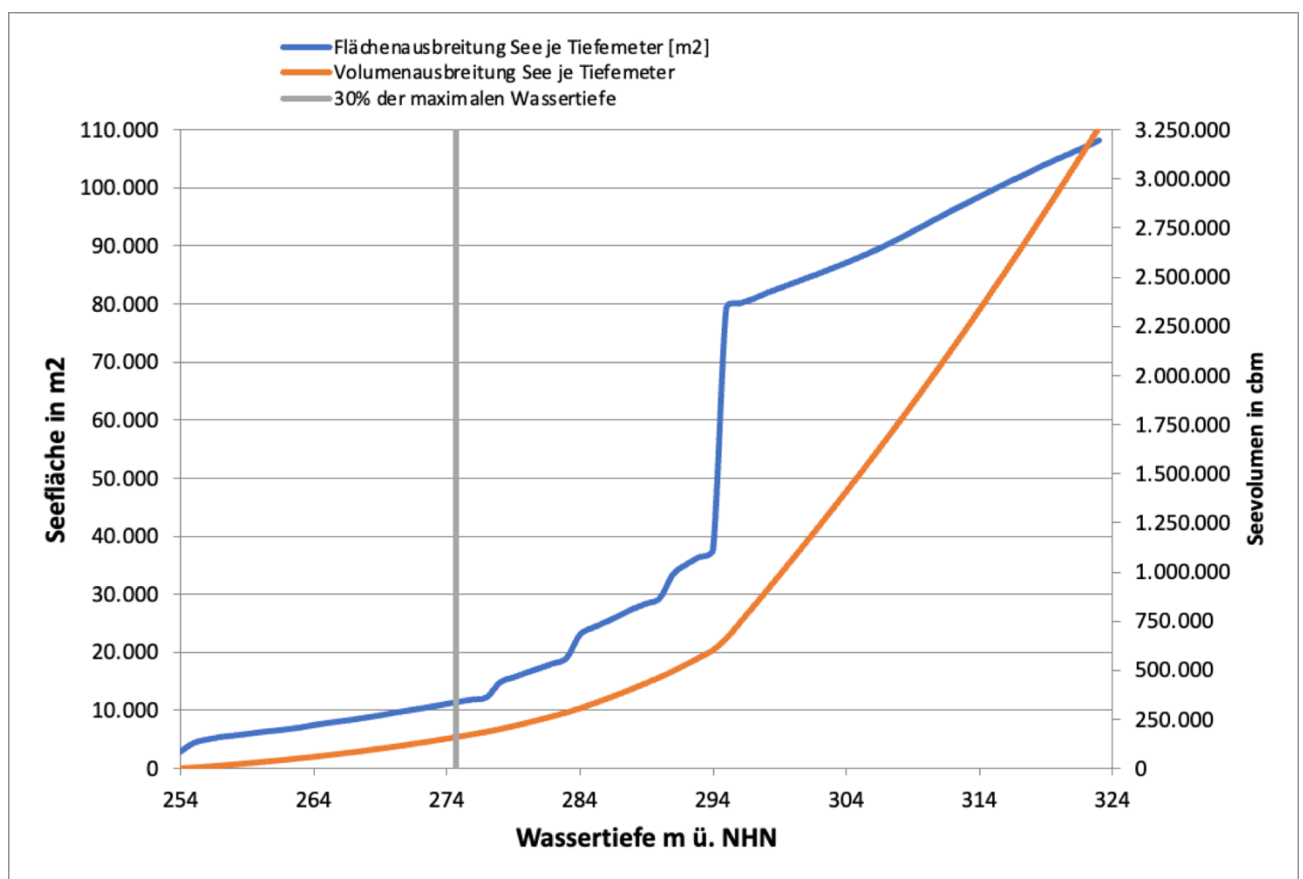


Abbildung 2.3: Seefläche und Seevolumen in Abhängigkeit von der Wassertiefe für den Nullfall

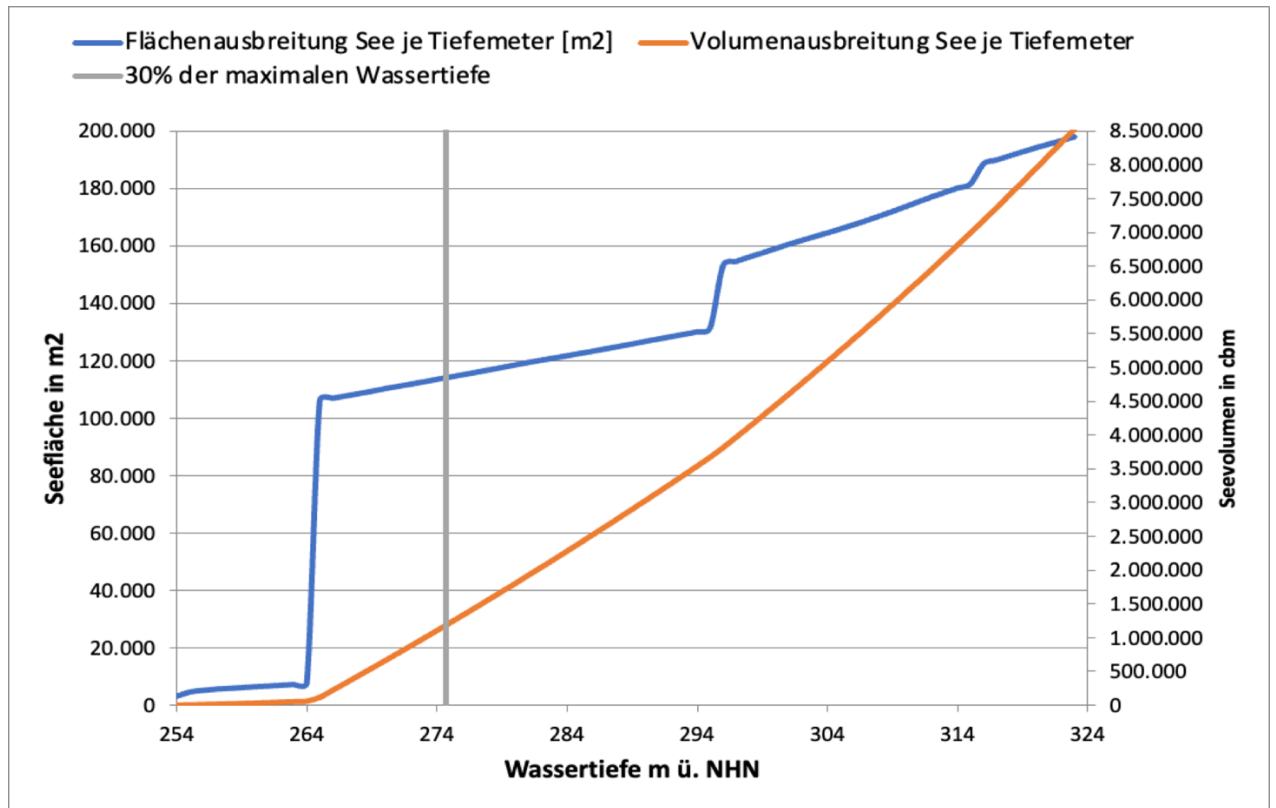


Abbildung 2.4: Seefläche und Seevolumen in Abhängigkeit von der Wassertiefe für den Planfall 1

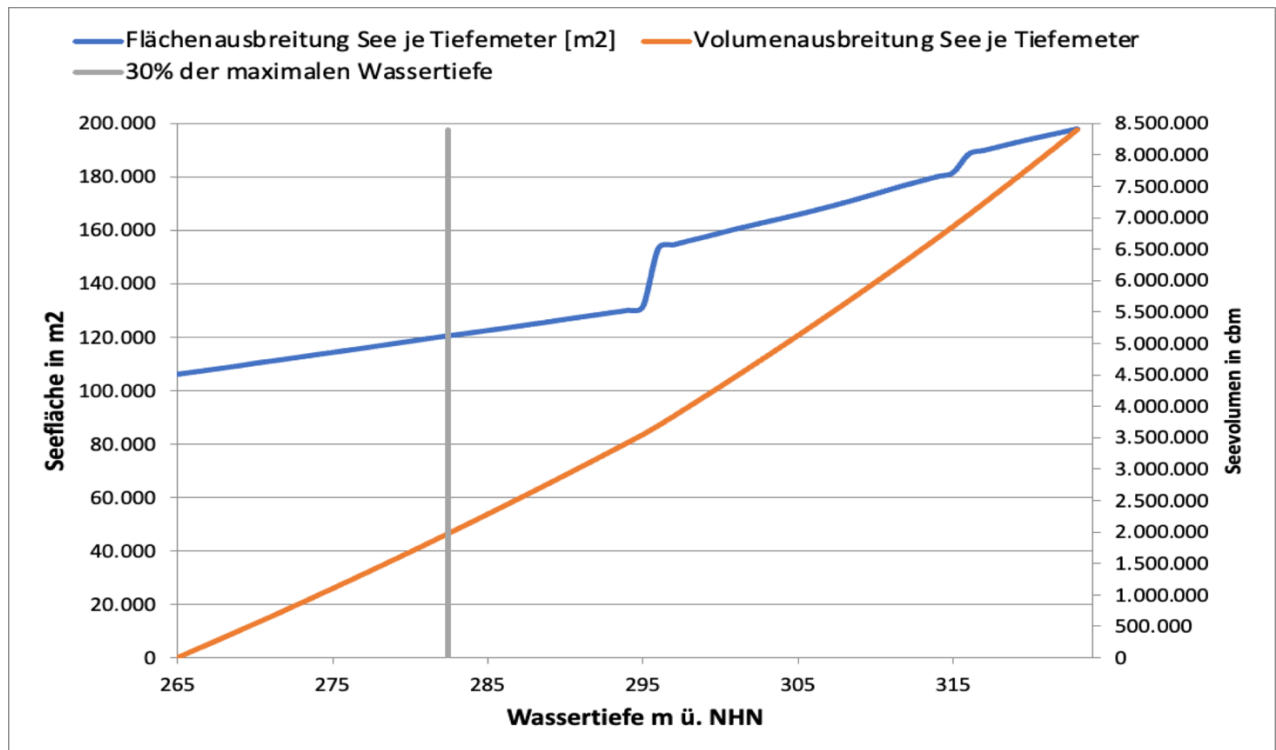


Abbildung 2.5: Seefläche und Seevolumen in Abhängigkeit von der Wassertiefe für den Planfall 2, 2a & 2b

### **3 Qualitätsziele und Güteanforderungen**

#### **3.1 Qualitätsziele und Güteanforderungen für Seen**

Das Gütebild eines Sees wird maßgeblich von den Nährstoffkonzentrationen und der dazu in einer Wechselwirkung stehenden Qualität des Sauerstoffhaushaltes bestimmt. Hier soll daher zunächst dargestellt werden, in welchem Umfang eine Belastung durch Nährstoffe toleriert werden kann und wie sich die Nährstoffzufuhr auf die Flächenbelastung und den trophischen Zustand eines Sees auswirkt.

Seen, die wie das Untersuchungsgewässer

- eine Wassertiefe von mehr als 10 m aufweisen und
- weder an Fließgewässer angebunden sind noch im Überflutungsbereich eines großen Fließgewässers liegen,

sollten langfristig nährstoffarm sein und zumindest über einen mesotrophen Status verfügen.

Zur Herleitung leidbildadäquater Orientierungswerte für die einzelnen Güteparameter wird auf die folgenden Quellen zurückgegriffen:

1. LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2014): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Hrsg. LAWA – Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser.
2. OGewV (2016): Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (Oberflächengewässerverordnung) vom 20. Juni 2016.

In der OGewV 2016 werden Abgrabungsseen dem Typ 99 zugeordnet, für den bisher allerdings noch keine Orientierungswerte definiert sind. Der für einen tiefen Abgrabungssee als Referenzgewässer mit vorgegebenen Orientierungswerten geeignetste Seetyp ist der Typ 7 (geschichteter, kalziumreicher [ $> 15 \text{ mg/l Ca}$ ] Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet). Da es sich um ein künstliches, vom Menschen geschaffenes Gewässer handelt, ergeben sich Anforderungen für einen guten ökologischen Zustand und ein gutes ökologisches Potential.

##### **3.1.1 Nährstoffgehalte**

Durch die Zufuhr von Nährstoffen kann es zu einer Verschlechterung der Wasserqualität kommen, insbesondere wenn die Nährstoffbelastung des Gewässers einen gewissen Schwellenwert überschreitet. Eine besondere Relevanz kommt dabei dem Nährstoff Phosphor zu, der unter natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Bedingungen nur in sehr geringen Konzentrationen vorliegt und somit das Algenwachstum limitiert. Starkes Algenwachstum führt immer auch zu einer Belastung des Sauerstoffhaushaltes, da für die Mineralisierung des Algendetritus ein hoher Sauerstoffbedarf notwendig ist. Die durch die Photosynthese gebildete organische Substanz aus Algenbiomasse stellt somit ein Reduktionsmittel dar, das den Stoffhaushalt von Stillgewässern stark beeinflussen kann und auch redoxsensitive Nährstofffreisetzungen aus dem Sediment begünstigt.

Als Grundlage für die trophische Einstufung des Gewässers auf der Basis der Phosphorgehalte dienen die folgenden Zuordnungsgrößen für die Saisonmittelwerte (1.4. bis 31.10).

<b>Gesamt-Phosphor</b>				
		<b>LfU 2004</b>	<b>LAWA 2014*</b>	<b>OGewV 2016 (Seetyp 7)**</b>
Zirkulation	[µg/l]	15 - 45	32	/
	[mg/l]	0,015 - 0,045	0,032	/
Stagnation	[µg/l]	7 - 36		/
	[mg/l]	0,007 - 0,036		/
Saisonmittelwert (Apr-Okt)	[µg/l]	7 - 36	31	14-20
	[mg/l]	0,007 - 0,036	0,031	0,014 - 0,020

\* Trophiestatus mesotroph 2. Geschichtete Seen des Alpenvorlandes, der Alpen und der Mittelgebirge

\*\* Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential. Seetyp 7= geschichteter, kalziumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet. PP 7

### 3.1.2 Sauerstoffgehalte

Der Sauerstoffhaushalt steht in einem direkten Bezug zur Nährstoffbelastung und Biomasseentwicklung, er beeinflusst maßgeblich das Besiedlungsbild eines Sees. In eingeschichteten Seen ist daher auch die relative Mächtigkeit der sauerstoffarmen (< 2 mg/l O<sub>2</sub>) Wasserschicht über Grund im Verhältnis zur Gesamttiefe ein möglicher Trophieindikator (LfU 2004). Bei einem mesotrophen Gewässerstatus, der als Zielgröße für das Untersuchungsgewässer gilt, kann diese Schicht 10 - 30 % der maximalen Seetiefe betragen.

	<b>LfU 2004</b>	<b>LAWA 2014*</b>	<b>OGewV 2016 (Seetyp 7)**</b>
Anteil der O <sub>2</sub> -freien Schicht über Grund unter Bezug auf die maximale Seetiefe in %	<b>10-30</b>	kein Orientierungswert definiert	

\* Geschichtete Seen des Alpenvorlandes, der Alpen und der Mittelgebirge

\*\* Geschichteter, kalziumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet

### 3.1.3 Chlorophyllgehalte

Auch der Parameter Chlorophyll-a Gehalt bietet eine wichtige Beurteilungsgrundlage für den Trophiestatus eines Gewässers. Als Bezugsgrößen für die trophische Einstufung dienen die im Folgenden angegebenen Werte für das Saisonmittel (1.4. bis 31.10), wobei ein Referenzzustand von mesotroph 2 zugrunde gelegt wird.

	<b>LAWA 2014*</b>	<b>OGewV 2016 (Seetyp 7)**</b>
Chlorophyll-a [µg/l]	9,6	/

\* Geschichtete Seen des Alpenvorlandes, der Alpen und der Mittelgebirge / Saisonmittelwert

\*\* Geschichteter, kalziumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet

### 3.1.4 Sichttiefe

Die verstärkte biologische Aktivität in einem belasteten See verursacht vor allem infolge der Algenentwicklung eine deutliche Gewässertrübung, die ebenfalls als Maßstab für die Bestimmung des Trophiestatus genutzt werden kann. Sofern Trübungseffekte auch durch

eingetragene Feinminerale entstehen, ist der Indikatorwert der Sichttiefe allerdings eingeschränkt, da die mineralische Trübung kein Sekundäreffekt der Eutrophierung ist.

Als Bezugsgrößen für die trophische Einstufung dienen die im Folgenden wiedergegebenen Werte. Als Referenz wird ein Trophiestatus von mesotroph 2 zugrunde gelegt.

	<b>LfU 2004</b>	<b>LAWA 2014</b>	<b>OGewV 2016 (Seetyp 7)*</b>
Sichttiefe [m]	<b>4,4 bis 2</b>	2,5	4,5-3

\* Geschichtete Seen des Alpenvorlandes, der Alpen und der Mittelgebirge / Saisonmittelwert

\*\* Geschichteter, kalziumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet. Phytoplankton Subtyp PP 7

### 3.2 Güteanforderungen für Fließgewässer

Für Fließgewässer unterschiedlichen Typs sind Empfehlungswerte entsprechend der nach EU-WRRL geforderten europaweit einheitlichen Einschätzung in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) definiert. Die im Folgenden (Tabelle 3.1) angegebenen Werte in der Ausprägung für die Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential bilden die Grundlage zur Beurteilung der maßnahmenbedingten Auswirkungen auf den Elbach, in den der See entwässert und der dem Fließgewässer Typ 5 (silikatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse) zuzuordnen ist. Hinsichtlich der Fischgemeinschaften ist der seeunterstromige Abschnitt des Elbachs als salmonidengeprägtes Gewässer des Hyporhithrals (Sa-HR) einzustufen.

**Tabelle 3.1: Güteanforderungen für Fließgewässer nach OGewV (2016)**

Parameter	Einheit	Silikatische fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse (Typ 9)			
		Statistische Kenngröße	Anforderungen an den sehr guten ökologischen Zustand und das höchste ökologische Potential	Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential	Umweltqualitätsnormen zur Beurteilung des chemischen Zustandes
Wassertemperatur Sommer (April-Nov.)	° C	MAX	< 18 (Sa-ER, Sa-MR, <b>Sa-HR</b> ) < 20 (Cyp-R, EP)	≤ 20 (Sa-ER, Sa-MR) ≤ <b>21,5 (Sa-HR)</b> ≤ 23 (Cyp-R) ≤ 25 (EP)	
Wassertemperatur Winter (Dez.-März)	° C	MAX	≤ 8 (Sa-ER) ≤ 10 (Sa-MR, <b>Sa-HR</b> , Cyp-R, EP)	≤ 8 (Sa-ER) ≤ 10 (Sa-MR, <b>Sa-HR</b> , Cyp-R, EP)	
Sauerstoffgehalt	mg/l	MIN/a <sup>2</sup>	> 9	> 7	
BSB <sub>5</sub>	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	< 3	< 3	
TOC	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	< 7	< 7	
Chlorid	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	≤ 50	≤ 200	
Sulfat	mg/l	90 Perzentil/a <sup>4</sup>	≤ 25		
		MW/a <sup>3</sup>		≤ 75	
pH-Wert	/	MIN/a MAX/a <sup>2</sup>		7,0 - 8,5	
Eisen	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	-	≤ 0,7	
ortho-Phosphat-P	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	≤ 0,02	≤ 0,07	
Gesamt-Phosphor	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	≤ 0,05	≤ 0,10	
Ammonium-N	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	≤ 0,04	≤ 0,1	
Ammoniak-N	µg/l	MW/a <sup>3</sup>	< 1	≤ 1	
Nitrit-N	µg/l	MW/a <sup>3</sup>	≤ 10	≤ 30	
Nitrat	mg/l				50



## ***Qualitätsziele und Güteanforderungen***

<sup>2</sup> Minimal- bzw. Maximalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresminimal- bzw. -maximalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren

<sup>3</sup> Mittelwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmittelwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren

<sup>4</sup> 90 Perzentil bezogen auf die Messwerte eines Kalenderjahres

Sa-ER: salmonidengeprägte Gewässer des Epirhithrals

Sa-MR: salmonidengeprägte Gewässer des Metharhithrals

**Sa-HR: salmonidengeprägte Gewässer des Hyporhithrals**

Cyp-R: cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals

EP: Gewässer des Epipotamals

## **4 Externe Einflussgrößen im Untersuchungsgebiet**

### **4.1 Landnutzungen**

Primäre Nutzungsformen im Umfeld des Planungsraums sind:

- Wald- und Forstflächen sowie
- Landwirtschaftliche Nutzungen meist in Folge von Grünland

Von untergeordneter Bedeutung bzw. in weiterer Entfernung (> 2 km oberstromig) sind Nutzungen wie:

- Steinbruchflächen im Osten des Untersuchungsgebietes
- Siedlungsbereiche einschließlich Verkehrswegen



*Abbildung 4.1: Landnutzung im Grundwassereinzugsgebiet des Vorhabensbereiches (Grundlage BING)*

### **4.2 Atmosphärische Eintragspotentiale für Nährstoffe**

Phosphor und Stickstoff stellen die wichtigsten Nährstoffe für das Pflanzenwachstum dar. Insbesondere in grundwasserdominierten Seen limitiert die verfügbare Phosphormenge das gesamte Pflanzenwachstum, so dass zusätzliche Einträge durch Immission immer ein verstärktes Pflanzenwachstum verursachen.

Für Stickstoff gilt dies in der Regel nicht, da insbesondere Nitrat mikrobiell abgebaut wird ohne in den Nährstoffkreislauf zu gelangen.

Zur Bilanzierung der mit dem Niederschlag über die Seeoberfläche eingetragenen Nährstoffgehalte (vgl. Tabelle 4.1) werden für Stickstoff die vom UBA ermittelten Depositionsraten herangezogen (<http://gis.uba.de/website/depo1/index.htm>). Ein entsprechender gebietstypischer Wert für den Phosphoreintrag steht nicht zur Verfügung. Ersatzweise wird auf einen über der Ostsee ermittelten Wert zurückgegriffen ([https://www.ufz.de/export/data/9/226629\\_Schumann\\_Phosphordepotion.pdf](https://www.ufz.de/export/data/9/226629_Schumann_Phosphordepotion.pdf)), der gut mit den für Baden-Württemberg an den Messstellen der forstlichen Versuchsanstalt erhobenen Werten übereinstimmt.

**Tabelle 4.1: Depositionsraten für Nährstoffe**

	Zeitraum 2013-2015
P [g/ha/a]	50
Nges. [kg/ha/a]	13

Pro Hektar und Jahr errechnen sich anhand dieser Werte die folgenden durchschnittlichen Eintrags- und Bilanzierungsgrößen für das Untersuchungsgebiet. Sowohl bei den Phosphor- als auch bei den Stickstoffanalysen handelt es sich um den gelösten Anteil der Nährstofffraktionen.

P-Eintrag = 0,053 [kg/ha\*Jahr]      N-Eintrag = 12,4 [kg/ha\*Jahr]

### 4.3 Belastungen durch Zuflüsse

#### 4.3.1 Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt des Sees wird während des Spiegelanstiegs nach Beendigung der Sumpfung durch die folgenden Faktoren bestimmt:

1. Wasseraustausch mit dem Grundwasser
2. Zufluss/Abfluss von Oberflächenwasser
3. Niederschlagseinträge in den See
4. Verdunstungsausgleich

Die Ermittlung der Wasserbilanz erfolgte im Rahmen des hydrogeologischen Gutachtens durch SST & GEOBIT (2023). Demnach ergibt sich die folgenden Wasserhaushaltsbilanz:

**Tabelle 4.2: Wasserhaushaltsbilanz**

Zufluss See		Abfluss See	
Oberflächenzufluss [L/s]	6	Überlauf [L/s]	Modellergebnis
Grundwasserzustrom [L/s]	0,78	Grundwasserabstrom [L/s]	0,09
Niederschlag	Wetterdaten		

Der jährliche Zufluss errechnet sich aus dem Grundwasserzustrom und dem Oberflächenzufluss. Für die Wasserneubildung durch Niederschlag soll hier von einer mittleren jährlichen Wasserneubildung von 600 mm/m<sup>2</sup>\*Jahr ausgegangen werden.

Der See verfügt über eine hohe Wasserverweilzeit, die nach der geplanten Erweiterung von 11,7 auf mehr als 25 Jahre ansteigt (vgl. Tabelle 4.3). Der Grundwasserzustrom besitzt nur einen geringen Anteil am Gesamtzufluss.

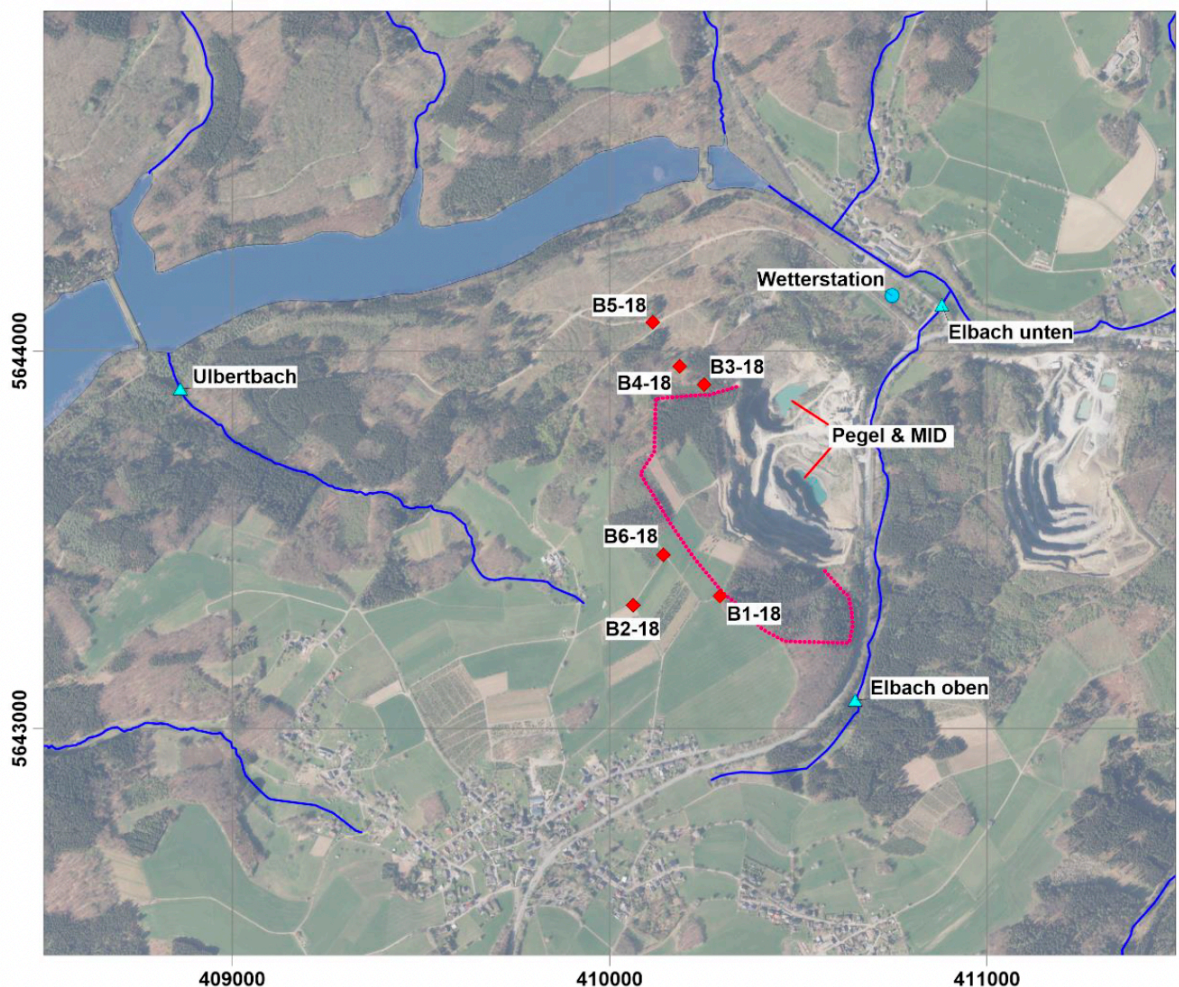
**Tabelle 4.3: Zuflussmengen und Wasserverweilzeiten**

	<b>Einheit</b>	<b>Nullfall</b>	<b>Planfall 1</b>	<b>Planfall 2, 2a &amp; 2b</b>
Seevolumen	m <sup>3</sup>	3.263.923	8.520.324	8.405.105
Seefläche	m <sup>2</sup>	108.126	197.955	197.955
Grundwasserzufluss	m <sup>3</sup> /Jahr	24.615	24.615	24.615
Oberflächenwasserzufluss	m <sup>3</sup> /Jahr	189.346	189.346	189.346
Seewasserneubildung über Niederschlag (600 mm/m <sup>2</sup> *J)	m <sup>3</sup> /Jahr	64.876	118.773	118.773
Gesamtzuflussmenge	m <sup>3</sup> /Jahr	278.837	332.734	332.734
<b>Wasserverweilzeit TW</b>	Jahre	<b>11,7</b>	<b>25,6</b>	<b>25,3</b>



#### 4.3.2 Beschaffenheit des Grundwasserzuflusses

Die Grundwasserbeschaffenheit wurde an 5 Grundwassermessstellen erfasst (vgl. Abbildung 4.2). Die GWM B1-18 wurde nicht beprobt.



**Abbildung 4.2:** Lage der beprobten Grundwassermessstellen B2-18 bis B6-18

Die Ergebnisse der Beprobung sind der Tabelle 4.4 zu entnehmen. Auffallend sind die hohen Phosphorkonzentrationen nach dem Verfahren DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09. Hier wurde die unfiltrierte Probe aufgeschlossen und damit auch der apatitgebundene Phosphor in Lösung gebracht. Entsprechend hoch war bei diesen Proben der Anteil abfiltrierbarer Stoffe. Bioverfügbare ortho-Phosphat kommt hingegen in allen Proben mit sehr geringen Konzentrationen vor.

Die Grundwässer weisen einen oxischen Zustand auf. Hinsichtlich der Nitratwerte zeigt sich eine leichte Belastung. Abwasserbürtige Erhöhungen, die durch eine Zunahme der Ammonium- und TOC-Werte erkennbar würden, bestanden nicht.

In Bezug auf sein Pufferungsvermögen gegenüber Phosphoreinträgen verweisen die mittleren Kalziumgehalte von 15,16 mg/L und die Hydrogencarbonatwerte von 1,16 mmol/L bzw. 71 mg/L auf eine zumindest mäßig ausgeprägte Pufferungskapazität des Grundwassers im Seeumfeld.

**Tabelle 4.4: Grundwasserbeschaffenheit**

Parameter	Einheit	GWM 2-18 26.07.24	GWM 3-18 25.07.24	GWM 4-18 25.07.24	GWM 5-18 26.07.24	GWM 6-18 25.07.24	Mittelwert*
pH-Wert	/	6,5	7,5	7,5	7,6	6,9	7,2
Temperatur pH-Wert	°C	26,7	26,5	27,3	27,7	27,7	27,18
Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	87,3	214	184	174	143	160,46
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	8	300	45	1000	18	274,2
Säurekapazität pH 4,3 (m-Wert)	mmol/l	0,6	1,6	1,3	1,4	0,9	1,16
Temperatur Säurekapazität pH 4,3	°C	26,7	26,5	27,3	27,7	27,7	27,18
Säurekapazität pH 8,2 (p-Wert)	mmol/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,05
Temperatur Säurekapazität pH 8,2	°C	26,7	26,5	27,3	27,7	27,7	27,18
Anionensumme	mmol/l	0,857	2,141	1,781	1,712	1,389	1,576
Kationensumme	mmol/l	0,79	2,14	1,852	2,114	1,371	1,6534
Ionenbilanz	mmol/l	-0,066	-0,002	0,071	0,402	-0,018	0,0774
Ionenbilanzfehler relativ	%	8,06	0,08	3,91	21	1,34	6,878
Hydrogencarbonat (HCO <sub>3</sub> )	mmol/l	0,6	1,6	1,3	1,4	0,9	1,16
Chlorid (Cl)	mg/l	3,8	4,2	3,1	3,4	6,4	4,18
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	4,2	3,5	7,5	3,4	10	5,72
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	<0,01	0,38	<0,01	<0,01	0,06	0,091
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	3,5	18	14	5,8	4,9	9,24
Phosphat, gesamt DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	0,06	0,38	<0,05	0,08	0,14	0,137
Phosphor, gesamt (berechnet) DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	<0,02	0,123	<0,02	0,026	0,045	0,051
Phosphat, gesamt DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	0,14	1,56	4,07	2,56	0,04	1,674
Phosphor (P) DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	0,045	0,51	1,33	0,835	0,014	0,5468
ortho-Phosphat	mg/l	0,022	0,019	0,012	0,035	0,019	0,0214
ortho-Phosphat (P)	mg/l	0,007	0,006	0,004	0,011	0,006	0,0068
Ammonium	mg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	0,03
Calcium (Ca)	mg/l	4,8	20,9	17,2	22,3	10,6	15,16
Eisen (Fe)	mg/l	0,054	0,017	0,016	4,51	0,011	0,9216
Kalium (K)	mg/l	0,51	0,86	0,87	1,17	0,75	0,832
Magnesium (Mg)	mg/l	3,64	10,5	9,2	8,86	6,85	7,81
Mangan (Mn)	mg/l	0,476	0,165	0,004	0,465	0,104	0,2428
Natrium (Na)	mg/l	5,47	4,86	4,89	5,57	5,93	5,344
Silicium (Si)	mg/l	6,92	3,98	3,85	8,41	5,49	5,73
Sauerstoff (O <sub>2</sub> )	mg/l	7,2	7,6	8,8	7,4	7,1	7,62
TOC	mg/l	<1	<1	<1	<1	1,1	0,62

\*Werte unter der Bestimmungsgrenze werden mit ½ des Bestimmungsgrenzwertes berücksichtigt

### 4.3.3 Wasserbeschaffenheit des Oberflächenzuflusses

Im Untersuchungsgebiet existiert kein fassbarer Oberflächenzufluss. Die gleichwohl aufgrund der Wasserbilanz vorauszusetzenden oberflächigen Zuflüsse in den See erfolgen in Form kleiner, nicht verortbarer und also auch nicht beprobbarer Gerinne als Interflow und nach stärkeren Niederschlägen.

Zur Ermittlung des Belastungspotentials dieser Zuflüsse wird vorausgesetzt, dass ihre Beschaffenheit den in den oberen und mittleren Wasserschichten des Sees gemessenen Werten weitgehend entspricht.

**Tabelle 4.5: Beschaffenheitskennwerte des Oberflächenzuflusses (hergeleitet)**

Parameter	Einheit	Datum	Entnahmetiefe		
			Ober <sup>1)</sup>	Mitte <sup>2)</sup>	Mittelwert <sup>3)</sup>
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	12.07.24	26	26	26,75
		25.07.24	28	27	
Chlorid (Cl)	mg/l	12.07.24	9,4	9,8	9,8
		25.07.24	10	10	
Hydrogencarbonat (HCO <sub>3</sub> )	mmol/l	12.07.24	2	2	2
		25.07.24	2	2	
Säurekapazität pH 4,3 (m-Wert)	mmol/l	12.07.24	2	2	2
		25.07.24	2	2	
Säurekapazität pH 8,2 (p-Wert)	mmol/l	12.07.24	<0,1	<0,1	0,05
		25.07.24	<0,1	<0,1	
Eisen (Fe)	mg/l	12.07.24	0,026	0,023	0,0164
		25.07.24	0,009	0,007	
Mangan (Mn)	mg/l	12.07.24	0,054	0,054	0,048
		25.07.24	0,036	0,046	
Calcium (Ca)	mg/l	12.07.24	31,5	31,5	31,7
		25.07.24	31,9	32	
Magnesium (Mg)	mg/l	12.07.24	12,5	12,5	12,6
		25.07.24	12,6	12,6	
Silicium (Si)	mg/l	12.07.24	2,72	2,74	2,59
		25.07.24	2,41	2,47	
Kalium (K)	mg/l	12.07.24	1,2	1,19	1,23
		25.07.24	1,27	1,27	
Natrium (Na)	mg/l	12.07.24	6,79	6,7	6,8
		25.07.24	6,82	6,87	
Phosphat, gesamt DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	12.07.24	0,029	0,0258	0,0262
		25.07.24	<0,05	<0,05	
Phosphor, gesamt (berechnet) DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	12.07.24	0,009	0,008	0,00925
		25.07.24	<0,02	<0,02	
Phosphat, gesamt DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	25.07.24	0,04	0,03	0,035
Phosphor (P) DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	25.07.24	0,012	0,011	0,0115
ortho-Phosphat	mg/l	12.07.24	<0,005	<0,005	0,00825
		25.07.24	0,012	0,016	
ortho-Phosphat (P)	mg/l	12.07.24	0,002	0,002	0,00325
		25.07.24	0,004	0,005	
TOC	mg/l	12.07.24	1,5	1,5	1
		25.07.24	<1	<1	
Ammonium	mg/l	12.07.24	<0,06	<0,06	0,03
		25.07.24	<0,06	<0,06	

### *Externe Einflussgrößen im Untersuchungsgebiet*

Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	12.07.24	4	4	4,025
		25.07.24	4	4,1	
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	12.07.24	0,01	<0,02	0,015
		25.07.24	0,02	0,02	

<sup>1)</sup> 2,2m (12.7.24) & 1,1m (25.7.24) <sup>2)</sup> 8,7m (12.7.24) & 8,1m (25.7.24) <sup>3)</sup> Werte unter der Bestimmungsgrenze werden mit ½ des Bestimmungsgrenzwertes berücksichtigt



## 5 Gütezustand des bestehenden Sees

Als Grundlage zur Beurteilung der Wasser- und Sedimentbeschaffenheit des Untersuchungs-gewässers dienen zwei Probenserien vom 12.7.2024 und vom 25.7.2024. Erfasst wurden die kennzeichnenden Parameter der chemisch-physikalischen Wasserbeschaffenheit in drei Tiefenstufen. Die Vor-Ort-Parameter Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt wurden in Vertikalprofilen gemessen.

### 5.1 Temperaturhaushalt und Gewässerschichtung

Der See zeigte bei beiden Messungen im Juli 2024 eine deutlich ausgeprägte Temperaturschichtung. (vgl. Abbildung 5.1). An der Wasseroberfläche hatten sich Temperaturen von 18 bis 19,5 °C ausgebildet. Das mit 9,5 bis 10 °C kalttemperierte Hypolimnion dehnte sich vom Gewässergrund bis in 10 m Wassertiefe aus und besaß damit eine Mächtigkeit von 8m.

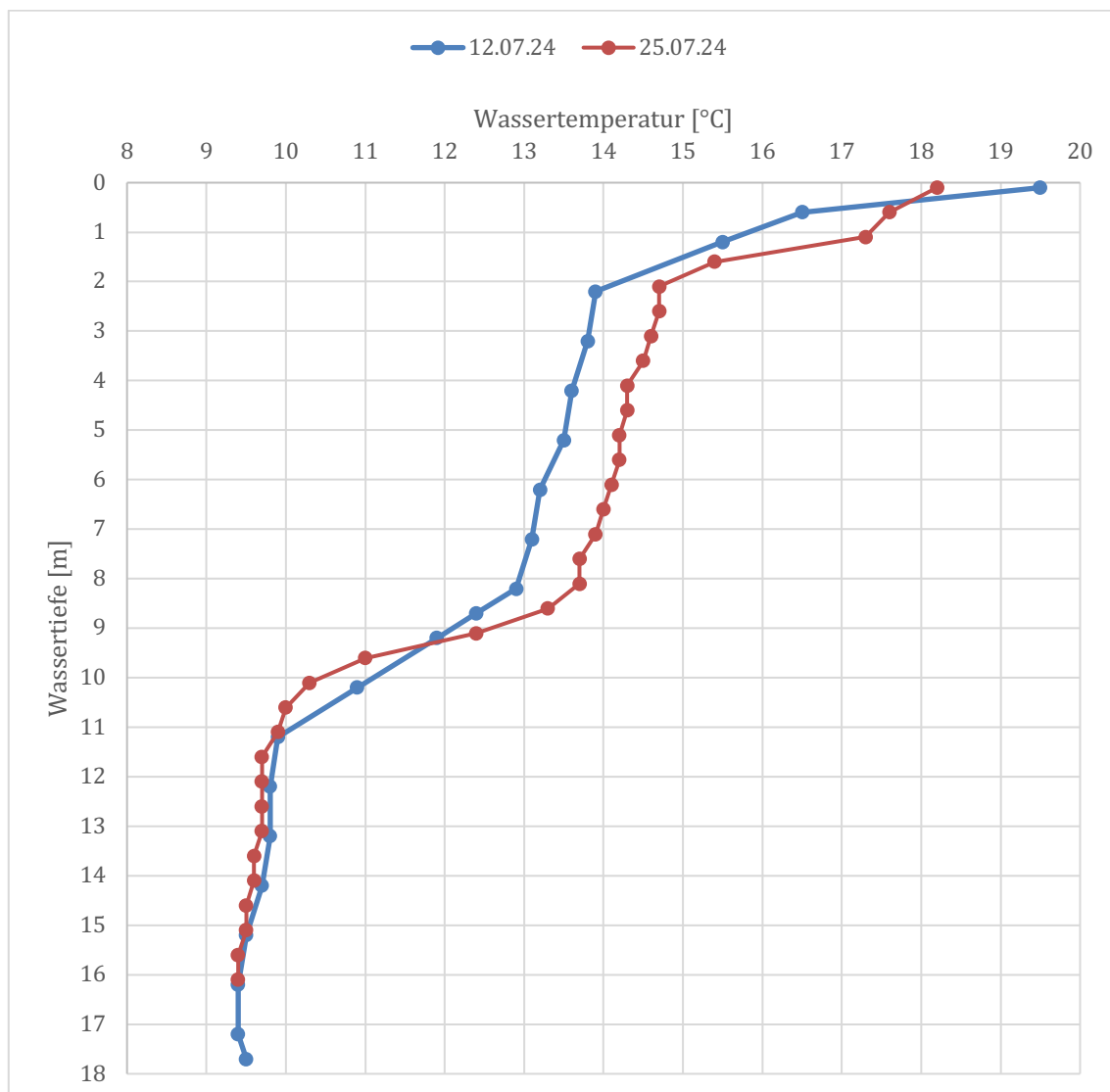


Abbildung 5.1: Tiefenprofile der Wassertemperatur

## 5.2 Sauerstoffhaushalt

Die Vertikalverteilung der Sauerstoffgehalte verweist auf Defizite in der Gewässertiefe (vgl. Abbildung 5.2).

Ab einer Tiefe von 12 bis 13 m unterschritten die Sauerstoffgehalte den Wert von 2 mg/l, so dass sich in einem ca. 5,5 m (= 31,4 % der Gesamttiefe) mächtigen bodennahen Wasserkörper ein sauerstoffarmer Zustand einstellte. Die Orientierungsgröße, der zufolge nur 10 bis 30% der Wassersäule über Grund sauerstoffarm sein sollten, wurde damit in geringem Umfang verfehlt.

Bei der Messung vom 25.07.24 indizierte der Anstieg der Sauerstoffgehalte in der Tiefenstufe von 5 m einen biogenen Sauerstoffeintrag durch vermehrtes Aufkommen von Algen.

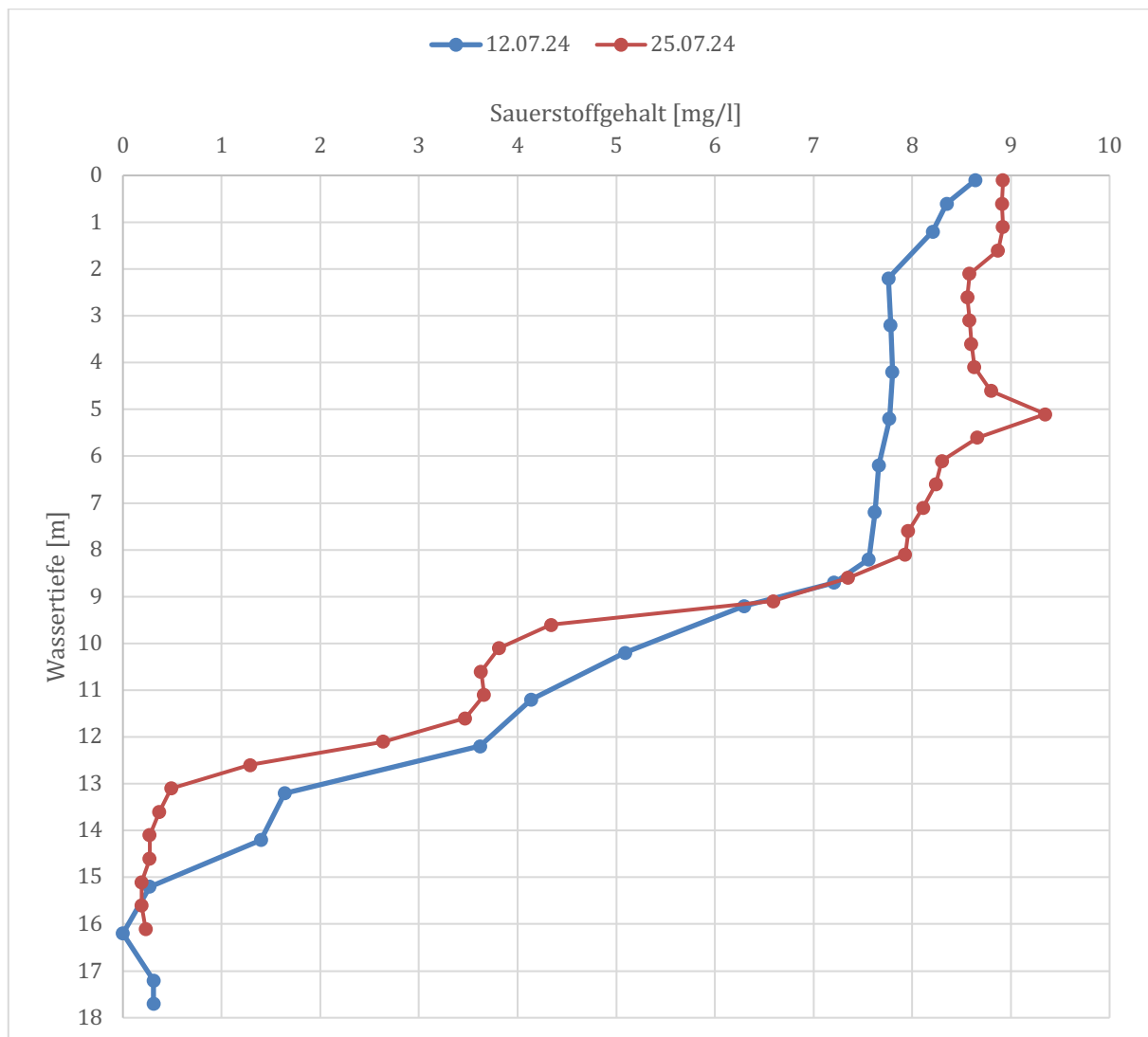


Abbildung 5.2: Tiefenprofile der Sauerstoffgehalte

### 5.3 Leitfähigkeitswerte

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Indikator für die Menge der im Wasser gelösten Ionen, die erreichte im Untersuchungsgewässer Werte zwischen 280 und 360  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (vgl. Abbildung 5.3). Infolge der ausgeprägten Gewässerschichtung kam es bei beiden Messungen zu einer deutlichen Stoffanreicherung in der Gewässertiefe.

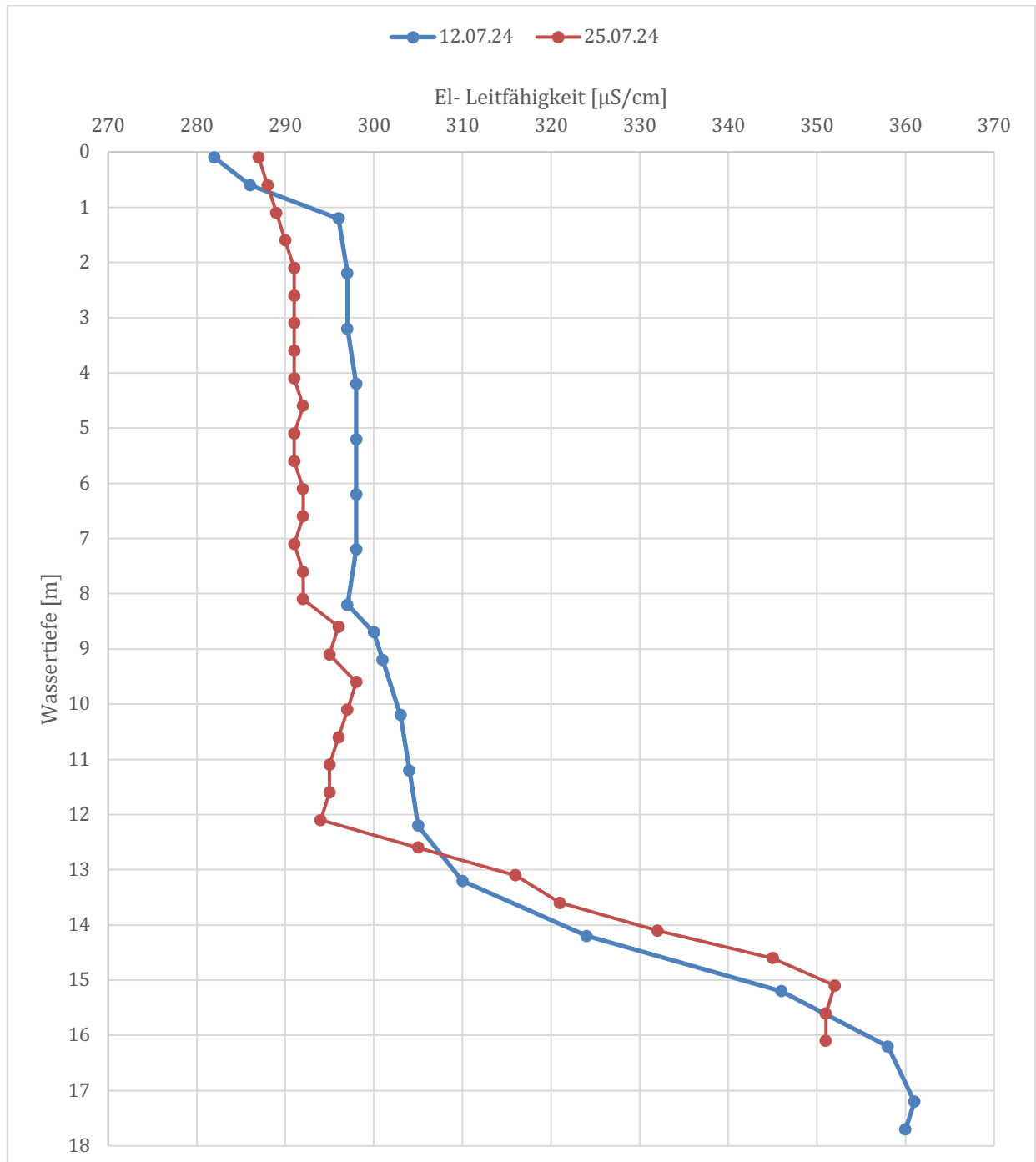


Abbildung 5.3: Tiefenprofile der elektrischen Leitfähigkeit

## 5.4 pH-Wert

Der Verlauf der pH-Werte war unauffällig und zeigte eine leichte Zunahme durch Algenbildung und ggf. CO<sub>2</sub>-Ausgasung in der oberflächennahen Wasserschicht (euphotische Zone). Insgesamt schwankten die pH-Werte im Neutralbereich, was auf ein gutes Pufferungsvermögen des Sees verweist (vgl. Abbildung 5.4).

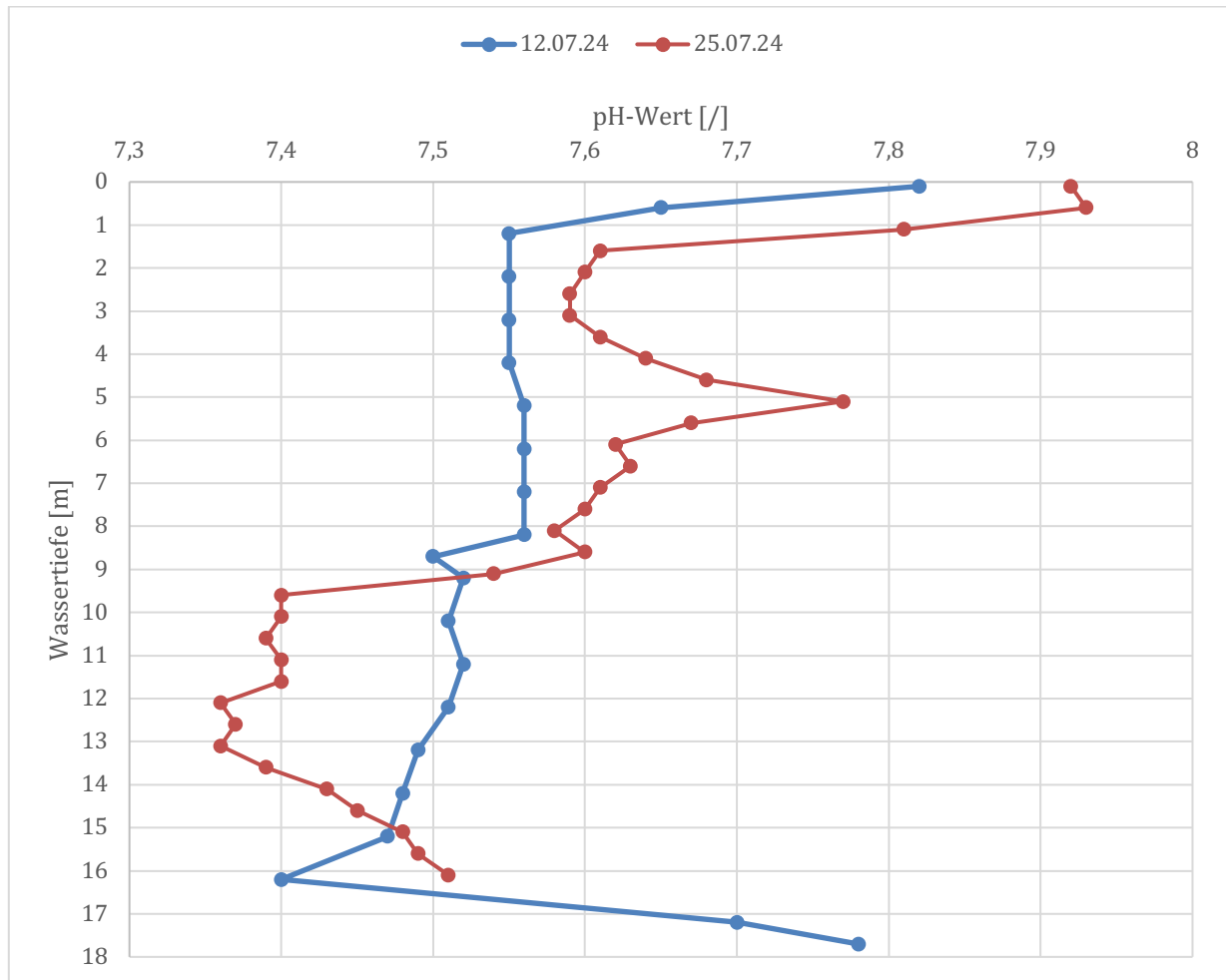


Abbildung 5.4: Tiefenprofile des pH-Wertes

## 5.5 Verteilung ausgesuchter Ionen

Die Konzentrationen und das Verteilungsmuster der Stoffe Sulfat, Chlorid, Hydrogenkarbonat, Calcium, Magnesium, Silicium, Kalium und Natrium im Vertikalprofil bzw. im Jahresverlauf (vgl. Tabelle 5.1) können als Indikatoren zur Beurteilung der Gewässergüte genutzt werden.

In Abhängigkeit von dem Gütezustand eines Sees ergeben sich für die Konzentrationen der hier ausgewählten Stoffe typische Verteilungsmuster im Vertikalprofil bzw. im Jahresverlauf, die auf spezifische Ausprägungen der Stoffwechselprozesse im See hinweisen.

Während der Stagnationsphase sinkt biologisches Material aus der produktiven Zone des Sees (Epilimnion) in das Hypolimnion und verursacht dort eine Erhöhung der Gehalte an

Hydrogenkarbonat, Calcium und Silizium. In nährstoffreichen Gewässern kommt es dabei u.a. durch die Verlagerung von Algenbiomasse in die Tiefe und ihre anschließende Mineralisierung zu erheblichen Konzentrationsunterschieden zwischen dem Epilimnion und dem Hypolimnion.

Dieser Anreicherungseffekt bestand im Untersuchungsgewässer nur in geringem Ausmaß, so dass sich daraus kein Hinweis auf eine hohe biologische Produktivität ableiten lässt.

Sulfat unterlag im See trotz der schlechten Sauerstoffversorgung am Gewässergrund nicht der Reduktion. Mangan und Eisen reichern sich über Grund in dem geschichteten Wasserkörper an.

Insgesamt verweisen weder die absoluten Konzentrationen noch das tiefendifferenzierte Verteilungsmuster auf Gütedefizite im Untersuchungsgewässer.

Hinweise auf externe Belastungen bzw. negative Entwicklungen der Wasserqualität ergaben sich nicht.

**Tabelle 5.1: Verteilung ausgesuchter Ionen im Seewasser**

Parameter	Einheit	Datum	Entnahmetiefe			WW <sup>4)</sup>	TrinkwV <sup>5)</sup>
			Oben <sup>1)</sup>	Mitte <sup>2)</sup>	Unten <sup>3)</sup>		
Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/l	12.07.24	26	26	24	180	250
		25.07.24	28	27	26		
Chlorid (Cl)	mg/l	12.07.24	9,4	9,8	14	185,5	250
		25.07.24	10	10	16		
Hydrogencarbonat (HCO <sub>3</sub> )	mmol/l	12.07.24	2	2	2,7		
		25.07.24	2	2	2,6		
Säurekapazität pH 4,3 (m-Wert)	mmol/l	12.07.24	2	2	2,7		
		25.07.24	2	2	2,6		
Säurekapazität pH 8,2 (p-Wert)	mmol/l	12.07.24	<0,1	<0,1	<0,1		
		25.07.24	<0,1	<0,1	<0,1		
Eisen (Fe)	mg/l	12.07.24	0,026	0,023	2,04		0,2
		25.07.24	0,009	0,007	0,073		
Mangan (Mn)	mg/l	12.07.24	0,054	0,054	2,19		0,05
		25.07.24	0,036	0,046	1,91		
Calcium (Ca)	mg/l	12.07.24	31,5	31,5	38		
		25.07.24	31,9	32	37,4		
Magnesium (Mg)	mg/l	12.07.24	12,5	12,5	15,8		
		25.07.24	12,6	12,6	15,5		
Silicium (Si)	mg/l	12.07.24	2,72	2,74	4,32		
		25.07.24	2,41	2,47	3,24		
Kalium (K)	mg/l	12.07.24	1,2	1,19	1,38		
		25.07.24	1,27	1,27	1,33		
Natrium (Na)	mg/l	12.07.24	6,79	6,7	8,51		
		25.07.24	6,82	6,87	8,62		

<sup>1)</sup> 2,2m (12.7.24) & 1,1m (25.7.24) <sup>2)</sup> 8,7m (12.7.24) & 8,1m (25.7.24) <sup>3)</sup> 17,2m (12.7.24) & 15,1m (25.7.24)

<sup>4)</sup> LUBW (2013), Grundwasserüberwachungsprogramm <sup>5)</sup> Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)

## 5.5.1 Nährstoffhaushalt und Biomasse

### 5.5.1.1 Phosphorgehalte und TOC

Von besonderer Bedeutung für die Belastungssituation eines Sees ist der P-Gehalt des Seewassers, da Phosphor in der Regel in sehr geringen Konzentrationen vorhanden ist und somit das Algenwachstum limitiert.

Gesamtposphor war während der Untersuchungstermine nur in geringen Konzentrationen im Seewasser vorhanden (vgl. Tabelle 5.2). Die Werte blieben generell im Bereich der Orientierungsgrößen.

Für den direkt pflanzenverfügbare ortho-Phosphat-Phosphor wurden ebenfalls niedrige Werte gemessen. Auch die Gehalte des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) waren niedrig

**Tabelle 5.2: Phosphorgehalte im Seewasser**

Parameter	Einheit	Entnahmetiefe				Orientierungsgrößen
		Datum	Oben <sup>1)</sup>	Mitte <sup>2)</sup>	Unten <sup>3)</sup>	
Phosphat, gesamt DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	12.07.24	0,029	0,0258	0,0298	
		25.07.24	<0,05	<0,05	0,07	
Phosphor, gesamt (berechnet) DIN ISO 15923-1 (D49):2014-07	mg/l	12.07.24	0,009	0,008	0,01	0,032 <sup>4)</sup> 0,014 – 0,02
		25.07.24	<0,02	<0,02	0,021	
Phosphat, gesamt DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	25.07.24	0,04	0,03	0,04	
Phosphor (P) DIN EN ISO 6878 (D11):2004-09	mg/l	25.07.24	0,012	0,011	0,012	
ortho-Phosphat	mg/l	12.07.24	<0,005	<0,005	<0,005	
		25.07.24	0,012	0,016	0,01	
ortho-Phosphat (P)	mg/l	12.07.24	0,002	0,002	0,002	
		25.07.24	0,004	0,005	0,003	
TOC	mg/l	12.07.24	1,5	1,5	1,7	
		25.07.24	<1	<1	<1	
Eisen (Fe)	mg/l	12.07.24	0,026	0,023	2,04	
		25.07.24	0,009	0,007	0,073	

<sup>1)</sup> 2,2m (12.7.24) & 1,1m (25.7.24) <sup>2)</sup> 8,7m (12.7.24) & 8,1m (25.7.24) <sup>3)</sup> 17,2m (12.7.24) & 15,1m (25.7.24)

<sup>4)</sup> Trophiestatus mesotroph 2. Geschichtete Seen des Alpenvorlandes, der Alpen und der Mittelgebirge (LAWA 2014)

<sup>5)</sup> Saisonmittel Gewässeroberfläche. Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential. Seetyp 7= geschichteter, kalziumreicher Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet. PP 7 (OGewV 2016)

### 5.5.1.2 Stickstoffgehalte

Die Untersuchung der Stickstoffbelastung (vgl. Tabelle 5.3) ergab eine insgesamt geringe Belastung des Seewassers für alle drei Stickstoffspezies.

Die leichte Anreicherung von Ammonium am Gewässergrund ist eine Folge der Akkumulation ausgesunkener Algenbiomasse. Die niedrigen Werte verweisen auf ein nur sehr geringes Algenaufkommen.

**Tabelle 5.3: Stickstoffgehalte im Seewasser**

Parameter	Einheit	Datum	Entnahmetiefe			Orientierungsgrößen	
			Oben <sup>1)</sup>	Mitte <sup>2)</sup>	Unten <sup>3)</sup>	WW <sup>4)</sup>	TrinkwV <sup>5)</sup>
Ammonium	mg/l	12.07.24	<0,06	<0,06	0,17	0,38	0,5
		25.07.24	<0,06	<0,06	0,16		
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/l	12.07.24	4	4	<1	37,5	50
		25.07.24	4	4,1	<1		
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/l	12.07.24	0,01	<0,02	<0,01	0,08	0,1
		25.07.24	0,02	0,02	<0,01		

<sup>1)</sup> 2,2m (12.7.24) & 1,1m (25.7.24) <sup>2)</sup> 8,7m (12.7.24) & 8,1m (25.7.24) <sup>3)</sup> 17,2m (12.7.24) & 15,1m (25.7.24)

<sup>4)</sup> LUBW, 2013 Grundwasserüberwachungsprogramm <sup>5)</sup> Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001)

## **5.6 Zusammenfassende Beschreibung des aktuellen Gewässerzustandes**

Die aktuellen Messwerte zeigten keine Belastungssituation des bestehenden Sees an. Insbesondere die Nährstoffbelastung blieb gering.

Auffällig war die starke Einschichtung des Gewässers, in dessen Folge über Grund ein deutlich ausgeprägter sauerstoffarmer Tiefenwasserkörper entstanden. Da nur zwei Messungen, beide während der sommerlichen Stagnationsphase, zur Verfügung standen, kann das ganzjährige Zirkulationsgeschehen nicht beurteilt werden. Insbesondere ist unklar, ob es im Winter zu einer Vollzirkulation des Seewassers und infolge dessen auch zu einem Sauerstoffeintrag in den grundnahen Wasserkörper kommt.

## 6 Prognose der Wasserqualität des entstehenden Sees

Mit dem Ende der Sumpfungsmaßnahmen erfolgt ein sukzessiver Anstieg des Seewasserspiegels, der nach 25 Jahren (Planzustand 1) bzw. nach 11 Jahren (Planzustand 2) mit der dann vollständigen Befüllung des Seebeckens zum Abschluss kommt.

Während der frühen Phase der Überstauung können spezifische Belastungen durch Sauerstoffzehrung und Stofffreisetzung infolge der Mineralisierung des Oberbodens und einer vorhandenen Vegetationsdecke entstehen. Der daraus resultierende Sauerstoffverbrauch bleibt aber auf einen relativ kurzen Zeitraum beschränkt (vgl. Abbildung 6.1).

Da diese Prozesse vergleichsweise schnell ablaufen, wirken sie wegen des langsamen Seewasserstandsanstiegs nur auf eine kleinflächige Seebodenfläche. Damit ist auch nur ein sehr kleines Seevolumen von ca. ca. 4 % des Gesamtvolumens betroffen. Aus diesem Grund kann im Rahmen der Modellierung auf eine gesonderte Berücksichtigung der Erstbefüllungsphase verzichtet werden. Vor der Überstauung sollte aber dennoch die Vegetation auf den jeweils betroffenen Gebieten entfernt oder stark zurückgeschnitten werden, um mögliche Belastungen zu minimieren.

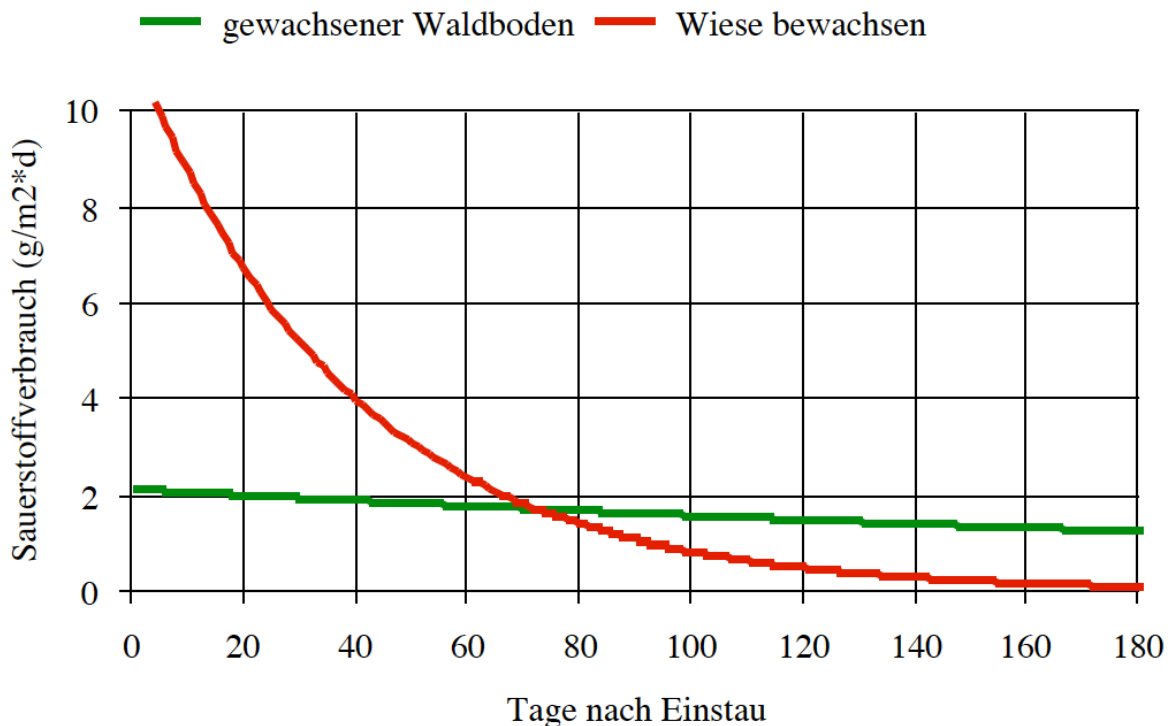


Abbildung 6.1: Verlauf der O<sub>2</sub>-Zehrungsraten bei unterschiedlichem Bewuchs (T 20°C) nach TGL 27 885/04

Das Einschichtungs- und Zirkulationsverhalten des entstehenden Sees wird maßgeblich von seiner Tiefe geprägt. Daher wird hier insbesondere die Frage thematisiert, ob nach Befüllung des Sees stets eine vollständige Zirkulation des Wasserkörpers erreicht werden kann oder wie diese falls erforderlich durch technische Maßnahmen herzustellen ist.

Bei einer eingeschränkten oder nur noch unzureichenden Vermischung des Tiefenwasserkörpers verschlechtert sich im Tiefenbereich des Sees der Sauerstoffhaushalt, da die Nachlieferung sauerstoffreichen Oberflächenwassers aus dem Epilimnion nur noch episodisch stattfindet. Daraus ergeben sich negative Folgen auch für den Nährstoffhaushalt, da sich am Seegrund durch Sedimentation abgestorbener Biomasse allmählich ein Nährstoffpool ausbildet, der ein starkes Belastungspotential durch Rücklösung von Sedimentphosphor verursacht.



Die Modellierung der Beschaffenheitskennwerte des Seewassers erfolgt für einen 20-jährigen Entwicklungszeitraum nach vollständiger Befüllung des Beckens unter Bezug auf die Beckengeometrie und möglicher Optimierungsmaßnahmen für insgesamt 5 Varianten:

**Tabelle 6.1: Morphologische Kennwerte der 5 Untersuchungsvarianten**

Variante	Maßnahme	Seesohle [m. ü.NN]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	254	108.126	69	3.263.923
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlanhebung	254	197.955	69	8.520.324
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlanhebung durch Auffüllung	265	197.955	58	8.405.105
Planfall 2a	Zusätzliche Optimierungsmaßnahme durch Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr*	265	197.955	58	8.405.105
Planfall 2b	Zusätzliche Optimierungsmaßnahme durch Zwangszirkulation mittels Rührwerk*	265	197.955	58	8.405.105

\* vgl. Kapitel 2

Gegenstände der Prognose des Gewässerzustandes sind das Zirkulationsverhalten des Sees, die Entwicklung des Sauerstoffhaushaltes und die Ausprägungen des Nährstoffhaushaltes einschließlich der Algenentwicklung sowie die Qualität des abfließenden Seewassers einschließlich der daraus entstehenden Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit des Elbachs.

## **6.1 Methodische Vorgehensweise**

### **6.1.1 Prognosemodell und Modellkonstanten**

Zur Modellsimulation des Temperaturhaushaltes und Zirkulationsverhaltens dient das 1-D hydrodynamische Modell DYRESM (Dynamic Reservoir Simulation Model), das für die Prognose der Wasserqualität mit dem Programm CAEDYM gekoppelt wird. DYRESM wird seit 1978 unter stetiger Weiterentwicklung an einer Vielzahl von Seen eingesetzt und entspricht dem Stand der Technik. Das Modell stellt die Turbulenzverhältnisse durch Berücksichtigung der turbulenten kinetischen Energie (TKE) dar, so dass konvektive und advective sowie durch Reibung an Grenzschichten verursachte Vermischungsvorgänge in die Berechnung einbezogen werden.

Seemodellierungen mittels DYRESM erfordern einen umfangreichen Dateninput, u.a. von Kenngrößen der Seemorphologie, meteorologischen Tages- oder Stundenwerten sowie Wasserzu- und Wasserabflussmengen, die sich auf die Entwicklung der Wassertemperaturen auswirken.

Zusätzlich kommt das Programmpaket CAEDYM in der Version 2.3 zur Anwendung, das aufbauend auf dem hydrodynamischen Modell DYRESM und den damit simulierten Einschichtungs- und Durchflussverhältnissen die Simulation der Stoffflüsse durch die einzelnen Kompartimente eines aquatischen Ökosystems ermöglicht. Dabei werden alle wesentlichen Produktions- und Abbauprozesse in Wasserkörper und Sediment einschließlich der Wechselwirkungen mit den Gewässerorganismen abgebildet sowie in Tagesschritten berechnet.

Da bei der Bewertung des neu entstehenden Sees dem Sauerstoffhaushalt eine zentrale Rolle zukommt, soll hier das diesbezügliche Vorgehen bei der Prognosestellung erläutert werden. Das Sauerstoffmodul berücksichtigt alle Einzelkompartimente einschließlich der Sauerstoffeinträge durch

die Photosyntheseaktivität von Algen oder Makrophyten und des Sauerstoffverbrauchs durch biogene Ab- und Umbauvorgänge sowie die Zehrung des Sediments (vgl. Abbildung 6.2).

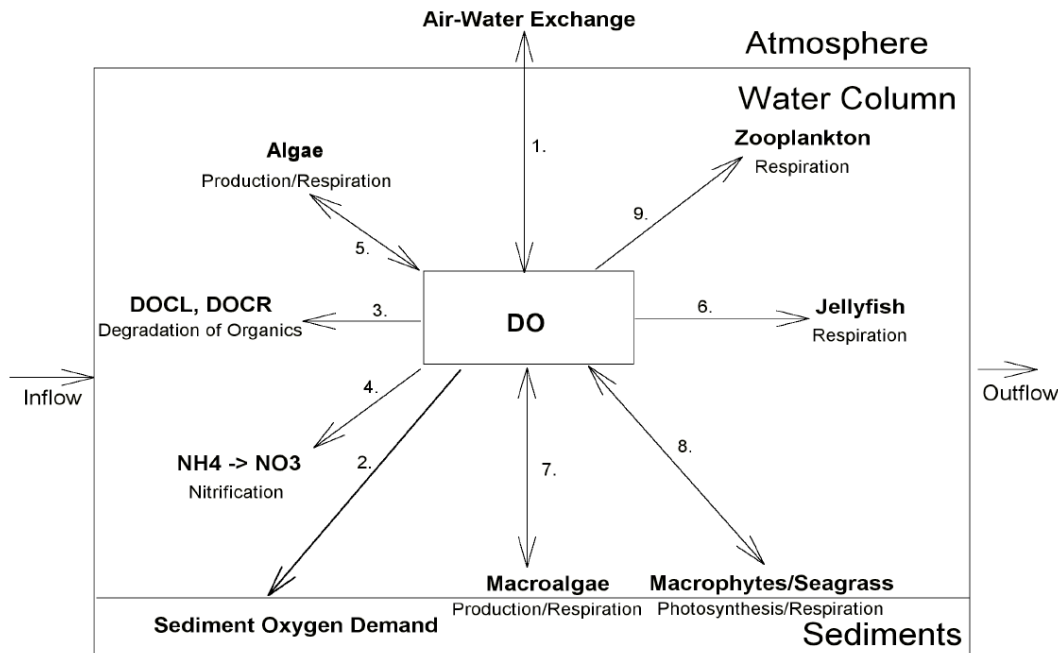


Abbildung 6.2: Abhängigkeit des Sauerstoffhaushaltes von den Einzelkompartimenten (Abb. aus HIPSEY et al. 2006)

Für die Entwicklung der Wasserqualität ist das Zirkulationsverhalten des Sees, aber auch die Sauerstoffzehrungsrate des Sediments insbesondere in der Langfristperspektive von sehr erheblicher Bedeutung, da sie zumeist entscheidend auf den Zustand des Sauerstoffhaushaltes einwirkt, der seinerseits wesentliche Gütekennwerte bestimmt.

Für die Modellierungen wird neben den Modellkonstanten von Hipsey et al. (2006) auch auf alternative Vorschläge von ÖZKUNDAKCI et al. (2011) zurückgegriffen, deren Parameterausprägungen besser zu der Seecharakteristik des Untersuchungsgewässers passen. Die benutzten Werte und ihre gegebenenfalls vorgenommenen Anpassungen sind in der Tabelle 6.2 angegeben.

Tabelle 6.2: Modellkonstanten

Bezeichnung	Einheit	HIPSEY et al. (2006)	ÖZKUNDAKCI et al. (2011)
<b>Physical parameters</b>			
Effective surface area coefficient	m <sup>2</sup>	1,0 * 10 <sup>+7</sup>	1,45 * 10 <sup>+6</sup>
Critical wind speed	m/s	3	3
shear production efficiency (eta_K)		0,17	0,21
potential energy mixing efficiency (eta_P)		0,20	0,2
wind stirring efficiency (eta_S)		0,4	0,2
Benthic boundary layer dissipation coefficient	m <sup>2</sup> /s	1,4 10 <sup>-5</sup>	7,5 * 10 <sup>-6</sup>
vertical mixing coeff.	/	20	600
Tageszeitpunkt (sec) der Modellierung 36.000 sec oder 10h Sonnenzeit	sec	36.000	36.000
<b>Sediment Parameters</b>			
Sediment DO demand	g/m <sup>2</sup> /day	0,3	2 (0,8*)
Half-saturation coefficient for sediment oxygen demand	mg/l	0,5	0,25

\* Die Sauerstoffzehrungsrate wurde unter Bezug auf TGL 27 885/04 (1985) von 2 auf 0,8 g/m<sup>2</sup>/d verringert (vgl. Kapitel 8.1.2.4).

## 6.1.2 Inputdaten

Die Grundlage für den Antrieb des Modells bilden neben den in Kapitel 4 beschriebenen externen Einträgen meteorologische und hydraulische Daten.

### 6.1.2.1 Meteorologie

Für die Modellierung der Seewasserbeschaffenheit wird auf meteorologische Daten in Form von Tageswerten mit folgendem Parameterumfang zurückgegriffen:

- Globalstrahlung in  $\text{W/m}^2$
- Gesamtbedeckung in Achteln
- Windgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$
- Lufttemperatur in  $^{\circ}\text{C}$
- Relative Luftfeuchte in %
- Niederschlagshöhe in  $\text{mm}$

Die Datengrundlage bilden meteorologische Kennwerte aus historischen Messreihen und die Test-Referenz-Jahre (TRY) des DWD. Insgesamt umfasst der Betrachtungszeitraum 20 Jahre mit einem historischen Referenzzeitraum, einem historischen Test-Referenz-Jahr (TRY 2015) des DWD und einem in der Zukunft liegenden Test-Referenz-Jahr (TRY 2045) des DWD.

Die ersten 14 Jahre des Betrachtungszeitraums beziehen sich auf historische Daten des DWD, die als Tageswerte im Zeitraum 2010 bis 2023 an der Messstelle Lüdenscheid 3098 (Niederschlag, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Gesamtbedeckung, relative Luftfeuchte, Niederschlagshöhe und Globalstrahlung) mit der DWD-Stationsnummer 3098 (386.70 m ü. NN; 51.2452; 7.6425) erfasst wurden. Darüber hinaus standen Wetterdaten einer von SST und GEOBIT betriebenen Wetterstation zur Verfügung. Die dort erhobenen Daten umfassen den Zeitraum von Mai 2018 bis April 2020 und dienen dazu, die Daten der Messstelle Lüdenscheid auf die spezifischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes anzupassen.

Der folgende 6 Jahre umfassende Teil des Betrachtungszeitraums wird aus einer Kombination der Test-Referenz-Jahre (TRY) 2015 und 2045 des DWD gebildet. Die meteorologischen Werte dieser Test-Referenz-Jahre wurden für das Untersuchungsgebiet (Referenzpunkt 380m ü.NN WGS84= 50.942205° N; 7.720556 ° O) auf Basis von 24 regionalen Klimamodellen (RCP 4,5 & RCP 8,5) aus dem Zeitraum 1995 bis 2012 (TRY 2015) und 2031-2060 (Zukunfts-TRY 2045) prognostiziert. Neben der mittleren klimatischen Entwicklung dieses schon in stärkerem Umfang von der Klimaerwärmung betroffenen Zukunfts-Zeitraums (TRY 2045 ø) wurden auch Datensätze mit einem sehr warmen Sommerhalbjahr (April bis September; sehr warm =TRY 2045) berücksichtigt.

In der Tabelle 6.3 sind die Klimamittelwerte der Inputdaten angegeben.

**Tabelle 6.3: Klimakennwerte der Modelljahre und Referenzzeiträume**

Periode	historischer Referenzzeitraum														Zukunfts- Referenzzeitraum					
Modelljahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Referenzzeit- raum	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TRY 2045 α	TRY 2015 max	TRY 2045 ø	TRY 2045 MAX	TRY 2045 ø	TRY 2045 ø

Periode	historischer Referenzzeitraum														Zukunfts- Referenzzeitraum					
Modelljahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Globalstrahlung [W/m <sup>2</sup> ]	104,1	111,3	104,0	102,9	105,1	110,7	104,9	103,9	118,4	109,9	114,5	104,7	119,9	109,5	114,0	114,0	120,4	123,6	120,1	120,4
Temperatur [°C]	7,4	9,4	8,6	8,2	10,0	9,4	9,1	9,3	10,1	9,7	10,1	8,7	10,4	10,1	8,8	8,8	9,8	10,3	9,8	9,8
Bedeckungsgrad [%]	0,69	0,60	0,65	0,68	0,67	0,65	0,74	0,83	0,75	0,77	0,72	0,78	0,71	0,74	0,69	0,67	0,65	0,65	0,65	0,65
Dampfdruck VP [mb]	8,2	8,9	8,8	8,7	9,5	9,0	9,1	9,0	8,9	8,7	8,6	8,9	8,5	9,2	8,9	8,7	9,3	9,3	9,3	9,3
Niederschlag [mm]	1134	1113	1260	852	967	1157	1073	1224	822	1064	989	1096	1016	1628	1096	987	1064	822	1064	1064
Windgeschwindigkeit [m/s] in 12 AGL	2,9	3,2	3,1	3,1	2,9	3,2	2,9	3,1	3,0	3,1	3,3	2,8	3,1	3,5	3,1	3,3	2,9	3,0	2,9	2,9

#### 6.1.2.2 Zehrungsrate des Sediments

Die Sedimentzehrung kann je nach Gewässertyp und Seebodenbildung ein sehr unterschiedliches Ausmaß annehmen. In der Fachliteratur finden sich Angaben von 0,02 bis 15 O<sub>2</sub> g/m<sup>2</sup>/d. Der für die Reaktionsgeschwindigkeit und das Ausmaß der tatsächlichen Zehrungsrate sehr wichtige Halbsättigungskoeffizient kann zwischen 0,1 und 1,5 mg/L betragen.

Für die hier verwendete Modellkonfiguration zur Berechnung einer mittleren Belastung wird eine Sedimentzehrungsrate von 0,8 g/m<sup>2</sup>/d vorausgesetzt. Diese übersteigt den von HIPSEY et al. (2006) mit 0,3 g/m<sup>2</sup>/d angegebenen Wert, bleibt aber deutlich unter den 2 g/m<sup>2</sup>/d, die ÖZKUNDAKCI et al. (2011) ermittelt haben (vgl. Tabelle 6.2, Seite 29). Für den Halbsättigungskoeffizienten werden entsprechend ÖZKUNDAKCI et al. (2011) 0,25 mg/l angenommen.

Der angenommene Zehrungswert von 0,8 g/m<sup>2</sup>/d in Verbindung mit dem Halbsättigungskoeffizienten von 0,25 mg/L kann für die Darstellung des oberen Niveaus eines aufgrund der geringen Grundwasserzuflüsse höchstens mittleren Belastung als realistisch gelten, da dieser Wert selbst unter deutlich zehrungsintensiveren Bedingungen kaum überschritten wird.

Nach den in der TGL 27 885/04 angegebenen Formeln für die Berechnung der Sauerstoffzehrung von Flachspeichern nach Ersteinstau ist eine Sedimentzehrungsrate von 0,75 g/m<sup>2</sup>/d als hoch anzusehen. Dieser Wert wird nach der Erstüberstauung einer bewachsenen Wiese bereits nach ca. 100 bis 120 Tagen unterschritten (vgl. Abbildung 6.3).

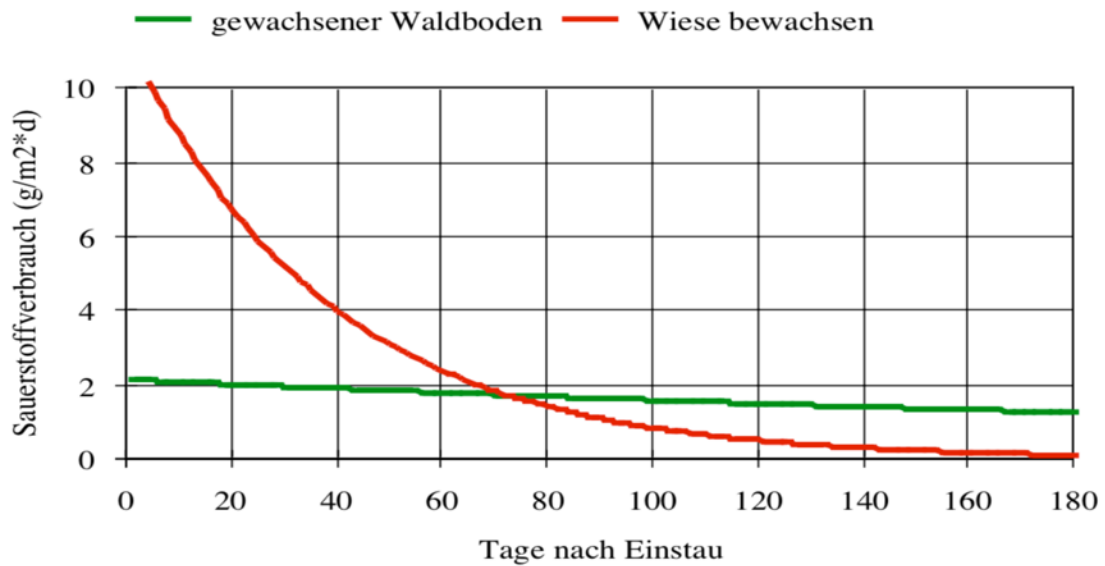


Abbildung 6.3: Verlauf der  $O_2$ -Zehrungsraten bei unterschiedlichem Bewuchs ( $T\ 20^\circ C$ ) nach TGL 27 885/04

### 6.1.3 Darstellung der Prognoseergebnisse

Die graphische Aufbereitung und Darstellung der Rechenläufe des Modells erfolgt mittels Isoplethendiagrammen, die eine sehr übersichtliche zeit- und tiefenliniengetreue Darstellung der Prognosewerte für die einzelnen Untersuchungsparameter ermöglichen. Nicht darstellbar ist auf diese Weise allerdings das den jeweiligen Tiefenstufen zuzuordnende Wasservolumen, das mit zunehmender Gewässertiefe sehr deutlich zurückgeht.

So nimmt in einem als Beispiel in der Abbildung 6.4 dargestellten Baggersee der 18 m mächtige bodennahe Wasserkörper 30% der Gesamttiefe von 37 m (bezogen auf Mittelwasserstand) ein, sein Volumenanteil beträgt aber lediglich 13,9%.

Dieses Missverhältnis ist insbesondere bei der Bewertung von Stoffanreicherungen im Grundbereich des Sees und ihrer Interpretation im Hinblick auf daraus entstehende Auswirkungen für die Wasserqualität des Gesamtsystems zu beachten, damit Fehl- oder Überinterpretationen durch die visuelle Anmutung der Isoplethendiagramme vermieden werden.

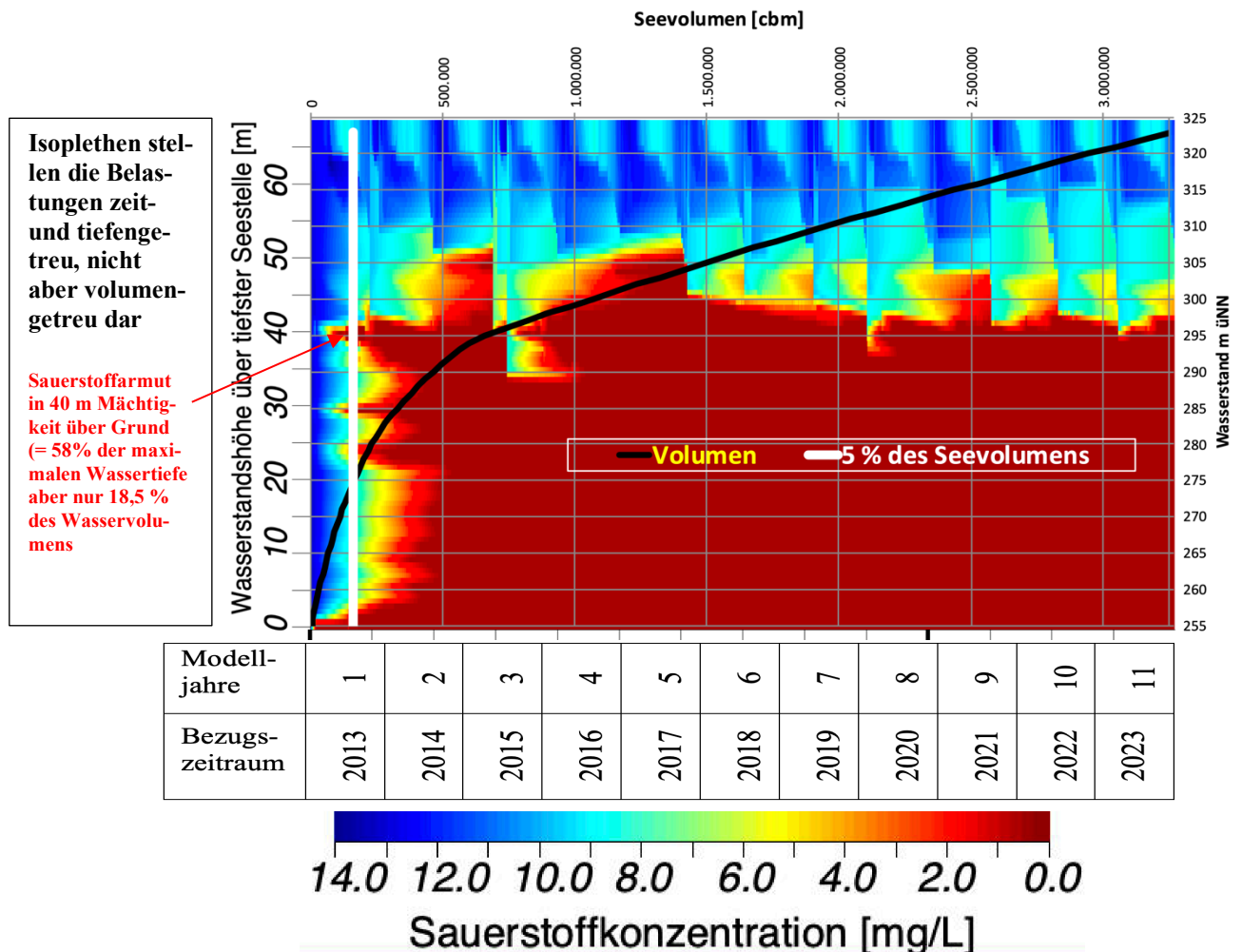


Abbildung 6.4: Isoplethendarstellung der Stoffkonzentrationen in unterschiedlichen Tiefenstufen und deren Anteile am Gesamtvolumen

## 6.2 Prognose des Temperaturhaushaltes und des Zirkulationsverhaltens

### 6.2.1 Nullfall

Unter Bezug auf die in Kapitel 6.1.2 genannten Kennwerte errechnet das Modell die in Abbildung 6.5 dargestellten Temperaturverläufe für den Nullfall (vgl. Kapitel 2) auf der Basis von Tageswerten.

Nach der Befüllung des Sees ist von einem stabilen Schichtungs- und Zirkulationsmuster mit der Ausbildung eines kalttemperierten, hypolimnischen Tiefenwasserkörper von ca. 35 m Mächtigkeit auszugehen, dessen Wassertemperatur während des Jahres kaum noch Temperaturänderungen aufweist. Die tiefsten 25 m des Sees weisen eine leichte Temperaturzunahme auf, was auf ungünstige Zirkulationsverhältnisse hinweist.

Das Epilimnion hat im Sommer eine Mächtigkeit von ca. 7-10 m. Hinsichtlich der Temperaturentwicklung im Epilimnion ist eine Temperaturzunahme der oberflächennahen Wasserschicht für den Zukunftszeitraum (ab dem 17. Modelljahr) zu erkennen.

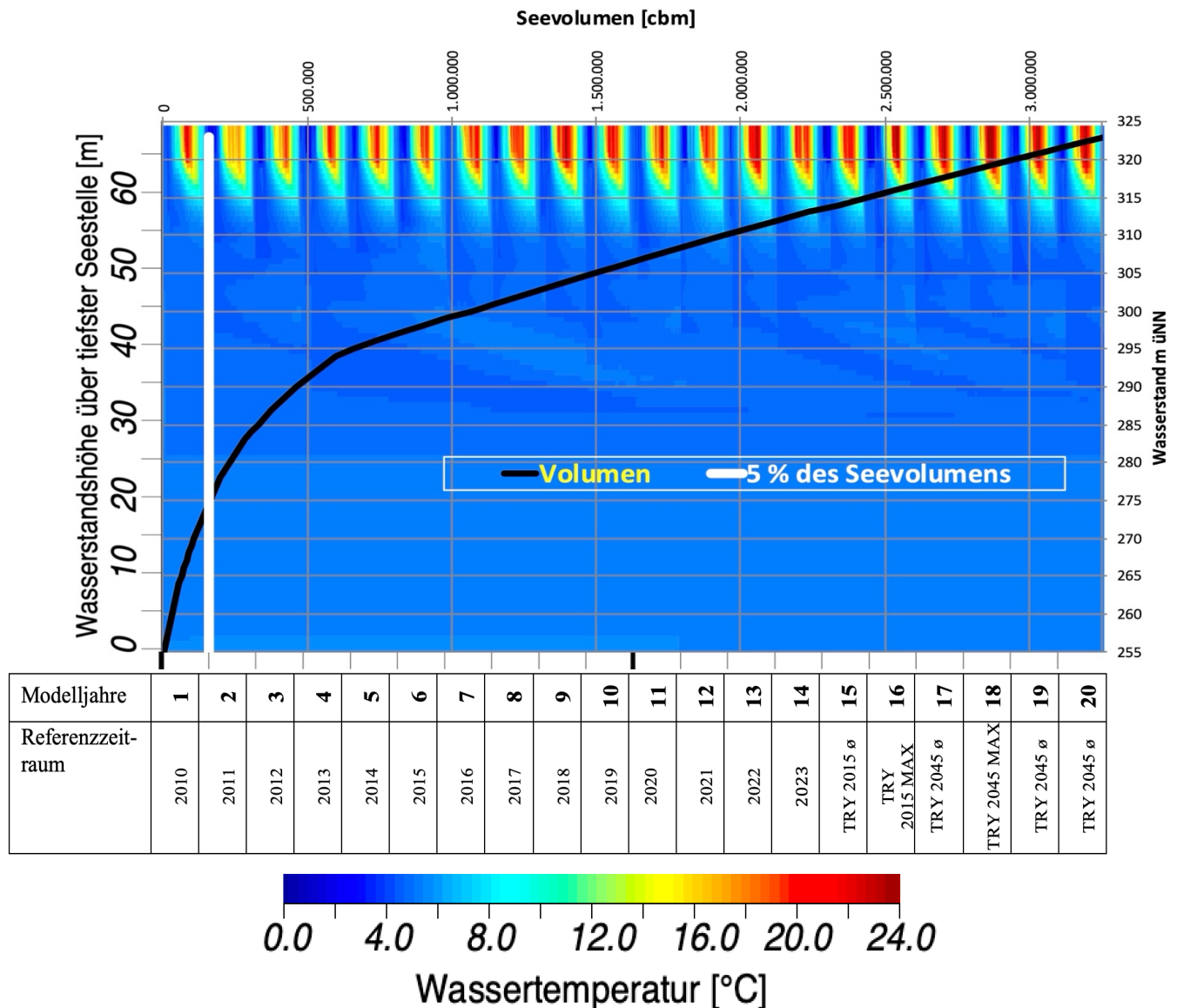


Abbildung 6.5: Temperatursimulation des Nullfalls

Die Darstellung des Simulationsergebnisses für unterschiedliche Tiefenstufen (vgl. Abbildung 6.6) zeigt, dass im Epilimnion (3 m Tiefe) Maximaltemperaturen von 22 bis 24 °C und Minimaltemperaturen zwischen 0 und 2 °C herrschen. Die epilimnischen Wassertemperaturen nehmen im Zukunftszeitraum um ca. 2 °C zu.

Während der Winterhalbjahre kommt es im Nullfall aufgrund der hohen Wassertiefe nicht mehr zu einer Vollzirkulation des Wasserkörpers. Die tiefste Wasserschicht (3m über Grund = 66 m Wassertiefe) zeigt infolge der Dichtezunahme aufgrund erhöhter Leitfähigkeitswerte eine höhere Temperatur als die Wasserschicht in 40m Wassertiefe. Der See ist damit meromiktisch<sup>2</sup>. Dies wird dazu führen, dass es durch Sedimentation zu einer weiteren Aufkonzentration von Stoffen in der Gewässertiefe kommt und sich die vom Zirkulationsgeschehen ausgenommen Wasserschicht über dem

<sup>2</sup> In einem meromiktischen Gewässer findet die Durchmischung (Zirkulation) des Wasserkörpers nur in einzelnen Zonen, nicht aber im Gesamtvolumen statt. Anders als in dimiktischen oder oligomiktischen Gewässern, die zumindest einmal jährlich vollständig umgewälzt werden, unterbleibt infolge einer Meromixis insbesondere der Sauerstoffeintrag in die Gewässertiefe, woraus sich erhebliche Güteprobleme ergeben können.



Seegrund auch vertikal weiter ausdehnt. Die Entstehung eines meromiktischen Wasserkörper sollte unbedingt vermieden werden.

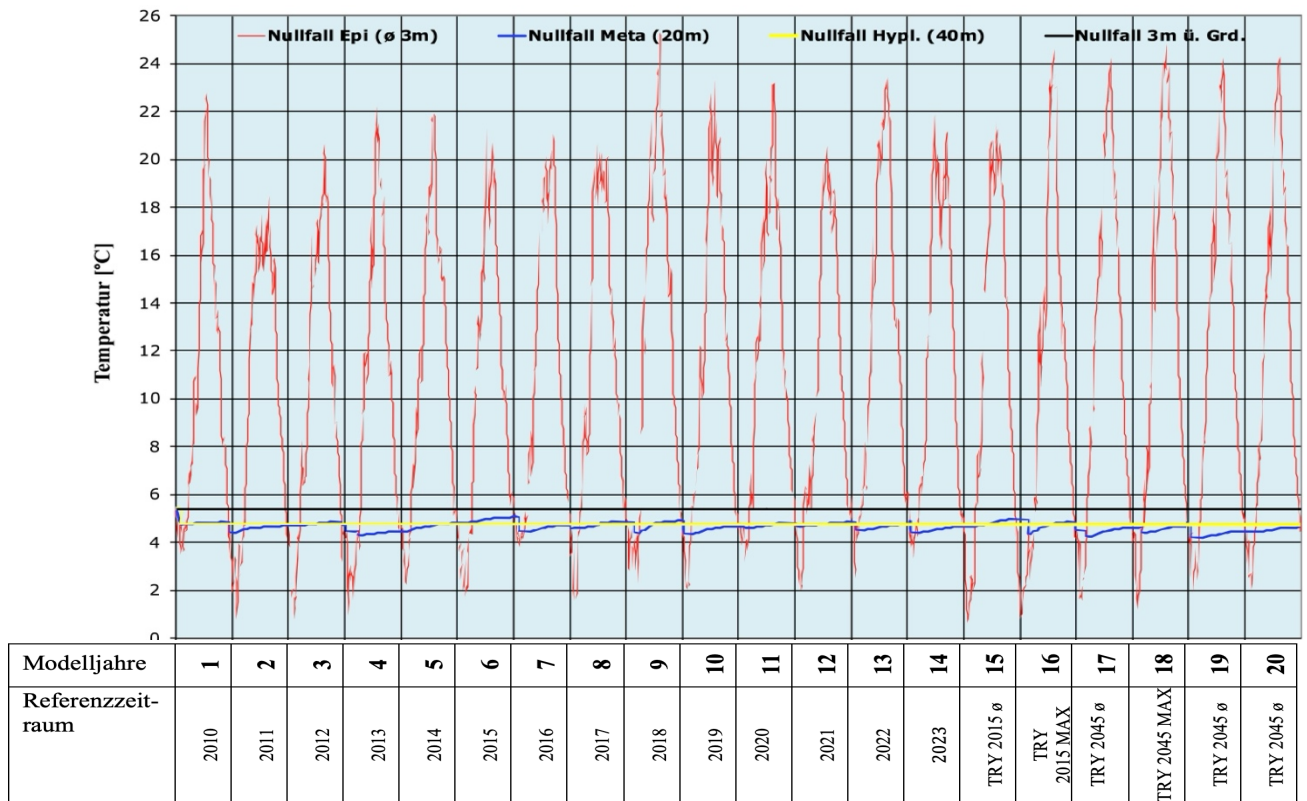


Abbildung 6.6: Simulationen der Wassertemperatur des Nullfalls in drei Tiefenstufen

Wie die Werte in der Tabelle 6.4 ausweisen, sind die Temperaturen 3m über Grund (WT=66m) dauerhaft höher als in 40 m Wassertiefe.

Tabelle 6.4: Prognostizieren Wassertemperaturen für den Nullfall in drei Tiefenstufen

	Nullfall Epi (ø 3m)	Nullfall Meta (20m)	Nullfall Hypl. (40m)	Nullfall 3m ü. Grd.
Mittelwert [Temp.°C]	11,22	4,66	4,75	5,40
Minimum [Temp.°C]	0,58	4,18	4,74	5,40
Maximum [Temp.°C]	25,30	5,50	5,40	5,41

Zur weiteren Prüfung der Frage, bis in welche Wassertiefe noch Zirkulationseffekte zu erwarten sind, wird im Modell eine Berechnung mittels Tracermarkierung einer ca. 20 m mächtigen Wasserschicht über Grund zwischen 254 m ü.NN (WT =69m) und 274 m ü NN (WT 40m) durchgeführt. Der Tracer fungiert wie ein einmaliger virtueller Farb- bzw. Stoffeintrag (10 mg/l) in den tiefen Wasserkörper zum Beginn des Modelllaufs (1. Modelljahr) und zeigt in Abhängigkeit vom Ausmaß seiner Verteilung im Gesamtvolumen während des 20-jährigen Beobachtungszeitraums den Vermischungsgrad des markierten Volumens an.

Wie die Isoplethendarstellung des Prognoseergebnisses (vgl. Abbildung 6.7) ausweist, ergeben sich nur geringfügige Vermischungsvorgänge in dem 20 m mächtigen Abgrabungsrichter, der bei seiner Tiefenausdehnung von 20 m allerdings nur 5 % des Gesamtvolumens einnimmt. Insofern bleiben die negativen Auswirkungen der unzureichenden Wasserzirkulation zunächst auf ein vergleichsweise geringes Volumen beschränkt, das allerdings nicht mehr an die Zirkulation des darüber liegenden Wasserkörpers angebunden wird.



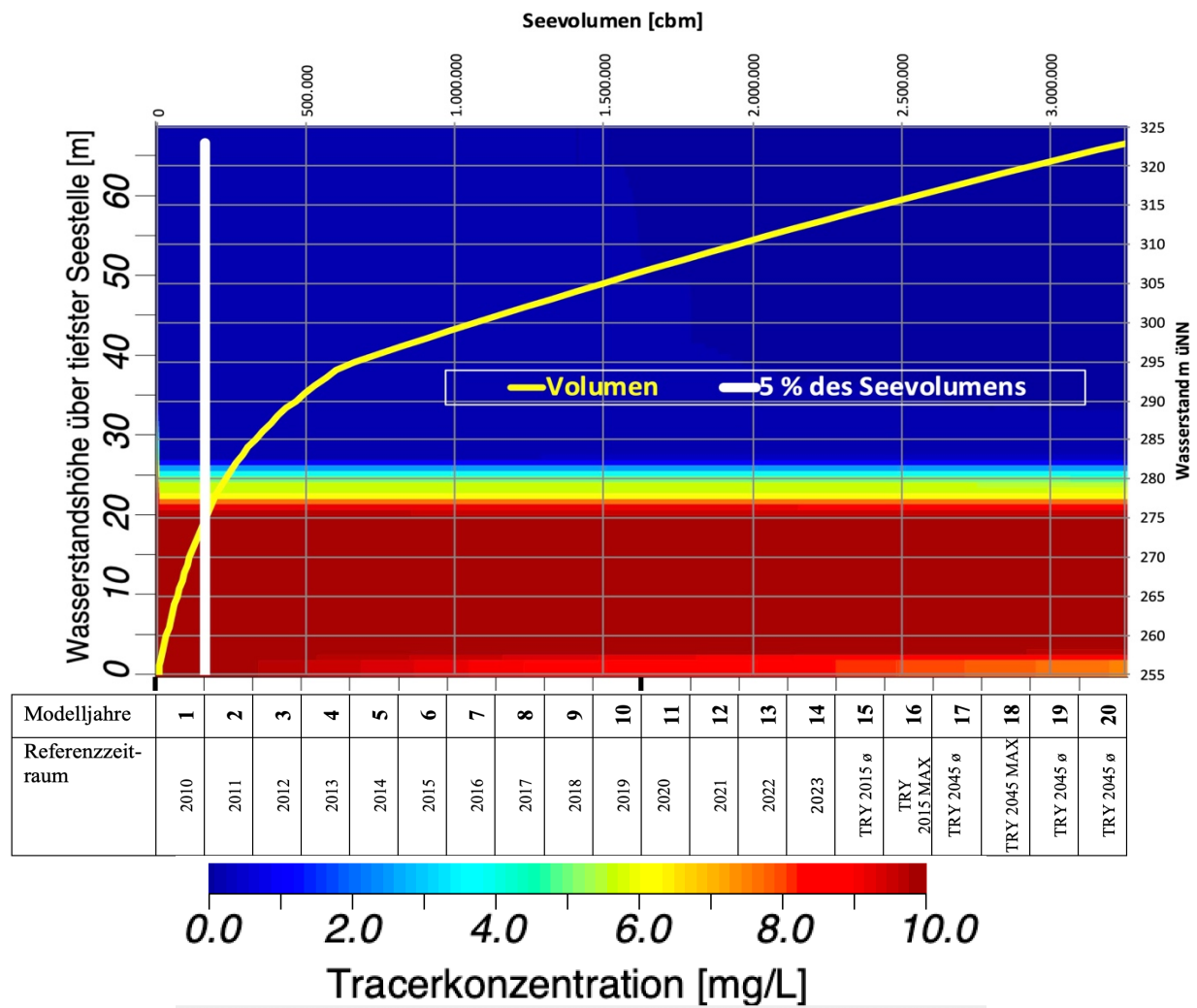


Abbildung 6.7: Tracersimulation zur Darstellung des Zirkulationsverhaltens für den Nullfall

## 6.2.2 Planfall 1 und Planfall 2

Für die Erweiterung sind, wie in Kapitel 2 beschrieben, die folgenden zwei Optionen vorgesehen, wobei im Planfall 1 keine Sohlanehebung und im Planfall 2 eine Verringerung der Wassertiefe um 11 m durch Verfüllung mit Abraum erfolgt.

Wasserspiegel MW 323 m ü.NN	Maßnahme	Seesohle [m. ü.NN]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Mittlere Tiefe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Planfall 1 [Tmax= 69 m]	/	254	197.955	69	43,0	8.520.324
Planfall 2 [Tmax= 58 m]	Sohlanehebung durch Auffüllung	265	197.955	58	42,5	8.405.105

Beim Planfall 1 wird sich während der Sommerstagnation in dem auf 69 m vertieften See ein kaltemperierter, hypolimnischer Tiefenwasserkörper mit einer Mächtigkeit von ca. 35 m ausbilden (vgl. Abbildung 6.8). Eine leicht wärmere Wasserschicht im unmittelbaren Grundbereich, die auf eingeschränkte oder fehlende Zirkulation des Wasserkörpers hinweist, besitzt eine Mächtigkeit von 10 m und ist in dem tiefsten Abgrabungsbereich zu verorten.

Die Mächtigkeit des Epilimnions variiert im Planfall 1 zwischen ca. 7-10 m. Wie beim Nullfall ist auch hier in der oberflächennahen Wasserschicht eine Zunahme der Wassertemperaturen mit Beginn des Zukunftszeitraums (ab Modelljahr 17) zu erkennen.

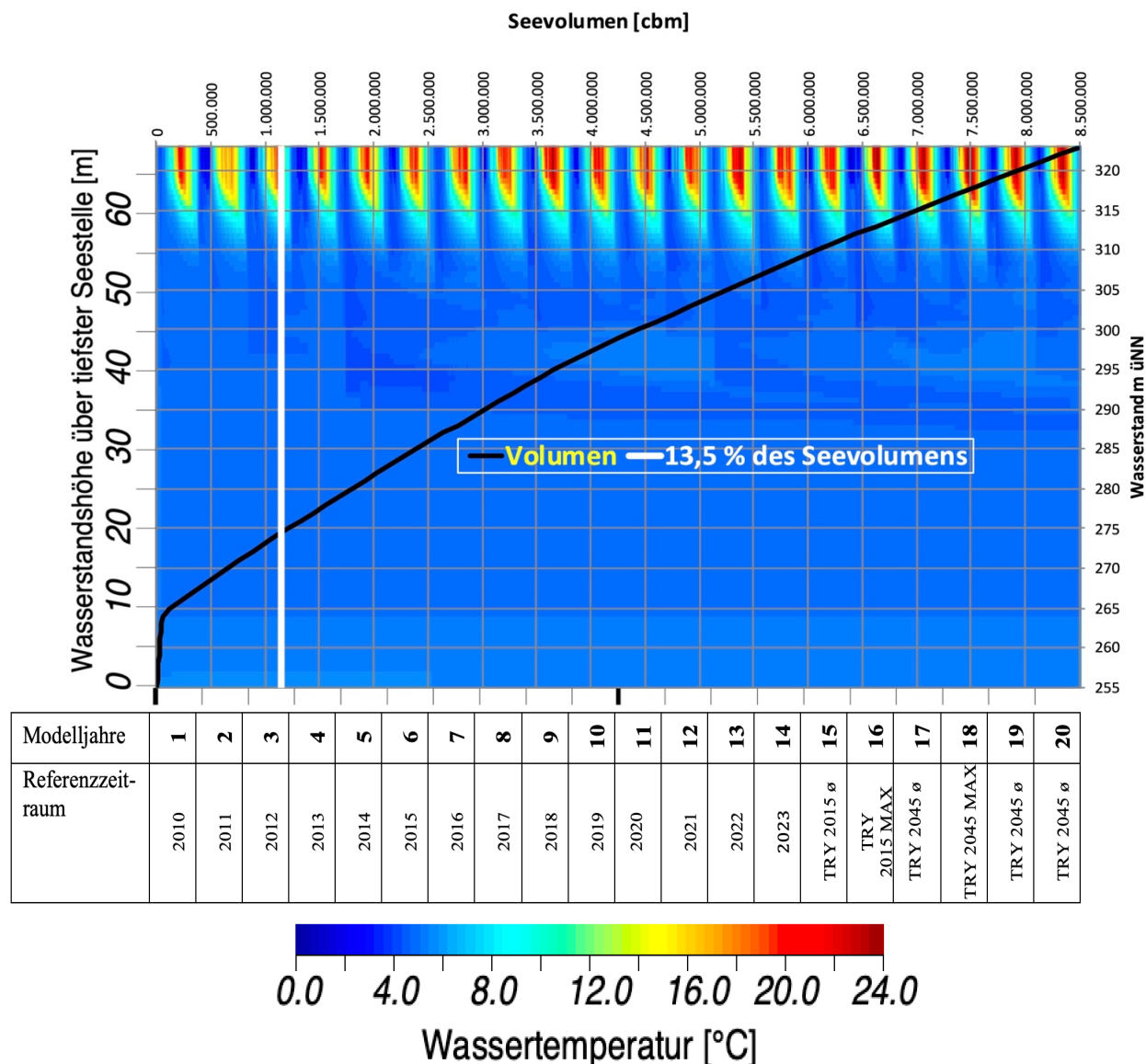


Abbildung 6.8: Temperatursimulation von Planfall 1

Beim Planfall 2 mit einer durch Auffüllung um 11 m angehobenen Seesohle zeigt sich ein vergleichbares Bild wie im Planfall 1 (vgl. Abbildung 6.9).

Trotz der geringeren Wassertiefe bildet sich auch hier über Grund ein vom Zirkulationsgeschehen ausgenommener Wasserkörper, dessen Ausdehnung allerdings weniger mächtig ist.

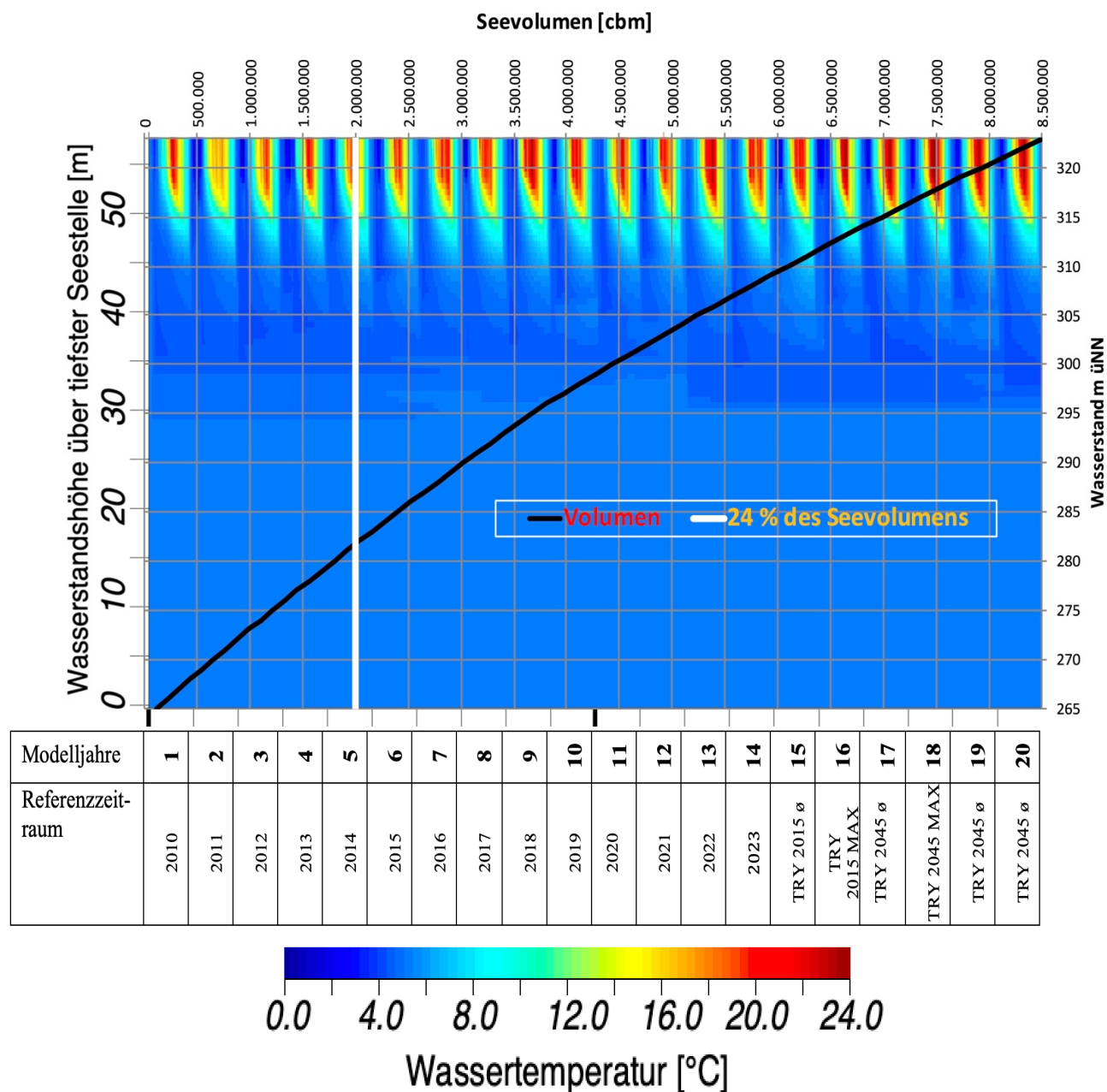


Abbildung 6.9: Temperatursimulation von Planfall 2

Für die drei Szenarien Nullfall, Planfall 1 & 2 berechnet das Modell Wassertemperaturen im Epilimnion (3 m Wassertiefe = 320 m Seespiegelhöhe) von 22 bis 24,5 °C im Maximum und von 0 bis 2 °C im Minimum (vgl. Abbildung 6.10).

Diesbezüglich ergeben sich keine Unterschiede, auch ist generell eine Zunahme der Wassertemperatur als Folge des Klimawandels (Zukunftsreferenzdaten) um ca. 2° C zu erkennen.

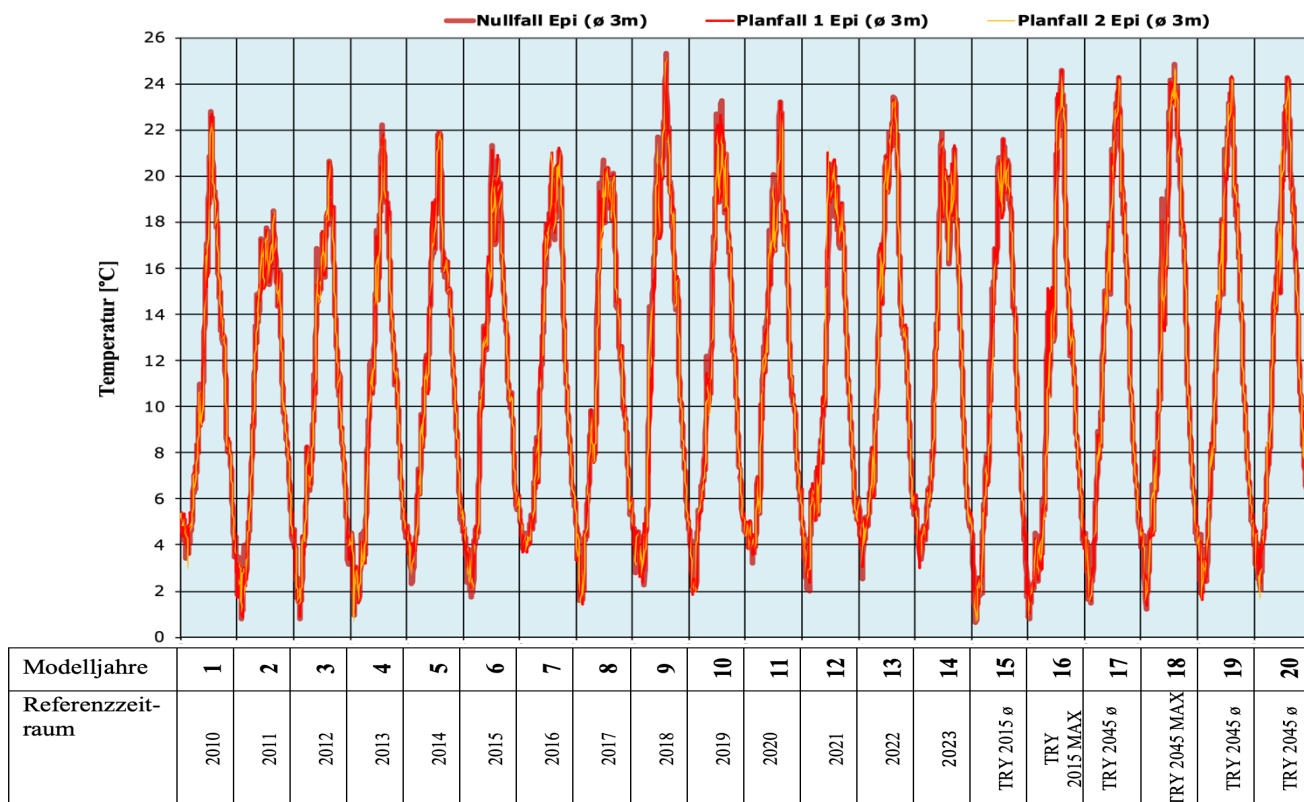


Abbildung 6.10: Simulationswerte der Wassertemperatur der Varianten Nullfall, Planfall 1 und Planfall 2 im Epi-limnion

Unterhalb von 20 m Wassertiefe treten nur noch sehr geringe Temperaturschwankungen auf (vgl. Abbildung 6.11).

In der Tiefenstufe von 20 m (Metalimnion) ist die Amplitude im Planfall 2 noch am stärksten ausgeprägt. Nullfall und Planfall 1 weisen einen ähnlichen Amplitudengang auf.

In 40 m Wassertiefe und in 3 m über Grund, dies entspricht im Nullfall und im Planfall 1 einer Tiefe von 257 m ü.NN und im Planfall 2 einer Tiefe von 268 m ü. NN, sind kaum noch Wasservermischungsprozesse zu erkennen.

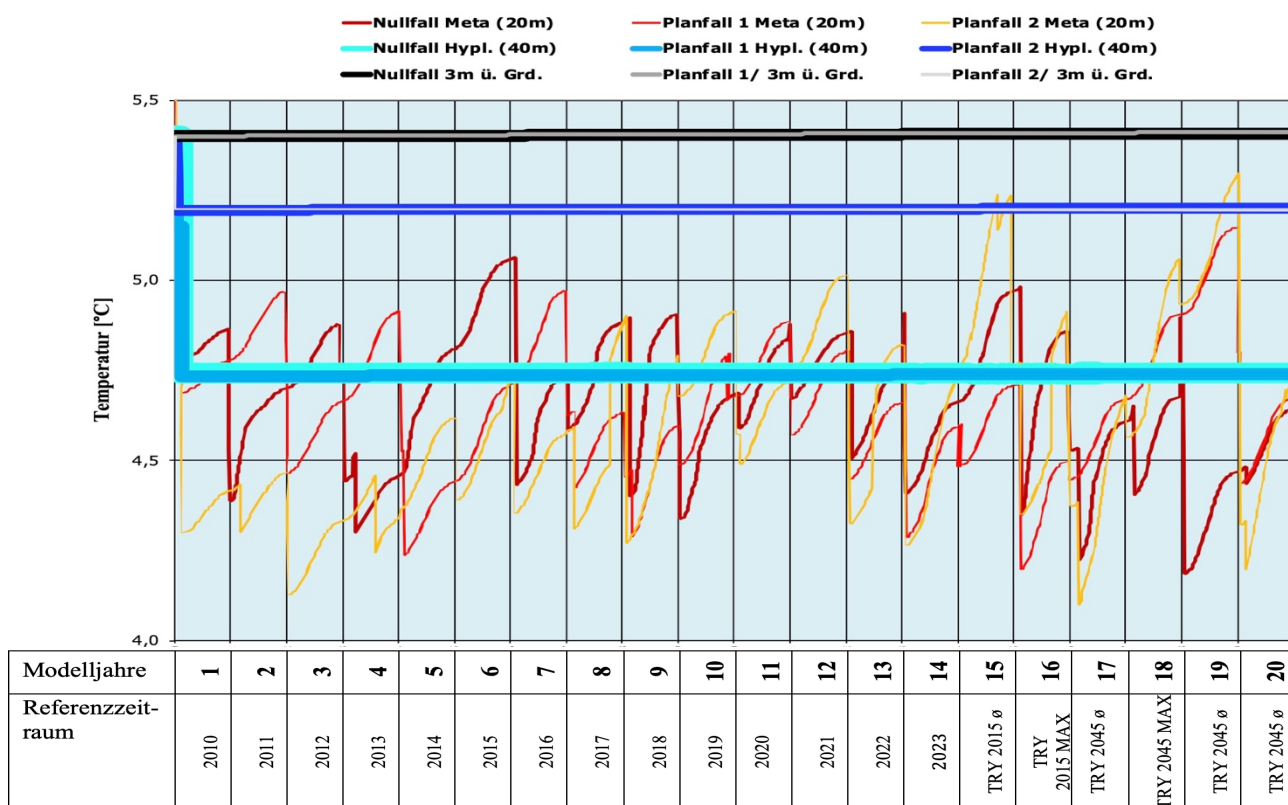


Abbildung 6.11: Simulationswerte der Wassertemperatur in drei Tiefenstufen des Meta- und Hypolimnions

Analog zum Vorgehen im Nullfall wird auch für die beiden Planfälle das Vermischungsverhalten im tiefen Wasserkörper mit einem virtuellen Tracer im Modell untersucht. Die Mächtigkeit der jeweils mit dem virtuellen Tracer zu Beginn des Simulationslaufes (1. Modelljahr) gekennzeichneten Wasserschicht über Grund ist für den oben schon beschriebenen Nullfall und die beiden Planfälle in der Tabelle 6.5 angegeben.

Tabelle 6.5: Mächtigkeiten der Tracer markierten Wasserschicht über Grund

Wasserspiegel MW 323 m ü.NN	Lage der See- sohle	Beginn der tracemar- kierten Schicht	Ende der tracemar- kierten Schicht	Mächtig- keit	Volumen der Schicht
Einheit	m ü. NN	m ü. NN	m ü. NN	m	m <sup>3</sup>
Nullfall	254	254	274	20	150.782
Planfall 1 [Tmax= 69 m]	254	254	274	20	1.102.629
Planfall 2 [Tmax= 58 m]	265	265	274	9	987.410

Die Simulation mittels Zugabe eines virtuellen Tracers (vgl. Abbildung 6.12) zeigt, dass wie beim Nullfall auch im Planfall 1 mit der Entstehung einer Meromixis (vgl. Fußnote 2 auf Seite 34) zu rechnen ist.

Die tiefere, meromiktische Wasserschicht bleibt allerdings, wie anhand der Volumenkurve zu erkennen ist, auf einen Abgrabungstrichter mit ca. 10 m Untiefe beschränkt. Die Wasserschicht in diesem Bereich kann sich über den gesamten Beobachtungszeitraum von 20 Jahren nicht auflösen bzw. in das darüber liegende Wasservolumen einmischen.



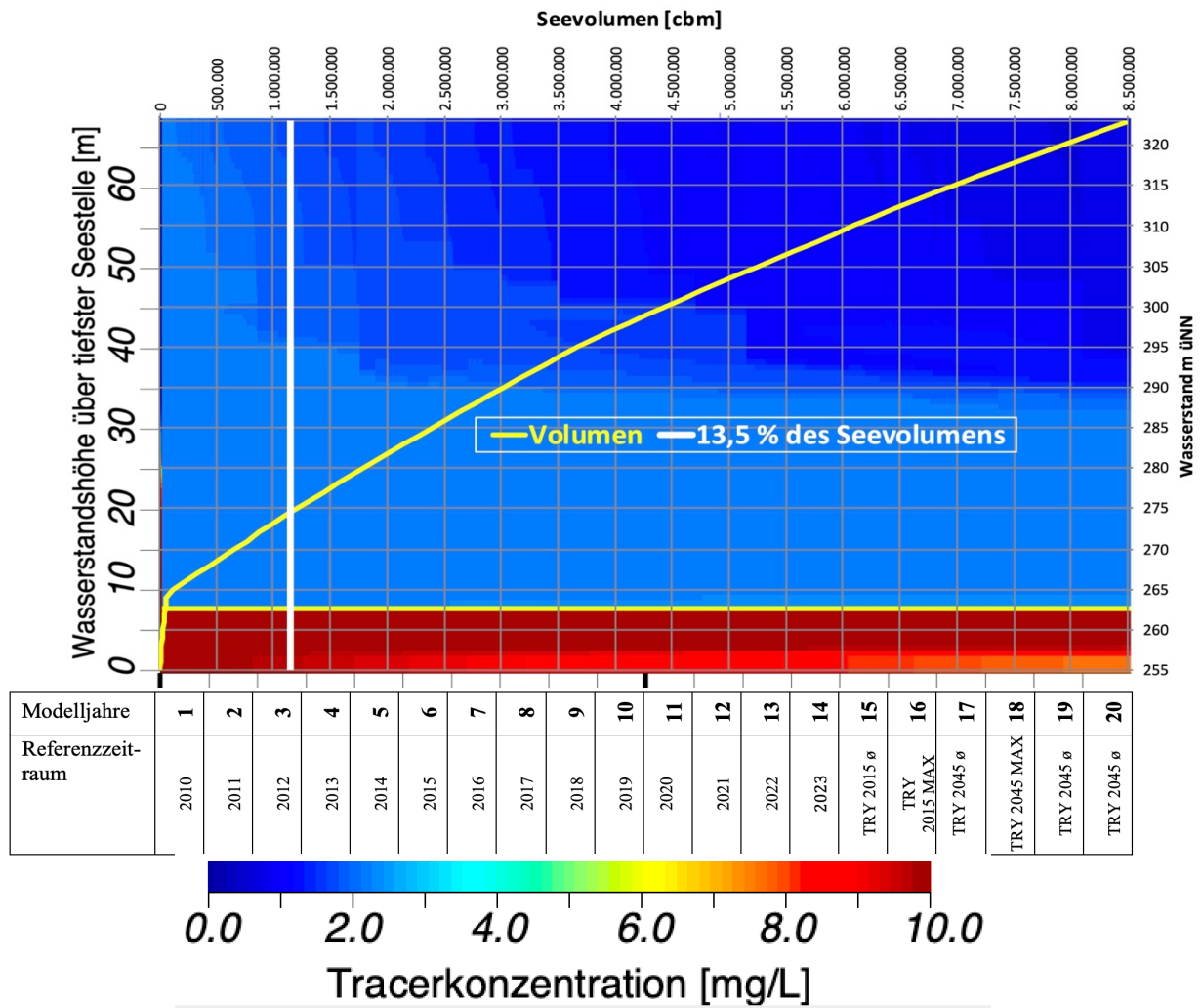


Abbildung 6.12: Tracer-Simulation zur Darstellung des Zirkulationsverhaltens im Planfall 1

Im Planfall 2 ist mit einer deutlich stärkeren Zirkulationseinbindung der grundnahen Wasserschicht zu rechnen (vgl. Abbildung 6.13).

Dies liegt in erster Linie daran, dass der See infolge der Verfüllung von Untiefen befreit ist und über einen sehr flachen Seeboden verfügt. Die Ausgestaltung des Sees entsprechend Planfall 2 verursacht folglich erhebliche Verbesserungen im Hinblick auf das Zirkulationsverhalten des Sees.

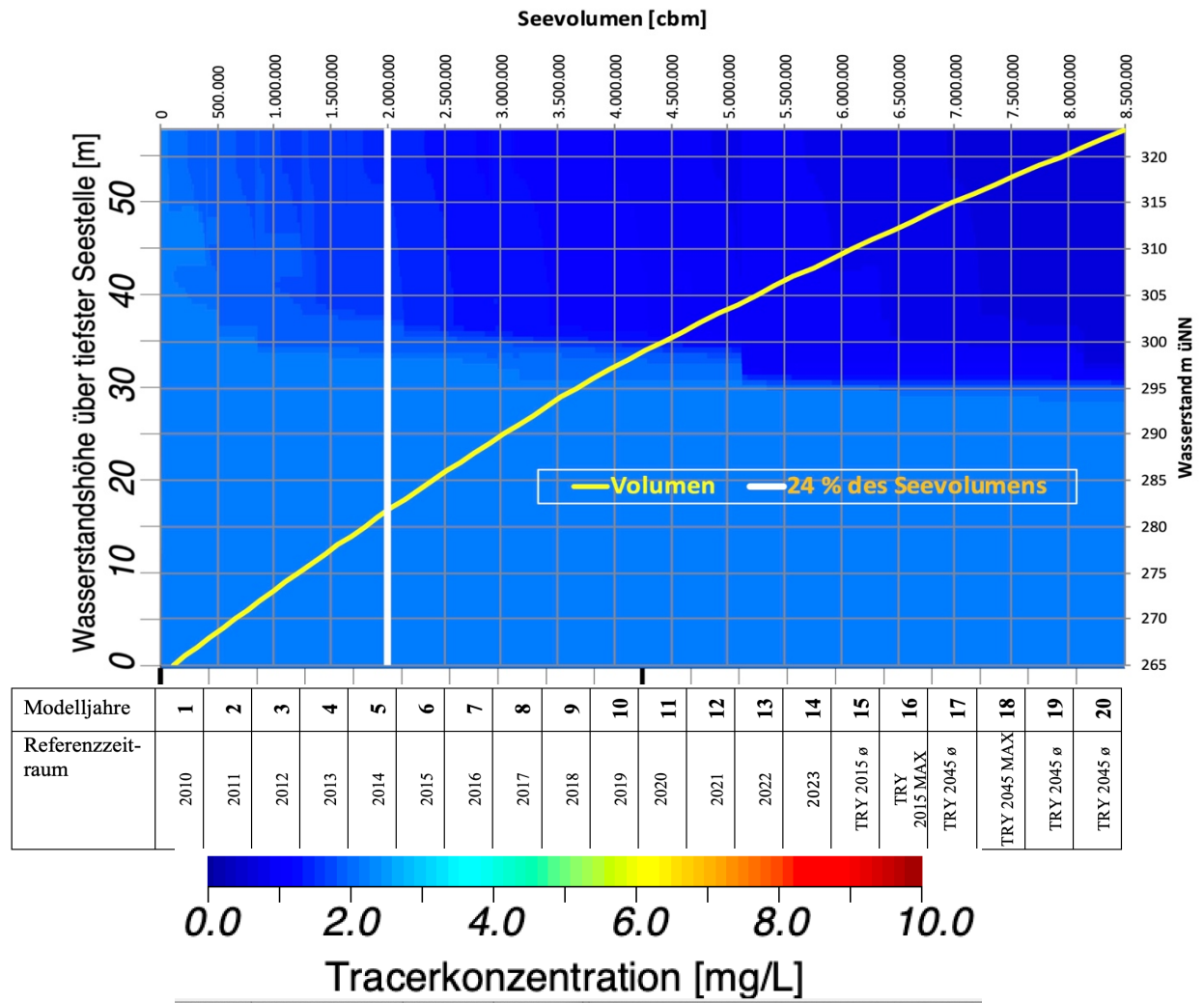


Abbildung 6.13: Tracer-Simulation zur Darstellung des Zirkulationsverhaltens im Planfall 2

### 6.2.3 Optimierungsvarianten

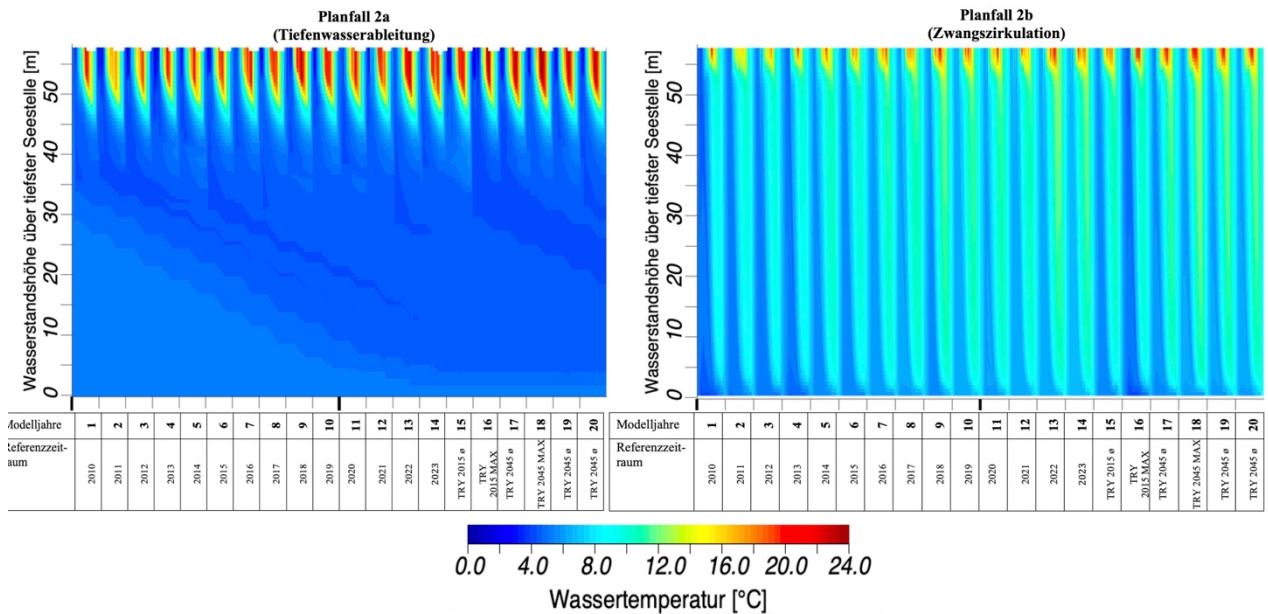
Zur weiteren Verbesserung der Gewässergüte bei Umsetzung des Planfalls 2 werden die Auswirkungen von zwei Optimierungsvarianten (vgl. Kapitel 2) auf den Temperaturhaushalt und das Zirkulationsverhalten untersucht:

**Tabelle 6.6: Optimierungsvarianten für Planfall 2**

Wasserspiegel MW 323 m ü.NN	Maßnahme	Seesohle [m. ü.NN]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Planfall 2a	Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr	265	197.955	59	8.520.324
Planfall 2b	Zwangszirkulation mit- tels Rührwerk	265	197.955	59	8.405.105

Wie der Abbildung 6.14 zu entnehmen ist, führen zwar beide Maßnahmen zu einer verstärkten Wasserzirkulation im See, wobei jedoch deutlich bessere Effekte durch die Zwangszirkulation (Planfall 2b) erreicht werden.

Durch diese Maßnahme kommt es zu einer alljährlichen Vollzirkulation des Wasserkörpers und zu einer Verringerung sowohl der Maximal- wie auch der Minimaltemperaturen. Auch im Hinblick auf die Dämpfung der Ablauftemperaturen in den Elbach, dessen Temperaturhaushalt damit deutlich weniger beeinflusst wird, ist dies als positiv zu bewerten.



**Abbildung 6.14: Simulation der Temperaturen für den Planfall 2a (Tiefenwasserableitung) und 2b (Zwangszirkulation)**

Die positiven Auswirkungen des Planfalls 2b zeigt auch das Modellergebnis für die Wassertemperaturen im Epilimnion (vgl. Abbildung 6.15). Im epilimnischen Wasserkörper (ø 3 m WT) sind zwischen den Varianten Planfall 2 (Sohlaufhöhung) und Planfall 2a (Sohlaufhöhung + Tiefenwasserableitung) keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Demgegenüber sticht der Planfall 2b (Sohlaufhöhung + Zwangszirkulation) deutlich hervor. Die sommerlichen Wassertemperaturen sind erheblich, um ca. 4°C, geringer als bei Planfall 2 und Planfall 2a.

Ebenfalls im positiven Sinn güterelevant ist die Anhebung der winterlichen Temperaturen um ca. 2,5 bis 3 °C.



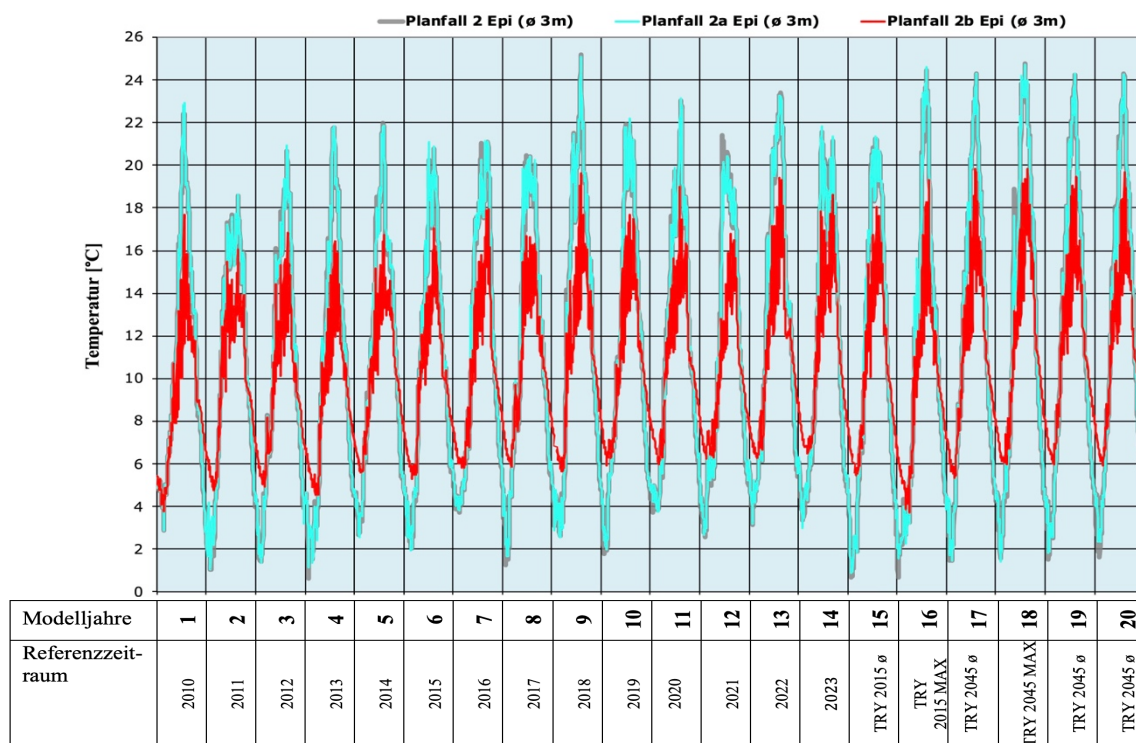


Abbildung 6.15: Simulationswerte der Wassertemperatur im Epilimnion für Planfall 2, 2a und 2b

In den tieferen Wasserschichten werden die Vorteile der Variante Planfall 2b noch deutlicher (vgl. Abbildung 6.16). Während beim Planfall 2a nur mit einer geringen Verbesserung der Temperaturverhältnisse und des Zirkulationsverhaltens zu rechnen ist, ergeben sich durch die Zwangszirkulation beim Planfall 2b massive Verbesserung des Temperaturhaushaltes und Einschichtungsverhaltens. Nur diese Variante kann eine Vollzirkulation des Wasserkörpers gewährleisten.

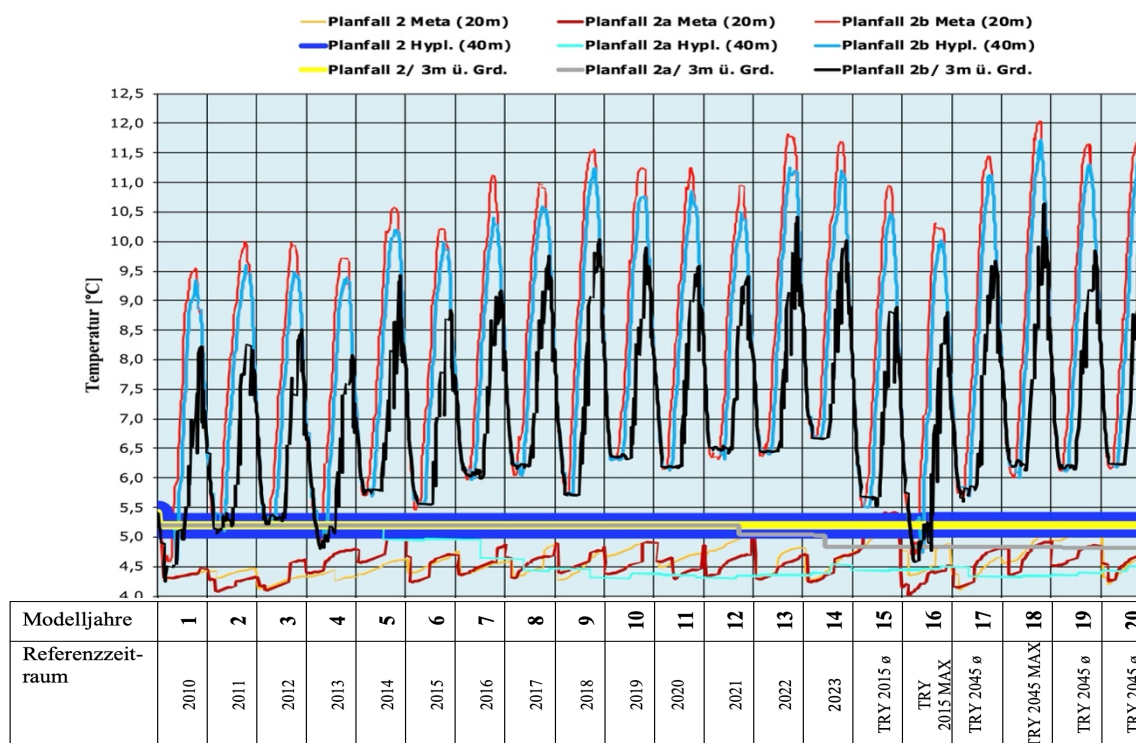


Abbildung 6.16: Simulationswerte der Wassertemperatur im Meta- und Hypolimnion für Planfall 2, 2a und 2b

## 6.3 Sauerstoffhaushalt des Wasserkörpers

### 6.3.1 Nullfall

Die Prognosen des Sauerstoffhaushaltes weisen das entstehende Gewässer im Nullfall als einen See mit sehr stark überformten Sauerstoffhaushalt aus (vgl. Abbildung 6.17). Aufgrund des ungünstigen Zirkulationsverhaltens stellt sich ein dauerhaftes Sauerstoffdefizit ab einer Tiefe von 30 m (295 m ü.NN) ein. Dies entspricht ca. 20 % des gesamten Wasservolumens und 56,5 % der Gewässertiefe.

Das Güteziel, demzufolge im Sommerhalbjahr höchstens 30% der Wassersäule über Grund sauerstoffarm ( $O_2$ -Gehalt  $< 2\text{mg/L}$ ) sein sollten, kann demnach bei weitem nicht erreicht werden.

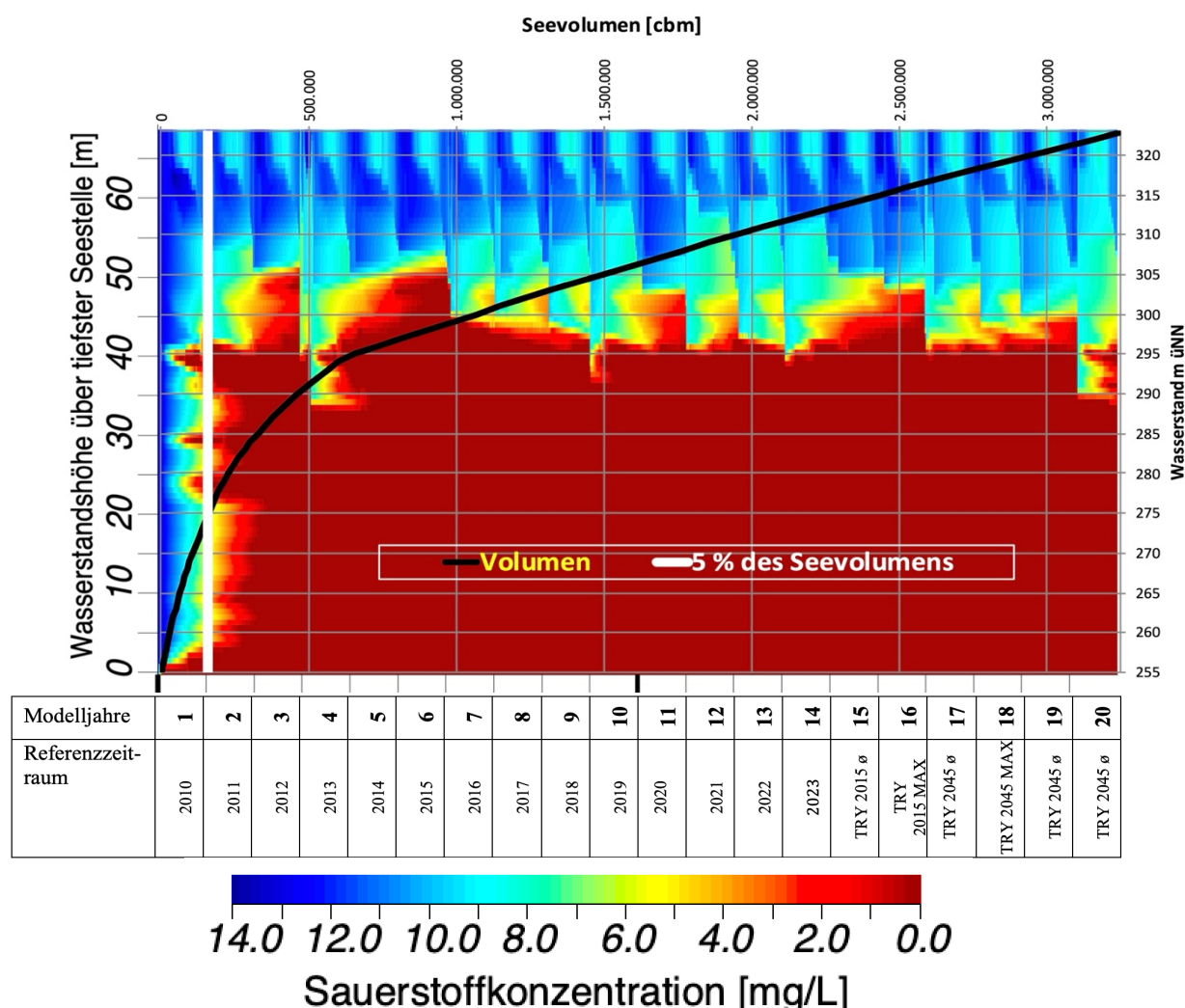


Abbildung 6.17: Simulation der Sauerstoffgehalte im Nullfall

Hinsichtlich des Sauerstoffhaushaltes ist folglich von einer massiven Überformung im Nullfall auszugehen.

### 6.3.2 Planfall 1 und Planfall 2

Auch für die beiden Erweiterungsvarianten Planfall 1 (vgl. Abbildung 6.18) und Planfall 2 (vgl. Abbildung 6.19) prognostiziert das Modell eine sehr ungünstige Entwicklung der

Sauerstoffverhältnis. Nach der Erweiterung wird sich ebenfalls eine ganzjährig sauerstofffreie Tiefenwasserzone ausbilden, die über 50 % der Wassertiefe ausmacht und damit der gesetzten Orientierungsgröße (Ausdehnung maximal 30%) nicht entspricht.

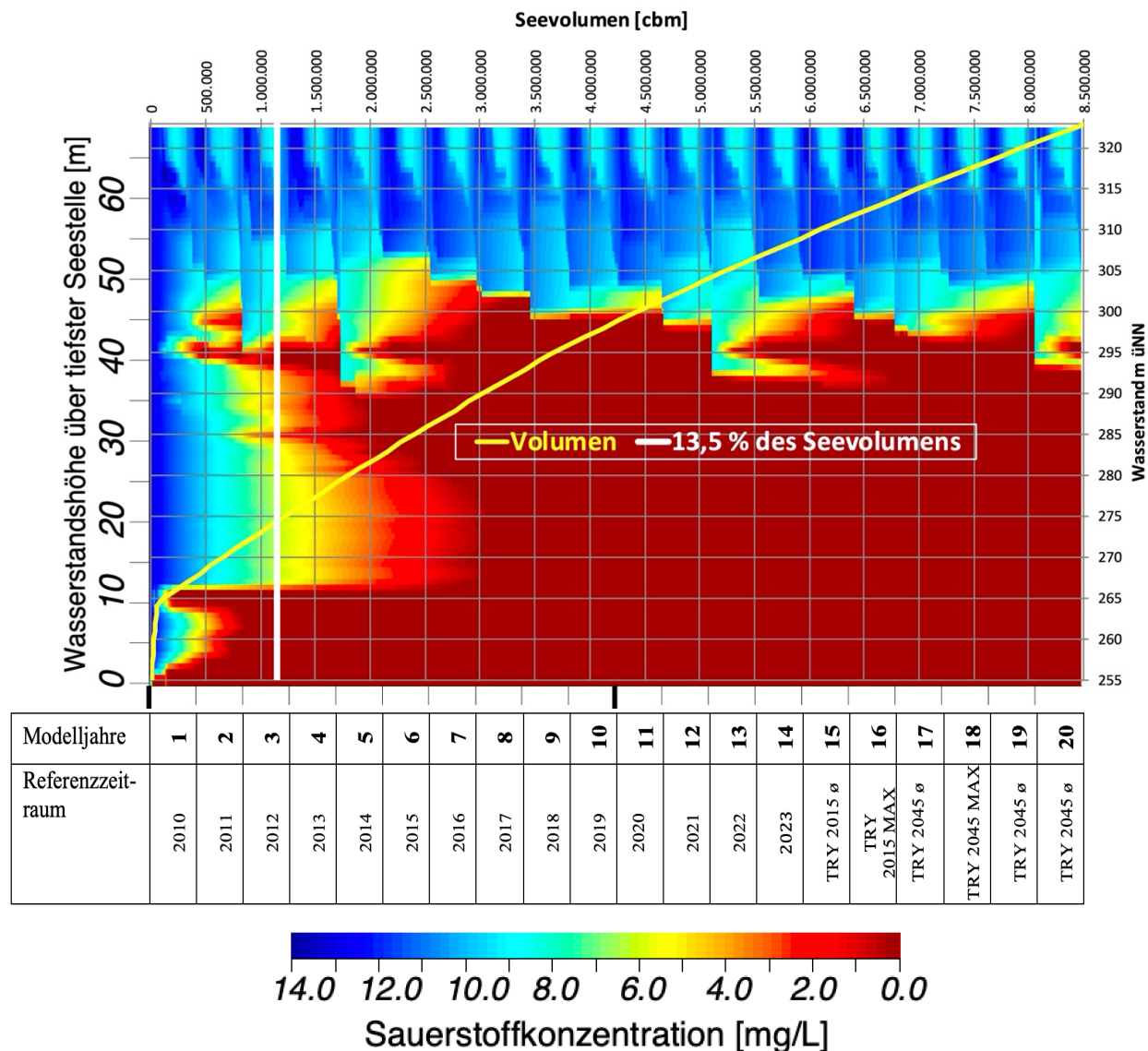


Abbildung 6.18: Simulation der Sauerstoffgehalte im Planfall 1

Allerdings ist eine geringfügige bessere Entwicklung des Sauerstoffhaushaltes gegenüber dem Nullfall zu erkennen. Dabei weist der Planfall 2 infolge der Sohlhebungen die am wenigsten schlechte Sauerstoffsituation auf.

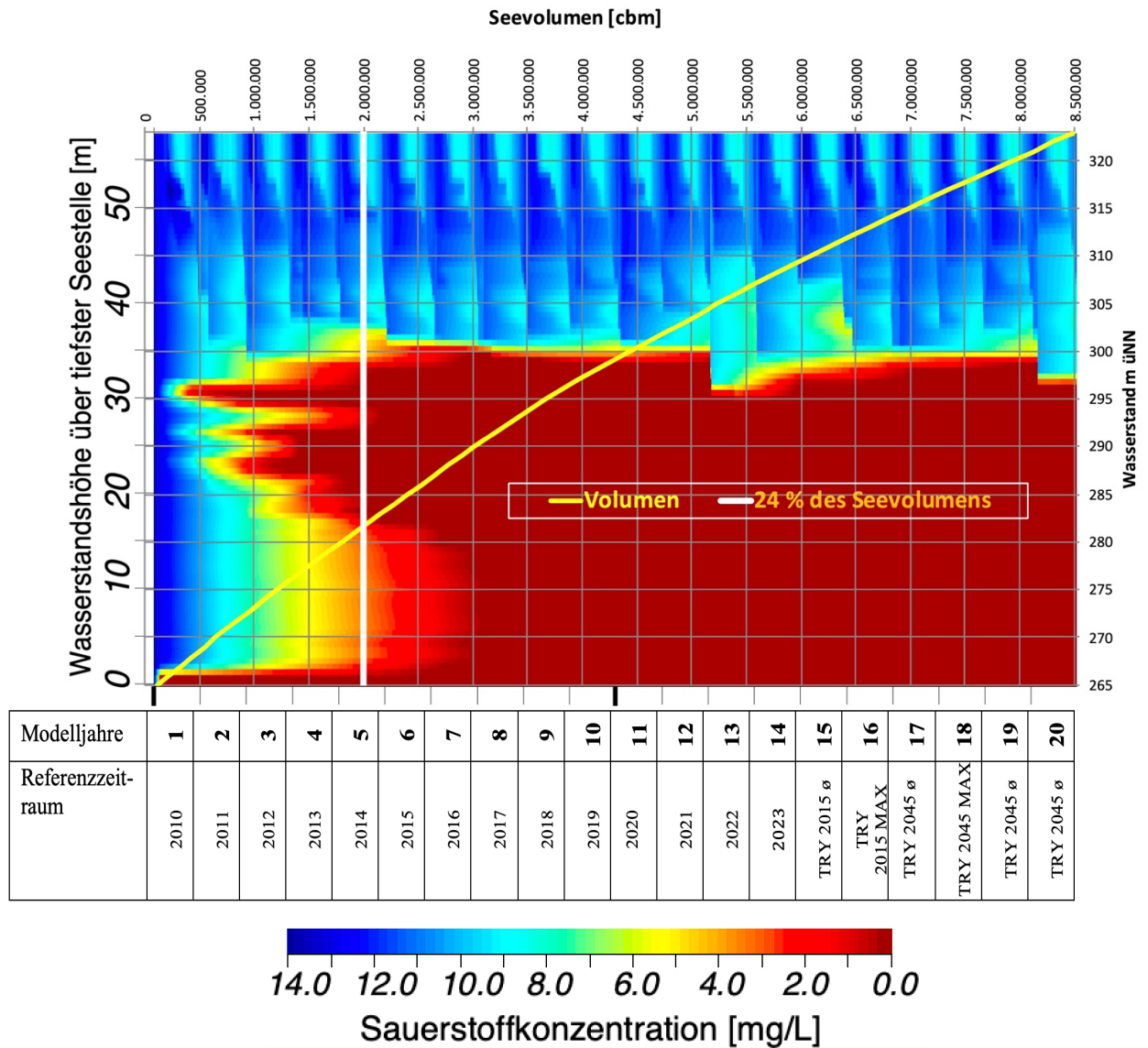


Abbildung 6.19: Simulation der Sauerstoffgehalte im Planfall 2

### 6.3.3 Optimierungsvarianten

Mit der Umsetzung der beiden Optimierungsvarianten (vgl. Kapitel 2) sind Verbesserungen der Sauerstoffverhältnisse zu erzielen. Auch die Tiefenwasserableitung (Planfall 2a) trägt dazu bei, sie erreicht aber nicht das Ausmaß der deutlich positiveren Effekte, die sich durch eine Zwangszirkulationsanlage (Planfall 2b) ergeben (vgl. Abbildung 6.20).

Die Wirksamkeit der Tiefenwasserableitung entsteht dadurch, dass der Großteil des Wasseraustauschs (90%) über den Tiefenablass erfolgt und der Entnahmezeitraum auf die Sommermonate mit den potentiell höchsten Sauerstoffdefiziten beschränkt bleibt. Die geringe Effizienz dieser Maßnahme liegt an der sehr geringen Wasseraustauschrate. Bei einer Wasserverweilzeit von 20-25 Jahren werden jährlich nur 4-5 % des Wasservolumens ausgetauscht. Diese Austauschmenge ist zum Ausgleich der Sauerstoffzehrungsrate viel zu gering.



Bei der Zwangszirkulation hingegen wird nicht sauerstoffarmes Wasser aus der Gewässertiefe abgeleitet, sondern durch Zirkulationsprozesse sauerstoffreiches Wasser von der Seeoberfläche in die Tiefe transportiert. Dies reicht aus, um die durch Zehrungsprozesse entstehenden Sauerstoffdefizite auf einen geringmächtigen Bereich unmittelbar über Grund zu beschränken.

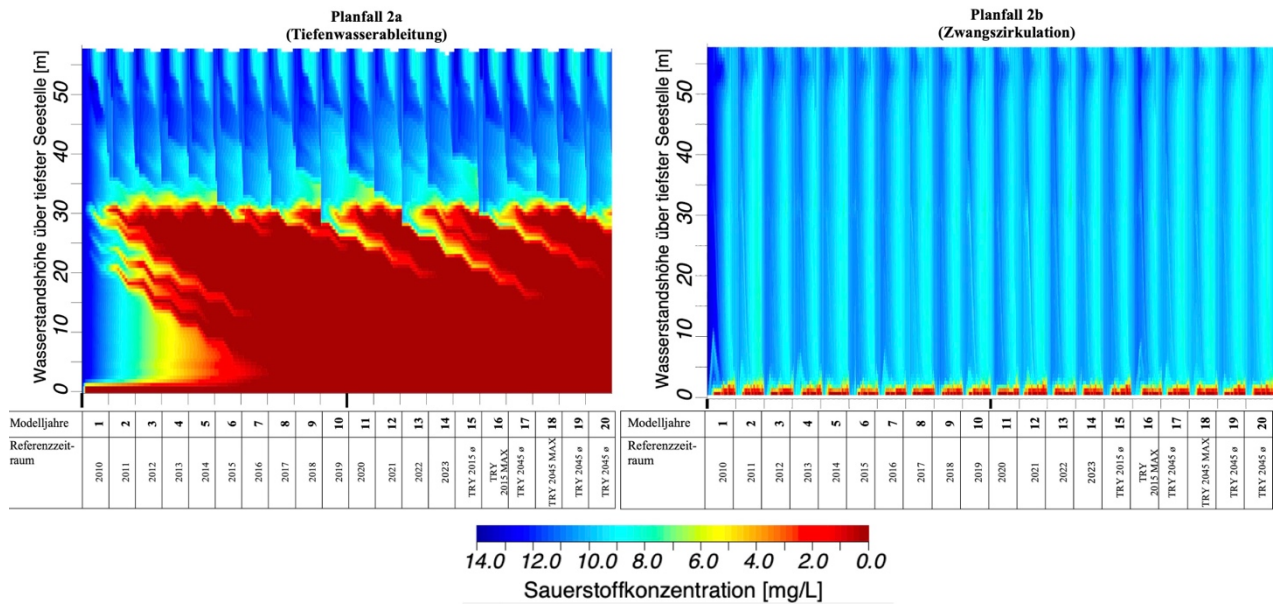


Abbildung 6.20: Simulation der Sauerstoffwerte für Planfall 2a (TWA) und Planfall 2b (Zwangszirkulation)

Ein Vergleich der Prognosewerte für alle fünf Untersuchungsvarianten zeigt, dass dem Güteziel (maximale Ausdehnung der sauerstoffarmen Wasserschicht über Grund  $\leq 30$  % der Wassertiefe) nur mit der Optimierungsvariante Planfall 2b entsprochen werden kann. Für die anderen vier Varianten ist langfristig von dauerhaft sauerstoffarmen ( $O_2 < 2\text{mg/L}$ ) Verhältnissen im Hypolimnion auszugehen. Auch in den winterlichen Zirkulationsphasen erfolgt kein ausreichend starker Sauerstoffeintrag in die Gewässertiefe.

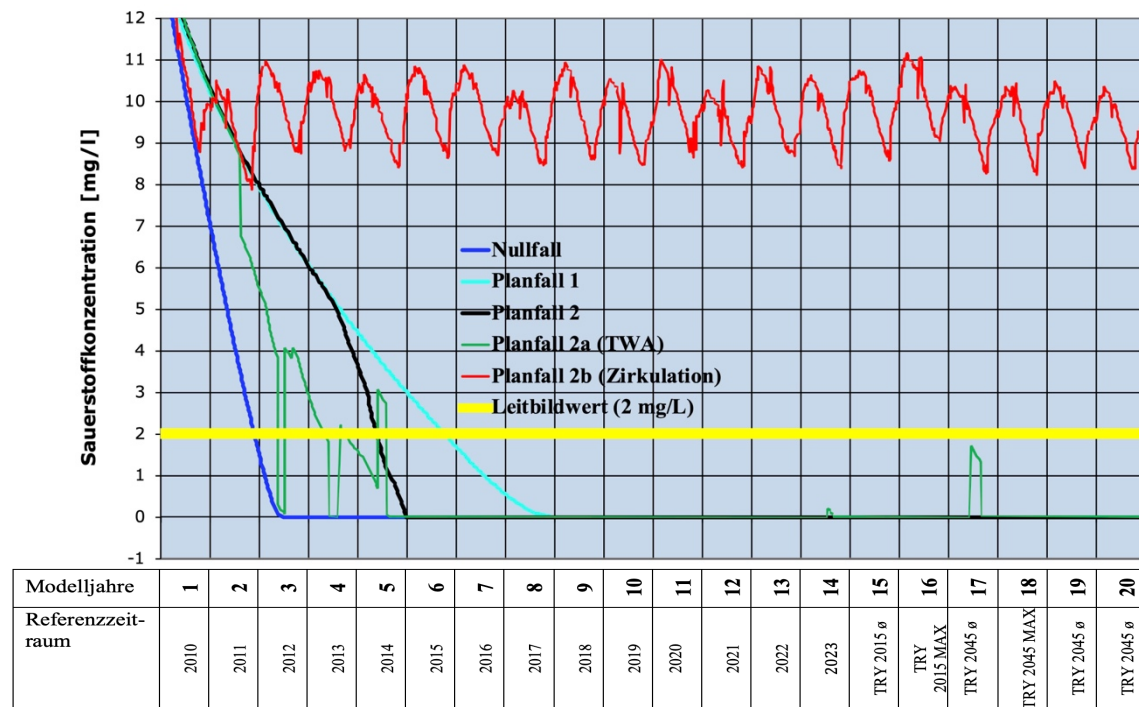


Abbildung 6.21: Simulationswerte der Sauerstoffgehalte im Hypolimnion für die fünf Untersuchungsvarianten

Aus der zusammenfassenden Bewertung in Tabelle 6.7 ist ersichtlich, dass nur im Planfall 2b hinsichtlich Zirkulationsverhalten und Sauerstoffhaushalt ein guter Zustand erreicht wird. Ohne Zusatzmaßnahmen bildet sich sowohl im Nullfall als auch in beiden Planfällen ein stark defizitärer Sauerstoffhaushalt aus.

**Tabelle 6.7: Bewertung der Entwicklung des Sauerstoffhaushaltes für die geprüften 5 Varianten**

Bezeichnung	Maßnahme	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Bewertung
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	108.126	69	3.263.923	5=sehr stark defizitär
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlanhebung	197.955	69	8.520.324	5=sehr stark defizitär
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlanhebung durch Auffüllung	197.955	58	8.405.105	5=sehr stark defizitär
Planfall 2a	Zusätzlich Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr	197.955	59	8.405.105	4=defizitär
Planfall 2b	Zusätzlich Zwangszirkulation mittels Rührwerk	197.955	59	8.405.105	1= sehr gut

Bewertung: 1= sehr gut; 2= gut ; 3= weitgehend leitbildkonform; 4=defizitär; 5=sehr stark defizitär

## 6.4 Phosphorgehalte im Wasserkörper

Phosphor kommt in der Gewässerökologie eine zentrale Bedeutung zu. Phosphor (P) selbst ist unschädlich, 1 Gramm P kann aber das Algenwachstum in so starkem Maße fördern, dass für die Mineralisierung der Algendetritus eine große Menge an Sauerstoff (112 Gramm) verbraucht wird.

Neben den Sauerstoffdefiziten kann es durch Algen auch zu Geruchsproblemen, Wasserverfärbungen und, beim Auftreten von Blaualgen (Cyanobakterien), auch zu starken Veränderungen der Wasserqualität durch Ausscheidung von Giftstoffen kommen.

Die Phosphorwerte des Seewassers erreichen nach der Befüllung des Beckens analog zu den moderaten bis leicht erhöhten ortho-Phosphat- und Phosphorgehalten im Grundwasser und im Oberflächenzufluss und entsprechend der hohen Wasserverweilzeit bei den einzelnen Varianten unterschiedliche aber insgesamt nur sehr geringe Konzentrationen (vgl. Abbildung 6.22).

Für die Algenverfügbarkeit sind die Phosphorkonzentrationen vor allem im Epilimnion von Bedeutung, die generell gering sind.

Bei keiner der Varianten kommt es zu einer starken Phosphoranreicherung im Tiefenwasserkörper. Anreicherungen in der mittleren Schicht, die im Nullfall und etwas verstärkt auch im Planfall 1 & 2 auftreten, sind im Zusammenhang mit Rücklösungseffekten von sedimentgebundenem Phosphor und dem Zufluss von Oberflächenwasser sowie Grundwasser zu sehen. Das Ausmaß der Phosphorrücklösung hängt neben den Sauerstoffverhältnissen auch von der den einzelnen Tiefenstufe zuzuordnenden Seebodenfläche ab (siehe Seeflächenkurven Abbildung 2.3 bis Abbildung 2.5 auf Seite 7f).

Nur bei der Variante Planfall 2b zeigen sich infolge der Vermischungsvorgänge keine Phosphoranreicherungen in einzelnen Tiefenstufen, allerdings weist das Epilimnion mit ca. 0,01 mg/L P etwas höhere Werte auf als die anderen Varianten.

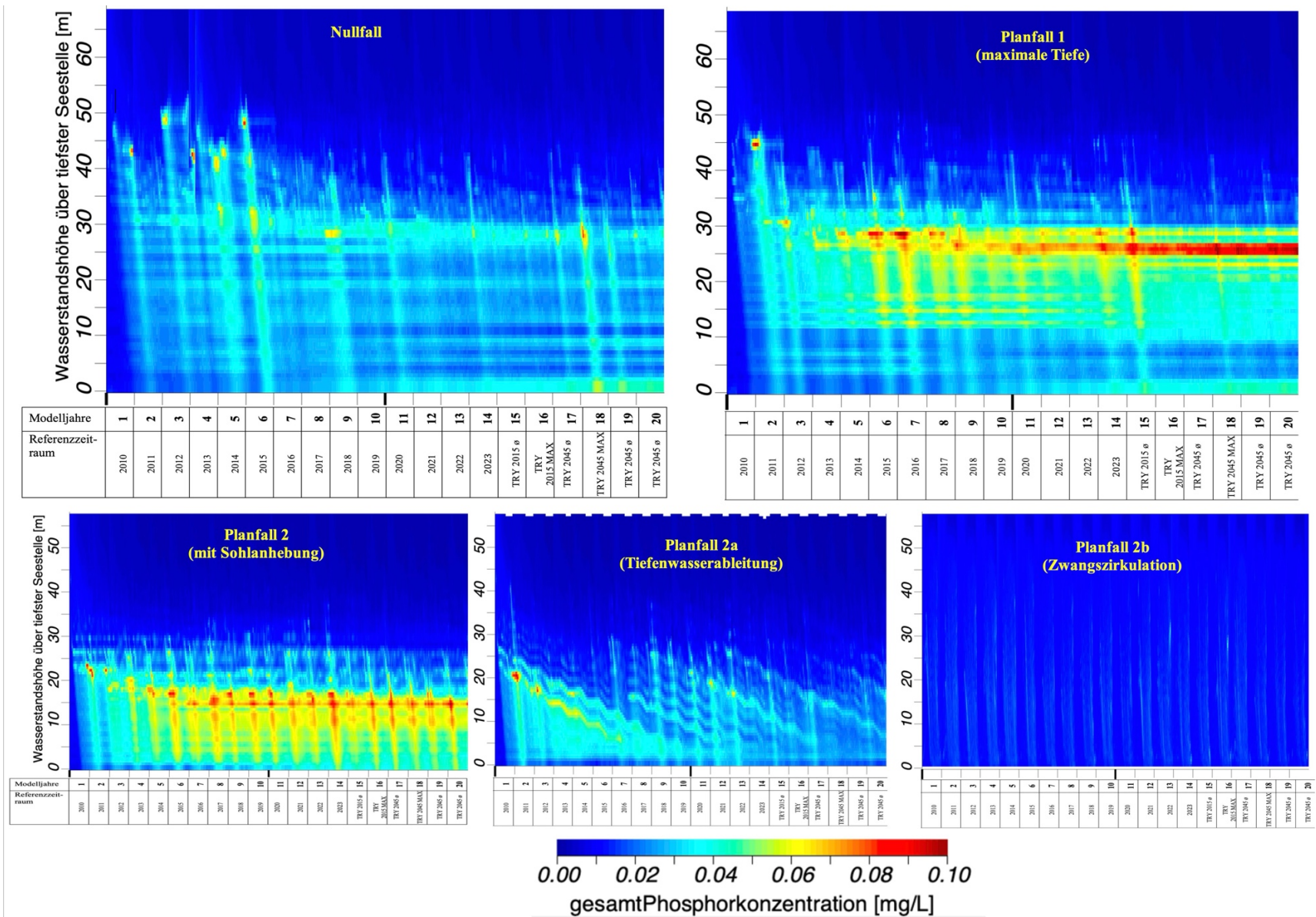


Abbildung 6.22: Phosphorsimulation für die 5 untersuchten Varianten



Der gesetzte Orientierungswert (vgl. Kapitel 3.1.1) wird stets sehr deutlich unterschritten, wie das in der Abbildung 6.23 dargestellte Simulationsergebnis zeigt. Der See tendiert zum oligotrophen Status.

Die Phosphorkonzentrationen in der trophogenen Zone unterliegen einem jahreszeitlichen Schwankungsmuster. Die Abnahme während des Simulationszeitraums ist eine Folge der etwas zu hohen Startwerte. Ein stabiles Einschwingen des Modells wird ab dem 5. Jahr erreicht.

Anhand der Modellergebnisse der Phosphorbelastung in der trophogenen Zone (0-10 m Wassertiefe) zeigt sich, dass die Optimierungsvariante Planfall 2b infolge der Einmischung phosphorreicherer Wassers aus der mittleren und unteren Tiefenzone des Sees durch die künstlich herbeigeführten Vermischungsvorgänge im oberflächennahen Wasserkörper etwas höhere Phosphorwerte aufweist als die andren Fallvarianten.

Die geringsten Phosphorwerte werden bei der Optimierungsvariante Planfall 2a erreicht. Verantwortlich hierfür ist der verstärkte Nährstoffexport durch die Ableitung des Tiefenwassers.

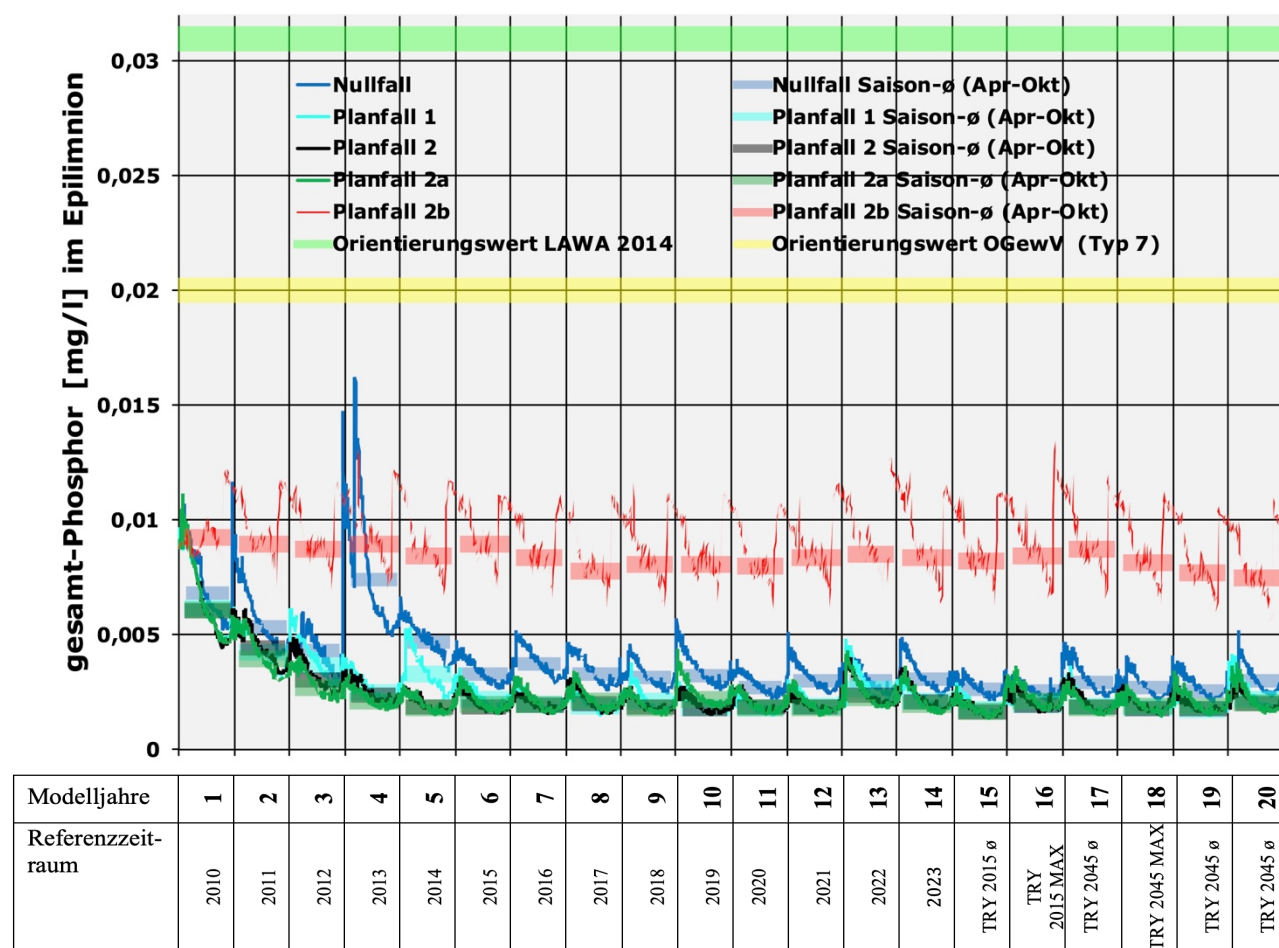


Abbildung 6.23: Simulation der Phosphorgehalte in der trophogenen Zone unter Bezug auf den leitbildkonformen Zielwert für die Fallvarianten



Zusammenfassend ist festzuhalten, dass alle Fallvarianten die Orientierungswerte sehr deutlich erreichen, so dass hinsichtlich der Phosphorwerte eine sehr gute Wasserbeschaffenheit zu erwarten ist (vgl. Tabelle 6.8).

**Tabelle 6.8: Bewertung der Entwicklung der Phosphorgehalte für die geprüften 5 Varianten**

Bezeichnung	Maßnahme	Phosphorgehalte Saisonmittel [mg/L]	OGewV Orientierungswert	Volumen [m³]	Bewertung
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	<b>0,004</b>	0,02 mg/L	3.263.923	<b>1= sehr gut</b>
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlanhebung	<b>0,002</b>		8.520.324	<b>1= sehr gut</b>
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlanhebung durch Auffüllung	<b>0,002</b>		8.405.105	<b>1= sehr gut</b>
Planfall 2a	Zusätzlich Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr	<b>0,002</b>		8.405.105	<b>1= sehr gut</b>
Planfall 2b	Zusätzlich Zwangszirkulation mittels Rührwerk	<b>0,008</b>		8.405.105	<b>1= sehr gut</b>

Bewertung: 1= sehr gut; 2= gut ; 3= weitgehend leitbildkonform; 4=defizitär; 5=sehr stark defizitär

## 6.5 Chlorophyll-a Gehalte im Seewasser

Aufgrund der sehr geringen Phosphorgehalte im Seewasser bleibt auch die Planktonentwicklung begrenzt (vgl. Abbildung 6.24).

Auch hier sind die Anfangswerte zu Beginn der Simulation infolge der recht hohen Werte der Startkonfiguration erhöht. Ab den 3. Modelljahr stellt sich dann ein stabiler Gleichgewichtszustand ein.

Aufgrund der hohen Sichttiefen des Seewassers (vgl. Kapitel 6.6) und der in Kapitel 6.4 beschriebenen Phosphoranreicherungen in der mittleren Tiefenschicht entwickeln sich bei den Fallvarianten Nullfall, Planfall 1 und 2 sowie Planfall 2a in einer Tiefe von 20-40 m höhere Algendichten. Diese sind aber immer noch so gering, dass von einem oligotrophen Zustand gesprochen werden kann und damit die mesotrophe Orientierungsgröße sogar übertroffen wird.

Bei dem Planfall 2b (künstliche Zirkulation des Wasserkörpers) kommt es durch die Vermischungsvorgänge zu einer Gleichverteilung der Nährstoffgehalte, so dass die Algenentwicklung und damit die Chlorophyll-a Werte analog zu den besseren Lichtverhältnissen in der oberflächennahen Wasserschicht am höchsten sind.

Prognose der Wasserqualität des entstehenden Sees

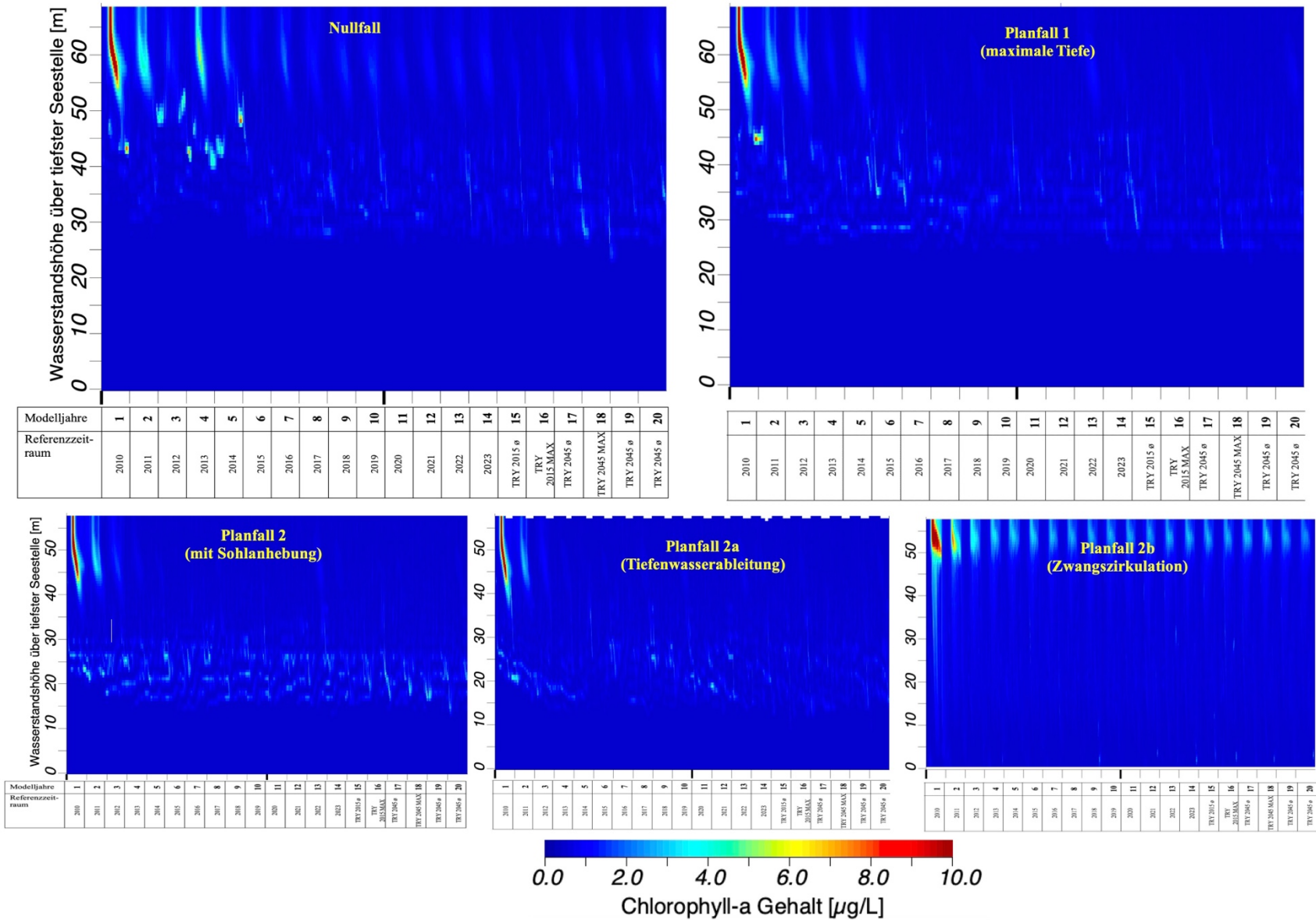
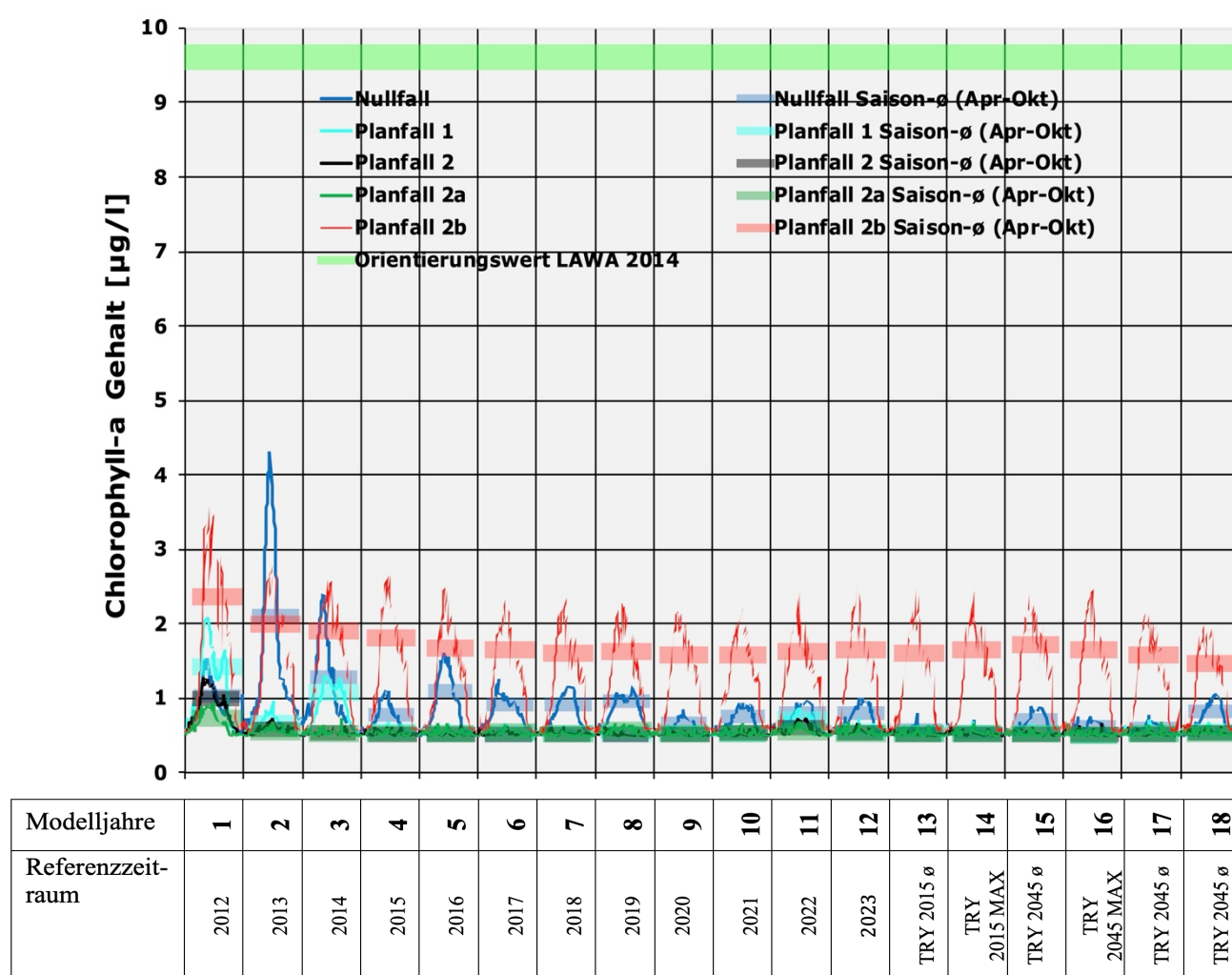


Abbildung 6.24: Phosphorsimulation für die 5 untersuchten Varianten

Bei der graphischen Darstellung der Chlorophyll-a Gehalte im Epilimnion (0-10 m) wurden die ersten beiden Jahre ausgespart, da sich zu diesem Zeitpunkt das Modell noch nicht eingeschwungen hat (vgl. Abbildung 6.25).

In dem auf 18 Jahre begrenzten Modellzeitraum ergeben sich für alle Fallvarianten Werte deutlich im Bereich der Orientierungsgröße. Dieses günstige Bild ist eine Folge der Nährstoffarmut des Gewässers.

Die Optimierungsvariante Planfall 2b weist zwar höhere Werte in der oberflächennahen Wasserschicht auf als die anderen Varianten, die Chlorophyll-a Gehalte unterschreiten aber auch bei dieser Variante sehr klar den als Orientierung gesetzten Maximalwert von 9,6 mg/L.



**Abbildung 6.25: Simulation der Chlorophyll-a Gehalte in der trophogenen Zone unter Bezug auf den leitbildkonformen Zielwert für die Fallvarianten**

Das Modell prognostiziert für sämtliche Varianten ein sehr geringes Algenaufkommen deutlich im Bereich des Orientierungswertes (vgl. Tabelle 6.9).

**Tabelle 6.9: Bewertung der Entwicklung der Chlorophyll-a Gehalte für die geprüften 5 Varianten**

Bezeichnung	Maßnahme	Chlorophyll-a Gehalte Saisonmittel [ $\mu\text{g/L}$ ]	OGewV Orientierungswert	Volumen [ $\text{m}^3$ ]	Bewertung
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	0,542	9,6 $\mu\text{g/L}$	3.263.923	1= sehr gut
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlanhebung	0,510		8.520.324	1= sehr gut
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlanhebung durch Auffüllung	0,511		8.405.105	1= sehr gut
Planfall 2a	Zusätzlich Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr	0,511		8.405.105	1= sehr gut
Planfall 2b	Zusätzlich Zwangszirkulation mittels Rührwerk	1,465		8.405.105	1= sehr gut

Bewertung: 1= sehr gut; 2= gut ; 3= weitgehend leitbildkonform; 4=defizitär; 5=sehr stark defizitär

## 6.6 Sichttiefenwerte

Die Sichttiefe hängt von der Menge der im Wasser gelösten Partikel (Trübstoffe) ab und ist ein wichtiges Maß, um die maximale Tiefe des möglichen Wasserpflanzenwachstums abschätzen zu können. In Seen ohne starke oberflächige Trübstoffeinträge wird die Sichttiefe maßgeblich von der Menge schwebender Organismen (Plankton), insbesondere von Algen, bestimmt.

Aus der im Modell ermittelten Extinktionsrate wurde die Sichttiefe in Anlehnung an HORNING (2002) nach der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Sichttiefe SD [m]} = 1,6 / (\text{Extinktionskoeffizient} \cdot \text{m}^{-1})$$

Die Optimierungsvariante Planfall 2a weist die höchsten Sichttiefenwerte auf, der Planfall 2b die geringsten (vgl. Abbildung 6.26). Alle diese Werte liegen aber bei weitem günstiger (=höher) als der geforderte Orientierungswert und sind damit stets leitbildkonform.

Bei der Optimierungsvariante Planfall 2a erfolgt durch die Tiefenwasserableitung ein vermehrter Nährstoffexport aus der Tiefenzone des Sees, so dass sich das Nährstoffangebot und das Algenaufkommen im Vergleich zu den anderen Varianten verringert und die Sichttiefe dementsprechend ansteigt.

Durch die Zwangszirkulation bei der Optimierungsvariante Planfall 2b hingegen kommt es zu einer leichten Erhöhung der Nährstoffgehalte in der durchlichteten oberflächennahen Wasserschicht, da infolge der künstlichen Zirkulationsprozesse Nährstoffe an die Wasseroberfläche transportiert werden. Dies verursacht dort ein etwas höheres Algenwachstum als bei den anderen Varianten. Trotzdem bleiben die Nährstoffgehalte auch in dieser Variante so gering, dass sich ein oligotropher Zustand einstellen kann.

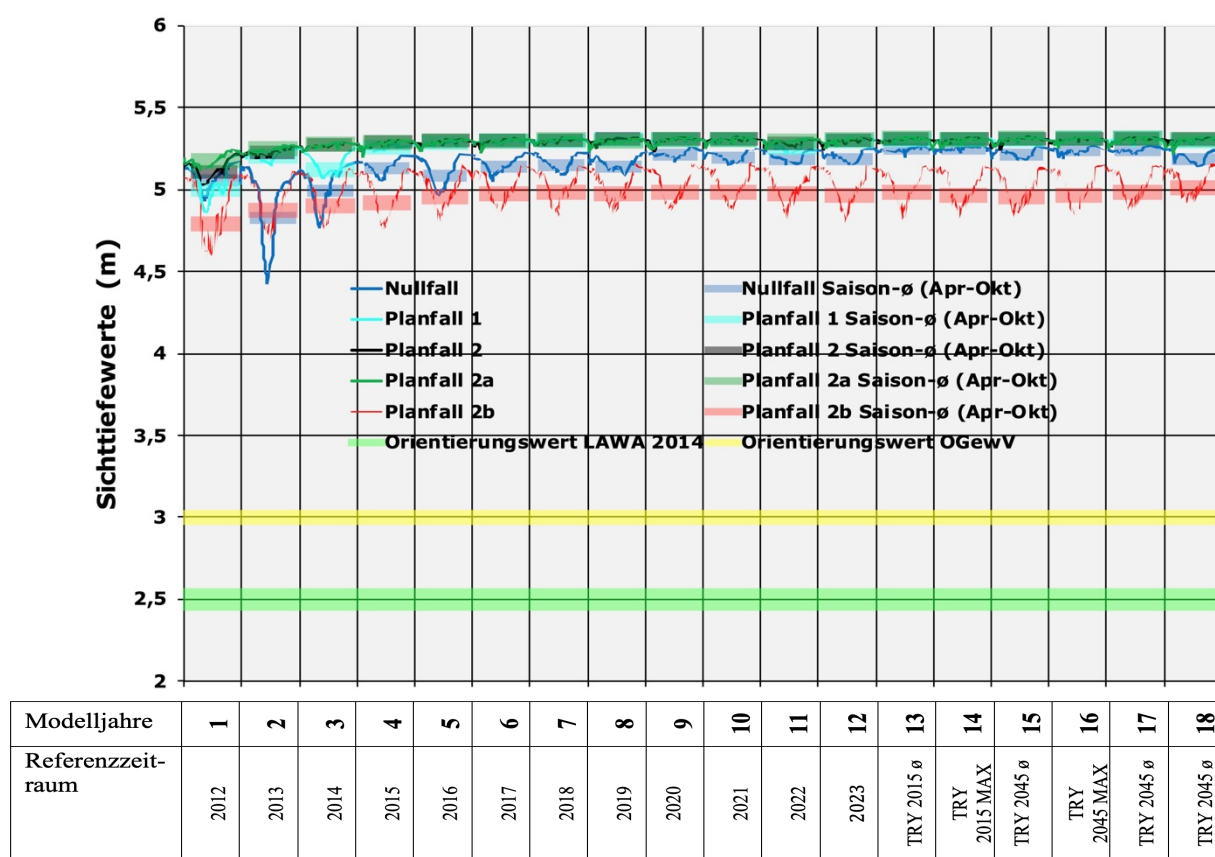


Abbildung 6.26: Simulation der Sichttiefenwerte unter Bezug auf den leitbildkonformen Zielwert für die Fallvarianten

Sämtliche Fallvarianten zeigen deutlich bessere (höhere) Sichttiefenwerte als durch den Orientierungswert gefordert, so dass generell mit positiven Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheit des Sees infolge der hohen Wassertransparenz zu rechnen ist (vgl. Tabelle 6.8).

Tabelle 6.10: Bewertung der Entwicklung der Sichttiefenwerte für die geprüften 5 Varianten

Bezeichnung	Maßnahme	ø Sichttiefe [m]	OGewV Orientierungswert	Volumen [m³]	Bewertung
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	4,4	3 m	3.263.923	1= sehr gut
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlanhebung	4,5		8.520.324	1= sehr gut
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlanhebung durch Auffüllung	4,5		8.405.105	1= sehr gut
Planfall 2a	Zusätzlich Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr	4,5		8.405.105	1= sehr gut
Planfall 2b	Zusätzlich Zwangszirkulation mittels Rührwerk	4,1		8.405.105	1= sehr gut

Bewertung: 1= sehr gut; 2= gut ; 3= weitgehend leitbildkonform; 4=defizitär; 5=sehr stark defizitär

## 7 Vorhabensbedingte Auswirkungen auf den Elbach

Da der Seeüberlauf in den Elbach gelangt, wird im Folgenden dargelegt, ob und ggf. in welcher Weise es zu einer Beeinflussung der Wasserqualität des Elbachs durch abströmendes Seewasser kommt.

Das abfließende Seewasser sollte den in der Tabelle 7.1 angegebenen Kennwerte entsprechen (vgl. auch Kapitel 3.2). Dann ergeben sich auch ohne Verdünnungseffekte durch die Vermischung mit dem vorhandenen Wasser im Elbach keinen negativen Auswirkungen für dessen Wasserqualität.

**Tabelle 7.1: Güteanforderungen für die Wasserqualität im Elbach nach OGeV (2016)**

		Statistische Kenngröße	Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential
Wassertemperatur Sommer (April-Nov.)	° C	MAX	$\leq 20$ (Sa-ER, Sa-MR) $\leq 21,5$ (Sa-HR) $\leq 23$ (Cyp-R) $\leq 25$ (EP)
Sauerstoffgehalt	mg/l	MIN/a <sup>2</sup>	$> 7$
TOC	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	$< 7$
Gesamt-Phosphor	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	$\leq 0,10$
Ammonium-N	mg/l	MW/a <sup>3</sup>	$\leq 0,1$

<sup>2</sup> Minimal- bzw. Maximalwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresminimal- bzw. -maximalwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren

<sup>3</sup> Mittelwert als arithmetisches Mittel aus den Jahresmittelwerten von maximal drei aufeinander folgenden Kalenderjahren

### 7.1 Ablaufmengen

Die abfließende Wassermenge gelangt über den Seeüberlauf in den Elbach. Die Abflusswerte in den Elbach sind in der Tabelle 7.2 aufgelistet. Das abfließende Seewasser sollte auf eine Abflussmenge von 10 bis 15 L/s begrenzt werden. Die Höhe des Freibords müsste demnach ca. 1 bis 1,5 m betragen, da der Wasserspiegel des Sees bei Starniederschlägen um diese Höhe ansteigen kann.

**Tabelle 7.2: Ablaufmengen in den Elbach**

	Ablaufmengen [L/s]			Wasseranteile [L/s]			
	Ø 20 Jahre	Minimum	Maximum	Grundwasser	Oberflächenzufluss	Ø Niederschlagsanteil	Max. Niederschlagsanteil
Nullfall	8,7	0,0	74,5	0,68	6	2,0	67,8
Planfall 1	10,4	0,0	129,9			3,7	123,2
Planfall 2	10,4	0,0	129,9			3,7	123,2
Planfall 2a	10,5	0,0	80,6			3,8	73,9
Planfall 2b	10,6	0,0	131,8			3,9	125,1



## 7.2 Wasserbeschaffenheitskennwerte

Zur Bestimmung der Beschaffenheitskennwerte des abfließenden Seewassers dienen die Prognosewerte, die in den Kapiteln 6.2 bis 6.6 dargelegt wurden und je nach Fallvariante variieren.

### 7.2.1 Wassertemperatur im Ablauf

Hinsichtlich der Wassertemperaturen (vgl. Abbildung 7.1) ergeben sich bis auf den Planfall 2a (Tiefenwasserableitung) im Sommer geringfügige Überschreitungen des für die Qualität Ablaufwassers gesetzten Orientierungswertes von maximal 21,5 °C, da der Seeablauf aus der erwärmten oberflächennahen Wasserschicht erfolgt. Um ein Aufwärmen des Elbachs zu vermeiden, sollte das Wasser im Sommer aus einer Tiefe von 6-10 Meter abgeleitet werden.

Beim Planfall 2b bestehen allerdings an der Wasseroberfläche ohnehin geringere Temperaturen, da infolge der Zwangszirkulation kühleres Tiefenwasser in das Epilimnion eingebracht wird. Dieser Effekt führt jedoch nicht zu einer ausreichend starken Abkühlung, so dass auch bei dieser Variante eine Entnahme aus 6-10 Metern Tiefe während des Sommers zu empfehlen ist. Im Planfall 2a ergibt sich durch die Entnahme des Wassers aus dem kalten Tiefenwasserkörper und seine Einleitung in den Elbach im Gegensatz zu den anderen Varianten dort potentiell eine starke Abkühlung des Bachwassers. Daher sollte vor der Einleitung des Seewassers in den Elbach eine Temperaturanhebung zum Beispiel mittels Wärmetauscher erfolgen.

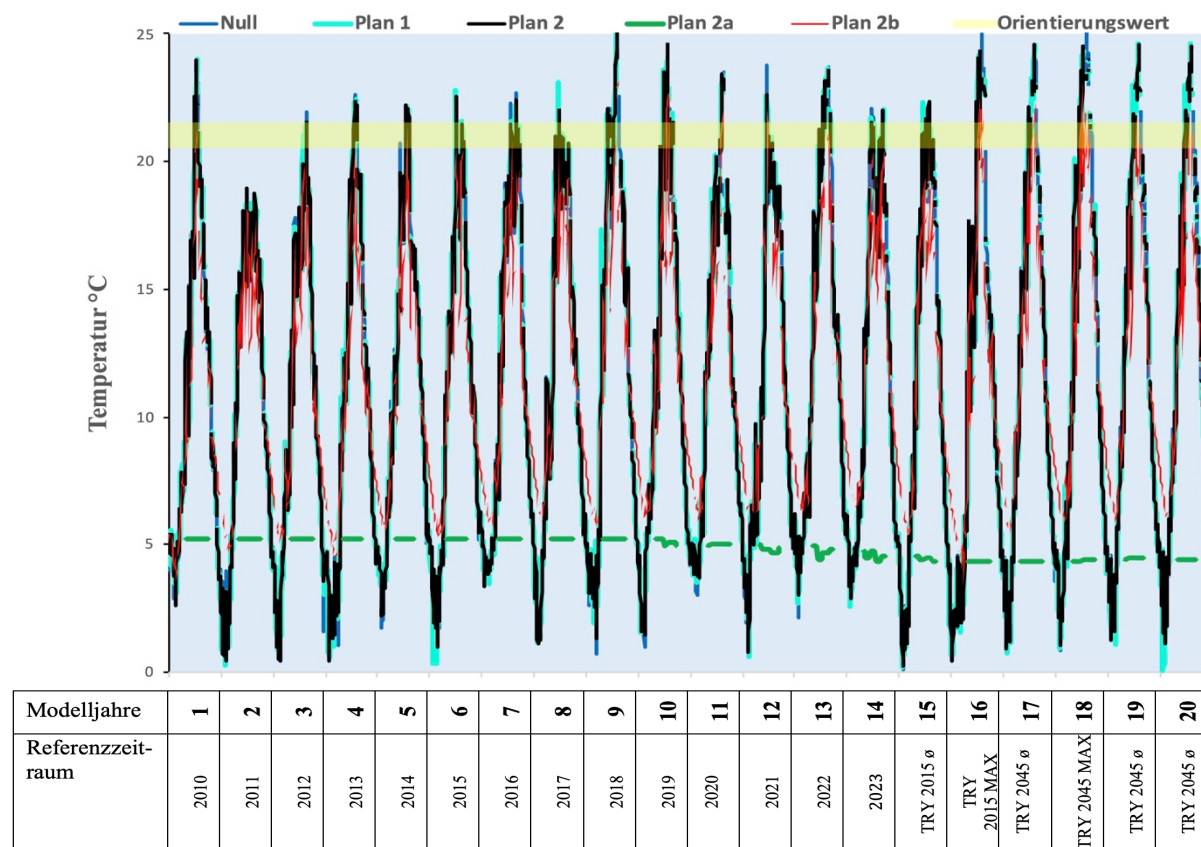


Abbildung 7.1: Wassertemperaturen im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert

## 7.2.2 Sauerstoffgehalte im Ablauf

Hinsichtlich der Sauerstoffwerte ergeben sich durch das Zuflusswasser aus dem See bis auf die Fallvariante 2a (Tiefenwasserableitung) keine Beeinträchtigungen im Elbach, da das Seewasser aus der sauerstoffreichen Zone entnommen wird (vgl. Abbildung 7.2). Auch die zur Dämpfung der Temperaturspitzen empfohlene Verlegung der Seewasserentnahme in eine Tiefe von 6-10 m (vgl. Kapitel 7.2.1) würde keine relevanten Verminderungen der Sauerstoffgehalte im Ablaufwasser verursachen.

Nur bei der Fallvariante 2a (Tiefenwasserableitung) sollte das Ablaufwasser vor der Einleitung in den Elbach oxidiert werden. Dies kann bei ausreichenden Wasserstandsdimensionen zwischen Seespiegel und Einleitpunkt mittels eines Venturi-Systems erfolgen.

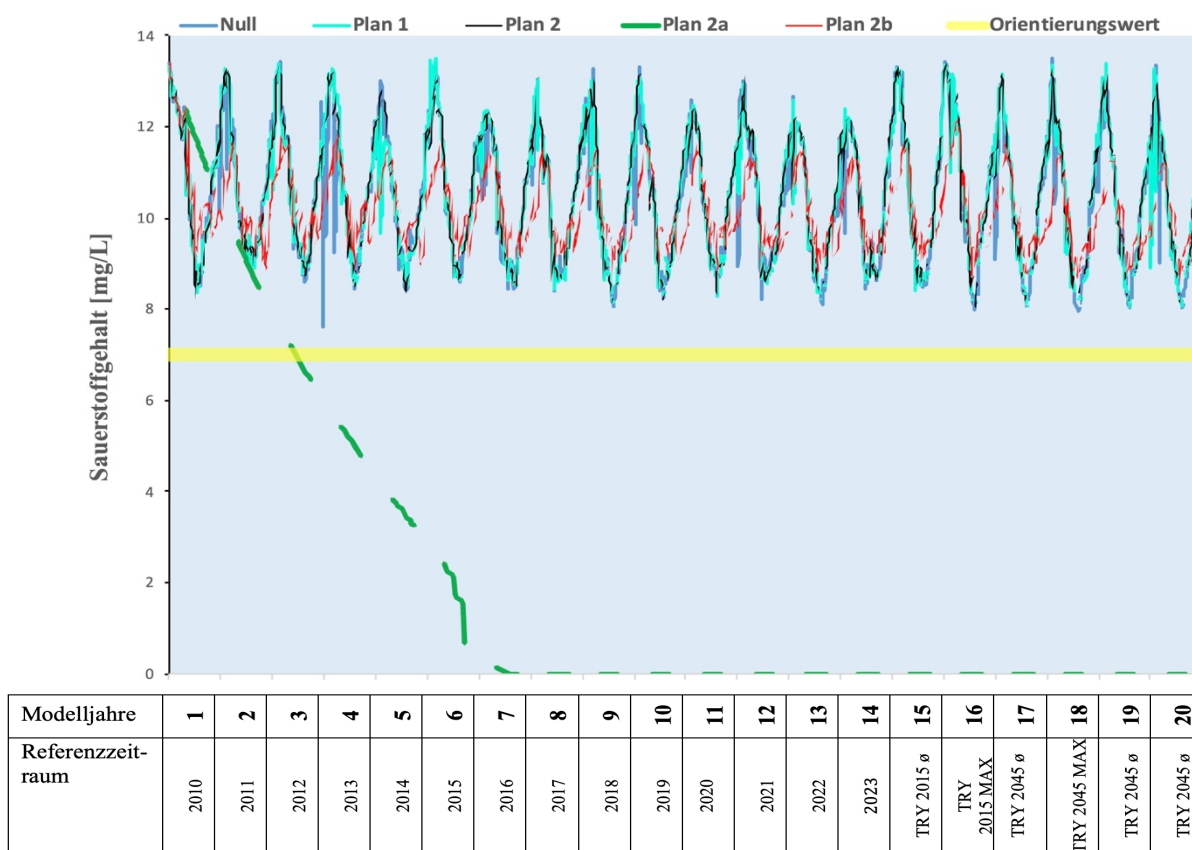


Abbildung 7.2: Sauerstoffwerte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert

## 7.2.3 TOC- Gehalte im Ablauf

Der TOC (Gesamter organischer Kohlenstoff) ist ein Indikator für Wasserbelastungen mit fäulnisfähiger organischer Substanz. Zur Mineralisierung von 1 mg/L TOC werden 2,67 mg/L Sauerstoff benötigt. Daher kann der Eintrag von organischem Kohlenstoff den Sauerstoffhaushalt eines Fließgewässers belasten.

Wie die Abbildung 7.3 zeigt, wird für keine der Fallvarianten der Orientierungswert auch nur annähernd erreicht. Dies ist in erster Linie dem oligotrophen (nährstoffarmen) Charakter des Sees geschuldet. Die höheren, aber immer noch weit unterhalb des Orientierungswertes liegenden TOC-Gehalte des abfließenden Seewassers bei Planfall 2b sind durch die leicht verstärkte Algenentwicklung infolge der Zwangszirkulation zu erklären.



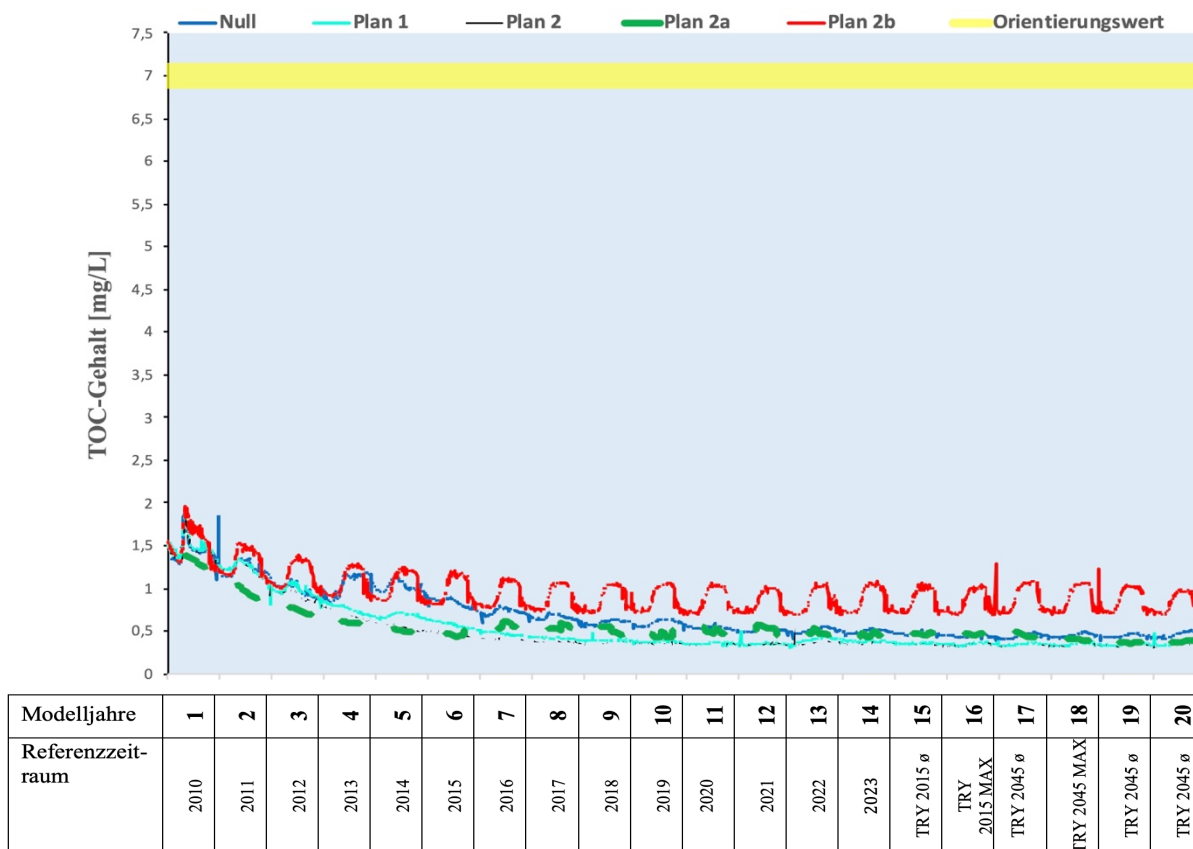


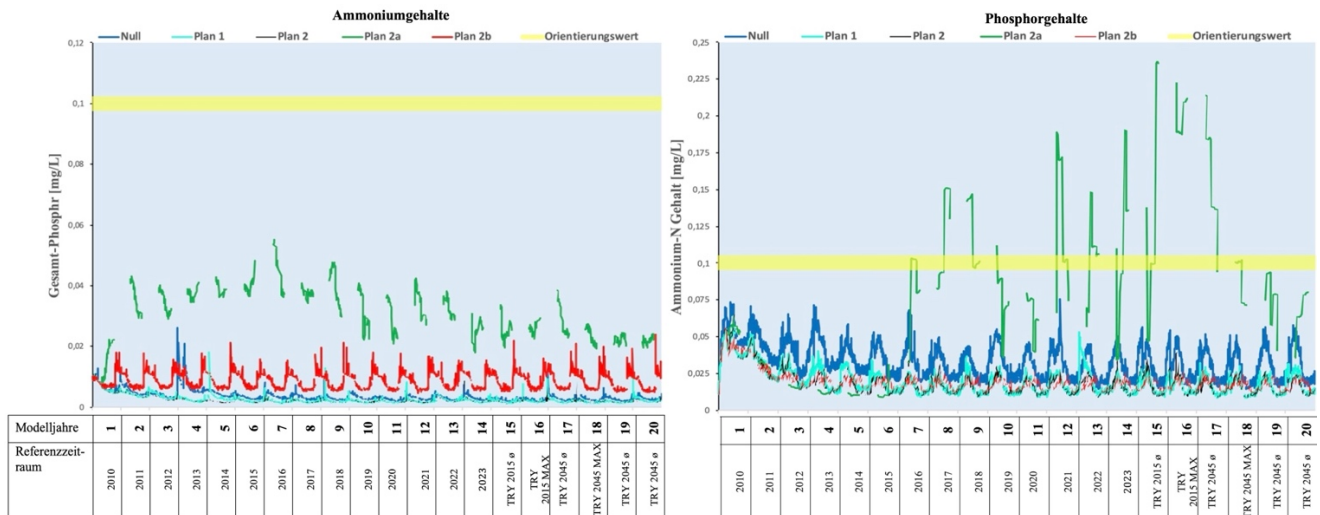
Abbildung 7.3: TOC-Gehalte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert

#### 7.2.4 Ammonium- und Phosphor- Gehalte im Ablauf

Die für die Algenentwicklung wichtigen Nährstoffe Phosphor und Ammonium sind im abfließenden Seewasser insgesamt sehr gering (vgl. Abbildung 7.4).

Ammonium (hier als  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) kann durch die biochemischen Prozesse der Nitrifikation auch zu einer Beeinträchtigung des Sauerstoffhaushaltes führen. In der Bindungsform Ammoniak verfügt es zudem über fischtoxische Eigenschaften. Bei gehemmter Nitrifikation kann es auch zu einer Anreicherung des ebenfalls fischtoxischen Nitrits kommen. Derartige Folgewirkungen sind bei allen Planfällen aber vollständig auszuschließen, da dem Orientierungswert deutlich entsprochen wird.

Mit Ausnahme der Variante Planfall 2a (Tiefenwasserableitung) bleiben auch die Phosphorgehalte im Seeablauf deutlich unter dem als Maximum anzusehenden Orientierungswert von 0,1 mg/L. Bei der Tiefenwasserableitung kommt es durch den gewünschten Nährstoffexport zu erhöhten Phosphorgehalten im Seeablauf. Diese sind aber aufgrund des oligotrophen Charakters des Untersuchungsgewässers insgesamt noch immer gering, gerade wenn man den Verdünnungseffekt durch des Elbach zusätzlich berücksichtigt. Dennoch bedeutet der erhöhte Phosphoraustrag eine Einschränkung für die Umsetzung der Variante Planfall 2a.



**Abbildung 7.4: Ammonium- und Phosphorgehalte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert**

### 7.2.5 Zusammenfassende Bewertung der Beeinflussung des Elbach durch den Seeüberlauf

Insgesamt kann eine Belastung des Vorfluters durch folgende Vorbedingungen vollständig vermieden werden:

- Die Ablaufmenge bleibt insbesondere nach Starkniederschlägen auf 10 bis 15 L/s begrenzt, indem mittels einer Freibordhöhe von ca. 1 bis 1,5 m Wasserstandsschwankungen im See abgepuffert werden.
- Das Ablaufwasser wird im Sommer aus einer Seetiefe von ca. 6-10 Metern entnommen, um eine Aufwärmung im Elbach durch den Abstrom warmen, oberflächennahen Seewassers zu verhindern.
- Bei einer Umsetzung der Variante Planfall 2a (Tiefenwasserableitung) sollte eine Nachbelüftung des Ablaufwassers z.B. durch ein Venturi-System erfolgen, um mögliche Sauerstoffverluste im Elbach durch den Zustrom sauerstoffarmem Tiefenwasser aus dem See zu vermeiden.

Da Wasser aus dem Seeablauf über den Elbach und dessen Einmündung in die Wiehl auch in die Wiehltsperre gelangt, ergeben sich unter den genannten Bedingungen keine negativen Beeinflussungen für die Trinkwassernutzung aus der Wiehltsperre.

## **8 Mögliche Folgenutzungen und ihre Auswirkungen auf die Gewässergüte**

Aufgrund des oligotrophen Charakters des Untersuchungsgewässers und der langen Verweilzeit wird eine sehr gute Beschaffenheit des Seewassers und des Ablaufwassers prognostiziert, sofern der eindeutig als Vorzugsvariante zu identifizierende Planfall 2b umgesetzt wird. Wie in Kapitel 2 ausgeführt, beinhaltet dies eine Teilauffüllung des Sees mit grubeneigenem Material und die Installation einer Zwangszirkulationsanlage.

Im Folgenden soll dargelegt werden, welche zusätzlichen Nutzungsformen idealerweise mit der Zwangszirkulation kombiniert werden können:

- Nutzung des Steinbruchsees als weiteres Wasserreservoir für die Wiehltalsperre, indem Seewasser aus dem Steinbruchsee im Sommer in die Wiehltalsperre geleitet wird (Stapel- oder Pumpspeicherbetrieb). Im Winterhalbjahr oder bei Hochwasser wird aus der Vorsperre dann wieder Überschusswasser in den Steinbruchsee zurückgepumpt. Hierdurch kann das Stauvolumen der Wiehltalsperre vergrößert werden, um so auch in niederschlagsarmen Zeiten Trinkwasserentnahme und Mindestwasserführung im Abstrom der Wiehltalsperre zu gewährleisten. Die zur Sicherung einer hohen Gewässergüte erforderlichen Zirkulationsprozesse im nach Abschluss der Materialgewinnung entstandenen See würden dabei durch den Wasserumschlag erreicht werden und bei entsprechender Auslegung die Zwangszirkulationsanlage ersetzen können.
- Nutzung des entstandenen Sees zur Stromgewinnung durch die Exposition einer schwimmenden Photovoltaik Anlage. Neben der Stromerzeugung kann die Anlage auch zur Befestigung der Zirkulationsanlage dienen. Aufgrund der geringen Leistungsaufnahme der Zirkulationsanlage unter Verwendung eines Rührwerks (vgl. Kapitel 2) ist deren Stromverbrauch vernachlässigbar. Das WHG sieht derzeit eine Begrenzung der Flächengröße auf 15 % der Seeüberdeckung und einen Uferabstand von 40 m vor. Hier ist aber zu erwarten, dass in naher Zukunft eine Nutzungsintensivierung auf einen Bedeckungsgrad von 25-50 % möglich sein wird. Diese Nutzungsform würde den Betrieb der Zirkulationsanlage des Planfalls 2b kostengünstig und langfristig gewährleisten.
- Im Rahmen einer seethermischen Nutzung des Steinbruchsees zum Heizen und Kühlen kann durch eine geeignete Entnahme- und Rückleittechnik ebenfalls das Zirkulationsverhalten des Sees gefördert werden, indem Seewasser aus unterschiedlichen Tiefen entnommen und rückgeleitet wird. Je ha Seefläche können ca. 1000 MWh/Jahr zum Heizen und eine entsprechende Menge zum Kühlen gewonnen werden. Ein derartiges Verfahren wird zur Zeit an einem Baggersee in Düsseldorf für die Wärme- und Kälteversorgung eines großen Neubauvorhabens umgesetzt. Ob im Untersuchungsgebiet nach Einstau des Sees entsprechende Abnehmer vorhanden sind, kann derzeit nicht beurteilt werden.

## 9 Zusammenfassung

Gegenstand des Gutachtens ist das Erweiterungsvorhaben der Abgrabungsstätte Steinbruch Jaeger der Firma Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH, Reichshof-Nespen. Geplant ist eine Erweiterung der Abgrabungsfläche über die derzeit genehmigten 10,8 ha hinaus auf 19,8 ha. Neben dem als Planfall 1 bezeichneten Vorgehen ohne Sohlenerhebung wird als Planfall 2 eine Sohlenerhebung durch den Eintrag von grubeneigenem Material in Aussicht genommen. Für diesen Fall kamen zusätzlich zwei Optimierungsvarianten in Betracht (Planfall 2a & 2b).

Demzufolge wurden Entwicklungsprognosen für die folgenden fünf Varianten mit dem Ziel erstellt, diejenige Variante zu identifizieren, von deren Umsetzung die günstigste Entwicklung für die Qualität des Untersuchungsgewässers zu erwarten ist.

**Tabelle 9.1: Untersuchte Varianten**

Variante	Maßnahme	Seesohle [m. ü.NN]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Tmax [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Nullfall	Beendigung der Abgrabung mit bestehender Genehmigung	254	108.126	69	3.263.923
Planfall 1	Erweiterung ohne Sohlenerhebung	254	197.955	69	8.520.324
Planfall 2	Erweiterung mit Sohlenerhebung durch Auffüllung	265	197.955	58	8.405.105
Planfall 2a	Zusätzliche Optimierungsmaßnahme durch Tiefenwasserableitung mittels Olschewski-Rohr*	265	197.955	58	8.405.105
Planfall 2b	Zusätzliche Optimierungsmaßnahme durch Zwangszirkulation mittels Rührwerk*	265	197.955	58	8.405.105

Neben den Prognosen wurde auch eine Beschreibung des vorhandenen Sees und seines aktuellen Gütezustandes vorgenommen, die allerdings auf lediglich zwei Messungen vom 12.7.2024 und vom 25.7.2024 beruht. Die aktuellen Messwerte zeigten keine Belastungssituation des bestehenden Sees an, und die Nährstoffgehalte blieben generell gering. Auffällig war eine starke Einschichtung des Gewässers, in dessen Folge über Grund ein deutlich ausgeprägter sauerstoffarmer Tiefenwasserkörper entstand. Wegen der begrenzten Datengrundlage konnten allerdings weder das ganzjährige Zirkulationsgeschehen noch die Ausgestaltung des Sauerstoffhaushaltes in der winterlichen Zirkulationsphase beurteilt werden.

Für die Prognose der Entwicklung des Sees unter Maßgabe der in Tabelle 9.1 angegebenen Voraussetzungen kam das 1-D hydrodynamische Modell DYRESM (Dynamic Reservoir Simulation Model) zur Verwendung, das für die Prognose der Wasserqualität mit dem Programm CAEDYM gekoppelt wurde. Die Prognosen erfolgten unter Bezug auf die gütebestimmenden Parameter Temperaturhaushalt (Zirkulationsverhalten), Sauerstoffhaushalt, Phosphorbelastung des Wasserkörpers, Chlorophyll-a Gehalt (Algenentwicklung) und Sichttiefe für einen 20-jährigen Zeitraum nach Abschluss der Abgrabung und vollständiger Befüllung des Beckens.

Die Prognosen des Temperaturhaushaltes ergaben für vier der fünf Varianten teils sehr deutliche Beeinträchtigungen des Zirkulationsverhaltens. Für den Nullfall und den Planfall 1 ist mit der Ausbildung meromiktischer Verhältnisse zu rechnen, der See wird also in beiden Varianten nicht mehr vollständig zirkulieren und über Grund einen vom übrigen Volumen abgeschlossenen Wasserkörper ausbilden. Dies sind Verhältnisse, die wegen ihrer

erheblichen negativen Auswirkungen auf die Wasserqualität des Sees unbedingt vermieden werden sollten. Für den Planfall 2 ist wegen der geringeren Seetiefe mit etwas besseren Zirkulationsbedingungen zu rechnen. Allerdings kommt es auch dann noch zu deutlichen Beeinträchtigungen. Die als Optimierungsmaßnahme geplante Ableitung von Tiefenwasser (Planfall 2a) schafft hier nur bedingt Abhilfe. Eine durchweg positive Entwicklung für das Zirkulationsverhalten ist nur mit der Installation einer Zwangszirkulationsanlage (Planfall 2b) zu erreichen.

Infolge der bei vier von fünf Varianten unzureichenden Zirkulation des Wasserkörpers wird sich auch der Sauerstoffhaushalt in der Tiefe des Sees bei diesen Varianten negativ entwickeln. Infolge des unterbundenen Austauschs des tiefen Wasserkörpers mit dem oberflächennahen, sauerstoffreichen Wasser unterbleibt der so wichtige Sauerstoffeintrag in die Gewässertiefe und es bildet sich dort ein dauerhaft sauerstoffarmer Tiefenwasserkörper aus. Dies ist als massive Überformung anzusehen und verursacht erhebliche Defizite für den gesamten Gütezustand des Sees. Stark defizitäre Bedingungen des Sauerstoffhaushaltes werden für den Nullfall, den Planfall 1 und den Planfall 2 prognostiziert. Auch nach der Optimierungsmaßnahme Planfall 2a bleiben immer noch defizitäre Sauerstoffverhältnisse bestehen. Erst die Verbesserung des Zirkulationsverhaltens durch die Zwangszirkulationsanlage (Planfall 2b) wird auch die Qualität des Sauerstoffhaushaltes ausreichen verbessern.

In Bezug auf die übrigen Untersuchungsparameter Phosphorbelastung, Chlorophyll-a Gehalt (Algenentwicklung) und Sichttiefe weist das Prognosemodell für alle fünf Varianten eine positive Entwicklung aus. Hier schneiden teilweise die Varianten 1 bis 2a sogar etwas besser ab als die Variante 2b, da die Zwangszirkulation einen Eintrag von Nährstoffen aus der Gewässertiefe in die lichtdurchflutete Zone verursacht, der dort ein leicht vermehrtes Algenwachstum und damit auch einen geringfügigen Rückgang der Sichttiefe verursacht. Dennoch erreicht auch die Variante 2b die Orientierungswerte für die genannten drei Parameter sehr deutlich, so dass dies nicht gegen ihre Umsetzung spricht.

Da den zu erwartenden starken Defiziten des Zirkulationsverhaltens und des Sauerstoffhaushaltes nur durch die Variante 2b (Zwangszirkulation) begegnet werden kann, kommt deren Umsetzung absolute Priorität zu.

Mit einer Belastung des Elbachs, der als Vorfluter für das abfließende Seewasser dient, ist im Hinblick auf die prognostizierte Qualität des Seeabflusswassers nicht zu rechnen. Wichtig wäre allerdings die Begrenzung der Abflussmenge auf 10 bis 15 L/s insbesondere nach Starkniederschlägen. Dies erfordert eine Freibordhöhe des Ablaufbauwerks von ca. 1 bis 1,5 m, da der Wasserspiegel des Sees bei Starniederschlägen um diese Höhe ansteigen kann. Außerdem sollte zur Vermeidung einer Wärmebelastung des Vorfluters das Seewasser im Sommer nicht direkt von der Wasseroberfläche, sondern aus ca. 6-10 m Tiefe entnommen werden. Die stärkste Beeinflussung der Wasserqualität im Elbach ist durch die Variante Planfall 2a zu erwarten, da infolge der Tiefenwasserableitung sauerstoffarmes Seewasser in den Bach gelangt. Daher wäre in diesem Fall eine Nachbelüftung des Ablaufwassers z.B. durch ein Venturi-System anzuraten.

Abschließend wurden drei Möglichkeiten für Folgenutzungen des entstehenden Sees diskutiert, die in Kombination mit oder als Ergänzung zur Optimierung der Seewasserqualität mittels Zwangszirkulationsanlage (Variante 2b) umgesetzt werden können. Dabei handelt es sich um die Nutzung als weiteres Wasserreservoir für die Wiehltalsperre, die Installation einer schwimmenden Photovoltaik Anlage und/oder die seethermische Nutzung zum Heizen und Kühlen.

## 10 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 2.1: MÖGLICHKEITEN DER TIEFENWASSERABLEITUNG (ABB. AUS KLAPPER 1992) .....	5
ABBILDUNG 2.2: ZIRKULATION DURCH RÜHRWERKE (ABB. AUS SHERMAN 2000) .....	6
ABBILDUNG 2.3: SEEFLÄCHE UND SEEVOLUMEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WASSERTIEFE FÜR DEN NULLFALL .....	7
ABBILDUNG 2.4: SEEFLÄCHE UND SEEVOLUMEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WASSERTIEFE FÜR DEN PLANFALL 1 .....	8
ABBILDUNG 2.5: SEEFLÄCHE UND SEEVOLUMEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WASSERTIEFE FÜR DEN PLANFALL 2, 2A & 2B .....	8
ABBILDUNG 4.1: LANDNUTZUNG IM GRUNDWASSEREINZUGSGEBIET DES VORHABENSBEREICHES (GRUNDLAGE BING) .....	13
ABBILDUNG 4.2: LAGE DER BEPROBTEN GRUNDWASSERMESSSTELLEN B2-18 BIS B6-18 .....	16
ABBILDUNG 5.1: TIEFENPROFILE DER WASSERTEMPERATUR .....	20
ABBILDUNG 5.2: TIEFENPROFILE DER SAUERSTOFFGEHALTE .....	21
ABBILDUNG 5.3: TIEFENPROFILE DER ELEKTRISCHEN LEITFÄHIGKEIT .....	22
ABBILDUNG 5.4: TIEFENPROFILE DES pH-WERTES .....	23
ABBILDUNG 6.1: VERLAUF DER O <sub>2</sub> -ZEHRUNGSRATEN BEI UNTERSCHIEDLICHEM BEWUCHS (T 20°C) NACH TGL 27 885/04 .....	27
ABBILDUNG 6.2: ABHÄNGIGKEIT DES SAUERSTOFFHAUSHALTES VON DEN EINZELKOMPARTIMENTEN (ABB. AUS HIPSEY ET AL. 2006) .....	29
ABBILDUNG 6.3: VERLAUF DER O <sub>2</sub> -ZEHRUNGSRATEN BEI UNTERSCHIEDLICHEM BEWUCHS (T 20°C) NACH TGL 27 885/04 .....	32
ABBILDUNG 6.4: ISOPLETHENDARSTELLUNG DER STOFFKONZENTRATIONEN IN UNTERSCHIEDLICHEN TIEFENSTUFEN UND DEREN ANTEILE AM GESAMTVOLUMEN .....	33
ABBILDUNG 6.5: TEMPERATURSIMULATION DES NULLFALLS .....	34
ABBILDUNG 6.6: SIMULATIONSWERTE DER WASSERTEMPERATUR DES NULLFALLS IN DREI TIEFENSTUFEN .....	35
ABBILDUNG 6.7: TRACERSIMULATION ZUR DARSTELLUNG DES ZIRKULATIONSVERHALTENS FÜR DEN NULLFALL .....	36
ABBILDUNG 6.8: TEMPERATURSIMULATION VON PLANFALL 1 .....	37
ABBILDUNG 6.9: TEMPERATURSIMULATION VON PLANFALL 2 .....	38
ABBILDUNG 6.10: SIMULATIONSWERTE DER WASSERTEMPERATUR DER VARIANTEN NULLFALL, PLANFALL 1 UND PLANFALL 2 IM EPILIMNION .....	39
ABBILDUNG 6.11: SIMULATIONSWERTE DER WASSERTEMPERATUR IN DREI TIEFENSTUFEN DES META- UND HYPOLIMNIONS .....	40
ABBILDUNG 6.12: TRACER-SIMULATION ZUR DARSTELLUNG DES ZIRKULATIONSVERHALTENS IM PLANFALL 1 .....	41
ABBILDUNG 6.13: TRACER-SIMULATION ZUR DARSTELLUNG DES ZIRKULATIONSVERHALTENS IM PLANFALL 2 .....	42
ABBILDUNG 6.14: SIMULATION DER TEMPERATUREN FÜR DEN PLANFALL 2A (TIEFENWASSERABLEITUNG) UND 2B (ZWANGSZIRKULATION) .....	43
ABBILDUNG 6.15: SIMULATIONSWERTE DER WASSERTEMPERATUR IM EPILIMNION FÜR PLANFALL 2, 2A UND 2B .....	44
ABBILDUNG 6.16: SIMULATIONSWERTE DER WASSERTEMPERATUR IM META- UND HYPOLIMNION FÜR PLANFALL 2, 2A UND 2B .....	44
ABBILDUNG 6.17: SIMULATION DER SAUERSTOFFGEHALTE IM NULLFALL .....	45
ABBILDUNG 6.18: SIMULATION DER SAUERSTOFFGEHALTE IM PLANFALL 1 .....	46
ABBILDUNG 6.19: SIMULATION DER SAUERSTOFFGEHALTE IM PLANFALL 2 .....	47
ABBILDUNG 6.20: SIMULATION DER SAUERSTOFFGEHALTE FÜR PLANFALL 2A (TWA) UND PLANFALL 2B (ZWANGSZIRKULATION) .....	48
ABBILDUNG 6.21: SIMULATIONSWERTE DER SAUERSTOFFGEHALTE IM HYPOLIMNION FÜR DIE FÜNF UNTERSUCHUNGSVARIANTEN .....	48

ABBILDUNG 6.22: PHOSPHORSIMULATION FÜR DIE 5 UNTERSUCHTEN VARIANTEN .....	50
ABBILDUNG 6.23: SIMULATION DER PHOSPHORGEHALTE IN DER TROPHOGENEN ZONE UNTER BEZUG AUF DEN LEITBILDKONFORMEN ZIELWERT FÜR DIE FALLVARIANTEN.....	51
ABBILDUNG 6.24: PHOSPHORSIMULATION FÜR DIE 5 UNTERSUCHTEN VARIANTEN .....	53
ABBILDUNG 6.25: SIMULATION DER CHLOROPHYLL-A GEHALTE IN DER TROPHOGENEN ZONE UNTER BEZUG AUF DEN LEITBILDKONFORMEN ZIELWERT FÜR DIE FALLVARIANTEN.....	54
ABBILDUNG 6.26: SIMULATION DER SICHTTIEFENWERTE UNTER BEZUG AUF DEN LEITBILDKONFORMEN ZIELWERT FÜR DIE FALLVARIANTEN .....	56
ABBILDUNG 7.1: Wassertemperaturen im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert .....	58
ABBILDUNG 7.2: Sauerstoffwerte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert .....	59
ABBILDUNG 7.3: TOC-Gehalte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert.....	60
ABBILDUNG 7.4: Ammonium- und Phosphorgehalte im Seeüberlauf unter Bezug auf den Orientierungswert .....	61

# 11 Tabellenverzeichnis

TABELLE 2.1: MORPHOLOGISCHE KENNWERTE DER FALLVARIANTEN .....	6
TABELLE 2.2: VOLUMEN DER GRUNDNAHEN UND TIEFEN SEEBEREICHE.....	7
TABELLE 3.1: GÜTEANFORDERUNGEN FÜR FLIEßGEWÄSSER NACH OGewV (2016).....	11
TABELLE 4.1: DEPOSITIONSRATEN FÜR NÄHRSTOFFE .....	14
TABELLE 4.2: WASSERHAUSHALTSBILANZ.....	14
TABELLE 4.3: ZUFLUSSMENGEN UND WASSERVERWEILZEITEN .....	15
TABELLE 4.4: GRUNDWASSERBESCHAFFENHEIT.....	17
TABELLE 4.5: BESCHAFFENHEITSKENNWERTE DES OBERFLÄCHENZUFLUSSES (HERGELEITET).....	18
TABELLE 5.1: VERTEILUNG AUSGESUCHTER IONEN IM SEEWASSER .....	24
TABELLE 5.2: PHOSPHORGEHALTE IM SEEWASSER .....	25
TABELLE 5.3: STICKSTOFFGEHALTE IM SEEWASSER .....	26
TABELLE 6.1: MORPHOLOGISCHE KENNWERTE DER 5 UNTERSUCHUNGSVARIANTEN .....	28
TABELLE 6.2: MODELLKONSTANTEN .....	29
TABELLE 6.3: KLIMAKENNWERTE DER MODELLJAHRE UND REFERENZZEITRÄUME .....	30
TABELLE 6.4: PROGNOSTIZIEREN WASSERTEMPERATUREN FÜR DEN NULLFALL IN DREI TIEFENSTUFEN.....	35
TABELLE 6.5: MÄCHTIGKEITEN DER TRACER MARKIERTEN WASSERSCHICHT ÜBER GRUND .....	40
TABELLE 6.6: OPTIMIERUNGSVARIANTEN FÜR PLANFALL 2.....	43
TABELLE 6.7: BEWERTUNG DER ENTWICKLUNG DES SAUERSTOFFHAUSHALTES FÜR DIE GEPRÜFTEN 5 VARIANTEN .....	49
TABELLE 6.8: BEWERTUNG DER ENTWICKLUNG DER PHOSPHORGEHALTE FÜR DIE GEPRÜFTEN 5 VARIANTEN .....	52
TABELLE 6.9: BEWERTUNG DER ENTWICKLUNG DER CHLOROPHYLL-A GEHALTE FÜR DIE GEPRÜFTEN 5 VARIANTEN ....	55
TABELLE 6.10: BEWERTUNG DER ENTWICKLUNG DER SICHTTIEFENWERTE FÜR DIE GEPRÜFTEN 5 VARIANTEN .....	56
TABELLE 7.1: GÜTEANFORDERUNGEN FÜR DIE WASSERQUALITÄT IM ELBACH NACH OGewV (2016) .....	57
TABELLE 7.2: ABLAUFMENGEN IN DEN ELBACH .....	57
TABELLE 8.1: UNTERSUCHTE VARIANTEN .....	63



## **12 Literaturverzeichnis**

- Hipsey, M.R. et al. (2006): Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model: CAEDYM v2. v2.3 Science Manual. Centre for Water Research, University of Western Australia
- Hornung, R. (2002): Numerical Modelling of Stratification in Lake Constance with the 1- D hydrodynamic model DYRESM. Masters thesis. Universität Stuttgart
- Klapper, H (1992): Eutrophierung und Gewässerschutz, 1. Aufl., Jena: Fischer, 277 S.
- LAWA - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2014): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Hrsg. LAWA – Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser.
- 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.
- OGewV (2016): Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (Oberflächengewässerverordnung) vom 20. Juni 2016
- Özkundakci, D. et al. (2011): Modelling the response of a highly eutrophic lake to reductions in external and internal nutrient loading, New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 45:2, 165-185, DOI: 10.1080/00288330.2010.548072
- Sherman, B. (2000): Scoping Options for Mitigation Cold Water Discharges from Dams, Consultancy Report 00/21, May 2000. CSIRO Land and Water, Canberra
- SST & GEObIT (2023): Prof. Dr.-Ing. Stoll & Partner Ingenieurgesellschaft mbH & GEObIT Ingenieur-Gesellschaft mbH, Hydrogeologisches Gutachten zur geplanten Erweiterung des Steinbruchs Jaeger der Firma Günter Jaeger Steinbruchbetriebe GmbH, Reichshof-Nespen
- TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001)
- TGL 27 885/04 (1985) Fachbereichsstandart, Nutzung und Schutz der Gewässer, Stehende Binnengewässer – Wassergütebewirtschaftung wasserwirtschaftlicher Speicher, Leipzig: Verlag für Standardisierung, 6 S.