



Bundesministerium  
für Verkehr, Bau  
und Stadtentwicklung



Von der Europäischen Union kofinanziert  
Transeuropäisches Verkehrsnetz (TEN-V)

Donauausbau Straubing-Vilshofen

Variantenunabhängige Untersuchungen zum Ausbau der Donau  
zwischen Straubing und Vilshofen – 2007-DE-18050-S

Abschlussberichte – B.III. Bericht zur Variante C<sub>2,80</sub>

**Anlage III.15 Wasserbeschaffenheit (QSim)  
(Bundesanstalt für Gewässerkunde)**

---

Hinweise:

1. Die Durchführung der Untersuchungen und die Erstellung der Berichte wurden von der EU finanziell unterstützt.
2. Die Ausführungen in den Berichten und deren Anlagen binden nur die jeweiligen Verfasser, nicht aber die Europäische Kommission, die auch nicht für die weitere Nutzung der darin enthaltenen Informationen haftet.

BfG-1740c

## Bericht

# EU-Studie Donau Anlage III.15 Gewässergüte der Variante C<sub>2,80</sub> im Vergleich zum Ist-Zustand

Dr. Carsten Viergutz  
Dr. Tanja Bergfeld-Wiedemann  
Volker Kirchesch

Auftraggeber: Bundesrepublik Deutschland  
vertreten durch: Rhein-Main-Donau AG  
vertreten durch: RMD Wasserstraßen GmbH  
Blutenburgstraße 20  
80636 München

SAP-Nr.: M39630203262  
Anzahl der Seiten: 20

gez. Dr. Viergutz  
gez. Dr. Bergfeld-Wiedemann  
gez. Kirchesch

Koblenz, November 2012



# Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung und Aufgabenstellung.....	1
2. Beschreibung der Ausbauvariante C <sub>2,80</sub> .....	2
3. Prognose der Auswirkungen der Ausbauvariante C <sub>2,80</sub> auf die Gewässergüte .....	3
3.1 Änderungen der Methoden im Vergleich zur Modellvalidierung .....	3
3.2 Morphologie, Hydraulik und Lichtklima .....	4
3.3 Bewertung .....	6
3.4 Phytoplankton (quantitativ).....	6
3.5 Sauerstoffhaushalt .....	7
3.6 Nährstoffverhältnisse .....	9
4. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels für die Variante C <sub>2,80</sub> im Vergleich zum Ist- Zustand.....	13
4.1 Wassertemperatur.....	13
4.2 Phytoplankton (quantitativ).....	14
4.3 Sauerstoffhaushalt .....	15
4.4 Gesamtbetrachtung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels .....	17
5. Zusammenfassung.....	18
6. Literatur.....	20

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Messwerte (dargestellt als Monatsmittel) zum Biovolumen von Kieselalgen, Grünalgen und Blaualgen an der Messstation Niederalteich 2007/2008 (LfU 2008/2009) .....	4
Tab. 2: Im Modell für jeden Monat verwendete Anteile der verschiedenen Algengruppen am Chlorophyll a-Gehalt 2007-2009 (in %) .....	4
Tab. 3: Vergleich des Ist-Zustands und Variante C <sub>2,80</sub> bezüglich der mittleren Fließgeschwindigkeit (in m/s) entlang der Donau 2007-2009 .....	5
Tab. 4: Fließdauer entlang der Donau am 15.05.2007 von Straubing (km 2329,8) bis Achleiten (km 2223,1) für den Ist-Zustand und Ausbauvariante C <sub>2,80</sub> .....	5
Tab. 5: Übertragung von ökologischen Zustands- bzw. Potenzialklassen in Wertstufen .....	6
Tab. 6: Modellierter Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehalts in µg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	6
Tab. 7: Modellierter Saisonmittelwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	8
Tab. 8: Modellierter Saisonminimumwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	8
Tab. 9: Modellierter Jahresmittelwert des Gesamt-Phosphat-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	10
Tab. 10: Modellierter Jahresmittelwert des Ortho-Phosphat-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	10
Tab. 11: Berechneter Jahresmittelwert des Ammonium-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	11
Tab. 12: Berechneter pH-Wert (Minimum-Maximum) für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> .....	12
Tab. 13: Berechnete Wassertemperatur (Jahresmittelwert und Jahresmaximum) für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C <sub>2,80</sub> ohne und mit erhöhter Lufttemperatur .....	14
Tab. 14: Modellierter Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehalts in µg/l und Wertstufen für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C <sub>2,80</sub> mit erhöhter Lufttemperatur .....	15
Tab. 15: Modellierter Saisonminimumwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l und Wertstufen für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C <sub>2,80</sub> ohne und mit erhöhter Lufttemperatur .....	16

# 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Rahmen des geplanten Donauausbaus zwischen Straubing und Vilshofen wird eine EU-geförderte Studie erstellt, die als Grundlage für die politische Entscheidung über Art und Umfang des weiteren Donauausbaus dient. Bestandteil dieser Studie ist der vorliegende Bericht über den Vergleich der Gewässergüte des Ist-Zustands mit der der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub>. Dabei werden biologische und physikalisch-chemische Qualitätskomponenten beurteilt und die Gewässergüte bestimmt. Hierzu wird ein auf Bestimmungen der Wasserrahmenrichtlinie ausgelegter Bewertungsrahmen verwendet (BfG-1559). Diese Gewässergüte unterscheidet sich von der Gewässergüte, die auf dem Saprobienindex beruht und anhand von im Gewässer aufgefundenen sogenannten Saprobien (verschiedene Arten von Kleinkrebsen, Insektenlarven und Protozoen) bestimmt wird. Die Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> werden beschrieben und bewertet. Die Prognose zur Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> erfolgt mit Hilfe des Gewässergütemodells QSim, Version 13.0, der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Das Modell wurde in einer älteren Version bereits 1989 und 2000 für die Bewertung des geplanten Donauausbaus Straubing bis Vilshofen eingesetzt (BfG-0484, 1989; BfG-1280, 2000), es wurde seitdem erweitert und weiterentwickelt (siehe BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Kapitel 3.2)).

Die Beschreibung des Untersuchungsgebiets und der verwendeten Morphologie sowie die angewandten Methoden, die verwendeten Daten, die Beschreibung des Gewässergütemodells QSim und die Bewertungsmethode können BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12) entnommen werden.

Der vorliegende Bericht umfasst die Prognose der Gewässergüte für die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> sowie die Bewertung der Modellergebnisse (Kap.3). In Kapitel 4 werden die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässergüte des Ist-Zustands und die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> der Donau dargestellt. Am Ende folgen Zusammenfassung (Kap. 5) und Literatur (Kap.6).

## 2. Beschreibung der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub>

Die allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebiets kann BfG-Bericht 1740a entnommen werden.

Für den Vergleich des Ist-Zustands und der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> standen jeweils aktuelle digitale Geländemodelle vom Auftraggeber für die Strecke Straubing bis Vilshofen zur Verfügung. Aus den digitalen Geländemodellen mussten wir die für die Modellierung benötigten Querprofile selber erzeugen. Die restliche Morphologie ist identisch mit dem für die Modellvalidierung benutzten Ist-Zustand 2005 von Ulm bis Jochenstein (BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Abb. 1, Kap. 3 Methoden, Kap. 5 Vergleich Messung - Rechnung)), lediglich die Strecke Straubing bis Vilshofen wurde jeweils ausgetauscht. Die in diesem Bericht für den Vergleich mit der Ausbauvariante benutzte Morphologie des Ist-Zustands wird als Ist-Zustand 2012 bezeichnet. Sie wurde bereits bei der Abschätzung der Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf den Ist-Zustand der Donau eingesetzt (BfG-Bericht 1740a, Anlage I.12).

Kurzbeschreibung der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub>:

Hier sind flussregelnde Maßnahmen mit einem Schlauchwehr bei Aicha verbunden. Außerdem wird es einen Durchstich der Mülhamer Schleife mit der Schaffung eines 2,3 Kilometer langen Schleusenkanals geben. Zwischen Isar-Mündung und dem Schlauchwehr bei Aicha wird die Fahrrinne auf 70 - 100 Meter verbreitert. Die Fahrrinne wird bei der Variante C<sub>2,80</sub> künftig auf RNW minus 2,65 m unterhalten.

## 3. Prognose der Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> auf die Gewässergüte

Die Gewässergüte des Ist-Zustands 2012 und der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> für die Jahre 2007 bis 2009 wurde mit Hilfe des Gewässergütemodells QSim simuliert. Die Ergebnisse werden an fünf Stationen miteinander verglichen.

- Straubing, km 2329,8 (Kontrolle)
- Deggendorf, km 2284,6
- Niederalteich, km 2276,2
- Vilshofen, km 2250,0
- OW Kachlet, km 2231,0

Durch die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> wird die Gewässergüte auch unterhalb von Vilshofen, dem Ende der geplanten Ausbaustrecke, beeinflusst. Deshalb werden die Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auch für die Probestelle Kachlet flussabwärts der geplanten Ausbaustrecke betrachtet.

### 3.1 Änderungen der Methoden im Vergleich zur Modellvalidierung

Für die Prognose der Auswirkungen der geplanten Baumaßnahmen auf die Gewässergüte wurden Einzelheiten an QSim selber, aber auch bei den verwendeten Daten im Vergleich zur Modellvalidierung (BfG-Bericht 1740a, Kap. 3.2 und Kap. 5) verändert. Im folgenden werden die Veränderungen dargestellt.

Für die Zusammensetzung der im Modell realisierten drei Algengruppen Kiesel-, Grün- und Blaualgen wurden Untersuchungen aus den Jahren 2007 und 2008 aus Niederalteich zugrunde gelegt (Tab. 1). Daraus wurde ein Mittelwert berechnet, der für alle drei Jahre 2007 – 2009 verwendet wurde (Tab. 2).

Es wurde für die Modellierung immer die QSim-Version 13.0 verwendet, aber diese unterscheidet sich geringfügig zwischen der Modellvalidierung (BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Kap. 3.2 und Kap. 5)) und der Modellierung der geplanten Baumaßnahmen (Kap. 3). Das Gewässergütemodell QSim wurde während der mehrjährigen Erstellung der EU-Studie weiterentwickelt. Außerdem wurden am Modellbaustein „Benthische Filtrierer“ Änderungen vorgenommen.

**Tab. 1: Messwerte (dargestellt als Monatsmittel) zum Biovolumen von Kieselalgen, Grünalgen und Blaualgen an der Messstation Niederalteich 2007/2008 (LfU 2008/2009)**

Messstation Niederalteich	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]		
	Kieselalgen	Grünalgen	Blaualgen
Datum			
April 2007	49,88	0,11	0,39
Mai 2007	109,59	2,32	0
Juni 2007	1,67	0,51	0,93
Juli 2007	1,95	0,19	0,02
August 2007	3,10	0,39	0,10
September 2007	1,74	0,20	0,13
Oktober 2007	2,20	0	0,12
April 2008	12,86	0,02	0,91
Mai 2008	22,58	0,09	0,80
Juni 2008	9,28	0,78	0
Juli 2008	1,04	0,27	0,10
August 2008	-	-	-
September 2008	0,06	0,01	0,01
Oktober 2008	0,55	0,03	0,11

**Tab. 2: Im Modell für jeden Monat verwendete Anteile der verschiedenen Algengruppen am Chlorophyll a-Gehalt 2007-2009 (in %)**

Anteil (%)	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Kieselalgen	97	97	97	96	97	73	82	86	83	87	85	85
Grünalgen	2	2	2	1	1	12	14	11	9	2	10	10
Blaualgen	1	1	1	3	2	15	4	3	8	11	5	5

### 3.2 Morphologie, Hydraulik und Lichtklima

Die Morphologie beeinflusst sowohl die Hydraulik als auch das Lichtklima eines Gewässers. Bei Variante C<sub>2,80</sub> erhöht sich in Vilshofen die Wassertiefe der Donau. Dabei wurde in Vilshofen mit dem Modell Hydrax für die Variante C<sub>2,80</sub> eine um ca. 1,0 m höhere mittlere jährliche Wassertiefe berechnet. Die höhere Wassertiefe führt zu einer Verschlechterung des Lichtklimas für das Phytoplankton, was in einem reduzierten Phytoplanktonwachstum resultiert (Kap. 3.4).

Durch die geplanten Baumaßnahmen wird auch die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Ausbaustrecke verändert. In Straubing am Beginn der Ausbaustrecke wurden mit Hydrax erwartungsgemäß dieselben mittleren Fließgeschwindigkeiten für den Ist-Zustand und die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> für die drei Jahre 2007 bis 2009 modelliert (Tab. 3). Weiter flussabwärts in Deggendorf werden für die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> reduzierte Fließgeschwindigkeiten prognostiziert. In Niederalteich sind diese im Jahresmittel um ca. 40 % niedriger als beim Ist-Zustand (Tab. 3). Unterhalb der geplanten Ausbaustrecke sind die modellierten Fließgeschwindigkeiten bei Variante C<sub>2,80</sub> und Ist-Zustand erwartungsgemäß identisch.

**Tab. 3: Vergleich des Ist-Zustands und Variante C<sub>2,80</sub> bezüglich der mittleren Fließgeschwindigkeit (in m/s) entlang der Donau 2007-2009**

		<b>Straubing</b>	<b>Deggendorf</b>	<b>Niederaltlach</b>	<b>Vilshofen</b>	<b>Achleiten</b>
	<b>Donau-km</b>	<b>2329,8</b>	<b>2284,6</b>	<b>2276,2</b>	<b>2250</b>	<b>2223,1</b>
2007	Ist-Zustand	0,22	0,51	1,05	0,87	1,07
2007	Variante C <sub>2,80</sub>	0,22	0,47	0,65	0,87	1,07
2008	Ist-Zustand	0,21	0,50	1,05	0,85	1,05
2008	Variante C <sub>2,80</sub>	0,21	0,45	0,64	0,86	1,05
2009	Ist-Zustand	0,21	0,49	1,05	0,85	1,12
2009	Variante C <sub>2,80</sub>	0,21	0,45	0,64	0,86	1,12

Durch die reduzierten Fließgeschwindigkeiten verlängert sich die Aufenthaltszeit von Straubing bis Vilshofen. Dies macht sich insbesondere bei niedrigen Abflüssen bemerkbar. Deshalb wurde der 15.05.2007 für den Vergleich der Fließdauer des Ist-Zustands und der Ausbauvariante ausgewählt, da hier relativ niedrige Abflüsse entlang der Donau gemessen wurden (siehe BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Abbildungen im Anhang A-1 bis A-6)). Nach den Modellberechnungen mit Hydrax zeigt sich, dass die Fließdauer bei Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> leicht erhöht wird (Tab. 4). Variante C<sub>2,80</sub> zeigt für den 15.05.2007 für alle drei Strecken zwischen Straubing und Vilshofen eine deutlich erhöhte Fließdauer, sie erhöht sich von 1,20 Tagen beim Ist-Zustand auf 1,33 Tage bei Variante C<sub>2,80</sub> (Tab. 4). Dies entspricht einer Erhöhung um 3 Stunden oder ungefähr 10 %. Man muss allerdings berücksichtigen, dass die angegebene Erhöhung der Fließdauer für niedrige Abflüsse am 15.05.2007 berechnet wurde. So wurden am Pegel Pfelling (Donau-km 2305,5) am 15.05.2007 280 m<sup>3</sup>/s gemessen, der mittlere Abfluss (MQ) liegt bei 458 m<sup>3</sup>/s (1926 – 2008, Daten vom LfU). Am 10.04.2009 wurden am Pegel Pfelling 679 m<sup>3</sup>/s gemessen, bei Variante C<sub>2,80</sub> erhöht sich der Abfluss um 3,3 %. Diese Modellergebnisse zeigen, dass der Einfluss der geplanten Staustufe Aicha auf die Fließdauer bei höherem Abfluss erwartungsgemäß deutlich sinkt.

**Tab. 4: Fließdauer entlang der Donau am 15.05.2007 von Straubing (km 2329,8) bis Achleiten (km 2223,1) für den Ist-Zustand und Ausbauvariante C<sub>2,80</sub>**

		<b>Fließdauer pro Strecke [d]</b>		<b>Summe der Fließdauer [d]</b>	
<b>Von Km</b>	<b>Bis Km</b>	<b>Ist</b>	<b>Var. C<sub>2,80</sub></b>	<b>Ist</b>	<b>Var. C<sub>2,80</sub></b>
2329,8	2284,6	0,76	0,79	0,76	0,79
2284,6	2276,2	0,13	0,18	0,89	0,97
2276,2	2250,0	0,31	0,35	1,20	1,33
2250,0	2223,1	0,82	0,82	2,02	2,15

Unterhalb von Vilshofen (km 2250) sind keine Baumaßnahmen geplant, entsprechend sind die Fließdauern identisch (Tab. 4). Eine verlängerte Fließdauer erhöht den Stoffumsatz im Wasserkörper auf einer bestimmten Strecke. Dies wirkt sich auf den Sauerstoffhaushalt im Ausbaubereich aus (Kap. 3.5). Außerdem verbleibt den Organismen im Wasserkörper bei einer längeren Fließdauer mehr Zeit zum Wachsen. Gleichzeitig werden die Wachstumsbedingungen für das Phytoplankton durch die höhere mittlere Wassertiefe und damit das schlechtere Lichtklima verschlechtert. Mit Hilfe des Gewässergütemodells QSim kann der Einfluss dieser gegenläufigen Prozesse auf das Phytoplankton prognostiziert werden (Kap. 3.4).

### 3.3 Bewertung

Der Bewertungsrahmen umfasst die drei Qualitätskomponenten „Phytoplankton“, „Sauerstoffhaushalt“ und „Nährstoffverhältnisse“. Alle Bewertungen orientieren sich an den Verfahren zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Den einzelnen Bewertungskriterien wird eine fünfstufige Ordinalskala zugrunde gelegt, wobei 5 die höchste und 1 die niedrigste Wertstufe darstellt. Diese Skala wird von der Einstufung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials (bei erheblich veränderten Wasserkörpern) gemäß EU-WRRL (EU 2000) abgeleitet (Tab. 5).

**Tab. 5: Übertragung von ökologischen Zustands- bzw. Potenzialklassen in Wertstufen**

Wertstufe	Ökologischer Zustand/Ökologisches Potenzial
5	Sehr gut
4	Gut
3	Mäßig
2	Unbefriedigend
1	Schlecht

### 3.4 Phytoplankton (quantitativ)

Der bewertungsrelevante Saisonmittelwert (April bis Oktober) des Chlorophyll a-Gehalts für die Jahre 2007-2009 kann Tab. 6 entnommen werden. Die Farbgebung entspricht der Einstufung in Wertstufen (siehe Tab. 5).

**Tab. 6: Modellierter Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehalts in µg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C<sub>2,80</sub>**

Chlorophyll a-Gehalt [µg/l] Saisonmittelwert 2007 (April - Oktober)					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	10,87	12,09	9,66	10,65	13,07
Variante C <sub>2,80</sub>	10,87	12,25	9,96	11,06	13,33

Chlorophyll a-Gehalt [µg/l] Saisonmittelwert 2008 (April - Oktober)					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	14,67	16,15	12,52	13,64	15,65
Variante C <sub>2,80</sub>	14,67	16,16	12,60	13,90	15,79

Chlorophyll a-Gehalt [µg/l] Saisonmittelwert 2009 (April - Oktober)					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	10,70	12,74	10,24	11,48	13,48
Variante C <sub>2,80</sub>	10,70	12,76	10,32	11,77	13,70

Bei der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> sind drei Prozesse auf die Algenentwicklung von grundsätzlicher Bedeutung. Zum einen verlängert sich die Fließzeit in der Ausbaustrecke. Die damit einhergehende längere Aufenthaltszeit des Wassers ermöglicht ein höheres Algenwachstum. Die zusätzliche Anzahl von Buhnen und die Verlängerung der Buhnen in der Ausbauvariante A führt zur Schaffung von Zonen mit längerer Aufenthaltszeit des Wassers, was wiederum ein höheres Algenwachstum ermöglicht. Durch die Erhöhung der mittleren Tiefe in der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> schließlich kommt es zu einer Verringerung des Algenwachstums, da der unbelichtete Anteil des Wasserkörpers vergrößert wird und somit die Algen mehr Zeit im Dunkeln verbringen.

Aus Tab. 6 wird deutlich, dass sich die Variante C<sub>2,80</sub> bezüglich des Chlorophyll a-Gehalts vom Ist-Zustand nur sehr gering unterscheidet. Die größten Unterschiede sind an den beiden Stationen Vilshofen und Kachlet zu beobachten.

Die prognostizierte Chlorophyllentwicklung der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> wurde unter der Annahme berechnet, dass sich der Einfluss benthischer Filtrierer nicht ändert. Da die Besiedlungsstruktur benthischer Filtrierer starken saisonalen und jährlichen Schwankungen unterliegt und durch Veränderungen in der Gewässermorphologie beeinflusst wird, wird die Prognose der Algengehalte in der Donau entsprechend erschwert. Die erhöhte Anzahl der Buhnen führt beispielsweise zur Schaffung von Zonen mit von *Corbicula fluminea* bevorzugtem sandigem Substrat. Eine Zunahme des Einflusses der benthischen Filtrierer hätte eine zusätzliche Verminderung des Algengehalts zu Folge.

Bei diesen Ergebnissen muss außerdem berücksichtigt werden, dass im Gewässer wie auch bei der Langzeitsimulation im Modell instationäre Abflussverhältnisse vorherrschen. Die Staustufe Aicha wirkt sich beispielsweise nur bei Niedrigwasser auf die Fließdauer der Donau und somit auf den Chlorophyll a-Gehalt aus. Bei Mittel- oder Hochwasser gibt es somit so gut wie keine Unterschiede im Algengehalt oder Sauerstoffgehalt zwischen dem Ist-Zustand und Variante C<sub>2,80</sub>.

Insgesamt kommt es an keiner der betrachteten Stationen bei Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> zu einer Änderung der Wertstufe bezüglich des Chlorophyll a-Gehalts. Die Auswirkungen der Variante C<sub>2,80</sub> auf die Trophie können nur mit Modellrechnungen quantitativ ermittelt werden. Da es sich bei dem Gewässergütemodell QSim um ein rein deterministisches Modell handelt, sind die, wenn auch sehr geringen, Abweichungen zwischen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> und dem Ist-Zustand kein Zufallsprodukt, sondern lassen die entsprechenden Tendenzen erkennen. Das spätere Nachmessen in der Donau zur Beweissicherung ist nicht möglich, da bereits die Variabilitäten innerhalb eines Jahres und zwischen den Jahren so groß sind, dass ein statistisches Herausfiltern der Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> nicht möglich sein wird (Bergfeld 2006).

### 3.5 Sauerstoffhaushalt

Die Tab. 7 und Tab. 8 zeigen den Saisonmittelwert bzw. den bewertungsrelevanten Minimumwert des Sauerstoffgehalts jeweils im Zeitraum April bis Oktober (Saison). Die Farbgebung in Tab. 8 entspricht der Einstufung in Wertstufen (siehe Tab. 5).

**Tab. 7: Modellierter Saisonmittelwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonmittelwert 2007					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	9,75	10,06	9,83	9,89	9,85
Variante C <sub>2,80</sub>	9,75	10,07	9,84	9,92	9,88

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonmittelwert 2008					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	10,04	10,38	10,01	10,09	10,04
Variante C <sub>2,80</sub>	10,04	10,36	9,99	10,07	10,01

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonmittelwert 2009					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	9,84	10,20	9,87	10,00	9,98
Variante C <sub>2,80</sub>	9,84	10,18	9,86	9,98	9,96

**Tab. 8: Modellierter Saisonminimumwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonminimumwert 2007					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	7,83	7,97	7,98	8,01	7,87
Variante A	7,83	7,96	7,99	8,01	7,87

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonminimumwert 2008					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	7,81	7,79	7,97	7,87	7,72
Variante A	7,81	7,79	7,99	7,89	7,74

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonminimumwert 2009					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	8,03	8,34	8,24	8,34	8,24
Variante A	8,03	8,33	8,27	8,36	8,26

Bei der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> beeinflussen im wesentlichen zwei gegenläufige Prozesse den Sauerstoff-Gehalt. Zum einen kommt es zu einem leicht erhöhten Chlorophyll a-Gehalt (Kap. 3.4), was zu einem erhöhten biogenen Sauerstoffeintrag in das Gewässer führt. Zum anderen werden durch die Erhöhung der mittleren Wassertiefe sauerstoffzehrende Abbauprozesse begünstigt. Der aus beiden Prozessen resultierende Sauerstoffgehalt bei Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> zeigt nur sehr geringe Abweichungen gegenüber dem Ist-Zustand (

Tab. 7 und Tab. 8). Der Saisonmittelwert des Sauerstoff-Gehalts ist in den Jahren 2008 und 2009 an allen Stationen innerhalb der Ausbaustrecke etwas geringer als beim Ist-Zustand, was zeigt, dass die sauerstoffzehrenden Prozesse durch die ausbaubedingt erhöhte mittlere Wassertiefe, aber auch die längere Aufenthaltszeit gegenüber dem erhöhten biogenen Sauerstoffeintrag durch den höheren Chlorophyll a-Gehalt überwiegen. Im Jahr 2007 kommt es durch den bereits an der Station Deggendorf höheren Chlorophyll a-Gehalt bei Variante C<sub>2,80</sub> zu einem erhöhten biogenen Sauerstoffeintrag und damit auch zu einem höheren Saisonmittelwert des Sauerstoffgehalts.

Der Minimumwert des Sauerstoff-Gehalts bei der Variante C<sub>2,80</sub> hingegen ist durch die erwähnten gegenläufigen Prozesse zum Teil höher (z.B. Stationen Vilshofen und Kachlet 2008) und zum Teil niedriger als beim Ist-Zustand (z.B. Stationen Niederalteich und Vilshofen 2007 und 2009). An der Station Vilshofen kommt es im Jahr 2007 zu einer Verschlechterung um eine Wertstufe, obwohl sich der Saisonminimumwert des Sauerstoffgehalts nur um 0,03 mg/l verringert. Zu beachten ist hier, dass die Prozesse nicht nur von dem geplanten Ausbau, sondern auch vom Abflussgeschehen innerhalb des jeweiligen Jahres abhängig sind und daher keine pauschale Bewegung der Summe der beiden gegenläufigen Prozesse in die eine oder andere Richtung prognostiziert werden kann. Durch eine erhöhte Wassertiefe sinkt das Verhältnis von belichtetem zu unbelichtetem Wasserkörper. Entsprechend legen die Modellergebnisse nahe, dass bei höheren Abflüssen die sauerstoffzehrenden Prozesse überwiegen, während dies bei niedrigen Abflüssen die sauerstoffeintragenden Prozesse sind. Insgesamt unterscheidet sich der Sauerstoffgehalt der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> kaum von dem des Ist-Zustands. Der Ist-Zustand und Variante C<sub>2,80</sub> sind im Bereich Straubing bis Vilshofen mit der Wertstufe gut oder sehr gut bewertet. Dabei liegen die modellierten Unterschiede im Sauerstoffgehalt deutlich unter der Messgenauigkeit, entsprechend können diese Unterschiede messtechnisch nicht nachgewiesen werden.

### 3.6 Nährstoffverhältnisse

In den Tabellen 9 bis 11 sind an fünf Stationen für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub> der Gesamt-Phosphat-Gehalt, Ortho-Phosphat-Gehalt und Ammonium-Gehalt aufgelistet. Die Farbgebung entspricht der Einstufung in Wertstufen (siehe Tab. 5). Durch die in Kap. 3.4 gezeigte nur sehr geringe Änderung des Chlorophyll a-Gehalts gibt es auch bei den Nährstoffverhältnissen nur sehr geringe und bezüglich der Gewässergüte unbedeutende Veränderungen.

**Tab. 9: Modellierter Jahresmittelwert des Gesamt-Phosphat-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

Gesamt-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2007					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,100	0,102	0,094	0,094	0,097
Variante C <sub>2,80</sub>	0,100	0,102	0,094	0,094	0,097

Gesamt-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2008					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,097	0,098	0,093	0,093	0,094
Variante C <sub>2,80</sub>	0,097	0,098	0,093	0,093	0,095

Gesamt-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2009					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,092	0,095	0,083	0,083	0,086
Variante C <sub>2,80</sub>	0,092	0,095	0,083	0,083	0,086

Stickstoff- und Phosphorverbindungen werden vom Phytoplankton beim Wachstum aufgenommen und damit dem Wasserkörper entzogen. Bei der Variante C<sub>2,80</sub> werden geringfügig höhere Algengehalte prognostiziert, entsprechend nehmen die Algen mehr Nährstoffe auf. Andererseits erhöht sich durch die längere Fließdauer die Zeit, die für Stoffumsetzungen zur Verfügung steht, entsprechend werden die Nährstoffe reduziert. Dies führt aber in der Summe zu keiner Veränderung der Wertstufe gegenüber dem Ist-Zustand. Die Auswirkungen des geplanten Ausbaus sind sehr minimal und daher unbedeutend.

**Tab. 10: Modellierter Jahresmittelwert des Ortho-Phosphat-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

Ortho-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2007					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,045	0,044	0,045	0,045	0,045
Variante C <sub>2,80</sub>	0,045	0,044	0,045	0,045	0,045

Ortho-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2008					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,037	0,037	0,037	0,037	0,038
Variante C <sub>2,80</sub>	0,037	0,037	0,037	0,038	0,038

Ortho-Phosphat [mg/l] Jahresmittelwert 2009					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Ist Zustand	0,036	0,034	0,034	0,034	0,034
Variante C <sub>2,80</sub>	0,036	0,035	0,034	0,034	0,034

**Tab. 11: Berechneter Jahresmittelwert des Ammonium-Gehalts in mg/l und Wertstufen für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

<b>Ammonium [mg/l] Jahresmittelwert 2007</b>					
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>	<b>Deggendorf</b>	<b>Niederalteich</b>	<b>Vilshofen</b>	<b>Kachlet</b>
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>	<b>2284,6</b>	<b>2276,2</b>	<b>2250</b>	<b>2231</b>
Ist Zustand	0,071	0,068	0,062	0,064	0,067
Variante C <sub>2,80</sub>	0,071	0,068	0,062	0,063	0,067

<b>Ammonium [mg/l] Jahresmittelwert 2008</b>					
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>	<b>Deggendorf</b>	<b>Niederalteich</b>	<b>Vilshofen</b>	<b>Kachlet</b>
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>	<b>2284,6</b>	<b>2276,2</b>	<b>2250</b>	<b>2231</b>
Ist Zustand	0,064	0,061	0,055	0,055	0,056
Variante C <sub>2,80</sub>	0,064	0,061	0,055	0,054	0,055

<b>Ammonium [mg/l] Jahresmittelwert 2009</b>					
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>	<b>Deggendorf</b>	<b>Niederalteich</b>	<b>Vilshofen</b>	<b>Kachlet</b>
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>	<b>2284,6</b>	<b>2276,2</b>	<b>2250</b>	<b>2231</b>
Ist Zustand	0,049	0,046	0,043	0,042	0,043
Variante C <sub>2,80</sub>	0,049	0,046	0,043	0,042	0,043

Auch beim pH-Wert kommt es durch die sehr geringen Änderungen der Nährstoffe und der Algengehalte nur zu unbedeutenden Änderungen durch den geplanten Ausbau (Tab. 12), die messtechnisch nicht erfasst werden können.

**Tab. 12: Berechneter pH-Wert (Minimum-Maximum) für die Jahre 2007-2009 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub>**

<b>pH-Wert (Minimum-Maximum) 2007</b>										
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>		<b>Deggendorf</b>		<b>Niederalteich</b>		<b>Vilshofen</b>		<b>Kachlet</b>	
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>		<b>2284,6</b>		<b>2276,2</b>		<b>2250</b>		<b>2231</b>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ist Zustand	7,82	8,68	7,93	8,82	8,02	8,57	8,06	8,65	8,08	8,66
Variante C <sub>2,80</sub>	7,82	8,68	7,93	8,82	8,02	8,57	8,07	8,66	8,10	8,67

<b>pH-Wert (Minimum-Maximum) 2008</b>										
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>		<b>Deggendorf</b>		<b>Niederalteich</b>		<b>Vilshofen</b>		<b>Kachlet</b>	
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>		<b>2284,6</b>		<b>2276,2</b>		<b>2250</b>		<b>2231</b>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ist Zustand	8,04	8,55	8,12	8,70	8,12	8,48	8,19	8,57	8,19	8,59
Variante C <sub>2,80</sub>	8,04	8,55	8,12	8,69	8,12	8,48	8,19	8,57	8,19	8,60

<b>pH-Wert (Minimum-Maximum) 2009</b>										
<b>Station</b>	<b>Straubing</b>		<b>Deggendorf</b>		<b>Niederalteich</b>		<b>Vilshofen</b>		<b>Kachlet</b>	
<b>Fluss-km</b>	<b>2329,8</b>		<b>2284,6</b>		<b>2276,2</b>		<b>2250</b>		<b>2231</b>	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ist Zustand	7,87	8,39	7,97	8,60	8,05	8,47	8,11	8,56	8,12	8,60
Variante C <sub>2,80</sub>	7,87	8,39	7,96	8,59	8,04	8,47	8,10	8,57	8,12	8,61

## 4. Mögliche Auswirkungen des Klimawandels für die Variante C<sub>2,80</sub> im Vergleich zum Ist-Zustand

Im Rahmen der EU-Studie wurde auch ein Bericht zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Donaugebiet mit dem Schwerpunkt auf die Strecke Straubing bis Vilshofen erstellt (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.4). Demnach ergeben sich aus den Modellläufen für die nahe Zukunft (Zeitraum 2021 bis 2050) keine signifikanten Änderungen des Abflusses. Bei der Lufttemperatur hingegen werden durch die verschiedenen Klimaprojektionen mögliche Änderungen zwischen 1 und 3 °C prognostiziert. Um die möglichen Auswirkungen des Klimawandels in der nahen Zukunft abzuschätzen, wurden entsprechend mit dem Gewässergütemodell QSim Modellläufe mit einer erhöhten Lufttemperatur durchgeführt. Dafür wurde das Jahr 2007 gewählt, da hier die geringsten Abflüsse gemessen wurden, was zu einem erhöhten Einfluss der Temperatur führt. Die im Jahr 2007 vom DWD gemessene Lufttemperatur an den Wetterstationen Ulm, Dillingen, Regensburg und Metten (BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Tab. 3)) wurde um 1, 2 und 3 °C erhöht, alle übrigen Parameter waren identisch mit den in Kapitel 3 verwendeten Daten zu den Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> auf die Gewässergüte der Donau. Im folgenden werden die Auswirkungen dieser erhöhten Lufttemperatur auf die Wassertemperatur, das Phytoplankton und den Sauerstoffhaushalt des Ist-Zustand und der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> dargestellt.

### 4.1 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur beeinflusst nahezu alle physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge im Gewässer. Schon eine geringe Änderung der Wassertemperatur kann somit zu signifikanten Veränderungen der Gewässerchemie (z.B. Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser) oder der Gewässerbiologie (z.B. Filtrationsraten von Muscheln) führen. Diese Veränderungen wirken sich wiederum auf andere Prozesse im Gewässer aus.

Tabelle 13 zeigt den Jahresmittelwert sowie die Standardabweichung der Wassertemperatur bei normaler Lufttemperatur und bei erhöhter Lufttemperatur (+1, +2 und +3 °C) an den Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand, und Variante C<sub>2,80</sub> auf Basis des Jahres 2007. Im Mittel erhöht sich der Jahresmittelwert der Wassertemperatur bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 1 °C um 0,27/0,27 °C (Ist-Zustand/Variante C<sub>2,80</sub>), bei Erhöhung der Lufttemperatur um 2 °C um 0,60/0,60 °C und bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 3 °C um 0,94/0,95 °C. Das Jahresmaximum der Wassertemperatur erhöht sich im Mittel bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 1 °C um 0,42/0,43 °C (Ist-Zustand/Variante C<sub>2,80</sub>), bei Erhöhung der Lufttemperatur um 2 °C um 0,85/0,87 °C und bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 3 °C um 1,30/1,32 °C. Mit zunehmender Fließstrecke bis Deggendorf kommt es zu einer stärkeren Temperaturerhöhung in den Klimawandel-Szenarien. Die absolute Temperaturerhöhung geht an der Station Niederalteich wieder zurück, was auf den höheren Abfluss durch die Einmündung der Isar

zurückzuführen ist. An den weiteren Stationen (Vilshofen, Kachlet), an denen es zu keiner größeren Abflusszunahme kommt, steigt die absolute Temperaturerhöhung wieder an. Ist-Zustand und Variante C<sub>2,80</sub> unterscheiden sich bezüglich der Zunahme der Wassertemperatur durch die erhöhte Lufttemperatur kaum voneinander.

**Tab. 13: Berechnete Wassertemperatur (Jahresmittelwert und Jahresmaximum) für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C<sub>2,80</sub> ohne und mit erhöhter Lufttemperatur**

Wassertemperatur [°C] Jahresmittelwert und Standardabweichung 2007 ohne und mit erhöhter Lufttemperatur										
Ist-Zustand										
Station	Straubing		Deggendorf		Niederalteich		Vilshofen		Kachlet	
Fluss-km	2329,8		2284,6		2276,2		2250		2231	
	Ø	Max	Ø	STABW	Ø	Max	Ø	Max	Ø	Max
Normale Lufttemp.	11,93	25,03	11,99	25,51	12,68	24,84	12,68	25,52	12,67	24,93
Temp. + 1°C	12,19	25,44	12,29	26,02	12,92	25,19	12,94	25,93	12,94	25,36
Temp. + 2°C	12,51	25,86	12,68	26,54	13,21	25,55	13,27	26,35	13,29	25,80
Temp.+ 3°C	12,82	26,29	13,07	27,07	13,51	25,93	13,60	26,78	13,64	26,25
Variante C <sub>2,80</sub>										
Station	Straubing		Deggendorf		Niederalteich		Vilshofen		Kachlet	
Fluss-km	2329,8		2284,6		2276,2		2250		2231	
	Ø	Max	Ø	Max	Ø	Max	Ø	Max	Ø	Max
Normale Lufttemp.	11,93	25,03	11,97	25,38	12,67	24,83	12,67	25,35	12,65	24,96
Temp. + 1°C	12,19	25,44	12,27	25,89	12,90	25,20	12,93	25,77	12,93	25,39
Temp. + 2°C	12,51	25,86	12,66	26,41	13,20	25,58	13,26	26,19	13,28	25,84
Temp.+ 3°C	12,82	26,29	13,05	26,95	13,50	25,97	13,60	26,63	13,64	26,29

## 4.2 Phytoplankton (quantitativ)

Beim Phytoplankton gilt es bei der Betrachtung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels mehrere teils gegenläufige temperaturgesteuerte Prozesse zu beachten. So steigt beispielsweise die Wachstumsrate der Algen mit zunehmender Temperatur, was zu einer Erhöhung der Algenbiomasse führt. Zum anderen erhöhen sich auch die Respiration der Algen und der Grazingdruck von Muscheln auf die Algen, was zu einer Verringerung der Algenbiomasse führt. In der Nettobilanz ist der Zuwachs durch die erhöhte Wachstumsrate größer als die Verluste durch die erhöhte Respiration und den erhöhten Grazingdruck, wodurch es zu einem Anstieg der Algenbiomasse mit zunehmender Temperatur kommt. Im Mittel erhöht sich der Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehalts an den Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 1 °C um 0,13/0,12 µg/l (Ist-Zustand/Variante C<sub>2,80</sub>), bei Erhöhung der Lufttemperatur um 2 °C um 0,25/0,24 µg/l und bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 3 °C um 0,36/0,36 µg/l. Die ausbaubedingte Erhöhung des Saisonmittelwerts des Chlorophyll a-Gehalts an den Stationen innerhalb der Ausbaustrecke (Deggendorf, Niederalteich,

Vilshofen und Kachlet) liegt für die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> bei 0,28 µg/l (vgl. Tab. 6) und ist somit vergleichbar mit den Auswirkungen einer Temperaturerhöhung um 2 °C. Trotz der relativ geringen Erhöhung des Chlorophyll a-Saisonmittels kommt es bei einer Temperaturerhöhung um 2 °C und 3 °C bei der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> an der Station Niederalteich zu einer Verschlechterung um eine Wertstufe von sehr gut nach gut, da der Chlorophyllwert bei normaler Temperatur nur knapp unterhalb des Grenzwertes zur Wertstufe 4 liegt.

**Tab. 14: Modellierter Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehalts in µg/l und Wertstufen für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand 2012 und die Variante C<sub>2,80</sub> mit erhöhter Lufttemperatur**

Chlorophyll a-Gehalt [µg/l] Saisonmittelwert 2007 ohne und mit erhöhter Lufttemperatur					
Ist-Zustand					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	10,86	12,09	9,66	10,65	13,07
Temp. + 1°C	11,02	12,25	9,78	10,76	13,17
Temp. + 2°C	11,17	12,40	9,88	10,86	13,27
Temp. + 3°C	11,32	12,54	9,98	10,94	13,36
Variante C <sub>2,80</sub>					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	10,87	12,25	9,96	11,06	13,33
Temp. + 1°C	11,02	12,41	10,07	11,16	13,43
Temp. + 2°C	11,17	12,56	10,18	11,25	13,53
Temp. + 3°C	11,32	12,71	10,28	11,35	13,62

### 4.3 Sauerstoffhaushalt

Beim Sauerstoffhaushalt sind sowohl direkte als auch indirekte Effekte der Temperaturerhöhung durch einen möglichen Klimawandel zu beachten. Zum einen sinkt die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser mit steigender Temperatur. Zum anderen kommt es durch den leicht erhöhten Chlorophyll a-Gehalt zu höheren Tagesschwankungen beim Sauerstoff-Gehalt. Beides wirkt sich negativ auf den bewertungsrelevanten Saisonminimumwert des Sauerstoff-Gehalts aus. So sinkt der Saisonminimumwert pro 1 °C Erhöhung der Lufttemperatur im Mittel um 0,07 mg O<sub>2</sub>/l. An der Station Kachlet wird mit 0,27 mg/l bei einer Temperaturerhöhung um 3 °C die größte Veränderung gemessen. An der Station Vilshofen kommt es im Ist-Zustand schon bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C zu einer Verschlechterung der Wertstufe von sehr gut nach gut (Tab. 15). Der Saisonmittelwert sinkt im Mittel um 0,06/0,13/0,20 mg/l bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C/2 °C/3 °C

(Tab. 16). Die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung um 3 °C auf den Sauerstoffhaushalt sind somit deutlich größer als die ausbaubedingten Auswirkungen (vgl. Tab. 7 und Tab. 8).

**Tab. 15: Modellierter Saisonminimumwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l und Wertstufen für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub> ohne und mit erhöhter Lufttemperatur**

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Minimumwerte 2007 ohne und mit erhöhter Lufttemperatur					
Ist-Zustand					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	7,83	7,97	7,98	8,01	7,87
Temp. + 1°C	7,77	7,90	7,93	7,93	7,79
Temp. + 2°C	7,72	7,83	7,87	7,85	7,70
Temp. + 3°C	7,67	7,76	7,81	7,76	7,61
Variante C <sub>2,80</sub>					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	7,83	7,96	7,95	7,99	7,87
Temp. + 1°C	7,77	7,89	7,90	7,90	7,78
Temp. + 2°C	7,72	7,82	7,85	7,82	7,69
Temp. + 3°C	7,67	7,76	7,80	7,73	7,60

**Tab. 16: Modellierter Saisonmittelwert des Sauerstoff-Gehalts in mg/l für das Jahr 2007 der Stationen Straubing, Deggendorf, Niederalteich, Vilshofen und Kachlet für den Ist-Zustand und die Variante C<sub>2,80</sub> ohne und mit erhöhter Lufttemperatur**

Sauerstoff-Gehalt [mg/l] Saisonmittelwertmittelwert 2007 ohne und mit erhöhter Lufttemperatur					
Ist-Zustand					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	9,75	10,06	9,83	9,89	9,85
Temp. + 1°C	9,70	9,99	9,77	9,83	9,78
Temp. + 2°C	9,64	9,92	9,71	9,75	9,70
Temp. + 3°C	9,59	9,84	9,65	9,68	9,62
Variante C <sub>2,80</sub>					
Station	Straubing	Deggendorf	Niederalteich	Vilshofen	Kachlet
Fluss-km	2329,8	2284,6	2276,2	2250	2231
Gemessene Lufttemp. 2007	9,75	10,07	9,85	9,92	9,88
Temp. + 1°C	9,70	10,00	9,79	9,85	9,81
Temp. + 2°C	9,64	9,92	9,73	9,78	9,73
Temp. + 3°C	9,59	9,84	9,67	9,71	9,66

## 4.4 Gesamtbetrachtung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels

Die zu erwartenden Auswirkungen einer Temperaturerhöhung um bis zu 3 °C in der nahen Zukunft (2021-2050) führen nach unseren Modellergebnissen zu einem mittleren Anstieg der Wassertemperatur um bis zu 0,95 °C. Zu beachten ist, dass das Gewässergüte-Modell von Ulm ab gerechnet wurde und für die Modellränder (Donau bei Ulm sowie die Nebenflüsse) jeweils die gemessenen Wassertemperaturen des Jahres 2007 benutzt wurden. Tatsächlich hätte aber eine Erhöhung der Lufttemperatur schon erhebliche Auswirkungen auf die Wassertemperaturen an den Modellrändern, so dass in der vorliegenden Betrachtung der Effekt des Klimawandels auf die Wassertemperaturen unterschätzt wird. Es werden an den Modellrändern für die Temperaturverhältnisse zu niedrige Wassertemperaturen eingesetzt, die sich erst im Laufe einer gewissen Fließstrecke an die zu den erhöhten Lufttemperaturen passenden Wassertemperaturen anpassen. Trotzdem hat der simulierte Anstieg der Wassertemperatur eine gesteigerte Wachstumsrate des Phytoplanktons und somit eine Erhöhung des bewertungsrelevanten Saisonmittelwertes des Chlorophyll a-Gehalts zur Folge. Bei einer Erhöhung der Lufttemperatur um 3 °C sind die berechneten Auswirkungen bezüglich des Chlorophyll-Gehalts für die Ausbaubauvariante C<sub>2,80</sub> deutlich stärker als die des Ausbaus. Ein weiterer negativer Aspekt der Temperaturerhöhung zeigt sich beim Sauerstoffgehalt. Infolge der verringerten Wasserlöslichkeit von Sauerstoff bei höheren Temperaturen sinkt der bewertungsrelevante Saisonminimumwert um bis zu 0,27 mg/l. Auch der Saisonmittelwert verringert sich im selben Maße. Verglichen mit den Auswirkungen des Ausbaus sind die Auswirkungen des Klimawandel-Szenarios deutlich stärker. Im Jahr 2007 ergibt sich für die Ausbaubauvariante C<sub>2,80</sub> lediglich ein um maximal 0,03 mg/l verringerter Saisonminimumwert und Saisonmittelwert des Sauerstoffgehalts im Vergleich zum Ist-Zustand.

Eine detaillierter Berechnung der Auswirkungen des Klimawandels in der nahen Zukunft ist erst nach Vorlage von Tagesmittelwerten für die Abfluss- und Klimaprojektionen (vor allem Lufttemperatur und Globalstrahlung) möglich, unsere Berechnungen zeigen jedoch bereits Tendenzen an, in welche Richtung die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels sich entwickeln können.

Erste Projektionen zu Klima und Abflüssen in der fernen Zukunft (siehe EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.4) lassen erwarten, dass sich die hier für die nahe Zukunft beschriebenen Tendenzen bei verringerten Abflüssen und stärkerer Erhöhung der Lufttemperatur für die ferne Zukunft noch verstärken werden.

## 5. Zusammenfassung

Im Rahmen des geplanten Donauausbaus zwischen Straubing und Vilshofen wird eine EU-geförderte Studie erstellt, die als Grundlage für die politische Entscheidung über Art und Umfang des weiteren Donauausbaus dient. Bestandteil dieser Studie ist der vorliegende Bericht über die Gewässergüte der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> im Vergleich zum Ist-Zustand der Donau. Dabei werden biologische und physikalisch-chemische Qualitätskomponenten beurteilt und die Gewässergüte bestimmt. Hierzu wird ein auf Bestimmungen der Wasserrahmenrichtlinie ausgelegter Bewertungsrahmen verwendet (BfG-1559). Die Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> werden beschrieben und bewertet. Die Prognose zur Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> erfolgte mit Hilfe des Gewässergütemodells QSim, Version 13.0, der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Aus methodischen Gründen erfolgt die Berechnung in einem längeren Abschnitt als dem eigentlichen Planungsraum (siehe BfG-Bericht 1740a (EU-Studie Donauausbau Straubing Vilshofen, Anlage I.12, Kap. 2)).

Die Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> auf die Gewässergüte wird in Kap. 3 vorgestellt. Bei Variante C<sub>2,80</sub> sind neben flussregelnden Maßnahmen ein Schlauchwehr bei Aicha und ein Schleusenkanal geplant. Bei der betrachteten Ausbauvariante sinkt die Fließgeschwindigkeit und damit erhöht sich die Fließdauer. Gleichzeitig wird die mittlere Tiefe aufgrund flussregelnder Maßnahmen und im Bereich vor dem geplanten Schlauchwehr erhöht. Dies ist insbesondere bei niedrigen Abflüssen der Fall, bei mittleren und hohen Abflüssen hingegen zeigen sich nur sehr geringe Unterschiede zwischen dem Ist-Zustand und der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> (Kap. 3.2).

Eine Verlängerung der Fließzeit beeinflusst die biologischen Prozesse dahingehend, dass den Organismen mehr Zeit für Stoffumsetzungen und Produktion verbleibt. Gleichzeitig verschlechtert sich bei der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> durch die Zunahme der mittleren Wassertiefe das Lichtklima. Dadurch verbringen die Algen mehr Zeit im Dunkeln, die Respirationsverluste nehmen zu, und der Zuwachs an Algen verringert sich. Die flussregelnden Maßnahmen (hauptsächlich der Bau und die Verlängerung von Buhnen) führen außerdem zur Schaffung von strömungsberuhigten Zonen, in denen das Phytoplankton mehr Zeit zum Wachstum hat. Von den Buhnen aus kann daher der Hauptstrom mit Phytoplankton „angeimpft“ werden. Diese teilweise gegenläufigen Prozesse führen dazu, dass der Algengehalt bei Variante C<sub>2,80</sub> nur sehr gering vom Ist-Zustand abweicht. Die Gütemodellierungen zeigen jedoch, dass die wachstumsfördernden Prozesse überwiegen und der Chlorophyll a-Gehalt etwas höher ist als im Ist-Zustand. So liegt 2009 der Saisonmittelwert des Chlorophyll a-Gehaltes in Vilshofen beim Ist-Zustand bei 11,48 µg/l und bei Variante C<sub>2,80</sub> bei 11,77 µg/l. Es wird deutlich, dass nur minimale Änderungen prognostiziert werden, entsprechend hat die betrachtete Ausbauvariante keine Änderung der Wertstufe nach WRRL der Qualitätskomponente „Phytoplankton“ zur Folge. Das Phytoplankton des Ist-Zustands und der Variante C<sub>2,80</sub> ist oder bleibt im Bereich Straubing bis Vilshofen mit der Wertstufe gut oder sehr gut bewertet.

Auch der Sauerstoffhaushalt verändert sich bei Variante C<sub>2,80</sub> im Vergleich zum Ist-Zustand nur sehr gering. Durch die sehr geringen Veränderungen beim Chlorophyll a-Gehalt gibt es auch kaum Änderungen bezüglich des biogenen Sauerstoffeintrags. Der Sauerstoffhaushalt, der von Stauerrichtungen in abflussarmen Flüssen stark beeinträchtigt werden kann, wird durch die weitere Stauregelung der Donau mit ihrem vergleichsweise hohen Abfluss und der heutigen geringen Abwasserbelastung kaum negativ und abhängig vom Abflussgeschehen zum Teil sogar geringfügig positiv (Minimumwert 2008 und 2009 in Vilshofen, Tab. 8) beeinflusst. So liegt der Minimumwert des Sauerstoffs 2009 in Vilshofen beim Ist-Zustand mit 8,34 mg/l leicht höher als bei Variante C<sub>2,80</sub> mit 8,29 mg/l. Im Jahr 2008 liegt der Minimumwert des Sauerstoffs beim Ist-Zustand mit 7,87 mg/l jedoch leicht niedriger als bei Variante C<sub>2,80</sub> mit 7,97 mg/l. Der Sauerstoffhaushalt des Ist-Zustands und der Variante C<sub>2,80</sub> ist oder bleibt im Bereich Straubing bis Vilshofen mit der Wertstufe gut oder sehr gut bewertet.

Bei den Parametern der Qualitätskomponente „Nährstoffe“ sind selbst in der dritten Nachkommastelle kaum Unterschiede zwischen der Variante C<sub>2,80</sub> und dem Ist-Zustand auszumachen, was wiederum auf die geringe Änderung im Chlorophyll a-Gehalt zurückzuführen ist. Auch bei den Parametern der Qualitätskomponente „Nährstoffe“ kommt es in keinem Fall zu einer Veränderung der Wertstufe gegenüber dem Ist-Zustand. Die Nährstoffe im untersuchten Donauabschnitt werden meistens mit der Wertstufe gut bewertet.

Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässergüte der Donau in der nahen Zukunft (2021-2050) zeigen, dass sich der Jahresmittelwert der Wassertemperatur um bis zu 0,95 °C erhöhen wird. Dies führt zu einem Anstieg des Saisonmittelwerts des Phytoplanktons um bis zu 0,37 µg Chlorophyll a/l sowie zu einer Reduzierung des Saisonminimumwertes des Sauerstoff-Gehalts um bis zu 0,27 mg/l. Diese zu erwartenden Auswirkungen eines möglichen Klimawandels sind für den Sauerstoffhaushalt und das Phytoplankton deutlich größer als die Auswirkungen des geplanten Ausbaus der Donau.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> in allen hier betrachteten Bereichen der Gewässergüte zu nur sehr geringen Veränderungen gegenüber dem Ist-Zustand führen. Die Auswirkungen der Ausbauvariante C<sub>2,80</sub> auf Phytoplankton, Sauerstoffhaushalt und Nährstoffe sind derart gering, dass sie messtechnisch nicht erfasst, sondern nur mit Modellrechnungen quantitativ ermittelt werden können. Dies steht im Einklang mit früheren Untersuchungen an der Donau, nach denen die Auswirkungen der flussregelnden Maßnahmen bzw. der Stauregulierung auf die Gewässergüte der Donau sehr gering sind (BfG-0484, 1989; BfG-1280, 2000). Da es sich bei dem Gewässergütemodell QSim um ein rein deterministisches Modell handelt, sind die, wenn auch sehr geringen, Abweichungen zwischen Variante C<sub>2,80</sub> und dem Ist-Zustand kein Zufallsprodukt, sondern lassen die Tendenzen bei der Ausbauvariante erkennen. Ein statistisches Herausfiltern der Auswirkungen der Variante C<sub>2,80</sub> im Rahmen einer eventuellen Beweissicherung wird nicht möglich sein, da die Variabilitäten innerhalb eines Jahres und zwischen unterschiedlichen Jahren erheblich größer sind als die Effekte der Ausbauvariante (Bergfeld 2006).

## 6. Literatur

Bergfeld, T. (2006): Die Donau – Auswirkungen der Stauregelung auf Stoffhaushalt und Trophie. In: Müller/Schöl/Bergfeld/Strunck (Hrsg.): Staugeregelte Flüsse in Deutschland, Stuttgart, S. 99-112.

BfG-0484 (1989): Gütemodellrechnungen zur Auswirkung verschiedener Planungsvarianten beim geplanten Donauausbau Straubing - Vilshofen auf die Wasserbeschaffenheit. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, 31 S. und Anlagen.

BfG-1280 (2000) Donauausbau Straubing - Vilshofen, Stoffhaushalt und Trophie des Ist-Zustandes und der verschiedenen Ausbauvarianten. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 47 S. und Anlagen.

BfG-1559 (Stand September 2011) Bericht: Verfahren zur Bewertung in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung an Bundeswasserstraßen. - Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 139 S.