



ARGE ELBE / FGG ELBE

Sauerstoffgehalte der Tideelbe

- Entwicklung der kritischen Sauerstoffgehalte
im Jahr 2007 und in den Vorjahren,
Erörterung möglicher Ursachen und Handlungsoptionen -

Dezember 2007



Sachstandsbericht der Wassergütestelle Elbe

nach der Abstimmung in der Arbeitsgruppe "Oberflächengewässer" in der
Flussgebietsgemeinschaft Elbe - 30.11.2007

Bearbeitet:

Dipl.-Biol. Thomas Gaumert

Dipl.-Ing. Michael Bergemann

Sauerstoffgehalte der Tideelbe

- Entwicklung der kritischen Sauerstoffgehalte im Jahr 2007 und in den Vorjahren, Erörterung möglicher Ursachen und Handlungsoptionen -

Belastungssituation der Elbe vor der Wiedervereinigung Deutschlands

In den 1980er Jahren wurden große Mengen sauerstoffzehrender Stoffe im Elbeeinzugsgebiet in die Gewässer eingeleitet. Bezogen auf den Querschnitt der Elbe bei Schnackenburg wurden 400.000 bis 700.000 t/a bilanziert (**Tab.1**). Die zusätzliche Einleitung toxischer Stoffe hemmte die Nitrifikation und den Ab-

bau dieser Stoffe sowie das Algenwachstum (Primärproduktion) in der Mittleren Elbe. Erst im Bereich der Tideelbe wurden während der Sommermonate diese Prozesse durch die hohen Verweilzeiten begünstigt. Das sich in der Tideelbe aufgrund der Zehrungsprozesse ausbildende Sauerstofftal war seinerzeit maßgeblich durch die erst unterhalb Hamburgs ablaufende Nitrifikation bestimmt. Dabei verbraucht 1 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ rd. 4,3 mg/l O_2 . Während der warmen Jahreszeit wurde der für das Überleben der Fische erforderliche Mindestsauerstoffgehalt von 3 mg/l O_2 häufig unterschritten; oftmals lag das Sauerstoffminimum zwischen 0 bis 1,5 mg/l O_2 (**Abb. 1**, O_2 -Kurve vom 18. Juli 1985). Dann waren regelmäßige Fischsterben im Bereich Dradenau bis Wedel, besonders im Mai/Juni, die Folge (**Abb. 2**). Der Ausbau des Hamburger Klärwerkes mit biologischer Reinigungsstufe brachte eine deutliche Entlastung (**Tab. 2**).

Tab. 1 Jahresfrachten der Elbe bei Schnackenburg (Fluss-km 474,5)

Messgröße		1986	2006
Abfluss (MQ)	m ³ /s	716	707
BSB ₂₁	t/a	570.000	220.000
Ammonium	t/a N	49.000	2.600
Nitrat	t/a N	97.000	76.000
Gesamt-N	t/a N	190.000	89.000
o.Phosphat	t/a P	3.500	380
Gesamt-P	t/a P	10.000	3.600

Belastungsentwicklung nach der Wiedervereinigung Deutschlands

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands erfolgte in den neuen Bundesländern durch Industriestilllegungen, durch Umstellungen der Produktionsprozesse und insbesondere durch den Neubau vieler Abwasserbehandlungsanlagen ein bemerkenswerter Rückgang der Belastung der Elbe, auch der sauerstoffzehrenden Substanzen. Die mehr als halbierten Mengen der sauerstoffzehrenden Stoffe führte zunächst gerade in kritischen Zeiten zu einer deutlichen Erhöhung der Sauerstoffgehalte bei Hamburg/Wedel (**Abb. 2**, siehe ab 1991). Regelmäßige Fischsterben wurden nicht mehr festgestellt.

Seit etlichen Jahren scheint allerdings diese Wirkung teilweise aufgehoben zu sein. Die immer noch recht hohen Nährstoffgehalte im Bereich der relativ flachen Mittleren Elbe (**Abb. 3**) führen im Frühjahr und im Sommer zu periodischen Algenmassenentwicklungen, die zwar bei Tageslicht erhebliche Mengen an bio-

genem Sauerstoff produzieren, aber in Dunkelheit, also während der Nacht und bei größeren Wassertiefen, durch Atmung Sauerstoff verbrauchen. Gelangen diese Algenmengen nach der Passage des Wehres Geesthacht schließlich in den seeschifftiefen Bereich der Tideelbe, so reichen dort die kurzen Aufenthaltszeiten der pflanzlichen Schweborganismen in der durchlichteten oberflächennahen Wasserschicht nicht für eine positive Photosynthesebilanz aus. Bedingt durch Turbulenzen gelangen die Organismen immer wieder in den lichtlosen, tieferen Bereich. Mangels ausreichender Lichtversorgung überwiegt zunächst die Atmung, dann sterben diese Organismen schließlich ab und belasten durch die nachfolgende mikrobielle Zersetzung wiederum den Sauerstoffhaushalt der Tideelbe (Sekundärverschmutzung). Entsprechend bewegen sich die Sauerstoffminima heute zwischen 1 und 5 mg/l O_2 . Diese hier beschriebene Entwicklung trat allmählich ein.

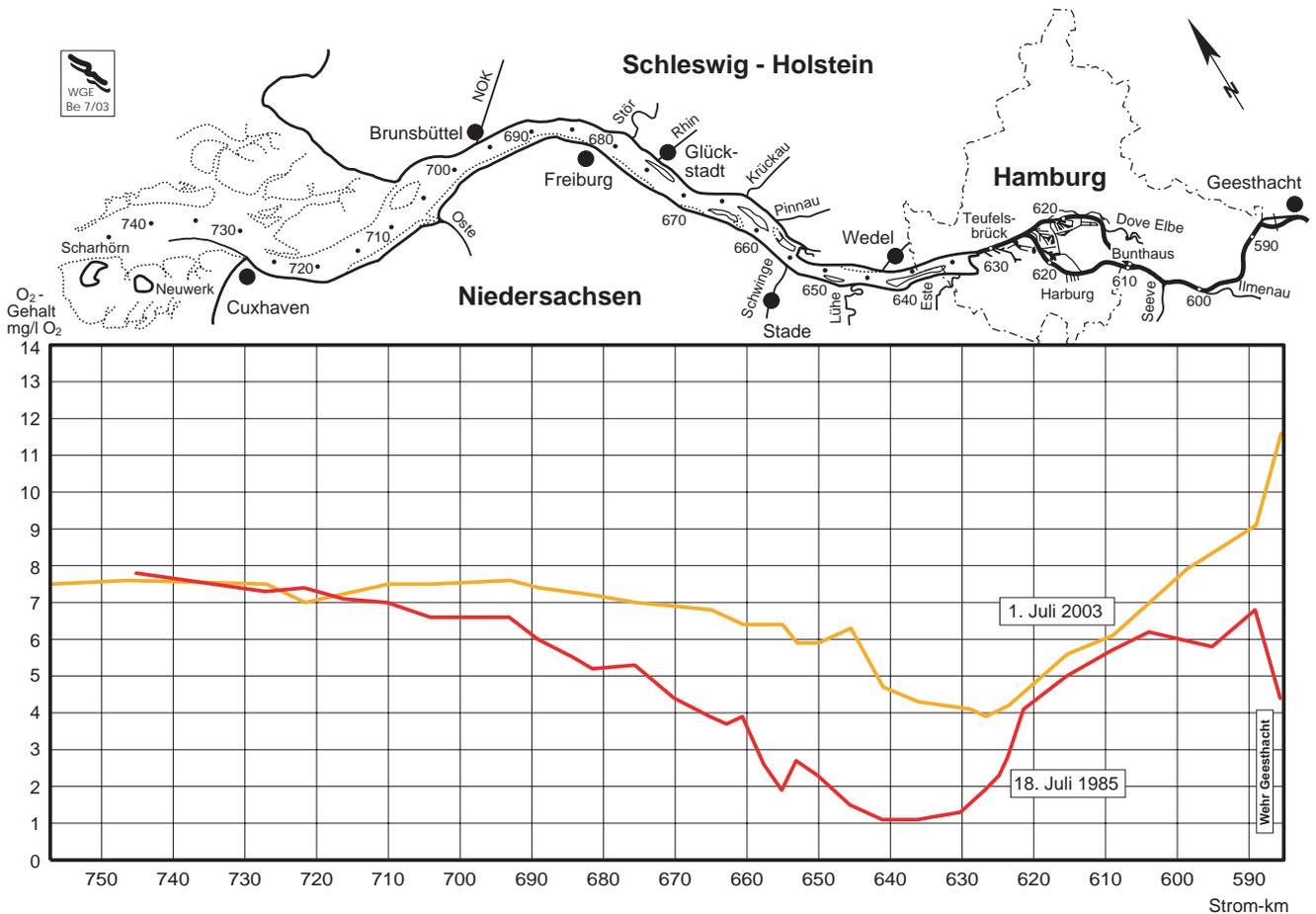


Abb. 1 Sauerstoff-Längsprofile der Tideelbe 1. Juli 2003 und 18. Juli 1985

Tab. 2 Abschätzungen der Einflüsse verschiedener Maßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt der Elbe bei Hamburg im Sommer

Maßnahme/Ereignis	Änderung des O ₂ -Gehaltes (mg/l O ₂)
Ausbau des Hamburger Klärwerkes Köhlbrandhöft/Dradenau (1980er Jahre)	+1 bis +1,5
Abdämmung der Haseldorfer Binnenelbe	-0,05 bis -0,1
Teilweise oder vollständige Zuschüttung von Hafengebäcken	-0,1 bis -0,2
Verringerung der Vorbelastung Anfang der 1990er Jahre	ca. +3
Anstieg der Sekundärverschmutzung in den 1990er Jahren	ca. -2
Fahrrinnenanpassung (1999) 13,5 auf 15,3 m	-0,2 bis -0,3
Teilweise Zuschüttung des Mühlenberger Lochs (ohne Ausgleich)	-0,1 bis -0,2

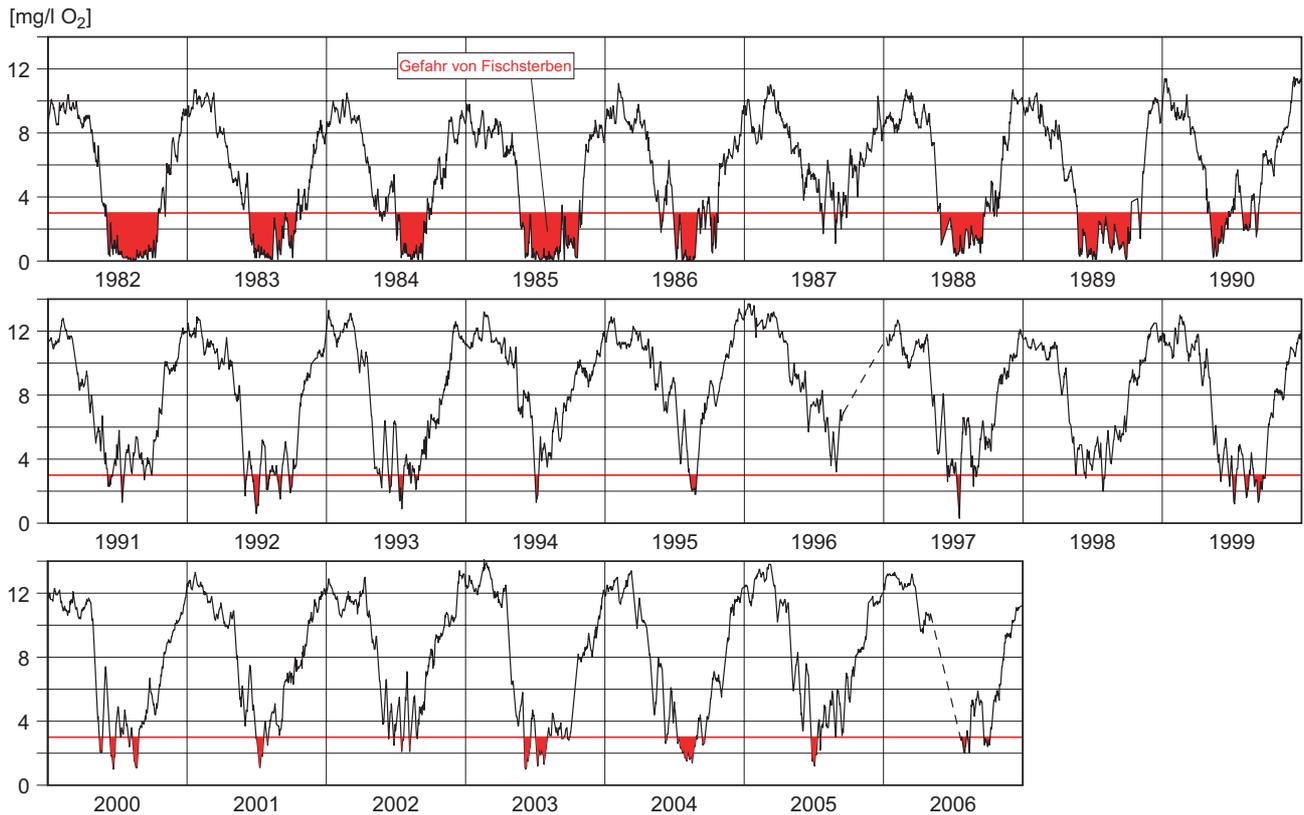


Abb. 2 Sauerstoffgehalt (Tagesminimum) der Elbe bei Hamburg-Seemannshöft (Strom-km 628,9)

Häufigkeitsentwicklung der Tage mit Sauerstoffgehalten unter 3 mg/l O₂

In der **Abb. 4** sind die jahresbezogenen Häufigkeiten der Unterschreitung des Sauerstoffgehaltes an der Messstation Seemannshöft (Hamburg) unter den Wert von 3 mg/l O₂ den Sommer-Mittelwerten des Oberwasserabflusses und der Wassertemperatur gegenübergestellt. Die Anzahl der Unterschreitungstage zeigt eine gewisse Abhängigkeit vom Abfluss und von der Wassertemperatur. Grundsätzlich bestimmt die Höhe des Oberwasserabflusses die Transportgeschwindigkeit der Wasserkörperteilchen in der Tideelbe und damit auch die Lage und Eintiefung des Sauerstofftales. Bei hohem Sommerabfluss liegt das Tal eher flach und lang ausgeprägt elbeabwärts bei Brunsbüttel und bei niedrigem Sommerabfluss eher kurz und tief im Hamburger Hafen. Statistisch gesehen sind die Zusammenhänge allerdings

nicht so signifikant, als dass eine Normierung der Häufigkeitwerte des Sauerstoffgehaltes möglich wäre.

Die Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse ab 1990/91 gegenüber den Vorjahren ist offensichtlich; sie lässt sich mit den Werten der Unterschreitungshäufigkeit statistisch absichern. Während in dem Betrachtungszeitraum von 1982 bis 1989 eine vergleichsweise hohe Anzahl von Tagen (im Mittel ca. 117 Tage) mit einem Sauerstoffgehalt unter 3 mg/l O₂ auftrat, zeigt der nachfolgende Zeitraum ab 1990/91 ein deutlich niedrigeres Niveau mit hoher Schwankungsbreite (im Mittel ca. 35 Tage). Nur bezogen auf den Zeitraum nach der Wiedervereinigung ist ein Trend der Häufigkeitwerte wegen deren großen Streuung nicht erkennbar.

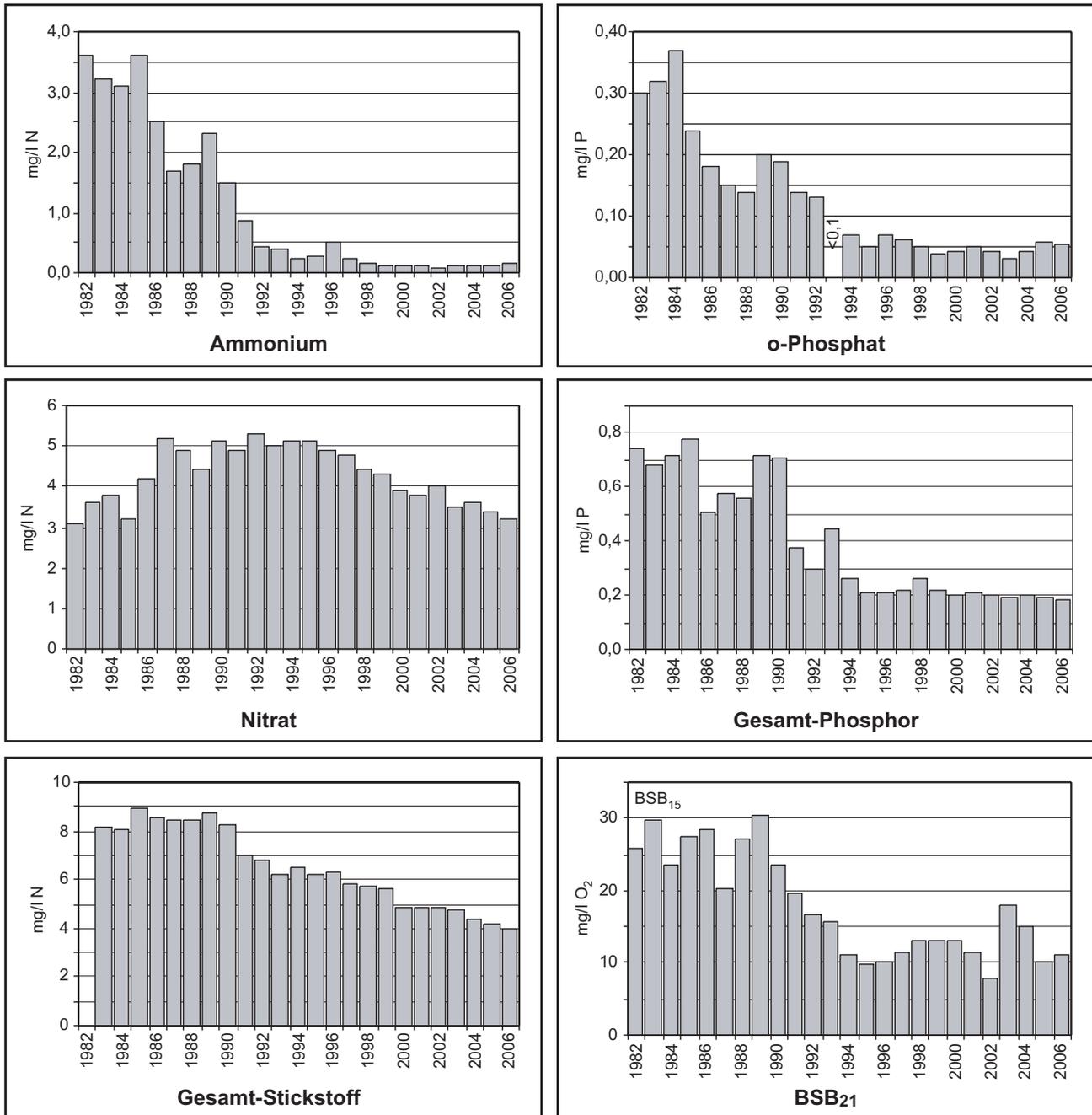


Abb. 3 Jahresmittelwerte der Nährstoff- und BSB-Gehalte der Elbe bei Schnackenburg

Auswirkungen auf die Fischfauna

Bei kritischen Sauerstoffwerten sind die Jungfischbestände – insbesondere die empfindlichen Jungstint - und die bodennah lebenden Kleinorganismen direkt betroffen. Aber auch die Wanderfischarten wie Aal, Lachs, Meerforelle, Flunder, Fluss- und Meerneunauge können in ihrem Wanderverhalten, z. B. auf dem Weg zu ihren Laichgebieten, eingeschränkt sein. Dies

ist dann der Fall, wenn unter bestimmten Voraussetzungen Wandertrieb und Sauerstofftal zeitlich gesehen zusammenfallen. Im schlimmsten Fall können Bestandsminderungen eintreten. Stehen in der Nähe des Sauerstofftals keine sauerstoffreicheren Flachwasserbereiche als Fluchtbiotope zur Verfügung, besteht die Gefahr von lokalen Fischsterben.

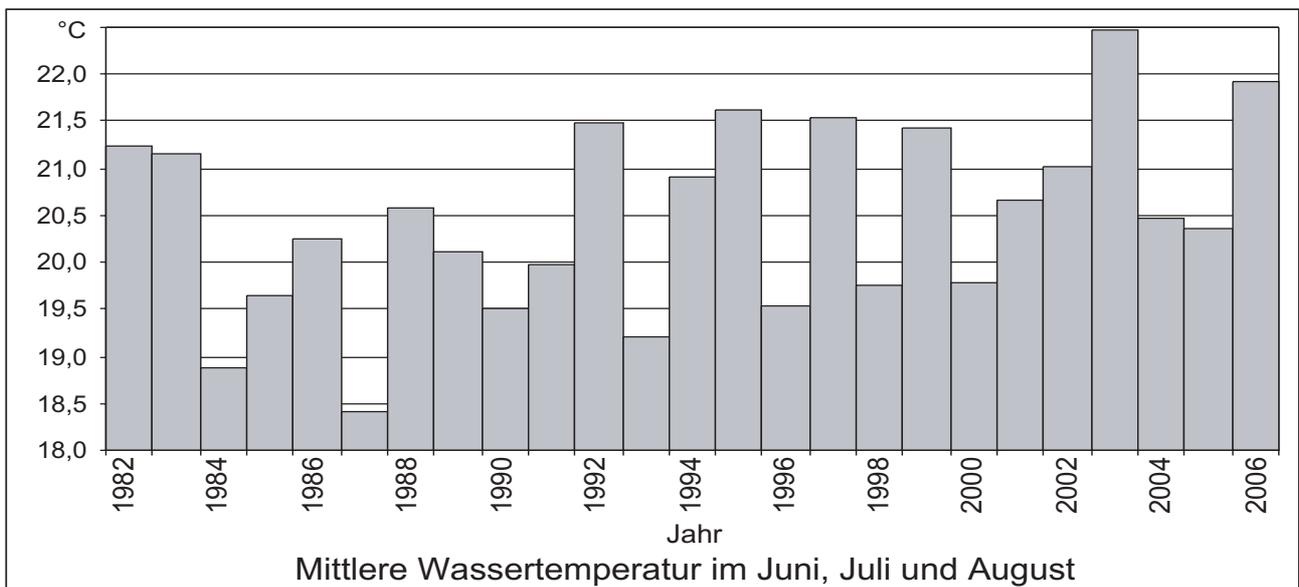
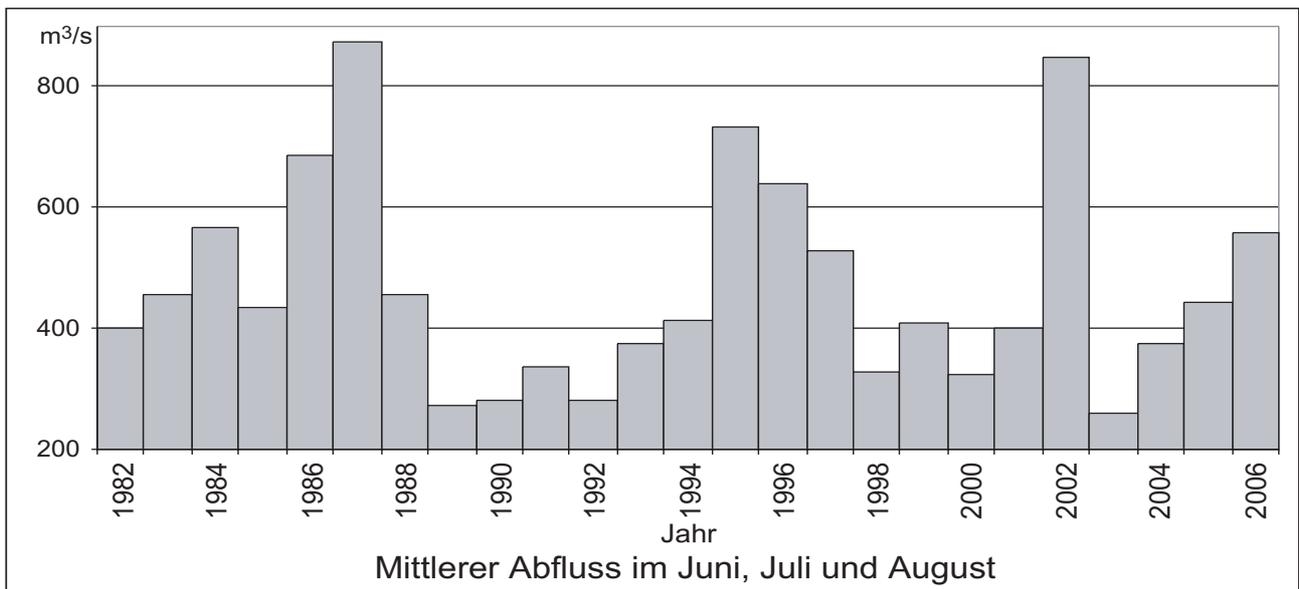
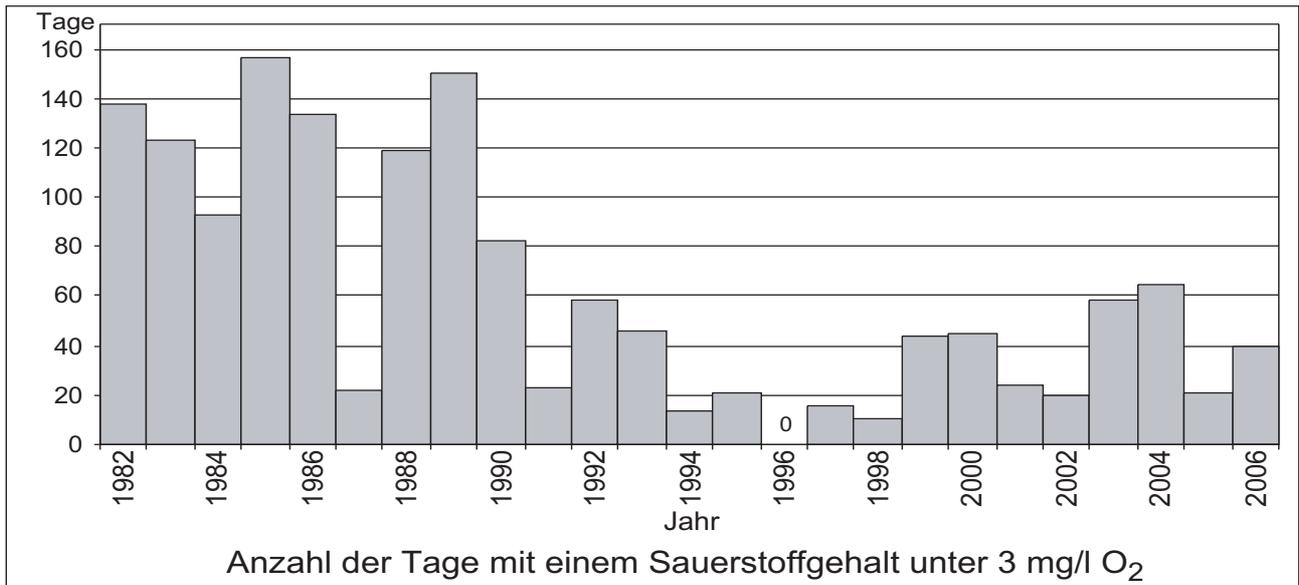


Abb. 4 Messstation Hamburg-Seemannshöft (Strom-km 628,9)

Wasserbauliche Maßnahmen

Die umfänglichen wasserbaulichen Maßnahmen im Bereich der Tideelbe, von denen die bedeutendsten in **Tab. 3** in chronologischer Reihenfolge aufgeführt sind, haben ebenfalls einen Einfluss auf den Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. Der Verlust von wirksamer Wasseroberfläche durch Zuschüttungen oder Abdämmungen verringert den atmosphärischen und biogenen Sauerstoffeintrag.

Auch eine Flussvertiefung wirkt sich negativ auf den Sauerstoffhaushalt aus, weil sich die spezifische Wasseroberfläche (Verhältnis von Oberfläche zu Tiefe) verringert. Die gleiche Wasseroberfläche muss dann einen größeren Wasserkörper mit Sauerstoff versorgen. Eine Vertiefung verlängert außerdem die Verweilzeit des Wassers. Damit vergrößert sich die Abbaumenge von sauerstoffzehrenden Stoffen an einem betrachteten Querschnitt. Eine Abschätzung der Wassergütestelle Elbe findet sich hierzu in **Tab. 2**. Die durch die Vertiefung erhöhte

maximale Flutstromgeschwindigkeit führt zu einem verstärkten Stromauftransport von Schwebstoffen/Sedimenten. Diese können auch zu einer Verlandung der Nebeneiben führen, die in bestimmten Zeiten eine Belüftungsfunktion für den Hauptstrom der Elbe übernehmen.

In der **Tab. 2** sind die Auswirkungen wichtiger Eintragsänderungen und wasserbaulichen Maßnahmen für eine typische Sommersituation zusammengefasst. **Abb. 5** gibt einen entsprechenden grafischen Überblick zu den Abschätzungen der Einflüsse verschiedener Maßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt der Elbe bei Hamburg im Sommer. Die Abschätzungen basieren auf den üblichen Ingenieursansätzen nach IMHOFF et al. (1976), BÖHNKE (1965) sowie auf eigenen Zehrungsversuchen (Langzeit-BSB) der Wassergütestelle Elbe (ARGE ELBE 1984).

Bewertung der Sauerstoffhaushaltssituation der Tideelbe

Derzeit muss der Sauerstoffhaushalt der Elbe im Sommer bei Hamburg als „überlastet“ bezeichnet werden – mit Sicherheit neben den Nährstoffeinträgen auch eine Folge der gesamten morphologischen Veränderungen, die im

Laufe der letzten 100 Jahre an der Tideelbe, die nach EG-Wasserrahmenrichtlinie vorläufig als heavily modified waterbody (HMWB) eingestuft ist, eingetreten sind.

Handlungsoptionen

Eine Verbesserung des Sauerstoffhaushaltes in der Tideelbe während der Sommermonate kann prinzipiell durch eine Erhöhung des Sauerstoffeintrages durch Wiederherstellung von Flachwasserbereichen, durch Reduzierung der Sauerstoffzehrung oder durch beides bewirkt werden. Die Größen, die einen Einfluss auf den Sauerstoffeintrag bzw. die Sauerstoffzehrung ausüben, sind in **Abb. 6** dargestellt (BERGEMANN et al 1996). Realistisch betrachtet können durch den Menschen nur bei einigen wenigen Größen wirksame Änderungen vorgenommen werden. Die Wassergütestelle Elbe

schließt sich den aus Modellergebnissen gewonnenen Erkenntnissen an, wonach die Sauerstoffsituation in der Elbe außer durch physikalisch-topographische Einflüsse auch durch die Algenkonzentration oberhalb des Wehres Geesthacht bestimmt wird. Maßnahmen zur Verbesserung der Sauerstoffsituation in der Unteren Elbe könnten deshalb vor allem neben der Verbesserung der Flachwassersituation durch eine Verringerung des Algenwachstums erfolgen. Prinzipiell ist dies durch Reduzierung des Phosphateintrages möglich, da das Algenwachstum in der Elbe bereits jetzt

Tab.3 Bedeutende Veränderungen an Gewässern im Bereich der Tideelbe in chronologischer Reihenfolge der Fertigstellung

Zeit	Art der Veränderung	Bereich Str-km von bis	Quelle
1344	Abdämmung der Gose-Elbe	~594	2
15. Jahrh.	Abdämmung der Gammer Elbe (Doveelbe)	~591	2, 4
1492 ?	Abdämmung der Bille-Mündung	620 ?	4
~1550	Durchbruch des Brook -> kleiner Grasbrook	621 ?	3
~1570	Durchstich Spadenlander Busch, Verschiebung der Norderelbe	614 ?	3, 4
1715	<i>07.02., Einsetzung der Elb-Deputation zur Verbesserung der Strömungsverhältnisse der Elbe und der Häfen</i>		3
1844	<i>16.12., Kauf eines britischen Dampfbaggers für die Elbvertiefung</i>		3
1852	Erweiterung des Niederhafens, Vertiefung des Stadtgrabens zwischen Sand- und Brooktor	~622,5	3
1856	<i>12.03. Köhlbrandvertrag zwischen Hamburg und Preussen, Ausbagger des Köhlbrand</i>		3
1858	<i>26.03. Entscheidung für Tidehafen</i>		3
1850-1863	Ausbau der Unterelbe auf - 5,30 m MTnw	620 See	6
1863-66	Bau des Sandtorhafens (1. künstliches Hafenbecken, Umschlag zum ersten Mal am Kai)	~622	3
1868	Verlängerung Bunthäuser Spitze um 350 m, Rückverlegung des Deiches bei Gauert (Nordufer)	609	3
ab 1875	Zuschüttung von Fleeten in Hamburg		3
1876-79	Durchstich durch die Kalte Hofe, auf 2500 m neues Bett, Verlegung der Dove-Elbe-Mündung, Verkürzung um 900 m, 1840 nötige Tiefe 4,3 m, 1890 8 m	615 618	3
1888	Bau des Segelschiffhafens	621	3
1897-1910	Ausbau der Unterelbe auf - 8 m MTnw	620 See	6
ab 1914	Bau neuer Hafenbecken: Parkhafen, Waltershofer Hafen, Petroleumhafen, Maakenwerder Hafen, Rugenbergerhafen	~625,5 ~628,5	8
1938-1939	Bau 1. Teil Leitdamm Hermannshof	705	7
1939-1940	Bau Leitdamm Kugelbake	727 736	7
1936-1950	Ausbau der Unterelbe auf -10 m MTnw (unterbrochen in den Kriegsjahren)	620 See	6
1950-1952	Absperrung Dove-Elbe durch Bau der Tatenberger Schleuse	~615	7
1959	Bau des inneren Este-Sperrwerks	~635	1
1953-1960	Ausbau der Rhinplate bis 1 m über MThw	671 677	1
1957-1960	Bau des Wehres und der Schleuse in Geesthacht	586	7
1957-1962	Ausbau der Unterelbe auf - 11 m MTnw	620 See	6
1962	Verkürzung der Deichlinien: Oortkaten bis Overwerder, Abschneidung des Priel "Dobber"; Finkenwerder, Abschneidung der Alten Süderelbe; Abdämmung Borsteler Binnenelbe	604 608 632 638 641,5	
1966	Bau des Seeve-Sperrwerks	605	7
1967	Sturmflut-Sperrwerke "Este" (äußeres), "Lühe" und "Freiburger Hafenpriel"	634,5; 645,5; 683	1
1967-1968	Verbindungsamm zwischen Hanskalbsand und Neßsand ca. 2,0 m über MThw	~640	1
1965- 1968	Sturmflut-Sperrwerk "Oste"	~705	1
1964-1969	Ausbau der Unterelbe auf - 12 m MTnw	620 See	6
1966-1969	Sturmflut-Sperrwerke "Pinnau" und "Krückau"	659; 664	1
1960er	Teilzuschüttung des Segelschiffhafens	621	8
1969-1971	Vordeichung Bützflethersand	655 660	9
1971	Sturmflut-Sperrwerke "Schwinge" und "Bützflether Süderelbe"	655; 660	1
1972	Elbehafen Brunsbüttel	694	1
1972	Bützflether Anleger	658	1
1949-1973	Weiterbau Leitdamm Kugelbake (hydr. wirksam ab1968)	727 736	7
1973	Bau des Ilmenau-Sperrwerks	~598,5	7

1970-1974	Ufervorspülung und Befestigung sowie Bau der Pionierinsel in der Lühesander Süderelbe	648		1
1973-1974	Eindeichung Hahnöfer Sand, Absperrung der Borsteler Binnenelbe	639	642	7
1972-1975	Sturmflut-Sperrwerk "Stör"	~679		1
1964-1969 u.1975/76	Ufervorspülung vom Störleitdamm bis zum Bütteler Hafenpriel	680	690	1
1975-1976	Hafen Kollmar	~666		1
1975-1976	Verfüllung des Segelschiffhafens. Teilverfüllung Sandtorhafen	621		7
1972-1977	Aufspülung des Wattes "Schwarztonnensand" 1,50 - 1,80 m über MThw	663	667	1
1974-1978	Ausbau der Unterelbe auf - 13,5 m MTnw	620	See	6
1975-1978	Vorverlegung der Deichlinie bei Haseldorf, Abschneidung der Haseldorfer Binnenelbe	~653		5
1976-1978	Eindeichung Nordkehdingen, Vordeichung Asseler Sand und Krautsand	663	683	7
1978	Sturmflut-Sperrwerke "Wedeler Au", "Ruthenstrom" und "Wischhafener Süderelbe"	676	706	
1977-1978	Bau des neuen Hafens Haseldorf	643; 667;		1
1979-1981	Bau des Fähranlegers Glückstadt	676		1
1980er	Teilzuschüttung des Kohlenschiffhafens, Steinwerder Kanals, Moldauhafen	621		8
1989	Aufspülung der Vogelschutzinsel Nigehörn	748		7
~1990	Zuschüttung des Neßkanals, einer Teilfläche des Rüschanals, des Südwesthafens, Teilverfüllung Grasbrookhafen	631; ~621,5;		8, 7
ab 1995	Zuschüttung des Vulkanhafens und des Indiahafens	632		
1997	Bau des Containerterminals Altenwerder	~624,5; ~621,5		8, 7
1999	Bau der Unterwasserablagerungsfläche Krautsand	620 SE		7
1998-2000	Anpassung auf - 14,5 MTnw	672 ?		
2001-2004	Zuschüttung eines Teiles des Mühlenberger Lochs	620	See	6
2002--2006	Teilzuschüttung des Kohlenschiffhafens	632	633	
2002-2006	Ausgleichsmaßnahme Hahnöfersand, 104 ha neues Süßwasserwatt	625		8
		639	642	8

Quellen:

- 1 DAHL & HECKENROTH (1983), Quelle WSA Hamburg
- 2 THEDE-OTTOWELL, Hamburg - Vom Alsterhafen zur Welthafenstadt
- 3 CHRONIKVERLAG, Die Chronik Hamburgs
- 4 WALTER BÖTTCHER, Hamburgs Hafen
- 5 ARGE ELBE (1991): Wasserwirtschaftliche Maßnahmen zur Verbesserung des gewässerökologischen Zustands der Elbe
- 6 WSA, Hamburg
- 7 HPA, Hamburg
- 8 Internet
- 9 GROSSKOPF, G. (1992), Küstenschutz und Binnenentwässerung zwischen Weser und Elbe

durch Phosphor limitiert wird (**Abb. 3**), während bei den vorhandenen hohen Konzentrationen an anorganischem Stickstoff wesentlich größere Reduzierungen notwendig wären, um zu einer Limitierung zu kommen.

Nach BEHRENDT et al (2003) stammen im Zeitraum 1998 – 2000 die Phosphoreinträge in die deutschen Teile des Flusssystemes Elbe zu 77,3 %

aus diffusen Quellen und zu 22,7 % aus Punktquellen. Die diffusen Quellen im Zusammenhang mit der Landwirtschaft beziffert er auf 49,1 %.

Die Wassergütestelle Elbe schätzt ab, dass zur Vermeidung von Algenmassenentwicklungen die derzeitigen maximalen o-Phosphat-Konzentrationen um rd. die Hälfte reduziert wer-

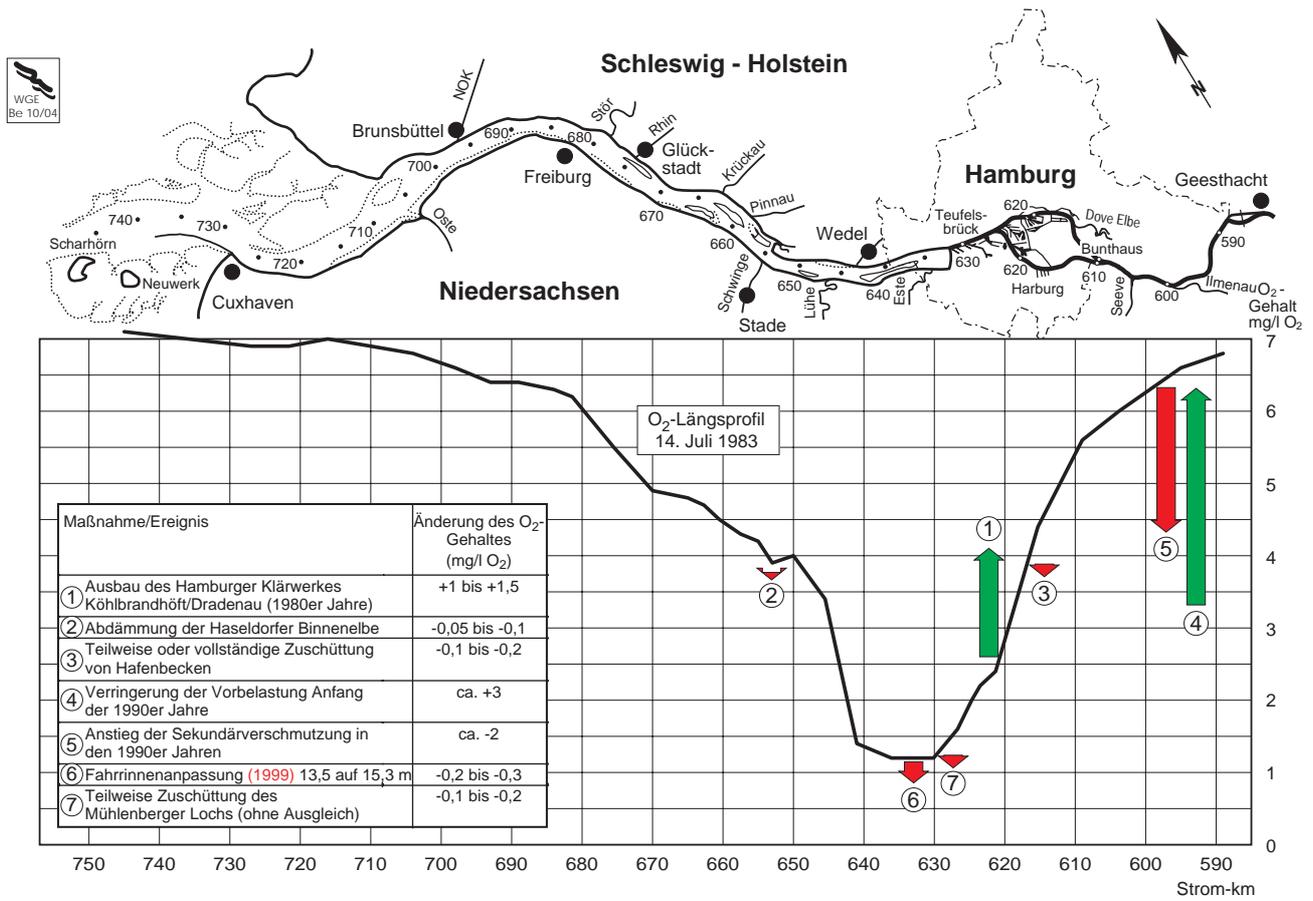


Abb. 5 Abschätzung des Einflusses verschiedener Maßnahmen auf den Sauerstoffhaushalt der Tideelbe

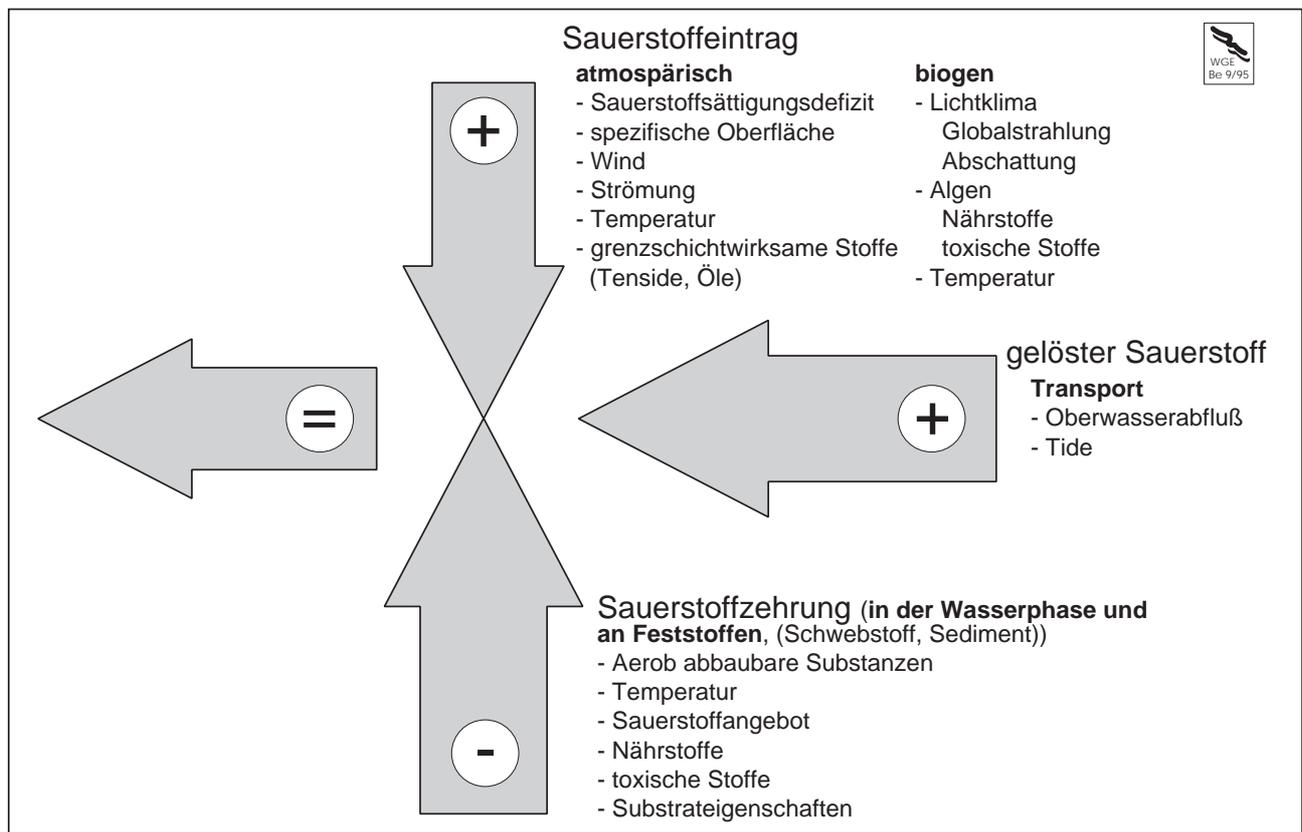


Abb. 6 Einflussgrößen auf den Sauerstoffgehalt eines Fließgewässers

den müssten, was allerdings realistisch betrachtet kaum möglich sein dürfte. Durch welche Maßnahmen beispielsweise welche Frachtenreduzierung überhaupt noch erreicht werden können und welchen Beitrag diese dann bei der Konzentrationsreduzierung in der Tideelbe leisten werden, muss ggf. einem noch von Nährstoffexperten zu erarbeitenden Folgepapier vorbehalten bleiben. Einzubeziehen

wäre in jedem Fall aber auch der Anteil, der aus dem tschechischen Einzugsgebiet stammt.

Als Schwellenwert wird in der Limnologie ein Wert von rd. 0,01 mg/lP angesehen (KAUSCH, mündl. Mitt.). Dies ist auch der Wert, der in etwa der natürlichen Grundbelastung der Elbe entspricht (FLÜGGE et al 1988) und der zeitmäßig vor der großen Industrialisierung liegt.

Literatur

- IMHOFF, K. u. K. (1976): Taschenbuch der Stadtentwässerung. – ISBN 3-486-31 884-5, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München.
- BÖHNKE, B. (1965): zitiert in IMHOFF et al. 1976.
- ARGE ELBE (1984): Gewässerökologische Studie der Elbe von Schnackenburg bis zur See. – Bericht der Wassergütestelle Elbe, 98 S., Hamburg.
- BERGEMANN, M., BLÖCKER, G., HARMS, H., KERNER, M., MEYER-NEHLS, R., PETERSEN, W. & F. SCHROEDER (1996): Der Sauerstoffhaushalt der Tideelbe. – Sonderdruck aus „Die Küste“, H. 58, S. 199 – 261, Westholsteinische Verlagsanstalt Boysen & Co. Heide i. H.
- BEHRENDT, H., BACH, M., KUNKEL, R., OPITZ, D., PAGENKOPF, W.-G., SCHOLZ, G. & F. WENDLAND (2003): Quantifizierung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Verfahrens. – Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Wasserwirtschaft, Kurzfassung zum Forschungsvorhaben 29922285 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau.
- FLÜGGE, G., GAUMERT, T. & M. BERGEMANN (1988): Gewässergütekriterien und Bewirtschaftungsmodelle für die Tideelbe. - Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Gewässergüteüberwachung, Forschungsbericht 102 04 337 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.