

6.01 AOX/TOC

Vorhergehende Berichte: HLfU 1997 (für 1991-1996), S. 29-33; HLfU 1999 (für 1997-1998), S. 18-19; HLUg 2003a (für 1999-2001), S. 2-6
 Tabellen: HLUg 2003b, Tab. 1-6

I. Allgemeine Angaben

Der Summenparameter AOX gibt die Gesamtmenge der an Aktivkohle adsorbierbaren, schwach bis mittelpolaren organischen Halogene an. Er kann in der wässrigen Phase oder auch im Feststoff bestimmt werden. Im Rahmen der Orientierenden Messungen wurden normalerweise nur Feststoffproben auf AOX untersucht, 2002/2003 jedoch auch das Wasser im Ablauf von Kläranlagen.

Organohalogenverbindungen zählen zu den prioritären Umweltschadstoffen. Sie sind lipophil, werden i.d.R. nur langsam abgebaut und akkumulieren in der Nahrungskette. Ihnen und damit dem Summenparameter AOX kommt toxikologisch/ökotoxikologisch große Bedeutung zu. Die meisten Angaben in diesem Kapitel beziehen sich auf Messungen des AOX.

Ebenfalls bestimmt wurde der Feststoffgehalt an TOC (Total Organic Carbon). Der TOC ist ein Summenparameter, der den gesamten in organischen Molekülen gebundenen Kohlenstoff umfasst. Er ist eine Kenngröße für die Belastung von Abwasser und Oberflächenwasser mit organischen Stoffen.

II. Verfügbare Messdaten

Übersicht 6.01.1: AOX/TOC – Messdaten 1991-2003			
Probenahmeort: Ortstyp/Matrix	Stoffgruppe /Parameter	Jahre	Anmerkungen
1. Oberflächengewässer Schwebstoff	AOX	1991-2000	zwischen 10 und 20 Oberflächengewässer, davon 9 durchgehend; Sonderuntersuchung Schwarzbach/Rodau
		2002/2003	6 Oberflächengewässer
	TOC	1991-2000	zwischen 5 und 21 Oberflächengewässer, davon 3 durchgehend; Sonderuntersuchung Schwarzbach/Rodau (1995-2000)
		2002/2003	11 bzw. 8 Oberflächengewässer; 2-13 Messwerte/Jahr
Sediment	AOX	1991-2001	zwischen 1 und 6 Oberflächengewässer
	TOC	1991-2001	zwischen 1 und 6 Oberflächengewässer; Hafenbecken/Altrheinarme (1997/1998, 2000)
2. Kommunale Kläranlagen Ablauf (Wasser)	AOX	2002	9 KKA
	AOX	2002/2003	9 KKA
		TOC	2002/2003
Ablauf (Schwebstoff)	AOX	2002/2003	9 KKA
	TOC	2002/2003	8 KKA

Klärschlamm	AOX	1991-1996	zwischen 1 und 3 KKA
	TOC	2002/2003	8 bzw. 9 KKA
3. Industrielle Kläranlagen			
Ablauf (Wasser)	AOX	2002	6 IKA
Ablauf (Schwebstoff)	AOX	2002/2003	5 bzw. 6 IKA
	TOC	2002/2003	5 bzw. 6 IKA
Klärschlamm	AOX	1991-2001	zwischen 4 und 8 IKA, davon 4 durchgehend
		2002/2003	6 IKA
	TOC	2002/2003	6 IKA

Im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung der chemischen Gewässergüte der hessischen Fließgewässer werden AOX und TOC außerdem in Wasserproben an den Messstellen des hessischen Gewässergüte-Messnetzes (HGM) gemessen (HLUG 2002).

III. Herkunft – Umweltverhalten – Toxizität

1. Umwelteinträge und Vorkommen

Mit dem AOX werden vornehmlich organische Halogen-Verbindungen anthropogenen Ursprungs erfasst, die i.d.R. in der Natur selbst nicht vorkommen. Der AOX ist insofern ein wichtiger Parameter der Umweltvorsorge. Daneben werden mit dem AOX auch halogenorganische Verbindungen natürlichen Ursprungs erfasst, die in Wasser, Boden und Sediment gebildet werden. Jedoch besteht weitgehend Unkenntnis darüber, wie groß ggfs. der Anteil einer natürlichen Hintergrundbelastung mit AOX zu veranschlagen ist (vgl. Fokuhl 1999; Schulze-Rettmer 2001; Müller 2003). Viele der Halogenverbindungen sind schwer abbaubar. Der AOX von Abwässern ist ein abgabepflichtiger Schmutzfrachtparameter, der gemessen an der Abgabelast im Vergleich zum CSB (Chemischer Sauerstoff-Bedarf) als deutlich belastender für die Gewässer eingestuft wird. Der TOC ist neben dem CSB eine wichtige Kenngröße für die Belastung eines Oberflächengewässers mit organischen Stoffen, die natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein können. Für die Höhe des TOC spielen auch Faktoren wie Vegetation, Klima/Temperatur (als Wachstumsfaktor) u.ä. eine wichtige Rolle. Beide Summenparameter sind übergreifende Belastungsindikatoren, erfassen jedoch unterschiedliche Parameter. In beiden Fälle liegt, wie weiter unten anhand der Schwebstoffdaten gezeigt wird, die Spanne zwischen weniger und stärker belasteten Gewässern etwa bei 1:3. Dabei bewegt sich die Variationsbreite der Werte in den einzelnen Gewässern über den gesamten Beprobungszeitraum seit 1991 (Mittelwerte, Minimum zu Maximum) beim AOX zwischen 1:2 und 1:4, beim TOC zwischen 1:2 und 1:3.

Die AOX-Einträge setzen sich zusammen aus Belastungen aus kommunalen Kläranlagenabläufen, Einleitungen von Industrie und Gewerbe und aus diffusen Belastungen. Letztere machten Anfang der 90er Jahre ca. ein Drittel aus (Abschätzungen für die Ruhr), wobei sie hauptsächlich durch oberflächennahes Grundwasser sowie trockene und nasse Deposition zustande kamen (ATV-Arbeitsgruppe 1993). Beim häuslichen Abwasser betrug der Anteil durch Wasch- und Reinigungsmittel an der AOX-Gesamtbelastung 20-40 Prozent (Hagendorf 1992). Zur Entwicklung der AOX-Gehalte in Oberflächengewässern lässt sich generell festhalten, dass ein erheblicher Rückgang sowohl an leicht- wie auch schwerflüchtigen Organohalogen-Verbindungen seit den achtziger Jahren stattgefunden hat (Brauch/Jülich 1996). U.a.

hat dazu der Verzicht auf die Chlorbleiche in der Zellstoff- und Papierindustrie beigetragen. Im Rhein sanken die AOX-Frachten zu Beginn der 90er Jahre. Seit 1992 liegen sie etwa auf demselben Niveau (300 t/a bei Basel, 800 t/a bei Düsseldorf). Die AOX-Konzentrationen im Rhein und seinen Nebenflüssen zeigten im Zeitraum 1996-2000 nur geringfügige Veränderungen. (RIWA 2002).

Das Umweltbundesamt hat eine Gesamtberechnung der *punktuellen* AOX-Einträge für die Bundesrepublik durchführen lassen (Böhm et al. 2000; Bezugsjahre: 1993-1997 für kommunale, 1997 für industrielle Einleiter). Daraus geht hervor, dass knapp 50 Prozent der AOX-Einträge aus industriellen Direkteinleitungen und 50 Prozent aus kommunalen Kläranlagen stammen. Mit Abstand die wichtigsten Einleiterbranchen waren im genannten Zeitraum die Chemische Industrie (rd. 80 Prozent der industriellen Direkteinleitungen), gefolgt von der Zellstoff-, Papier- und Pappe-Industrie (13 Prozent) sowie dem Bereich Wasseraufbereitung/Kühlsysteme. Die Gesamtfracht aus den genannten Quellen wurde auf 837 t/a AOX berechnet. Rund die Hälfte der industriellen Einleitungen stammte von sechs Unternehmen, die in den Rhein einleiten. Darunter sind zwei oberhalb des hessischen Rheinabschnitts gelegene Unternehmen (Ciba-Geigy/Grenzach-Whylen und BASF/Ludwigshafen, mit zusammen rd. 44 Prozent der AOX-Einleitung der sechs industriellen Großeinleiter) sowie als größter hessischer Einleiter InfraServ/Höchst, auf den rd. 9,5 Prozent der Einleitung der sechs Großen in das Flussgebiet des Rheins entfielen.

Bei der Bewertung der Messgröße AOX ist zu berücksichtigen, dass bestimmte polare Chlorverbindungen (z.B. Chlorethanol oder Chloressigsäure) nur schlecht an Aktivkohle binden und daher nur teilweise registriert werden.

Die Verteilung des AOX zwischen Wasser- und Schwebstoffphase wurde aus Messungen, in denen der AOX sowohl im Wasser als auch im Schwebstoff hessischer Fließgewässer bestimmt wurde, abgeschätzt: Der schwebstoff-gebundene AOX-Anteil ließ sich zu 2-5 Prozent berechnen (vgl. HLFU 1997).

2. Stoffeigenschaften, Toxizität von AOX

Da es sich beim AOX um einen Summenparameter handelt, können keine direkten und allgemeingültigen Angaben zur Toxizität/Ökotoxizität getroffen werden. Der Summenparameter erfasst gleichermaßen toxische und weniger bzw. nichttoxische Verbindungen (zu letzteren gehören z.B. jodorganische Verbindungen aus Röntgenkontrastmitteln in Krankenhausabwässern; vgl. Steger-Hartmann et al. 1998; Brauch/Sacher 2001). Zugleich werden toxische Verbindungen wie Chloressigsäure nicht erfasst.

Generell zählen die Organohalogenverbindungen jedoch zu den Umweltstoffen mit besonderer toxikologischer/ökotoxikologischer Relevanz. Die Einführung von Halogenen, speziell von Chlor, in organische Moleküle erhöht im Allgemeinen deren Lipophilie sowie biologische Reaktivität und ist nahezu regelmäßig mit einer Verstärkung ihres toxischen Wirkpotentials verbunden (Henschler 1994). Halogenorganische Verbindungen neigen i.d.R. zur Akkumulation in der Nahrungskette. Sie werden meist nur langsam mikrobiologisch abgebaut. Von besonderer ökotoxikologischer Bedeutung sind halogenorganische Pestizide, bei denen Persistenz, Akkumulationsneigung und Toxizität zusammenfallen und die bestimmungsgemäß in die Umwelt ausgebracht werden. Halogenorganische Verbindungen stellen einen großen Teil der prioritären Verbindungen, für die nach WRRL Umweltqualitätsnormen aufgestellt werden. Ebenso

stellen sie einen großen Teil der bekannten mutagenen und kanzerogenen Verbindungen.

Ein hoher AOX gibt in jedem Fall Hinweise auf eine ausgeprägte Abwasser- und eine potentiell problematische Halogenbelastung. Beim Klärschlamm gilt AOX als schädliche Stoffgruppe mit vorrangiger Relevanz (Litz et al. 1998).

3. Bewertungsgrundlagen – Zielwerte

Für AOX und TOC liegen eine Reihe von Zielwerten von LAWA und Flußgebietsgemeinschaften vor, die sich primär auf die Wasserphase beziehen. Für AOX gibt es auch zwei Vorgaben für Schwebstoff und schwebstoffbürtiges Sediment sowie für Klärschlamm.

Übersicht 6.01.2: AOX/TOC – Bewertungsgrundlagen			
Matrix	Parameter	Zielwerte: QZ/QN/ZV	Quelle
Wasser	AOX	25 µg/L (A)	LAWA ¹
		25 µg/L (T; A)	IKSE
		50 µg/L (T)	IKSR
	TOC	5 mg/L	LAWA ¹
9 mg/L (T; A)		IKSE	
Schwebstoff	AOX	50 mg/kg TS	ARGE Elbe
Schwebstoffbürtiges Sediment	AOX	50 mg/kg TS	IKSE ²
Klärschlamm	AOX	500 mg/kg TS	AbfKlärV 1992; EU 2000 ³

¹ LAWA-Güteklassifikation für Summenkenngrößen, Güteklasse II, BMU 2001; ² Nutzungsart „Landwirtschaftliche Verwertung von Sedimenten“; ³ 3. Entwurf zur Novellierung der EU-Klärschlammrichtlinie (EU 2000, Annex IV); (A): Schutzgut Aquatische Lebensgemeinschaften; (T): Schutzgut Trinkwasserversorgung.

IV. Hessische Werte: Einzeldaten und Trends

1. AOX im Wasser hessischer Oberflächengewässer

1.1 AOX-Werte 1993-2001

Im Rahmen der regelmäßigen Überprüfung der chemischen Gewässergüte wird in hessischen Oberflächengewässern unabhängig von den Orientierenden Messungen auch der AOX in der Wasserphase bestimmt (HLUG 2002). Tab. 6.01.1 gibt die Werte für die Messstellen Main/Bischofsheim und Landgraben/Großgerau-Wallerstädten für die Jahre 1993-2001 wieder, anhand derer die Größenordnung der AOX-Gehalte im Wasser abgelesen werden kann.

Tab. 6.01.1: AOX im Wasser von Main und Landgraben, 1993-2001 (90 Perzentil, µg/L)

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Main/Bischofsheim	35	27	20	19	<20	28	<20	<20	-
Landgraben/Großgerau-Wallerstädten	-	95	90	100	80	140	93	41	35

Daten nach HLUG 2002

Im Main bei Bischofsheim lag der AOX-Gehalt (90 Perzentil) 1993-2000 zwischen <20 und 35 µg/L; 1999 und 2000 unter 20 µg/L. Höhere Werte wurden im Landgra-

ben gemessen, der in starkem Maße Abwasser führt.¹ Die 90 Perzentil-Werte bewegten sich hier 1994-2001 zwischen 35 und 140 µg/L.

1.2 Zielwertüberschreitungen

Der LAWA-Zielwert (Gewässergüteklasse II, 25 µg/L) wurde im Main 1993, 1994 und 1998 überschritten; im Landgraben lagen die Werte in allen Jahren und z.T. weit über der Zielvorgabe.

2. AOX im Schwebstoff hessischer Oberflächengewässer

2.1 Mittelwerte und Spannbreite der AOX-Gehalte im Schwebstoff für alle beprobten Gewässer 1991-2000

Zwischen 1991 und 2000 wurden bei den Orientierenden Messungen zwischen zehn und zwanzig hessische Oberflächengewässer auf AOX beprobt. Der *Mittelwert* der AOX-Werte im Schwebstoff dieser wechselnden Auswahl hessischer Gewässer bewegte sich in einem „Korridor“ von 70-90 mg/kg TS (vgl. HLUG 2003a).

Bei allen Gewässern, die zwischen 1991 und 2000 regelmäßig am gleichen Ort beprobt wurden, lagen die *Mittelwerte pro Ort* zwischen 56 (Main/Seligenstadt) und 175 mg/kg TS (Rodau/Mündung). Die Spanne der Messwerte aus den letzten Jahren bewegt sich in diesem Rahmen. Sie reicht bei der Gesamtheit der beprobten Flüsse für 1999/2000 von 50 (Main/Seligenstadt 1999) bis 166 mg/kg TS (Rodau/Mündung 2000), für 2002/2003 von 66 (Lahn/Limburg-Staffel sowie Main/Bischofsheim) bis 124 mg/kg TS (Rodau/Mündung). Die in den einzelnen Oberflächengewässern gewonnenen Werte können von Jahr zu Jahr stark schwanken. Dies zeigt ein Vergleich der extremen Werte für 1998 und 1999: Beim Rhein folgte auf 151 mg/kg TS 1998 in 1999 ein Wert von 79 mg/kg TS, bei der Rodau betragen die entsprechenden Werte 237 und 68 mg/kg TS.

Eine Reihe von Flüssen liegt im langfristigen Mittel 1992-2000 deutlich *über* dem „Korridor“ von 70-90 mg/kg TS, so Rhein, Weschnitz, Schwarzbach, Rodau. Dass hierzu nicht nur Gewässer mit hohem, auch durch ihren Bor-Gehalt ausgewiesenem (kommunalem) Abwasseranteil gehören, sondern ebenso der Rhein, erklärt sich aus der o.a. Bedeutung der industriellen Punkteinleiter für die AOX-Belastung. *Niedriger* (unter 70 mg/kg TS) liegen im langfristigen Mittel Ohm, Fulda, Haune und Diemel, ebenso der Main bei Seligenstadt mit 56 mg/kg TS. Dagegen beträgt der Mittelwert für die weiter stromabwärts gelegene Messstation Main/Bischofsheim (nach den Einleitungen aus dem Frankfurter Raum) 86 mg/kg TS.

Die 1995 bis 2000 durchgeführte Sonderuntersuchung von Schwarzbach und Rodau ergab durchgängig hohe AOX-Belastungen des Schwebstoffs. Die Median- bzw. Mittelwerte bewegten sich zwischen 130 und 169 mg/kg TS, lagen also fast doppelt so hoch wie bei den anderen Oberflächengewässern. Dies hängt mit dem hohen Schmutzwasseranteil dieser Gewässer zusammen.

¹ Der Bor-Gehalt als Indikator für Abwasserbelastung lag beim Main/Bischofsheim 1996/97 unter 160 µg/L, im Landgraben/Mündung zwischen 441 und 743 µg/L (HLfU 1997).

2.2 AOX-Belastung im Schwebstoff der sechs kontinuierlich beprobten Gewässer 1991-2003; Trend

Tab. 6.01.2 führt nur die sechs 1991-2003 durchgehend beprobten Fließgewässer auf. Der Mittelwert der AOX-Gehalte dieser sechs Gewässer ist etwas höher als bei der o.a. größeren Gewässerauswahl und schwankt in den genannten Jahren zwischen 69 (1999) und 130 mg/kg TS (1992).

Die AOX-Gehalte der einzelnen Gewässer sind recht unterschiedlich. Die Spanne der Mittelwerte/Ort über die Jahre 1991-2003 reicht von 67 (Fulda) bis über 165 mg/kg TS (Rodau). Die Spanne beträgt also etwa 1:2,5; sie kann bei den Jahreswerten der einzelnen Fließgewässer durchaus noch höher liegen (1992 reicht die AOX-Schwebstoffkonzentration von 60 mg/kg TS in der Fulda bis 280 mg/kg TS in der Rodau, die Spanne beträgt 1:4,7). Rodau und Schwarzbach haben die im Durchschnitt höchsten AOX-Konzentrationen im Schwebstoff; die Fulda hat die geringsten Werte.

Die Höchstwerte wurden allesamt in Jahren 1991-1996 erreicht. Danach zeichnet sich bei den meisten, einschl. der stärker belasteten Gewässern (Rodau, Schwarzbach, Main, Nidda und Lahn) eine allmähliche Belastungsminderung ab. Bei der Fulda schwanken die Werte mehr oder weniger kontinuierlich um den Mittelwert. Nimmt man die Mittelwerte pro Jahr über alle sechs Flüsse, so ist ebenfalls eine allmähliche, wenn auch nicht sehr ausgeprägte Abschwächung der AOX-Belastung zu beobachten. Der Mittelwert für die Jahre 1991-1998 beträgt 110, für die Folgejahre 1999-2003 84 mg/kg TS (Reduktion um knapp 25 Prozent).

Tab. 6.01.2: AOX im Schwebstoff hessischer Oberflächengewässer 1991-2003 (mg/kg TS)

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2002	2003	MW/Ort
Main	114	90	198	84	66	64	52	65	55	73	66	71	83,2
Fulda	43	60	62	58	78	86	78	74	57	79	72	58	67,1
Lahn	130	70	49	124	59	103	59	78	70	63	66	71	78,5
Nidda	92	140	100	102	78	72	98	86	70	91	81	77	90,6
Rodau	176	280	140	192	153	165	171	237	68	166	114	124	165,5
Schwarzbach	147	140	99	174	127	122	117	101	92	126	85	105	119,6
MW/Jahr	117	130	108	122	94	102	96	107	69	100	81	84	101

Messtellen: Main/Bischofsheim; Fulda/Hann. Münden; Lahn/Limburg-Staffel; Nidda/Mündung; Rodau/Mündung; Schwarzbach/Mündung. 2002/2003: jeweils MW aus zwei Messwerten. Grau unterlegt: Messwert >MW/Ort. Fett: Höchster Wert/Ort.

2.3 Zielwertüberschreitungen und Vergleichswerte

Zur Bewertung können die Zielvorgaben für Schwebstoff (ARGE Elbe) bzw. schwebstoffbürtiges Sediment (IKSE; Nutzungsart „Landwirtschaftliche Verwertung von Sedimenten“) in Höhe von 50 mg/kg TS herangezogen werden (vgl. Übers. 6.01.2). Alle in Tab.6.01.2 aufgeführten AOX-Konzentrationen im Schwebstoff aus den sechs langfristig beprobten hessischen Oberflächengewässern liegen (mit Ausnahme eines Wertes, Fulda 1991) über dieser Zielvorgabe. Nur 11 von 204 AOX-Werten aus den Jahren 1991-2003 liegen unter 50 mg/kg TS.

Ein Vergleich der *Schwebstoff-AOX-Gehalte* hessischer Fließgewässer mit jenen anderer deutscher Flüsse für die Jahre 1994 und 1999-2001 ergab gleiche Größenordnungen (vgl. HLfU 1997; HLUG 2003a). Auch die 2002/2003 gefundenen AOX-

Konzentrationen im Schwebstoff lagen mit 48-134 mg/kg TS in der gleichen Größenordnung wie Vergleichs-Werte aus Rheinland-Pfalz (35-179 mg/kg TS) oder Sachsen (49-176 mg/kg TS) aus vorhergehenden Jahren. In einigen kleineren hessischen Gewässern wurden im Rahmen der Sonderuntersuchung Schwarzbach/Rodau jedoch noch weit höhere Werte gefunden (Maximum 354 mg/kg TS im Gundbach, 2000). Daten aus vergleichbaren kleinen und abwasserreichen Fließgewässern anderer Bundesländer waren jedoch nicht verfügbar.

3. AOX im Sediment

AOX-Sedimentuntersuchungen bei einer Reihe als belastet einzustufender Gewässer liegen für die Jahre 1991 (6 Gewässer, 15 Messstellen), 1992 (3 Gewässer, 9 Messstellen) und 1994 (nur Main, 6 Messstellen) vor. Durchgehend beprobt wurde der Main bei Eddersheim (rechts) im Zeitraum 1991-2001 (Werte aus sieben Jahren). Zwei Messwerte (1999/2000) stammen vom Gerätsbach (nach KA Langen).

3.1 AOX – Sedimentwerte 1991-2001

Die AOX-Gehalte im Sediment variieren sehr stark (vgl. Tab. 6.01.3). In Neckar, Schwarzbach, Schwarzbach (Taunus) und Rodau (1991) lagen sie zwischen 20 und 100 mg/kg TS. In Schwarzbach und Gundbach (1992) und der Fulda bei Fulda-Gläserzell erreichte die Belastung mittlere Werte von 120 bis 220 mg/kg TS. Bei Fulda-Gläserzell zeigte sich die Wirkung der Kläranlageneinleitung: Oberhalb der KA wurde 48 mg/kg TS gemessen, nach der Kläranlage 218 mg/kg TS.

Tab. 6.01.3: AOX im Sediment hessischer Oberflächengewässer 1991-2001 (mg/kg TS)

20-100 mg/kg TS	120-220 mg/kg TS	240-913 mg/kg TS
Neckar, Schwarzbach, Schwarzbach (Taunus), Rodau: 1991; Fulda (Fulda-Gläserzell, obh. KA): 1991 Gerätsbach: 1999/2000	Fulda (Fulda-Gläserzell, unterh. KA): 1991 Schwarzbach, Gundbach: 1992	
Main/Griesheim: 1991; Main/Eddersheim (Mitte): 1991, 1994; Main/Eddersheim (rechts): 1991, 1999; Main/Kleinostheim: 1991, 1994; Main/Bischofsheim: 1991-1994	Main/Griesheim: 1992; Main/Eddersheim (Mitte) 1992 Main/Eddersheim (rechts): 1998	Main/Eddersheim (rechts) 1992-1997, 2001; Main/Offenbach 1994

Messstellen, soweit nicht angegeben: Neckar/Hirschhorn; Schwarzbach: obh. Hegbach, obh. Landgraben, Mündung; Main/Griesheim: drei Messstellen km 26, 28, 28 re. Inselufer; Rodau/Mündung; Gerätsbach n. KA Langen.

Im Main-Sediment bei Offenbach, Griesheim und Eddersheim mussten 1991-1994 teilweise hohe AOX-Werte von 170-390 mg/kg TS registriert werden (Maximalwert 745 mg/kg TS bei Eddersheim 1994). Die bei Eddersheim (rechts) in den Folgejahren (1997/98 bis 2001) fortgesetzten Probenahmen ergaben weiterhin stark streuende Werte: 1997/98 913/139 mg/kg TS, 1999 66 mg/kg TS, 2001 705 mg/kg TS AOX. Zwar geht hier die erhöhte AOX-Konzentration im Sediment auch mit einem höheren Gehalt an organischer Substanz insgesamt einher (erhöhter TOC-Anteil); die Schwankungen im AOX sind jedoch deutlich ausgeprägter und dürften auf die Inhomogenität des Sediments zurückzuführen sein. Die insgesamt hohe Sediment-Belastung des Mains bei Eddersheim ist Folge von Einleitungen der dort ansässigen

Industrie. Bei Bischofsheim erreichte die Sedimentbelastung dagegen nur Werte zwischen 52 und 65 mg/kg TS (1991-1994).

Die Werte für den Geräthsbach von 1999/2000 waren ebenfalls vergleichsweise niedrig (32 bzw. 88 mg/kg TS).

Daten für eine Trendaussage liegen nur vom Main bei Eddersheim (rechts) vor. Hier zeigt sich zwischen 1991 und 2001 keine wesentliche Veränderung der vergleichsweise hohen AOX-Sedimentbelastung.

3.2 Zielwertüberschreitungen und Vergleichswerte

Die Zielvorgabe nach IKSE von 50 mg/kg TS für schwebstoffbürtiges Sediment (vgl. Übers. 6.01.2) wird in fast allen Gewässern zumindest in einzelnen Messjahren oder geringfügig überschritten. Grundsätzliche Ausnahmen machen nur Neckar (1991) und Rodau/Mündung (1991), die allerdings nur einmal beprobt wurden. Zu beachten ist, dass die Messwerte von Jahr zu Jahr stark variieren können: Im Main bei Griesheim wurden 1991 11 mg/kg TS, 1992 170 mg/kg TS gemessen. Im Main wird bei den Messstellen Griesheim, Kleinostheim, Offenbach und Bischofsheim die Zielvorgabe 1991/92-1994 mit Werten zwischen 51 und 385 mg/kg TS fast immer überschritten, bei Eddersheim (rechts) mit Werten zwischen 66 und 913 mg/kg TS 1991-2001 stets.

4. AOX im Ablauf und Klärschlamm kommunaler und industrieller Kläranlagen in Hessen 1991-2003

4.1 AOX im Kläranlagenablauf (Wasser) kommunaler und industrieller Kläranlagen 2002

4.1.1 Werte (Wasser/Kläranlagenablauf)

Für 2002 wurde der AOX-Gehalt im Wasser von neun kommunalen und sechs industriellen Kläranlagen bestimmt. Bei den kommunalen KA lag der AOX-Gehalt relativ gleichmäßig verteilt zwischen 26 und 65 µg/L (Mittelwert: 43 µg/L). Bei den industriellen Kläranlagen wurde nur bei einem Betrieb eine Belastung gemessen, die der Größenordnung der KKA entspricht (131, 67 µg/L). Bei drei der sechs Betriebe lagen die Werte zwischen 150 und 285 µg/L, bei zwei weiteren mit 470 (I13) und 910 µg/L (I11) noch deutlich darüber.

4.1.2 Zielwertüberschreitungen

Die für Oberflächenwasser geltenden Zielvorgaben von 25 bzw. 50 µg/L (vgl. Übersicht 6.01.2) von LAWA, IKSE und IKSR, die hilfsweise für die Beurteilung herangezogen werden können, wurden 2002 bei den neun KKA stets (25 µg/L) bzw. im Fall der 50 µg/L bei drei von ihnen (KKA Sindlingen, Hanau, Limburg) überschritten. Die IKA lagen generell über dem Wert von 50 µg/L.

4.2 AOX im Kläranlagenablauf (Schwebstoff) kommunaler und industrieller Kläranlagen 2002/2003

4.2.1 Werte (Schwebstoff/Kläranlagenablauf)

Der AOX im Schwebstoff des Ablaufs *kommunaler KA* lag 2002 und 2003 in der gleichen Größenordnung: Die Spanne betrug 2002 91-203 mg/kg TS, 2003 82-257 mg/kg TS. Die Mittelwerte waren mit 151 bzw. 147 mg/kg TS nahezu identisch.

Das Maximum wurde in beiden Jahren in der KKA Gießen gemessen, die Minimalwerte in Fulda-Gläserzell (2002) und Frankfurt/M.-Sindlingen.

Bei den *industriellen KA* (2002: 5, 2003: 6) betrug die Spanne 2002 120-2.690 mg/kg TS und 2003 173-1.930 mg/kg TS. In beiden Jahren wiesen zwei IKA deutlich erhöhte AOX-Werte im Schwebstoff auf: Bei I11 wurden 1.890 und 998 mg/kg TS gemessen, bei I12 2.690 bzw. 1.930 mg/kg TS, also annähernd das Zehnfache der AOX-Maxima bei KKA. Die anderen IKA erreichten im Maximum eine Belastung um 600 mg/kg TS. Nur eine IKA (I41 mit den niedrigsten Werten) wies Belastungen auf, die jenen der KKA entsprach. Die hohen Werte bei den beiden IKA I11/I12 korrespondieren mit dem hohen Einleiter-Anteil von Infraser/Höchst an der AOX-Belastung der Rheinschiene, der in der o.a. Untersuchung von Böhm et al. (2000) identifiziert worden war (vgl. Abschn. III, Umwelteinträge und Vorkommen).

4.2.2 Vergleich kommunale und industrielle KA, Ablaufwerte

Der Vergleich der AOX-Gehalte im Ablauf (Wasser, Schwebstoff) von kommunalen und industriellen Kläranlagen lässt zweierlei erkennen:

Erstens ist die AOX-Belastung der industriellen Kläranlagen fast immer deutlich höher als die der kommunalen Kläranlagen. *Zweitens* ist die Spannweite bei den industriellen KA bedeutend größer als bei den kommunalen KA. Die Spannweite zwischen niedrigstem und höchstem Messwert beträgt 2002 bei den kommunalen KA für die AOX-Wasserbelastung 1:3, für die Schwebstoffbelastung 2002 1:2 und 2003 1:3. Im Fall der industriellen KA liegt die Spanne beim Wasser bei 1:13,5, beim Schwebstoff 2002 bei 1:22, 2003 bei 1:11. Dies unterstreicht die Bedeutung der jeweiligen Produktpalette für die AOX-Belastung der industriellen Kläranlagen.

4.2.3 Zielwertüberschreitungen und Vergleichswerte

Für den AOX-Gehalt im Schwebstoff im KA-Ablauf gibt es keine speziellen Zielvorgaben. Hilfsweise kann auf die für Oberflächengewässer geltende Zielvorgabe der ARGE Elbe von 50 mg/kg TS verwiesen werden, die bei allen KKA und IKA überschritten wurde.

4.3 AOX im Klärschlamm kommunaler und industrieller Kläranlagen 1991-2003

4.3.1 Werte (Klärschlamm KKA)

Zum AOX-Gehalt im Klärschlamm aus *kommunalen Kläranlagen* liegen nur wenige stichprobenartige Daten für die vier größten hessischen KA vor (eine KA wurde 1991-1995, drei nur 1994, eine nur 1996 beprobt). Die Werte bewegten sich zwischen 138 mg/kg TS (Frankfurt/Main-Sindlingen, 1994) und 3.220 mg/kg TS (Fulda-Gläserzell 1991). Bei der letztgenannten kommunalen KA, deren Klärschlamm wegen sehr hoher AOX-Gehalte von 1991 bis 1995 untersucht wurde, ging die Belastung bis 1995 auf 271 mg/kg TS herunter, was in der Größenordnung anderer kommunaler Klärschlämme aus den Jahren 1994-1996 liegt (138-775 mg/kg TS).

4.3.2 Zielwertüberschreitungen und Vergleichswerte (KKA)

Der Grenzwert der Klärschlammverordnung beträgt 500 mg/kg TS. Dieser Wert wurde bei den 1991-1996 beprobten Klärschlämmen aus KKA bei 4 von insgesamt 7 Messwerten überschritten (Fulda-Gläserzell 1991/1992, Hanau 1994 und Seligenstadt 1996). In Fulda-Gläserzell lagen die Befunde 1994/95 unter diesem Grenzwert, ebenso in Frankfurt/M.-Sindlingen 1994.

Die AOX-Konzentrationen (Mittelwerte) im Klärschlamm von 32 kommunalen Kläranlagen des Umlandverbandes Frankfurt bewegten sich 1993-1996 zwischen 212 und 257 mg/kg TS, die Maximalwerte zwischen 350 und 575 mg/kg TS. Nur in einem Jahr wurde die Marke von 500 mg/kg TS überschritten. (HLfU 1997)

Für 1994-1996 ergab eine Erhebung des UBA „Normalwerte“ für AOX im kommunalen Klärschlamm von 200-400 mg/kg TS; 90 Prozent der Werte lagen unter 400 mg/kg TS (Umwelt 1999). Die hessischen Werte von Mitte der 90er Jahre entsprechen AOX-Gehalten im Klärschlamm von 136 KKA aus NRW (Medianwerte zwischen 75 und 230 mg/kg TS; Stock et al. 2002) bzw. von 23 KKA aus Sachsen-Anhalt (Ende der 90er Jahre, Median 202 mg/kg MS, Maximum: 353 mg/kg TS; vgl. HLUG 2003a).

4.3.3 Werte (Klärschlamm IKA)

Für sechs *industrielle Kläranlagen* liegen Langfristdaten zum AOX-Gehalt im Klärschlamm seit 1991 (ohne 1993) bis 2003 vor (vgl. Tab. 6.01.4).

Drei dieser IKA weisen durchgängig AOX-Gehalte im Klärschlamm zwischen 15 und 630 mg/kg TS auf, die in der Größenordnung der für Mitte der 90er Jahre registrierten Belastungen der kommunalen Klärschlämme liegen. Bei diesen drei IKA (I21, I31, I41) verändert sich die AOX-Belastung zwischen 1991 und 2003 im Grundsatz nicht. Sie liegt im Durchschnitt aller Werte bei 240 mg/kg TS, wobei die MW der drei IKA nahe beieinander liegen: I21: 226 mg/kg TS; I31: 214 mg/kg TS; I41: 272 mg/kg TS.

Bei den drei anderen IKA (I11 bzw. I12 ; I13) wurden bedeutend höhere AOX-Werte gemessen, die i.d.R. über 1.000 mg/kg TS liegen und im Maximum 9.210 mg/kg TS erreichten.

Tab. 6.01.4: AOX im Klärschlamm von sechs hessischen industriellen Kläranlagen 1991-2003 (mg/kg TS)

	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
I11	320	2.600	2.210	339	230	1.150	2.582	2.720	3.350	2.000	1.520	966
I12	9.210	7.400	6.480	2.180	>3.000	7.660	5.098	2.440	2.380	2.430	3.090	3.330
I13	862	1.600	1.660	1.688	1.570	722	896	914	780	876	584	231
I21	115	260	132	137	122	76	117	375	405	382	319	273
I31	281	230	-	-	268	164	31	434	15	230	274	212
I41	172	190	177	-	252	122	237	333	630	553	151	173

Im Einzelnen:

- Im Klärschlamm von I11 liegen nur wenige Jahreswerte deutlich unter 1.000 mg/kg TS, ansonsten zwischen 1.000 und 3.350 mg/kg TS. Eine Veränderung ist hier nicht zu beobachten (MW: 1.700 mg/kg TS).
- Bei dem Griesheimer Werk (I12) lag der AOX-Gehalt der Klärschlämme 1991-1998 im Durchschnitt bei 5.900 mg/kg TS, seitdem bei etwa 2.700 mg/kg TS, was etwa einer Halbierung der AOX-Gehalte entspricht.
- Bei I13 ist ebenfalls eine Halbierung der AOX-Gehalte festzustellen: vor 1997 lagen die Gehalte um 1.500 mg/kg TS, ab 1997 bei im Durchschnitt 715 mg/kg TS.

Auch hier zeigt sich, was schon bei den Ablaufdaten (Wasser und Schwebstoff) beobachtet wurde: Ein Teil der IKA weist Klärschlammgehalte an AOX auf, die der „normalen“ Belastung der KKA entspricht. Demgegenüber sind produktionsbedingt bei anderen IKA die AOX-Gehalte wesentlich höher.

5. TOC in Feststoffen – Befunde aus den orientierenden Messungen 1991-2003

Die TOC-Befunde aus den Orientierenden Messungen sind in Tab. 6.01.5 zusammengefasst.

TOC im Schwebstoff hessischer Oberflächengewässer 1991-2003, Jahreswerte*	3,3-27,6 %
TOC im Schwebstoff hessischer Oberflächengewässer 1991-2000/2001, MW/Ort**	5,7-19,0 %
TOC im Sediment hessischer Oberflächengewässer 1991-2001	0,9-10,3 %
TOC im Sediment des Lampertheimer Altrheins 2000	10,4-54,1 %
TOC im Schwebstoff kommunaler Kläranlagen 2002/2003	11,6-63,4 %
TOC im Schwebstoff industrieller Kläranlagen 2002/2003	24,3-55,6 %
TOC im Klärschlamm kommunaler Kläranlage	17,5-46,7 %
TOC im Klärschlamm industrieller Kläranlagen	5,6-30,0 %

* Insgesamt 23 Gewässer mit zwischen einem und 13 Beprobungsjahren.

** 10 von 1991-2000 bzw. 2001 kontinuierlich beprobte Gewässer; 7 dieser Gewässer wurden auch 2002 und 2003 auf TOC untersucht.

5.1 TOC im Schwebstoff von hessischen Oberflächengewässern 1991-2003

Der TOC-Gehalt im Schwebstoff hessischer Oberflächengewässer wird seit 1991 gemessen. 1991 bis 2003 wurden i.d.R. zwischen 10 und 20 Gewässern beprobt (2001 nur 5, 2003 8 Gewässer), von denen für drei (Schwarzbach, Nidda, Rodau) Messwerte aus allen Jahren, für weitere vier (Weschnitz, Main/Bischofsheim, Lahn, Fulda) aus 12 von 13 Jahren vorliegen.

Die Werte, die hier in Prozent bezogen auf die Trockensubstanz angegeben werden, sind für die einzelnen Gewässer recht unterschiedlich. Die untere Grenze lag bei 3,3 Prozent (1992 in der Nidder, 1993 im Rhein). Die höchsten Werte wurden mit 21,3 Prozent (1994) und 27,6 Prozent (1998) in der Werra bei Witzenhausen gemessen. Die Werte für 2000/2001 lagen bei reduzierter Zahl der beprobten Gewässer (2000: 15, 2001: 5) in der gleichen Größenordnung (zwischen 5,2 Prozent im Main bei Bischofsheim und 18,3 Prozent in der Kinzig). Für 2002 und 2003 ergaben sich bei z.T. veränderten Probenahmestellen (dies betrifft 6 Fließgewässer) als Minimum 3,8 Prozent (Main bei Bischofsheim, 2002) und als Maximum 26,0 Prozent (Ablauf Edersee, 2003).

Zieht man die Mittelwerte pro Ort für alle 1991-2000 kontinuierlich beprobten Gewässer heran, so ergibt sich eine Spanne von 5,7 – 19,0 Prozent, also ungefähr von 1:3. Die Schwankungsbreite der jährlichen Werte für die einzelnen Flüsse liegt i.d.R. bei 1:2 bis 1:3, wobei ausgeprägtere Schwankungen eher bei kleineren Flüssen auftreten. Zu den Gewässern mit langfristig höheren Werten (>10 Prozent) gehören nicht nur stark abwasserbelastete Gewässer (Schwarzbach, Rodau), sondern auch solche Flüsse wie Kinzig, Lahn, Fulda und Werra.

Insgesamt zeigen die TOC-Schwebstoff-Gehalte hessischer Fließgewässer zwischen 1991 und 2003 bei Schwankungen von Jahr zu Jahr keine wesentliche Veränderung, so dass nicht von einem Trend gesprochen werden kann.

5.2 TOC im Sediment hessischer Oberflächengewässer

TOC-Bestimmungen im Sediment fanden zwischen 1991 und 2001 in den gleichen Messproben statt, in denen auch die AOX-Werte für Sediment bestimmt wurden (vgl. Abschn. IV.3, AOX im Sediment). Die 1991 bis 1994 gemessenen Werte lagen zwischen 0,9 und 8,2 Prozent, wobei die Schwankungen der Minima und Maxima in den jeweiligen Jahren gering waren. Im Main bei Eddersheim (rechts), wo 1991 bis 2001 Proben genommen wurden, bewegten sich die TOC-Gehalte des Sediments zwischen 2,9 und 10,3 Prozent. Wesentlich höhere Werte wurden im Lampertheimer Altheim an insgesamt 10 Messstellen (2000) gefunden. Der TOC-Gehalt variierte hier zwischen 10,4 und 54,1 Prozent.

5.3 TOC im Ablauf (Schwebstoff) von kommunalen und industriellen Kläranlagen

Beim TOC-Gehalt im Schwebstoff von 8 *kommunalen Kläranlagen* ergab sich 2002/2003 ein unterer Wert von 18,5 bzw. 11,6 Prozent und ein oberer Wert von 63,4 resp. 53,5 Prozent. Mittelwerte: 40,1 bzw. 35,2 Prozent.

Bei den fünf 2002 untersuchten *industriellen Kläranlagen* lagen die TOC-Gehalte im Schwebstoff in der gleichen Größenordnung. 2002 bewegten sich die Werte zwischen 28,8 und 45,9 Prozent, 2003 (6 IKA) zwischen 24,3 und 55,6 Prozent. Mittelwerte: 36,8 bzw. 37,5 Prozent.

5.4 TOC im Klärschlamm von kommunalen und industriellen Kläranlagen

Der TOC im Klärschlamm von neun *kommunalen Kläranlagen* erreichte 2002 Werte zwischen 17,5 Prozent (Kassel) und 39,5 Prozent (Sindlingen). 2003 lauteten die Werte 23,2 Prozent (Limburg) und 46,7 (Sindlingen). Mittelwerte: 26,4 bzw. 36,1 Prozent.

Bei fünf (2002) bzw. sechs (2003) industriellen Kläranlagen wurden folgende Werte gemessen: 5,6 - 29,3 Prozent (2002) und 9,1 - 30,0 Prozent (2003). Die Mittelwerte betragen 17,1 bzw. 19,7 Prozent.

Anders als beim Schwebstoff waren die TOC-Gehalte im Klärschlamm bei den IKA also geringer als bei den KKA.

V. Bewertung

1. Zielwerte und Zielwertüberschreitungen

In der *Wasserphase* wurde die AOX-Zielvorgabe der LAWA von 25 µg/L (vgl. Übers. 6.01.2) im Main/Bischofsheim zwischen 1993 und 2000 in drei Jahren, im abwasserreicheren Landgraben zwischen 1994 und 2001 in jedem Jahr überschritten (90 Perzentil-Wert).

Die Zielvorgabe der ARGE Elbe für AOX im *Schwebstoff* von 50 mg/kg TS wurde in Hessen in allen sechs 1991-2003 kontinuierlich beprobten Gewässern durchgängig überschritten. Der *Mittelwert* der AOX-Werte für die zehn bis zwanzig 1991-2000 beprobten hessischen Oberflächengewässer liegt mit 70-90 mg/kg TS ebenfalls über der Zielvorgabe von 50 mg/kg TS. Nur rd. 5 Prozent aller AOX-Werte der Jahre 1991-2003 lagen unter der Zielvorgabe.

Bei den (stark streuenden) *AOX-Sedimentfunden* aus den 90er Jahren hielten nur wenige Messwerte die AOX-Zielvorgabe der IKSE für die Nutzungsart „Landwirtschaftliche Verwertung von Sedimenten“ von 50 mg/kg TS ein. Im längerfristig untersuchten Main bei Eddersheim übertreffen die Sediment-Werte die Vorgabe bis zum 14-fachen (2001, 705 mg/kg TS; 1999 dagegen nur 66 mg/kg TS).

Der AOX-Grenzwert der Klärschlamm-Verordnung (AbfKlärV) beträgt 500 mg/kg TS. Im *kommunalen Klärschlamm* (nur wenige Messwerte im Rahmen der Orientierenden Messungen) mussten in der ersten Hälfte der 90er Jahre z.T. Überschreitungen dieses Grenzwertes registriert werden. Ein umfangreicheres Sample von hessischen Vergleichsdaten (Umlandverband Frankfurt/M. 1993-1996) ergab jedoch eine weitgehende Konformität der Messwerte mit dem 500-mg-Grenzwert. Allerdings liegen im Rahmen der Orientierenden Messungen keine Untersuchungen aus den letzten Jahren vor. Gegenüber den kommunalen Klärschlämmen weisen die industriellen Klärschlämme i.d.R. bedeutend höhere AOX-Belastungen (oberhalb des für industrielle Klärschlämme nicht geltenden Grenzwertes der AbfKlärV) auf.

2. Belastungstrend und Vergleichsdaten

Anhand der Langfristdaten für AOX im *Schwebstoff* der sechs 1991-2003 beprobten Oberflächengewässer ist seit Ende der 90er Jahre eine – wenn auch nicht sehr ausgeprägte – Abnahme des AOX-Gehaltes zu konstatieren. Sie liegt in der Größenordnung von 25 Prozent Reduktion für die durchschnittliche AOX-Belastung der sechs Gewässer 1999-2003 gegenüber 1991-1998. Eine Reduktion zeigt sich auch bei den *Klärschlämmen der industriellen Kläranlagen*, für die Daten seit 1991 vorliegen: Während sich bei den vergleichsweise schwach belasteten IKA (ähnliches Belastungsniveau wie bei kommunalen Klärschlämmen) keine Veränderung beobachten lässt, kann bei zwei von drei hochbelasteten IKA seit 1997/1998 eine Halbierung der durchschnittlichen AOX-Konzentrationen im Klärschlamm registriert werden.

Im *Sediment* liegt für den Main/Eddersheim eine ausreichend weit zurückreichende Messreihe vor, die jedoch keinen Trend erkennen lässt.

Soweit *Vergleichswerte* aus anderen Bundesländern herangezogen werden konnten (Schwebstoff in Oberflächengewässern; kommunale Klärschlämme), ergaben sich keine besonderen Auffälligkeiten für die hessischen AOX-Befunde.

Beim *TOC* ist kein Trend festzustellen.

3. Zusammenfassende Bewertung

Der AOX ist ein wichtiger Indikator für kommunale und industrielle Belastung der Oberflächengewässer mit halogenhaltigen Umweltschadstoffen. Dies belegen, unabhängig von der Frage nach einer natürlichen AOX-Hintergrundbelastung, die ausgeprägten Differenzen im AOX-Gehalt von Schwebstoffen und Sedimenten bei den hessischen Fließgewässern: Differenzen bei Sedimentfunden unmittelbar vor und nach KA-Zulauf (Beispiel Fulda-Gläserzell); ausgeprägte Belastungsunterschiede vor (Main/Kleinostheim), im Bereich von (Main/Offenbach, Griesheim, Eddersheim) und nach kommunalen und industriellen Einleiter-Schwerpunkten, wie sich dies bei den Sedimentbefunden des Main zeigt; unterschiedlich hohe AOX-Gehalte im Schwebstoff zwischen abwasserreichen und abwasserärmeren Gewässern.

Die Zielwertüberschreitungen für AOX bei abwasserreichen kleineren Gewässern (Beispiel Landgraben) in der Wasserphase sowie die in allen Fließgewässern über der Zielvorgabe von 50 mg/kg TS liegenden AOX-Gehalte im Schwebstoff weisen, unbeschadet der unterschiedlichen „Strenge“ der Zielvorgaben für Wasser und Feststoffe (vgl. HLfU 1997), darauf hin, dass die AOX-Belastungen nach wie vor ein Problem für die Oberflächengewässer darstellen. Dies unterstreicht auch der Umstand, dass die AOX-Belastung im Schwebstoff seit Ende der 90er Jahre nur in einem bescheidenen Maße zurückgegangen ist. Dies gilt auch für die Klärschlämme von Industriebetrieben mit starkem, produktionsbedingtem Halogen-Eintrag in die Kläranlagen, bei denen nur z.T. eine deutliche AOX-Reduktion im Klärschlamm zu beobachten ist.

Insgesamt zeigen die Messbefunde, dass Einträge über kommunale und industrielle Kläranlagen, bei letzteren insbesondere über Betriebe mit entsprechender Produktpalette, eine wesentliche Quelle der AOX-Funde in Oberflächengewässern sind. Die z.T. hohen Sedimentgehalte dürfen als auch in Zukunft relevante Quelle von Gewässerbelastungen nicht außer Betracht gelassen werden.

VI. Lit.

- ATV-Arbeitsgruppe 2.1.3 „AOX und Gewässerbeschaffenheit“, AOX und Gewässerbeschaffenheit, in: Korrespondenz Abwasser 40, 1993, S. 1503-1510
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil 2, Bonn 2001
- E. Böhm et al., Emissionsinventar Wasser für die Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Texte 53/00, Berlin 2000
- H.-J. Brauch/W. Jülich, in: IAWR-Rheinbericht '94-'95, Amsterdam 1996
- H.-J. Brauch/F. Sacher, Organische Mikroverunreinigungen – eine unendliche Geschichte? in: AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein), 33. Bericht 2001, Karlsruhe o.J., S. 157-172
- I. Fokuhl, Halogenorganische Verbindungen in Umweltkompartimenten: Untersuchungen über Zusammensetzung, Herkunft und Verbleib des AOX in Umweltwasserproben, Diss. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Oldenburg 1999
- U. Hagendorf, Organische Halogenverbindungen (AOX) aus diffusen Quellen im Haushalt (Papier, Geschirrspül- und Waschmaschinen), in: Korrespondenz Abwasser 39, 1992, S. 1776-1783
- D. Henschler, Toxikologie chlororganischer Verbindungen. Der Einfluß der Chlorsubstituenten auf die Toxizität organischer Moleküle, Weinheim u.a. [VCH] 1994
- HLfU [Hessische Landesanstalt für Umwelt] 1997: C. Fooken, R. Gühr, M. Häckl, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-1996. HLfU, Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz H. 233, Wiesbaden 1997
- HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) 1999: C. Fooken, R. Gühr, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-1998. Ergänzender Bericht zu 1997-1998. HLfU, Wiesbaden o.J. [1999]

- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2002: Hessischer Gewässergütebericht 1997 – Fortschreibung (Daten) 2001, CD-ROM Version 1.3/02 [Wiesbaden 2002]
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2003a: A. Leisewitz, P. Seel, S. Fengler, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-2001, Ergänzender Bericht zu 1999-2001, HLUG [Wiesbaden 2003]
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2003b: S. Fengler, C. Focken, R. Gühr, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-2001, Analysenergebnisse, HLUG [Wiesbaden 2003]
- N. Litz et al., Konzept zur Ermittlung und Bewertung der Relevanz schädlicher organischer Inhaltsstoffe im Klärschlamm, in: Korrespondenz Abwasser 45, 1998, S.492-498
- G. Müller, Sense or *no-sense* of the sum-parameter for water soluble „adsorbable organic halogens“ (AOX) and „adsorbed organic halogens“ (AOX-S18) for the assessment of organohalogenes in sludges and sediments, in: Chemosphere 52, 2003, S. 371-379
- RIWA 2002: RIWA-Verband der Flusswasserwerke, Jahresbericht 1999-2000. Teil A: Der Rhein, Nieuwegein 2002
- R. Schulze-Rettmer, Ist der AOX noch sinnvoll? Auswertung des Buches „Halogenorganische Verbindungen“ und Konsequenzen, in: KA – Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 48, 2001, S. 1602-1614
- T. Steger-Hartmann et al., Umweltverhalten und ökotoxikologische Bewertung von iodhaltigen Röntgenkontrastmitteln, in: Vom Wasser 91, 1998, S. 185-194
- H.-D. Stock et al., Umweltrelevante Schadstoffe in Klärschlamm, Dünger und Kompost in Nordrhein-Westfalen. Vorkommen, Eigenschaften und Verhalten, in: Abfall – Recycling – Altlasten Bd. 27. 35. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, T. II, Aachen 2002, S. 67/1-26
- Umwelt 1999: Organische Schadstoffe bei der Klärschlammverwertung, in: Umwelt (Hrg. BMU) Nr. 2/1999, S. 75-78