

6.10 Aromatische Kohlenwasserstoffe

Vorhergehende Berichte: HLfU 1997 (für 1992-1996), S. 107-109; HLUG 2003a (für 2000-2001), S. 116-118

Tabellen: HLUG 2003b, Tab. 68, 69, 70a, b, c

I. Allgemeine Angaben

In den Orientierenden Messungen wurden mit unterschiedlicher Häufigkeit in der ersten Hälfte der 90er Jahre sowie 1999-2003 (nur Benzol) folgende aromatischen Kohlenwasserstoffe im Wasser von Oberflächengewässern sowie den Abläufen kommunaler und industrieller Kläranlagen bestimmt:

- Benzol
- Toluol (Methylbenzol)
- o-Xylol, m-/p-Xylol (1,2-, 1,3-/1,4-Dimethylbenzol)
- Ethylbenzol
- Methoxybenzol (Anisol, Methylphenylether)
- Biphenyl.

Die hier behandelten aromatischen Kohlenwasserstoffe stellen wichtige Vor- und Hilfsprodukte der organisch-chemischen Industrie dar, die z.T. in sehr hohen Tonnen erzeugt und verarbeitet werden (BTX-Aromaten). Sie gelangen durch Punkt- und diffuse Quellen in die Umwelt. Die Verbindungen sind ökotoxisch, z.T. krebserzeugend und allesamt als wassergefährlich (Kat. 1-3) eingestuft. Benzol, der mengenmäßig bedeutendste Vertreter der Gruppe, ist prioritärer Stoff der WRRL (Gruppe 3). Mit Ausnahme von Methoxybenzol bestehen für alle aromatischen KW Qualitätsnormen nach VO-WRRL.

II. Verfügbare Messdaten

Übersicht 6.10.1: Aromatische Kohlenwasserstoffe – Messdaten 1992-2003			
Probenahmeort: Ortstyp/Matrix	Stoffgruppe/ Parameter	Jahre	Anmerkungen
1. Oberflächen- gewässer Wasser	Benzol	1992	10 Gewässer, 19 Messstellen
		1994	8 Gewässer, 9 Messstellen
		1995	11 Gewässer, 12 Messstellen
		2000	8 Gewässer, 8 Messstellen
	Toluol, o-Xylol, m-/p-Xylol, Ethylbenzol, Methoxybenzol	2001	12 Gewässer, 13 Messstellen
		2002/2003	6 Gewässer, 6 Messstellen
		1994	8 Gewässer, 9 Messstellen
		1995	11 Gewässer, 12 Messstellen
2. Kommunale Kläranlagen Ablauf (Wasser)	Benzol	1995	11 Gewässer, 12 Messstellen
		1996	12 Gewässer, 13 Messstellen
		1994	7 KKA
		1995	8 KKA
	Toluol, o-Xylol, m-/p-Xylol, Ethylbenzol, Methoxybenzol	2000-2003	9 KKA
		1994	7 KKA
		1995	8 KKA

Ablauf (Wasser)	Biphenyl	1995 1996	8 KKA 9 KKA
3. Industrielle Kläranlagen			
Ablauf (Wasser)	Benzol	1992 1995 2000-2003	7 IKA 4 IKA 6 IKA
	Toluol, o-Xylol, m-/p-Xylol, Ethylbenzol, Methoxybenzol	1995	4 IKA
	Biphenyl	1995 1996	4 IKA 6 IKA

III. Herkunft – Umweltverhalten – Toxizität

Zu aromatischen Kohlenwasserstoffen kann u.a. auf BUA-Stoffberichte (Benzol: BUA 1988, 1993; Ethylbenzol: BUA 1996; Biphenyl: BUA 1991, 1994, 1999) und auf eine ATV-Studie zurückgegriffen werden (ATV 1991), denen die meisten der nachfolgenden Angaben entnommen sind.

1. Umwelteinträge und Vorkommen

BTX-Aromaten: Benzol, Toluol und die o-, m- und p-Isomeren des Xylols sind die Schlüsselprodukte der umfangreichen und vielseitigen Aromatenchemie (Weissermel/Arpe 1990). Sie werden zusammen als BTX-Aromaten bezeichnet. Eine mengenmäßig geringere Bedeutung hat das ebenfalls leichtflüchtige Ethylbenzol. Ethylbenzol weist sehr ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften wie Xylol auf und wird gelegentlich in die BTX-Gruppe einbezogen (BTXE).

Die BTX-Aromaten stellen wichtige Grundstoffe für eine Vielzahl von Verbindungen dar; daneben werden sie vielfach als Lösungsmittel gebraucht. Ihre Produktion belief sich in der Bundesrepublik Anfang der 90er Jahre in der Größenordnung von mehreren Millionen Tonnen, wobei Benzol die Hauptfraktion (ca. 40 Prozent) darstellte. BTX-Aromaten werden fast ausschließlich aus Erdöl, in geringem Maße aus Kohle und Synthesegas gewonnen. Der bedeutendste Teil wird in den Ottokraftstoffen verwendet.

Eintrag von BTX-Aromaten in die Umwelt erfolgt durch punktförmige Emissionsquellen (Industriestandorte, Tankstellen, Kokereien, ehem. Gaswerksstandorte usw.) und zum größten Teil durch diffuse Einträge (Mineralölverarbeitung, -lagerung, -verteilung). B tankung und Abgase verursachen schätzungsweise 80 Prozent der BTX-Emissionen. Die BTXE-Aromaten gehören zu den Hauptschadstoffen aus punktuellen Schadstoffquellen, die im Grundwasser auftreten. Benzol ist dabei einer der häufigsten Stoffe.

Für *Benzol* wurde Anfang der 90er Jahre von Emissionen in der Größenordnung von 60.000 t/a ausgegangen, von denen ca. 80 t in die Gewässer gelangten. Neuere Emissionsdaten für Benzol belaufen sich auf knapp 50.000 t/a. Davon entfallen annähernd 90 Prozent auf Kfz-Abgase und -verdampfungsemissionen sowie Feuerungsanlagen, der Rest auf Transport- und Industrie-Emissionen (HLUG 2001, Hagemann 2002). Auf die nach wie vor aktuelle Bedeutung von Transportemissionen verweist z.B. der Bericht über die Benzol-Belastung im Rhein bei Buderich im Jahr 1999, die vermutlich auf das Auspumpen/Auswaschen von Benzol-Ladungsresten aus einem Binnenschiff zurückzuführen war (Lowis/Selent 2000). Seit 1995 sind Maßnahmen zur Reduzierung der atmosphärischen Benzolbelastung eingeleitet worden (23. BImSchV) einschl. der Senkung des Benzol-Gehalts von Ottokraftstoffen. Die

EU-Richtlinie 2000/69/EG legt einen ab 2010 einzuhaltenden Schwellenwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft fest, der derzeit örtlich aber noch weit überschritten wird (UBA 2001). Aus Ballungsräumen wird z.T. eine erkennbare Reduzierung der Benzol-Luftbelastung gemeldet, so z.B. aus Berlin mit einer annähernden Halbierung der Benzolwerte 2001 gegenüber 1993 (vgl. UBA 2001; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin, 2002).

Mitte der 80er Jahre wurden Benzolkonzentrationen in Oberflächengewässern der Bundesrepublik im Bereich zwischen 5 und 50 ng/L bestimmt. 1990-1992 lag die Benzolkonzentration im Rhein bei Lobith unterhalb der Nachweisgrenze von 100 ng/L (Boehncke et al. 1997).

Toluol (einfach methyliertes Benzol) wird ebenfalls als Lösungsmittel, als Ausgangsprodukt für organische Synthesen und Benzinzusatz verwendet. Handelsübliches *Xylol* (zweifach methyliertes Benzol) besteht aus einem Gemisch von o-Xylol (20-25 Prozent), m-Xylol (50-60 Prozent) und p-Xylol (20-25 Prozent). Synthetisches *Ethylbenzol* wird zu 98 Prozent zur Herstellung von Styrol (für Polystyrol) verwendet. Herstellung und Verbrauch wurden für 1993 in der Bundesrepublik auf 1,1 Mio t geschätzt. In Otto-kraftstoff ist Ethylbenzol mit 2,6 Prozent enthalten (Emissionsquelle). *Methoxybenzol* (Anisol) dient als Lösungsmittel in der Kunststoff- und chemischen Industrie sowie als Wärmeträger und wird als Zwischenprodukt für Pharmaka und Riechstoffe eingesetzt.

Biphenyl (einziger Hersteller: Bayer AG) wurde Anfang der 90er Jahre in der Bundesrepublik in der Größenordnung von einigen 1.000 Tonnen/a hergestellt. Es wird als Ausgangsstoff für organische Synthesen und diverse Produkte wie Gerbstoffe, Emulgatoren, Pflanzenschutzmittel u.a. eingesetzt. Alle PCB basieren z.B. auf Biphenyl, bei dem 1-10 Wasserstoffatome durch Chlor substituiert werden. Direkte Anwendungen betreffen die Nutzung von Biphenyl als Wärmeträger und als Farbstoffträger für Textilien (hierbei kann ein Eintrag in Gewässer erfolgen). Biphenyl wirkt als Fungistatikum; es wird zur Imprägnierung von Einwickelpapier für Zitrusfrüchte und auch als Konservierungsmittel für Zitrusfrüchte verwendet.

2. Stoffeigenschaften, Toxizität

Benzol ist mit 1,78 g/L relativ gut wasserlöslich; die Löslichkeit der anderen aromatischen KW ist deutlich geringer (zwischen 470 mg/L für Toluol und 140-152 mg/L für Ethylbenzol; Streit 1991, Koch 1995; BUA 1996). Methoxybenzol gilt als in Wasser unlöslich. Die Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten ($\log K_{ow}$) der BTXE liegen zwischen 2 und 3. Alle BTXE-Aromaten haben eine Tendenz zur Bioakkumulation. Sie besitzen eine gute aerobe biologische Abbaubarkeit. Im aquatischen Bereich sind ab etwa 5 mg/L toxische Wirkungen an Fischen, Daphnien und Plankton feststellbar, z.T. auch darunter, wie folgende Werte zeigen: Toluol, Daphnien 21d-NOEC 1,0 mg/L; Ethylbenzol Daphnien 21d-NOEC 2,4 mg/L; Xylole: Daphnien 96h-LC₅₀ je nach Iso-mer 1,1-3,2 mg/L; p-Xylol: Goldfisch 96h-LC₅₀ 2,6 mg/L.

Für Biphenyl, das eine geringe Wasserlöslichkeit von 7 mg/L hat, beträgt der $\log K_{ow}$ 4,1. Bioakkumulation ist also zu erwarten. Bei Algen wurde ein Biokonzentrationsfaktor von 2.700 gemessen; der berechnete Bodensorptionskoeffizient (K_{oc}) beträgt ca. 10.000. Biphenyl ist aerob biologisch abbaubar. Für Fische werden LC₅₀-Werte von 1,5-5 mg/L, für Daphnien als niedrigste akute Effektkonzentration ein LC₅₀-Wert von 0,36 mg/L angegeben. Als 21d-NOEC (Reproduktion) wurde bei Daphnien 0,17 mg/L ermittelt. Nach der EG-Richtlinie von 1991 ist die Substanz als umweltgefährlich und als sehr giftig für Wasserorganismen einzuordnen.

Einstufungen: Benzol wird in der MAK-Liste als krebserzeugend eingestuft (DFG 2004, Kat. 1). Die karzinogene Wirkung wird eher durch Inhalation als durch die Exposition über das Wasser bewirkt, letztere trägt jedoch zum Krebsrisiko bei. Ethylbenzol hat krebserzeugende Wirkung (Kat. 3A), Biphenyl bietet Anhaltspunkte für krebserzeugende Wirkung (Kat. 3B). Benzol ist in die Wassergefährdungsklasse 3 (stark wassergefährdend) eingestuft, Toluol sowie die Xylole, Methoxybenzol und Biphenyl in WGK 2 (wassergefährdend) und Ethylbenzol in WGK 1 (schwach wassergefährdend).

Benzol ist prioritärer Stoff der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) in der Gruppe 3 „Nicht prioritär gefährliche Stoffe“ (die Stoffe dieser Gruppe fallen nicht unter das Kriterium „toxisch/persistent/bioakkumulierbar“, unterliegen als prioritäre Stoffe aber Emissionskontrollen und Qualitätsnormen nach Art. 16 der WRRL).

3. Bewertungsgrundlagen – Zielwerte

Für Benzol besteht eine Qualitätsnorm nach VO-WRRL in Höhe von 10 µg/L. Die UQN nach WRRL von 2008 für Benzol beträgt gleichfalls 10 µg/L. Für Toluol, die Xylole und Ethylbenzol liegen Zielwerte nach VO-WRRL vor (ebenso für Benzol), die 10 µg/L betragen. Für Biphenyl beträgt die QN nach VO-WRRL 1 µg/L (vgl. Übersicht 6.10.2).

Matrix	Parameter	Zielwerte QZ/QN/ZV	Quelle
Wasser	Benzol	10 µg/L	VO-WRRL; UQN Prioritäre Stoffe WRRL 2008
		2 µg/L	IKSR (A)
	Toluol	10 µg/L	VO-WRRL
	Xylole	je 10 µg/L	VO-WRRL
	Ethylbenzol	10 µg/L	VO-WRRL
	Biphenyl	1 µg/L	VO-WRRL

(A): Schutzgut Aquatische Lebensgemeinschaften.

IV. Hessische Werte: Einzeldaten und Trends

1. Aromatische Kohlenwasserstoffe in hessischen Oberflächengewässern 1992-2003

In den hessischen Fließgewässern lagen die gemessenen Konzentrationen *aller* Aromaten an *allen* Probenahmestellen unterhalb der jeweiligen BG, die i.d.R. 0,2-0,5 µg/L betrug und in einzelnen Fällen mit 0,1-0,05 µg/L noch kleiner war (vgl. Tab. 6.10.1).

Parameter	1992	1994	1995	1996	2000	2001	2002	2003
Benzol	<0,05	<0,5	<0,2	-	<0,5	<0,5	<0,2	<0,1
Toluol	-	<0,5	<0,5	-	-	-	-	-
o-Xylol	-	<0,5	<0,5	-	-	-	-	-
m-/p-Xylol	-	<0,5	<0,5	-	-	-	-	-
Ethylbenzol	-	<0,5	<0,2	-	-	-	-	-
Methoxybenzol	-	<0,5	<0,1	-	-	-	-	-
Biphenyl	-	-	<0,1	<0,1	-	-	-	-

Vergleichswerte: Vergleichsdaten zu BTX-Befunden in Oberflächengewässern für Mitte der 90er Jahre sind in HLfU 1997 zusammengestellt. So lagen die BTXE-Gehalte aller Ruhr-Proben 1995 bei $<1 \mu\text{g/L}$. In keiner der monatlichen Einzelproben von Flüssen Sachsen-Anhalts (auch nicht in der stark belasteten Mulde) konnten BTXE-Aromaten nachgewiesen werden (Werte $<1 - <2 \mu\text{g/L}$). Bei den höchsten 1994 gemessenen BTX-Konzentrationen des Rheins und seiner Nebenflüsse konnte in einigen Fällen Toluol- und Xylol mit Konzentrationen von $0,01-0,2 \mu\text{g/L}$ nachgewiesen werden; dass hier Befunde auftraten, lag an der besonders niedrigen Nachweisgrenze. Im Rhein und seinen Nebenflüssen (NRW) lagen die Biphenylgehalte 1994 immer unter $0,5 \mu\text{g/L}$; in der Emscher traten Maximalwerte bis zu $1,6 \mu\text{g/L}$ auf, die von Steinkohlenteerraffinerien herrührten (BUA 1991). Bei Benzol-Messungen in Oberflächengewässern aus NRW für die Jahre 1999-2001 lagen die Werte im Rhein i.d.R. unter der BG von $0,1 \mu\text{g/L}$, in wenigen Fällen mit einem Maximum von $0,49 \mu\text{g/L}$ darüber (Rhein bei Kleve/Bimmen, 2001). Von der Ruhr wurden keine positiven Befunde berichtet. In der Lippe lagen die Werte ebenfalls i.d.R. unter $0,1 \mu\text{g/L}$ mit einem Maximum bei $0,26 \mu\text{g/L}$ (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen 2002).

2001 lagen bei den Beprobungen im Rahmen des hessischen Messprogramms nach Art. 7 der Richtlinie 76/464/EWG (elf Oberflächengewässer, 13 Messorte, zwischen einer und vier Proben/a) sämtliche Befunde für Benzol und Toluol unter $0,5 \mu\text{g/L}$, für Ethylbenzol, Xylole (Dimethylbenzole) und Biphenyl unter $0,2 \mu\text{g/L}$. Bei Messungen an 6 Gewässern in 2002 und 2003 lagen alle Messwerte für Benzol unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,2$ bzw. $0,1 \mu\text{g/L}$.

2. Aromatische Kohlenwasserstoffe im Ablauf (Wasser) kommunaler und industrieller Kläranlagen 1992-2001

Bei den untersuchten *kommunalen Kläranlagen* ($n = 7-9$) waren die aromatischen KW oberhalb der jeweiligen BG (meist $0,5$ bzw. $2 \mu\text{g/L}$, z.T. darunter) nicht nachweisbar.

Tab. 6.10.2: Aromatische Kohlenwasserstoffe im Wasser hessischer kommunaler und industrieller Kläranlagen 1992-2003 ($\mu\text{g/L}$)								
Parameter	1992	1994	1995	1996	2000	2001	2002	2003
Kommunale Kläranlagen								
Benzol	-	<2	$<0,2$	-	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$	$<0,5$
Toluol	-	<2	$<0,5$	-	-	-	-	-
o-Xylol	-	<2	$<0,2$	-	-	-	-	-
m-/p-Xylol	-	<2	$<0,5$	-	-	-	-	-
Ethylbenzol	-	<2	$<0,2$	-	-	-	-	-
Methoxybenzol	-	<2	$<0,1$	-	-	-	-	-
Biphenyl	-	-	$<0,1$	$<0,1$	-	-	-	-
Industrielle Kläranlagen								
Benzol	<1	-	$<0,2; 8,8; n>BG: 1$	-	$<0,5; 7,1; n>BG: 1$	$<0,5; 2,8; n>BG: 1$	$<0,5; 1,3; n>BG: 1$	$<0,2; 0,4; n>BG: 1$
Toluol	-	-	$<0,5; 0,5-11,6; n>BG: 2$	-	-	-	-	-
o-Xylol	-	-	$<0,2; 0,39-0,78; n>BG: 2$	-	-	-	-	-
m-/p-Xylol	-	-	$<0,5; 3,7; n>BG: 2$	-	-	-	-	-
Ethylbenzol	-	-	$<0,2; 0,4-0,61; n>BG: 2$	-	-	-	-	-
Methoxybenzol	-	-	$<0,1; 0,1-0,11; n>BG: 2$	-	-	-	-	-
Biphenyl	-	-	$<0,5$	$<0,5$	-	-	-	-

In den 1995 beprobten *industriellen Kläranlagenabläufen* ($n = 4$) lagen die Konzentrationen i.d.R. unter der BG (meist $0,2-0,5 \mu\text{g/L}$). Bei drei Betrieben (I11, I12 und I13) konnten im Ablauf (unterschiedlich viele) BTXE-Vertreter zwischen $0,1$ und $10 \mu\text{g/L}$

gemessen werden. Benzol wurde auch 1992 sowie 2000-2003 im Ablauf industrieller Kläranlagen bestimmt. 1992 war Benzol nicht nachweisbar (BG: 1 µg/L), 2000-2003 trat es bei einem von sechs Betrieben (I11) mit Konzentrationen von 0,4-7,1 µg/L auf.

V. Bewertung

1. Zielwerte und Zielwertüberschreitungen

Die Zielwerte nach VO-WRRL für die BTXE-Aromaten (für Benzol zugleich UQN nach WRRL) betragen 10 µg/L, für Biphenyl 1 µg/L. Die Zielvorgabe der IKSr für Benzol (Schutzgut aquatische Lebensgemeinschaften) beträgt 2 µg/L. Eine Überschreitung dieser Zielwerte, die nur für Oberflächengewässer Gültigkeit haben, trat in keinem Fall auf. Dies gilt auch für die Abläufe der kommunalen Kläranlagen.

Bei den industriellen Kläranlagen wurden 1995 im Ablauf in einem Fall eine Toluol-Konzentration oberhalb von 10 µg/L und mehrere Werte (Benzol, Toluol, Xylol) oberhalb von 2 µg/L gemessen; dies gilt auch bei einem Betrieb für Benzol 2000/2001.

2. Belastungstrend und Vergleichsdaten

Trendaussagen sind nicht möglich, da die aromatischen KW im Rahmen der Orientierenden Messungen mit Ausnahme von Benzol nur jeweils in zwei Jahren bestimmt wurden. Bei Benzol lagen die Werte in den sieben Probenahmejahren zwischen 1992 und 2003 (vgl. Tab. 6.10.1) jeweils unter der BG (0,1 - 0,5 µg/L).

Im Vergleich zu Oberflächengewässern aus anderen Bundesländern sind die hessischen Befunde nicht auffällig.

3. Zusammenfassende Bewertung

Von den aromatischen KW geht keine Gefährdung der hessischen Oberflächengewässer aus.

Dies gilt auch für Biphenyl. Der für Daphnien ermittelte 12d-NOEC-Wert von 0,17 mg/L liegt um vier Größenordnungen über der BG für Biphenyl von 0,1 µg/L, so dass auch bei einer angenommenen Biphenyl-Konzentration in Höhe der BG eine Schädigung aquatischer Lebensgemeinschaften unwahrscheinlich ist.

VI. Lit.

ATV-Arbeitsgruppe 7.03, Gefährliche Stoffe in kommunalen Kläranlagen: Zusammenfassende Berichte über einige ökotoxikologisch gefährliche Stoffe, Dokumentation und Schriftenreihe der ATV aus Wissenschaft und Praxis, St. Augustin 1991

A. Boehncke et al., Stoffströme von Benzol unter besonderer Berücksichtigung der Bundesrepublik Deutschland, in: UWSF - Z. Umweltchem. Ökotox. 9, 1997, S. 369-384

BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Benzol, BUA-Stoffbericht 24, Weinheim [VCH] 1988

BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Biphenyl (1,1'-Biphenyl), BUA-Stoffbericht 50, Weinheim [VCH] 1991

- BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Aufarbeitung von Meßdaten zum Umweltvorkommen von Industriechemikalien, BUA-Stoffbericht 117, Stuttgart [Hirzel] 1993
- BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Ergänzungsberichte II, BUA-Stoffbericht 133, Stuttgart [Hirzel] 1994
- BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Ethylbenzol, BUA-Stoffbericht 178, Stuttgart [Hirzel] 1996
- BUA (Beratergremium für Umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft Deutscher Chemiker), Ergänzungsberichte V, BUA-Stoffbericht 215, Stuttgart [Hirzel] 1999
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft), Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, MAK- und BAT-Werte-Liste 2004, Weinheim [Wiley-VCH] 2004
- D. Hagemann, Benzolmessprogramm mit Passivsammlern an 60 verkehrsbezogenen Standorten in Hessen, in: HLOG [Hessische Landesanstalt für Umwelt], Jahresbericht 2001, Wiesbaden 2002, S. 59-65
- HLfU (Hessische Landesanstalt für Umwelt) 1997: C. Fooker, 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
- HLOG (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, HLOG [Wiesbaden 2003]
- HLOG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2003b: S. Fengler, C. Fooker, R. Gühr, P. Seel, Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen 1991-2001, Analysenergebnisse, HLOG [Wiesbaden 2003]
- HLOG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2001, <http://www.hlug.de/medien/luft/komponenten/kohlenwasserstoffe/benzol.htm>
- R. Koch, Umweltchemikalien. Physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten. 3. A., Weinheim [VCH] 1995
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, Messdaten, schriftl. Mitt. an das HLOG, 2002
- J. Lowis/K. Selent, 25 Jahre Gewässergüteüberwachungsstationen in Nordrhein-Westfalen – Europas dichtestes Messstationennetz, in: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Gewässergütebericht 2000 – Sonderbericht – 30 Jahre Biologische Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen, Essen 2000, S. 31-36
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin, Langfristige Entwicklung der Luftqualität in Berlin: Benzol, sh. http://www.stadtentwicklung/Luftqualitaet/de/entwicklung/lang_benzol/shtml (2002)
- B. Streit, Lexikon Ökotoxikologie, Weinheim [VCH] 1991
- UBA (Umweltbundesamt), Daten zur Umwelt. Der Zustand der Umwelt in Deutschland 2000, Berlin 2001
- UQN Prioritäre Stoffe WRRL 2008: Standpunkt des Europäischen Parlaments festgelegt in zweiter Lesung am 17. Juni 2008 im Hinblick auf den Erlass der Richtli-

nie 2008/.../EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinien 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG, 86/280/EWG und 2000/60/EG [vom 17.6.2008] (P6_TC2-COD(2006)0129)

VO-WRRL 2005: Verordnung zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (VO-WRRL). Vom 17. Mai 2005, GVBl. I, 382 ff. [Hessen]

http://www.hessenrecht.hessen.de/gesetze/85_Wasserwirtschaft_Wasserrecht/85-63-VO-WRRL/VO-WRRL.htm

K. Weissermel/H.-J. Arpe, Industrielle Organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte, 3. überarb. u. erw. Auflage, Weinheim [VCH] 1990