

Benzol / BTEX / PAK / Benzo(a)pyren / Naphthalin

Qualitätsanforderungen an Wasser/Grundwasser aus Gartenbrunnen

hier: Ansatz zur gesundheitlichen Bewertung der Kontaminationsproblematik im Land Bremen

Von Seiten der (Umweltschutz)Behörden werden im Land Bremen Untersuchungen und Maßnahmen durchgeführt und/oder veranlasst, um Schadensfälle (Verunreinigungen des Grundwassers mit Schadstoffen) zu erkennen, um Höhe und Ausmaß der Verunreinigungen/des Schadens festzustellen, um die Quelle(n) zu ergründen und um Abhilfemaßnahmen zur Verminderung der Schadstofflast vorzunehmen.

Arbeitsauftrag

Nach § 20 des Gesetzes über den Öffentlichen Gesundheitsdienst im Lande Bremen (Gesundheitsdienstgesetz – ÖGDG) bewertet der ÖGD in Zusammenarbeit mit der Umweltschutzbehörde die gesundheitlichen Auswirkungen von Umwelteinflüssen auf die Bevölkerung und kann zum Schutz vor Gesundheitsgefährdung Empfehlungen bekannt geben.

Im Juli 2004 ist der Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales vom Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, Bereich Bodenschutz/Altlasten, gebeten worden zu prüfen, welche Informationswerte und Werte zur äußeren Abgrenzung im Falle der Verunreinigung von Grundwasser mit Benzol, BTEX, PAK, Benzo(a)Pyren und Naphthalin gesundheitlich tolerabel seien.

Am 30.09.2004 wurde eine entsprechende Empfehlung des Gesundheitsressorts vorgelegt. Inzwischen sind einzelne Berichte und Datenquellen, auf die sich die Empfehlung bezog, aktualisiert worden. Deshalb wird im Folgenden – wo erforderlich – die Datengrundlage aktualisiert und die davon abgeleiteten Empfehlungen angepasst. Entsprechend ersetzt die vorliegende Fassung die Empfehlung vom 30.09.2004.

Rechtliche Anforderungen

Es gibt keinen gesetzlich festgelegten Anspruch des einzelnen Bürgers auf „sauberes“ Grundwasser.

Die EU-Kommission hat am 12. Dezember 2006 die „Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung“ veröffentlicht (EU-Kommission 2006). Sie zielt auf die Darstellung und Einhaltung eines „guten chemischen Zustands“ des Grundwasser(körper)s. Hieraus könnte letztlich durch bundesrechtliche Festlegung von –auch hygienisch und human-toxikologisch begründeten – Schwellenwerten für Schadstoffe in diesem Medium ein rechtlicher Anspruch für den Bürger erwachsen.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Richtlinie dem nachhaltigen Erhalt der universellen Ressource Grundwasser nicht allein für gesundheitliche Erfordernisse des Menschen sondern auch aus ökotoxikologischen und ökologischen Gesichtspunkten dienen soll.

Demgegenüber gibt es seit langem einen rechtlichen –und damit auch einklagbaren- Anspruch auf „sauberes“ Trinkwasser. Dies ist spätestens seit 1976 durch bundesstaatliche Regelungen zur Trinkwasserqualität verwirklicht. Aktuell maßgebend ist die Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV 2001) bzw. die sich zur Zeit in Arbeit befindende Novelle dieser Verordnung.

Da Grundwasserkörper in der Regel nicht an regionale oder nationale Grenzen gebunden sind, sollten Empfehlungen des Landes Bremen sich an entsprechenden Regelungen für Verunreinigungen des Grundwassers orientieren, die prinzipiell einvernehmlich zwischen den Ländern (z.B. LAWA) oder in überregionalen Gremien (z.B. EU, WHO) abgesprochen wurden.

Landesspezifische Grenzwerte können zur Zeit nicht festgeschrieben werden. Insofern werden im Folgenden deshalb auf der Grundlage überregional erarbeiteter Vorgaben Konzentrationswerte für Verunreinigungen im Brunnenwasser der in **Tabelle I** aufgelisteten Stoffe / Stoffgruppen abgeleitet, ab denen Empfehlungen für die Betroffenen zur Wassernutzung ausgesprochen werden sollen (Informationswerte).

Tabelle I: Ausgewählte Stoffe / Stoffgruppen

Stoffe / Stoffgruppen		CAS-Nr.*
Benzol		71-43-2
BTEX	Summe aus	
	Benzol	
	Toluol	108-88-3
	Ethylbenzol	100-41-4
	Xylol	1330-20-7
PAK, PAH	Polyzyklische Kohlenwasserstoffe, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, Polynuclear Hydrocarbons	
B(a)P	Benzo(a)pyren, hauptsächlicher Vertreter der PAK	50-32-8
Naphthalin		91-20-3

*CAS = Chemical Abstracts Service

Übersicht

Benzol, BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol), Naphthalin

Unter der Bezeichnung BTEX wird in der Regel die Summe aus Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol(en) verstanden. Die Abkürzung findet auch Verwendung für die Bezeichnung von leicht flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen unter Einschluss von Styrol und Cumol sowie generell für einkernige Aromaten.

Die flüchtigen Kohlenwasserstoffe kommen normalerweise nur in sehr geringen Konzentrationen in der Natur vor. Beispielsweise entsteht Benzol bei der unvollständigen Verbrennung organischer Verbindungen und wird – wie auch Toluol – u.a. bei Waldbränden freigesetzt. In nicht speziell belasteten Grundwässern werden diese Verbindungen in der Regel nur in Spuren nachgewiesen (**Tabelle II**).

Der einfachste aromatische Kohlenwasserstoff, Benzol, im angelsächsischen Sprachgebrauch: Benzene, wird aus dem Steinkohlenteer und petrochemisch gewonnen. Er findet breite Anwendung als Lösemittel und Grundsubstanz für weiterführende chemische Synthesen.

Aufgrund ihrer Funktion als Benzolersatz (z.B. in Lösungsmitteln, auch zur Einstellung der Oktanzahl in Kraftfahrstoffen) finden Toluol, Ethylbenzol und Xylole in weiten Bereichen des täglichen Lebens Verwendung. Toluol wird als Lösungsmittel in zahlreichen Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln, in Farb- und Deckenanstrichen, in Klebstoffen etc. eingesetzt. Es dient als Ausgangsstoff einer Vielzahl von organischen Verbindungen.

Xylole kommen als Lösungsmittel in Farben, Klebstoffen etc. und in Erzeugnissen für Druckereibetriebe in den Handel.

Naphthalin besitzt einen charakteristischen und intensiven Geruch. Es wird überwiegend in der Herstellung von Kunststoffen, von Azofarbstoffen und Insektiziden verwendet

Die genannten Verbindungen gelangten und gelangen noch heutzutage durch die unsachgemäße Handhabung (z.B. von Lösemitteln) im Rahmen industrieller Fertigungsprozesse, im Zusammenhang mit der privaten oder gewerblichen Verwendung von Mineralölen und Kraftstoffen (Tankstellen etc.) sowie durch Ablagerungen über den Boden in das Grundwasser. Verunreinigungen des Grundwassers sind somit ganz überwiegend anthropogen bedingt.

PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe)

PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) wurden/ werden insbesondere durch unvollständige Verbrennung von organischem Material freigesetzt. Insofern erfolgt der Eintrag (ggf. über Bodenpassage) durch Forstfeuer und Vulkanausbrüche (nicht anthropogen) und in der Hauptsache anthropogen über die Verbrennung von fossilen Energieträgern, über die Emission bei Betrieb von Kohleöfen und durch Verkehrsabgase.

Tabelle II:**Vorkommen von ausgewählten PAK in nicht speziell belastetem Grundwasser**

(µg/Liter)

Benzol	< 5 0.(018 – 0.045)	Eikmann u.Göen (2000), WHO (2008)
Toluol	bis 0.7 (Regenwasser)	Neubert u.Gericke (2007)
Ethylbenzol	< 1	WHO (2008)
Xylol	≤ 8	WHO (2008)
PAK , PAH	0 – 0.005	WHO (2008)

Toxikologie

Die folgende **Tabelle III** gibt einen kurzen Überblick über die im Hinblick auf Benzol, BTEX, PAK, Benzo(a)pyren und Naphthalin zu berücksichtigenden hauptsächlichsten toxikologischen Aspekte.

Die Zufuhr der genannten flüchtigen Kohlenwasserstoffe beim Menschen erfolgt in der Regel nicht über Wasser (Grundwasser, Trinkwasser) sondern vielmehr über die (zubereitete) Nahrung (insbesondere PAK, Benzo(a)pyren) und über die Atemluft. (inhalative Exposition). Entsprechende Untersuchungen zur Toxizität am Menschen sind im Zusammenhang mit (z.T. hohen) inhalativen Expositionen am Arbeitsplatz im Rahmen der industriellen und gewerblichen Anwendung/Verwendung erhoben worden.

Tabelle IIIA: Toxikologische Aspekte (Auswahl)

Substanz	akut	chron	TDI	Bioak / Sonstiges	canc	MAK 2009
			µg/ kg bw x d			
Benzol	bei hohen Dosen: ZNS-Störungen	Unspez.: Schwindel, Kopfschmerzen etc. Spez. Schädigung des blutbildenden Systems u.a. Leukämien		-	+ IARC Gruppe 1 diverse Organe	III.1 H (Hautresorption)
Toluol	Schleimhautreizung narkotisch wirksam; ZNS-Wirkungen	ZNS Bei hohen Dosen: Ggf.tox.org. Psychosyndrom Ggf. Hepatotox nephrotox	223	interferiert mit Biotransformation anderer Substanzen	keine gesicherten Erkenntnisse für den Menschen IARC Gruppe 3	50 ml/m ³ (ppm) 190 mg/m ³ H (Hautresorption) C (Schwangerschaftsgrp)
Ethylbenzol	Im allg. geringe Tox. bei hohen Dosen: Schleimhautreizung	Ggf. hepatotox nephrotox	97,1		?	III.3A H (Hautresorption)
Xylol(e)*	Im allg. geringe Tox. narkotisch wirksam; Schleimhautreizungen Hoch: narkotisch	Ggf. geringe Wachstumseffekte Ggf. unspez.ZNS-Störungen ggf. hepatotox. nephrotox.	179		-	100 ml/m ³ (ppm) 440 mg/m ³ H (Hautresorption) D (Schwangerschaftsgrp)

Tabelle IIIB: Toxikologische Aspekte (Auswahl)

Substanz	akut	chron	TDI	Bioak / Sonstiges	canc	MAK 2004
			µg/ kg bw x d			
PAK	Div wachstums reduzierend	Kanz.	-	?	+ (oral fraglich)	III.1; III.2 III.3B
Benzo(a) pyren	div.	div. Tumoren (nach Applikation sart)	-	?	+ IARC Gruppe 2A (oral fraglich)	III.2 H (Haut- resorption) 2 (Keimzell- mutagen)

div = diverse Organschäden, insbesondere bei hoher Konzentration in Abhängigkeit von der Applikationsart (bei Tieren): über Magen-Darm, Haut, Lunge

Substanz	akut	Chron	TDI	Bioak	canc	MAK 2003
Naphthalin	inh. irritativ, lokal reizend	unklar wg. häufiger Mischexpo- sition (z.B. mit PAK, Tabak- rauch)			ggf. Tumore nach Inhalation	III.2 H (Haut- resorption) 3B (Keimzell- mutagen)

* alle Isomeren

** Pyrolyseprodukte aus organischem Material

akut = akute Exposition

bioak = Bioakkumulation (Speicherung, Anhäufung)

canc = Kanzerogenität, Karzinogenität, Krebs erzeugung

chron = chronische Exposition

H = Hautresorption
Hepatotox = Leberfunktionsstörungen
nephrotox = Nierenfunktionsstörungen

IARC

(International Agency for Research on Cancer)

Gruppe 1:

(karzinogen beim Menschen)

Gruppe 2A

(probably carcinogen; möglicherweise karzinogen beim Menschen)

Gruppe 3:

(Inadequate evidence; nicht klassifizierbar bzgl. der Karzinogenität beim Menschen)

KG = Körpergewicht (in Kilogramm, kg)

Keimzellmutagen (MAK 2009)

2:

Keimzellmutagene, deren Wirkung anhand einer erhöhten Mutationsrate unter den Nachkommen exponierter Säugetiere nachgewiesen wurde.

3B:

Stoffe, für die aufgrund ihrer genotoxischen Wirkungen in somatischen Zellen von Säugetieren in vivo ein Verdacht auf eine mutagene Wirkung in Keimzellen abgeleitet werden kann. In Ausnahmefällen Stoffe, für die keine In-vivo-Daten vorliegen, die aber in vitro eindeutig mutagen sind und die eine strukturelle Ähnlichkeit zu In-vivo-Mutagenen haben.

NS = Nervensystem

ppm = parts per million; z.B. ml/m³ Luft

SH = Schleimhaut

Schwangerschaftsgruppe (MAK 2009)

Gruppe C

Eine Fruchtschädigung braucht bei Einhaltung des MAK und BAT-Wertes nicht befürchtet zu werden.

Gruppe D

Für die Beurteilung der fruchtschädigenden Wirkung liegen entweder keine Daten vor oder die vorliegenden Daten reichen für eine Einstufung in A, B oder C nicht aus.

TDI = tolerable daily intake; duldbare tägliche Zufuhr

UF = Unsicherheitsfaktor

ZNS = Zentrales Nervensystem

Zur Erläuterung:

MAK-Werte-Liste 2009

III. Krebserzeugende Arbeitsstoffe

1) Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen und bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten. Epidemiologische Untersuchungen geben hinreichende Anhaltspunkte für einen Zusammenhang zwischen einer Exposition beim Menschen und dem Auftreten von Krebs. Andernfalls können epidemiologische Daten durch Informationen zum Wirkungsmechanismus beim Menschen gestützt werden.

gilt für: Benzol, Pyrolyseprodukte aus organischem Material

2) Stoffe, die als krebserregend für den Menschen anzusehen sind, weil durch hinreichende Ergebnisse aus Langzeit-Tierversuchen oder Hinweise aus Tierversuchen und epidemiologischen Untersuchungen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten. Andernfalls können Daten aus Tierversuchen durch Informationen zum Wirkungsmechanismus und aus In-vitro- und Kurzzeit-Tierversuchen gestützt werden.

gilt für: Naphthalin, Pyrolyseprodukte aus organischem Material

(u.a. Benzo(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Indeno (1,2,3-cd)pyren)

3) Stoffe, die wegen erwiesener oder möglicher krebserzeugender Wirkung Anlass zur Besorgnis geben, aber auf grund unzureichender Informationen nicht endgültig beurteilt werden können. Die Einstufung ist vorläufig.

3A) Stoffe, bei denen die Voraussetzungen erfüllt wären, sie der Kategorie 4 oder 5 zuzuordnen. Für die Stoffe liegen jedoch keine hinreichenden Informationen vor, um einen MAK- oder BAT-Wert abzuleiten.

gilt für: Ethylbenzol

3 B): Aus in-vitro oder aus Tierversuchen liegen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vor, die jedoch zur Einordnung in eine andere Kategorie nicht ausreichen. Zur endgültigen Entscheidung sind weitere Untersuchungen erforderlich. Sofern der Stoff oder seine Metaboliten keine gentoxischen Wirkungen aufweisen, kann ein MAK- oder BAT-Wert festgelegt werden.

gilt für: Pyrolyseprodukte aus organischem Material

Vorhandene Regelungen für Grundwasser mit Gesundheitsbezug (Tab.II)

Zur Beurteilung des Mediums Grundwasser sind zur Zeit weiterhin die Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von 1994 maßgeblich. Hierin werden Orientierungswerte (Prüfwerte, Maßnahmenwerte) für Benzol, BTEX, PAK und Naphthalin angegeben. Diese Werte sind keinesfalls schematisch anzuwenden, sondern allein als Ausgangspunkt(e) für eine auf die örtlichen Bedingungen abgestimmte Bewertung des Einzelfalles zu sehen.

Ein Grundlagenpapier der LAWA von 2004 sieht Geringfügigkeitsschwellen für kleinräumige Verunreinigungen im Grundwasser vor. Die Geringfügigkeitsschwelle bildet hierbei die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung. Die Einhaltung dieser Schwelle soll gewährleisten, dass „im oder durch das Grundwasser keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können“ und „im Grundwasser die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden“ (Von der Trenck et al. 1999). Letztere Anforderung umfasst die Unbedenklichkeit für die menschliche Gesundheit, die Minimierung von Schadstoffgehalten mit vertretbarem Aufwand nach dem Stand der Technik und schließlich auch die ästhetisch einwandfreie Qualität des Wassers. Die so abgeleiteten Werte sind als Orientierungswerte anzusehen.

Die Werte für die Geringfügigkeitsschwellen der Verbindungen sind humantoxikologisch und hygienisch unter dem Gesichtspunkt der Trinkbarkeit des Wassers begründet. Die ökotoxikologische Betrachtung führt nicht zu einer hiervon abweichenden, schärferen Festlegung. Sofern hierin festgelegt, wurden ebenfalls die Werte der Richtlinie über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch bzw. der Trinkwasserverordnung 2001 aufgelistet.

Die Bundesbodenschutzgesetzgebung (BBodSchVO 1999) legte einen Summenwert (Prüfwert) für BTEX und PAK in entsprechender Höhe für den Pfad Boden-Grundwasser (Grenze zwischen ungesättigter und gesättigter Zone) fest.

Wegen des grundlegenden Bezugs zur Trinkwasserverordnung werden die hierin und in den umsetzungsorientierten Leitlinien festgelegten Normen für die genannten Kohlenwasserstoffe aufgelistet.

**Tabelle IV: Überregionale Orientierungswerte für
Benzol / BTEX / PAK / Benzo(a)pyren / Naphthalin**

A: Benzol ($\mu\text{g}/\text{Liter}$)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
1	7 10J (allg. + Säuglinge u. Kleinkinder) 20 3 J (allg.)	10 Mit excess risk 1 10 exp-6 10 10 exp-5 100 10 exp-4	1	1 - 3 ^a 5 - 10 ^b	1

Maßnahmenwert nach UBA 2003: 6 $\mu\text{g}/\text{Liter}$ (allg, 10 Jahre)

B: BTEX ($\mu\text{g}/\text{Liter}$)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994*	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
	-	-	2**	10 - 30 ^a 50 - 120 ^b	20***

a Prüfwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

b Maßnahmen-Schwellenwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

* einschl. Styrol und Cumol

** Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol)

*** Summe alkylierte Benzole

**Tabelle IV: Überregionale Orientierungswerte für
Benzol / BTEX / PAK / Benzo(a)pyren / Naphthalin (Fortsetzung)**

B-1: Toluol (µg/Liter)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
	-	700	-	-	-

B-2: Ethylbenzol (µg/Liter)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
-	-	300	-	-	-

B-3 : Xylol(e) (µg/Liter)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
-	-	500	-	-	-

**Tabelle IV: Überregionale Orientierungswerte für
Benzol / BTEX / PAK / Benzo(a)pyren / Naphthalin (Fortsetzung)**

C: PAK (µg/Liter)

TrinkwV 2001 Entwurf TrinkwV 2010	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameter- höchstwerte ¹	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungs- pfad Boden- Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügig- keits- schwellen (2004)
0.1*	0.7 3J. (Säuglinge u. Kleinkinder) 2.0 3 J. (allg.)	siehe Benzo(a)pyren als Vertreter der Gruppe	0,2 **	0.1-0.2 ^a 0.4- 2 ^b (ohne Naphth.)	0.2** (ohne Naphth.)
1 Maßnahmenwerte nach UBA 2003: 2 µg/Liter (3 Jahre); 0.6 µg/Liter (10 Jahre)					

a Prüfwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

b Maßnahmen-Schwellenwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

* Summe der nachgewiesenen und mengenmäßig bestimmten nachfolgenden Stoffe:
Benzo-(b)-fluoranthen, Benzo-(k)-fluoranthen, Benzo-(ghi)-perylene und Indeno-(1,2,3-cd)-pyren

** PAK gesamt: Summe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ohne Naphthalin und Methyl-naphthaline; in der Regel Bestimmung über die Summe von 15 Einzelsubstanzen gemäß Liste der US Environmental Protection Agency (EPA) ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter PAK (z.B. aromatische Heterocyclen wie Chinoline).

D: Benzo(a)pyren (µg/Liter)

TrinkwV 2001 Entwurf TrinkwV 2010	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameter- höchstwerte ¹	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungs- pfad Boden- Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügig- keits- schwellen (2004)
0.01	0.5 3J. u. 10 J. (Säuglin- ge u. Klein- kinder) 10 J. (allge- mein) 1.5 3 J. (allge- mein) *	0.7 mit excess risk 0.07 10 exp-6 0.70 10 exp-5 7.00 10 exp-4	-	-	0.01
1 Maßnahmenwerte nach UBA 2003: 1 µg/Liter (3 Jahre); 0.4 µg/Liter (10 Jahre)					

**Tabelle IV: Überregionale Orientierungswerte für
Benzol / BTEX / PAK / Benzo(a)pyren / Naphthalin (Fortsetzung)**

E: Naphthalin (µg/Liter)

TrinkwV 2001	Leitlinien § 9 TrinkwV 2001 (BMGS 2003) Parameterhöchstwerte	Guidelines for drinking water WHO 2008	BBodSchV 12.07.1999 Wirkungspfad Boden-Grundwasser Anh. 2.3.1	LAWA 1994	LAWA Geringfügigkeits-schwellen (2004)
-	-	-	2	1- 2 ^a 4-10 ^b	1*
					2**

a Prüfwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

b Maßnahmen-Schwellenwert nach LAWA 1994 (Ewers et al. 1996)

* Naphthalin und Methylnaphthaline

** Naphthalin und Methylnaphthaline nach von der Trenk et al. 1999

Geringfügigkeitsschwellen für kanzerogene Stoffe orientieren sich an einem Zusatzrisiko von 1×10^{-6}

Tabelle V: Weitere nationale Empfehlungen

Stoff/ Stoffgruppe	Zielvorgabe/ Orientierungs- wert µg/l	Schutzgut	Quelle
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*	0.025	Grundwasser als Trinkwasserver-sorgungs-ressource	Umweltbundes- amt 1999
Benzo(a)pyren	0,010		
Nicht- oder nur teilbewertbare Stoffe	0.1 **	Trinkwasser	Umweltbundes- amt 2003

* pro Stoff außer Benzo(a)pyren

** GOW: gesundheitlicher Orientierungswert

Tabelle VI: Geruchs- und Geschmacksschwellen

Verbindung	Geruchsschwelle in µg/ Liter Wasser	Geschmacksschwelle µg/ Liter Wasser
Benzol	ca. 10 000	500 – 4 500
Toluol	24 – 170	40 - 120
Ethylbenzol	2 – 130	72 - 200
Xylol(e)	20 - 1 800	300 - 1 800

(Angaben aus: WHO 1996, WHO 2008)

Toxikologische Betrachtung

Benzol und Benzo(a)pyren sind anerkannte Kanzerogene. Insofern ist auf sie bei Untersuchungen des zu nutzenden Grundwassers in den jeweiligen Gruppen der BTEX bzw. der PAK ein besonderes Augenmerk zu richten.

Demgegenüber gibt es allein auf der Grundlage weniger Tierversuche Anhaltspunkte, die auf eine mögliche krebserzeugende Wirkung von Naphthalin hinweisen (Kategorie 3 nach TRGS 905 Ausgabe 2001 / B ArbBl. 9/2003). Toluol, Ethylbenzol und Xylol(e) besitzen eine vergleichsweise geringe akute und chronische Toxizität.

Insgesamt ist festzustellen, dass die toxikologische Datenlage hinsichtlich der Wirkung der meisten der genannten Kohlenwasserstoffe auf den Menschen nach oraler Zufuhr sehr begrenzt ist. Ableitungen zur Toxizität resultieren insbesondere aus Erfahrungen am Arbeitsplatz oder bei Unfällen nach Einwirkung hoher Konzentrationen über den Atemweg.

Für die anerkannt kanzerogenen Stoffe Benzol und Benzo(a)pyren lassen sich die in **Tabelle VII** gelisteten Schwellenwerte ableiten:

- A) bei Annahme eines zusätzlichen Risikos von 10^{-5} nach WHO (1996, 2008)
- B) in grober Anlehnung an die Ermittlung von gefahrenbezogenen Prüfwerten für kanzerogene Schadstoffe im Boden (Bekanntmachung 1999) mit einem „gefahrenbezogenen“ Risiko von jeweils 5×10^{-5} unter Zugrundelegung der WHO-Daten (WHO 1996).

Tabelle VII
Abschätzung von Schwellenwerten für anerkannt human-kanzerogene Kohlenwasserstoffe im Grundwasser

	µg/Liter (Annahme A)	µg/Liter (Annahme B)
Benzol	10	50
Benzo(a)pyren	0.7	3.5

Umwelthygienische Betrachtung

Grundsatz

Nach Dieter (1996) ist im Hinblick auf die Festlegung von Grenzwerten die „Umwelthygienische Grundregel“ zu beachten, wonach

- nutzlose Belastungen möglichst zu vermeiden sind
- nützliche Belastungen vernünftig zu minimieren sind
- schädliche Belastungen zu unterbinden sind.

Im Gegensatz zu geogenen/biogenen Schadstoffen, deren Vorkommen z.B. im Medium Trinkwasser/Grundwasser hinzunehmen und auf dieser Basis zu regulieren sind, sind nützliche und in weit stärkeren Maße nutzlose anthropogene Substanzen/Schadstoffe im Trinkwasser/Grundwasser schärfer zu regulieren. Dies folgt einer hygienisch-ästhetischen Position, wonach insb. Trinkwasser (weitgehend) frei sein sollte von anthropogen bedingten Verunreinigungen. Entsprechend wird in § 4, Absatz 1 (TrinkwV 2001) das Reinheitsgebot für Trinkwasser unterstrichen.

Zu den nutzlosen Schadstoffen zählen die auch anthropogen eingebrachten Kohlenwasserstoffe.

Nutzlose Verunreinigungen sind auch schon unterhalb nachgewiesener oder vermuteter Schädigungsschwellen abzulehnen (Dieter, 1996). Sie sind –wie im Falle der Brunnennutzung bei bestehendem Stadtwasseranschluss- grundsätzlich vermeidbar und können deshalb bestenfalls nur vorübergehend geduldet werden.

Spezielle Betrachtung

Problematik Trinkwasserbezug

Die Daten zu den bezeichneten Kohlenwasserstoffen weisen zwar Mängel auf (insb. hauptsächliche Ausrichtung auf die inhalative Exposition bei mangelnden / fehlenden Daten zur oralen Verfügbarkeit und Toxizität). Die Verbindungen sind jedoch im Vergleich zu anderen im Trinkwasser vorkommenden Stoffen (z.B. Arzneistoffe) gut untersucht. Zu einzelnen Stoffen der BTEX-Gruppe sind duldbare Zufuhrwerte (TDIs) dargestellt worden (**Tab. III**). Ebenso sind Abschätzungen des zusätzlichen Krebsrisikos zumindest für Benzol und Benzo(a)pyren verfügbar. Dies verdeutlicht, dass die genannten Kohlenwasserstoffe nicht zu den nicht oder nur teilweise bewertbaren Stoffen im (Trink)Wasser zählen. Insofern ist der bereits 2003 vorgeschlagene GOW von 0.1 µg/l für Einzelstoffe in diesem Bezug nicht anzuwenden (**Tab. V**).

Tabelle IV gibt Überschreitungshöchstwerte im Trinkwasser nach § 9 Trinkwasserverordnung 2001 im Zusammenhang mit der Dauer der Überschreitung (3 Jahre; 10 Jahre) vor. Dies weist zwar darauf hin, dass auch u.a. bei Kanzerogenen höhere als die in der Trinkwasserverordnung festgeschriebenen Konzentrationen im Problemfall über einen befristeten Zeitraum nicht zu gesundheitlichen Effekten beitragen werden. Eine solche Bemessung ist jedoch nur tolerierbar, sofern im Rahmen des Befristungszeitraums durch entsprechende Abhilfemaßnahmen die Vorgaben/Grenzwerte (hier: der Trinkwasserverordnung) (im Trinkwasser) wieder eingehalten werden können.

Bei den in Betracht stehenden Grundwasserschäden ist aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge (Erkundung/Feststellung der Quelle; umfangreiche Untersuchungs- und Sicherungsmaßnahmen; Ermittlung des Verursachers; Sanierungsmaßnahmen) a priori nicht davon auszugehen, dass ein konkretes Datum für die nahe Zukunft angegeben werden kann, ab dem die Konzentration der jeweilig in Rede stehenden Verunreinigung großflächig so abgesenkt ist, dass die Anforderungen der Trinkwasserverordnung eingehalten werden

könnten. Insofern sind die für Ausnahmefälle abgeleiteten 3-Jahres-Höchstwerte bei Überschreitung von Trinkwassergrenzwerten als Maß für Höchstkonzentrationen im Grundwasser nur bedingt anwendbar und praktikabel. Demgegenüber könnten sich ggf. die 10-Jahres-Höchstwerte für Trinkwasser in Bezug auf Säuglinge/Kleinkinder besser zur Orientierung zur Festlegung befristeter Höchstwerte im Grundwasser eignen.

Die tabellarischen Auflistungen (insb. **Tab. IV**) zeigen, dass für besondere Stoffe (insbesondere für die anerkannt krebserzeugenden Stoffe Benzol und Benzo(a)pyren) vorsorglich spezielle Höchstwerte vorgegeben werden können, die in der Regel (weit) unterhalb eines annehmbaren Summenwertes (für BTEX bzw. PAK) liegen.

Problematik Ressourcenschutz

Auf der Grundlage der allgemein hygienischen Forderung des Ressourcenschutzes hat das Umweltbundesamt (1999) sehr niedrige Vorgaben für die PAK-Konzentration und die Trinkwasserverordnung 2001 äquivalente Vorgaben für die Benzo(a)pyren-Konzentration im Grund/Trinkwasser formuliert (**Tab. V**).

Expositionsproblematik

Als Trinkwasserquelle unterläge der Brunnen (als Trinkwasserversorgungsanlage nach § 3 2.b TrinkwV 2001 bzw. § 3 2.c der anstehenden Trinkwasserverordnungs-Novelle) den Regelungen der Trinkwasserverordnung und somit auch der Überwachung durch das Gesundheitsamt. In der Praxis wird der Brunnen jedoch nicht angemeldet / angezeigt, und das Grundwasser / Brunnenwasser wird nicht als Trinkwasserquelle genutzt, sofern die Hausinstallation an das Stadtwassernetz angeschlossen ist. Wasser aus Gartenbrunnen wird vielmehr in der Hauptsache als Spreng-/Gießwasser für Rasen, Zierpflanzen, Obst- und Gemüsebeete und als Füllwasser für Planschbecken genutzt.

Der wichtigste Expositionspfad gegenüber den genannten Kohlenwasserstoffen stellt insofern nicht das Trinkwasser, oder das ggf. zum Trinken genutzte Grundwasser dar. Vielmehr sind Expositionen über die Haut (durch Spritzwasser, Planschbeckenwasser) und über die Atemluft vorrangig zu berücksichtigen.

Die haut- bzw. schleimhautreizende Wirkung der Kohlenwasserstoffe ist in der Regel erst bei derart hohen Konzentrationen in der Atemluft (insbesondere) und im Wasser zu vermuten, bei denen bereits die weitere Verwendung des Brunnenwassers aufgrund grundsätzlicher Bedenken (z.B. hinsichtlich des kanzerogenen Potenzials) nicht mehr empfohlen wird.

Insofern erscheinen die Qualitätsnormen der Trinkwasserverordnung nicht unmittelbar anwendbar.

Maßnahmenwerte / Informationswerte

Aus den obigen Darstellungen ist zu folgern, dass zwischen den im Umweltbezug festgelegten Maßnahmenwerten (in der Regel LAWA-Werte), die die Schwelle zur Einleitung von konkreten Abhilfemaßnahmen vor Ort vorgeben, und Informationswerten, ab denen aus gesundheitlichen Gründen einem ggf. breiten Anteil der Bevölkerung vorsorglich empfohlen wird, das Brunnenwasser nicht weiter zu verwenden, unterschieden werden muss.

Als **Informationswert Summe BTEX** für eine zu empfehlende Einschränkung der Verwendung von Brunnenwasser durch die Nutzer wird ein Wert in Höhe von **360 µg/l** vorgeschlagen. Dieser Wert berücksichtigt insbesondere die in **Tabelle IV** gelisteten Richtwerte der WHO für Toluol, Ethylbenzol und Xylol(e) im (Trink)Wasser unter Einbezug der TDIs und der möglichen Exposition von Kleinkindern. Er entspricht numerisch dem mit $\sqrt{10}$ multiplizierten oberen Maßnahmenwert der LAWA. Als Informationswert für die äußere Abgrenzung des möglichen Schadensgebietes wird vorsorglich der obere Maßnahmenwert der LAWA von **120 µg/l** angesetzt. Je nach Höhe der absoluten Konzentrationen von Toluol, Ethylbenzol und Xylol(en) im Wasser, können die Verunreinigungen bereits unterhalb der angezeigten Informationswerte von empfindlichen Personen geruchlich wahrgenommen werden (**Tab. VI**).

Als **Informationswert Summe PAK** für eine zu empfehlende Einschränkung der Verwendung von Brunnenwasser durch die Nutzer wird ein Wert in Höhe von **6 µg/l** vorgeschlagen. Dieser Wert hat einen eher pragmatischen Charakter, indem er, anders als die TrinkwV 2001, als Summe das Auftreten aller 16 von der EPA zur Untersuchung vorgeschlagenen PAK annimmt. Gleichermaßen Berücksichtigung findet die durch die erforderliche Grundwassersanierung im Verunreinigungsfall anzusetzende Befristung einer möglichen Exposition. Als Informationswert für die äußere Abgrenzung des möglichen Schadensgebietes wird vorsorglich der obere Maßnahmenwert der LAWA von **2 µg/l** angesetzt.

Die Werte für PAK gelten ohne Berücksichtigung von Naphthalin, das u.U. in hohen Konzentrationen im Grundwasser/Brunnenwasser auftreten kann. Aus der erforderlichen Einzelstoffbetrachtung ergibt sich im Unterschied zu den (übrigen) PAKs für Naphthalin eine hinsichtlich Toxikologie und möglicher Kanzerogenese günstigere Ausgangslage für die gesundheitliche Bewertung. Hiernach wird als **Informationswert Naphthalin** ein Wert von **30 µg/l** vorgeschlagen. Als Informationswert für die äußere Abgrenzung des möglichen Schadensgebietes wird vorsorglich der obere Maßnahmenwert der LAWA von **10 µg/l** angesetzt.

Anerkannt kanzerogene Stoffe im Grundwasser / Brunnenwasser bilden im Vergleich zu den z.B. aus Tierversuchen vermutet kanzerogenen und auch zu den nicht-kanzerogenen Stoffen ein erheblich höheres Gefährdungspotenzial für die Nutzerinnen und Nutzer. Bei der Wertefestlegung wurde insbesondere die Nichtnutzung als Trinkwasser und die mögliche Spannweite der Abschätzung einer tolerablen Konzentration in diesem Medium nach **Tabelle IV** unter Annahme einer befristeten Exposition (in Anlehnung an Angaben in den Leitlinien zu § 9 TrinkwV 2001 für Säuglinge) berücksichtigt.

Insofern wird empfohlen, die Betroffenen ab einer Verunreinigung von **7 µg/l Benzol bzw. 0.5 µg/l Benzo(a)pyren** über die Einschränkung der Wassernutzung zu informieren. Diese beiden Werte sollen vorsorglich auch als Informationswert für die äußere Abgrenzung des Schadensgebietes gelten.

Summarische Betrachtung

Sowohl weiträumige als auch lokal hohe Verunreinigungen des Grundwassers / Brunnenwassers mit den Kohlenwasserstoffen Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol(en), PAK, Benzo(a)pyren und Naphthalin stellen hinsichtlich der möglichen (privaten) Nutzungen ein toxikologisch zumindest nicht wünschenswertes, hygienisch vermeidbares Gesundheitsrisiko für den Menschen dar. Der Ansatz der Vermeidbarkeit ist hoch zu werten, weil die Nutzung eines Brunnens als Wasserversorgungsquelle für verschiedene Zwecke im Außenbereich bei Vorhandensein eines Hausanschlusses an das Stadtwasser nicht zwingend erforderlich (obligat) ist.

Das Ausbringen von hochgradig verunreinigtem Wasser auf Böden (durch Rasensprengen, Bewirtschaftung von Anpflanzungen) kann zudem die Belastung des Bodens mit diesen Stoffen erhöhen. Aus Gründen der Gesundheitsvorsorge, des Ressourcenschutzes und der Praktikabilität festzulegender zulässiger Werte im Umweltmedium Grundwasser, erscheint es unzweckmäßig für verschiedene Nutzungen verschieden hohe Eingreif- oder Informationswerte vorzuschlagen.

Vielmehr sollten für die Auslösung von **Sanierungsmaßnahmen** im Allgemeinen die bereits überregional verfügbaren LAWA-Werte herangezogen werden.

Zur Beurteilung der gesundheitlichen Bedeutung und damit zur Festlegung einer **Informationsschwelle für die Bevölkerung** sollten die genannten Informationswerte als grundsätzliche Orientierung herangezogen werden.

Empfehlung

Zusammenfassend wird davon abgesehen, für aus Gartenbrunnen gefördertes Wasser spezielle Wertevorgaben für einzelne Nutzungen (Bewässerung von Rasen und Bepflanzungen, Verwendung als Füllwasser u.a. für Planschbecken) in Hinblick auf die Summe BTEX und PAK und für spezielle Kohlenwasserstoffe (Benzol, Benzo(a)pyren und Naphthalin) zu empfehlen.

Für die Einleitung von Sanierungsmaßnahmen sind die im Umweltrecht bzw. in den Richtlinien von Umweltgremien (z.B. der LAWA) verzeichneten Maßnahmenwerte maßgeblich.

Die Betroffenen sollten zeitnah informiert werden,

- als im **Einzelfall** direkt Betroffene, sofern in ihrem Brunnenwasser vergleichbar hohe Kohlenwasserstoff-Konzentrationen festgestellt worden sind.
- als im **Schadensgebiet** möglicherweise später Betroffene, sofern das Auftreten von den zunächst in den Einzelfällen beobachteten vergleichbar hohen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen im Brunnenwasser in absehbarer Zeit auch aufgrund der verunreinigten Grundwasserfahne in weiteren Brunnen des Schadensgebietes erwartet wird.

Zur Information der Betroffenen über Verunreinigungen mit organischen Kohlenwasserstoffen wird empfohlen:

◆ Informationswert Benzol

Prioritär sind Empfehlungen an Betroffene ab einer Benzol-Konzentration von \geq (größer gleich) 7 $\mu\text{g/l}$ zu richten.

◆ Informationswert BTEX

Sofern diese Bedingung nicht erfüllt ist, sollten Empfehlungen ab einer Summe der BTEX von \geq (größer gleich) 360 $\mu\text{g/l}$ ausgesprochen werden.

◆ Informationswert Benzo(a)pyren

Prioritär sind Empfehlungen an Betroffene ab einer Benzo(a)pyren-Konzentration von \geq (größer gleich) 0.5 $\mu\text{g/l}$ zu richten.

◆ Informationswert PAK

Sofern diese Bedingung nicht erfüllt ist, sollten Empfehlungen ab einer Summe der PAK von \geq (größer gleich) 6 $\mu\text{g/l}$ (ohne Naphthalin) ausgesprochen werden.

◆ Informationswert Naphthalin

Empfehlungen an Betroffene sind ab einer Naphthalin-Konzentration von \geq (größer gleich) 30 $\mu\text{g/l}$ zu richten.

Diese Werte sind für die Bewertung von Einzelbrunnen heranzuziehen.

Falls in mehreren Brunnen Überschreitungen der vorgenannten Werte nachgewiesen werden und von einer flächigen Grundwasserverunreinigung auszugehen ist, wird eine Anwohnerinformation für das betroffene Gebiet empfohlen.

Zur Bezeichnung der **äußeren Abgrenzung** dieses Gebietes sollen die folgenden Werte herangezogen werden:

Benzol	≥ (größer gleich)	7 µg/l
BTEX	≥ (größer gleich)	120 µg/l
B(a)P	≥ (größer gleich)	0.5 µg/l
PAK	≥ (größer gleich)	2 µg/l
Naphthalin	≥ (größer gleich)	10 µg/l

Sofern der für die genannten Kohlenwasserstoffe (Einzelwerte, Summenwerte) vorgeschlagene Informationswert überschritten wird, ist vorsorglich anzuraten, das Brunnenwasser nicht zur Bewässerung von Rasen und Anpflanzungen sowie für das Füllen von Planschbecken zu nutzen.

Ein Abweichen vom genannten stufenweisen Vorgehen kann im Einzelfall unter Abwägung/Berücksichtigung aller Einflussgrößen vor Ort entschieden werden.

Literatur / Grundlagen

2.Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes „Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen“ vom 10. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2694), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758)

Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18.Juni 1999. Bundesanzeiger 161a (1999) 1-42, Ausgabe 28.08.1999

BMGS 2003: Leitlinien zum § 9 der TrinkwV 2001 – Maßnahmen im Fall nicht eingehaltener Grenzwerte und Anforderungen. Version 31.Jan 2003. Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung.

Bundes-Bodenschutz. und Altlastenverordnung (BBodSchV), vom 12.Juli 1999; Bundesgesetzblatt 1999, Teil I, Nr.36, 1554-1582

Dieter, H.H. Trinkwasser. In: H.E.Wichmann, H.W.Schlipköter, G.M.Fülgraff (Hrsg.) Handbuch der Umweltmedizin, ecomed, IV-3.1, 1994

Dieter, H.H.: Sollbedingungen für umwelthygienisch akzeptable Grenzwerte. Umweltmed.Forsch.Prax. 1(1996) 157-164

Dieter, H.H.: Kommentar zur Bewertung der Anwesenheit nicht oder nur teilbewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz (2003) 245-248

Dieter, H.H., Henseling, M.: Kommentar zur Empfehlung: Maßnahmenwerte (MW) für Stoffe im Trinkwasser während befristeter Grenzwertüberschreitungen gem. § 9 Abs. 6-8 TrinkwV 2001. Bundesgesundheitsbl.Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz 46 (2003) 701-706

Eikmann, Th., Göen, Th: Organische Verbindungen/Benzol. In: Handbuch Umweltmedizin (Hrsg. H.E.Wichmann, H.W.Schlipköter, G.Fülgraff) IV-4, 2000

EU-Kommission: 2006: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Amtsbl.Europ.Union 27.12.2006 L 372/19-31

Ewers,U., Viereck-Götte, L., Kouros, B.: Boden, Grundwasser. In: Handbuch Umweltmedizin (Hrsg. H.E.Wichmann, H.W.Schlipköter, G.Fülgraff) XI-1.2, 1996

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden. 1994

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser. Düsseldorf, Dezember 2004

Neubert, D., Gericke, C.: Organische Verbindungen/Toluol. In: Handbuch Umweltmedizin (Hrsg. H.E.Wichmann, H.W.Schlipköter, G.Fülgraff) IV-4, 2007

Richtlinie 98/83/EG des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch; vom 03.November 1998: Amtsblatt der Europ.Gemeinschaften L 330/2 – L330/54 vom 05.12.98

Sagunski, H.: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundhbl. 11 (1996) 416-421

Sagunski, H., Heger, W.: Richtwerte für die Innenraumluft: Naphthalin. Bundesgesundheitsbl.-Gesundheitsforsch.-Gesundheitsschutz 47 (2004) 705-712

Senator für Arbeit, Frauen, Gesundheit, Jugend und Soziales: Empfehlung zu „Qualitätsanforderungen an Wasser / Grundwasser aus Gartenbrunnen – Ansatz zur gesundheitlichen Bewertung der LCKW (Leicht flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe)-Problematik“ vom 30.06.2004

UBA 2003: Maßnahmenwerte (MW) für Stoffe im Trinkwasser während befristeter Grenzwertüberschreitungen gem. § 9 Abs. 6-8 TrinkwV 2001. Bundesgesundheitsbl.Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz 46 (2003) 707-710

Umweltbundesamt 1999: Anforderungen an Trinkwasserressourcen zum Schutz der Trinkwassergewinnung. Empfehlung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl. Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz (1999) 969

Umweltbundesamt 2003: Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Empfehlung des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsbl.Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz (2003) 249-251

Von der Trenck, K.T., Röder, R., Slama, H., Markard, C., Kühl, C.: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen zu Beurteilung von Grundwasserunreinigungen. Teil II: Organische Parameter. Umweltmed.Forsch.Prax. 4 (1999) 335-346

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001; vom 21.Mai 2001: Bundesgesetzblatt 2001, Teil I Nr. 24, 959-980

WHO (1996) Guidelines for drinking-water quality. 2nd edition. Vol.2: Health criteria and other supporting information; World Health Organization, Genf

WHO (2008) Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition. Vol. 1: Recommendations; World Health Organization, Genf