

2015

**oekotoxzentrum**  
**centre ecotox**



Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie  
Centre Suisse d'écotoxicologie appliquée  
Eawag-EPFL

**Environmental Quality Standard (EQS) -  
Vorschlag des Oekotoxzentrums für:  
*Bromat***

Literaturrecherche: 11.06.2015, Dossieraktualisierung 31.08.2015,  
Dossierfinalisierung 02.10.2015

## Glossar und Erklärungen:

**Environmental Quality Standard:** englischsprachiger Ausdruck für Umweltqualitätsnorm, im Kontext der Schweiz, chemisch numerische Anforderung an die Wasserqualität. Das Oekotoxzentrum leitet Vorschläge für Langzeit-EQS (AA-EQS, CQK) und Kurzzeit-EQS (MAC-EQS, AQK) für das Bundesamt für Umwelt (BAFU) her: Die Vorschläge sind verfügbar auf:

[http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege/index\\_EN](http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege/index_EN)

**AA-EQS:** Annual Average-EQS, gleichbedeutend mit Jahres-Durchschnitt-Umweltqualitätsnorm, im Kontext der Schweiz ,Chronisches Qualitätskriterium (CQK).

**MAC-EQS:** Maximum Acceptable Concentration-EQS, gleichbedeutend mit der zulässigen Höchstkonzentration (ZHK), im Kontext der Schweiz , Akutes Qualitätskriterium (AQK)

**AF:** englischsprachiger Ausdruck für Assessmentfaktor, gleichbedeutend mit dem Sicherheitsfaktor der nach dem Technical Guidance Document für die Herleitung von EQS Vorschlägen anzuwenden ist.

**EC 50:** Effektkonzentration, bei der ein 50%iger Effekt auftritt

**EC10:** Effektkonzentration, bei der ein 10%iger Effekt auftritt

**LC50:** Letale Konzentration, bei der 50% der Versuchstiere gestorben sind

**LOEC:** Lowest Observed Effect Concentration, niedrigste getestete Konzentration, bei der ein signifikant unterschiedlicher Effekt zum Kontrollversuch auftrat

**NOEC:** No Observed Effect Concentration, höchste getestete Konzentration, bei der kein signifikant unterschiedlicher Effekt zum Kontrollversuch auftrat

# EQS-Vorschläge

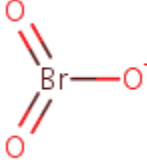
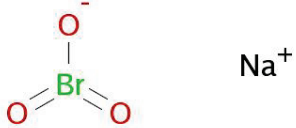
AA-EQS: 50 µg/L

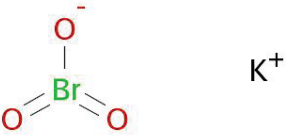
MAC-EQS: 50 µg/L

## 1 Physikalische und chemische Parameter

In Tabelle 1 werden Identität sowie chemische und physikalische Parameter für Bromat, Natriumbromat und Kaliumbromat angegeben. Wo bekannt, wird mit (exp) spezifiziert, dass es sich um experimentell erhobene Daten handelt, während es sich bei mit (est) gekennzeichneten Daten um abgeschätzte Werte handelt. Wenn keine dieser beiden Angaben hinter den Werten steht, fand sich in der zitierten Literatur keine Angabe.

**Tabelle 1:** Geforderte Angaben zu Bromat, Natriumbromat und Kaliumbromat nach dem TGD for EQS (EC 2011).; **exp** = experimentell erhobene Werte; **est** = geschätzte Werte. Bei mehreren Angaben wurde die Reihenfolge und Position der Referenzen für die entsprechenden Angaben angepasst.

Eigenschaften	Name/Wert	Referenz
IUPAC Name	<b>Bromat:</b> Bromate <b>Natriumbromat:</b> Sodium bromate <b>Kaliumbromat:</b> Potassium bromate	ChemIDplus 2015 ECHA 2105a ECHA 2015b
<i>Chemische Gruppen</i>	Anion und Salze der Bromsäure	
Strukturformeln	Bromat	 HSDB 2015
	Natriumbromat	 ECHA 2105a

	Kaliumbromat		ECHA 2015b
Summenformel	<b>Bromat:</b> $\text{BrO}_3^-$ <b>Natriumbromat:</b> $\text{NaBrO}_3$ <b>Kaliumbromat:</b> $\text{KBrO}_3$		EPI Suite 2011
CAS-Nummer	<b>Bromat:</b> 15541454 <b>Natriumbromat:</b> 7789380 <b>Kaliumbromat:</b> 7758012		ChemIDplus 2015 EPI Suite 2011 EPI Suite 2011
EINECS-Nummer	<b>Bromat:</b> nicht angegeben <b>Natriumbromat:</b> 232-160-4 <b>Kaliumbromat:</b> 231-829-8		ChemIDplus 2015
SMILES-code	<b>Bromat:</b> $[\text{O-}]\text{Br}(=\text{O})=\text{O}$ <b>Natriumbromat:</b> $[\text{O-}]\text{Br}(=\text{O})=\text{O}.[\text{Na+}]$ <b>Kaliumbromat:</b> $[\text{O-}]\text{Br}(=\text{O})=\text{O}.[\text{K+}]$		EPI Suite 2011
Molekulargewicht ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	<b>Bromat:</b> 127.9 <b>Natriumbromat:</b> 150.9 <b>Kaliumbromat:</b> 167.0		ChemIDplus 2015 EPI Suite 2011 EPI Suite 2011
Schmelzpunkt ( $^{\circ}\text{C}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> 381 (exp), zerfällt unter Sauerstoffentwicklung <b>Kaliumbromat:</b> 350 (exp); 409-413 (exp)		Gerhartz 1985; Clayton and Clayton 1993-1994 and O'Neil 2006, ECHA 2015b
Siedepunkt ( $^{\circ}\text{C}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> zerfällt über 381, daher nicht bestimmbar <b>Kaliumbromat:</b> 370 (exp) und zersetzt sich bei 370; >425		ECHA 2015a Budavari 1996; O'Neil 2006; ECHA 2015b
Dampfdruck (Pa)	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> nicht angegeben <b>Kaliumbromat:</b> vernachlässigbar, nicht angegeben		ECHA 2015b Neely und Blau 1985; ECHA 2015b
Henry-Konstante ( $\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> nicht bestimmt da anorganische Verbindung <b>Kaliumbromat:</b> vernachlässigbar		ECHA 2015a Environment Canada and Health Canada (2010)
Wasserlöslichkeit ( $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> 364 (exp) <b>Kaliumbromat:</b> 133 (exp), 69 (exp), 66 (exp)		Gerhartz 1985; Lide 1997-1998; Gerhartz 1985; ECHA 2015b
Dissoziationskonstante ( $\text{pK}_a$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> nicht angegeben <b>Kaliumbromat:</b> nicht anwendbar; nicht angegeben		ECHA 2015a Environment Canada and Health Canada (2010); ECHA 2015b
<i>n</i> -Octanol/Wasser Verteilungskoeffizient ( $\log K_{ow}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> nicht angegeben <b>Kaliumbromat:</b> nicht angegeben		ECHA 2015a Environment Canada and

		Health Canada (2010); ECHA 2015b
Sediment/Wasser Verteilungs- koeffizient (log $K_{oc}$ )	<b>Bromat:</b> nicht anwendbar <b>Natriumbromat:</b> nicht angegeben <b>Kaliumbromat:</b> nicht angegeben	ECHA 2015a Environment Canada and Health Canada (2010); ECHA 2015b

## 2 Allgemeines

Anwendung und mögliche Quellen: Unter natürlichen Bedingungen kommt Bromat nur in geringen oder nicht nennenswerten Konzentrationen in Oberflächengewässern vor, sie können jedoch anthropogen eingetragen werden (Hutchinson et al. 1997). Bromat kann bei der Ozonung von bromidhaltigem Trinkwasser und Abwasser gebildet werden (2003 von Gunten). Bisherige identifizierte Quellen von Bromid in Schweizer Gewässern sind Kehrlichtverbrennungsanlagen, geogene Quellen, Niederschlag, chemische Industrie und bekannte Quellen der Abfallindustrie. Die Herkunft von Bromid und Bromat in Schweizerischen Gewässern ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt (persönliche Kommunikation mit Fabian Soltermann EAWAG, Juli 2015).

Wirkungsweise: Bromat gilt als potenziell karzinogen und mutagen und steht im Verdacht Ausscheidungsorgane wie Nieren z.B. durch Tumorbildung schädigen zu können (WHO Guidelines for Drinking Water Quality 2004). Der Richt- und Toleranzwert für Bromat im Trinkwasser liegt deshalb international und in der Schweiz bei 10 µg/L (gemäß der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung FIV vom 26. Juni 1995). Zusätzlich sind bei Langzeitexposition nicht karzinogene Organschädigungen, Entwicklungs-, Reproduktions- und Immuntoxizität in Säugerstudien beschrieben worden (Environment Canada and Health Canada 2010).

Chemische Analytik: Ionen-Chromatographie (IC)-Methoden mit Nachsäulenreaktion zeigen Nachweisgrenzen, bzw. limit of detections (LOD) von 3 µg/L und 0.1 µg/L für Bromid und Bromat (Salhi und von Gunten 1999). Andere IC Verfahren liegen ebenfalls im LOD Bereich von 0.2 - 1.5 µg/L Bromat (WHO Guidelines for Drinking Water Quality 2004), wobei neuere LC-MS/MS Methoden noch deutlich sensitiver sind. Für die erwähnten Trinkwassertoleranz- und -richtwerte und EQS Vorschläge im µg/L Bereich sind daher keine analytischen Probleme zu erwarten.

Persistenz und Stabilität des Bromats in wässrigen Lösungen: Bromat gilt als sehr persistent in Wasser und wird nur unter anaeroben Bedingungen biologisch reduziert. Mehr als zweijährige Kontrollversuche unter Lichtabschluss in Salzwasser ergaben keine statistisch signifikanten Veränderungen der Konzentrationen (Environment Canada and Health Canada 2010). Aufgrund der Persistenz ist eine Abweichung zwischen eingesetzten Nominalkonzentrationen und Expositionskonzentrationen unwahrscheinlicher als im Vergleich zu abbaubaren Substanzen, kann jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden.

### 3 Effektdatensammlung

**Tabelle 2:** Effektdatensammlung für Bromat (Natriumbromat und Kaliumbromat). Eine Bewertung der Validität wurde nach den Klimisch-Kriterien (Klimisch *et al.* 1997) durchgeführt und ebenfalls für die in Auftrag gegebenen Studien von Soluval Santiago nach der vom Ökotoxzentrum mitentwickelten CRED-Bewertungsmethode (Moermond *et al.* 2015 und Kase *et al.* 2015) durchgeführt. Die Zuverlässigkeitskategorisierungen (1-4 und R1-4) sind jedoch numerisch gleichzusetzen, generell sind R1- und R2-Klassierungen als zuverlässig einzustufen, hingegen R3 als nicht zuverlässig und R4 als nicht bewertbar geführt wird. Literaturdaten, die in grau dargestellt sind, erfüllen nicht die Datenanforderungen nach dem TGD for EQS bezüglich Relevanz oder Verlässlichkeit, sollen aber als zusätzliche Information genannt werden. „≥-, >- und <“-Werte, auch wenn sie valide sind, können nicht direkt zur EQS-Ableitung verwendet werden und sind ebenfalls in grau dargestellt. „-“, steht für keine Angaben; Testkonzentrationen und Effektkonzentrationen wurden grösstenteils auf Bromat umgerechnet und in ( ) angegeben.

EFFEKTDATENSAMMLUNG													
Sammel-bezeichnung	Organismus	Endpunkt	Dauer	Dimension	Parameter	Operator	Wert (mg/L)	Chemische Analyse <sup>a</sup>	Testsystem <sup>b</sup>	Reinheit (%)	Bemerkungen	Validität	Referenz
<b>akute Daten</b>													
Dinoflagellaten	<i>Glenodinium hallii</i>	Wachstum	-	-	EC50	>	(13.6)	C	-	≥ technical grade	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2-3	Erikson and Freeman 1978
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstumsrate (Zellzahl)	72	h	EC50 <sup>c</sup>	=	15954 (13522)	A	S	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> mit Salzwasser-alge angepasst nach ASTM 2006	2	Fisher <i>et al.</i> 2014
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstumsrate (Zellzahl)	72	h	EC25	=	9593 (8131)	A	S	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> mit Salzwasser-alge angepasst nach ASTM 2006	2	Fisher <i>et al.</i> 2014
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstum	-	-	EC50	>	(13.6)	C	-	≥ technical grade	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2-3	Erikson and Freeman 1978
Algen	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	Wachstum	72	h	EC50	=	204 (172.9)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach AFNOR T90-375 in Mikrotiterplatten	R3	Soluval Santiago 2015
Algen	<i>Skeletonema costatum</i>	Wachstum	-	-	EC50	>	(13.6)	C	-	≥ technical grade	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2-3	Erikson and Freeman 1978
Algen	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	Wachstum	-	-	EC25	>	(13.6)	C	-	≥ technical grade	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2-3	Erikson and Freeman 1978
Höhere Wasserpflanzen	<i>Lemna minor</i>	Wachstum	7	d	EC50	=	17.3 (14.7)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> nach vereinfachter OECD 221 für Biomasse	R2	Soluval Santiago 2015
Rotifera	<i>Brachionus calyciflorus</i>	Reproduktion	48	h	EC50	=	262 (222)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach ISO 20666 vereinfacht	R2	Soluval Santiago 2015
Planarien	<i>Polycelis nigra</i>	Mortalität/ Immobilisation	48	h	LC50	=	2558 (2168)	C	-	-	Test mit NaBrO <sub>3</sub>	4	Jones 1941
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Mortalität	48	h	LC50	=	37.9 (32.2)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub>	R1-2	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Mortalität	7	d	LC50	=	8.92 (7.6)	C	R	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , nach ISO 20665	R1	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Immobilisation	48	h	EC50	>	100 (76.58)	C	S	-	Test mit K BrO <sub>3</sub>	1	ECHA 2105b
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	48	h	EC50	=	194 (164)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach ISO 6341	R1-2	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	72	h	EC50	=	67.9 (57.6)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub>	R1-2	Soluval Santiago 2015

**EFFEKTDATENSAMMLUNG**

Sammelbezeichnung	Organismus	Endpunkt	Dauer	Dimension	Parameter	Operator	Wert (mg/L)	Chemische Analyse <sup>a</sup>	Testsystem <sup>b</sup>	Reinheit (%)	Bemerkungen	Validität	Referenz
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	48	h	EC50	=	(179)	C	-	-	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4	Anderson 1946
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	48	h	EC50	>	100 (76.59)	B	S	-	Test mit KBrO <sub>3</sub> , nach OECD 202	1	ECHA 2015a
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	24	h	EC50	=	112.7 (95.5)	A	R	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> nach US-EPA 2002 guideline EPA 821-R-02-12	2	Fisher et al. 2014
<b>Krebstiere</b>	<b><i>Daphnia magna</i></b>	<b>Mortalität/ Immobilisation</b>	<b>48</b>	<b>h</b>	<b>EC50</b>	<b>=</b>	<b>55.3 (46.9)</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	<b>≥ 98.5</b>	<b>Test mit NaBrO<sub>3</sub> nach US-EPA 2002 guideline EPA 821-R-02-12</b>	<b>2</b>	<b>Fisher et al. 2014</b>
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	72	h	EC50	=	46.8 (39.7)	A	R	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> nach US-EPA 2002 guideline EPA 821-R-02-12	2	Fisher et al. 2014
Krebstiere	<i>Daphnia magna</i>	Mortalität/ Immobilisation	96	h	EC50	=	46.8 (39.7)	A	R	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> nach US-EPA 2002 guideline EPA 821-R-02-12	2	Fisher et al. 2014
Krebstiere	<i>Hyalella azteca</i>	Mortalität	7	d	LC50	=	(1.093 ~1.1)	C	-	Reagent grade	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , aber bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Environment Canada and Health Canada (2010)
Krebstiere	<i>Neomysis awatschensis</i>	Mortalität	24	h	LC50	=	(176)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub>	2	Creclius 1979
Krebstiere	<i>Pandalus danae</i>	Mortalität	72	h	LC100	≤	(880)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Creclius 1979
Krebstiere	<i>Protothaca staminea</i>	Mortalität	72	h	LC100	≤	(880)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Creclius 1979
Mollusken	<i>Crassostrea gigas</i>	Entwicklung	24	h	LOEC	=	(32)	A		≥ 99	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Hutchinson et al. 1997
Mollusken	<i>Crassostrea gigas</i>	Entwicklung	24	h	NOEC	=	(56)	A		≥ 99	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub>	2	Hutchinson et al. 1997
<b>Mollusken</b>	<b><i>Crassostrea gigas</i>-Larven</b>	<b>Entwicklung</b>	<b>48</b>	<b>h</b>	<b>EC50</b>	<b>=</b>	<b>(30)</b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>-</b>	<b>Testkonzentration bezogen auf BrO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>2</b>	<b>Creclius 1979</b>
<b>Mollusken</b>	<b><i>Crassostrea gigas</i></b>	<b>Entwicklung</b>	<b>24</b>	<b>h</b>	<b>EC50</b>	<b>=</b>	<b>(170)</b>	<b>A</b>		<b>≥ 99</b>	<b>Testkonzentration bezogen auf BrO<sub>3</sub></b>	<b>2</b>	<b>Hutchinson et al. 1997</b>
Mollusken	<i>Crassostrea virginica</i> -Larven	Mortalität	48	h	LOEC	=	(0.05)	A-	C	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3	Stewart et al. 1979
Mollusken	<i>Crassostrea virginica</i> -Larven	Mortalität	48	h	LC90	≤	(1)	A-	C	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3	Stewart et al. 1979
Mollusken	<i>Macoma inguinata</i>	Mortalität	72	h	LC100	≤	(880)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Creclius 1979
Fische	<i>Cymatogaster aggregata</i>	Mortalität	72	h	LC100	≤	(880)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Creclius 1979
Fische	<i>Leiostomus xanthurus</i>	Mortalität	96	h	LC50	=	(427.4)	A	-	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Richardson et al.1981
Fische	<i>Leiostomus xanthurus</i>	Mortalität	10	d	LC50	=	(278.6)	A	-	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Richardson et al.1981
Fische	<i>Morone saxatilis</i> -Eier und Larven	- Mortalität	96	h	LC50	=	(30.8)	A	-	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> , Fischlarven reagieren empfindlicher als adulte Fische	2	Richardson et al.1981
Fische	<i>Morone saxatilis</i>	Mortalität	10	d	LC50	=	(92.6)	A	-	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Richardson et al.1981
Fische	<i>Oncorhynchus keta</i>	Mortalität	96	h	LC50	=	(512)	B	S	-	Testkonzentration bezogen auf BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2	Creclius 1979
<b>(Sub)chronische Daten</b>													
Algen	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	Wachstumsrate	72	h	LOEC	=	56.2 (43.0)	B	S	-	Test mit KBrO <sub>3</sub> , nach OECD 201	1	ECHA 2015b



**EFFEKTDATENSAMMLUNG**

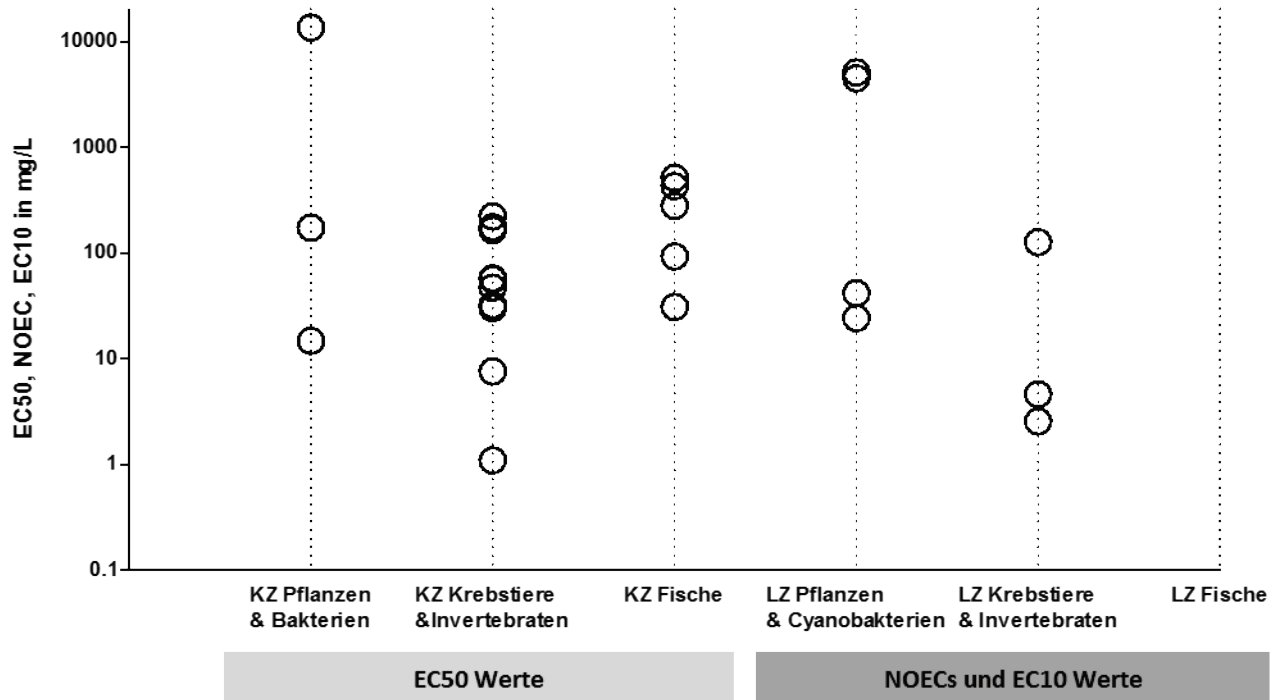
Sammelbezeichnung	Organismus	Endpunkt	Dauer	Dimension	Parameter	Operator	Wert (mg/L)	Chemische Analyse <sup>a</sup>	Testsystem <sup>b</sup>	Reinheit (%)	Bemerkungen	Validität	Referenz
Algen	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	Wachstumsrate	72	h	NOEC	=	31.6 (24.2)	B	S	-	Test mit KBrO <sub>3</sub> , nach OECD 201	1	ECHA 2015b
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstumsrate (Zellzahl)	72	h	EC10	=	6031 (5112)	A	S	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> mit Salzwasser-alge angepasst nach ASTM 2006	2	Fisher et al. 2014
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstumsrate (Zellzahl)	72	h	LOEC	=	10554 (8945)	A	S	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> mit Salzwasser-alge angepasst nach ASTM 2006	2	Fisher et al. 2014
Algen	<i>Isochrysis galbana</i>	Wachstumsrate (Zellzahl)	72	h	NOEC	=	5277 (4473)	A	S	≥ 98.5	Test mit NaBrO <sub>3</sub> mit Salzwasser-alge angepasst nach ASTM 2006	2	Fisher et al. 2014
Algen	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	Wachstum	72	h	EC10	=	49.0 (41.6)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach AFNOR T90-375 in Mikrotiterplatten, EC10 ausserhalb der getesteten Konzentrationen	R3	Soluval Santiago 2015
Algen	<i>Raphidocelis subcapitata</i>	Wachstum	72	h	LOEC	≤	95.5 (80.9)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach AFNOR T90-375 in Mikrotiterplatten	R2	Soluval Santiago 2015
Höhere Wasserpflanzen	<i>Lemna minor</i>	Wachstum	7	d	EC10	=	5.3 (4.5)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> nach vereinfachter OECD 221 für Biomasse,	R2	Soluval Santiago 2015
Rotifera	<i>Brachionus calyciflorus</i>	Reproduktion	48	h	EC10	=	149 (126.3)	C	S	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> ; nach ISO 20666 vereinfacht und mit Variabilität im tiefen Effektbereich	R2	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Reproduktion	7	d	EC50	=	9.9 (8.4)	C	R	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , nach ISO 20665	R1	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Reproduktion	7	d	EC10	=	5.5 (4.6)	C	R	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , nach ISO 20665	R1	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Reproduktion	7	d	NOEC	=	3.0 (2.5)	C	R	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , nach ISO 20665	R1	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Mortalität und Reproduktion	8	d	NOEC	=	3.0 (2.5)	C	R	≥ 99, extra pure	Test mit NaBrO <sub>3</sub> , nach ISO 20665	R1	Soluval Santiago 2015

<sup>a</sup> A = Testkonzentrationen zu Beginn und Testende gemessen und für Effektbestimmung verwendet; B = nominale Testkonzentrationen für Effektbestimmung verwendet, gemessene Wiederfindung ± 20 % der Nominalen; C = Nominale Testkonzentrationen verwendet

<sup>b</sup> F = Durchfluss; R = semi-statisch; S = statisch

## 4 Graphische Darstellung der Effektdaten

Abbildung 1 zeigt alle validen Kurzzeit- und Langzeiteffektwerte aus Tabelle 2 graphisch aufgeschlüsselt.



**Abbildung 1** Grafische Darstellung aller validen Kurzzeit (KZ)- und Langzeit (LZ)-Effektdaten aus Tabelle 2 bezogen auf Bromat-Konzentrationen.

### 4.1 Vergleich marine/limnische Organismen

Die marinen und limnischen Effektdaten wurden in Abb. 1 zusammengeführt, da die empfindlichsten Arten geschützt werden sollen und sich so ein guter Überblick ergibt. Die Sensitivitäten der verschiedenen taxonomischen Gruppen variieren über mehrere Konzentrationsgrößenordnungen. Für die weitere Herleitung der EQS wurden jedoch nur limnische Arten direkt berücksichtigt, da diese eine höhere Relevanz für Schweizerische Gewässer haben.

## 5 Herleitung der EQS

Um chronische und akute Qualitätsziele herzuleiten, kann die Sicherheitsfaktormethode (AF-Methode) auf der Datenbasis von Kurzzeit- und Langzeiteffektdaten verwendet werden. Dabei wird mit dem tiefsten chronischen Datenpunkt ein AA-EQS (Annual-Average-Environmental-Quality-Standard) und mit dem tiefsten akuten Datenpunkt ein MAC-EQS (Maximum-Acceptable-Concentration-Environmental-Quality-Standard) hergeleitet.

## 6 Chronische Toxizität

### AA-EQS Herleitung mit der Sicherheitsfaktor (AF)-Methode

Im Datensatz zu den Langzeittoxizitäten sind valide Effektwerte zu Primärproduzenten (Algen/Höhere Wasserpflanzen) und Invertebraten vorhanden (Tabelle 3).

**Tabelle 3** Übersicht zu den kritischen Toxizitätswerten für Wasserorganismen aus längerfristigen Untersuchungen mit Bromat

Gruppe	Art	Wert	Konz. in mg/L	Referenz
Algen	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	NOEC	24.2	ECHA 2015b
Krebstiere	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	NOEC	2.5	Soluval Santiago 2015
Fische	keine			
Sonstige (Höhere Wasserpflanzen)	<i>Lemna minor</i>	EC10	4.5	Soluval Santiago 2015
Sonstige (Rotifera)	<i>Brachionus calyciflorus</i>	EC10	126.3	Soluval Santiago 2015

Da Vertreter der 2 trophischen Ebenen Algen und Krebstiere im Langzeiteffektdatensatz mit validen Effektdaten abgedeckt sind und nur Langzeitversuche mit Fischen fehlen, kann ein Sicherheitsfaktor (AF) von 50 auf den empfindlichsten subchronischen Endpunkt nach dem TGD for EQS (EC2011)vorgeschlagen werden (siehe Abb. 2). Eine zusätzliche Erhöhung des AF, basierend auf der etwas höheren Toxizität von *Hyalella azteca* (siehe Tab. 4), wird nicht erwogen, da die Ceriodaphnien-Schlüsselstudie als sehr belastbar im Gegensatz zur kanadischen Studie angesehen wird und deren Mortalitätsdaten nicht direkt für eine AA-EQS Herleitung verwendbar sind.

Available data	Assessment factor
At least one short-term L(E)C50 from each of three trophic levels (fish, invertebrates (preferred <i>Daphnia</i> ) and algae) (i.e. base set)	1000 <sup>a)</sup>
One long-term EC10 or NOEC (either fish or <i>Daphnia</i> )	100 <sup>b)</sup>
Two long-term results (e.g. EC10 or NOECs) from species representing two trophic levels (fish and/or <i>Daphnia</i> and/or algae)	50 <sup>c)</sup>
Long-term results (e.g. EC10 or NOECs) from at least three species (normally fish, <i>Daphnia</i> and algae) representing three trophic levels	10 <sup>d)</sup>
Species sensitivity distribution (SSD) method	5-1 (to be fully justified case by case) <sup>e)</sup>
Field data or model ecosystems	Reviewed on a case by case basis <sup>f)</sup>

**Abbildung 2:** Sicherheitsfaktorenanwendung zur EQS Herleitung nach TGD for EQS (EC 2011).

Wie im Kurzeffektstudienansatz reagierten Krebstiere am empfindlichsten auf Bromat, jedoch bleibt darauf hinzuweisen, dass auch die Wasserlinse *Lemna minor* ähnlich empfindlich reagierte. Bei Krebstieren überlagert sich die Reproduktionstoxizität des Bromats mit der Mortalität bei 7- und 8-tägiger Exposition mit *Ceriodaphnia dubia* (siehe Tabelle 2 und Soluval Santiago 2015). Aus diesem Grund wird die Verwendung des NOEC anstelle des EC10 für beide Endpunkte vorgeschlagen. Dazu kommt, dass dieser für beide Endpunkte etwas sicherer als der EC10-Wert ist.

$$\text{AA-EQS (AF)} = 2.5 \text{ mg/L} / 50 = 50 \text{ }\mu\text{g/L}$$

## 7 Akute Toxizität

### 7.1 MAC-EQS Herleitung mit der Sicherheitsfaktor (AF)-Methode

**Tabelle 4** Übersicht der kritischen akuten Toxizitätswerte für Wasserorganismen aus kurzfristigen Untersuchungen mit Bromat.

Gruppe	Art	Wert	Konz. in mg/L	Referenz
höhere Pflanzen	<i>Lemna minor</i>	EC 50	14.7	Soluval Santiago 2015
Krebstiere	<i>Hyalella azteca</i>	LC50	1.1	Environment Canada and Health Canada 2010
Fische	<i>Morone saxatilis</i> Eier und Larven	LC 50	30.8	Richardson et al. 1981
Sonstige (Rotifera)	<i>Brachionus calyciflorus</i>	EC50	221.8	Soluval Santiago 2015
Sonstige (Mollusken)	<i>Crassostrea gigas</i> - Larven	EC50	30	Crecelius 1979

**Tabelle 5** Risikoklassierung der akuten aquatischen Toxizität von Bromat anhand der niedrigsten gemessenen EC50-Werte nach der Europäischen Kommission (EC 2001). Erweiterte Einstufungskriterien sind von der Europäischen Union (EU 2008) bekannt gegeben worden.

Risikoklasse	Niedrigster EC50-Wert	Erreichter Wert
Nicht eingestuft	>100 mg/l	
Schädlich	<100 mg/l; >10 mg/l	
Giftig	<10 mg; >1 mg/l	X
Sehr giftig	<1 mg/l	

Alle 3 trophischen Ebenen sind mit akuten Effektdaten beschrieben. Da es sich bei der empfindlichsten Studie mit dem mexikanischen Flohkrebs (*Hyalella azteca*), um einen relativ langen Mortalitätsversuch mit 7 Tagen

Expositionszeit handelt und andere Krebstiere, wie z.B. *Ceriodaphnia dubia*, bei 7-tägiger Exposition auch im akuten und (sub)chronischen Effektdatensatz zu den empfindlichsten Organismen gehören (siehe Abb. 1 und Tab. 2) wurde ein Sicherheitsfaktor von 10 anstelle von 100 als ausreichend für die Berechnung des MAC-EQS diskutiert. Jedoch nach Berücksichtigung verbleibender Unsicherheiten zur Hyalella Studie (Environment Canada and Health Canada 2010), bei der keine Konzentrations-Wirkungs-Rohdaten angegeben wurden, wurde in Rücksprache mit den externen Gutachtern der Standardsicherheitsfaktor (AF) von 100 angewendet

$$\text{MAC-EQS (AF)} = 1.1 \text{ mg/L} / 100 = 11 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Da mit dem AF von 100 der MAC-EQS tiefer als der AA-EQS liegt, wird nach dem TGD for EQS (EC 2011) der MAC-EQS dem AA-EQS gleichgesetzt:

$$\text{MAC-EQS} < \text{AA-EQS} \rightarrow \text{MAC-EQS} = \text{AA-EQS} = 50 \text{ } \mu\text{g/L}$$

## 8 Bioakkumulations- und sekundäre Intoxikationsabschätzung

Das Bioakkumulationspotential soll gemäß TGD for EQS weiter untersucht werden, wenn der  $\text{Log } K_{ow} \geq 3$  ist und/oder der Biokonzentrationsfaktor (BKF)  $> 100$  beträgt. Experimentell bestimmte  $\text{Log } K_{ow}$ -Werte liegen nicht vor.

Es handelt sich um eine anorganische Substanz, welche nicht leicht abgebaut werden kann. Das Konzept den  $\text{Log } K_{ow}$  als Schwellwert zu benutzen kann nicht auf anorganische Substanzen angewendet werden (ECHA 2015b). Ebenfalls liegen aus vorherigen Rechercharbeiten (Environment Canada and Health Canada 2010) keine direkt verwendbaren Bioakkumulationsstudien vor und es wird davon ausgegangen, dass Bromat relativ gut ausscheidbar ist. Daher ist eine Bioakkumulationsabschätzung nach den Kriterien des TGD for EQS oder eine Bestimmung des sekundären Intoxikationsrisikos nicht anwendbar.

## 9 Schutz der aquatischen Organismen

Im akuten Effektdatensatz sind Vertreter der 3 trophischen Ebenen Algen/Wasserpflanzen, Krebstiere und Fische mit validen Effektdaten vertreten. Die sensitivste 7-tägige Krebstierstudie mit dem mexikanischen Flohkrebs (*Hyalella azteca*) kann für die Berechnung des MAC-EQS mit einem Sicherheitsfaktor von 100 herangezogen werden. Nach TGD for EQS (EC 2011) wird jedoch empfohlen den MAC-EQS dem AA-EQS gleichzusetzen.

Durch die vom AWEL und Ökotoxzentrum in Auftrag gegebene Erweiterung des subchronischen und chronischen Effektdatensatzes (Soluval Santiago 2015) sind nun auch Vertreter der 2 trophischen Ebenen

Algen/Wasserpflanzen und Krebstiere enthalten, davon gehören Krebstiere (*Ceriodaphnia dubia*) zu der empfindlichsten taxonomischen Gruppe. Mit diesen zusätzlichen validen Daten für den Endpunkt Reproduktionstoxizität kann der Sicherheitsfaktor für die Berechnung des AA-EQS insgesamt von ursprünglich 1000 auf 50 reduziert werden (siehe Abb. 2) und gleichzeitig ein belastbarer AA-EQS zum Schutz der aquatischen Organismen vorgeschlagen werden. Ebenfalls ist durch die Zusatzstudien bekannt, dass Mortalität und Reproduktionstoxizität sich in einem engen Konzentrationsbereich für Krebstiere manifestieren können und auch Wasserpflanzen wie *Lemna minor* relativ empfindlich auf Bromat reagieren können. Um aquatische Organismengruppen nach derzeitigem Wissensstand ausreichend gegenüber einer Bromatexposition schützen zu können, wird die Einhaltung der folgenden MAC-EQS und AA-EQS Vorschläge empfohlen:

**AA-EQS = 50 µg/L**

**MAC-EQS = 50 µg/L**

## 10 Referenzen

- AFNOR NF T 90 - 375 (1998): Qualité de l'eau – Détermination de la toxicité chronique des eaux par inhibition de la croissance de l'algue d'eau douce *Pseudokirchneriella subcapitata* (*Selenastrum capricornutum*). Association Française de Normalisation, Paris, 13 pp.
- AFNOR NF T 90 - 376 (2000): Qualité de l'eau – Détermination de la toxicité chronique vis-à-vis de *Ceriodaphnia dubia* en 7 jours – Essai d'inhibition de la croissance de la population. Association Française de Normalisation, Paris, 18 pp.
- Anderson B G (1946): The toxicity thresholds of various sodium salts determined by the use of *Daphnia magna*. *Sewage Works J.* 18, 82–87.
- ASTM 2006 (American Society of Testing and Materials): Standard guide for conducting static toxicity tests with microalgae. Designation E 1218-04. In: Annual Book of ASTM Standards Section Eleven Water and Environmental Technology Biological Effects and Environmental Fate; Biotechnology, vol. 11.06. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Borgmann U, Couillard Y, Doyle P, Dixon G (2005): Toxicity of sixty-three metals and metalloids to *Hyalella azteca* at two levels of water hardness. *Environ Toxicol Chem* 24:641–652.
- Budavari S. 1996. The Merck index—An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals. Whitehouse Station (NJ): Merck and Co. p. 1313.
- ChemIDplus 2015: <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/>; Zugriff am 14.7.2015
- Clayton GD, Clayton FE, editors. 1993–1994. *Patty's industrial hygiene and toxicology*, vol. 2. Toxicology. 4th ed. New York (NY): John Wiley & Sons. p. 4509.
- Creclius E A (1979): Measurements of oxidants in ozonated sea water and some biological reactions. *J. Fisheries Res. Board Canada* 36:1006–1008.
- EC (2001): Richtlinie 2001/59/EG der Kommission vom 6. August 2001 zur 28. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt. Annex 6. Amtsblatt der europäischen Gemeinschaften L225/263. Europäische Kommission
- EC (2011): Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document No. 27. Technical guidance for deriving environmental quality standards. Technical report 2011-055. European Communities
- ECHA 2015a: [http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031/DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031\\_DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031.html](http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031/DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031_DISS-d977191d-2120-4542-e044-00144f67d031.html); Zugriff am 14.7.2015
- ECHA 2015b: [http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eaa9fa2-3cca-2719-e044-00144f67d031/DISS-9eaa9fa2-3cca-2719-e044-00144f67d031.html](http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-9eaa9fa2-3cca-2719-e044-00144f67d031/DISS-9eaa9fa2-3cca-2719-e044-00144f67d031_DISS-9eaa9fa2-3cca-2719-e044-00144f67d031.html); Zugriff am 14.7.2015
- Environment Canada and Health Canada (2010): Screening Assessment for the Challenge; Bromic acid, potassium salt (Potassium bromate). Environment Canada Health Canada September 2010 verfügbar auf: [http://www.ec.gc.ca/ese-ees/47CCC26F-88C5-40E4-8C3D-FE88049DC9C7/batch9\\_7758-01-2\\_en.pdf](http://www.ec.gc.ca/ese-ees/47CCC26F-88C5-40E4-8C3D-FE88049DC9C7/batch9_7758-01-2_en.pdf). Letzter Zugriff am 22.7. 2015
- EPI Suite (2011): Version 4.10 .The EPI (Estimation Programs Interface) Suite™. A Windows®-based suite of physical/chemical property and environmental fate estimation programs developed by the EPA's Office of Pollution Prevention Toxics and Syracuse Research Corporation (SRC)
- Erickson S J and Freeman A E (1978): Toxicity screening of fifteen chlorinated and brominated compounds using four species of marine phytoplankton. In *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, Vol. 2 (Jolley, R. L., Gorchev, H., and Hamilton, D. H. Eds.), pp. 307–310. Ann Arbor Science.

- EU (2008). Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. Amtsblatt der Europäischen Union, L 353/1-1355.
- Fisher D, Yonkos L, Ziegler G, Friedel E, Burton D (2014): Acute and chronic toxicity of selected disinfection byproducts to *Daphnia magna*, *Cyprinodon variegatus*, and *Isochrysis galbana*. *Water Research*, Volume 55: 233–244. doi:10.1016/j.watres.2014.01.056
- Gerhartz W (exec ed.). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 5th ed. Vol A1: Deerfield Beach, FL: VCH Publishers, 1985 to Present., p. VA4: 426 (1985)]
- [HSDB] Hazardous Substances Data Bank [database on the Internet]. (2015): Bethesda (MD): National Library of Medicine (US). Available from: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>, Zugriff am 14.7.2015
- Hutchinson T H, Hutchings M J, Moore K W (1997): A Review of the Effects of Bromate on Aquatic Organisms and Toxicity of Bromate to Oyster (*Crassostrea gigas*) Embryos. *ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY* 38: 238–243.
- ISO 6341 (2012): Water Quality – Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* STRAUS (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test. International Organization for Standardization, Geneva, 22 pp.
- ISO 8692 (2012): Water Quality – Fresh water algal growth inhibition test with unicellular green algae. International Organization for Standardization, Geneva, 21 pp.
- ISO / IEC 17025 (2005): General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organization for Standardization, Geneva, 28 pp.
- ISO 20079 (2005): Water Quality – Determination of the toxic effect of water constituents and waste water on duckweed (*Lemna minor*) – Duckweed growth inhibition test. International Organization for Standardization, Geneva, 23 pp.
- ISO 20665 (2008): Water Quality – Determination of chronic toxicity to *Ceriodaphnia dubia*. International Organization for Standardization, Geneva, 21 pp.
- ISO 20666 (2008): Water Quality – Determination of the chronic toxicity to *Brachionus calyciflorus* in 48 h. International Organization for Standardization, Geneva, 16 pp.
- Jones J R E (1941): A study of the relative toxicity of anions, with *Polycelis nigra* as test animal. *J. Exp. Biol.* 18:170–181.
- Kase R, Moermond C T A, Korkaric M, Werner I, Agerstrand M (submitted 2015 to ET&C): Criteria for Reporting and Evaluating ecotoxicity Data (CRED): Comparison and perception of the Klimisch and CRED methods to evaluate reliability and relevance of ecotoxicity studies.
- Klimisch H J, Andreae M, Tillmann U (1997): A systematic approach for evaluating the quality of experimental toxicological and ecotoxicological data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 25(1): 1-5
- Lide DR, editor. 1997–1998. *CRC handbook of chemistry and physics*. 78th ed. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Moermond C T A, Kase R, Korkaric M, Agerstrand M. (submitted 2015 to ET&C): CRED - Criteria for Reporting and Evaluating ecotoxicity Data.
- Neely WB, Blau GE. 1985. *Environmental exposure from chemicals*. Boca Raton (FL): CRC Press.
- OECD (2006). *Lemna* sp., growth inhibition test. OECD guideline for testing of chemicals, No. 221. Adopted on 23 March 2006. Organisation for Economic Co-Operation and Development, Paris, France.
- OECD (2011). Freshwater alga and cyanobacteria, growth inhibition test. OECD guideline for testing of chemicals, No. 201. Adopted on 23 March 2006, annex 5 corrected on 28 July 2011. Organisation for Economic Co-Operation and Development, Paris, France.



- O'Neil, M.J. (ed.). The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Whitehouse Station, NJ: Merck and Co., Inc., 2006., p. 1315
- Richardson L B, Burton D T, and Rhoderick J C (1981): Toxicity of bromate to striped bass ichthyoplankton (*Morone saxatilis*) and juvenile spot (*Leiostomus xanthurus*). J. Toxicol. Environ. Health 8: 687–695.
- Salhi E und von Gunten U (1999): Simultaneous determination of Bromide, Bromate and Nitrite in low µg/L levels by ion chromatography without sample pretreatment. Wat. Res. Vol. 33, No. 15: 3239-3244
- Soluval Santiago (2015): Ecotoxicity of sodium bromate on reproduction of *Ceriodaphnia dubia* and on other freshwater organisms. Report prepared for AWEL and Swiss Centre for Applied Ecotoxicology to derive a Proposal of Environmental Quality Standard for Bromate. August 2015.
- Stewart M E, Blogoslawski W J, Hsu R Y, Helz G R (1979): Byproducts of oxidative biocides: Toxicity to oyster larvae. Marine Pollution Bull. 10: 166–169.
- US-EPA 2002: Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. EPA-821-R-02-012, fifth ed. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. 275 pp.
- von Gunten U (2003): Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation. Water Res. 37, 1469-1487.
- WHO Guidelines for Drinking Water Quality (2004); Verfügbar auf: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWQ2004web.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf). Letzter Zugriff am 18.8.2015.  
WORLD HEALTH ORGANIZATION 2004; THIRD EDITION Volume 1