



**Ableitung eines vorläufigen Geringfügigkeitsschwellenwertes
für Uran (GFS Uran)**

Autoren:

**Regine Gühr (HLUG)
Dr. Stefan Feisthauer (HLUG)
Dr. Gerd Rippen (Göttingen)**

Wiesbaden, 29.10.2015

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Zu betrachtende Verbindungen, Ausprägung in der Umwelt (Speziierung)	4
2.1 Zu betrachtende Verbindungen	4
2.2 Ausprägung (Speziierung) und Konzentrationen in der Umwelt.....	4
3. Bestehende Umweltqualitätsnormen.....	9
4. Ableitung eines GFS _{Human} für Uran	11
5. Zusammenstellung ökotoxikologischer Daten von Uran für Spezies verschiedener trophischer Ebenen	12
5.1 Fische	14
5.2 Wirbellose Organismen	19
5.3 Pflanzen	24
5.4 Insekten	28
5.5 Mikroorganismen.....	29
6. Ableitung der PNEC _{aquat}	30
7. Vergleich von GFS _{human} und PNEC _{aquat} und Einbeziehung von Hintergrundkonzentrationen	33
8. Literatur und Anmerkungen.....	34
Anhang 1: Daten mit Testdauern, die kürzer sind als für Tests auf akute Toxizität vorgegeben	38
Anhang 2: Zusammenstellung von Ökotox-Daten, die nach TGD nicht oder nur ergänzend tabelliert werden oder durch Re-evaluation überholt sind (<i>kursiv</i>).....	42

1. Zusammenfassung

Das radioaktive Element Uran kommt in zahlreichen Mineralien vor. Das unter Umweltbedingungen vorherrschende sechswertige Uran ist unter oxidierenden Bedingungen gut löslich; es bildet pH-Wert-abhängig stabile Komplexe mit Carbonat- oder Hydroxidionen. An organisches Material wie Huminstoffe und an Tonminerale wird es gut adsorbiert. Je nach wasserführendem Gestein sind die in Grundwässern anzutreffenden Uran-Konzentrationen geogen bedingt sehr unterschiedlich. Auch aus Düngemitteln kann Uran ins Grundwasser gelangen.

Uran wird vom Menschen über die Nahrung inklusive Trink- und Mineralwasser aufgenommen. Im Vordergrund der humantoxischen Wirkung steht die chemische Toxizität. 2011 wurde in Deutschland ein Trinkwasser-Grenzwert von 10 µg/L festgelegt.

Die Ökotoxizität von Uran kann wegen der Neigung zur Komplexbildung und zur Adsorption an Organika stark variieren. Die niedrigsten Wirkkonzentrationen werden meist ermittelt für niedrige pH-Werte, hohe Wassertemperaturen, geringe Carbonatgehalte und geringe Konzentrationen organischer Materie.

Eine Vielzahl ökotoxikologischer Daten zu Uran wird in diesem Bericht referiert. Neben den Daten zur akuten aquatischen Toxizität existieren chronische Daten für die vier trophischen Ebenen Fische, Wirbellose, Algen, Insekten und Mikroorganismen. Die No-observed-effect-Konzentration (NOEC) bzw. der EC₁₀-Wert für die Reproduktion zweier Wasserfloh-Arten betragen jeweils 1,5 µg/L. Die chronischen Toxizitäten zweier Algenarten liegen bei 3,8 und 5,4 µg/L. Aus 1,5 µg/L ergibt sich mit einem Sicherheitsfaktor 50 eine Predicted-no-effect-Konzentration (PNEC_{aquat}) für Süßwasserorganismen von 0,03 µg/L. Der Geringfügigkeits-schwellenwert für Uran wird bestimmt durch den wesentlich höheren Hintergrundwert von 3,45 µg/L aus den flächengewichteten 90-Perzentil-Werten der hydrogeologischen Bezugsräume Deutschlands (2014, n=15.606):

vorläufiger GFS-Wert für Uran = 3,4 µg/L.

2. Zu betrachtende Verbindungen, Ausprägung in der Umwelt (Speziierung)

2.1 Zu betrachtende Verbindungen

Die für Grundwasser und oberirdische Gewässer relevanten Uranverbindungen sind in der **Tabelle 1** aufgeführt.

Tabelle 1: Uranverbindungen mit Relevanz für Grundwasser und oberirdische Gewässer

Bezeichnung	CAS-Nr.	Summenformel	molare Masse (g/mol)
Uran(IV)dioxid	1344-57-6	UO ₂	270,03
Uran(IV)trioxid	1344-58-7	UO ₃	286,03
Uranyl-sulfat-trihydrat	20910-28-5	UO ₂ SO ₄ · 3 H ₂ O	420,14
Uranylacetat, Bis(aceto)dioxouranium	541-09-3	(CH ₃ COO) ₂ UO ₂ · 2 H ₂ O	388,12 Dihydrat 424,15
Uranyl-sulfat, Dioxo[sulfato(2-)-O,O']-uranium	1314-64-3	UO ₂ SO ₄	366,09
Uranyl-nitrat, Bis(nitrato-O,O')dioxouranium	10102-06-4	UO ₂ (NO ₃) ₂	394,04
Uranyl-nitrat-hexahydrat	13520-83-7	UO ₂ (NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O	502,13
Uran(IV)tetranitrat	15905-86-9	U(NO ₃) ₄	486,05

2.2 Ausprägung (Speziierung) und Konzentrationen in der Umwelt

Uran tritt in der Natur überwiegend +4- oder +6-wertig auf. Vierwertiges Uran ist in Wasser unter normalen pH- und Redox-Bedingungen nahezu unlöslich. Erst ab sehr sauren pH-Werten sind Spezies des 4-wertigen Urans dominant. Das sechswertige Uran ist dagegen unter oxidierenden Bedingungen auch im Bereich neutraler pH-Werte gut löslich, weil es sehr stabile Komplexe wie z.B. UO₂(CO₃)₂²⁻ bildet. Sind die pH-Werte zudem sauer oder basisch, nimmt die Löslichkeit des 6-wertigen Urans extrem zu.

Je nach pH-Wert stehen in natürlichen Wässern mehrere Komplexe miteinander in Wechselwirkung (siehe Abbildung 1, aus [Merkel 2002]); dabei stehen Hydroxid- und Carbonat-Ionen im Vordergrund.

Die erwähnten Uranyl-Carbonato-Komplexe, die in vielen aquatischen Systemen eine entscheidende Rolle spielen, ermöglichen einerseits hohe Urankonzentrationen, andererseits verhindern sie, da sie entweder neutral oder negativ geladen sind, eine Fixierung über Kationenaustausch.

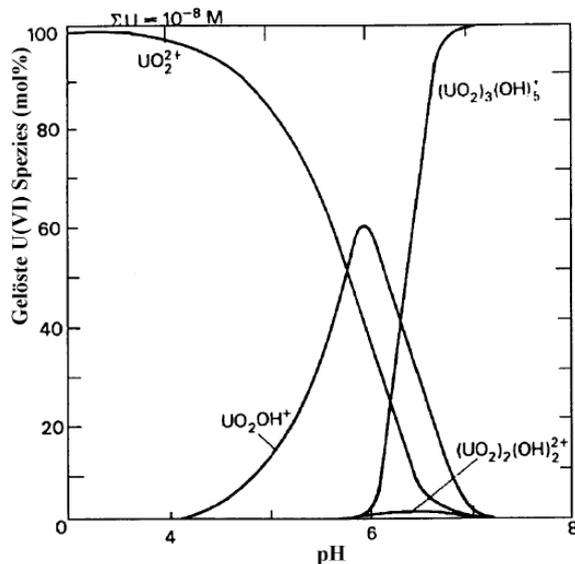


Abbildung 1: Berechnete prozentuale Anteile relevanter Uranyl-Komplexe in Abhängigkeit vom pH-Wert für eine Urankonzentration von 10^{-8} mol/L (nach [Merkel, 2002])

Die Angabe analytischer Daten erfolgt in der Literatur und ebenso im Folgenden immer bezogen auf das Element Uran (als $\mu\text{g/L}$).

Für 626 untersuchte europäische Grundwässer geben Shand und Edmunds (2008) für Uran eine Spanne von $<0,05$ - $56 \mu\text{g/L}$ an.

In hessischen Grund- und Rohwässern liegen die Messwerte größer der Bestimmungsgrenze unter oxidierenden Bedingungen bei schwach saurem bis schwach basischem pH-Wert zum größten Teil im Bereich des zweifach negativ geladenen $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2^{2-}$ -Komplexes. In schwach reduzierenden Grundwässern mit neutralen pH-Werten wurden die höchsten Urankonzentrationen ermittelt [HLUG 2010]. Von den 1037 untersuchten Grund- und Rohwässern lagen die Werte in 638 Messstellen (61,5 %) unter der Bestimmungsgrenze ($0,5 \mu\text{g/L}$), in 32 Messstellen (3,1 %) über dem Grenzwert von $10 \mu\text{g/L}$ der TrinkwV [HLUG 2010]. Die höheren Werte (max. $86 \mu\text{g/L}$) stammen aus bestimmten Regionen mit geologisch bedingten höheren Urankonzentrationen.

In Rheinland-Pfalz wurden lokal geogen erhöhte Konzentrationen in Grund- und Rohwässern bei oxidierendem und reduzierendem Milieu beobachtet [LUWG 2011]. Die Spanne für die Uran-Konzentrationen aus 1400 Messstellen (2009 Analysen) lag bei $<0,01$ - $65 \mu\text{g/L}$, davon lagen 65 Proben (4,6 %) über $10 \mu\text{g/L}$, der Median bei $0,2 \mu\text{g/L}$ (652 Grundwässer) bzw. $0,5 \mu\text{g/L}$ (748 Rohwässer) [LUWG 2011].

An organischem Material (Huminstoffen) wird Uran sehr gut sorbiert, ebenso an Tonminerale. Auch das Auftreten geringer Konzentrationen an Vanadium führt zu einer Demobilisierung des gelösten Urans [HLUG 2010].

Im Grundwasser liegen die Urankonzentrationen oft unter 1 µg/L. Im Bereich von Uranvererzungen können allerdings auch Werte von weit über 100 µg/L vorkommen, vergleichsweise häufig in Sandstein-Aquiferen; hier ist das Uran durch Redox-Prozesse in Form von Uraninit (Pechblende) ausgefällt oder sorptiv an organische Materialien und Tonminerale gebunden. In Hessen können erhöhte U-Konzentrationen im Grundwasser mit folgenden uranreichen geologischen Formationen korreliert werden [HLUG 2010]:

- in Nordhessen mit Tonlagen im Mittleren Buntsandstein,
- in der Untermainebene mit Sand- und Tonsteinen der Rotliegendabfolge,
- im Hessischen Ried mit der organischen Substanz von Mooren und Sedimenten des Neckar-Paläofluslaufs¹

In Rheinland-Pfalz wurden lokal geogen erhöhte Werte festgestellt [LUWG 2011]

- im Rohwasser des Rotliegenden (Bad Kreuznach, Rhein Hessische Schweiz, Kirchheimbolanden),
- im oberen Grundwasserleiter der quartären Sedimente (insbes. nördlicher Oberrheingraben).

Die Urankonzentrationen im Grundwasser variieren somit in Abhängigkeit von der geogenen Zusammensetzung der wasserführenden Gesteine erheblich. Maximalwerte sind auf wenige Messstellen zurückzuführen; die 90-Perzentile liegen zwischen 1,20 und 14,9 µg/L [Dienemann und Utermann 2012]. Die folgende **Tabelle 2** von Dienemann und Utermann (2012) zeigt die Bandbreite von insgesamt 3774 Messungen von Uran in Grundwässern Deutschlands.

¹ Paläoflusslauf: mit Sedimenten gefülltes früheres Fließgewässer

Tabelle 2: Unterschiede der Uran-Konzentrationen in Grundwässern, abhängig von den wasserführenden Gesteinen [Dienemann und Utermann 2012]

	N	Minimum [µg/L]	P90 [µg/L]	Maximum [µg/L]
Sande und Kiese des Norddeutschen Flachlandes	790	0,001	1,20	1134,00
Quartäre Sedimente der Flussauen	463	0,06	4,40	58,00
Tertiäre Sedimente	575	0,0003	3,00	23,00
Sandsteine und silikatische Wechselfolgen	457	0,0003	7,20	1450,00
Kalksteinfohlen des Muschelkalks	398	0,02	1,80	11,80
Sandsteinfohlen des Buntsandsteins	402	0,0003	3,60	71,40
paläozoische Sedimentgesteine	62	0,0003	14,90	91,00
saure Magmatite und Metamorphite	627	0,0003	0,57	35,00

Ein noch größeres Datenkollektiv von n=15.606 (Stand Oktober 2014) führte für Uran zu einem flächengewichteten Mittel der 90-Perzentile von 3,45 µg/L; 87 % der bundesdeutschen Flächen werden damit erfasst. [PK Hintergrundwerte Grundwasser 2014].

Für Baden-Württemberg wurde im Zeitraum 2007-2009 bei einer Gesamtzahl von 2146 Messstellen bei 31 Messstellen eine Überschreitung des Trinkwasser-Grenzwertes von 10 µg/L gemessen; das 90-Perzentil lag bei 0,8 µg/L [BW 2013].

In vom Bergbau beeinflussten Gebieten sind erhöhte Urangelhalte im Grundwasser keineswegs auf Gebiete des Uranbergbaus beschränkt, da oft in der Vergangenheit Bergbau nicht auf Uran hin, sondern auf ganz andere Metalle erfolgte und das uranhaltige Erz als unverwertbar auf Halden abgelagert wurde. Solche Halden stellen z.B. im Erzgebirge potentielle Kontaminationsquellen dar. Für Sachsen wurde dementsprechend aus den 90-Perzentilen von 9 hydrogeochemischen Einheiten ein 83 % der Gesamtfläche umfassender flächenrepräsentativer Mittelwert von ca. 3 µg/L ermittelt [Sohr und Lankau 2008].

Auch im Bereich sedimentärer Phosphatlagerstätten muss mit deutlich erhöhten Urankonzentrationen gerechnet werden, da Uran mit Phosphat sehr stabile Komplexe und Verbindungen bildet.

Durch Zutritt von Luftsauerstoff wird das in Lagerstätten oft vierwertig vorliegende Uran zum sechswertigen Uran oxidiert und damit mobil. Das zur Entwässerung der Grube gehobene Grundwasser enthält somit in der Regel bereits deutlich erhöhte Urangelhalte. Auch nach der Flutung von Gruben mit Ende der Bergbautätigkeit können erhöhte Urangelhalte noch über viele Jahre beobachtet werden. Der geogene oder anthropogene Eintrag von Oxidationsmitteln wie Sulfat oder Nitrat kann ebenfalls die Mobilisierung des Urans fördern.

Weitere Eintragswege von Uran in Grund- und Oberflächenwasser sind das Ausbringen von Phosphatdüngern in der Landwirtschaft sowie die Freisetzung von Uran durch Verbrennung fossiler Energieträger, insbesondere von Kohle. In Hessen ließen sich jedoch hohe Urankonzentrationen des Grundwassers nicht mit landwirtschaftlicher Verwendung von Phosphatdüngemitteln korrelieren [HLUG 2010]. Auch in Baden-Württemberg ließ sich kein Einfluss der Landnutzung erkennen [BWS 2013], in Niedersachsen dagegen schon [Bundestag 2011]. Das BfR schätzt für Deutschland mit einem jährlichen Uran-Eintrag von ca. 9-18 g/ha nur eine sehr kleine Steigerung der Uran-Belastung in Ackerböden [BfR 2007]; die Bundesregierung nennt 2011 eine mittlere Ausbringung in Höhe von 15 g/ha [Bundestag 2011]. Die Bundesregierung sah 2011 eine Kennzeichnungspflicht für den Urangehalt von Düngemitteln als nicht erforderlich an. Verwiesen wurde auf das Fehlen einer wissenschaftlich gesicherten Basis und entsprechender Regelungen im EU-Düngemittelrecht [Bundestag 2011]. Die Kommission „Bodenschutz“ beim Umweltbundesamt sieht dagegen „die Gefahr, dass sich Uran aus Düngemitteln kontinuierlich im Grundwasser anreichert“. Sie fordert deshalb analog zu Cadmium „den U-Gehalt in P-Düngern (entsprechend Cadmium) wie folgt zu regeln: Kennzeichnung ab 20 mg Uran je kg P₂O₅, Grenzwert 50 mg U je kg P₂O₅ [KBU 2012].

3. Bestehende Umweltqualitätsnormen

Verschiedene Institutionen und Autoren haben Qualitätskriterien für Uran in Oberflächengewässern abgeleitet.

- **0,5 µg/L** bzw. **4,9 µg/L**: Riethmuller et al. (2000) zitieren einen vorläufigen Richtwert für Australien und Neuseeland zum Schutz australischer Süßwasser-Ökosysteme. Sie nennen selbst einen Richtwert von 4,9 µg/L mit Blick auf die Grüne Hydra (*Hydra viridissima*) als empfindlichster Spezies.
- **5 µg/L**: Sheppard et al. (2005) leiteten mit einem statistischen Verfahren (5tes Perzentil der Verteilung von Wirkungskonzentrationen) eine PNEC für Süßwasser-Wirbellose von 5 µg/L ab; entsprechend der Ableitungsphilosophie werden bei Unterschreiten dieser Konzentration 95 % der in weichem Wasser lebenden Süßwasserorganismen geschützt. (Die PNEC für Süßwasser-Fische korrelierten nach Sheppard et al. mit abnehmender Wasserhärte.) Für Süßwasser-Pflanzen in weichem Wasser mit einem abgeleiteten geometrischen Mittelwert der Toxizitäten von 40 µg/L resultiert entsprechend diesen Autoren mit einem Sicherheitsfaktor von 10 ein PNEC von 4 µg/L, der unter Berücksichtigung der PNEC für Wirbellose auf 5 µg/L erhöht wurde.
- **15 µg/L**: Ebenfalls mit einer statistischen Methode wurde 2011 für Kanada unter Hinzuziehung weiterer Daten ein Wasserqualitätsrichtwert (Canadian Water Quality Guideline) von 15 µg/L zum Schutz von Süßwasserorganismen (5tes Perzentil) abgeleitet [CAN 2011a].
- **0,1-1 µg/L**: Das Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER) der Europäischen Kommission kam 2010 zu dem Schluss, dass die niedrigsten chronischen Ökotoxizitätswerte im Bereich von 1,0 bis 10 g/L mit einem Sicherheitsfaktor von 10 zu einer PNEC von 0,1 bis 1 µg/L für Uran führen müssten, verweist aber auf die starken Schwankungen der Hintergrundkonzentrationen, die bei dem natürlich vorkommenden Element Uran im gleichen Bereich liegen wie die abgeleitete PNEC [SCHER 2010]. Grundlage dieser Ableitung sind zum einen die Ausführungen von Sheppard et al. (2005), zum anderen die aquatischen Toxizitäten aus der ECOTOX-Datenbank [ECOTOX 2012], aus denen als niedrigster Wert der 7-d-NOEC für den Wasserfloh *Ceriodaphnia dubia* (1,5-8 µg/L) gemäß [Pickett et al. 1993] zitiert wird.
- **2 µg/L**: Auf deutscher Ebene wurden 2010 vom Umweltbundesamt Dessau Vorschläge zu national relevanten Schadstoffen und dazu gehörigen Umweltqualitätsnormen abgeleitet mit dem Ziel einer Aufnahme in die geplante Oberflächengewässer-Verordnung [OGewV 2011]. Uran wurde trotz erkannter ökotoxikologischer Relevanz nicht aufgenommen, weil die Umweltqualitätsnorm im Abstimmungsverfahren angehoben worden war, aber das Stoffdatenblatt nicht mehr angepasst werden

konnte. Die Norm wurde auf das 90-Perzentil des Hintergrundwertes, d.h. auf 2 µg/L gesetzt [Irmer et al. 2011].

- **4 µg/L:** Für Sachsen wurde mit einem Hintergrundwert von ca. 3 µg/L und einem dazu addierten ökotoxikologischen Wirkungswert von 1 µg/L ein GFS-analoger Wert von 4 µg/L abgeleitet [Sohr und Lankau 2008].
- **6 µg/L:** australischer standortspezifisch (für Magela Creek) abgeleiteter regulatorischer Uran-Grenzwert auf Basis von fünf chronischen Tests mit Uranyl-sulfat an Algen, Makrophyten, Mikrokrebstieren, Nesseltieren und Fischen [van Dam et al. 2014].
- **0,3 µg/L:** australischer standortspezifischer „Focus level“ (Prüfwert), abgeleitet als 95 %-Vertrauensbereich des Grenzwertes 6 µg/L [van Dam et al. 2014].
- **0,9 µg/L:** australischer standortspezifischer „Action trigger level“ (Maßnahmenwert), abgeleitet als 80 %-Vertrauensbereich des Grenzwertes 6 µg/L [van Dam et al. 2014].
- **0,44 µg/L:** Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, wurde 2014 für Süßwasser ein Umweltqualitätsstandard (Annual Average Environmental Quality Standard) von 0,44 µg/L abgeleitet [Schlich et al. 2014].

Für Trinkwasser gelten die folgenden Qualitätsnormen:

- **15 µg/L:** Die Weltgesundheitsorganisation nennt einen provisorischen Richtwert (provisional guideline value) von 15 µg/L [WHO 2008].
- **10 µg/L:** Seit November 2011 gilt in Deutschland ein Trinkwassergrenzwert für Uran von 10 µg/L [TrinkwV 2011]. Dieser Wert liegt somit niedriger als der Trinkwasser-richtwert der WHO.

4. Ableitung eines GFS_{Human} für Uran

Wasser, in dem Grenzwerte der Trinkwasserverordnung überschritten sind, darf nur unter strengen Auflagen und nicht dauerhaft als Trinkwasser in Verkehr gebracht werden. Soweit die dort genannten Werte entweder der Begründungsoption "Unbedenklich für die menschliche Gesundheit" oder der Option "Ästhetisch einwandfreie Qualität des Trinkwassers" entsprechen, also weder aufbereitungs- noch verteilungstechnisch begründet sind, werden sie von der LAWA (2004) bei der Festlegung der Geringfügigkeitsschwellenwerte vorrangig und unverändert berücksichtigt. Dies gilt auch für den chemischen Parameter Uran mit seinem 2011 in der TrinkwV-Novellierung festgelegten Grenzwert 10 µg/L [TrinkwV 2013]

$$\text{GFS}_{\text{Human}} = 10 \mu\text{g/L.}$$

Eine Datenrecherche zur Humantoxikologie erfolgte wegen dieses Trinkwasser-Grenzwertes nicht.

Das radiologische Risiko durch Uran, welches über die Nahrung inklusive Trink- und Mineralwasser aufgenommen wird, ist für Verbraucher in Deutschland sehr gering; im Vordergrund der humantoxischen Wirkung steht die chemische Toxizität [BfR 2007].

5. Zusammenstellung ökotoxikologischer Daten von Uran für Spezies verschiedener trophischer Ebenen

Nach dem LAWA-GFS-Konzept [LAWA 2004] sind für die ökotoxikologisch begründete GFS-Wert-Ableitung breit konsentrierte Daten heranzuziehen. Sofern keine rechtlich verbindlichen Umweltqualitätsnormen übernommen werden können, werden in erster Priorität die nach Europäischem Stoffrecht abgeleiteten PNEC („predicted no effect concentration“) für die aquatische Lebensgemeinschaft zugrunde gelegt. Die in Deutschland und international abgeleiteten Umweltqualitätsnormen sind allerdings so inhomogen, dass eine Aktualisierung der Daten notwendig erscheint.

Die folgenden Datenbanken wurden auf Einzelinformationen zur aquatischen Toxizität von Uran-Verbindungen gemäß **Kapitel 1.1** durchsucht:

- ECOTOX (Ecotoxicology), U.S. EPA (http://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.htm)
- ETOX (Informationssystem Ökotoxikologie und Umweltqualitätsziele), Umweltbundesamt (<http://webetox.uba.de/webETOX/index.do>)
- ESIS (European Chemical Substances Information System), European Commission – Joint Research Centre (<http://ecb.jrc.it/esis/>) mit 10 Unterdatenbanken, u.a.
- IUCLID Chemical Data Sheets. <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/IUCLID-DataSheets/50000.pdf>
- HSDB (Hazardous Substances Data Bank) der National Library of Medicine als Unterdatenbank des Toxicology Data Network (TOXNET) (<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>)

In den folgenden **Kapiteln 4.1 bis 4.5** sind die Daten zur Ökotoxizität von Uranverbindungen zusammengestellt, soweit sie für die Ableitung eines GFS-Wertes relevant sein können. Die Datenlage wurde um den Zeitraum ab 2000 aktualisiert. Ökotoxizitäts-Daten mit Testdauern, die kürzer sind als für Tests auf akute Toxizität vorgegeben sowie solche, die nach TGD (2011) nicht oder nur ergänzend tabelliert werden oder durch Re-evaluation überholt sind (*kursiv*) sind in den **Anhängen 1 und 2** zu finden.

Aus der Fülle von Daten wurden insbesondere diejenigen zu besonders empfindlichen Spezies sowie zu chronischen Wirkungen ausgewählt. Zu Vergleichszwecken wurden in Einzelfällen auch weitere Daten aufgeführt. Die Auflistung erfolgt nach trophischen Ebenen (unterteilt in Kurzzeit- und Langzeittests); zunächst werden jeweils Standard-Organismen aufgeführt, dann andere. Die Reihenfolge der Spezies erfolgt nach Gruppen zusammengefasst (z.B. zunächst Grünalgen, dann andere Algen, schließlich höhere Wasserpflanzen) und dann nach zunehmender Testdauer und nach der Höhe der Wirkung (mit aufsteigender LC₅₀).

Die meisten Werte sind in der zitierten Literatur bereits auf den Urangehalt umgerechnet. Ansonsten erfolgte dies in diesem Bericht zwecks einheitlicher Darstellung.

Infolge der starken Neigung zur Komplexbildung und zur Adsorption kann sich die Ökotoxizität gegenüber Spezies unterschiedlicher trophischer Ebenen mit der Änderung des pH-Wertes und der Konzentration an Carbonat, d.h. mit zunehmender Härte, erheblich ändern, vor allem mit der Konzentration organischer Materie („dissolved organic carbon“, DOC).

Unter dem Einfluss der unterschiedlichen Rahmenbedingungen variieren die aquatischen Toxizitäten mit den verfügbaren Anionen; so ist Uranylнитrat gegenüber den gleichen Organismen ökotoxischer als Urandioxid oder Uranylphosphat. In [Canada 2011b] wird allerdings konstatiert, dass die vorliegenden Daten keine verallgemeinerbaren Aussagen zu den Einflüssen der Rahmenbedingungen zulassen, auch wenn die für eine PNEC-Ableitung entscheidenden niedrigsten wirksamen Konzentrationen bei niedrigen Wasserhärten beobachtet wurden. Neuere systematische Untersuchungen belegen allerdings klar den entscheidenden Einfluss des DOC: Van Dam et al. (2012, 2014) nehmen eine 10 %-ige Zunahme der Water Quality Guidelines (Wasserqualitätsrichtwerte) bei jeder 1-mg/L-Zunahme des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) an. Trenfield et al. (2012) ermittelten die beste Korrelation der ökotoxischen Wirkung gegenüber Augentierchen (*Euglena gracilis*) mit dem Uranyl-Kation UO_2^{2+} , allerdings nur mit $r^2 = 0,51$. Die Vorgaben der meisten OECD-Prüfrichtlinien (max. 2 mg/L gesamter organischer Kohlenstoff, TOC) werden jedoch in den Untersuchungen zu Uran oft nicht erfüllt.² Im Folgenden werden auch diese Daten dennoch mit aufgeführt; da sie zu höheren Werten bzw. Angabe einer geringeren Toxizität führen, haben sie bei der PNEC-Ableitung eine eher geringe Relevanz.

Bei der Zusammenstellung der Ökotoxizitätstests zur Ableitung einer PNEC für Uran muss ein besonderes Augenmerk auf die bei den Ökotoxizitätstests eingesetzte Wassertemperatur gelegt werden: Die TGD (2011) legen für die Testtemperatur eine Spanne von 18-22 °C fest³. Viele der im Folgenden aufgeführten Ökotoxizitätstests zu Uran wurden in Australien durchgeführt, wo Tests mit Fischen, Wirbellosen und Algen routinemäßig bei 27 °C erfolgen. ANZECC und ARMCANZ (2000) sowie Canada (2011b) nehmen (plausibel) eine Erhöhung der Toxizität chemischer Substanzen mit der Temperatur an. Suter (1993) postuliert für eine Temperaturerhöhung um 10 °C eine Verdoppelung bis Vervielfachung der Ökotoxizität von Chemikalien.

² TGD-EQS 2011, Fußnote S. 69: "OECD guidelines for the acute and chronic daphnid test, the fish early life stage test and short-term fish embryo and sac-fry stage tests, the fish juvenile growth test, the chironomid test and the bioconcentration test with fish all set a maximum level of 2 mg·l⁻¹ to the TOC content. In most laboratory studies, however, the TOC content will not reach this level..."

³ „The temperature of the test media should be within the range 18-22°C. However, for anyone test, the temperature should not, if possible, vary by more than 2°C within these limits (e.g. 18-20, 19-21 or 20-22°C). It may be appropriate to use an additional test vessel for the purposes of temperature monitoring.“

Die Ableitung einer PNEC bzw. einer Umweltqualitätsnorm in der EU beruht nach TGD 2011 auf dem Konzept einer umfassenden Schwellenwertes, der alle Rezeptoren und Wirkungspfade schützen soll, denn es basiert auf der Wasserrahmenrichtlinie, wonach auch die empfindlichsten Gewässer Europas (Seen, Flüsse, Brackwassergebiete, Meere, Grundwasser) zu schützen sind. Diese umfassen selbstredend auch warme Gewässer wie in Südeuropa, ebenso Gewässer mit extrem weichem Wasser, z.B. in Gebirgsregionen. Damit kann die Vorgabe der TGD von 18-22 °C nicht allgemeingültig sein.

Anmerkungen:

Erläuterung zu den eingesetzten Farben:

grau hinterlegt: Basisdatensatz-Bestandteile (nur Standard-Testorganismen)

rote Schrift: Ergebnisse unter 100 µg/L (zur besseren Übersicht)

Die folgenden nicht üblicherweise gebrauchten Abkürzungen werden u.a. in der Literatur über Uran verwendet:

MATC: höchste Konzentration, der ein Testorganismus ohne Schadwirkung ausgesetzt werden kann („maximum acceptable toxicant concentration“), berechnet als geometrischer Mittelwert zwischen NOEC und LOEC. Nach TGD 2011 sind MATC mittels Division durch $\sqrt{2}$ in NOEC umzurechnen.

MDEC: Die MDEC („minimum detectable effect concentration“) wird von Ahsanullah und Williams (1991) als Alternative zur LOEC vorgeschlagen. Sie wird berechnet mit einem Regressionsmodell und ist definiert als diejenige Konzentration, bei welcher die Wirkung signifikant höher ist als in den Kontrollen. Analog zu den LOEC werden MDEC mittels Division durch 2 in NOEC umgerechnet (TGD 2003).

5.1 Fische

Meeres-Organismen

Kurzzeittests Fische

Barcoo-Barsch (*Leiopotherapon unicolor*, *Madigania unicolor*): Süßwasser, auch marin
LC₅₀ (96 h, stat.) = 4100 µg/L⁴ (nominal; 10 mg/L CaCO₃) [Giles 1974, zitiert in Markich und Camilleri 1997, Markich et al. 2002]

⁴ rückgerechnet auf elementares U aus [Markich und Camilleri 1997; Markich et al. 2002], die alle Angaben auf Uranyl-Kationen UO₂²⁺ bezogen haben, mit dem dort angegebenen Faktor 1,14

Langzeittests Fische

Zu marinen Fischen sind keine ökotoxikologischen Daten bekannt.

Süßwasser-Organismen

Kurzzeittests Fische

Dickkopflritze (Fathead Minnow, *Pimephales promelas*):

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 2000 µg/L U (gemessen) (geometrischer Mittelwert aus vier Tests verschiedener Härtegrade zwischen 23 und 244 mg/L CaCO₃: 1800-2100 µg/L) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a,b]

LC₅₀ (7 d. semistat.; Early Lifestage) = 1780 µg/L (geometrischer Mittelwert aus vier Tests verschiedener Härtegrade zwischen 23 und 244 mg/L CaCO₃: 1500-2100 µg/L) [Vizon 2004, zit. CAN 2011b]

Zebrabärbling (*Danio rerio*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 3050 (2100-4000)⁵ µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1999]

EC₁₈ (11 d, stat.; Hemmung der Acetylcholinesterase-Aktivität, Biomarker für Neurotoxizität) = 75 µg/L (nominal) [Labrot et al. 1996]

EC₄₇ (11 d, stat.; Erniedrigung des Malondialdehyd-Spiegels, Biomarker für oxidativen Stress) = 75 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₂₄ (11 d, stat.; Hemmung der Acetylcholinesterase-Aktivität, Biomarker für Neurotoxizität) = 150 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₆₂ (11 d, stat.; Erniedrigung des Malondialdehyd-Spiegels, Biomarker für oxidativen Stress) = 150 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₄₇ (11 d, stat.; Hemmung der Acetylcholinesterase-Aktivität, Biomarker für Neurotoxizität) = 750 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₆₉ (11 d, stat.; Erniedrigung des Malondialdehyd-Spiegels, Biomarker für oxidativen Stress) = 750 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

Blauer Sonnenbarsch (*Lepomis macrochirus*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 1670 µg/L (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in CAN 2011a,b]

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 4000 µg/L (geometrischer Mittelwert aus 5 Tests: 3800-6200 µg/L; 20-243 mg/L CaCO₃) [berechnet aus Daten von Davies 1980 und Vizon 2004 in CAN 2011a, b]

LC₅₀ (96 h, fl.) = 6200 µg/L (nominal?; 31 mg/L CaCO₃) [Davies 1980, zitiert in CAN 2011b]

⁵ in Klammern: Vertrauensbereich

Zwerg-Blauauge (*Pseudomugil tenellus*):

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 730 (500-990) µg/L (gemessen; 27 °C) [Bywater et al. 1991]

Glasbarsch (*Ambassis macleayi*):

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 800 (550-1080) µg/L (gemessen; 27 °C) [Bywater et al. 1991]

Schwarzband-Regenbogenfisch (*Melanotaenia nigrans*):

LC₅₀ (96 h, semistat.; 7 Tage alt) = 1700 (1240-2390) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, semistat.; 90 Tage alt) = 1900 (1530-2280) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 4500 µg/L⁴ (nominal; 8 mg/L CaCO₃) [Skidmore und Firth 1983b, zitiert Markich et al. 2002]

Gescheckter Regenbogenfisch (*Melanotaenia splendida inornata*):

LC₅₀ (96 h, fl.; 14 Tage alt) = 1390 (1100-1750) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (96 h, semistat. ; 7 Tage alt) = 2660 (2170-3280) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, semistat. ; 90 Tage alt) = 3460 (2350-6570) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 6000 µg/L⁴ (nominal) [Skidmore und Firth 1983b, zitiert Markich et al. 2002];

LC₅₀ (7 d, fl.; 6 Tage alt) = 1570 (1350-2120) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl.; 31 Tage alt) = 1570 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

Magella-Hartköpfchen (*Craterocephalus marianae*):

LC₅₀ (96 h, semistat.; juvenil) = 1220 (820-1610) µg/L [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 4250 µg/L⁴ (nominal; 10 mg/L CaCO₃) [Giles 1974, zitiert in Markich und Camilleri 1997, Markich et al. 2002]

Gestreifter Grunter (*Amniataba percooides*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 2500 µg/L⁴ (nominal; 10 mg/L CaCO₃) [Giles 1974, zitiert in Markich und Camilleri 1997, Markich et al. 2002]

Australische Kärpflingsgrundel (*Hypseleotris compressa*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 6600 µg/L⁴ (nominal; 8 mg/L CaCO₃) [Skidmore und Firth 1983b, zitiert in Markich et al. 2002]

Tüpfelgrundel (*Mogurnda mogurnda*):

LC₅₀ (96 h, semistat.; 7 Tage alt) = 1110 (830-1450) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1270 µg/L (gemessen; geometr. Mittel aus 6 Tests: 1270-1965 µg/L; 6,6, 165 und 330 mg/L CaCO₃; 27 °C, pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 1380 µg/L⁴ (gemessen) [Markich und Camilleri 1997]

LC₅₀ (96 h, semistat.; 90 Tage alt) = 1460 (1120-1900) µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 1520 µg/L (1430-1610 µg/L) (nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, fl.; 6 Tage alt) = 1570 (1215-1840) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 1860 µg/L (1820-1900 µg/L) (nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 1 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 2840 µg/L (2790-2880 µg/L) (nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 5 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 4190 µg/L (4040-4290 µg/L) (nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 10 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 7130 µg/L (6980-7270 µg/L) (nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 20 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 1730 µg/L (1660-1800 µg/L) (nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 1810 µg/L (1740-1870 µg/L) (nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 1 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 2220 µg/L (2110-2340 µg/L) (nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 5 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Dottersack Brut) = 3100 µg/L (2890-3310 µg/L) (nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 10 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011]

LC₅₀ (96 h, fl.; 40 und 70 Tage alt) = 3290 (2260-4320) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 1 Tag alt) = 890 (790-1040) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 40 Tage alt)⁶ = 1440 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl.; 1 Tag alt) = 1590 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl.; 40 Tage alt) = 2690 (2260-3150) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 70 Tage alt) = 2700 (2260-3150) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (7 d, fl. ; 70 Tage alt) = 3290 (2260-4320) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (14 d + 15 d Nachbeobachtung, fl.)⁶ = 1290 (980-1890) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

LC₅₀ (14 d, fl.)⁶ > 1790 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

Barcoo-Barsch (*Leiopotherapon unicolor*, *Madigania unicolor*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 4100 µg/L⁴ (nominal; 10 mg/L CaCO₃) [Giles 1974, zitiert in Markich und Camilleri 1997, Markich et al. 2002]

⁶ TCD-EQS 2011, S. 137: "OECD guideline 204: Fish, Prolonged Toxicity Test: 14-day Study. This study is also considered as an acute toxicity study, and consequently, in most cases, only the LC50 is used for the derivation of EQSs.

Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*):

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 5500 µg/L (gemessen; 32 mg/L CaCO₃) [Parkhurst et al. 1984]

LC₅₀ (96 h) = 6600 µg/L (geometrischer Mittelwert aus 2 Tests [errechnet aus Daten von Davies 1980 und Parkhurst et al. 1984 in CAN 2011a,b])

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 23.000 µg/L (gemessen; 210 mg/L CaCO₃) [Parkhurst et al. 1984]

Saugkarpfen (*Catostomus latipinnis*):

LC₅₀ (24 h-96 h, stat.) = 43.500 µg/L (nominal; 144 mg/L CaCO₃) [Hamilton und Buhl 1997 zitiert in CAN 2011b, Sheppard et al. 2005]

Bonytail-Döbel (*Gila elegans*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 46.000 µg/L [Hamilton 1995, zitiert in CAN 2011a, b]

Colorado Pikeminnow (*Ptychocheilus lucius*, Karpfenfisch):

LC₅₀ (96 h, stat.; Brut und juvenil) = 46.000 µg/L (nominal) [Hamilton 1995, zitiert in CAN 2011a, b, Sheppard et al. 2005]

Razorback Sucker (*Xyrauchen texanus*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 46.000 µg/L (nominal) [Hamilton 1995, zitiert in CAN 2011a, b]

Langzeittests Fische

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*):

EC₁₀ (30 d; nicht entwicklungsfähige Embryos) = 350 µg/L (geometr. Mittel aus zwei Tests: 260 und 480 µg/L) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a,b]

Hecht (*Esox lucius*):

NOEC (65 d, semistat.; Embryos) = 1510 µg/L (gemessen; 63 mg/L CaCO₃, 8,1 °C, pH=7,9) [Liber et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

Amerikanischer Seesaibling (*Salvelinus namaycush*):

NOEC (141 d, semistat.; Mortalität) = 6050 µg/L (gemessen; 74-80 mg/L CaCO₃, 7,6-8,6 °C, pH=7,9-8,1) [Liber 2004a, zit in CAN 2011b]

Saugkarpfen (*Catostomus commersoni*):

NOEC (30 d, semistat.; Brut, Körperlänge und -gewicht) = 7330 µg/L (gemessen; 72 mg/L CaCO₃, 14 °C, pH=7,9) [Liber et al. 2004b]

Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*):

NOEC (77 d, fl.; Early Lifestage: Schlüpfen, Mortalität und Wachstum der Brut) > 9080 µg/L (gemessen; 201 mg/L CaCO₃, 13,5 °C, pH=8,0) [Parkhurst et al. 1984]

Tüpfelgrundel (*Mogurnda mogurnda*):

NOEC (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) = 410 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

NOEC (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) = 770 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

NOEC (28 d, fl.; Larven: Mortalität) = 800 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

NOEC (28 d, fl.; Larven: Mortalität) = 1400 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

EC₁₀ (28 d, fl.; Larven: Gewicht) = 660 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

EC₁₀ (28 d, fl.; Larven: Gewicht) = 860 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

EC₁₀ (28 d, fl.; Larven: Länge) = 850 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

EC₁₀ (28 d, fl.; Larven: Länge) = 1160 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

Piranha (*Serrasalmus serrulatus*): EC₁₀ (7 d; Reproduktion) = 480 µg/L [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011a, b]

5.2 Wirbellose Organismen

Meeres-Organismen

mariner Flohkrebs (*Allorchesttes compressa*):

EC₂₃ (28 d, fl.; Erhöhung des Gewichts) = 100 µg/L (abgereichertes Uran; gemessen) [Ahsanullah und Williams 1986]

EC₂₈ (28 d, fl.; Gewichtsverlust) = 2000 µg/L (abgereichertes Uran; gemessen) [Ahsanullah und Williams 1986]

EC₄₀ (70 d, fl.; 3 Generationen, Verringerung der Atmungsrate) = 100 µg/L (abgereichertes Uran; gemessen) [Ahsanullah und Williams 1986]

Süßwasser-Organismen

Kurzzeittests Wirbellose

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 50 µg/L (40-60) µg/L U (gemessen; Urandioxid; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 72 µg/L U (nominal; Uranyl Nitrat; geometrisches Mittel aus drei Tests: 60-89 µg/L; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 128 µg/L U (Uranylhydrogenphosphat; geometrisches Mittel aus drei Tests: 100-190 µg/L; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

LC₅₀ (48 h, semistat.) > 260 µg/L U (gemessen) (mit Futter; Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 650 µg/L (nominal) bzw. 70 µg/L ("recovered") (Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

Wasserfloh (*Daphnia pulex*):

LC₅₀ (48 h, stat.; Neugeborene) = 220 µg/L (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in Pickett et al. 1993, CAN 2011a, b]

LC₅₀ (96 h) = 150 µg/L [Trapp 1986, zitiert in Sheppard et al. 2005]

Wasserfloh (*Daphnia magna*):

EC₅₀ (48 h) = 5900 µg/L (empfindlichster Klon von 4) [Barata et al. 1998, zitiert in Sheppard et al. 2005]

LC₅₀ (48 h, stat.; Larven) = 6400 µg/L (geometr. Mittel aus 5 Tests in natürlichem Wasser: 66-90 mg/L CaCO₃) [berechnet aus Daten von Poston et al. 1984 und Barata et al. 1998 in CAN 2011b]

EC₅₀ (48 h) = 6530 µg/L (geometr. Mittel aus zwei Klonen; 91 mg/L CaCO₃) [berechnet aus Daten von Barata et al. 1998 in CAN 2011b]

LC₅₀ (48 h, stat.) = 18.500 µg/L (gemessen; geometr. Mittel aus zwei Klonen: 15.250 und 22.400 µg/L; 179 mg/L CaCO₃) [Barata et al. 1998, zitiert in CAN 2011b]

LC₅₀ (48 h, stat.; Larven) = 36.800 (30.440/44.570) µg/L (geometr. Mittel aus zwei Tests; 126-140 mg/L CaCO₃; 20 ± 1 °C) [berechnet aus Daten von Poston et al. 1984]

LC₅₀ (48 h, stat.; Larven) = 46.900 µg/L (gemessen; geometr. Mittel aus zwei Tests: 29.600 und 74.300 µg/L; 188-205 mg/L CaCO₃; 20 ± 1 °C) [berechnet aus Daten von Poston et al. 1984]

Wasserfloh (*Moinodaphnia macleayi*):

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 220 µg/L (nominal; geometr. Mittel aus 7 Tests; 27 ± 1 °C, pH=6,6-6,9) [Semaan et al. 2001]

Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*):

EC₄₇ (11 d, stat.; Hemmung der Katalase-Aktivität, Biomarker für Hydroperoxid-Entgiftung) = 10.000 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₄₁ (11 d, stat.; Erniedrigung des Malondialdehyd-Spiegels, Biomarker für oxidativen Stress) = 50.000 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

EC₅₉ (11 d, stat.; Hemmung der Katalase-Aktivität, Biomarker für Hydroperoxid-Entgiftung) = 200.000 µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1996]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 1.870.000 (228.000-3.516.000) µg/L (nominal; 20 °C) [Labrot et al. 1999]

Süßwassermuschel (*Velesunio angasi*):

EC₅₀ (48 h, fl.; Klappenbewegung) = 78-1077 µg/L⁴ (gemessen in 22 Tests; 28 °C, 3,9 mg/L CaCO₃, <0,2 – 8,9 DOC⁷ mg/L, pH=5,0-6,0) [Markich und Camilleri 1997]

EC₅₀ (48 h, fl.) = 103-1080 µg/L (gemessen in zahlreichen Tests; 28 °C, 3,7 mg/L CaCO₃, pH=5,0-6,0) [Markich et al. 1996, zitiert in CAN 2011b]

mexikanischer Bachflohkrebs (*Hyalella azteca*):

LC₅₀ (7 d, stat.) = 21 (17-26) µg/L (gemessen; 18 mg/L CaCO₃; 24-25 °C; pH=7,4-8,3) [Borgmann et al. 2005]

LC₅₀ (7 d, semistat.) = 1100 µg/L (gemessen; 120 mg/L CaCO₃; 25 °C) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

LC₅₀ (7 d, stat.) = 1651 (1451-1878) µg/L (nominal; 24-25 °C; 124 mg/L CaCO₃; pH=8,2-8,5) [Borgmann et al. 2005]

LC₅₀ (7 d, semistat.) = 4000 µg/L (gemessen; 120 mg/L CaCO₃; 25 °C) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

LC₅₀ (14 d) = 140 µg/L (61 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a]

LC₅₀ (14 d) = 200 µg/L (123 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a]

LC₅₀ (14 d) = 340 µg/L (238 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a]

Grüne Hydra (*Hydra viridissima*):

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 48 µg/L (45-52µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 54 µg/L (49-59 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0,9 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 65 µg/L (57-74 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 79 µg/L (73-85 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 4,8 mg/L DOC⁷; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 106 µg/L (102-111 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6) [Markich und Camilleri 1997, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 113 µg/L (103-124µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 9,7 mg/L DOC⁷; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 115 µg/L (109-122 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 119 µg/L (110-128 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 0,9 mg/L DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 164 µg/L (149-178 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 165 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 181 µg/L (174-187 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 165 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

⁷ TGD-EQS 2011, Fußnote S. 69: "OECD guidelines for the acute and chronic daphnid test, the fish early life stage test and short-term fish embryo and sac-fry stage tests, the fish juvenile growth test, the chironomid test and the bioconcentration test with fish all set a maximum level of 2 mg·l⁻¹ to the TOC content. In most laboratory studies, however, the TOC content will not reach this level..."

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 199 µg/L (156-245 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 30 °C; pH= 6,5) [Hyne et al. 1992, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 207 µg/L (180-232 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 330 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 228 µg/L (213-244 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 4,9 mg/L DOC⁷; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 306 µg/L (288-323 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 9,7 mg/L DOC⁷; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) > 350 µg/L (re-evaluiert; nominal; 30 °C; pH= 6,4) [Hyne et al. 1992, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate) = 494 µg/L (454-532 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 19,5 mg/L DOC⁷; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

Garnele (*Macrobrachium* sp.):

LC₅₀ (96 h, stat.) > 5000 µg/L⁵ (nominal; 10 mg/L CaCO₃) [Giles 1974, zitiert in Markich und Camilleri 1997]

Schlammröhrenwurm (*Tubifex tubifex*):

EC₅₀ (96 h, semistat.; Immobilisierung) = 2050 (1720-2260) µg/L (nominal; 245 mg/L CaCO₃; 30 °C) [Khangarot 1991]

Langzeittests Wirbellose

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 1,5 µg/L (nominal; UranylNitrat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,0 µg/L (nominal; Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,7 µg/L (nominal; UranylNitrat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) < 6,0 µg/L (nominal; Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) < 8,0 µg/L (nominal; UranylNitrat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 30 µg/L (nominal; Urandioxid; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

EC₁₀ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 32 µg/L (geometrischer Mittelwert aus vier Tests: 22-59 µg/L) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a,b]

NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 50 µg/L (nominal; Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]

NOEC (7 d, semistat.; Neugeborene) = 1540 µg/L (gemessen; 76 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 1900 µg/L [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

Wasserfloh (*Daphnia magna*):

NOEC (21 d, semistat.) = 450 µg/L (gemessen) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (21 d, Reproduktion) = 530 µg/L (geometrischer Mittelwert aus fünf Tests: 123-1360 µg/L) [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 und Poston et al. 1984 in CAN 2011a]

Wasserfloh (*Moinodaphnia macleayi*):

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 1,5 µg/L (0,6-2,9 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 5,2 mg/L CaCO₃; pH=6,7) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 12 µg/L (11-13 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=7,0) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 16 µg/L (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=7,0) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 16 µg/L (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 5,2 mg/L CaCO₃; pH=6,7) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 25 µg/L (13-33 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 4,6 mg/L CaCO₃; pH=6,8) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 26 µg/L (24-31 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 4,6 mg/L CaCO₃; pH=6,9) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 26 µg/L (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=6,5) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 26 µg/L (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=6,7) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 42 µg/L (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 5,2 mg/L CaCO₃; pH=7,1) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

Wasserfloh (*Simocephalus serrulatus*):

NOEC (21 d, semistat.; Reproduktion) = 460 µg/L [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

mexikanischer Bachflohkrebs (*Hyaella azteca*):

EC₁₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 12 µg/L (73 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,2) [errechnet aus Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

Lungenschnecke (*Amerianna cumingi*):

EC₁₀ (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 15 µg/L (gemessen; 2-6 mg/L DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

NOEC (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 60 µg/L (gemessen; 2-6 mg/L DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

5.3 Pflanzen

Meeres-Organismen

Zu marinen Pflanzen sind keine ökotoxikologischen Daten bekannt.

Süßwasser-Organismen

Kurzzeittests Pflanzen

Grünalge (*Chlorella* sp.):

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 11 µg/L (7,5-11) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Zellzahl) = 21 µg/L⁴ (gemessen; 40 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Zellzahl) = 22 µg/L⁴ (gemessen; 8 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 34 µg/L (33-35 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 1,0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 38 µg/L (32-43 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Zellzahl) = 39 µg/L⁴ (gemessen; 100 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 48 µg/L (41-55 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,9 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,5) [Franklin et al. 2000; van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Zellzahl) = 63 µg/L⁴ (gemessen; 40 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h) = 66 µg/L (29-108 µg/L) (re-evaluiert; 8 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h) = 74 µg/L (55-103 µg/L) (re-evaluiert; 40 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 74 µg/L (65-91 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,6 mg/L CaCO₃; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 80 µg/L (75-86 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 4,7 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 87 µg/L (82-92 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,9 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=5,7) [Franklin et al. 2000; van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 98 µg/L (68-123 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 1,0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 132 µg/L⁴ (gemessen; 100 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Zellzahl) = 132 µg/L⁴ (gemessen; 400 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 134 µg/L (130-140 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; < 3,6 mg/L CaCO₃; 2,6 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h) = 137 µg/L (77-205 µg/L) (re-evaluiert; 100 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 149 µg/L (136-159 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 9,5 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 160 µg/L (gemessen; 30 °C) [Hogan et al., zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 161 µg/L (156-166 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,2 mg/L CaCO₃; 3,4 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,3) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 176 µg/L (168-185 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 4,1 mg/L CaCO₃; 4,1 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,7) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h) = 220 µg/L (125-303 µg/L) (re-evaluiert; 400 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 237 µg/L (215-259) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 5,1 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 237 µg/L (233-242 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 4,7 mg/L CaCO₃; 8,1 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 396 µg/L (323-487) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 10,2 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 515 µg/L (310-726) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 20,4 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

Grünalge (*Desmodesmus subspicatus*):

LC₅₀ (5 d, stat.; Hemmung des Zellwachstums) = 36.300 µg/L (nominal) [Vinot und Larpent 1984]

Wasserpest (*Lemna aequinoctialis*):

EC₅₀ (96 h, semistat.; Hemmung des Wachstums) = 758 µg/L (gemessen; 38 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles et al. 2006]

EC₅₀ (96 h, stat.; Hemmung des Wachstums) = 1435 µg/L (gemessen; 3-4 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,6-6,9) [Hogan et al. 2010]

Kleine Wasserlinse (*Lemna minor*):

EC₅₀ (7 d, stat; Zahl der Wedel) = 7400 µg/L (gemessen; 137 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (7 d, stat.; Trockenmasse) = 13.100 µg/L (gemessen; 137 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

Goldbraune Alge (*Cryptomonas erosa*):

EC₅₀ (6 d, semistat.; Wachstum) = 1260 µg/L (gemessen; 101 mg/L CaCO₃; 21 °C; pH=7,1-9,1) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Langzeittests Pflanzen

Grünalge (*Chlorella* sp.):

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 3,8 µg/L (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h) = 9 µg/L (re-evaluiert; 8 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h) = 11 µg/L (re-evaluiert; 40 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 14 µg/L (38-64 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 15 µg/L (10-20 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,9 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=6,5) [Franklin et al. 2000; van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 18 µg/L (16-20 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 1,0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h) = 32 µg/L (re-evaluiert; 100 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 45 µg/L (35-55 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,9 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 27 °C; pH=5,7) [Franklin et al. 2000; van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h) = 61 µg/L (re-evaluiert; 400 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 52 µg/L (38-64 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 57 µg/L (45-66 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 4,7 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 58 µg/L (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 1,0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 100 µg/L (89-108 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; < 3,6 mg/L CaCO₃; 2,6 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 108 µg/L (88-127 µg/L) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 9,5 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 129 µg/L (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 5,1 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 134 µg/L (130-140 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 3,2 mg/L CaCO₃; 3,4 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,3) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 135 µg/L (120-148 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 4,1 mg/L CaCO₃; 4,1 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,7) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 176 µg/L (169-190 µg/L) (re-evaluiert; gemessen; 4,7 mg/L CaCO₃; 8,1 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,5) [Hogan et al. 2005, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 196 µg/L (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 10,2 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 197 µg/L (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/L CaCO₃; 20,4 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,2) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

Grünalge (*Selenastrum capricornutum*, neu *Pseudokircheneriella subcapitata*):

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 5,4 µg/L (gemessen; 5 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

NOEC (72 h, stat.; Wachstum) = 14-219 µg/L¹¹ (gemessen; 5-228 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 37 µg/L (5-228 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) (geometrischer Mittelwert aus vier Tests: 5,4-120 µg/L) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 40 (geometrischer Mittelwert aus sechs Tests: 5,4-120 µg/L) [berechnet nach Daten von Vizon 2004 und Liber 2007 in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 54 µg/L (gemessen; 64 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 55 µg/L (gemessen; 15 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, semistat; Wachstum) = 57 µg/L (gemessen; 70 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=7,8-9,7) [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

EC₁₀ (72 h, stat; Wachstum) = 120 µg/L⁸ (gemessen; 228 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

NOEC (72 h, semistat; Wachstum) = 555 µg/L⁸ (gemessen; 70 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=7,8-9,7) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

NOEC (72 h, semistat; Wachstum) = 570 µg/L (gemessen; 22 °C) [Liber et al. 2007, zit. CAN 2011b]

Grünalge (*Desmodesmus quadricauda*):

LOEC (96 h, stat.; Wachstum der Population) = 1350 µg/L (nominal) [Bringmann und Kühn 1959, 1960]

Goldbraune Alge (*Cryptomonas erosa*):

EC₁₀ (6 d, semistat.; Wachstum) = 172 µg/L (101 mg/L CaCO₃; 21 °C; pH=7,1-9,1) [errechnet aus Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011a,b]

EC₂₅ (6 d, semistat.; Wachstum) = 440 µg/L (gemessen; 101 mg/L CaCO₃; 21 °C; pH=7,1-9,1) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Wasserpest (*Lemna aequinoctialis*):

NOEC (96 h, semistat.; Hemmung des Wachstums) = 56 µg/L⁸ (gemessen; 38 mg/L CaCO₃; 27 °C) [Charles et al. 2006]

EC₁₀ (96 h, stat.; Hemmung des Wachstums) = 207 µg/L⁹ (gemessen; 3-4 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,6-6,9) [Hogan et al. 2010]

NOEC (96 h, stat.; Hemmung des Wachstums) = 226 µg/L⁹ (gemessen; 3-4 mg/L DOC; 29 °C; pH=6,6-6,9) [Hogan et al. 2010]

⁸ aus LOEC oder MDEC umgerechnet nach [TGD 2003] mit dem Faktor 0,5

⁹ Der EC₁₀-Wert ist niedriger als die NOEC, weil „gepoolte“ Daten mit größerer Streubreite ausgewertet worden sind

Bucklige Wasserlinse (*Lemna gibba*):

NOEC (21 d, stat.; Wachstumsrate = Frondzahl und -fläche) = 500 µg/L (nominal)
[Mkandawire et al. 2006]

Kleine Wasserlinse (*Lemna minor*):

EC₁₀ (7 d, stat; Trockenmasse) = 3100 µg/L (gemessen; 35 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a, b]

EC₁₀ (7 d, stat; Frondzahl) = 3400 µg/L (gemessen; 35 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

5.4 Insekten

Meeres-Organismen

Vgl. hier auch die Daten zur Zuckmücke (s. Süßwasser-Organismen), da diese auch im Brackwasser der Küstengebiete vorkommen.

Süßwasser-Organismen

Zuckmücke (*Chironomus tentans*):

NOEC (10 d, semistat.; Wachstum) = 39 µg/L (gemessen; 134 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,8)
[Muscatello und Liber 2009, zitiert in CAN 200b]

LC₄₀ (48 h, stat.) = 50.000 µg/L (gemessen; 20 ± 1 °C) [Poston et al. 1984]

LC₄₀ (96 h, stat.) = 10.000 µg/L (gemessen; 20 ± 1 °C) [Poston et al. 1984]

NOEC (10 d, semistat.; Wachstum) = 566 µg/L¹⁰ (gemessen; 125 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,2) [Burnett und Liber 2006, zitiert in CAN 200b]

EC₅₀ (10 d, semistat.; Wachstum) = 10.200 µg/L (gemessen; 125 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,2) [Burnett und Liber 2006, zitiert in CAN 200b]

NOEC (28 d, semistat.) = 2240 µg/L (gemessen; 80 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,0) [Liber et al. 2007, zit. CAN 2011a, b]

EC₁₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 930 µg/L (80 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,0) [errechnet aus Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011a, b]

EC₅₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 4320 µg/L (gemessen; 80 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,0) [Liber et al. 2007, zit. CAN 2011a, b]

LC₁₀ (28 d, semistat.) = 5010 µg/L (gemessen; 80 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,0) [Liber et al. 2007, zit. CAN 2011a, b]

¹⁰ aus MATC umgerechnet nach [TGD 2011] mit dem Faktor $1/\sqrt{2}$

5.5 Mikroorganismen

Bakterien (*Pseudomonas fluorescens*):

LOEC (96 h, stat.; Wachstum der Population) = 690 µg/L (nominal) [Bringmann und Kühn 1959, 1960]

Bakterien (*Escherichia coli*):

LOEC (96 h, stat.; Wachstum der Population) = 1230 µg/L (nominal) [Bringmann und Kühn 1959, 1960]

Augentierchen (eukaryotische Einzeller, *Euglena gracilis*):

EC₁₀ (96 h, stat.; Wachstumsrate) = 5 µg/L (1-12 µg/L) (gemessen; 0,7 mg/L CaCO₃; 10 mg/L DOC; 28 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, stat.; Wachstumsrate) = 17 µg/L (1-77 µg/L) (gemessen; 0,7 mg/L CaCO₃; 30 mg/L DOC; 28 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, stat.; Wachstumsrate) = 57 µg/L (40-82 µg/L) (gemessen; 0,7 mg/L CaCO₃; 10 mg/L DOC; 28 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2012]

EC₅₀ (96 h, stat.; Wachstumsrate) = 254 µg/L (100-670 µg/L) (gemessen; 0,7 mg/L CaCO₃; 30 mg/L DOC; 28 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2012]

EC₁₀₀ (96 h, stat.; Wachstumsrate) = 700 µg/L (gemessen; 0,7 mg/L CaCO₃; 10 mg/L DOC; 28 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2012]

6. Ableitung der PNEC_{aquat}

Die Ergebnisse der Kurzzeittests für die empfindlichsten Arten der drei trophischen Ebenen des Basissatzes nach TGD 2011 (Fische, Wirbellose, Algen) sind in der **Tabelle 3** aufgeführt.

Tabelle 3: Ergebnisse der Kurzzeittests für die empfindlichsten Arten der drei trophischen Ebenen des Basissatzes nach TGD 2011

Fisch	Zwerg-Blauauge (<i>Pseudomugil tenellus</i>): LC ₅₀ (96 h, semistat.) = 730 µg/L (gemessen; 27 °C) [Bywater et al. 1991]
Wirbellose (bervorzugt Daphnie)	Wasserfloh (<i>Ceriodaphnia dubia</i>): LC ₅₀ (48 h, semistat.) = 50 µg/L (gemessen; Urandioxid; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993]
Alge	Grünalge (<i>Chlorella sp.</i>): EC ₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 11 µg/L (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/L CaCO ₃ ; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

Die Ergebnisse der Langzeittests für die empfindlichsten Arten sind in der **Tabelle 4** aufgeführt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Langzeittests für die empfindlichsten Arten

Fische	Regenbogenforelle (<i>Oncorhynchus mykiss</i>): EC ₁₀ (30 d; nicht entwicklungsfähige Embryos) = 350 µg/L (geometr. Mittel aus zwei Tests: 260 und 480 µg/L) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a,b] Tüpfelgrundel (<i>Mogurnda mogurnda</i>): NOEC (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) = 410 µg/L (nominal; 3-5 mg/L CaCO ₃ , 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010]
Wirbellose	Wasserfloh (<i>Ceriodaphnia dubia</i>): NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 1,5 µg/L (nominal; Uranyl Nitrat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993] NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,0 µg/L (nominal; Uranylhydrogenphosphat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993] NOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,7 µg/L (nominal; Uranyl Nitrat; 25 ± 2 °C) [Pickett et al. 1993] Wasserfloh (<i>Moinodaphnia macleayi</i>): EC ₁₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 1,5 µg/L

	<p>(re-evaluert; gemessen; 27 °C; 5,2 mg/L CaCO₃; pH=6,7) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]</p> <p>mexikanischer Bachflohkrebs (<i>Hyalella azteca</i>): EC₁₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 12 µg/L (73 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,2) [errechnet aus Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]</p> <p>Lungenschnecke (<i>Amerianna cumingi</i>): EC₁₀ (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 15 µg/L (gemessen; 2-6 mg/L DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]</p>
Algen	<p>Grünalge (<i>Chlorella</i> sp.): EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 3,8 µg/L (re-evaluert; nominal; 4,6 mg/L CaCO₃; 0 mg/L DOC; 28,5 °C; pH=6,0) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]</p> <p>EC₁₀ (72 h) = 9 µg/L (re-evaluert; 8 mg/L CaCO₃; <0,2 mg/L DOC; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002, van Dam et al. 2012]</p> <p>Grünalge (<i>Selenastrum capricornutum</i>, neu <i>Pseudokircheneriella subcapitata</i>): EC₁₀ (72 h, stat.; Wachstum) = 5,4 µg/L (gemessen; 5 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]</p>
Insekten	<p>Zuckmücke (<i>Chironomus tentans</i>): NOEC (10 d, semistat.; Wachstum) = 39 µg/L (gemessen; 134 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,8) [Muscatello und Liber 2009, zitiert in CAN 200b]</p>

Nach TGD 2011 kommt hier die folgende Datenkonstellation (Seiten 37-40) zum Tragen:

Der Basisdatensatz (akute Daten für Fisch, Daphnie, Alge) ist vollständig und chron. Daten sind für jede trophische Ebene des Basisdatensatzes vorhanden.

Relevant sind hier die Angaben zur Verwendung der Sicherheitsfaktoren von 10 oder 50 (bezogen auf den NOEC/L(E)C₁₀), im Ausnahmefall 100 (bezogen auf den L(E)C₅₀):

- Ein Sicherheitsfaktor von 10 wird auf den niedrigsten chron. NOEC/L(E)C₁₀ bezogen, wenn solche chron. Daten verfügbar sind für alle drei trophischen Ebenen des Basisdatensatzes. Die trophischen Ebenen der NOEC/L(E)C₁₀ sollten die trophische Ebene des niedrigsten L(E)C₅₀ umfassen.

Die gegenüber Uran empfindlichsten Spezies mit dem niedrigsten akuten L(E)C₅₀-Test umfassen die trophischen Ebenen Wirbellose (50 µg/L) und Algen (11 µg/L); die EC₅₀-Werte liegen somit für die Algen am niedrigsten (s. **Tabelle 3**).

Bei den trophischen Ebenen des niedrigsten chronischen EC₁₀/NOEC-Wertes handelt es sich ebenfalls um die der Wirbellosen und Algen; auch hier liegen die NOEC mit 1,5-2,7 µg/L, 1,5 µg/L, 3,8 µg/L und 9 µg/L im gleichen Bereich, für die beiden Wasserfloh-Arten 2,5- bis 6-fach niedriger (s. **Tabelle 4**).

Da die niedrigste NOEC (der Wasserflöhe) von 1,5 µg/L nicht zur trophischen Ebene mit dem niedrigsten EC₅₀-Wert (Algen) gehört, muss nach den Regeln der TGD (2011) ein Sicherheitsfaktor 50 angewendet werden. Damit errechnet sich die PNEC für Uran (zunächst) zu

$$PNEC_{\text{aquat.}} = 0,03 \mu\text{g/L.}$$

7. Vergleich von GFS_{human} und PNEC_{aquat} und Einbeziehung von Hintergrundkonzentrationen

Im **Kapitel 3** wurde der GFS-Wert zum Schutz des Menschen $GFS_{human} = 10 \mu\text{g/L}$ gemäß Trinkwasserverordnung benannt, in **Kapitel 5** die PNEC zum Schutz aquatischer Lebewesen $PNEC_{aquat} = 0,03$ abgeleitet. Gemäß [LAWA 2004] wird die Geringfügigkeitsschwelle definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung eingehalten werden. Demnach wird für die weitere Betrachtung der niedrigere der beiden Werte ($0,03 \mu\text{g/L}$) herangezogen.

Bei der Risikobewertung von anorganischen Spurenelementen, insbesondere von Metallen, muss allerdings im Unterschied zu organischen Stoffen berücksichtigt werden, dass sie geogen bedingt im Grundwasser vorkommen (s. **Kapitel 1.2**). Die in der aquatischen Umwelt natürlich vorhandenen Spurenelementkonzentrationen unterliegen einer zeitlichen Dynamik und können bis zu mehreren Größenordnungen schwanken. Um dieses berücksichtigen zu können und um zu vermeiden, dass anthropogen unbeeinflusstes Grundwasser beim Vergleich mit einem niedrigeren GFS-Wert als belastet zu bewerten wäre, wird bei den geogen vorkommenden Spurenstoffen mit einem Basiswert verglichen, der die Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland charakterisiert; er wird (als Hintergrundwert) berechnet aus den flächengewichteten 90-Perzentil-Werten der hydrogeologischen Bezugsräume. Ist die so definierte allgemeine Hintergrundbelastung höher als der abgeleitete GFS-Wert, gilt der Basiswert als Geringfügigkeitsschwellenwert [Gühr 2011].

Für Uran wird hier der bundesweite aus hydrogeologischen Einheiten ermittelte flächengewichtete Mittelwert der 90-Perzentile von $3,45 \mu\text{g/L}$ herangezogen [PK Hintergrundwerte Grundwasser 2014]. Somit gilt (mathematisch gerundet):

vorläufiger GFS-Wert für Uran = $3,4 \mu\text{g/L}$.

8. Literatur und Anmerkungen

ANZECC und ARMCANZ 2000: Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand: Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality. Volume 1 – The Guidelines (National Water Quality Management Strategy Paper 4). Canberra: 2000

Ahsanullah, M.; Williams, A.R.: 1986. Effect of uranium on growth and reproduction of the marine amphipod *Allorchestes compressa*. Mar. Biol 93: 459-464 (1986)

BfR 2007: Bundesinstitut für Risikobewertung: BfR empfiehlt die Ableitung eines europäischen Höchstwertes für Uran in Trink- und Mineralwasser. Gemeinsame Stellungnahme Nr. 020/2007 des BfS und des BfR vom 5. April 2007. 46 Seiten

Borgmann, U.; Couillard, Y.; Doyle, P.; Dixon, D.G.: 2005. Toxicity of sixty-three metals and metalloids to *Hyalella azteca* at two levels of water hardness. Environ. Toxicol. Chem. 24: 641-652 (2005)

Bringmann, G.; Kühn, R.: Vergleichende wassertoxikologische Untersuchungen an Bakterien, Algen und Kleinkrebsen. Gesundheits-Ingenieur 80 (4), 115-120 (1959); zitiert in ECOTOX 2012

Bringmann, G.; Kühn, R.: Vergleichende toxikologische Befunde an Wasser-Bakterien. Gesundheits-Ingenieur 81 (11): 337-339 (1960)

Bundestag 2011: Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode, Drucksache 17/6019: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Cornelia Behm, Dorothea Steiner, Nicole Maisch, weiterer Abgeordneter und der Fraktion *BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN* – Drucksache 17/5843 –. Uranbelastung von Böden und Grundwasser durch uranhaltige Phosphatdüngemittel. Berlin: 31.05.2011

BW 2013: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg: Uranbelastung des Grund- und Trinkwassers. Antwort auf die Kleine Anfrage der Abg. Thomas Marwein und Dr. Bernd Murschel, GRÜNE vom 12.12.2012. Schreiben vom 31. Januar 2013 Nr. 5-0141.5/414. Drucksache 15/2797. Altlasten und Boden-News 1/2013 des LUBW, S. 6-12

Bywater, J.F.; Banaczkowski, R.; Bailey, M.: Sensitivity to uranium of six species of tropical freshwater fishes and four species of cladocerans from Northern Australia. Environmental Toxicology and Chemistry, 10: 1449–1458 (1991)

Canada 2011a: Canadian Council of Ministers of the Environment: Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Uranium. In: Canadian environmental quality guidelines 1299, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg 2011. Auszug aus Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1.

Canada 2011b: Canadian Council of Ministers of the Environment: Scientific Criteria Document for the Development of the Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Uranium. PN 1451, ISBN 978-1-896997- 97-1 PDF. www.ccme.ca/assets/pdf/cwqg_uranium_scd_1.0.pdf

Charles, A.L.: Effects of Water Hardness on the Toxicity of Copper and Uranium to a Tropical Freshwater Alga (*Chlorella* sp.). BSc Thesis. Univ. Technology, AUS-Sydney. 2000; zitiert in Canada 2011b

Charles, A.L.; Markich, S.J.; Stauber, J.L.; De Filippis, L.F.: . 2002. The effect of water hardness on the toxicity of uranium to a tropical freshwater alga (*Chlorella* sp.). Aquat. Toxicol. 60: 61-73 (2002)

Charles, A.L.; Markich, S.J.; Ralph, P.: Toxicity of uranium and copper individually, and in combination, to a tropical freshwater macrophyte (*Lemna aequinoctialis*). Chemosphere 62: 1224-1233 (2006)

Cheng, K.L.; Hogan, A.C.; Parry, D.L.; Markich, S.J.; Harford, A.J.; van Dam, R.A. (2010): Uranium toxicity and speciation during chronic exposure to the tropical freshwater fish, *Mogurnda mogurnda*. 79 (5): 547-554

- Dienemann, C.; Utermann, J.: Uran in Boden und Wasser. Umweltbundesamt Texte 37/2012. 2. veränderte Fassung. Dessau-Roßlau: Juli 2012. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4336.html>
- ECOTOX 2012: U.S. Environmental Protection Agency: ECOTOXicology database (ECOTOX). Version 4. Quick Database Query. Aquatic Report. 260 Einträge unter dem Stichwort Uranium. Stand Januar bis März 2012. http://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.htm
- CAS #/Chemical: 541093 – Bis(aceto)dioxouranium,
CAS #/Chemical: 1314643 – Dioxo[sulfato(2-)-O,O']uranium,
CAS #/Chemical: 7440611–Uranium,
CAS #/Chemical: 10102064 – Bis(nitrato-O,O')dioxouranium,
- Franklin, N.M.; Stauber, J.L.; Markich, S.J.; Lim, R.P.: pH dependent toxicity of copper and uranium to a tropical freshwater alga (*Chlorella* sp.). *Aquat. Toxicol.* 48: 275-289 (2000)
- Gühr, R.: Vorgehensweise bei der Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS-Werten) für chemische Substanzen. In: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Altlasten-annual 2011. S. 35-42. Wiesbaden: 2011
- HLUG 2010: Ludwig, F.; Berthold, G.: Uran in hessischen Grund- und Rohwässern. Abschlussbericht. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden: 2010
- Hoekstra, J.A.; van Ewijk, P.H. (1993a): The Bounded Effect Concentration as an Alternative to the NOEC. *Sci. Total Environ. Suppl.* 1993, 705-711
- Hoekstra, J.A.; van Ewijk, P.H. (1993b): Alternatives for the No-Observed-Effect Level. *Environ. Toxicol. Chem.* 12: 187-194 (1993)
- Hogan, A.C.; van Dam, R.A.; Houston- M.A.; Harford, A.J.; Nou, S. (2010): Uranium exposure to the tropical duckweed *Lemna aequinoctialis* and pulmonate snail *Amerianna cumingi*: Fate and toxicity. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 59 (2): 204-215
- Holdway, D.A.: Uranium toxicity to two species of Australian tropical fish. *Sci. Total Environ.* 125: 137-158 (1992)
- Hyne, R.V.; Rippon, G.D.; Ellender, G.: pH-dependent uranium toxicity to freshwater hydra. *Sci. Total Environ.* 125: 159-173 (1992)
- Hyne, R.V., A. Padovan, D.L. Parry, and S.M. Renaud: Increased Fecundity of the Cladoceran *Moinodaphnia macleayi* on a Diet Supplemented with a Green Alga, and Its Use in Uranium Toxicity Tests. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 44: 389-399 (1993); zitiert in ECOTOX 2012
- Irmer, U.; Duffek, A.; Hoffmann, A.; Larws, D.; Mohaupt, V.; Schudoma, D.; Walter, A.-B.; Wellnitz, J.: Die neue Oberflächengewässerverordnung (OGewV). *Korr. Abwasser Abfall* 58 (12): 1145-1154 (2011)
- KBU 2012: Positionspapier der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt – Uran-Einträge in landwirtschaftliche Böden durch Düngemittel. Umweltbundesamt (Hrsg.): Dessau-Roßlau, 20.03.2012
- Khargarot, B.S.: Toxicity of Metals to a Freshwater Tubificid Worm, *Tubifex tubifex* (Muller). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 46: 906-912 (1991)
- Knie, J.; Hälke, A.; Juhnke, I.; Schiller, W.: Ergebnisse der Untersuchungen von chemischen Stoffen mit vier Biotests. *Dt. Gewässerkd. Mitt.* 27 (1983) 77-79
- Labrot, F.; Ribera, D.; Saint Denis, M.; Narbonne, J.F.: *In vitro* and *in vivo* Studies of Potential Biomarkers of Lead and Uranium Contamination: Lipid Peroxidation, Acetylcholinesterase, Catalase and Glutathione Peroxidase Activities in Three Non-Mammalian Species. *Biomarkers* 1: 21-28 (1996)
- Labrot, F.; Narbonne, J.F.; Ville, P.; Saint Denis, M.; Ribera, D.: Acute toxicity, toxicokinetics, and tissue target of lead and uranium in the clam *Corbicula fluminea* and the worm *Eisenia fetida*: Comparison with the fish *Brachydanio rerio*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36: 167-178 (1999).

- LAWA 2004: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser. Düsseldorf, Dezember 2004
- Liber, K.; Stoughton, S.; Rosaasen, A.: Chronic uranium toxicity to white sucker fry (*Catostomus commersoni*). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 73: 1065-1071 (2004b)
- LUWG 2011: Plaul, W.: Uran in rheinland-pfälzischen Grund- und Rohwässern. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Jahresbericht 2011 des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. S. 100-105
- Markich, S.J.; Brown, P.L.; Jeffree, R.A.: The Use of Geochemical Modelling to Predict the Impact of Uranium to Freshwater Biota. Radiochim. Acta 74 (1996) 321-326; zitiert in Markich und Camilleri 1997
- Markich, S.J.; Camilleri, C.: Investigation of metal toxicity to tropical biota: Recommendations for Revision of the Australian water quality guidelines. Supervising Scientist Report 127, Supervising Scientist, Canberra, ACT, Australia. 1997
- Markich, S.J.; Warne, M.St.J.; Westbury, A.-M.; Roberts, C.J.: A Compilation Of Data on the Toxicity of Chemicals to Species in Australasia. Part 3: Metals. Australian J. Ecotoxicol. 8: 1-72 (2002)
- Merkel, B.J.: Uran im Trink- und Mineralwasser. Vortragsmanuskript und Internetbeitrag aus dem Institut für Geologie der TU Bergakademie Freiberg. 2002. www.cut-os.de/downloads/Vortrag_Merkel_internet.pdf
- Mkandawire, M.; Taubert, B.; Dudel, G.: Limitations of growth-parameters in *Lemna gibba* bioassays for arsenic and uranium under variable phosphate availability. Ecotox. Environ. Safety 65: 118-128 (2006)
- OGewV 2011: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20. Juli 2011, BGBl. 1, S. 1429-1446
- Parkhurst, B.R.; Elder, R.G.; Meyer, J.S.; Sanchez, D.A.; Pennak, R.W.; Waller, W.T.: An environmental hazard evaluation of uranium in a rocky mountain stream. Environ. Toxicol. Chem. 3: 113-124 (1984)
- PK Hintergrundwerte Grundwasser 2014: Personenkreis Hintergrundwerte Grundwasser der Ad-hoc AG Hydrogeologie der Staatlichen Geologischen Dienste von Deutschland (SGD): Erläuterung zum Web Map Service (WMS) "Hintergrundwerte im Grundwasser". Stand Oktober 2014. <http://www.bgr.de/Service/grundwasser/>
- Pickett, J.B.; Specht, W.L.; Keyes, J.L.: Acute and chronic toxicity of uranium compounds to *Ceriodaphnia dubia* (U). Savannah River, Aiken, South Carolina, Westinghouse Savannah River Co. WSRC-RP-92-995 (1993)
- Poston, T.M.; Hanf, R.W.; Simmons, M.A.: Toxicity of uranium to *Daphnia magna*. Water Air Soil Pollut. 22: 289-298 (1984)
- Riethmuller, N.; Markich, S.J.; van Dam, R.A.; Parry, D.: Effects of Water Hardness and Alkalinity on the Toxicity of Uranium to a Tropical Freshwater Hydra (*Hydra viridissima*). Biomarkers 6: 45-51 (2001)
- Riethmuller, N.; Markich, S.J.; Parry, D.; van Dam, R.A.: The effect of true water hardness and alkalinity on the toxicity of Cu and U to two tropical freshwater organisms. Supervising Scientist Report 155. Supervising Scientist, Canberra, Darwin, NT, Australia. 2000
- SCHER 2010: Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER): Opinion on the Environmental and Health Risks Posed by Depleted Uranium. European Commission, DG Health & Consumers Directorate C: Public Health and Risk Assessment, Unit C7 - Risk Assessment. Brüssel: 2010. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consultations/public_consultations/scher_cons_04_en.htm

Schlich, K.; Wenzel, A.; Shemotyuk, L.: EQS Datasheet. Environmental Quality Standard Uranium. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Dessau, FKZ 3712 28 232. Schmalleberg: 2014.
<http://webetox.uba.de/webETOX/public/basics/literatur.do;jsessionid=59245A529C5028F4B94D0D46CA7133AB?id=24363>

Semaan, M.: Population variability in the response of *Moinodaphnia macleayi* to uranium and cadmium. BAppSc (Hons) Thesis, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, Victoria, Australia. 1999

Semaan, M.; Holdway, D.A.; van Dam, R.A.: 2001. Comparative sensitivity of three populations of the cladoceran *Moinodaphnia macleayi* to acute and chronic uranium exposure. *Environ. Toxicol.* 16: 365-376 (2001)

Shand, P.; Edmunds, W.M.: The Baseline Inorganic Chemistry of European Waters. In: Edmunds, W.M.; Shand, P. (Hrsg.): *Natural Groundwater Quality*. S.22-58. Blackwell: Oxford 2008; in: HLUG 2010

Sheppard, S.C.; Sheppard, M.I.; Gallerand, M.O.; Sanipelli, B.: Derivation of ecotoxicity thresholds for uranium. *J. Environ. Radioact.* 79 (1): 55-83 (2005)

Sohr, A.; Lankau, R.: Ableitung eines GFS-analogen Wertes für Uran in Sachsen. *Wasser und Abfall* (2008) Nr. 7-8, 47-49

Suter II, G.W.: Organism-Level Effects. In: Suter II, G.W. (Hrsg.): *Ecological Risk Assessment*. S. 175-246. Lewis: FL-Boca Raton: 1993; zitiert in Canada 2011b

TGD 2003: Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part II. European Chemicals Bureau. Institute for Health and Consumer Protection. European Community. 2003

TGD-EQS 2011: Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Report -2011-055, Guidance Document No. 27 (2011) 1-203

Trenfield, M.A.; Ng, J.C.; Noller, B.N.; Markich, S.J.; van Dam, R.A. (2011): Dissolved organic carbon reduces uranium bioavailability and toxicity. 2. Uranium[VI] speciation and toxicity to three tropical freshwater organisms. *Environ. Sci. Technol.* 45 (7): 3082-3089

Trenfield, M.A.; Ng, J.C.; Noller, B.N.; Markich, S.J.; van Dam, R.A. (2012): Dissolved organic carbon reduces uranium toxicity to the unicellular eukaryote *Euglena gracilis*. *Ecotoxicology* 21 (4): 1013-1023

TrinkwV (2013): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) in der Neufassung der Bekanntmachung vom 2. August 2013, BGBl. I S. 2977-3004

van Dam, R.A.; Trenfield, M.A.; Markich, S.J.; Harford, A.J.; Humphrey, C.L.; Hogan, A.C.; Stauber, J.L. (2012): Reanalysis of uranium toxicity data for selected freshwater organisms and the influence of dissolved organic carbon. *Environ. Toxicol. Chem.* 31 (11): 2606-2614

van Dam, R.A.; Humphrey, C.L.; Harford, A.J.; Sinclair, A.; Jones, D.R.; Davies, S.; Storey, A.W. (2014): Site-specific water quality guidelines: 1. Derivation approaches based on physicochemical, ecotoxicological and ecological data. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 21 (1): 118-130

Vinot, H.; Larpent, J.P.: Water Pollution by Uranium Ore Treatment Works. *Hydrobiologia* 112: 125-129 (1984)

Warne, M.St.J.; van Dam, R. (2008): NOEC and LOEC Data Should No Longer Be Generated or Used. *Australasian J. Ecotoxicol.* 14: 1-5

WHO 2008: World Health Organization: Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. 1. Potable water – standards. 2. Water – standards. 3. Water quality – standards. 4. Guidelines. 668 Seiten. Genf: 2008.
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

Anhang 1: Daten mit Testdauern, die kürzer sind als für Tests auf akute Toxizität vorgegeben¹¹

grau hinterlegt: Basisdatensatz-Bestandteile (nur Standard-Testorganismen)

Die folgenden nicht üblicherweise gebrauchten Abkürzungen werden in der Literatur über Uran verwendet und sind im Folgenden auch zitiert:

BEC: Von einigen Autoren wird die No-Observed-Effect-Concentration (NOEC) als ungeeignet für eine Risikobewertung angesehen, weil nicht garantiert werden kann, dass bei dieser experimentell ermittelten Konzentration auch tatsächlich mit statistischer Sicherheit (z. B. zu 90 %) keine Wirkung hervorgerufen wird. Stattdessen wird der BEC₁₀ herangezogen, die sogenannte „10 % Bounded Effect Concentration“. Diese ist definiert als diejenige Konzentration, die innerhalb der 95%-Vertrauensgrenzen keine größere Wirkung als 10 % hervorruft. Im einfachen Fall ist dies die im Test eingesetzte Konzentration, für welche die obere Vertrauensgrenze („confidence limit“) unterhalb von 10 % liegt. Wenn auch die Vertrauensgrenzen der niedrigsten getesteten Konzentration die 10%-Wirkungsschwelle überschreiten, wird in einer 2-Schritt-Abschätzung zunächst die höchste Testkonzentration ermittelt, für welche die obere Vertrauensgrenze 25 % nicht überschreitet und dann in Richtung 0 % der 10%-Wert extrapoliert [Hoekstra und Ewijk 1993].

Von der Arbeitsgruppe um van Dam (mit zahlreichen Veröffentlichungen zur Uran-Ökotoxizität) wird inzwischen in einer Re-evaluation früherer Daten die EC₁₀ präferiert¹² [Warne und van Dam 2008, van Dam 2012]. Die Angabe wird von NOEC oder LOEC wird von diesen Autoren als nicht fachgerecht angesehen.

MDEC: Die MDEC („minimum detectable effect concentration“) wird von Ahsanullah und Williams (1991) als Alternative zur LOEC vorgeschlagen. Sie wird berechnet mit einem Regressionsmodell und ist definiert als diejenige Konzentration, bei welcher die Wirkung signifikant höher ist als in den Kontrollen. Analog zu den LOEC werden MDEC mittels Division durch 2 in NOEC umgerechnet.

Toxizität gegenüber Fischen:

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*):

LC₅₀ (48 h, fl.) = 59 000 µg/l (gemessen) [Parkhurst et al. 1984]

LC₁₀₀ (48 h, fl.) = 67 000 µg/l (gemessen) [Parkhurst et al. 1984]

Zebrabärbling (*Danio rerio*):

LC₅₀ (24 h, stat.) = 6400 µg/l (nominal) [Vinot und Larpent 1984]

Tüpfelgrundel (*Mogurnda mogurnda*):

LC₅₀ (48 h) = 2050 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (48 h) = 2150 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (72 h) = 1100 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (72 h) = 1460 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*):

LC₁₂ (48 h, fl.) = 51.000 µg/L (gemessen) [Parkhurst et al. 1984]

¹¹ Alle aufgeführten Spezies sind Süßwasserorganismen

¹² „The 10% effect/inhibition level was selected as the low/acceptable effect level because this has typically been the most accepted and reported level in the literature“

LC₅₀ (48 h, fl.) = 59.000 µg/L (gemessen) [Parkhurst et al. 1984]
LC₁₀₀ (48 h, fl.) = 67.000 µg/L (gemessen) [Parkhurst et al. 1984]

Glasbarsch (*Ambassis macleayi*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 800 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 800 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Zwerg-Blauauge (*Pseudomugil tenellus*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 820 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 730 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Magella-Hartköpfchen (*Craterocephalus marianae*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 1810 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 1220 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Schwarzband-Regenbogenfisch (*Melanotaenia nigrans*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 2110 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (48 h, semistat.) = 2370 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 1880 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 1970 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Gescheckter Regenbogenfisch (*Melanotaenia splendida inornata*):

LC₅₀ (48 h, semistat.) = 2750 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (48 h, semistat.) = 3840 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 2660 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 3460 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Toxizität gegenüber Wirbellosen:

Wasserfloh (*Daphnia magna*):

EC₀ (24 h, stat.; Schwimmfähigkeit) = 16.000 µg/L (nominal) [Knie et al. 1983]
EC₅₀ (24 h, stat.; Schwimmfähigkeit) = 30.000 µg/L (nominal) [Knie et al. 1983]
EC₁₀₀ (24 h, stat.; Schwimmfähigkeit) = 56.000 µg/L (nominal) [Knie et al. 1983]
LC₄₀ (24 h, stat.) = 100.000 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]
LC₅₀ (24 h, stat.) = 32.700 µg/L (nominal) [Vinot und Larpent 1984]
LC₆₀ (24 h, stat.) = 50.000 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

Wasserfloh (*Diaphanosoma excisum*):

LC₁ ≈ NOEC (24 h, semistat.) = 900 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (24 h, semistat.) = 1000 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Wasserfloh (*Latonopsis fasciculata*):

LC₁ (24 h, stat.) = 170 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₅₀ (24 h, stat.) = 410 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Wasserfloh (*Dadaya macrops*):

LC₁ ≈ NOEC (24 h, stat.) = 140 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (24 h, stat.) = 1100 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Wasserfloh (*Moinodaphnia macleayi*):

LC₁ (24 h, stat.) = 490 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₅₀ (24 h, semistat.) = 185 µg/L¹³ (gemessen) [ERISS, zitiert in Markich et al. 2002]

LC₅₀ (24 h, stat.) = 1290 µg/L (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Toxizität gegenüber Pflanzen:

Grünalge (*Chlorella* sp.):

MDEC (48 h, stat.; Zellzahl) = 0,67 µg/L¹³ (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Zellzahl) = 0,68 µg/L¹³ (gemessen; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Zellzahl) = 6,1 µg/L (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Zellzahl) = 6,1 µg/L (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 1,77 µg/L¹³ (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 1,5 µg/L¹³ (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 8,1 µg/L¹³ (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, stat.; Zellzahl) = 16 µg/L¹³ (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

BEC₁₀ (48 h) = 0,9 µg/L (8 mg/l CaCO₃) [Charles 2000, zitiert in Charles et al. 2002]

BEC₁₀ (48 h) = 3,5 µg/L (400 mg/l CaCO₃) [Charles 2000, zitiert in Charles et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Zellzahl) = 18 µg/L¹³ (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 20 µg/L (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Zellzahl) = 38 (22-54) µg/L (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Zellzahl) = 53 µg/L (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Zellzahl) = 71 µg/L¹³ (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

¹³ rückgerechnet auf elementares U aus [Markich und Camilleri 1997; Markich et al. 2002], die alle Angaben auf Uranyl-Kationen UO₂²⁺ bezogen haben, mit dem dort angegebenen Faktor 1,14

EC₅₀ (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 132 µg/L¹³ (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C)
[Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Zellzahl) = 132 µg/L¹³ (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₅₀ (48 h, stat.; Wachstum der Population) = 230 (200-260) µg/L (gemessen; 400 mg/l CaCO₃)
[Charles 2000, zitiert in Charles et al. 2002]

Anhang 2: Zusammenstellung von Ökotox-Daten, die nach TGD nicht oder nur ergänzend tabelliert werden oder durch Re-evaluation überholt sind (kursiv)¹⁴

Hinweis: *Kursiv gedruckte Daten* wurden von derselben Arbeitsgruppe re-evaluiert, die auch die ursprünglichen Untersuchungen durchgeführt hat [van Dam et al. 2012].

Die folgenden nicht üblicherweise gebrauchten Abkürzungen werden in der Literatur über Uran verwendet und sind im Folgenden auch zitiert:

BEC: Von einigen Autoren wird die No-Observed-Effect-Concentration (NOEC) als ungeeignet für eine Risikobewertung angesehen, weil nicht garantiert werden kann, dass bei dieser experimentell ermittelten Konzentration auch tatsächlich mit statistischer Sicherheit (z. B. zu 90 %) keine Wirkung hervorgerufen wird. Stattdessen wird der BEC₁₀ herangezogen, die sogenannte „10 % Bounded Effect Concentration“. Diese ist definiert als diejenige Konzentration, die innerhalb der 95%-Vertrauensgrenzen keine größere Wirkung als 10 % hervorruft. Im einfachen Fall ist dies die im Test eingesetzte Konzentration, für welche die obere Vertrauensgrenze („confidence limit“) unterhalb von 10 % liegt. Wenn auch die Vertrauensgrenzen der niedrigsten getesteten Konzentration die 10%-Wirkungsschwelle überschreiten, wird in einer 2-Schritt-Abschätzung zunächst die höchste Testkonzentration ermittelt, für welche die obere Vertrauensgrenze 25 % nicht überschreitet und dann in Richtung 0 % der 10%-Wert extrapoliert [Hoekstra und Ewijk 1993].

Von der Arbeitsgruppe um van Dam (mit zahlreichen Veröffentlichungen zur Uran-Ökotoxizität) wird inzwischen in einer Re-evaluation früherer Daten die EC₁₀ präferiert¹⁵ [Warne und van Dam 2008, van Dam 2012]. Die Angabe wird von NOEC oder LOEC wird von diesen Autoren als nicht fachgerecht angesehen.

MATC: höchste Konzentration, der ein Testorganismus ohne Schädigung ausgesetzt werden kann („maximum acceptable toxicant concentration“), berechnet als geometrischer Mittelwert zwischen NOEC und LOEC. Nach TGD 2011 sind MATC mittels Division durch $\sqrt{2}$ in NOEC umzurechnen.

MDEC: Die MDEC („minimum detectable effect concentration“) wird von Ahsanullah und Williams (1991) als Alternative zur LOEC vorgeschlagen. Sie wird berechnet mit einem Regressionsmodell und ist definiert als diejenige Konzentration, bei welcher die Wirkung signifikant höher ist als in den Kontrollen. Analog zu den LOEC werden MDEC mittels Division durch 2 in NOEC umgerechnet.

Kurzzeittests Fische¹⁶

Dickkopfelritze (Fathead Minnow, *Pimephales promelas*):

LC₁₇ (96 h, stat.) = 100.000 µg/L (nominal) [Poston et al. 1984]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 2800 µg/l (nominal; 20 mg/L CaCO₃) [Tarzwell und Henderson 1960, zitiert in Liber et al. 2004b, CAN 2011b]¹⁶

LC₅₀ (96 h, stat.) = 135.000 µg/l (nominal; 400 mg/L CaCO₃) [Tarzwell und Henderson 1960, zitiert in Liber et al. 2004b, Sheppard et al. 2005, CAN 2011b]¹⁶

MATC (7 d, semistat.; Mortalität, Early Lifestage) = 990-1500 µg/L je nach Härte (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀ (7 d, semistat.) = 1040 (760/980/1200/1300) µg/l (gemessen) (geometrischer Mittelwert aus vier Tests) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a, b]

LOEC (7 d, semistat.; Mortalität, Early Lifestage) = 1300-2000 µg/L je nach Härte (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

¹⁴ Alle aufgeführten Spezies sind Süßwasserorganismen

¹⁵ „The 10% effect/inhibition level was selected as the low/acceptable effect level because this has typically been the most accepted and reported level in the literature“

¹⁶ Nicht in weitere Bewertung aufgenommen: schlechte Charakterisierung der Wasserqualität, keine Aussage zur Kontroll-Mortalität, keine Charakterisierung des Entwicklungsstadiums

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*):

LC₀ (96 h, fl.) = 2700 µg/l (nominal) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

LC₀ (96 h, fl.) = 5000 µg/l (nominal?) [Davies 1980, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀₀ (96 h, fl.) = 6700 µg/L (nominal) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀₀ (96 h, fl.) = 10.000 µg/L (nominal?) [Davies 1980, zitiert in CAN 2011b]

Blauer Sonnenbarsch (*Lepomis macrochirus*):

LC₀ (96 h, stat.) = 1250 µg/l (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in CAN 2011b]

LC₂₅ (96 h, stat.) = 1400 µg/l (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in Sheppard et al. 2005]

LC₄₀ (96 h, stat.) = 1880 µg/l (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀₀ (96 h, stat.) = 2500 µg/l (gemessen) [Trapp 1986, zitiert in CAN 2011b]

Gescheckter Regenbogenfisch (*Melanotaenia splendida inornata*):

LC₁ (96 h, fl.; 14 Tage alt) = 320 (140-490) µg/l (gemessen) [Holdway 1992]

LC₂₉ (7 d, fl.; 31 Tage alt) = 1560 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

EC₃₁ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität und Schwimmblasenentwicklung; 31 Tage alt) = 810 (790-1040) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

EC₁₀₀ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität und Schwimmblasenentwicklung) = 1560 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

Tüpfelgrundel (*Mogurnda mogurnda*):

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1050 µg/l (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1100 µg/l (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1450 µg/l (gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1510 µg/l (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1530 µg/l (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1835 µg/l (gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, fl.; Mortalität, 40 und 70 Tage alt) = 2260 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]

LC₁ (96 h, semistat.; 7 Tage alt) = 158 (57-273) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₁ (96 h, semistat.; 90 Tage alt) = 230 (92-383) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]

LC₁ (96 h, fl.; 6 Tage alt) = 700 (310-980) µg/l (gemessen) [Holdway 1992]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 570 µg/L (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 725 µg/L (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 860 µg/L (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 900 µg/L (gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC_{10} (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1110 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 BEC_{10} (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1410 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 860 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 915 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1040 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Dottersack-Brut) = 1140 $\mu\text{g/L}^{17}$ (gemessen) [Franklin et al. 2000, zitiert in Charles 2006; Markich und Camilleri 1997, zitiert in Riethmuller et al. 2000, Markich et al. 2002]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1220 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1240 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
MDEC (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1460 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 LC_{30} (96 h, fl.; Mortalität, 6 Tage alt) = 1090 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1280 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1310 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1530 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1770 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1950 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 $LOEC$ (96 h, semistat.; Embryonen-Mortalität) = 1990 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]
 LC_{100} (96 h, fl.; 40 und 60 Tage alt) = 4320 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]

$NOEC$ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Larven, Längenentwicklung) < 400 $\mu\text{g/l}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 $NOEC$ (7 d, fl.; Mortalität; 15 Tage alt) = 810 $\mu\text{g/l}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 $NOEC$ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität, 40 Tage alt) = 1090 $\mu\text{g/l}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 $NOEC$ (7 d, fl.; Mortalität, 40 und 70 Tage alt) = 2260 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 $NOEC$ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität, Größe, 70 Tage alt) = 2260 $\mu\text{g/l}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 LC_{31} (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 1 Tag alt) = 810 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 LC_1 (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 40 Tage alt) = 310 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 LC_1 (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 1 Tag alt) = 410 (260-510) $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]
 LC_1 (7 d, fl.; 40 Tage alt) = 910 $\mu\text{g/L}$ (gemessen) [Holdway 1992]

¹⁷ rückgerechnet auf elementares U aus [Markich und Camilleri 1997; Markich et al. 2002], die alle Angaben auf Uranyl-Kationen UO_2^{2+} bezogen haben, mit dem dort angegebenen Faktor 1,14

LC₁ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 70 Tage alt) = 1210 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (7 d, fl.; 1 Tag alt) = 1270 (1220-1330) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Larven, Längenentwicklung) = 400 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (7 d, fl.; Mortalität, 15 Tage alt) = 1560 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; Mortalität, 40 Tage alt) = 2260 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (7 d, fl.; Mortalität, 40 und 70 Tage alt) = 4320 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁₀₀ (7 d + 7 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität, 40 und 70 Tage alt) = 4320 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁₀₀ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 1 Tag alt) = 1560 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁₀₀ (7 d, fl. + 7 d Nachbeobachtung; 1 Tag alt) = 1560 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

NOEC (14 d + 15 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität, Größe) = 440 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]
NOEC (14 d, fl.; Mortalität, Größe) = 880 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (14 d + 15 d Nachbeobachtung, fl.) = 280 (70-459) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (14 d, fl.) = 750 (180-1050) µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (14 d + 15 d Nachbeobachtung, fl.; Mortalität, Größe) = 880 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]
LOEC (14 d, fl.; Mortalität, Größe) = 1790 µg/L (gemessen) [Holdway 1992]

Zwerg-Blauauge (*Pseudomugil tenellus*):

LC₁ (96 h, semistat.) = 71 (16-153) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Glasbarsch (*Ambassis macleayi*):

LC₁ (96 h, semistat.) = 73 (18-174) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Magella-Hartköpfchen (*Craterocephalus marianae*):

LC₁ (96 h, semistat.) = 260 (58-447) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]

Gescheckter Regenbogenfisch (*Melanotaenia splendida inornata*):

NOEC (96 h, fl.; Mortalität) = 560 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (96 h, semistat.; 90 Tage alt) = 260 (38-569) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]
LC₁ (96 h, fl.) = 320 (140-490) µg/l (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (96 h, semistat.; 7 Tage alt) = 880 (440-1245) µg/l (gemessen) [Bywater et al. 1991]
NOEC (7 d, fl.; Mortalität) = 810 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]
LC₁ (7 d, fl.; 31 Tage alt) = 420 µg/l (gemessen) [Holdway 1992]

Hecht (*Esox lucius*):

LC₁₀ (7 d) = 2550 µg/l [Liber et al. 2005, zitiert in CAN 2011a]

Langzeittests Fische

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*):

EC₅₀ (30/31 d, semistat.; Early Lifestage) = 280 µg/l (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (30/31 d, semistat.; Early Lifestage) = 460 µg/l (gemessen; 6 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (30/31 d, semistat.; Early Lifestage) = 610 µg/l (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (30/31 d, semistat.; Early Lifestage) = 640 µg/l (gemessen; 61 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

Amerikanischer Seesaibling (*Salvelinus namaycush*):

MATC (141 d, semistat.; Mortalität) = 13.400 µg/L [berechnet aus Daten von Liber 2004a in CAN 2011a, b]

LOEC (141 d, semistat.; Mortalität) = 29.800 µg/L (gemessen) [Liber 2004a, zitiert in CAN 2011b]

Saugkarpfen (*Catostomus commersoni*):

MATC (30 d, semistat.; Brut) = 14.300 µg/L [errechnet aus Daten von Liber et al. 2004b in CAN 2011b]

LC₀ (30 d, semistat.; Brut) = 27.900 µg/L (gemessen) [Liber et al. 2004b]

LOEC (30 d, semistat.; Brut, Körperlänge und -gewicht) = 27.900 µg/L (gemessen) [Liber et al. 2004b]

Hecht (*Esox lucius*):

MATC (65 d, semistat.; Embryos) = 2550 µg/L [errechnet aus Daten von Liber et al. 2005 in CAN 2011b]

LOEC (65 d, semistat.; Embryos) = 4320 µg/L (gemessen) [Liber et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

Tüpfelgrundel (*Mogurnda mogurnda*):

LOEC (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) = 800 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

LOEC (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) = 1400 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

LC₅₀ (28 d, fl.; Larven: Mortalität) = 1070 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

LC₅₀ (28 d, fl.; Larven: Mortalität) = 2090 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010];

EC₅₀ (28 d, fl.; Larven: Gewicht) = 1130 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

EC₅₀ (28 d, fl.; Larven: Länge) > 1200 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,0) [Cheng et al. 2010];

EC₅₀ (28 d, fl.; Larven: Gewicht, Länge) > 1400 µg/l (nominal; 3-5 mg/l CaCO₃, 27 °C, pH=6,7) [Cheng et al. 2010]

Kurzzeittests Wirbellose

Wasserfloh (*Daphnia magna*):

LOEC (48 h, stat.; "stimulus avoidance") = 13.000 µg/L (nominal) [Bringmann und Kühn 1959]
LC₈₀ (48 h, stat.; Larven) = 10.000 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]
LC₁₀₀ (48 h, stat.; Larven) = 50.000 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]
EC₂₅ (96 h) = 900 µg/L (empfindlichster Klon von 4) [Barata et al. 1998, zitiert in Sheppard et al. 2005]
LC₂₇ (5 d, semistat.; Larven) = 520 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]
LC₁₀₀ (5 d, semistat.; Larven) = 1440 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):

LC₀ (48 h, semistat.) = 44 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₅ (48 h, semistat.) = 51 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₂₀ (48 h, semistat.) = 540 µg/l (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]
LC₄₅ (48 h, semistat.) = 88 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₉₅ (48 h, semistat.) = 160 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) = 81 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) ≥ 100 µg/l (nominal; Uranoxid) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) = 127 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) = 160 µg/l (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) = 300 µg/l (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]
LC₁₀₀ (48 h, semistat.) = 500 µg/l (gemessen; Uranyl Nitrat) [Pickett et al. 1993]
LC₂₀ (48 h, semistat.) = 970 µg/l (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

Wasserfloh (*Moinodaphnia macleayi*):

NOEC (48 h, semistat.; Immobilisierung) < 165 µg/l (nominal; geometr. Mittel aus 7 Tests) [Semaan et al. 2001]
MDEC (48 h) = 288 µg/L [Markich 2000 zitiert in Charles 2006]
LOEC (48 h, semistat.; Immobilisierung) = 100-370 µg/L (nominal; n=7) [Semaan et al. 2001]
LOEC (48 h, stat.; Immobilisierung) = 180-370 µg/L (gemessen) [Semaan et al. 2001]
LOEC (48 h, semistat.; Mortalität) = 200 µg/L (nominal) [Hyne et al. 1993, zitiert in ECOTOX 2012]
LOEC (5 d, semistat.; Mortalität) = 7->46 µg/L (gemessen) [Semaan et al. 2001]
LOEC (5 d, semistat.; Mortalität) = 25 µg/L (nominal) [Hyne et al. 1993, zitiert in ECOTOX 2012]
LOEC (5 d, semistat.; Mortalität) = 36-49 µg/L (gemessen) [Semaan et al. 2001]
LOEC (5 d, semistat.; Mortalität) = 41-44 µg/L (gemessen) [Semaan et al. 2001]

Süßwassermuschel (*Velesunio angasi*):

BEC₁₀ (48 h, fl.; Klappenbewegung) = 54-800 µg/l¹⁷ (gemessen in 22 Tests; 28 °C, 3,9 mg/L CaCO₃, Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff <0,2 – 8,9 mg/L, pH=5,0-6,0) [Markich und Camilleri 1997]
MDEC (48 h, fl.; Klappenbewegung) = 57-584 µg/L¹⁷ (gemessen in Tests; 28 °C, 3,9 mg/L CaCO₃, Gehalte an gelöstem organischem Kohlenstoff <0,2 – 8,9 mg/L, pH=5,0-6,0) [Markich et al. 1998, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (48 h, fl.; Klappenbewegung) = 84-845 µg/L (gemessen) [Markich et al. 2000, zitiert in CAN 2011b]

Grüne Hydra (*Hydra viridissima*):

NOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 32 µg/l (gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Mortalität) = 62 µg/l (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 130 µg/l (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 150 µg/l (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 14 µg/L (gemessen; 6,6 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 49 µg/l (27-63 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 6,6 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 128 µg/l (111-142 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 165 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 57 µg/l (re-evaluiert; gemessen; 165 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 76 µg/l (180-232 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 330 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 27 °C; pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, van Dam 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 29 µg/l (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 64 µg/l (15-82 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/l CaCO₃; 0,9 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 122 µg/l (17-156 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/l CaCO₃; 4,9 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 146 µg/l (94-185 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/l CaCO₃; 9,7 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 229 µg/l (re-evaluiert; nominal; 3,6 mg/l CaCO₃; 19,5 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 28 µg/l (23-32 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 16 µg/l (0,3-24 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/l CaCO₃; 0,9 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 22 µg/l (4,7-31 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/l CaCO₃; 4,8 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 48 µg/l (26-66 µg/l) (re-evaluiert; nominal; 4,6 mg/l CaCO₃; 9,7 mg/l DOC; 26 °C; pH=6,1) [Trenfield et al. 2011, van Dam et al. 2012]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 25 µg/L (gemessen; 165 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

BEC₁₀ (96 h, semistat.; Mortalität) = 47 µg/L (gemessen; 330 mg/L CaCO₃) [Riethmuller et al. 2000]

EC₁₀ (96 h, semistat.; Wachstumsrate der Population) = 65 µg/l (58-73 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 3,6 mg/l CaCO₃; 0 mg/l DOC; 27 °C; pH=6) [Markich und Camilleri 1997, van Dam 2012]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 95 (89-100) µg/l¹⁷ (gemessen; 4 mg/l CaCO₃; 27 °C, pH=6,0) [Markich und Camilleri 1997]

EC₅₀ (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 114 (107-121) µg/l (gemessen; 6,6 mg/l CaCO₃; 27 °C, pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, 2001]

EC_{50} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 171 (150-192) $\mu\text{g/l}$ (gemessen; 165 mg/l CaCO_3 ; 27 °C, pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, 2001]

EC_{50} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 177 (166-188) $\mu\text{g/l}$ (gemessen; 165 mg/l CaCO_3 ; 27 °C, pH=6,0) [Riethmuller et al. 2000, 2001]

EC_{50} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 219 (192-246) $\mu\text{g/l}$ (gemessen; 330 mg/l CaCO_3 ; 27 °C, pH=6) [Riethmuller et al. 2000, 2001]

BEC_{10} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 49 $\mu\text{g/L}^{17}$ (gemessen; 3,9 mg/L CaCO_3) [Markich und Camilleri 1997]

BEC_{10} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 81 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

MDEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 32 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000, 2001]

MDEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 42 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

MDEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 54 $\mu\text{g/L}^{17}$ (gemessen; 3,9 mg/L CaCO_3) [Markich und Camilleri 1997]

MDEC (96 h, semistat.; Mortalität) = 62 $\mu\text{g/l}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

MDEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 90 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 62 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 6,6 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 87 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 330 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 160 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 4 mg CaCO_3 , Trockenperiode) [Allison und Holdway 1988, zitiert in Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 162 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 171 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 165 mg/L CaCO_3) [Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 194 $\mu\text{g/L}$ (gemessen; 4 mg CaCO_3 , Regenperiode) [Allison und Holdway 1988, zitiert in Riethmuller et al. 2000]

NOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population, Reproduktion) = 150 $\mu\text{g/l}$ (nominal) [Hyne et al. 1992]

EC_{10} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 104 $\mu\text{g/l}$ (re-evaluiert; nominal; 30 °C; pH= 6,5) [Hyne et al. 1992, van Dam 2012]

EC_{10} (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 170 $\mu\text{g/l}$ (re-evaluiert; nominal; 30 °C; pH= 6,4) [Hyne et al. 1992, van Dam 2012]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 150 $\mu\text{g/L}$ (nominal) [Hyne et al. 1992]

EC_{40} = LOEC (4 d, semistat.; Wachstum der Population) = 200 $\mu\text{g/L}$ (nominal) [Hyne et al. 1992]

Gemeiner Süßwasserpoly (Hydra vulgaris):

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 740 $\mu\text{g/l}$ (gemessen; 4 mg CaCO_3 , Trockenperiode) [Allison und Holdway 1988, zitiert in Riethmuller et al. 2000]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 400 $\mu\text{g/l}$ (nominal) [Hyne et al. 1992]

LOEC (96 h, semistat.; Wachstum der Population) = 550 $\mu\text{g/l}$ (nominal) [Hyne et al. 1992]

mexikanischer Bachflohkrebs (*Hyalella azteca*):

LC₁₀ (7 d, semistat.) = 540 µg/l (gemessen; 120 mg/L CaCO₃) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀ (7 d, semistat.) = 1200 µg/l (gemessen; 120 mg/L CaCO₃) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

LC₂₅ (7 d, semistat.) = 300 µg/l (gemessen; 120 mg/L CaCO₃) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

LC₂₅ (7 d, semistat.) = 2100 µg/l (gemessen; 120 mg/L CaCO₃) [Alves et al. 2009, zitiert in CAN 2011b]

MATC (14 d, semistat.; Wachstum) = 66 µg/L (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

MATC (14 d, semistat.; Mortalität) = 90-130 µg/L (gemessen) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

LC₁₀ (14 d, semistat.) = 55-88 µg/l (gemessen; 17-238 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011a,b]

NOEC (28 d, semistat.) = 57 µg/l (?)¹⁸ (gemessen; 73 mg/l CaCO₃; 23 °C; pH=8,2) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Langzeittests Wirbellose

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):

LC₁₀ (7 d, semistat.) = 28-140 µg/L (gemessen; 5, 17, 124 und 252 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₁₀ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 32 (22/25/33/59) µg/L (geometrischer Mittelwert aus vier Tests) [berechnet aus Daten von Vizon 2004 in CAN 2011b]

EC₁₀ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 1900 µg/L [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

EC₁₀ (7 d, Reproduktion) = 73 (22/25/33/59/1900) µg/L (geometrischer Mittelwert aus fünf Tests) [berechnet aus Daten von Liber et al. 2007 und Vizon 2004 in CAN 2011a]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,7 µg/L (nominal; UranylNitrat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 4,7 µg/L (nominal; UranylNitrat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 6,0 µg/l (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 8,0 µg/L (nominal; UranylNitrat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 50 µg/l (nominal; Urandioxid) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.) = 65 µg/L (nominal; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 300 µg/L (nominal) bzw. 43 µg/l ("recovered")(Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

LOEC (7 d, semistat.; Neugeborene) = 6400 µg/L (gemessen; 76 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

MATC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 2,0 µg/L (gemessen oder nominal) [Pickett et al. 1993, zitiert in CAN 2011b, ECOTOX 2012]

MATC (7 d, semistat.; Neugeborene; Mortalität, Zahl der Jungen) = 3,6 µg/L (nominal) [Pickett et al. 1984, zitiert in ECOTOX 2012]

MATC (7 d, semistat.; Neugeborene; Mortalität, Zahl der Jungen) < 8,0 µg/L (nominal) [Pickett et al. 1984, zitiert in ECOTOX 2012]

MATC (7 d, semistat.; Reproduktion) = 37-100 µg/L (gemessen; 5, 17, 124 und 252 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

¹⁸ Wert unplausibel, da höher als EC₁₀ und LC₅₀

MATC (7 d, semistat.; Neugeborene; Zahl der Jungen, Mortalität) = 40 µg/L (nominal) [Pickett et al. 1984, zitiert in ECOTOX 2012]

MATC (7 d, semistat.; Mortalität) = 96-270 µg/L (gemessen; 5, 17, 124 und 252 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 3 µg/L (gemessen) [Pickett et al. 1993, zitiert in Sheppard et al. 2005]

EC₂₅ (7 d, semistat.; Neugeborene) = 2700 µg/L (gemessen; 76 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

LC₄₀ (7 d, semistat.) = 65 µg/L (nominal = gemessen; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

EC₅₀ (7 d, semistat.; Reproduktion) = 170 µg/L (nominal) bzw. 50 µg/l ("recovered")(Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993]

EC₅₀ (7 d, semistat.; Neugeborene) = 3970 µg/L (gemessen; 76 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

LC₇₀ (7 d, semistat.) = 80 µg/L (nominal = gemessen; Uranylhydrogenphosphat) [Pickett et al. 1993] 2004, zitiert in CAN 2011a,b]

Wasserfloh (*Daphnia magna*):

MATC (21 d, semistat.; Reproduktion) = 1700 µg/L [berechnet in CAN 2011a,b nach Daten von Poston et al. 1984]

LOEC (21 d, semistat.; Reproduktion) = 520 und 2250 µg/L (gemessen; 2 Tests) [Poston et al. 1984]

LOEC (21 d, semistat.) = 1810 µg/L (gemessen; 75 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₃₀ (21 d, semistat.; Mortalität) = 520 µg/l (gemessen) [Poston et al. 1984]

EC₄₆ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 520 µg/l (gemessen) [Poston et al. 1984]

LC₅₀ (21 d, semistat.) = 850 µg/l (gemessen; 75 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 1250 µg/l (gemessen; 75 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₈₉ (21 d, semistat.; Mortalität) = 2250 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

EC₉₅ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 2250 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

EC₁₀₀ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 3540 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

Wasserfloh (*Simocephalus serrulatus*):

EC₁₀ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 480 µg/l [berechnet nach Daten von Liber et al. 2007 in CAN 2011b]

LOEC (21 d, semistat.; Reproduktion) = 1820 µg/L (gemessen; 78 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (21 d, semistat.; Reproduktion) = 1900 µg/l (gemessen; 78 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

LC₅₀ (21 d, semistat.) = 3860 µg/l (gemessen; 78 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

mexikanischer Bachflohkrebs (*Hyalella azteca*):

LOEC (28 d, semistat.) = 156 µg/L (gemessen; 73 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (28 d, semistat.; Wachstum) = 27 µg/l (gemessen; 73 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 67 µg/l (gemessen; 73 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

LC₅₀ (28 d, semistat.; Wachstum) = 30 µg/l (gemessen; 73 mg/L CaCO₃) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Wasserfloh (*Moinodaphnia macleayi*):

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 20->46 µg/L (gemessen; 3 Tests) [Semaan et al. 2001]

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 31-44 µg/L (gemessen; 2 Tests) [Semaan et al. 2001]

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 36-49 µg/L (gemessen; 2 Tests) [Semaan et al. 2001]

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 37 µg/L¹⁷ (nominal) [Semaan 1999, zitiert in Markich et al. 2002]

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 19,3 µg/L¹⁷ (gemessen) [ERISS, zitiert in Markich et al. 2002]

LOEC (5 d, semistat.; Reproduktion) = 17,5 µg/L¹⁷ (nominal) [Semaan 1999, zitiert in Markich et al. 2002]

EC₂₅ (5 d, semistat.; Reproduktion) = 15 µg/l [Hyne et al. 1993, zitiert in Sheppard et al. 2005]

EC₂₅ (5 d, semistat.; Reproduktion) = 25 µg/l [Semaan et al. 2001, zitiert in Sheppard et al. 2005]

EC₅₀ (5 d, semistat.; Reproduktion) = 39 µg/l¹⁷ (gemessen) [ERISS, zitiert in Markich und Camilleri 1997, Markich et al. 2002]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 32 µg/l (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 5,2 mg/l CaCO₃; pH=6,7) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 48 µg/l (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 4,6 mg/l CaCO₃; pH=6,8) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 36 µg/l (33-39 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; 4,6 mg/l CaCO₃; pH=6,9) [Semaan et al. 2001, van Dam 2012]

EC₁₀ (5-6 d, semistat.; Mortalität) = 13 µg/l (re-evaluiert; 27 °C; pH=6,7) [Hyne et al. 1993, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; Mortalität) = 22 µg/l (15-26 µg/l) (re-evaluiert; 27 °C; pH=6,7) [Hyne et al. 1993, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 39 µg/l (27-54 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=6,5) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 37 µg/l (25-50 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=6,7) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 21 µg/l (20-22 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=7,0) [ERISS 1992, van Dam 2012]

EC₅₀ (5-6 d, semistat.; 3 Bruten Reproduktion) = 24 µg/l (20-29 µg/l) (re-evaluiert; gemessen; 27 °C; pH=7,0) [ERISS 1992, van Dam 2012]

NOEC (5-6 d, semistat.; Mortalität) = 4-46 µg/l (gemessen; 3 Tests; 27 ± 1 °C; pH=6,5-7,7) [Semaan et al. 2001]

NOEC (5 d, semistat.; Mortalität) = 10 µg/l (nominal) [Hyne et al. 1993, zitiert in ECOTOX 2012]

NOEC (5-6 d, semistat.; Reproduktion, Mortalität) = 22-31 µg/l (gemessen; 2 Tests; 27 ± 1°C; pH=6,5-7,7) [Semaan et al. 2001]

NOEC (5-6 d, semistat.; Reproduktion, Mortalität) = 25-29 µg/l (gemessen; 2 Tests; 27 ± 1°C; pH=6,5-7,7) [Semaan et al. 2001]

Lungenschnecke (*Amerianna cumingi*):

LOEC (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 61 µg/l (gemessen; 2-6 mg/l DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

EC₂₅ (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 61 µg/l (gemessen; 2-6 mg/l DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

EC₅₀ (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 278 µg/l (gemessen; 2-6 mg/l DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

EC₆₀ (96 h, stat.; Hemmung der Eiproduktion) = 320 µg/l (gemessen; 2-6 mg/l DOC; 30 °C; pH=5,8-6,8) [Hogan et al. 2010]

Kurz- und Langzeittests Pflanzen

Grünalge (*Chlorella* sp.):

LOEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 70 µg/L (gemessen; 27 °C, pH=6,2) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

LOEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 120 µg/L (gemessen; 27 °C, pH=6,2) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 44 (39-49) µg/l (gemessen; 3,9 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=6,5) [Franklin et al. 2000]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 56 (52-60) µg/l (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=7,0) [Charles 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 72 µg/L (52-92) µg/l (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 74 µg/l (gemessen; 27 °C) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 78 (71-83) µg/l (gemessen; 27 °C; pH=5,7) [Franklin et al. 2000]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 137 µg/l (gemessen; 27 °C) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

EC₅₀ (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 270 (230-300) µg/l (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=7,0) [Charles 2002]

NOEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 72 µg/l (gemessen; 27 °C; natürl. Wasser) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

BEC₁₀ (72 h) = 0,7 µg/l (8 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002]

NOEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 38 µg/l (gemessen; 3,6 mg/l CaCO₃; 29 °C; pH=6,5; synthet. Wasser) [Hogan et al. 2005, zitiert in CAN 2011b]

BEC₁₀ (72 h) = 4,5 µg/l (400 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=7,0) [Charles et al. 2002]

BEC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 11 µg/l (gemessen; 3,9 mg/l CaCO₃) [Franklin et al. 2000]

BEC₁₀ (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 21 µg/l (gemessen; 3,9 mg/l CaCO₃; 27 °C; pH=5,7) [Franklin et al. 2000]

MDEC (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 13 µg/l (gemessen; 27 °C; pH=6,5) [Franklin et al. 2000]

MDEC (72 h, stat.; Wachstumsrate) = 34 µg/l (gemessen; 27 °C; pH=5,7) [Franklin et al. 2000]

MDEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 117 µg/l¹⁷ (gemessen; 30°C) [Hogan et al. 2005, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Zellzahl) = 0,73 µg/l¹⁷ (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Zellzahl) = 0,88 µg/l¹⁷ (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Zellzahl) = 1,4 µg/l¹⁷ (gemessen; 8 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 1,5 µg/l¹⁷ (gemessen; 40 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 1,6-12 µg/l (gemessen) [Charles 2002, berechnet in CAN 2011b]

MDEC (72 h, stat.; Zellzahl) = 2,5 µg/l¹⁷ (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 3,9 µg/l¹⁷ (gemessen; 100 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2002, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Zellzahl) = 5,6 µg/l¹⁷ (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2000, zitiert in Markich et al. 2002]

MDEC (72 h, stat.; Wachstum der Population) = 10,5 µg/l¹⁷ (gemessen; 400 mg/l CaCO₃; 27 °C) [Charles 2002, zitiert in Markich et al. 2002]

Grünalge (*Selenastrum capricornutum*, neu *Pseudokircheneriella subcapitata*):

EC₂₅ (72 h, stat; Wachstum) = 27 µg/l (gemessen; 5 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (72 h, stat; Wachstum) = 60 µg/l (64 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (72 h, stat; Wachstum) = 94 µg/l (15 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (72 h, stat; Wachstum) = 100 µg/l (122 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (72 h, stat; Wachstum) = 150 µg/l (228 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=6,8-8,2) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (72 h, semistat; Wachstum) = 190 µg/L (gemessen; 70 mg/L CaCO₃; 27 °C; pH=7,8-9,7) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Kleine Wasserlinse (*Lemna minor*):

EC₂₅ (7 d, stat; Trockenmasse) = 4700 µg/l (gemessen; 35 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (7 d, stat; Zahl der Wedel) = 6400 µg/l (gemessen; 35 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (7 d, stat; Trockenmasse) = 12.300 µg/l (gemessen; 137 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

EC₂₅ (7 d, stat; Zahl der Wedel) = 13.300 µg/l (gemessen; 137 mg/L CaCO₃) [Vizon 2004, zitiert in CAN 2011b]

Wasserpest (*Lemna aequinoctialis*):

EC₂₅ (96 h, stat.; Hemmung des Wachstums) = 363 µg/l (gemessen; 3-4 mg/l DOC; 29 °C; pH=6,6-6,9) [Hogan et al. 2010]

Goldbraune Alge (*Cryptomonas erosa*):

EC₂₅ (6 d, semistat.; Wachstum) = 440 µg/l (gemessen; 101 mg/L CaCO₃; 21 °C; pH=7,1-9,1) [Liber et al. 2007, zitiert in CAN 2011b]

Insekten

Zuckmücke (*Chironomus tentans*):

LC₈₀ (96 h, stat.) = 50.000 µg/L (gemessen) [Poston et al. 1984]

MATC (10 d, semistat.; Wachstum) = 78 µg/l (gemessen; 134 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,8)
[Muscatello und Liber 2009, zitiert in CAN 200b]

LOEC (10 d, semistat.; Wachstum) = 157 µg/l (gemessen; 134 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=7,8)
[Muscatello und Liber 2009, zitiert in CAN 200b]

EC₂₅ (28 d, semistat.; Wachstum) = 1930 µg/l (gemessen; 80 mg/L CaCO₃; 23 °C; pH=8,0) [Liber et al. 2007, zit. CAN 2011a, b]