

**Ableitung eines vorläufigen Geringfügigkeitsschwellenwertes
für Formaldehyd für den Pfad Boden – Grundwasser**

**Autoren:
Regine Gühr (HLUG)
Dr. Gerd Rippen (Göttingen)**

Wiesbaden, 21. Oktober 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Grundlagen zur Ableitung des Geringfügigkeitsschwellenwertes	4
2.1	Methodik.....	4
2.2	Datenbasis.....	5
3	Allgemeine Angaben	8
3.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften und Angaben zu Persistenz und Akkumulation von Formaldehyd	8
3.2	Bestehende Regelungen, Klassifizierungen, Richt- und Grenzwerte für Formaldehyd.....	9
4	Beurteilung der gesundheitlichen Wirkung von Formaldehyd beim Menschen	11
5	Beurteilung der ökotoxischen Wirkungen von Formaldehyd	13
5.1	Allgemeines.....	13
5.2	Trophiestufe der Primärproduzenten: Ökotoxizitätsdaten für Algen und Mikroorganismen....	15
5.2.1	Sensitive Daten zur akuten Toxizität von Algen.....	15
5.2.2	Sensitive Daten zur chronischen Toxizität von Algen	15
5.2.3	Daten für Mikroorganismen	16
5.3	Trophiestufe der Primärkonsumenten: Ökotoxizitätsdaten für u.a. Kleinkrebse (Daphnien) ...	17
5.3.1	Daten zur akuten Toxizität	17
5.3.2	Daten zur chronischen Toxizität	18
5.4	Standardtrophiestufe der Sekundärkonsumenten: Ökotoxizitäten für Fische.....	18
5.4.1	Sensitive Daten zur akuten Toxizität gegenüber Fischen	18
5.4.2	Sensitive Daten zur chronischen Toxizität gegenüber Fischen.....	19
5.5	Ökotoxizitäten für andere Organismen	20
6	Ableitung der PNEC und der GFS	21
6.1	Allgemeine Regeln	21
6.2	Ableitung der PNEC und der GFS für Formaldehyd	21
7	Literatur	23
Anhang A:		36
Zusammenstellung ökotoxikologischer Daten für Spezies verschiedener trophischer Ebenen		36

1 Zusammenfassung

Im Rahmen einer geplanten Sanierungsmaßnahme in mit Formaldehyd belastetem Grundwasser wurde durch das HLUG eine Geringfügigkeitsschwelle für Formaldehyd abgeleitet.

Die Vorschläge für einen Geringfügigkeitsschwellenwert resultieren vereinbarungsgemäß aus einer vergleichenden Betrachtung der Schutzziele menschliche Gesundheit und Gesundheit aquatischer Organismen. Für beide Schutzziele sollen Konzentrationen für Formaldehyd im Grundwasser ermittelt werden, die bei einer langfristigen Aufnahme mit hinreichender Wahrscheinlichkeit keine nachteiligen Wirkungen verursachen.

Die OECD hat 2002 eine $PNEC_{\text{aquat}}$ von $5,8 \mu\text{g/l}$ für Formaldehyd abgeleitet. Die Ableitung erfolgte aus der akuten Wirkung EC_{50} (48 h) gegenüber dem Wasserfloh *Daphnia pulex* mit einem angesetzten Sicherheitsfaktor von 1000 gemäß der EU-Risk-Assessment-Vorgehensweise. Dieser Wert wurde noch 2008 in einem ECHA-Dokument (European Chemicals Agency) zitiert.

Im vorliegenden Bericht erfolgt eine Aktualisierung des GFS-Wertes über die derzeitige, wesentlich umfangreichere Datenlage.

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor einer schädlichen Exposition über das Trinkwasser gab Dieter 2009 für Formaldehyd einen „teilwissensbasierten Höchstwert (GOW_{max})“ von $10 \mu\text{g/l}$ an.

Allerdings wurde Formaldehyd von der Weltgesundheitsorganisation 2004 in die Gruppe 1 (Krebs erzeugend am Menschen) eingestuft, damals noch unter der Maßgabe, dass die Krebs erzeugende Wirkung über den Nasen-Rachen-Raum erfolgt, nicht aber bei oraler Aufnahme. Aus einer sehr ausführlichen Neubewertung der Krebs erzeugenden Wirkung der U.S. Environmental Protection Agency aus epidemiologischen Studien und Tierversuchen ergeben sich allerdings deutliche Hinweise auf Hodgkin-Lymphome und Leukämie-Arten, auch bei oraler Aufnahme. Die Aussage wird allerdings in einer neuen Veröffentlichung eines für die Bewertung der (Draft-)Publikation eingerichteten Komitees teilweise in Zweifel gezogen. Die weitere wissenschaftliche Diskussion bleibt abzuwarten.

Ein statistisches Zusatzrisiko von 10^{-6} wäre nach der U.S.-EPA-Arbeit bei einer Konzentration von $9 \text{ ng Formaldehyd je m}^3$ eingeatmeter Luft gegeben. Entsprechend umgerechnet läge ein Trinkwasser-Richtwert bei nur ca. 10 ng/l , somit um den Faktor 1000 niedriger als der oben angegebene GOW_{max} von $10 \mu\text{g/l}$.

Betrachtet man die ökotoxikologischen Auswirkungen von Formaldehyd auf der Basis von ökotoxikologischen Tests mit aquatischen Organismen verschiedener trophischer Ebenen der aquatischen Nahrungskette, so lässt sich eine aquatische $PNEC$ (predicted no effect concentration) von $0,26 \mu\text{g/l}$ (260 ng/l) ableiten:

$$PNEC_{\text{aquat}} = 0,26 \mu\text{g/l}$$

Basis ist eine Studie zur akuten Toxizität von Formaldehyd an der Hydra, einem Süßwasserpolypen, mit der niedrigsten Effektkonzentration von $1,3 \mu\text{g/l}$.

Aufgrund der guten Datenlage kann ein Sicherheitsfaktor von 5 gewählt werden, der die Übertragung der Laborergebnisse auf reale Verhältnisse in Gewässern berücksichtigt.

Da die $PNEC_{\text{aquat}}$ von $0,26 \mu\text{g/l}$ für die ökotoxische Wirkung niedriger liegt als der über humantoxikologische Betrachtungen erhaltene GOW_{max} von $10 \mu\text{g/l}$, resultiert für das empfindlichere

Schutzgut ein vom HLUG abgeleiteter vorläufiger **Geringfügigkeitsschwellenwert (GFS)** für **Formaldehyd** von 0,26 µg/l:

GFS = 0,26 µg/l

2 Grundlagen zur Ableitung des Geringfügigkeitsschwellenwertes

2.1 Methodik

Die Geringfügigkeitsschwelle (GFS) wird definiert als Konzentration, bei der trotz einer Erhöhung der Stoffgehalte gegenüber regionalen Hintergrundwerten keine relevanten ökotoxischen Wirkungen auftreten können und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleiteter Werte eingehalten werden.

Zur Ableitung der GFS-Werte werden dementsprechend human- und ökotoxikologische Daten mit folgenden Vorgaben zusammengetragen und beurteilt: Vorrangig werden breit konsentrierte Daten verwendet, d.h. gesetzlich geregelte Werte werden gegenüber Werten auf der Basis einer gutachterlichen Bewertung bevorzugt. In der Regel werden keine Veröffentlichungen einzelner Testergebnisse herangezogen, sondern bewertete, in der Fachöffentlichkeit diskutierte und akzeptierte Datenzusammenstellungen. Werden bei der Ableitung im Hinblick auf die Trinkbarkeit und im Hinblick auf ökotoxikologische Kriterien unterschiedliche Werte abgeleitet, entspricht der GFS-Wert dem niedrigeren Wert. Liegen entweder nur human- oder nur ökotoxikologische Daten vor, erfolgt eine Plausibilitätsprüfung, z.B. anhand des Konzepts des gesundheitlichen Orientierungswertes (GOW) des Umweltbundesamtes.

Da die so begründeten Werte in Einzelfällen in sehr niedrigen Konzentrationsbereichen liegen können, werden sie in einem nachfolgenden Schritt nach unten begrenzt, sofern es sich nicht um rechtsverbindliche Werte oder um Werte handelt, bei denen eine Wirkung nachgewiesen ist.

Die Vorschläge für die GFS resultieren aus einer vergleichenden Betrachtung der Schutzziele menschliche Gesundheit und Gesundheit aquatischer Organismen. Für beide Schutzziele sollen Konzentrationen für Formaldehyd ermittelt werden, die bei einer langfristigen Aufnahme mit hinreichender Wahrscheinlichkeit keine adversen Effekte verursachen.

Für die **menschliche Gesundheit** wird im Allgemeinen der abgeleitete **TRD-Wert** für die langfristige orale Aufnahme herangezogen und mit den üblichen Annahmen zum Körpergewicht (70 kg für Erwachsene) und Trinkwasseraufnahme (2 l/d) auf eine **tolerable tägliche Trinkwasserkonzentration** umgerechnet. Weil Schadstoffe auch über andere Pfade aufgenommen werden, geht man von einer anteiligen Ausschöpfung über den Trinkwasserpfad von 10 % aus.

Bezüglich der **aquatischen Organismen** werden die abgeleiteten **PNEC_{aquat}** für die vergleichende Betrachtung herangezogen.

Das **empfindlichere Schutzgut** beim Vergleich der pfadspezifischen tolerablen Trinkwasserkonzentrationen mit der PNEC_{aquat} wird als **Basis für die Ableitung des GFS-Wertes** ausgewählt.

Nachfolgend wurde zur Ableitung der $PNEC_{\text{aquat}}$ die relevante Literatur mit Angaben zur Ökotoxizität von Formaldehyd ausgewertet, zusammengestellt und hinsichtlich der Ableitung der $PNEC_{\text{aquat}}$ bewertet.

Zur Ableitung der $PNEC_{\text{aquat}}$ werden im ersten Schritt die vorliegenden Ökotoxizitätsdaten zusammengestellt und den Trophiestufen der aquatischen Nahrungskette (Algen, Kleinkrebse, Fische usw.) zugeordnet.

Nun erfolgt die Einordnung der Tests in Langzeit- oder Kurzzeituntersuchungen. Vom Umfang des Vorliegens von Langzeituntersuchungen bei der Ermittlung der NOEC hängt in hohem Maße die Höhe des Sicherheitsfaktors ab, durch den die Effektkonzentration der sensitivsten Spezies dividiert wird.

2.2 Datenbasis

Datenrecherche für die Humantoxikologie

Zunächst wurde nach vorliegenden Bewertungen anerkannter Institutionen gesucht. Dazu wurden folgende Informationssysteme genutzt:

- ESIS (European Chemical Substances Information System), European Commission - Joint Research Centre (<http://ecb.jrc.ec.europa.eu/esis/>) mit 10 Unterdatenbanken, u.a.
- IUCLID Chemical Data Sheets. <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/IUCLID-DataSheets/50000.pdf>
- EHC (Environmental Health Criteria), World Health Organization (WHO) (http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_alphabetical/en/)
- IARC (International Agency for Research on Cancer), WHO (<http://www.iarc.fr/>)
- Environment, Health and Safety Programme, Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (<http://www.inchem.org/documents/sids/>)
- IRIS (Integrated Risk Information System) der U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (<http://www.epa.gov/IRIS/index.html>),
- Toxicological Profile Information Sheets der U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US ATSDR) (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>)
- NTP (National Toxicology Program), (US Department of Health and Human Services) (http://ntp-apps.niehs.nih.gov/ntp_tox/)
- PubMed mit Literatur aus MEDLINE der United States National Library of Medicine (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)
- DIMDI Datenbank des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (<http://www.dimdi.de/static/de/db/index.htm>) mit 13 Unterdatenbanken, darunter MEDLINE und EMBASE
- EFSA (European Food Safety Authority) (<http://www.efsa.europa.eu/>) und ergänzend weitere Informationen zur Verwendung von Formaldehyd in Futtermitteln

Der Schwerpunkt der Recherchen lag auf humantoxischen Wirkungen bei oraler Aufnahme von Formaldehyd. Es wurde u.a. nach humantoxikologischen Studien gesucht, die für die Ableitung einer tolerablen Aufnahme oder einer tolerablen Trinkwasserkonzentration geeignet erschienen. Dazu wurde das "Toxicology Data Network" TOXNET ("Databases on toxicology, hazardous chemicals, environmental health, and toxic releases") der United States National Library of Medicine genutzt (<http://toxnet.nlm.nih.gov>). Neben IRIS enthält diese Datenbank weitere 13 Unterdatenbanken, u.a. TOXLINE (Toxicology Literature Online) (<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?TOXLINE>) und Hazardous Substances Databank (HSDB) (<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB>).

Weil sich im Laufe der Recherchen herausstellte, dass eine Neubewertung von Formaldehyd hinsichtlich der Krebs erzeugenden Wirkung erfolgt ist bzw. erfolgen wird (nicht nur Tumor-Wirkungen auf den Nasen-Rachen-Raum, sondern auch Leukämie), wurden weitere aktuelle, zusammenfassende Arbeiten zur Humantoxizität herangezogen:

- Publikationen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (http://www.baua.de/cln_135/de/Publikationen/Publikationen_form.html)
- Publikationen des Centers for Disease Control and Prevention (CDC) und des National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (<http://www.cdc.gov/niosh/topics/>) mit mehr als 30 Unterdatenbanken
- Acute Exposure Guideline Levels der U.S. EPA (<http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/aeglapp.html>)

Die angezeigten Monographien ergaben je nach Aktualisierungsgrad mehr oder noch gar keine Angaben zur Leukämie erzeugenden Wirkung von Formaldehyd. Dem entsprechend haben die Angaben zu tolerablen Aufnahmen (Referenzdosen usw.) nur begrenzte Aussagekraft. Z.B. stammt die Ableitung einer Referenzdosis der U.S. EPA in IRIS aus dem Jahre 1990 („Last revision“) und die Erkenntnisse aus zahlreichen epidemiologischen Studien der letzten 20 Jahre sind hier nicht berücksichtigt. Eine aktuelle Zusammenfassung des Wissensstandes für die inhalative Aufnahme von Formaldehyd durch die U.S. EPA bestätigt die Leukämie erzeugende Wirkung. Dies erfordert voraussichtlich eine humantoxikologische Neubewertung von Formaldehyd bei Aufnahme über das Trinkwasser.

Datenrecherche für die Ökotoxikologie

Nach dem GFS-Konzept der LAWA [LAWA, 2004] sind für die ökotoxikologisch begründete GFS-Wert-Ableitung breit konsentrierte Daten heranzuziehen. Sofern keine rechtlich verbindlichen Umweltqualitätsnormen übernommen werden, werden in erster Priorität die nach Europäischem Stoffrecht abgeleiteten $PNEC_{\text{aquat}}$ („predicted no effect concentration“) für die aquatische Lebensgemeinschaft zugrunde gelegt.

Für Formaldehyd liegen weder Umweltqualitätsnormen noch Risk Assessment Reports im Rahmen der europäischen Altstoffbewertung vor. Kürzlich wurde ein Dossier nach Anhang XV von Frankreich eingereicht [EU 2010], aber (noch) nicht publiziert.

Deshalb stützen sich die jeweils nach TGD („Technical Guidance Document“ [ECB 2003]) abgeleiteten $PNEC$ für die aquatische Lebensgemeinschaft auf verfügbare ökotoxikologische Daten. Die auf diese Weise von der OECD 2002 abgeleitete $PNEC_{\text{aquat}}$ von 5,8 µg/l wurde in einen aktuelleren Bericht von 2008 unverändert übernommen [EU 2008]. Besonders zu bemerken ist dazu, dass dafür nur Daten zur akuten Toxizität weniger Spezies vorlagen. Mittlerweile wurde eine erhebliche Menge weiterer ökotoxikologischer Daten jüngerer Datums evaluiert (allein in der Datenbank ECOTOX gibt es 661 Einträge) und zahlreiche weitere wurden publiziert. Deshalb wird im Folgenden ein GFS-Wert auf Basis der inzwischen verfügbaren Daten abgeleitet. Insbesondere zur Toxizität von Formaldehyd gegenüber Fischen, einer diesbezüglich wenig empfindlichen Trophiestufe, gibt es in ECETOX eine solche Fülle von Literaturdaten, dass aus dieser Quelle vorwiegend nur solche ökotoxikologischen Daten erfasst wurden, die folgende Merkmale aufwiesen:

- effektive bzw. letale Konzentrationen unter 10 mg/l,
- chronische Wirkungen,
- später als im Jahr 2000 publiziert.

Die Originalliteratur wurde bei den sensitivsten Angaben überprüft. Die vorliegenden Daten wurden soweit möglich auf 100 % Formaldehyd in der Einheit mg/l umgerechnet (siehe Abschnitt 5.1).

Neben gedruckten Quellen bzw. CD-ROM [Verschueren 2009; Rippen 2011; Auszug aus dem Bibliothekskatalog mit Umweltliteraturdatenbank (OPAC/ULIDAT) des Umweltbundesamtes] wurden die folgenden elektronischen Quellen auf Einzelinformationen zur aquatischen Toxizität von Formaldehyd 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>)
- GSBL (Gemeinsamer Stoffdatenpool Bund/länder) (<http://www.gsbl.de>)
- CICADs (Concise International Chemical Assessment Documents) der International Agency for Research on Cancer (<http://www.inchem.org/pages/cicads.html>)
- STN Easy der STN International, betrieben von Fachinformationszentrum Karlsruhe und Chemical Abstracts Service, Columbus, OH (<http://www.stn-international.de>) mit zahlreichen Unterdatenbanken wie insbesondere
 - ❖ Beilstein Datenbank
 - ❖ CAplus (Toxicology focus) Datenbank
 - ❖ HSDB Datenbank
 - ❖ Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) Datenbank
 - ❖ TOXCENTER Datenbank

3 Allgemeine Angaben

3.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften und Angaben zu Persistenz und Akkumulation von Formaldehyd

CAS-Nummer: 50-00-0
EINECS-Nummer: 200-001-8

Physikalisch-chemische Eigenschaften

Wasserlöslichkeit:

sehr gut wasserlöslich, bis zu 555 g/l (gemessen) [Janus und Posthumus 2002].

In Wasser hydratisiert Formaldehyd; es liegt hauptsächlich als Methylenglykol und seinen Oligomeren vor [OECD 2002; WHO, 2005].

Verteilungskoeffizient Octanol/Wasser:

$\log P_{ow} = 0,35$ [EPA 2007] (keine Bioakkumulation)

Boden/Sediment: Sorptionskoeffizient $K_{oc} = 16$ L/kg (geschätzt)

nach: $\log K_{oc} = 0,52 \cdot \log K_{ow} + 1,02$ (von QSAR für „Nonhydrophobics“) [Sabljić et al. 1995]; somit geringe Adsorption an Boden und Sediment

Dampfdruck:

$P(25\text{ °C}) = 519\,000$ Pa [EPA 2007] (gasförmig)

Henry-Konstante:

$H(20\text{ °C}) = 4,0 \cdot 10^{-6}$ (gemessen) [Rippen 2011]

$H(25\text{ °C}) = 13,3 \cdot 10^{-6}$ (gemessen) [Rippen 2011]

$H(25\text{ °C}) = (8,1-12,1) \cdot 10^{-6}$ (= 0,02/0,03 Pa m³/mol) [WHO 1989; Janus und Posthumus 2002]

Nach [Mackay und Yuen 1980] ist Formaldehyd somit „gering flüchtig“ aus wässriger Lösung (Bereich $4 \cdot 10^{-6} \leq H < 0,4 \cdot 10^{-3}$).

Biologische Abbaubarkeit

Biologisch leicht abbaubar:

in 14 Tagen bei 25 °C 87-96 % [Rippen 2011];

in 5 Tagen 97,4 % [Merck 2008]. Weitere Daten in [Rippen 2011]

Auch in verdünnter Konzentration ist die anaerobe Klärschlammfäulung behindert oder unterbunden [Merck 2008].

Bioakkumulation

Eine Bioakkumulation ist nicht zu erwarten ($\log P_{ow} < 1$) [Merck 2008; OECD 2002].

3.2 Bestehende Regelungen, Klassifizierungen, Richt- und Grenzwerte für Formaldehyd

Wasser

Die OECD (2002) leitet eine $PNEC_{\text{aquat}}$ von 5,8 $\mu\text{g/l}$ ab. Die Ableitung erfolgte aus der akuten Wirkung EC_{50} (48 h) gegenüber dem Wasserfloh *Daphnia pulex* mit einem angesetzten Sicherheitsfaktor von 1000 gemäß der EU-Risk-Assessment-Vorgehensweise. Dieser Wert wurde noch 2008 in einem ECHA-Dokument (European Chemicals Agency) zitiert [EU 2008].

Für Australien ist eine $PNEC$ von 58 $\mu\text{g/l}$ angegeben, basierend auf demselben Toxizitätswert für den Wasserfloh *Daphnia pulex*, aber mit einem Sicherheitsfaktor von 100 [Australia 2006]. Für Kanada wird eine $PNEC$ von 10 $\mu\text{g/l}$ zitiert [Canada 2004].

Formaldehyd ist der Wassergefährdungsklasse 2 (wassergefährdend) zugeordnet [UBA 2010].

Formaldehyd ist weder in der deutschen Trinkwasserverordnung [TrinkwV 2001/ä] noch in der Liste der zunächst 33 prioritären Stoffe der EU [EU-Umweltqualitätsnormen 2008], in der GFS-Liste von Brans (2008) oder in der Niederländischen Liste (1994) aufgeführt.

Für die Wiedereinleitung von Abwasser in die Weser wurde für Formaldehyd ein Orientierungswert von 400 $\mu\text{g/l}$ (qualifizierte Stich- oder 2h-Mischprobe) angegeben; oberhalb dieses Wertes ist die Wasserbehörde unverzüglich zu informieren [Freie Hansestadt Bremen 2006].

Die Weltgesundheitsorganisation leitete in der zweiten Ausgabe (2nd edition) 1996 für Trinkwasser einen Richtwert von 900 $\mu\text{g/l}$ ab, ausgehend von einem TDI von 150 $\mu\text{g/kg KG}$, basierend auf einer NOAEL von 15 $\text{mg}/(\text{kg KG} \cdot \text{d})$ in einer 2-Jahres-Studie mit Ratten bei Einrechnung eines Unsicherheitsfaktors von 100 und einer 20prozentigen Ausschöpfung des Trinkwasserpfades [WHO 1996, 2003]. Damals ging man noch von einer IARC-Einstufung in Group 2A aus („probably carcinogenic to humans“); sie ist seit 2004 geändert in Group 1 („carcinogenic to humans“). Außerdem wurde angenommen, dass Formaldehyd auf dem oralen Pfad nicht Krebs erzeugend sei („The weight of evidence indicates that formaldehyde is not carcinogenic by the oral route“ [WHO 2005]). Im WHO-Background-Dokument aus dem Jahr 2005 [WHO 2005] und in der dritten Edition [WHO 2008] ist der oben genannte Richtwert nicht mehr aufgeführt.

Janus und Posthumus (2002) leiteten für niederländisches Wasser (inkl. Grundwasser) folgende Werte ab (Basis chron. NOEC, jeweils geometrische Mittelwerte für 11 Süßwasserspezies):

- Serious risk concentration ($\sim LC_{50}$ bzw. EC_{50}):
SRCeco 1800 $\mu\text{g/l}$
- “Maximum permissible Concentration” ($\sim LC_5$ bzw. EC_5 ; NOEC bei 5er-Perzentilen):
MPC 180 $\mu\text{g/l}$
- Negligible Concentration; z. Berücksichtigung v. Kombinationswirkungen (MPC/100)
NC **1,8 $\mu\text{g/l}$**

Hohreiter und Rigg [2001] leiteten, ebenfalls auf der Basis geometrischer Mittelwerte von Toxizitätsdaten verschiedener trophischer Ebenen aquatischer Lebewesen, ein „chronic aquatic life water quality criterion“ von 1610 $\mu\text{g/l}$ ab.

Nach der Hessischen Verwaltungsvorschrift über die Einleitung flüssiger Rückstände aus Krankenhäusern können z.B. Desinfektionsmittellösungen mit bis zu 2 % Aldehyden in das Abwasser eingeleitet werden. Flöser [2006] gibt ohne Literaturangabe eine toxische Grenzkonzentration für Formaldehyd von 230 mg/l an.

Lebensmittel und Futtermittel

Auch das Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC) schlussfolgerte, dass Formaldehyd auf dem oralen Aufnahmeweg nicht Krebs erzeugend sei und ging 2007 bei der Beurteilung von Formaldehyd als Konservierungsmittel in Geliernmitteln (Alginate, Carrageen) von dem früheren TDI-Wert der WHO (150 µg/kg KG) aus; es befand, dass eine Konzentration von Formaldehyd als Additiv von 50 mg/kg akzeptabel sei [AFC/EFSA 2007].

Formaldehyd ist in der EU und Deutschland als Konservierungsstoff für Futtermittel (E 240) unbegrenzt zugelassen [EG 1970; EU 2003; BVL 2009]. Es wird neben Salzsäure und Schwefelsäure zur Konservierung von Silage verwendet sowie für Futter zur Fütterung von Schweinen bis zu einem Alter von 6 Monaten in Magermilch, Höchstgehalt 600 mg/kg [BVL 2009].

Das Panel on Additives and Products or Substances Used in Animal Feed (FEEDAP) erklärte 2004 den Einsatz von Formaldehyd in der Hähnchenmast bei einer maximalen Konzentration von 660 mg/kg im Futter für sicher [FEEDAP/EFSA 2004/2008]. Mit Veröffentlichung vom 28.4.2006 fordert dieses Panel die Mitgliedsländer zur Lieferung von Informationen über die Verwendung von Silage-Additiven auf [FEEDAP/EFSA 2006].

Boden

Janus und Posthumus (2002) leiteten für niederländische Standard-Böden und -Sedimente auf der Basis der Verteilungskoeffizienten zwischen Boden und Wasser (EqP-Methode) folgende Werte ab:

- Serious risk concentration (~LC₅₀ bzw. EC₅₀):
SRCeco 1600 µg/kg TS
- "Maximum permissible Concentration" (~LC₅ bzw. EC₅; NOEC bei 5er-Perzentilen):
MPC 160 µg/kg TS
- Negligible Concentration; z. Berücksichtigung v. Kombinationswirkungen (MPC/100)
NC **1,6 µg/kg TS**

Bedarfsgegenstände

Formaldehyd findet sich in Artikeln des täglichen Lebens:

Reinigungs- und Pflegemittel, die für den häuslichen Bedarf bestimmt sind, mit einem Massengehalt von mehr als 0,1 % Formaldehyd sind deklarationspflichtig [Bedarfsgegenständeverordnung 2010], ebenso mehr als 0,05 % an freiem Formaldehyd in kosmetischen Mitteln [Bundesgesundheitsblatt 1991].

Das In-den-Verkehr-Bringen von beschichteten und unbeschichteten Holzwerkstoffen sowie Möbeln, die in der Luft eines definierten Prüfraums mehr als 0,13 mg/m³ (0,1 ppmv) erzeugen, ist verboten, ebenso das In-den-Verkehr-Bringen von Wasch-, Reinigungs- und Pflegemitteln mit einem Gehalt von mehr als 0,2 % [ChemVerbotsV 2008].

Für Verpackungen usw. gilt ein Migrationsgrenzwert von 15 mg/kg freiem Formaldehyd im Lebensmittel (Summe Formaldehyd und Hexamethylentetramin) [Bedarfsgegenständeverordnung 2010]; auch Kondensationsprodukte und Formaldehydharze sind reglementiert.

Formaldehyd wird zur Fertigstellung von Kleidern hoher Qualität verwendet. Die Behandlung der Textilien mit einem synthetischen Harz, das aus Formaldehyd besteht, vermeidet das Eingehen und vermin-

dert die Zerknitterung. Textilien mit einem Massengehalt von mehr als 0,15 % an freiem Formaldehyd, die beim bestimmungsgemäßen Gebrauch mit der Haut in Berührung kommen und mit einer Ausrüstung versehen sind, müssen deklariert werden [Bedarfsgegenständeverordnung 2010].

Formaldehyd als Biozid am Arbeitsplatz und Emissionen

Formaldehyd ist in der EU gemäß Verordnung Nr. 1451/2007 der Kommission vom 4.12.2007 als biozider Wirkstoff aufgeführt [EU 2007]. Es ist in den USA als Pestizid registriert [EPA 2008].

Es existieren Schätzungen, nach denen in der EU über 1 Mio. Arbeitnehmer gegenüber Formaldehyd in irgendeiner Form exponiert sind. Mit Stand 2009 wurde über Formaldehyd selbst oder sogenannte Formaldehyd-Abspalter im Wirkstoffverfahren der Biozidrichtlinie 98/8/EG in folgenden Produktarten (PA) gearbeitet:

PA 2 Desinfektionsmittel für den Privatbereich / öffentliches Gesundheitswesen

PA 6 Topf-Konservierungsmittel

PA 11 Schutzmittel für Flüssigkeiten in Kühl- und Verfahrenssystemen

PA 12 Schleimbekämpfungsmittel

PA 13 Schutzmittel für Metallbearbeitungsflüssigkeiten

PA 20 Schutzmittel für Lebens- und Futtermittel

PA 22 Flüssigkeiten für Einbalsamierung und Taxidermie.

Eine ausführliche Darstellung der beruflichen Exposition und der Zusammenhänge mit Nasen-Rachen-Krebs ist bei [Euler et al. 2009] zu finden.

Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), die sich explizit mit Formaldehyd beschäftigen, sind TRGS 513 «Begasungen mit Ethylenoxid und Formaldehyd in Sterilisations- und Desinfektionsanlagen» und TRGS 522 «Raumdesinfektion mit Formaldehyd».

Die im Abgas von Anlagen enthaltenen staubförmigen Emissionen dürfen gemäß TA Luft den Massenstrom 0,20 kg/h oder die Massenkonzentration 20 mg/m³ nicht überschreiten. Auch bei Einhaltung oder Unterschreitung eines Massenstroms von 0,20 kg/h darf im Abgas die Massenkonzentration 150 mg/m³ nicht überschritten werden. Innerhalb des Massenstroms oder der Massenkonzentration für Gesamtkohlenstoff dürfen die nach den Klassen I (Stoffe nach Anhang 4) eingeteilten organischen Stoffe (zu denen Formaldehyd gehört), auch bei dem Vorhandensein mehrerer Stoffe derselben Klasse, insgesamt den Massenstrom 0,10 kg/h oder die Massenkonzentration 20 mg/m³ der Massenströme im Abgas, jeweils angegeben als Masse der organischen Stoffe, nicht überschreiten [TA Luft 2002].

4 Beurteilung der gesundheitlichen Wirkung von Formaldehyd beim Menschen

Akute Wirkungen

Formaldehyd wirkt hautsensibilisierend [MAK 2011]. Es ist ein sehr wirksames Allergen. Dermale Exposition verursacht allergische Kontaktdermatitis, d.h. eine verzögerte Hypersensibilitätsreaktion, bei der bereits geringe Mengen des Stoffes ausreichen, um eine offenbare Reaktion hervorzurufen [NAC 2008].

Die Geruchsschwelle für die meisten Menschen liegt im Bereich von 0,6-1,3 mg/m³. Im Allgemeinen wird Augenreizung (sensitivster Endpunkt) ab Konzentrationen von ca. 0,4-0,6 mg/m³ verursacht. Die niedrigsten No-Observed-Adverse-Effect-Level für morphologische Beeinträchtigungen lagen in Tierversuchen mit wiederholter Dosis bei Inhalation zwischen 1,25 und 2,5 mg/m³ und im Trinkwasser bei 260

mg/l. Mittlere bis starke Reizwirkungen an Augen, Nase und Rachen erfolgen bei 2,5-3,8 mg/m³ [OECD 2002].

Vom Bundesinstitut für Risikobewertung wurde für den Menschen bei inhalativer Aufnahme ein NOAEL von 0,125 mg/m³ abgeleitet [Appel et al. 2006; ad-hoc-AG 2006].

Die Reizwirkungen von Formaldehyd auf Augen und den Nasen-Rachen-Raum wurden in zahlreichen Studien untersucht. Die U.S.-amerikanischen Richtwerte für die Exposition der allgemeinen Bevölkerung (AEGIs, „Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances“) basieren auf der Augenreizung (AEGI-1 und AEGI-2 [NAC 2008]). Sie liegen für achtstündige Exposition bei

- 1,1 mg/m³ (AEGI-1, Reizung und andere gesundheitliche Wirkungen möglich, aber nicht dauerhaft schädigend („not disabling“))
- 17 mg/m³ (AEGI-2, bei Überschreitung irreversible Gesundheitsschäden möglich)
- 43 mg/m³ (AEGI-3, bei Überschreitung lebensbedrohende Gesundheitsschäden oder Tod möglich)

Chronische Wirkungen

Formaldehyd steht derzeit (2011) in der MAK-Stoffliste mit Krebs erzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen (Kategorie 4) [MAK 2011]. Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe überprüft auch 2011 noch weiterhin die Einstufung für die MAK-Werte-Liste. Der MAK-Wert ist auf 0,3 ppmv (0,37 mg/m³) festgelegt [MAK 2011]. Die TRGS 900 „Arbeitsplatzgrenzwerte“ und die TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ führen Formaldehyd nicht auf [TRGS 2008]. Weitere U.S.-amerikanische und internationale Arbeitsplatzgrenzwerte sind in [NAC 2008] zu finden.

Formaldehyd gilt derzeit als Keimzellmutagen Kategorie 5: Die Wirkungsstärke wird so gering erachtet, dass unter Einhaltung des MAK-Wertes kein nennenswerter Beitrag zum genetischen Risiko für den Menschen zu erwarten ist [MAK 2011].

Referenz- und Leitwerte

Dieter (2009) gibt aus der Beratungsarbeit des UBA 2005-2009 einen wissenschaftlich abgeleiteten Besorgnis-, Leit- bzw. Eingreifwert (LW_{tw} (BW)) für Formaldehyd auf humantoxikologischer Basis mit 500 µg/l an. (Die Grundlage für die Ableitung dieses Wertes ist nicht genannt.) Bei Stoffen mit LWTW > 10 µg/l gelten jedoch **10 µg/l** als maximaler „teilwissensbasierter Höchstwert (GOW_{max})“ [Dieter 2009].

Aus der **Referenz-Dosis 200 µg/(kg KG · d)** für orale Aufnahme [IRIS 2010] (NOAEL 15 mg/(kg KG · d), Endpunkte histopathologische Wirkungen und Gewichtsverlust, Unsicherheitsfaktor 100) errechnet sich analog für 70 kg Körpergewicht, 2 Liter Trinkwasser je Tag und eine anteilige 10%ige Ausschöpfung über den Trinkwasserpfad eine „tolerable Konzentration“ im Trinkwasser von 200 µg/(kg KG · d) · 70 kg · 0,5 · 0,1 = 700 µg/l. Diese Ableitung in IRIS stammt aus dem Jahre 1990 („Last revision“); die Erkenntnisse aus zahlreichen epidemiologischen Studien der letzten 20 Jahre sind nicht berücksichtigt.

Krebs erzeugende Wirkung

Im Vordergrund der toxischen Wirkungen von Formaldehyd steht die Krebs erzeugende Wirkung. Die Substanz wurde von der International Agency for Research on Cancer der WHO in die Gruppe 1 einges-

tuft wegen seiner Krebs erzeugenden Wirkung im Menschen in den oberen Atemwegen (Nasen-Rachen-Raum) und auch weil es Leukämie hervorruft [NIOSH 2004, IARC 2006, NTP 2010]. Wegen dieser systemischen Wirkung, die erst in den letzten Jahren offenbar wurde, ist eine Neubewertung von Formaldehyd, vor allem bei oraler Aufnahme, zu erwarten.

Mit Hinweis auf von Formaldehyd verursachte Reizungen des Gastro-Intestinal-Traktes, Tumorentwicklung in Trinkwasser-Untersuchungen und das Auftreten verschiedener Arten von Leukämie wurde 2010 für Connecticut die o.g. Referenz-Dosis aus IRIS mit einem zusätzlichen Unsicherheitsfaktor 10 auf **20 µg/(kg KG · d)** für orale Aufnahme reduziert [Connecticut 2010]. Hieraus würde sich eine „tolerable Konzentration“ im Trinkwasser von **70 µg/l bzw. ein LW_{Tw} (nach Dieter) von 50 µg/l** ergeben.

Eine Erhöhung des statistischen Risikos für die inhalative Aufnahme um etwa den Faktor 9 wird in einer sehr ausführlichen Neubewertung der Krebs erzeugenden Wirkung von Formaldehyd (Nasen-Rachen-Raum, Hodkin-Lymphome und Leukämie-Arten) der U.S. EPA abgeleitet, basierend auf zahlreichen epidemiologischen Studien und Tierversuchen, auch bei oraler Aufnahme [EPA 2010]. Ein statistisches Zusatzrisiko von 10^{-6} wäre danach bei einer Konzentration von 9 ng Formaldehyd je m³ eingeatmeter Luft gegeben (zum Vergleich: Die Referenz-Konzentration für nicht Krebs-erzeugende Wirkungen wird mit 10^{-9} ppbv entsprechend 1000-11.000 ng/m³ angegeben [Committee 2011]).

Die mit 9 ng/m³ aufgenommene Dosis läge dann bei ca. 180 ng je Mensch und Tag (berechnet mit 20 m³ Atemluft je Tag). Würde eine solche Dosis auch bei oraler Aufnahme gelten (für diesen Pfad gibt es noch keine Ausführungen der U.S. EPA), läge ein Trinkwasser-Richtwert bei ca. **0,010 µg/l** (2 Liter Trinkwasser je Mensch und Tag, 1/9 nicht relevanter Beitrag für Nasen-Rachen-Krebs abgezogen, Beitrag 10 % der Exposition über diesen Pfad), und somit um den Faktor 5000 niedriger als der oben für nicht-kanzergene Wirkungen errechnete Wert.

Die Aussage der U.S. EPA wird allerdings in einem im Mai 2011 veröffentlichten Buch eines für die Bewertung der IRIS-(Draft-)Publikation zu Formaldehyd eingerichteten Komitees teilweise in Zweifel gezogen:

„The overall body of evidence suggests that inhaled formaldehyde has a cytogenetic effect that can be detected in peripheral (circulating) blood lymphocytes. However, the committee concludes that data are insufficient to conclude definitively that formaldehyde is causing cytogenetic effects at distant sites.” [Committee 2011].

Die weitere wissenschaftliche Diskussion bleibt abzuwarten.

5 Beurteilung der ökotoxischen Wirkungen von Formaldehyd

5.1 Allgemeines

Die aquatische Lebensgemeinschaft ist als Ganzes zu schützen. Deshalb wird die Wirkung eines Schadstoffes auf die Vertreter der Nahrungskette in einem Gewässer, die sog. Trophiestufen, untersucht. Die Betrachtung umfasst i.d.R. die Algen (meist Grünalgen) als Primärproduzenten, wirbellose Tiere, z.B. Kleinkrebse (i.d.R. Wasserflöhe (Daphnien)) als Primärkonsumenten bis zu den Fischen, den Sekundärkonsumenten.

Die Toxizität für Standardtestorganismen aus Oberflächengewässern wird für die Beurteilung der Toxizität für die Lebensgemeinschaft des Grundwassers herangezogen, weil es keine standardisierten Testverfahren mit im Grundwasser lebenden Arten, den Stygobionten, gibt. Schäfers et.al. (2001) haben wissenschaftlich begründete Hinweise dafür geliefert, dass die intrinsische Toxizität für Grundwasserorganismen durch Standardtestorganismen gut abgebildet ist. Sie hatten typische Vertreter der meta-

zoischen Grundwasserlebensgemeinschaft nach systematischer Repräsentativität für die bedeutendsten Organismengruppen ausgewählt und getestet und kamen zu folgendem Schluss: „Die Praxis der Risikobewertung anhand der bestehenden Standardtestverfahren bietet nach gegenwärtigem Kenntnisstand genügend Sicherheit auch für Grundwasserlebensgemeinschaften, wenn bei Hinweisen auf Auswirkungen auf höhere Krebse neben *Daphnia magna* ein höherer Krebs (z.B: *Gammarus*, *Asellus*, *Hyaella*) getestet wird, um die begrenzte Reaktionsnorm der Syncarida (Brunnenkrebse) abzubilden.

Da schädigende Effekte oft erst nach längerer Schadstoffexposition auftreten, stützt sich die Bewertung in der Regel auf längerfristige Toxizitätstests, die gemessen am Lebenszyklus des Testorganismus eine chronische Einwirkung bis zu mehreren Wochen bzw. einigen Monaten simulieren. Das Ziel dieser Tests ist es in der Regel, die sog. NOEC (No Observed Effect Concentration) zu ermitteln, die höchste Konzentration, die bei längerfristiger Exposition ohne Wirkung bleibt.

Die Bewertung als Lang- oder Kurzeittest ist abhängig von der Lebensdauer eines Organismus: Bei einer Exposition über 4 Tage handelt es sich um einen Langzeittest, als Kurzeittest wird die Expositionsdauer von maximal 4 Tagen (96 h) angesehen. Ausnahmen sind Untersuchungen an Bakterien, die generell als Kurzeittests gewertet werden. 96-h-Tests bei Algen können sowohl als Kurzzeit- als auch als Langzeittest gewertet werden (siehe TGD).

Aus akuten Toxizitätstests mit einer Versuchsdauer von meist 48 bis 96 Stunden ermittelt man Werte wie die LC_{50} bzw. EC_{50} , die eine Aussagekraft für akute, also kurzfristig auftretende schädigende Wirkungen besitzen. Damit wird diejenige statistisch errechnete Einzeldosis einer Substanz beschrieben, die voraussichtlich bei 50 % der exponierten Tiere zum Tode führt (LC_{50}) bzw. einen bestimmten Effekt (EC) verursacht.

Geeignete Testverfahren zur Ermittlung der akuten bzw. chronischen aquatischen Toxizität sind in den OECD Guidelines for the Testing of Chemicals zu finden [OECD 2010].

Im Anhang A sind die ökotoxischen Wirkungen von Formaldehyd auf aquatische Organismen zusammengestellt. Die in der Literatur beschriebenen Tests wurden mit wässrigen Lösungen von Formaldehyd (Formalin) durchgeführt; nur diese sind als Standards stabil. Häufig sind die nominalen Konzentrationen (meist 35 oder 37 %) angegeben. Nur die Datenblätter der Datenbank ECOTOX benennen systematisch auch die Bezugskonzentration. In einigen Fällen sind die Ergebnisse auf 100%iges Formaldehyd bezogen. In den anderen Fällen wurde im Anhang A auf 100 % umgerechnet, um die Daten vergleichbar zu machen. Der Bezug auf 100 % erscheint zudem für die Ableitung einer PNEC für Formaldehyd erforderlich, weil die Ergebnisse der analytischen Bestimmung von Formaldehyd in Grundwasser oder oberirdischen Gewässern stets auf reines Formaldehyd bezogen werden und nicht auf eine wässrige Lösung.

Im Folgenden werden die Daten aus dem Anhang A auszugsweise übernommen. Ausgewählt wurden Daten zu besonders empfindlichen Organismen; als ungefährender Maßstab dafür gelten wirksame Konzentrationen unter 1 mg/l.

Die für die Ableitung einer PNEC relevanten Daten sind grau unterlegt.

5.2 Trophiestufe der Primärproduzenten: Ökotoxizitätsdaten für Algen und Mikroorganismen

5.2.1 Sensitive Daten zur akuten* Toxizität von Algen

(* bezüglich Algen nur Untersuchungen über 24 oder 48 h)

Grünalge (*Desmodesmus quadricauda*) Süßwasser

EC₁₀ (24 h, Hemmung des Sauerstoffverbrauchs) = 3,6 mg/l (100 %; nominal)
[Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (24 h, Hemmung der Sauerstoffproduktion) = 14,7 mg/l (100 %; nominal)
[Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

Grünalge (*Pseudokirchneriella subcapitata*; = *Selenastrum capricornutum*; = *Raphidocelis subcapitata*):

NOEC (48 h, stat.; Produktion gelösten Sauerstoffs) < 1,06 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Chen et al. 2009];

NOEC (48 h, stat.; Biopopulation) = 1,06 mg/l ((Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

LOEC (48 h, stat.; Biopopulation) = 2,02 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

EC₁₀ (48 h, stat.; Biopopulation) = 0,801 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009]

EC₅₀ (48 h, stat., geschl. System; Hemmung des Wachstums) = 2,55 mg/l (nominal, Formaldehyd 100 %)
[Tsai und Chen 2007];

EC₅₀ (48 h, stat.; Biopopulation) = 2,55 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

EC₅₀ (48 h, stat.; Produktion gelösten Sauerstoffs) = 2,63 mg/l (nominal, Formaldehyd 100 %)
[Chen et al. 2005];

EC₅₀ (48 h, stat.; Wachstumsrate) = 4,25 mg/l (nominal, Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2005]

Grünalge (*Ulva pertusa*): Salzwasser

EC₅₀ (96 h; Sporenbildung) = 0,788 µL/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 0,301 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2008]

NOEC (96 h; Sporenbildung) = 0,438 µL/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 0,167 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2008]

NOEC (96 h?; Sporenceimung) = 3,95 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 1,38 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2009]

Grünalge (*Chlorella zofingiensis*):

EC₅₀ (24 h, Hemmung der Assimilation) = 6,5 mg/l [Krebs 1991]

5.2.2 Sensitive Daten zur chronischen* Toxizität von Algen

(* hier nur Untersuchungen über 7 d und länger)

Grünalge (*Desmodesmus quadricauda*)

EC₀ (7 d bzw. 8 d, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 2,5 mg/l (35%), umgerechnet 0,88 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1978, 1980]

Grünalge (*Ankistrodesmus falcatus*): Süßwasser

EC₀ (18 und 46 d, fl.; Population) = 1 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 0,37 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₅₀ (18 d, fl.; Population) = 5 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₇₀ (46 d, fl.; Population) = 5 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₉₈ (46 d, fl.; Population) = 20 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 7,4 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

Grünalgen-Mischpopulation:

EC₁₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 2 mg/l [Krebs 1981];

EC₅₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 6,5 mg/l [Krebs 1981];

EC₁₀₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 32 mg/l [Krebs 1981]

Braunalge (*Phyllospora comosa*): Salzwasser

NOEC (96 h, stat.; Alter 1 d; Mortalität) < 0,1 mg/L (37%ig), umgerechnet < 0,037 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burridge et al. 1995]

LOEC (96 h; Alter 1 d; Mortalität) = 0,1 mg/L (37%ig), umgerechnet 0,037 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burridge et al. 1995]

Diatomeen (*Chaetoceros gracilis*):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/l (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Diatomeen (*Nitzschia* sp.):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/l (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Armleuchteralge (*Ceratopyllum demersum*):

EC₀ (27 d; Wachstum) = 1 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 0,37 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960];

EC₈₅ (20 d; Wachstum) = 5 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,85 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960];

EC₁₀₀ (9 d; Wachstum) = 20 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 37 % 7,4 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

Mikroalge (*Dictyosphaerium chlorelloides*):

EC₅ (7 d, stat.; Hemmung der Fluoreszenz) = 4,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008]

5.2.3 Daten für Mikroorganismen

Cyanobakterien (Blaualgen, *Microcystis aeruginosa*): EC₀ (8 d, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 0,39 mg/l (35%ig), umgerechnet 0,137 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1978]

Bakterien (*Escherichia coli*):

EC_{min} (24 h; Beginn der Hemmung des Glukose-Abbaus) = 1 mg/l („Formaldehyd“, lt. ECOTOX bzgl. Algen Formalin), umgerechnet 0,35 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1960]

EC₅₀ (12 h; Hemmung des Wachstums) = 108 mg/l [Walker 1989]

EC₅₀ (12 h; Sauerstoffaufnahme) = 135 mg/l [Walker 1989]

Dinoflagellaten (*Prorocentrum minimum*):

LC₅₀ (24 h) = 4,0 mg/l (Formalin), umgerechnet mit geschätzt 35 % 1,4 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Xu et al. 2005]

Dinoflagellaten (*Amyloodinium ocellatum*):

EC₆₆ (7 h; Zahl der Hautparasiten) = 4 mg/l, umgerechnet 1,48 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

Saprozoische Protozoen (*Chilomonas paramecium Ehrenberg*):

EC₅ (48 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 4,5 mg/l (35 %ig), umgerechnet 1,58 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn, 1981]

Protozoen (*Colpoda aspera*):

EC₁₀ (72 h) = 2,1 mg/l (37%ig), umgerechnet 0,78 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Kakiichi et al. 1995]

EC₅₀ (72 h) = 5,39 mg/l (37%ig), umgerechnet 2,0 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Kakiichi et al. 1995]

Protozoen (Microregma):

EC₅₀ (Sauerstoffverbrauch) < 3,0 mg/l [Krebs 1991]

Marine Leuchtakterien (*Vibrio harveyi*):

EC₅₀ (1 h; Biolumineszenz) = 1,2 mg/l [Thomulka et al. 1993] bzw. 0,44 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Janus und Posthumus 2002]

EC₅₀ (5 h; Biolumineszenz Wachstumstest) = 3,7 mg/l [Thomulka et al. 1993] bzw. 1,4 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Janus und Posthumus 2002]

Leuchtbakterien (*Vibrio* sp.):

EC_{<90} (60 min) = 200 mg/l (Formalin 35 %ig), umgerechnet 70 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (60 min) = 800 mg/l (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

industr. Belebtschlamm:

EC₁₀ (7 d; Hemmung der Atmung) > 2000 mg/L (35%ig), umgerechnet > 700 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[BASF 1979]

Bakterienfressende Protozoen:

Wimpertierchen (*Colpoda aspera*)

EC₁₀ (72 h; akute Tox.) = 2,1 mg/l (37%ig), umgerechnet 0,73 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Kakiichi et al. 1995]

EC₅₀ (72 h; akute Tox.) = 5,39 mg/l (37%ig), umgerechnet 1,89 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Kakiichi et al 1995]

Wimpertierchen (*Uronema parduczi* Chatton-Lwoff)

EC₀ (20 h; Hemmung der Zellvermehrung) = 6,5 mg/l (35 %ig), umgerechnet 2,3 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1980, 1981]

Saprozoische Protozoen (*Chilomonas paramecium* Ehrenberg):

EC₀ (48 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 4,5 mg/l (35 %ig), umgerechnet 1,58 mg/l (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1981]

Daten für höhere Wasserpflanzen:

Keine Daten vorhanden.

5.3 Trophiestufe der Primärkonsumenten: Ökotoxizitätsdaten für u.a. Kleinkrebse (Daphnien)

5.3.1 Daten zur akuten Toxizität

Kleinkrebse:

Gemeiner Wasserfloh (*Daphnia pulex*):

EC₁₀ (48 h, stat.) = 1,9 mg/l (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (48 h, stat.) = 5,8 mg/l (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (48 h, stat.) = 12,2 mg/l (gemessen) [Cooney und Bourgojn 2001; Hohreiter und Rigg 2001]

EC₉₀ (48 h, stat.) = 16,8 mg/l (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

Andere Organismen:

Muschelkrebse (Ostracoden, *Cypridopsis* sp.):

LC₅₀ (96 h; Immobilisierung) = 1,05 µL/l (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 0,42 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Miesmuschel (*Mytilus edulis*): marin

EC₀ (96 h; Reduktion der Sekretfadenbildung, Reduktion von ATP, Verhalten, Erscheinung) = 1 mg/l

[Aunaas et al. 1991]
EC (96 h; Reduktion der Sekretfadenbildung, Reduktion von ATP, anomales Schalenschließen) = 10 und 30 mg/l [Aunaas et al. 1991]

Große Teichmuschel (*Anodonta cygnea*)
EC_{min} (2 h; Kiemen-Aktivität) = 2 mg/l (nominal; 100 % Formaldehyd) [Lagerspetz et al. 1993]

Amerikanische Auster (*Crassostrea virginica*): marin
EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 1,8 mg/l (37%ig), umgerechnet 0,67 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 0,3 mg/l (27,75%ig), umgerechnet 0,083 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

Kiemenfüßer (*Artemia franciscana*): marin
LC₁₅ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,0115 mg/l (100 %) [Bu-Olayan und Thomas 2006b]
LC₅₀ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,0132 mg/l (100 %) [Bu-Olayan und Thomas 2006b]
LC₉₉ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,018 mg/l (100 %) [Bu-Olayan und Thomas 2006b]

Seeigel (*Anthocardia crassispina*):
EC (12 h, stat.; Veränderungen der Entwicklung) = 0,37-3,7 mg/l (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 0,130-1,3 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Kobayashi 1971]

Gemeiner Süßwasserpoly (Hydra vulgaris bzw. attenuata (Synonym)):
EC_{min} (90 h, semistat.; Hemmung des Wachstums) = 0,003 mg/l (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 0,0013 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Kudla 1984]

5.3.2 Daten zur chronischen Toxizität

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):
NOEC (7 d, Immobilität) = 1 mg/l [Vasu 1990]
LOEC (7 d, Mortalität) = 3 mg/l [Vasu 1990]

Ästuar-Makrobenthos, u.a. Blaugrüne Ascidie (*Molgula manhattensis*), div. Mollusken wie die Muscheln *Mulinia lateralis* und *Acteocina canaliculata* sowie Ringelwürmer:
EC₀ (7 Wochen) = 0,300 mg/l (91 % Paraformaldehyd, nominal; dissoziiert in wenigen Tagen zu reinem Formaldehyd), umgerechnet 0,27 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Tagatz et al. 1979]

Pantoffeltierchen (*Paramecium caudatum*): Süßwasser
EC₅₀ (5 d bzw. 120 h, stat.; Immobilisierung) = 12,6 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 4,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

Pantoffeltierchen (*Paramecium trichium*):
NOEC (5 d bzw. 120 h, stat.; Immobilisierung) ≥ 15,0 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 5,3 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

5.4 Standardtrophiestufe der Sekundärkonsumenten: Ökotoxizitäten für Fische

5.4.1 Sensitive Daten zur akuten Toxizität gegenüber Fischen

Blauer Sonnenbarsch (*Lepomis macrochirus*):
LC₅₀ (96 h, stat.) = 1,51 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 35 % 0,53 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

LC₅₀ (96 h, fl.) = 100 µL/l (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 40,1 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Streifenbarsch (*Roccus saxatilis*): Ästuar

LC₅₀ (96 h, stat.; 0 % Salzgehalt) = 4,96 mg/l (37 %ig), umgerechnet 1,8 mg/l (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

LC₅₀ (96 h, stat.; 15 % Salzgehalt) = 10,8 mg/l (37 %ig), umgerechnet 4,0 mg/l (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

Nilbuntbarsch (*Oreochromis niloticus*, auch *Tilapia nilotica*):

EC (72 h; histologische Veränderungen) = 25-50 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 35 % 8,8-17,5 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) Ästuar, Süßwasser:

LC₅₀ (96 h, fl.) = 118 µL/l (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 47,4 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 1,41 mg/l (27,75%ig), umgerechnet 0,39 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 73,3 mg/l (25,9%ig), umgerechnet 19,0 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

LC₅₀ (96 h, stat.; Fingerlinge) = 61,6-106 mg/l (37%ig), umgerechnet 23-39 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978]

LC₅₀ (96 h, stat.; Larven) = 89,5-112 mg/l (37%ig), umgerechnet 33-41 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 118 mg/l (37%ig), umgerechnet 44 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978; Office of Pesticide Programs 2000; ECOTOX 2010; HSDB 2010]

Meeräsche (*Liza klunzinger*): marin

LC₅ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,00004 mg/l (100 %) [Bu-Olayan et al. 2008]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,000157-0,000222 mg/l (100 %) [Bu-Olayan und Thomas 2006a, Bu-Olayan et al. 2008]

LC₉₉ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,00109-0,00243 mg/l (100 %) [Bu-Olayan und Thomas 2006a, Bu-Olayan et al. 2008]

5.4.2 Sensitive Daten zur chronischen Toxizität gegenüber Fischen

Guppy (*Poecilia reticulata*)

LC₅₀ (14 d, semistat.) = 27 mg/l [Deneer et al. 1988]

Japan. Reisfisch (*Oryzias latipes*):

EC (28 d, fl.; Wachstum, histologische Wirkungen) < 48 mg/l (100 %, gemessen) [Johnson et al. 1993]

LC (28 d, fl.) = 2,3-48,6 mg/l (100 % gemessen) [Johnson et al. 1993]

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) Ästuar, Süßwasser:

EC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: physiologische Wirkungen, Nicht-Schlüpfen = Mortalität) = 250-1000 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88-350 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]

LC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: Nicht-Schlüpfen = Mortalität) = 500 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 35 % 175 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]

EC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: physiologische Wirkungen) = 1000 mg/l (Formalin), umgerechnet mit 35 % 350 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]

Atlant. Lachs (*Salmo salar*): (Süßwasser, Salzwasser)

EC (0-84 d, stat.; biochemische Wirkungen, Wachstum) = 167-250 mg/l (Formalin, nominal),
umgerechnet (mit 35 %) 62-93 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Powell 1993]

Nilbuntbarsch (*Oreochromis niloticus*, auch *Tilapia nilotica*):

EC (14-84 d, semistat.; hämatologische Parameter, nicht signifikant) = 1,56 mg/l (40%ig, nominal),
umgerechnet 0,62 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

EC (14-84 d, semistat.; hämatologische Parameter, signifikant) = 3,13 mg/l (40%ig, nominal),
umgerechnet 1,25 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

5.5 Ökotoxizitäten für andere Organismen

Terrestrische Organismen

Nematode: LC = 179 ml/m³ (Formalin, 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 71,9 mg/L
(Formaldehyd 100 %) [Lockhart 1972]

Magen-Darm-Parasiten von Rindern:

Labmagenwurm (*Ostertagia ostertagi*), *Cooperia* (*Cooperia oncophora*):

EC₀ (7-14 d; Larven und Eier) = 0,5 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 1850 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Persson 1973]

EC₁₀₀ (7-14 d; Eier) = 1,0 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 3700 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Persson 1973]

EC₁₀₀ (7-14 d; Eier und Larven) = 5,0 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 18.500 mg/L (Formaldehyd 100 %)

Toxizität gegenüber Amphibien

Leopardfrosch (*Rana pipiens*):

LC₅₀ (72 h) = 8,7 mg/l [Helms 1967]

Ochsenfrosch (*Rana catesbeiana*) :

LC₅₀ (72 h) = 8,7 mg/l [Helms 1967]

Kröte (*Bufo* sp.)

LC₅₀ (72 h) = 18,6 mg/l [Helms 1967]

Toxizität gegenüber terrestrischen Pflanzen:

Kopfsalat (*Lactuca sativa*)

EC₅₀ (72 h; Hemmung der Keimung) = 580 mg/l [Schultz et al. 1994]

Osterlilie (*Lilium longiflorum*)

EC (5h, Reduktion der Pollen-Tube-Länge) = 0,37 mg/l [Masaru et al. 1976]

EC (1h, Reduktion der Pollen-Tube-Länge) = 2,4 mg/l [Masaru et al. 1976]

6 Ableitung der PNEC und der GFS

6.1 Allgemeine Regeln

Die $PNEC_{\text{aquat}}$ (Predicted No Effect Concentration) ergibt sich aus dem niedrigsten Testergebnis (für die empfindlichste Art) dividiert durch einen Sicherheitsfaktor. Dieser Faktor ist bei Vorliegen aller erforderlichen Daten 10 und wird mit wachsender Datenlücke entsprechend größer. Über diesen Faktor sollen die Unsicherheiten der Übertragung einzelner Laborergebnisse an wenigen Organismenarten auf reale Verhältnisse in Gewässern berücksichtigt werden. Liegen Daten aus Ökosystemen oder Modell-Ökosystemen vor, kann der Faktor auch bei 5 oder noch niedriger liegen.

TGD in ECB (2003) sowie WRRL (2000):

Effektdaten	Sicherheitsfaktor
Mind. jeweils eine akute $L(E)C_{50}$ (3 Kurzzeit-Tests) von 3 trophischen Ebenen (Fisch, Daphnie und Alge)	1000
Eine chronische NOEC (von Fischen oder Daphnien oder einem Organismus, der für salzhaltiges Wasser repräsentativ ist)	100
2 chronische NOEC für 2 trophische Ebenen (Fisch und/oder Daphnie oder ein Organismus, der für salzhaltiges Wasser repräsentativ ist, und/oder Algen)	50
Mind. 3 chronische NOEC von mind. 3 trophischen Ebenen (in der Regel Fische, Daphnie - oder einem Organismus, der für salzhaltiges Wasser repräsentativ ist - und Algen	10

Andere Fälle, einschließlich von Felddaten oder Modell-Ökosystemen, können es gemäß WRRL erlauben, präzisere Sicherheitsfaktoren zu berechnen und zugrunde zu legen.

Die Höhe des Sicherheitsfaktors ist von der Quantität und Qualität der Toxizitätsdaten abhängig. Je mehr Daten von verschiedenen Spezies aus verschiedenen trophischen Ebenen und längerer Expositionsdauer vorhanden sind, desto besser repräsentiert der Datensatz das Ökosystem und desto niedriger kann der Faktor ausfallen [ECB 2003].

6.2 Ableitung der PNEC und der GFS für Formaldehyd

In den Abschnitten 4.2, 4.3 und 4.4 sind Ökotoxizitätsdaten für die akute und chronische Exposition von Organismen aller Trophiestufen gegenüber Formaldehyd vorhanden, darunter auch Meeresorganismen.

Da Omoregie et al. 1994 in einem chronischen Test zur Hämatologie mit 0,62 mg/l Formaldehyd (im Gegensatz zur Konzentration von 1,25 mg/l) beim Nilbuntbarsch (*Oreochromis niloticus*) keine signifikanten Veränderungen bei hämatologischen Parametern feststellten, konnte diese Angabe als chron. NOEC für Fische gewertet werden.

Zusätzlich gibt es eine Untersuchung zur Toxizität von Formaldehyd gegenüber einer Ästuar-Makrobenthos-Biozönose über eine Dauer von 7 Wochen, die das Einsetzen eines Sicherheitsfaktors von 5 rechtfertigt.

In allen trophischen Ebenen (akut und chronisch) finden sich Werte unter 1 mg/l.

Nicht berücksichtigt werden sollten die Daten von Bu-Olayan et al. an Kiemenfüßer und Meeräsche. Die ermittelten extrem niedrigen Werte scheinen nach Sichtung der Originalarbeiten nicht auf einem Einheitenfehler zu beruhen, aber der Einfluss anderer Belastungsfaktoren kann bei diesen Tests mit Meerwasser nahe einem Kraftwerk oder einer Entsalzungsanlage nicht ausgeschlossen werden.

Sehr häufig finden sich Werte im Konzentrationsbereich zwischen 0,1 mg/l und 1 mg/l, darunter auch der EC₀-Wert für Makrobenthos mit 0,27 mg/l. Das bedeutet als erste Näherung, dass die PNEC_{aquat} nicht höher als 0,01-0,02 mg/l (10-20 µg/l) liegen sollte. Besonders niedrige Werte finden sich für die Kleinlebewesen amerikanische Austern, Süßwasserpolyphen und Diatomeen (letztere mit nicht genauer spezifiziertem Endpunkt):

Amerikanische Auster (*Crassostrea virginica*): marin

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 0,3 mg/l (27,75%ig), umgerechnet 0,083 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

Gemeiner Süßwasserpolyphen (*Hydra vulgaris* bzw. *attenuata* (Synonym)):

EC_{min} (90 h, semistat.; Hemmung des Wachstums) = 0,003 mg/l (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 0,0013 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Kudla 1984]

Diatomeen (*Chaetoceros gracilis*):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/l (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Diatomeen (*Nitzschia* sp.):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/l (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/l (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Ausgehend von der empfindlichsten Spezies, der Hydra, errechnet sich mit dem Sicherheitsfaktor 5 eine PNEC_{aquat} von 0,26 µg/l = 260 ng/l.

Diese PNEC_{aquat} = 260 ng/l für die ökotoxische Wirkung liegt niedriger als der GOW_{max} von 10 µg/l und entspricht damit einem Geringfügigkeitsschwellenwert von

GFS = 260 ng/l für Formaldehyd.

7 Literatur

- ad-hoc-AG 2006: Ad-hoc-AG aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und Vertretern der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden: Krebserzeugende Wirkung von Formaldehyd – Änderung des Richtwertes für die Innenraumluft von 0,1 ppm nicht erforderlich. Umweltmed. Forsch. Prax. 11 (6), 362 (2006)
- AFC/EFSA 2007: Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food (AFC): Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) related to use of formaldehyde as a preservative during the manufacture and preparation of food additives. Question number: EFSA-Q-2005-032. European Food Safety Authority. 2007. <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/415.htm>
- Alabaster, J.S.: Survival of fish in 164 herbicides, insecticides, fungicides, wetting agents and miscellaneous substances. Int. Pest. Control 11 (2), 29-35 (1969) ; zitiert in IPCS Environ. Health Criteria 89 (1989), EU 2000, ECOTOX 2010 und HSDB 2010
- Appel, K.-E.; Bernauer, U. ; Herbst, U.; Madle, S.; Schulte, A.; Richter-Reichhelm, H.-B.; Gundert-Remy, U.: Kann für Formaldehyd eine „sichere“ Konzentration abgeleitet werden? – Analyse der Daten zur krebserzeugenden Wirkung. Umweltmed. Forsch. Prax. 11 (6), 347-361 (2006)
- Atkinson, D.S.; Schwitzenbaum, M.S.: Microtox Assessment of Anaerobic Bacterial Toxicity. Paper presented at the International Conference on Innovative Biological Treatment of Toxic Wastewaters, Arlington, VA, USA. 1986; zitiert in Rippen 2011
- Aunaas, T.; Einarson, S.; Southon, T.E.; Zachariassen, K.E.: The effects of organic and inorganic pollutants on intracellular phosphate compounds in blue mussels (*Mytilus edulis*). Comp. Biochem. Physiol. 100C (1/2), 89-93 (1991)
- Australia 2006: Australian Government, Department of Health and Aging, National Industrial Chemicals Notification and Assessment Scheme: Priority Existing Chemical Assessment Report No. 28: Formaldehyde. 353 Seiten. Sydney, November 2006
- BASF AG, Labor Ökologie, unveröffentlicht, 14.2.1979 (1979), zitiert in EU 2000 und OECD 2002
- Bedarfsgegenständeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Dezember 1997 (BGBl. 1998 I, S. 5), zuletzt geändert durch Verordnung vom 3. August 2010 (BGBl. I S. 1138)
- Bills, T.D.; Marking, L.L.; Chandler, Jr., J.H.: Formalin: Its toxicity to nontarget aquatic organisms, persistence and counteraction. Investigations in Fish Control No. 73, U.S. Dept. Int. Fish & Wildlife Ser., Washington, D.C., 1977, S. 1-7
- Birdsong, C.L.; Avault, J.V., Jr.: Toxicity of certain chemicals to juvenile pompano. The progressive fish-culturist 33 (2), 76-80 (1971); zitiert in CICADS 2002
- Boillot, C.; Bazin, C.; Tissot-Guerraz, T.; Droguet, J.; Perraud, M.; Cetre, J.C.; Trepo, D.; Perrodin, Y.: Daily physicochemical, microbiological and ecotoxicological fluctuation of a hospital effluent according to technical and care activities. Sci. Total Environ. 403, 113-129 (2008)
- Brans 2008: Auszug aus der Dissertation von Justus Brans, Anhang: Tabelle A 4.9 Ableitung der Geringfügigkeitsschwellenwerte, S. 263-271

Bringmann, G.; Kühn, R.: Vergleichende wassertoxikologische Untersuchungen an Bakterien, Algen und Kleinkrebsen. Gesundheits-Ingenieur 4, 115-120 (1959); zitiert in ECOTOX 2010

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

Bringmann, G.; Kühn, R.: Befunde der Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen *Daphnia magna*. Z. Wasser Abwasser Forsch. 10 (5), 161-166 (1977)

Bringmann, G.; Kühn, R.: Vergleichende toxikologische Befunde an Wasserbakterien. gwf – Wasser Abwasser 81 (11), 337-339 (1960)

Bringmann, G.; Kühn, R.: Bestimmung der biologischen Schadwirkung wassergefährdender Stoffe aus der Hemmung der Glukose-Assimilation des Bakteriums *Pseudomonas fluorescens*. Gesundheits-Ingenieur 94 (12), 366-369 (1973); zitiert in Verschueren 2009

Bringmann, G.; Kühn, R.: Grenzwerte der Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen Blaualgen (*Microcystis aeruginosa*) und Grünalgen (*Scenedesmus quadricauda*) im Zellvermehrungshemmtest. Vom Wasser 50 (1978) 45-60

Bringmann, G.; Kühn, R.: Comparison of the toxicity thresholds of water pollutants to bacteria, algae and protozoa in the cell multiplication inhibition test. Water Res. 4, 231-241 (1980)

Bringmann, G.; Kühn, R.: Bestimmung der biologischen Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen Protozoen. II. Bakterienfressende Ciliaten. Z. Wasser Abwasser Forsch. 13 (1), 26-31 (1980); zit. in Verschueren 2009

Bringmann, G.; Kühn, R.: Vergleich der Wirkung von Schadstoffen auf flagellate sowie ciliate bzw. auf holozoische bakterienfressende sowie saprozoische Protozoen. gwf Wasser Abwasser 122 (7), 308-313 (1981)

Bringmann, G.; Kühn, R.: Ergebnisse der Schadwirkung wassergefährdender Stoffe gegen *Daphnia magna* in einem weiterentwickelten standardisierten Testverfahren. Z. Wasser Abwasser Forsch. 15 (1), 1-6 (1982)

Brungs, W.A.; Carlson, R.W.; Horning II, W.B.; McCormick, J.H.; Spehar, R.L.; Yount, J.D.: Effect of Pollution on Freshwater Fish. J. Water Pollut. Control Fed. 50, 1582-1637 (1978); zitiert in IPCS Environ. Health Criteria 89 (1989) und EU 2000

Bu-Olayan, A.H.; Thomas, B.V.: Assessment on Biocides Bioaccumulation in Mullet *Liza klunzingeri* in Kuwaiti Waters, off the Arabian Gulf. Am. J. Environ. Sci. 2 (3), 109-113 (2006a)

Bu-Olayan, A.H.; Thomas, B.V.: Brine Shrimp, *Artemia franciscana* as a Tool to Study Biocides Toxicity in Kuwait Bay, off the Arabian Gulf. J. Appl. Sci. Environ. Sanitat. 1 (1), 1-7 (2006b)

Bu-Olayan, A.H.; Thomas, B.V.; Husaini, M.S.: Toxicity and Accumulation of Biocides to Body Structures of Mullet Fish *Liza klunzingeri* (Mulletidae: Perciformes). American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 3 (1) 13-18 (2008)

Bundesgesundheitsblatt 1991: Deklarationsgrenze für Formaldehyd in kosmetischen Mitteln. Bundesgesundhbl. 2/91, 77

Burridge, T.R.; Lavery, T.; Lam, P.K.S.: Acute Toxicity Tests Using *Phyllospora comosa* (Labillardiere) C. Agardh (Phaeophyta: Fucales) and *Allorchestes compressa* Dana (Crustacea: Amphipoda). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 55 (4), 621-628 (1995)

BVL 2009: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit: Liste der für Futtermittel zugelassenen Zusatzstoffe. Zusatzstoffe zugelassen nach Richtlinie 70/524/EWG und Übergangsregelung Verordnung EG 1831/2003.

Canada (2004): Government of Canada, Health and Welfare Canada, Environment Canada. Canadian Environmental Protection Act. Rapport d'évaluation des substances d'intérêt prioritaire. 2004. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/contaminants/index_e.html; zitiert in Boillot et al. 2008

ChemVerbotsV 2008: Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalien-Verbotsverordnung - ChemVerbotsV). Neufassung vom 13. Juni 2003, BGBl. I 2003 S. 867, zuletzt geändert durch Verordnung vom 21.07.2008, BGBl. I 2008 S. 1328.

Chen, C.Y.; Chen, S.L.; Christensen, E.R.: Individual and Combined Toxicity of Nitriles and Aldehydes to *Raphidocelis subcapitata*. Environ. Toxicol. Chem. 24 (5), 1067-1073 (2005)

Chen, C.Y.; Wang, Y.J.; Yang, C.F.: Estimating low-toxic-effect concentrations in closed-system algal toxicity tests. Ecotox. Environ. Safety 72 (2009) 1514-1522

Chinabut, S.; Limsuwan Ch.; Sangjan, M.: Formalin: Its toxicity to *Aeromonas hydrophila*, Planktons and degradation. Network of Aquaculture Centres in Asia. NACA/WP/88/72 (1988)

Chou, C.C.; Que Hee, S.S. Microtox EC50 values for drinking water by-products produced by ozonolysis. Ecotox. Environ. Safety 23, 355-363 (1992); zitiert in CICADS 2002

CICADS 2002: Liteplo, R.G.; Beauchamp, R.; Meek, M.E.; Chénier, R.: Concise International Chemical Assessment Document 40. Bericht im Auftrag von United Nations Environment Programme, International Labour Organization und World Health Organization. WHO: Genf 2002. <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad40.htm#10.1>

Clemens, H.P.; Sneed, K.E.: Lethal doses of several commercial chemicals for fingerling channel cat fish. Washington D.C., U.S. Department of the Interior (Spec. Sci. Rep. Fish No. 316 (1959); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

Clemens, H.P.; Sneed, K.E.: The spawning behavior of the channel catfish *Ictalurus punctatus*. Prog. Fish-Cult. 20, 8-15 (1958); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

Committee 2011: Committee to Review EPA's Draft IRIS Assessment of Formaldehyde: Review of the Environmental Protection Agency's Draft IRIS Assessment of Formaldehyde, Board on Environmental Studies and Toxicology, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies, The National Academies Press, Washington, D.C., Mai 2011; www.nap.edu

Connecticut 2010: Connecticut Department of Environmental Protection, Bureau of Water Protection and Land Reuse, Planning & Standards Division: Technical Supporting Information for Proposed Revisions to the Connecticut Water Quality Standards: Ambient Water Quality Criteria. 28. Januar 2010. 181 Seiten. http://www.ct.gov/dep/lib/dep/water/water_quality_standards/tech_s_wqs.pdf

Cooney, J.D.; Bourgoïn, M.I.: Comparative Toxicity of Formaldehyde to Freshwater Daphnids (*Ceriodaphnia dubia* and *D. pulex*), Ostracods (*Cypridopsis vidua*), and Fathead Minnows (*Pimephales promelas*). In Vorbereitung 2001 nach Hohreiter und Rigg 2001

Deneer, J.W.; Seinen, W.; Hermens, J.L.M.: The Acute Toxicity of Aldehydes to the Guppy. *Aquat. Toxicol.* 12, 185-192 (1988); zitiert in Rippen 2011

Dieter, H.H. (2009): Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte, Maßnahmenwerte – Definitionen und Festlegungen mit Beispielen aus dem UBA. Fortschreibung eines Vortrages zur 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft „Mikroschadstoffe in der aquatischen Umwelt“ vom 18.-20. März 2009 im EUROGRESS Aachen; Stand Oktober 2009.

http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/grenzwerte_leitwerte.pdf

Dolezelova, P.; Macova, S.; Plhalova, L.; Pistekova, V.; Svobodova, Z.; Bedanova, I.; Volarova, E.: Comparison of the sensitivity of different fish species to medical substances. *Neuro. Endocrinol. Lett.* 30, Suppl. 1, 248-252 (2009)

Dowden, B.F.; Bennett, H.J.: Toxicity of selected chemicals to certain animals, *J. Water Pollut. Control Fed.* 37 (9), 1308-1316 (1965); zitiert in ECOTOX 2010

Dureza, L.A.: Toxicity and Lesions in the Gills of *Tilapia nilotica* Fry and Fingerlings Exposed to Formalin, Furanace, Potassium Permanganate and Malachite Green. Dissertation. Auburn University, Auburn, LA : 79 Seiten (UMI # 8825767); zitiert in ECOTOX 2010

ECB 2003: European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: Technical Guidance Document on Risk Assessment. Part II: Chapter 3 – Environmental Risk Assessment. 2003. 337 Seiten. <http://ecb.jrc.ec.europa.eu/tgd/>

EG (1970): Richtlinie 70/524/EWG des Rates vom 23. November 1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung. Amtsblatt Nr. L 270 vom 14.12.1970, S. 0001-0017.

ECOTOX 2010: U.S. Environmental Protection Agency: ECOTOXicology database (ECOTOX). Version 4. Quick Database Query. Aquatic Report. CAS #/Chemical: 50000 – Formalin. 661 Records. Stand 7.10.2010. http://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.htm

Eisenträger, A.; Brinkmann, C.; Michel, K.; Hahn, S.; Hüttner, M.; Weber, G.: Development of Automated High-Throughput Ecotoxicity and Genotoxicity Test Systems and Fields of Application. *Water Sci. Technol.* 50 (5) 109-114 (2004)

EPA 2007: U.S. EPA's Office of Pollution Prevention Toxics and Syracuse Research Cooperation (SRC): Estimation Programs Interface (EPI) Suite. U.S. Environmental Protection Agency. Version 3.2. Februar 2007. <http://www.epa.gov/opptintr/exposure/pubs/episuitedi.htm>

EPA 2008: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs: Reregistration Eligibility Decision for Formaldehyde and Paraformaldehyde (Case 0556). Juni 2008. 88 Seiten. <http://epa.gov/pesticides/reregistration/REDS/formaldehyde-red.pdf>

EPA 2010: U.S. Environmental Protection Agency: Draft: Toxicological Review of Formaldehyde – Inhalation Assessment (CAS No. 50-00-0). In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS). Volume I of IV. Introduction, Background, and Toxicokinetics. 1043 Seiten. Washington, D.C., Juni 2010; http://cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=223614

ETOX 2010: Umweltbundesamt Berlin: ETOX – Informationssystem Ökotoxikologie und Umweltqualitätsziele. <http://webetox.uba.de/webETOX/public/search/test.do>. Oktober 2010

EU.Umweltqualitätsnormen 2008: Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien des Rates 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. Amtsblatt der Europäischen Union L 348/84-97 vom 24.12.2008

EU (2003): Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über Zusatzstoffe zur Verwendung in der Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Union vom 28.10.2003, L 268/29 – L 268/43

EU (2007): Verordnung (EG) Nr. 1451/2007 der Kommission vom 4. Dezember 2007 über die zweite Phase des Zehn-Jahres-Arbeitsprogramms gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten. Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.12.2007, L 325/3 - 325/65

EU 2008: European Chemicals Agency (ECHA): Data on Manufacture, Inport, Export, Uses and Releases of HBCDD as well as Information on Potential Alternatives to Its Use. 108 Seiten. ECHA_2008_2_SR04_HBCDD_report_12_01_2009.doc.

EU 2010: European Chemicals Agency (ECHA): Registry of Intentions for Annex XV Dossiers – Dossiers Submitted. http://echa.europa.eu/chem_data/reg_int_tables/reg_int_en.asp?substance_state=submitted

Euler, U.; Kersten, N.; Grötzschel, S.: Berufliche Formaldehydexposition und Nasopharynxkarzinom – eine systematische Literaturübersicht mit kritischer Bewertung der Literatur. Forschungsprojekt F 2177. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). 82 Seiten. Dortmund/Berlin/Dresden: 2009

Fajer-Ávila, E.J.; Abdo-de la Parra, I.; Aguilar-Zarate, G.; Contreras-Arce, R.; Joel Zaldívar-Ramírez, J.; Betancourt-Lozano, M.: Toxicity of formalin to bullseye puffer fish (*Sphoeroides annulatus* Jenyns, 1843) and its effectiveness to control ectoparasites. *Aquaculture* 223, 41-50 (2003)

FEEDAP/EFSA 2004/2008: Panel on additives and products or substances used in animal feed: Opinion of the Scientific Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) on safety of formaldehyde for poultry as feed additive in accordance with Council Directive 70/524/EEC. Question number: EFSA-Q-2004-032. 2004, last update 2008. <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/96.htm>

FEEDAP/EFSA 2006: Panel on additives and products or substances used in animal feed: Opinion of the Panel on additives and products or substances used in animal feed (FEEDAP) for the establishment of guidelines on the assessment of safety and efficacy of silage additives, on a request from the Commission under Article 7(5) of Regulation (EC) No 1831/2003. Question number: EFSA-Q-2004-088. 2006. <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/scdoc/349.htm?wtrl=01>

Fernández-Tejedor, M.; Soubrier-Pedreño, M.A.; Furones, M.D.: Mitigation of Lethal Effects of *Karlodinium veneficum* and *K. armiger* on *Sparus aurata*: Changes in Haematocrit and Plasma Osmolality. *Diseases. Aquat. Org.* 77 (1), 53-59 (2007)

Flöser, V.: Abwasserbelastung durch Krankenhäuser – ein Problem? Vortrag zum 2. Krankenhaus-Umwelttag NRW der Krankenhausgesellschaft NW e.V. am 26.9.2006 in Bochum. Ingenieurbüro Veit Flöser, Hannover. S. 18

Freie Hansestadt Bremen, 2006: Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen: Einleiter-Erlaubnis-Nr. I/9/2006 der Stahlwerke Bremen GmbH vom 11.5.2006. S. 1-18

Fromm, P.O.; Olson K.R.: Industrial and Municipal Wastes: Action of Some Water Soluble Pollutants on Fish. Office of Water Res. and Technol., Michigan State University, East Lansing, MI :24 p.(U.S.NTIS PB-237428) (1973) (Author Communication Used); zitiert in ECOTOX 2010

Gerike, P.; Gode, P.: The biodegradability and inhibitory threshold concentration of some disinfectants. Chemosphere 21, 799-812 (1990); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

Govorunova, E.G.; Altschuler, I.M.; Hader, D.P.; Sineshchekov, O.A. : A Novel Express Bioassay for Detecting Toxic Substances in Water by Recording Rhodopsin-Mediated Photoelectric Responses in Chlamydomonas Cell Suspensions. Photochem.Photobiol. 72 (3), 320-326 (2000); zitiert in ECOTOX 2010

Guilhermino, L.; Diamantino, T.; Silva, M.C.; Soares, A.M.V.M.: Acute Toxicity Test with *Daphnia magna*: An Alternative to Mammals in the Prescreening of Chemical Toxicity? Ecotox. Environ. Safety 46 (3), 357-362

Hamasaki, K.; Hatai, K.: Prevention of Fungal Infection in the Eggs and Larvae of the Swimming Crab *Portunus trituberculatus* and the Mud Crab *Scylla serrata* by Bath Treatment. Bull.Japan Soc. Sci. Fish. 59 (6), 1067-1072 (1993)

Han, T.; Han, Y.-S.; Park, C.Y.; Jun, Y.S.; Kwon, M.J.; Kang, S.-H.; Brown, M.T.: Spore Release by the Green Alga *Ulva*: A Quantitative Assay to Evaluate Aquatic Toxicants. Environ. Pollut. 153 (3), 699-705 (2008)

Han, T.; Kong, Jeong-Ae; Brown, M.T.: Aquatic toxicity tests of *Ulva pertusa* Kjellman (Ulvales, Chlorophyta) using spore germination and gametophyte growth. Europ. J. Phycol. 44 (3), 357-363 (2009)

Hartung, J.: Testing the Antimicrobial Activity of Compounds from the Air of Animal Houses Using the Microtox Test. Toxicity Assess. 2, 1-15 (1987); zitiert in Rippen 2011

Helms, D.R.: Use of Formalin for Selective Control of Tadpoles in the Presence of Fishes. Prog. Fish Cult. 29, 43-47 (1967); zitiert in IPCS 1989, EU 2000, OECD 2002 sowie Hohreiter und Rigg 2001

Hermens, J.; Busser, F.; Leeuwangh, P.; Musch, A.: Quantitative Correlation Studies Between the Acute Lethal Toxicity of 15 Organic Halides to the Guppy (*Poecilia reticulata*) and Chemical Reactivity Towards 4-Nitrobenzylpyridine. Toxicol. Environ. Chem. 9, 219-236 (1985)

Hinton, M.J.; Eversole, A.G.: Toxicity of ten commonly used chemicals to American eel. Proc. Annu. Conf. Southeast Assoc. Fish. Wildl. Agencies 32, 599-604 (1978)

Hinton, M.J.; A.G. Eversole, A.G.: Toxicity of Ten Chemicals Commonly Used in Aquaculture to the Black Eel Stage of the American Eel. Proc. 10th Annu. Workshop World Aquaculture Society 10 (1), 554-560 (1979) und

Hinton, M.J.; A.G. Eversole, A.G.: Toxicity and tolerance studies with yellow-phase eels. Prog. Fish-Cult. 42, 201-203 (1980); zitiert in IPCS 1989 und EU 2000

Hohreiter, D.W.; Rigg, D.K.: Derivation of ambient water quality criteria for formaldehyde. *Chemosphere* 45 (4-5), 471-486 (2001)

HSDB 2010: Hazardous Substances Data Bank: Formaldehyde. HSN 164, RN 50-00-0. Last Update 9. September 2010. <http://toxnet.nlm.nih.gov>; Ökotox-Daten zitiert ausschließlich aus ECOTOX (http://cfpub.epa.gov/ecotox/quick_query.htm)

IPCS 1989: World Health Organization: International Programme on Chemical Safety No. 89 – Formaldehyde. Genf: 1989. 127 Seiten. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm>

IARC 2006: World Health Organization: International Agency for Research on Cancer: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 88 (2006): Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Lyon: 2006. 478 Seiten. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol88/index.php>

Intorre, L.; Meucci, V.; Di Bello, D.; Monni, G.; Soldani, G.; Pretti, C.: Tolerance of Benzalkonium Chloride, Formalin, Malachite Green, and Potassium Permanganate in Goldfish and Zebrafish. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 231 (4), 590-595 (2007)

IRIS 2010: U.S. Environmental Protection Agency: Integrated Risk Information System (IRIS). Formaldehyde. CASRN: 50-00-0. Last Revision 1.9.1990; <http://toxnet.nlm.nih.gov>. Stand 5.10.2010

Janssen, C.R.; Persoone, G.: Rapid Toxicity Screening Tests for Aquatic Biota. 1. Methodology and Experiments with *Daphnia magna*. *Environ. Toxicol. Chem.* 12, 711-717 (1993); zitiert in Rippen 2011

Janus, J.A.; Posthumus, R.: Environmental Risk Limits for 2-propanol, Formaldehyde and 4-chloromethylphenols – updated proposals.) RIVM report 601501015/2002. 92 Seiten. National Institute of Public Health and the Environment: Bilthoven 2002. rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/9223/1/601501015.pdf

Johnson, S.K.: Texas Agricultural Extension Service, Fish Disease Diagnostic Lab. (Report) FDDL-S3, Texas Agricultural Extension Service, Department of Wildlife and Fisheries Sciences, 12 Seiten. 1974; zitiert in EU 2000

Johnson, R.; Tietge, J.; Stokes, G.; Lothenbach, D.: The Medaka Carcinogenesis Model. In: Tech. Rep. 9306, Compendium of the FY 1988 & FY 1989 Res. Rev. for the Res. Methods Branch, U.S. Army Biomedical Res. & Dev. Lab., Ft. Detrick, Frederick, MD: 147-172 (U.S. NTIS AD-A272667); zitiert in ECOTOX 2010

Juhnke, I.; Lüdemann, D.: Ergebnisse der Untersuchung von 200 chemischen Verbindungen auf akute Fischtoxizität mit dem Goldorfentest. *Z. Wasser Abwasser Forsch.* 11, 161-164 (1978)

Jung, S.H.; Sim, D.S.; Park, M.-S.; Jo, Q.; Kim, Y.: Effects of formalin on haematological and blood chemistry in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). *Aquacult. Res.* 34 (14), 1269–1275 (2003)

Kakiichi, N.; et al.: Toxicity of Sodium Hypochlorite, Sodium Dichloroisocyanurate, Iodophors, Formaldehyde and Glutaraldehyde against Ciliate *Colpoda aspera*. *J. Antibact. Antifung. Agents* 23 (11), 669-673 (1995); zit. in EU 2000 und OECD 2002

Kim, S.-R.; Park, K.-H.; Kim, D.W.; Jung, S.J.; Kang, S.-Y.; Oh, M.-J.: Antimicrobial Effects of Chemical Disinfectants on Fish Pathogenic Bacteria. *Food Sci. Biotechnol.* 17 (5), 971-975 (2008)

Klecka, G.M.; Landi, L.P.; Bodner, K.M.: Evaluation of the OECD activated sludge respiration inhibition test. *Chemosphere* 14, 1239-1251 (1985); zitiert in EU 2000, Verschueren 2009 und OECD 2002

Kobayashi, N.: Fertilized Sea Urchin Eggs as an Indicatory Material for Marine Pollution Bioassay, Preliminary Experiments. *Mar. Biol. Lab* 18 (6), 379-406 (1971); zitiert in ECOTOX 2010

Kodama, H.; Matsuoka, Y.; Tanaka, Y.; Liu, Y.; Iwasaki, T.; Watarai, S.: Changes of C-reactive protein levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sera after exposure to anti-ectoparasitic chemicals used in aquaculture. *Fish Shellfish Immunol.* 16 (5), 589-97 (2004)

Krebs, F.: Vergiftung der Selbstreinigung durch toxische Abwässer. Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, an das Umweltbundesamt, Berlin; Forschungsvorhaben Nr. 102 04 301, 1981; zitiert in Rippen 2011

Krebs, F.: Bestimmung der biologischen Schadwirkung wassergefährdender Stoffe im Assimilations-Zehrungs-Test (A-Z-Test). *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 35 (5/6), 161-170 (1991); zitiert in ETOX 2010

Kudla, A.J.: Hydra Reaggregation: A Rapid Assay to Predict Teratogenic Hazards Induced by Environmental Toxicity. *J. Wash. Acad. Sci.* 74 (4), 102-107 (1984)

Lagerspetz, K.Y.H. ; Tiiska, A. ; Senius, E.O.: Low sensitivity of ciliary activity in the gills of *Anodonta cygnea* to some ecotoxicals. *Comp. Biochem. Physiol.* 105C (3), 393-395 (1993)

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

Lockhart, C.L.: Control of nematodes in peat with formaldehyde. *Can. Plant Dis. Surv.* 52, 104 (1972); zitiert in OECD 2002

López-Rodas, V.; Perdignes, N.; Marva, F. ; Rouco, M. ; García-Cabrera, J.A. : Adaptation of Phytoplankton to Novel Residual Materials of Water Pollution: An Experimental Model Analysing the Evolution of an Experimental Microalgal Population Under Formaldehyde Contamination. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 80 (2), 158-162 (2008)

Mackay, D.; Yuen, T.K.: Volatilization Rates of Organic Comtaminants from Rivers. *Water Pollut. Res. J. Can.* 15, 83-98 (1980); zitiert in Rippen 2011

MAK 2011: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 47. MAK- und BAT-Werte-Liste 2011. Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte. Weinheim: Wiley-VCH 2011

Marking, L.L.; Rach, J.J.; Schreier, T.M.: Evaluation of Antifungal Agents for Fish Culture. *Prog. Fish-Cult.* 56 (4), 225-231 (1994); zitiert in ECOTOX 2010

Masaru, N.; Syozo, F.; Saburo, K.: Effects of exposure to various injurious gases on germination of lily pollen. *Environ. Pollut.* 11, 181-188 (1976); zitiert in OECD 2002

McKim, J.M.; Anderson, R.L.; Benoit, D.A.; Spehar, R.L.; Stokes, G.N.: Effects of pollution on freshwater fish. *J. Water Pollut. Control Fed.* 48, 1544-1620 (1976); zitiert in IPCS 1989 und EU 2000

McKinnon, M.B.; Kaiser, K.L.E.: The desktop computer spreadsheet as a scientific database and powerful research tool. *Chemosphere* 27, 1159-1169 (1993); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

Meinck, F.; Stooff, H.; Kohlschütter, H.: *Industrieabwässer*. Neu bearbeitet und herausgegeben von Meinck, F. Gustav Fischer. Stuttgart: 1968

Merck 2008: Merck Sicherheitsdatenblatt gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH). Stand 19.9.2008

Mishra, A.K.; Pandey, A.B.: Toxicity of Three Herbicides to Some Nitrogen-Fixing Cyanobacteria. *Ecotox. Environ. Safety* 17 (2), 236-246 (1989); zitiert in ECOTOX 2010

Miyoshi, N.; Kawano, T.; Tanaka, M.; Kadono, T.; Kosaka, T.; Kunimoto, M.; Takahashi, T.; Hosoya, H.: Use of *Paramecium* Species in Bioassays for Environmental Risk Management: Determination of IC50 Values for Water Pollutants. *J. Health Sci.* 49 (6), 429-435 (2003)

Moss, J.L.: Toxicity of selected chemicals to the fairy shrimp, *Streptocephalus seali*, under laboratory and field conditions. *Prog. Fish-Cult.* 40 (4), 158-160 (1978); zit. in EU 2000 und OECD 2002

NAC 2008: National Advisory Committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous 5 Substances (NAC/AEGL Committee): Interim Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) for Formaldehyde (CAS Reg. No. 50-00-0). NAC/Interim 1: 07/2008. 71 Seiten.
http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/formaldehyde_tsd_interim_07_2008.v1.pdf

NADA (2002): FREEDOM OF INFORMATION SUMMARY. NADA 137-687.FORMALIN-FTM (formalin: approximately 37% by weight of formaldehyde gas) "...for the use of formalin to be expanded, as a parasiticide, to all finfish and penaeid shrimp, and, as a fungicide, to the eggs of all finfish". SUPPLEMENTAL NEW ANIMAL DRUG APPLICATION. Sponsored by: Natchez Animal Supply Company: Natchez, MI, USA (2002)

Nałęcz-Jawecki, G.; Sawicki, J.: A Comparison of Sensitivity of Spirotox Biotest with Standard Toxicity Tests. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 42, 389-395 (2002)

Nazarenko, I.V.: Vliyanie Formal'degida Na Vodnye Organizmy (Effect of Formaldehyde on Aquatic Organisms). *Tr. Vses. Gidrobiol. Ova.* 10, 170-174 (RUS) (Engl. Übersetzung: Bur. Sport Fish. Wildl., Washington, D.C., 6 Seiten (1971) / *Trans. All-Union Hydrobiol.Soc./*) (U.S. NTIS PB-196702)

Nendza, M.; Wenzel, A.: Discriminating toxicant classes by mode of action. 1. (Eco)toxicity profiles. *ESPR – Environ. Sci. & Pollut. Res.* 13 (3), 192-203 (2006)

Niederländische Liste 1994: Directoraat-Generaal Milieubeheer/Directie Bodem/Afdeling Waterbodems en Kwaliteit: Interventiewaarden bodemsanering. *Staatscourant* Nr. 95, 24.05.1994, S. 6-7,9; Wikipedia (NL): Streef- en Interventiewaarden. http://nl.wikipedia.org/wiki/Streef-_en_Interventiewaarden

Nieminen, M.; P. Pasanen, P.; Laitinen, M.: Effects of formalin treatment on the blood composition of salmon (*Salmo salar*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Comp. Biochem. Physiol.* 75C, 265-269 (1983); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

NIOSH 2004: National Institute for Occupational Safety and Health: Worker Notification Program – Garment Industry Workers (2) (Formaldehyde).
<http://www.cdc.gov/niosh/pgms/worknotify/Formaldehyde2.html>

NTP 2001: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Toxicology Program: 11th Report on Carcinogens. Substance Profiles. Formaldehyde (Gas)
CAS No. 50-00-0. 2 Seiten

NTP 2010: U.S. Department of Health and Human Services: Final Report on Carcinogens - Background Document for Formaldehyde. National Toxicology Program (NTP). Januar 2010. 552 Seiten.
http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/2009/November/Formaldehyde_BD_Final.pdf

OECD 2002: Formaldehyde. SIDS Initial Assessment Report for SIAM 14. Paris, Frankreich 3/2002. UNEP Publications. 3. OECD/ICCA –The BUA Peer Review Process. 395 Seiten

OECD 2010: OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Stand Juli 2010. http://www.oecd-ilibrary.org/content/package/chem_guide_pkg-en

Office of Pesticide Programs 2000: Pesticide Ecotoxicity Database (Formerly: Environmental Effects Database (EEDB)). Environmental Fate and Effects Division, U.S.EPA, Washington, D.C., 2000; zitiert in ECOTOX 2010

Omoregie, E.; Eseyin, T.G.; Ofojekwu, P.C: Chronic Effects of Formalin on Erythrocyte Counts and Plasma Glucose of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. Asian Fish. Sci. 7 (1), 1-6 (1994); zitiert in ECOTOX 2010

Park, K.-H.; Kim, S.-R.; Kang, S.Y.; Jung, S.-J.; Oh, M.-J.: Toxicity of Disinfectants in Flounder *Paralichthys olivaceus*, Black Rockfish *Sebastes pachycephalus* and Black Sea Bream *Acanthopagrus schlegelii*. J. Aquacult. 21 (1), 7-12 (2008)

Persson, L.: Studies on the Influence of Lime, Formalin, Formic Acid, and Ammonium Persulphate on the Eggs and Larvae of *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia oncophora* in Liquid Cattle Manure. Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe B, 20, 729–740 (1973)

Powell, M.D.: Chloramine-T and Formalin Chemoprophylaxis on Rainbow Trout Fingerlings and Atlantic Salmon Smolt: Some Preliminary Findings. In: Pirquet, K.T. (Hrsg.), Proc. of the 10th Annual Meeting of the Aquaculture Association of Canada, 24.-27.8.1993, Charlottetown, P.E.I., Bull. Aquacult. Assoc. Canada (93-4), 143-146 (1993); zitiert in ECOTOX 2010

Reardon, I.S.; Harrell, R.M.: Acute toxicity of formalin and copper sulfate to striped bass fingerlings held in varying salinities. Aquaculture 87 (3/4), 255-270 (1990); zitiert in CICADS 2002

Ricco, G.; Tomei, M.C.; Ramadori, R.; Laera, G.: Toxicity assessment of common xenobiotic compounds on municipal activated sludge: Comparison between respirometry and Microtox. Water Res. 38 (4), 2103-2110

Rippen, G.: Umweltchemikalien. CD-ROM. Landsberg: ecomed. Erstaussgabe 12/98. Stand 24. Aktualisierung 05/2011

Rojíčková, R.; Dvořáková, D.; Maršálek, B.: The use of miniaturized algal bioassays in comparison to the standard flask assay. Environ. Toxicol. Water Qual. 13 (3), 235–241 (1998)

Sabljić, A.; Güsten, H.; Verhaar, H.; Hermens, J.: QSAR modelling of soil sorption. Improvements and systematic of log K_{oc} vs. log K_{ow} correlations. Chemosphere 31 (11/12), 4489-4514 (1995)

Sangli, A. Banu; Kanabur, V.V.: Lethal toxicity of cyanide and formalin to a freshwater fish *Gambusia affinis*. Env. Eco. 18 (2), 362-364 (2000)

Schäfers, C.; Wenzel, A.; Lukow, T.; Sehr, I.; Egert, E. (2001): Ökotoxikologische Prüfung von Pflanzenschutzmitteln hinsichtlich ihres Potentials zur Grundwassergefährdung. UFOPLAN Forschungsbericht 298 28 415, UBA-Texte 76/01

Schneider, B.A.: Toxicology Handbook: Mammalian and Aquatic Data. Book 1, Toxicology Data, Washington D.C., U.S. Environmental Protection Agency, Report No. EPA-540/9-79-003A. NTIS PB-80-196876, 1979; zitiert in IPCS 1989 und Verschueren 2009

Schultz, T.W.; Bryant, S.E.; Lin, D.T.: Structure-Toxicity Relationships for *Tetrahymena*: Aliphatic Aldehydes. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 52, 279-285 (1994); zitiert in Rippen 2011, ECOTOX 2010, HSDB 2010 und Merck 2008

Sills, J.B.; Allen, J.L.: Residues of Formaldehyde Undetected in Fish Exposed to Formalin. Prog. Fish-Cult. 41 (2), 67-68 (1979)

Smith, C.E.; Piper, R.G.: Pathological Effects in Formalin-Treated Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish. Res. Board Can. 29 (3), 328-329 (1972); zitiert in ECOTOX 2010

Stephens, F.J.; Cleary, J.J.; Jenkins, G.; Jones, J.B.; Raidal, S.R.; Thomas, J.B.: Treatments to control *Haliotrema abaddon* in the West Australian dhufish, *Glaucosoma hebraicum*. Aquacult. 215 (1-4), 1-10 (2003)

Suzuki, Y.; Kimura, H.: Aichiken Suisan Shikenja Gyomu Hokoku, 55-58 (1989); zitiert in IPCS 1989 und OECD 2002

Suzuki, M.; Tokuda, M.: Concentration of Formaldehyde Affecting Growth of Marine Diatoms. Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult (Yoshoku Kenkyusho Kenkyu Hokoku) 27, 43-45 (1998) (JPN) (ENG ABS); zitiert in ECOTOX 2010

TA Luft 2002: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.7.2002. GMBI. S. 511

Tagatz, M.E.; Ivey, J.M.; Oglesby, J.L.: Toxicity of Drilling-Mud Biocides to Developing Estuarine Macrobenthic Communities. Northeast Gulf Sci. 3 (2), 88-95 (1979)

Tahedl, H.; Häder, D.-P.: Fast Examination of Water Quality Using the Automatic Biotest ECOTOX Based on the Movement Behavior of a Freshwater Flagellate. Water Res. 33 (2), 426-432 (1999)

Thomulka, K.W.; McGee, D.J.; Lange, J.H.: Detection of Biohazardous Materials in Water by Measuring Bioluminescence Reduction with the Marine Organism *Vibrio harveyi*. J. Environ. Sci. Health A28, 2153-2166 (1993); zitiert in EU 2000 und OECD 2002

Tišler, T.; Zagorc-Končan, J.: Comparative Assessment of Toxicity of Phenol, Formaldehyde, and Industrial Wastewater to Aquatic Organisms. Water Air Soil Pollut. 97, 315-322 (1997)

TRGS 2008: Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS): Technische Regeln für Gefahrstoffe, „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ (TRGS 905). Ausgabe Juli 2005; zuletzt geändert und ergänzt Mai 2008

TrinkwV 2001/ä: Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21.5.2001. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I Nr. 24, ausgegeben zu Bonn am 28.5.2001, 959 ff. Änderung

durch Art. 363 VO vom 31.10.2006 (BGBl. I S. 2407, 2456), in Kraft getreten am 8.11.2006 (Art. 559 VO vom 31.10.2006).

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Mai 2011 (BGBl. I S. 748)

Tsai, K.-P.; Chen, C.-Y.: An Algal Toxicity Database of Organic Toxicants Derived by a Closed-System Technique. Environ. Toxicol. Chem. 26 (9), 1931-1939 (2007)

UBA 2010: Umweltbundesamt Berlin: Rigoletto. Katalog wassergefährdender Stoffe. <http://webrigoletto.uba.de/rigoletto/public/search.do>. Stand Oktober 2010.

Vasu, A.B.: Biological and chemical determination of formaldehyde toxicity. Master's Project, Duke University. 1990; zitiert in Hohreiter und Rigg 2001

Walker, J.D.: Effects of chemicals on microorganisms. J. Water Pollut. Control Fed. 61 (6), 1077-1095 (1989); zitiert in Verschueren 2009

Verschueren, K.: Handbook of environmental data on organic chemicals. 5. Ausgabe. Wiley-VCH: 2009. ISBN: 978-0-470-17174-5

Vighi, M.; Migliorati, S.; Monti, G.S.: Toxicity of the Luminescent Bacterium *Vibrio fischeri* (Beijerinck). I: QSAR Equation for Narcotics and Polar Narcotics. Ecotox. Environ. Safety 72, 154-161 (2009)

Warne, M.S.J.; Schifko, A.D.: Toxicity of Laundry Detergent Components to a Freshwater Cladoceran and Their Contribution to Detergent Toxicity. Ecotox. Environ. Safety 44 (2), 196-206 (1999); zitiert in ECOTOX 2010

Wellborn, T.L.: The toxicity of nine therapeutic and herbicidal compounds to striped bass. Prog. Fish-Cult. 31 (1), 27-32 (1969); zitiert in IPCS 1989 und ECOTOX 2010

Wellens, H. Vergleich der Empfindlichkeit von *Brachydanio rerio* und *Leuciscus idus* bei der Untersuchung der Fischtoxizität von chemischen Verbindungen und Abwässern. Z. Wasser Abwasser Forsch. 15 (2), 49-52; zitiert in IPCS 1989 und Verschueren 2009, ECOTOX 2010 und HSDB 2010

WHO 1996: World Health Organization: Guidelines for Drinking-Water Quality - Second Edition - Volume 2 – Health Criteria and Other Supporting Information. 717 Seiten. Genf 1996. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol2p1.pdf

WHO 2003: Formaldehyde in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/03.04/48. Genf 2003. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/formaldehyde.pdf

WHO 2005: Formaldehyde in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines für Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/05.08/48, S.1-10; Genf 2005. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/formaldehyde130605.pdf

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

Willford, W.A.: Toxicity of 22 therapeutic compounds to six fishes. In: Investigations in Fish Control, No. 18, Washington D.C., U.S. Dept. Of the Interior, Bureau of Sport, Fisheries and Wildlife, 1-10 (1966); zitiert in IPCS 1989, EU 2000, OECD 2002 und HSDB 2010

Xu, H.; Song, W.; Zhu, M.; Qiu, Y.; Ma, H.: Acute toxicity of formalin to the red-tide dinoflagellate *Prorocentrum minimum* schiller (protozoa, mastigophora). J. Ocean Univ. China 4 (1), 89-92 (2005)

Yang, T.-B.; Lin, L. ; Chen, Y.-Z.; Liu, S.-F.: Effect of Formalin Treatment on the Monogenean *Pseudorhabdosynochus epinepheli* (Monogenea) and the Fish *Epinephelus coioides*. Acta Sci. Natur. Univ. Sunyatseni 42 (4), 59-63 (2003)

Anhang A:

Zusammenstellung ökotoxikologischer Daten für Spezies verschiedener trophischer Ebenen

Für die Ableitung einer PNEC herangezogene Daten sind grau unterlegt.

Toxizität gegenüber Pflanzen

Grünalge (*Desmodesmus quadricauda*) Süßwasser

EC₀ (8 d, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 2,5 mg/L (35%ig), umgerechnet 0,88 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1978]

EC₁₀ (24 h, Hemmung des Sauerstoffverbrauchs) = 3,6 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (24 h, Hemmung der Sauerstoffproduktion) = 14,7 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₉₀ (24 h, Hemmung des Sauerstoffverbrauchs) = 60,3 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (1 h; Hemmung der Photosynthese) = 211 mg/L („Formaldehyd“) [Nendza und Wenzel 2006]

Grünalge (*Desmodesmus* sp.):

EC_{min} (96 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 0,3 mg/L („Formaldehyd“, Formalin lt. ECOTOX), umgerechnet (mit 35 %) 0,11 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1959]

Grünalge (*Desmodesmus subspicatus*):

EC₅₀ (24 h; Hemmung des Wachstums) = 0,042 mg/L [ETOX 2010]

EC₅₀ (72 h, stat.; Fluoreszenz) = 6,8 mg/L („Formaldehyd“) [Eisenträger et al. 2004]

Grünalge (*Ankistrodesmus falcatus*): Süßwasser

EC₀ (18 d, fl.; Population) = 1 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 0,37 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₀ (46 d, fl.; Population) = 1 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 0,37 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₅₀ (18 d, fl.; Population) = 5 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₆₀ (18 d, fl.; Population) = 5 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₇₀ (46 d, fl.; Population) = 5 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₈₀ (46 d, fl.; Population) = 5 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₈₅ (46 d, fl.; Population) = 20 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 7,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

EC₉₈ (46 d, fl.; Population) = 20 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 7,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Nazarenko 1960]

Grünalge (*Ulva pertusa*): Salzwasser

EC₅₀ (96 h; Sporenbildung) = 0,788 µL/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 0,301 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2008]

NOEC (96 h; Sporenbildung) = 0,438 µL/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 0,167 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2008]

NOEC (96 h?; Sporenceimung) = 3,95 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 1,38 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Han et al. 2009]

Grünalge (*Pseudokirchneriella subcapitata*; = *Selenastrum capricornutum*; = *Raphidocelis subcapitata*):

NOEC (48 h, stat.; Produktion gelösten Sauerstoffs) < 1,06 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

NOEC (48 h, stat.; Biopopulation) = 1,06 mg/L ((Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

LOEC (48 h, stat.; Biopopulation) = 2,02 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

EC₁₀ (48 h, stat.; Biopopulation) = 0,801 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009]

EC₅₀ (48 h, stat., geschl. System; Hemmung des Wachstums) = 2,55 mg/L (nominal, Formaldehyd 100 %) [Tsai und Chen 2007];

EC₅₀ (48 h, stat.; Produktion gelösten Sauerstoffs) = 2,63 mg/L (nominal, Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2005];

EC₅₀ (48 h, stat.; Wachstumsrate) = 4,249 mg/L (nominal, Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2005]

EC₅₀ (48 h, stat.; Biopopulation) = 2,55 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Chen et al. 2009];

EC₅₀ (72 h, stat., 15-ml-Röhrchen; Hemmung des Wachstums) = 0,57 mg/L (nominal, 40 %), umgerechnet 0,23 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Rojíčková et al. 1998]

EC₅₀ (72 h, stat., Erlenmeyerkolben; Hemmung des Wachstums) = 0,74 mg/L (nominal, 40 %), umgerechnet 0,30 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Rojíčková et al. 1998];

Grünalge (*Chlamydomonas reinhardtii*):

EC₅₀ (3 min; Verhalten) = 90 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 33 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Govorunova et al. 2000];

EC₅₀ (3 min; Verhalten) = 141 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 52 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Govorunova et al. 2000]

EC₅₀ (3 min; Verhalten) = 400 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 148 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Govorunova et al. 2000]

Grünalge (*Chlorella zofingiensis*):

EC₅₀ (24 h, Hemmung der Assimilation) = 6,5 mg/L [Krebs 1991]

Grünalgen-Mischpopulation:

EC₁₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 2 mg/L [Krebs 1981];

EC₅₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 6,5 mg/L [Krebs 1981];

EC₁₀₀ (24 h, geschl. System; Sauerstoffproduktion) = 32 mg/L [Krebs 1981]

Braunalge (*Phyllospora comosa*): Salzwasser

LC₁₀₀ (24 h; Alter 1 d) = 100 mg/L (37%ig), umgerechnet 37 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burrige et al. 1995]

NOEC (96 h, stat.; Alter 1 d; Mortalität) < 0,1 mg/L (37%ig), umgerechnet < 0,037 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burrige et al. 1995]

LOEC (96 h; Alter 1 d; Mortalität) = 0,1 mg/L, (37%ig), umgerechnet 0,037 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burrige et al. 1995]

NOEC (96 h, stat.; Alter 7 d; Mortalität) = 1,0 mg/L (37%ig), umgerechnet 0,37 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burrige et al. 1995]

LOEC (96 h, stat.; Alter 7 d; Mortalität) = 10 mg/L (37%ig), umgerechnet 0,37 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Burrige et al. 1995]

Algen (Phycobionta):

LC₅₀ (96 h; Hemmung des Wachstums) = 3,0 mg/L [ETOX 2010]

Diatomeen (*Chaetoceros gracilis*):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Diatomeen (*Nitzschia* sp.):

EC (0-10 d; biochemische Wirkung, Population) = 0,1-5,0 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 0,037-1,85 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Suzuki und Tokuda 1998]

Mikroalge (*Dictyosphaerium chlorelloides*):

EC₅ (7 d, stat.; Hemmung der Fluoreszenz) = 4,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008];

EC₁₃ (7 d, stat.; Hemmung der Fluoreszenz) = 6,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008];

EC₁₇ (7 d, stat.; Hemmung des Wachstums) = 4,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008];

EC₆₁ (7 d, stat.; Hemmung des Wachstums) = 6,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008];

EC₉₈ (7 d, stat.; Hemmung der Fluoreszenz) = 10,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [López-Rodas et al. 2008];

EC₁₀₀ (7 d, stat.; Hemmung des Wachstums) = 10,6 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[López-Rodas et al. 2008];
EC₁₀₀ (7 d, stat.; Hemmung der Fluoreszenz) = 16,0 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[López-Rodas et al. 2008]

Armlauchteralge (*Ceratopyllum demersum*):

EC₀ (27 d; Wachstum) = 1 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 0,37 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Nazarenko 1960];
EC₈₅ (20 d; Wachstum) = 5 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 1,85 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Nazarenko 1960];
EC₁₀₀ (9 d; Wachstum) = 20 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 37 % 7,4 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Nazarenko 1960]

Toxizität gegenüber Mikroorganismen

Cyanobakterien (Blaualgen, *Microcystis aeruginosa*):

EC₀ (8 d, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 0,39 mg/L (35%ig), umgerechnet 0,137 mg/L
(Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1978]

Bakterien (*Pseudomonas putida*):

EC₀ (16 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 14 mg/L (35 %ig), umgerechnet 4,9 mg/L
(Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1978, 1980];
NOEC (Hemmung der Atmung; nicht adaptiert) = 30 mg/L [Gerike und Gode 1990]

Bakterien (*Pseudomonas fluorescens*):

EC_{min} (16 h; Beginn der Hemmung des Glukose-Abbaus) = 14 mg/L (35 %ig), umgerechnet 4,9 mg/L
(Formaldehyd 100 %) [Bringmann 1973]
EC_{min} (24 h; Beginn der Hemmung des Glukose-Abbaus) = 2 mg/L („Formaldehyd“, lt. ECOTOX bzgl.
Algen Formalin), umgerechnet 0,7 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1960]

Bakterien (*Escherichia coli*):

EC_{min} (24 h; Beginn der Hemmung des Glukose-Abbaus) = 1 mg/L („Formaldehyd“, lt. ECOTOX bzgl.
Algen Formalin), umgerechnet 0,35 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn 1960]
EC₅₀ (15 min; Sauerstoffaufnahme) = 2930 mg/L [Walker 1989]
EC₅₀ (12 h; Hemmung des Wachstums) = 108 mg/L [Walker 1989]
EC₅₀ (12 h; Sauerstoffaufnahme) = 135 mg/L [Walker 1989]

Bakterien (*Aeromonas hydrophila*):

LC₉₉ (24 h) = 25 mg/L [Chinabut et al. 1988];
LC₁₀₀ (24 h) = 50 mg/L [Chinabut et al. 1988]

Bakterienmischkultur:

EC₅₀ (30 min; Wachstum) = 540 mg/L [Elnabarawy et al. 1988]
EC (Hemmung des Abbaus) = 135-175 mg/L [Meinck et al. 1968]

Bakterienmischkultur:

EC₁₀ (120 h, stat.) = 14,7 mg/L (wahrscheinlich Formaldehyd 100 %; nominal)
[Tišler und Zagorc-Koncan 1997]
EC₅₀ (120 h, stat.) = 34,1 mg/L (wahrscheinlich Formaldehyd 100 %; nominal)
[Tišler und Zagorc-Koncan 1997]
EC₉₀ (120 h, stat.) = 78,9 mg/L (wahrscheinlich Formaldehyd 100 %; nominal)
[Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

Dinoflagellaten (*Prorocentrum minimum*):

LC₅₀ (24 h) = 3,98 mg/L (Formalin), umgerechnet mit geschätzt 35 % 1,39 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Xu et al. 2005]

Dinoflagellaten (*Amyloodinium ocellatum*):

EC₉₇ (60 min; Zahl der Hautparasiten) = 51 mg/L, umgerechnet 18,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

EC₆₈ (60 min; Zahl der Kiemenparasiten) = 51 mg/L, umgerechnet 18,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

EC₆₆ (7 h; Zahl der Hautparasiten) = 4 mg/L, umgerechnet 1,48 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

EC₈₄ (7 h; Zahl der Kiemenparasiten) = 4 mg/L, umgerechnet 1,48 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

Röhrenflagellaten (*Entosiphon sulcatum*):

EC₃ (72 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 22 mg/L (35 %ig), umgerechnet 7,7 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bringmann und Kühn, 1980; 1981]

Augentierchen (*Euglena gracilis*):

EC₅₀ (2-5 min; Geschwindigkeit) = 30 mg/L [Tahedi und Häder, 1999]

EC₅₀ (2-5 min; Orientierung) = 25 mg/L [Tahedi und Häder, 1999]

Einzeller (*Heterobothrium ecuadori*):

EC₅₀ (30 min; Immobilisierung) = 225 mg/L, umgerechnet 83 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

EC₅₀ (60 min; Immobilisierung) = 87 mg/L, umgerechnet 32 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003];

EC₅₀ (105 min; Immobilisierung) = 47 mg/L, umgerechnet 17,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003]

Protozoen (Microregma):

EC₅₀ (Sauerstoffverbrauch) < 3,0 mg/L [Krebs 1991]

Wirkung auf Enzyme:

EC₅₀ (Hemmung der Aktivität von β-Galaktosidase) = 541 mg/L [Walker 1989]

EC₅₀ (Hemmung der Synthese von β-Galaktosidase) = 6 mg/L [Walker 1989]

EC₅₀ (Hemmung von Urease) < 1 und 10 mg/L [Walker 1989]

industr. Belebtschlamm:

EC₁₀ (7 d; Hemmung der Atmung) > 2000 mg/L (35%ig), umgerechnet > 700 mg/L (Formaldehyd 100 %) [BASF 1979]

EC₂₀ = 1,43 mg/L (Formaldehyd 100 %) [BASF 1979]

EC₅₀ = 1,71 mg/L (Formaldehyd 100 %) [BASF 1979]

EC₈₀ = 4,29 mg/L (Formaldehyd 100 %) [BASF 1979]

Belebtschlamm:

EC₂₀ (30 min; Hemmung der Atmung) > 700 mg/L (35%ig), umgerechnet > 245 mg/L (Formaldehyd 100 %) [BASF 1979]

EC₅₀ (3 h; Hemmung der Atmung) = 20,4 mg/L [Klecka et al. 1985]

EC₅₀ (Hemmung der Atmung) = 92 mg/L [Walker 1989]

EC₅₀ (Hemmung der Atmung) = 125 mg/L [Elnabarawy et al. 1988]

EC₅₀ (3 h; Hemmung des Wachstums) = 125 mg/L [Elnabarawy et al. 1988]

EC₅₀ (16 h; Hemmung des Wachstums) = 19 mg/L [Klecka et al. 1985]

Belebtschlamm:

EC₅₀ (40 min; Hemmung der Atmung) = 62,7 mg/L [Ricco et al. 2004]

Hemmung der anaeroben Schlammfäulung:

EC = 100 mg/L [Meinck et al. 1968]

EC₅₀ = 200 mg/L [Atkinson und Schwitzenbaum 1986]

Keine Hemmung der Methan-Fermentation nach Adaption bis 15 % Formaldehyd [Meinck et al. 1968]

Stäbchenbakterien (Faulung) (*Alcaligenes* sp.):

Minimale Hemmkonzentration (72 h) = 50 mg/L (37%ig), umgerechnet 18,5 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kakiichi et al. 1995]

Marine Leuchtbakterien (*Vibrio phosphoreum*; = *Photobacterium phosphoreum*)

EC₅₀ (5 min) = 9,1 mg/L [Atkinson und Schwitzenbaum 1986]
EC₅₀ (5 min) = 10 mg/L [Walker 1989]
EC₅₀ (15 min) = 7,4 mg/L [Hartung 1987]
EC₅₀ (15 min) = 8,5 mg/L [Walker 1989]
EC₅₀ (15 min) = 14,0 mg/L (nominal) [Vighi et al. 2009]
EC₅₀ (20 min) = 260 mg/L [Walker 1989]
EC₅₀ (25 min) = 2,5 mg/L [Chou und Que Hee 1992]
EC₅₀ (30 min) = 8,1 mg/L [Ricco et al. 2004]
EC₅₀ (30 min) = 8,5 mg/L [Elnabarawy et al. 1988]
EC₅₀ (30 min) = 16,5 mg/L [McKinnon und Kaiser 1993]
EC₅₀ (30 min) = 540 mg/L [Walker 1989]

Marine Leuchtbakterien (*Vibrio harveyi*):

EC₅₀ (1 h; Biolumineszenz) = 1,2 mg/L [Thomulka et al. 1993] bzw. 0,44 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Janus und Posthumus 2002]

EC₅₀ (5 h; Biolumineszenz Wachstumstest) = 3,7 mg/L [Thomulka et al. 1993] bzw. 1,4 mg/L
(Formaldehyd 100 %) [Janus und Posthumus 2002]

Leuchtbakterien (*Vibrio* sp.):

EC_{<90} (20 min) = 200 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 70 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (20 min) = 800 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{<90} (60 min) = 200 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 70 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (60 min) = 800 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

Gram-negative Bakterien (*Edwardsiella tarda*):

EC_{<90} (20 min) = 100 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,95} (20 min) = 800 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{<90} (60 min) = 100 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (60 min) = 800 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

Gram-positive Bakterien (*Staphylococcus* sp.):

EC_{<90} (20 min) = 400 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,9} (20 min) = 1600 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{<90} (60 min) = 400 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (60 min) = 1600 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 35 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

Streptokokken (*Streptococcus* sp.) :

EC_{<90} (20 min) = 200 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 70 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (20 min) = 1600 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{<90} (60 min) = 200 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 70 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

EC_{99,99} (60 min) = 1600 mg/L (Formalin 35 %ig), umgerechnet 280 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Kim et al. 2008]

Bakterienfressende Protozoen:

Wimpertierchen (*Colpoda aspera*):

EC₁₀ (72 h) = 2,1 mg/L (37%ig), umgerechnet 0,78 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Kakiichi et al. 1995]

EC₅₀ (72 h) = 5,39 mg/L (37%ig), umgerechnet 2,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Kakiichi et al. 1995]

Wimpertierchen (*Uronema parduczi* Chatton-Lwoff)

EC₀ (20 h; Hemmung der Zellvermehrung) = 6,5 mg/L (35 %ig), umgerechnet 2,3 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1980, 1981]

Saprozoische Protozoen (*Chilomonas paramaecium* Ehrenberg):

EC₅ (48 h, stat.; Hemmung der Zellvermehrung) = 4,5 mg/L (35 %ig), umgerechnet 1,58 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn, 1981]

Bodenbakterien

EC₅₀ (15 min; Sauerstoffaufnahme) = 2070 mg/L [Walker 1989]

EC₅₀ (12 h; Hemmung des Wachstums) = 94 mg/L [Walker 1989]

EC₅₀ (12 h; Sauerstoffaufnahme) = 96 mg/L [Walker 1989]

Toxizität gegenüber aquatischen Invertebraten

Hinweis: Toxische Grenzkonzentration (TGK) wurde zwecks Vereinheitlichung der Bezeichnungen mit EC₀ gleich gesetzt

Großer Wasserfloh (*Daphnia magna*):

EC₅₀ (1 h; Enzymhemmung) = 39 mg/L [Janssen und Persoone 1993]

EC₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 27 mg/L (35%ig), umgerechnet 9,5 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1977]

EC₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 33 mg/L (35%ig), umgerechnet 11,6 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1982]

EC₅₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 42 mg/L (35%ig), umgerechnet 14,7 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1982]

EC₅₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 52 mg/L (35%ig), umgerechnet 18,2 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1977]

EC₁₀₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 53 mg/L (35%ig), umgerechnet 18,6 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1982]

EC₁₀₀ (24 h; Schwimmfähigkeit) = 77 mg/L (35 %ig), umgerechnet 27 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bringmann und Kühn 1977]

EC₅₀ (24 h, stat.) = 5 mg/L (nominal; 100 % Formaldehyd) [Lagerspetz et al. 1993]

EC₅₀ (24 h; Enzymhemmung) = 57 mg/L [Janssen und Persoone 1993]

EC₅₀ (24 h) > 100 - 1000 mg/L [Dowden und Bennett 1965]

EC₅₀ (48 h, stat.) = 14 mg/L (nominal; 100 % Formaldehyd) [Lagerspetz et al. 1993]

EC₅₀ (48 h; Enzymhemmung) = 29 mg/L [Janssen und Persoone 1993]

EC₅₀ (48 h; täglich erneuert) = 7,6 mg/L (nominal) [Nazarenko 1960; Hohreiter und Riggs 2001]

EC₁₀₀ (96 h; täglich erneuert) = 20 mg/L (nominal) [Nazarenko 1960]

Gemeiner Wasserfloh (*Daphnia pulex*):

EC₁₀ (48 h, stat.) = 1,9 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (48 h, stat.) = 5,8 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₉₀ (48 h, stat.) = 16,8 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]

EC₅₀ (48 h, stat.) = 12,2 mg/L (gemessen) [Cooney und Bourgoin 2001; Hohreiter und Rigg 2001]

Wasserfloh (*Ceriodaphnia dubia*):

EC₅₀ (48 h, stat.; Giftwirkung) = 13,0 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 4,8 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Warne und Schifko 1999]
EC₅₀ (48 h, stat.) = 11,9 mg/L (nominal) [Vasu 1990; Hohreiter und Rigg 2001]
EC₅₀ (48 h, stat.) = 11,4 mg/L (nominal) [Vasu 1990; Hohreiter und Rigg 2001]
EC₅₀ (48 h, stat.) = 12,9 mg/L (nominal) [Vasu 1990; Hohreiter und Rigg 2001]
EC₅₀ (48 h, stat.) = 9,6 mg/L (gemessen) [Cooney und Bourgoin 2001; Hohreiter und Rigg 2001]

NOEC (7 d, Immobilität) = 3 mg/L [Vasu 1990]
LOEC (7 d, Mortalität) = 6 mg/L [Vasu 1990]
NOEC (7 d, Immobilität) = 1 mg/L [Vasu 1990]
LOEC (7 d, Mortalität) = 3 mg/L [Vasu 1990]

Zebra-Muschelkrebs (*Cypridopsis vidua*)

EC₅₀ (96 h) = 68,6 mg/L [Hohreiter und Rigg 2001]
NOEC (...h; Mortalität, Reproduktion) = 18,8 mg/L (gemessen) [Hohreiter und Rigg 2001]

Muschelkrebse (Ostracoden, *Cypridopsis* sp.):

LC₅₀ (1 h; Immobilisierung) = 9,00 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 3,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (3 h; Immobilisierung) = 6,40 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 2,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (6 h; Immobilisierung) = 1,20 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 0,48 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h; Immobilisierung) = 1,15 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 0,46 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h; Immobilisierung) = 1,05 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 0,42 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Rückenschwimmer (*Notonecta* sp.)

LC₅₀ (24 h; Reaktion auf Berührung) = 4500 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 1807 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h; Reaktion auf Berührung) = 835 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 335 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Feenkrebs (Kiemenfuß, *Streptocephalus seali*):

EC₁₀ (48 h, stat.) = 25 mg/L (37%ig), umgerechnet 9,3 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Moss 1978]

Miesmuschel (*Mytilus edulis*): marin

EC₀ (96 h; Reduktion der Sekretfadenbildung, Reduktion von ATP, Verhalten, Erscheinung) = 1 mg/L [Aunaas et al. 1991]
EC (96 h; Reduktion der Sekretfadenbildung, Reduktion von ATP, anomales Schalenschließen) = 10 und 30 mg/L [Aunaas et al. 1991]

Große Teichmuschel (*Anodonta cygnea*)

EC_{min} (2 h; Kiemen-Aktivität) = 2 mg/L (nominal; 100 % Formaldehyd) [Lagerspetz et al. 1993]

Körbchenmuschel (*Corbicula* sp.)

LC₅₀ (24 h; Widerstand gegen Schalenöffnen und Reaktion auf Berührung) = 800 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 321 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h; Widerstand gegen Schalenöffnen und Reaktion auf Berührung) = 126 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 50,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Amerikanische Auster (*Crassostrea virginica*): marin

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 1,8 mg/L (37%ig), umgerechnet 0,67 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 2,9 mg/L (25,9%ig), umgerechnet 0,75 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Office of Pesticide Programs 2000]

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 0,3 mg/L (27,75%ig), umgerechnet 0,083 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Office of Pesticide Programs 2000]

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 0,47 mg/L (32,75%ig), umgerechnet 0,154 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Office of Pesticide Programs 2000]

Süßwassergarnele (*Palaemonetes kadiakensis*):

LC₅₀ (3 h; Immobilisierung) = 2150 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 863 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (6 h; Immobilisierung) = 1900 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 763 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (24 h; Immobilisierung) = 1105 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 444 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (96 h; Immobilisierung) = 465 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 187 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

Tellerschnecke (*Helisoma* sp.)

LC₅₀ (1 h; Reaktion auf Berührung) = 3525 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 1415 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (3 h; Reaktion auf Berührung) = 1340 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 538 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (6 h; Reaktion auf Berührung) = 780 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 313 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (24 h; Reaktion auf Berührung) = 710 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 285 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

LC₅₀ (96 h; Reaktion auf Berührung) = 93,0 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 37,3 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Bills et al. 1977]

Garnele (*Penaeus* sp.):

LC₀ (96 h) = 25 mg/L („Formalin“), umgerechnet mit geschätzt 35 % 8,8 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Johnson 1974]

LC₅₀ (96 h) = 235-270 mg/L („Formalin“), umgerechnet mit geschätzt 35 % 82-95 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Johnson 1974]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 143 mg/L (37%ig), umgerechnet 53 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Office of Pesticide Programs 2000 und HSDB 2010]

Japanische Blaue Krabbe (*Portunus trituberculatus*):

EC (Eier, 96 h; Änderungen in der Entwicklung, abnormale Larven, Mortalität) = 25 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 9 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Hamasaki und Hatai 1993]

Schlammkrabbe (*Scylla serrata*):

EC (Eier, 96 h; Änderungen in der Entwicklung, abnormale Larven, Mortalität) = 25 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 9 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Hamasaki und Hatai 1993]

Kiemenfüßer (*Artemia franciscana*): marin

LC₁₅ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,0115 mg/L (100 %)
[Bu-Olayan und Thomas 2006b]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,0132 mg/L (100 %)
[Bu-Olayan und Thomas 2006b]

LC₉₉ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,018 mg/L (100 %)
[Bu-Olayan und Thomas 2006b]

Riesensumpfwurm (*Spirostomum ambiguum*):

EC₅₀ (24 h, stat.; Deformation) = 7,3 mg/L [Nałęcz-Jawecki und Sawicki 2002];

LC₅₀ (24 h, stat.) = 13,2 mg/L [Nałęcz-Jawecki und Sawicki 2002];

EC₅₀ (48 h, stat.; Deformation) = 8,5 mg/L [Nałęcz-Jawecki und Sawicki 2002];

LC₅₀ (48 h, stat.) = 12,7 mg/L [Nałęcz-Jawecki und Sawicki 2002]

Pantoffeltierchen (*Paramecium caudatum*): Süßwasser

EC₅₀ (48 h, stat.; Immobilisierung) = 3,45 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 %
1,21 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

EC₅₀ (5 d bzw. 120 h, stat.; Immobilisierung) = 12,6 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt
35 % 4,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

Pantoffeltierchen (*Paramecium trichium*):

NOEC (48 h, stat.; Immobilisierung) ≥ 7,5 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit geschätzt 35 % 2,6
mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

NOEC (5 d bzw. 120 h, stat.; Immobilisierung) ≥ 15,0 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit
geschätzt 35 % 5,3 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Miyoshi et al. 2003]

Seeigel (*Anthocardia crassispina*):

EC (12 h, stat.; Veränderungen der Entwicklung) = 0,37-3,7 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit
geschätzt 35 % 0,130-1,3 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Kobayashi 1971]

Gemeiner Süßwasserpolyt (*Hydra vulgaris bzw. attenuata (Synonym)*):

EC_{min} (90 h, semistat.; Hemmung des Wachstums) = 0,003 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet mit
geschätzt 35 % 0,0013 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Kudla 1984]

Ästuar-Makrobenthos, u.a. Blaugrüne Ascidie (*Molgula manhattensis*), div. Mollusken wie die Muscheln
Mulinia lateralis und *Acteocina canaliculata* sowie Ringelwürmer:

EC₀ (7 Wochen) = 0,300 mg/L (91 % Paraformaldehyd, nominal; dissoziiert in wenigen Tagen zu reinem
Formaldehyd), umgerechnet 0,27 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Tagatz et al. 1979]

Hakensaugwurm (*Pseudorhabdosynochus epinepheli*):

LC₅₀ (5 min; Meerwasser) = 83 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 29 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Yang et al. 2003];

LC₀ (5 min; Meerwasser) = 400 mg/L, (Formalin), umgerechnet mit 35 % 140 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Yang et al. 2003];

LC₁₀₀ (10 min; Süßwasser) = 10 mg/L, (Formalin), umgerechnet mit 35 % 3,5 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Yang et al. 2003];

LC₁₀₀ (10 min; Süßwasser) = 50 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 17,5 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Yang et al. 2003];

LC₅₀ (25 min; Meerwasser) = 250 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 87,5 mg/L (Formaldehyd 100
%) [Yang et al. 2003];

LC₁₀₀ (30 min; Meerwasser) = 400 mg/L, (Formalin), umgerechnet mit 35 % 140 mg/L (Formaldehyd 100
%) [Yang et al. 2003];

LC₀ (1 h; Meerwasser) = 50 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 17,5 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Yang et al. 2003]

Toxizität gegenüber Fischen

Zebraquappe (*Danio rerio*):

LC₅₀ (96 h, stat.) = 41 mg/L [Wellens 1989]

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 120 mg/L [Dolezelova et al. 2009]

„NOEC“ (= LC₀) (1 h) = 250 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Intorre et al. 2007]

LC₁₀ (1 h) = 750 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 260 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Intorre et al. 2007]

LC₅₀ (1 h) = 648 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 227 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Intorre et al. 2007]

LC₀ (5 h) = 250 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88 mg/L (Formaldehyd 100 %)
[Intorre et al. 2007]

Goldfisch (*Carassius auratus*):

„NOEC“ (= LC₀) (1 h) = 125 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 44 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Intorre et al. 2007]
LC₁₀ (1 h) = 250 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Intorre et al. 2007]
LC₅₀ (1 h) = 272 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 95 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Intorre et al. 2007]
LC₈₀ (5 h) = 250 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Intorre et al. 2007]

Keilfleckbarbe (*Rasbora heteromorpha*)

LC₅₀ (24 h, stat.) = 76 mg/L [Alabaster 1969]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 50 mg/L [Alabaster 1969]

Dickkopfelritze (Fathead Minnow., *Pimephales promelas*):

LC₅₀ (96 h, fl.) = 24,1 mg/L [Schultz et al. 1994]
EC₅₀ (96 h, semistat.; Mortalität, Verhaltenänderungen) = 27,2 mg/L [Hohreiter und Rigg 2001]

Schwarzbarsch (*Micropterus dolomieu*): Süß- und Salzwasser:

LC₅₀ (24 h, fl.) = 222 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 89,1 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 136 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 54,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Forellenbarsch (*Micropterus salmoides*): Süßwasser

LC₅₀ (6 h) = 1030 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 413 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h, fl.) = 283 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 114 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 143 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 57,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
EC (3 h; Akkumulation) > 300 µL/L, umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 114 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]
EC (24 h; Akkumulation) > 8,9 mg/L (gemessen; Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]

Kürbiskernbarsch (*Lepomis gibbosus*): Süßwasser

LC₅₀ (3 h, fl.) = 916 mg/L [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (6 h, fl.) = 640 mg/L [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h, fl.) = 84,4 mg/L [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h, stat.) = 53,7 mg/L [Schneider 1979]
LC₅₀ (24 h, stat.) = 68,5 mg/L (100 %) [Willford 1966]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 34 mg/L [Schneider 1979]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 59,2 mg/L [Schneider 1979]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 51,8 mg/L (100 %) [Willford 1966]
LC₅₀ (96 h, stat.) = 25,2 mg/L [Schneider 1979]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 40 mg/L [Bills et al. 1977]

Blauer Sonnenbarsch (*Lepomis macrochirus*):

LC₅₀ (3 h, fl.) = 2290 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 919 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (6 h, fl.) = 1600 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 642 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h, fl.) = 211 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 84,7 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 100 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 40,1 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h, stat.) = 1,51 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 0,53 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]
LC₅₀ (96 h, stat.) = 1,79 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 0,63 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]

Grüner Sonnenbarsch (*Lepomis cyanellus*): Süßwasser

LC₅₀ (24 h, fl.) = 323 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 130 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (96 h, fl.) = 173 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 69,5 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Wolfsbarsch (*Morone saxatilis*) (Ästuar, marin)

LC₅₀ (24 h, stat.) = 31,8 mg/L [Wellborn 1969]

LC₅₀ (48 h, stat.) = 11,8 mg/L [Wellborn 1969]

LC₅₀ (48-96 h, stat.) = 10 mg/L [ECOTOX 2010; HSDB 2010]

LC₅₀ (96 h, stat.) = 6,7 mg/L [Wellborn 1969]

LC₀ (96 h, fl.) = 55,0 mg/L (37%ig), umgerechnet 20,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [NADA 2002]

LC₅₀ (96 h, fl.) = 60,0 mg/L (37%ig), umgerechnet 22,2 mg/L (Formaldehyd 100 %) [NADA 2002]

Streifenbarsch (*Roccus saxatilis*): Ästuar

LC₅₀ (96 h, stat.; 0 % Salzgehalt) = 4,96 mg/L (37 %ig), umgerechnet 1,8 mg/L (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

LC₅₀ (96 h, stat.; 5 % Salzgehalt) = 13,52 mg/L (37 %ig), umgerechnet 5,0 mg/L (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

LC₅₀ (96 h, stat.; 10 % Salzgehalt) = 15,48 mg/L (37 %ig), umgerechnet 5,7 mg/L (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

LC₅₀ (96 h, stat.; 15 % Salzgehalt) = 10,84 mg/L (37 %ig), umgerechnet 4,0 mg/L (nominal; Formaldehyd 100 %) [Reardon und Harrell 1990]

Buntbarsch (*Tilapia sp.*):

LC₅₀ (72 h) > 38 mg/L [Helms 1967]

Nilbuntbarsch (*Oreochromis niloticus*, auch *Tilapia nilotica*):

EC (72 h; histologische Veränderungen) = 25-50 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 8,8-17,5 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

EC (14-84 d, semistat.; hämatologische Parameter, signifikant) = 3,125 mg/L (40 %ig, nominal), umgerechnet 1,25 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

EC (14-84 d, semistat.; hämatologische Parameter, nicht signifikant) = 1,56 mg/L (40 %ig, nominal), umgerechnet 0,62 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Omoregie et al. 1994]

Perlbarsch (*Glaucosoma hebraicum*):

EC₀ (30 h?) = 25 mg/L [Stephens et al. 2003]

Kisutch-Lachs (*Oncorhynchus kisutch*):

EC (1 h; Akkumulation) > 300 µL/L, umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 114 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]

Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) Ästuar, Süßwasser:

EC (1 h; Akkumulation) = 300 µL/L, umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 114 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]

EC (1 h, stat.; histologische Veränderungen) = 167 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 58 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fromm und Olson 1973]

LC₅₀ (3 h) = 1230 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 494 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (6 h) = 655 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 263 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (24 h, fl.) = 300 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 120 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (96 h, fl.) = 118 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 47,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

LC₅₀ (24 h, stat.) = 214-7200 mg/L (37 %ig), umgerechnet 79-2660 mg/L (Formaldehyd 100 %) [zitiert in Verschueren 2009]

LC₅₀ (24 h, stat.) = 76,6 mg/L (100 %) [Willford 1966]

LC₅₀ (48 h, stat.) = 59,2 mg/L [Schneider 1979]

LC_{50} (48 h, stat.) = 62,2 mg/L (100 %) [Willford 1966; ECOTOX 2010; HSDB 2010]
 LC_{50} (96 h, stat.) = 1,41 mg/L (27,75%ig), umgerechnet 0,39 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]
 LC_{50} (96 h, stat.) = 2,24 mg/L (32,75%ig), umgerechnet 0,73 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]
 LC_{50} (96 h, stat.) = 73,3 mg/L (25,9%ig), umgerechnet 19,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000]
 LC_{50} (96 h) = 440-618 mg/L [McKim et al., 1976] (gem. Verschueren 37 %, deshalb umzurechnen: 163-229 mg/L)
 LC_{50} (96 h, stat.; Fingerlinge) = 61,6-106 mg/L (37%ig), umgerechnet 23-39 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978]
 LC_{50} (96 h, stat.; Larven) = 89,5-112 mg/L (37%ig), umgerechnet 33-41 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978]
 LC_{50} (96 h, stat.) = 118 mg/L (37%ig), umgerechnet 44 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Brungs 1978; Office of Pesticide Programs 2000; ECOTOX 2010; HSDB 2010]
 LC_{50} (96 h, stat.) = 565-1020 mg/L [McKim et al. 1976]
 LC_{10} (48 h, stat.) = 29,3 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]
 LC_{50} (48 h, stat.) = 50,0 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]
 LC_{90} (48 h, stat.) = 87,0 mg/L (100 %; nominal) [Tišler und Zagorc-Koncan 1997]
EC (3,5 h Exposition, 6 d Beobachtung; Erhöhung des C-reaktiven Proteins auf das 4,3-Fache) = 300 mg/L [Kodama et al. 2004];
EC (9,5 h Exposition, 9 d Beobachtung; Erhöhung des C-reaktiven Proteins auf das 18-Fache) = 30 mg/L [Kodama et al. 2004]
EC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: physiologische Wirkungen, Nicht-Schlüpfen = Mortalität) = 250-1000 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 88-350 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]
LC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: Nicht-Schlüpfen = Mortalität) = 500 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 175 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]
EC (14 d, semistat. „gepulst“; Eier: physiologische Wirkungen) = 1000 mg/L (Formalin), umgerechnet mit 35 % 350 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Marking et al. 1994]

Atlant. Lachs (*Salmo salar*): (Süßwasser, Salzwasser)
 LC_{50} (3 h) = 1410 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 566 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (6 h) = 840 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 337 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (24 h, fl.) = 389 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 156 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (96 h, fl.) = 173 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 69,5 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (96 h, stat.; green eggs) = 173 mg/L (37 %ig), umgerechnet 64 mg/L (Formaldehyd 100 %) [McKim et al. 1976; Office of Pesticide Programs 2000; ECOTOX 2010; HSDB 2010]
 LC_{50} (96 h, stat.; eyed eggs) = 198-435 mg/L [McKim et al. 1976]
EC (0-84 d, stat.; biochemische Wirkungen, Wachstum) = 167-250 mg/L (Formalin, nominal), umgerechnet (mit 35 %) 62-93 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Powell 1993]

Seeforelle (*Salvelinus namaycush*) Süßwasser
 LC_{50} (6 h) = 603 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 242 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (24 h, fl.) = 141 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 56,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (96 h, fl.) = 100 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 40,1 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
 LC_{50} (24 h, stat.) = 81,4 mg/L (100 %) [Willford 1966]
 LC_{50} (48 h, stat.) = 61,8 mg/L (100 %) [Willford 1966]

Europäische Forelle (*Salmo trutta*)
 LC_{50} (24 h, stat.) = 120,3 mg/L (100 %) [Willford 1966]
 LC_{50} (48 h, stat.) = 68,5 mg/L (100 %) [Willford 1966]

Bachsaibling (*Salvelinus fontinalis*) Ästuar, Süßwasser

LC₅₀ (24 h, stat.) = 72,5 mg/L (100 %) [Willford 1966; ECOTOX 2010; HSDB 2010]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 58,1 mg/L (100 %) [Willford 1966; ECOTOX 2010; HSDB 2010]
LC₅₀ (96 h, stat.) = 6,7 mg/L [Wellborn 1989]

Goldorfe (*Leuciscus idus*):

LC₅₀ (48 h, stat.) = 22 mg/L [Wellens 1982]
LC₀ (48 h, stat.) = 32 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 9,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]
LC₀ (48 h, stat.) = 43 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 12,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 50 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 15 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 108 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 32 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]
LC₁₀₀ (48 h, stat.) = 76 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 23 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]
LC₁₀₀ (48 h, stat.) = 130 mg/L (Formalin 30 %ig), umgerechnet 39 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Juhnke und Lüdemann 1978]

Golden Shiner (*Notemigonus crysoleucas*): LC₅₀ (72 h) = 23,6 mg/L [Helms 1967]

Getüpfelter Gabelwels (*Ictalurus punctatus*) Süßwasser

EC (3 h; Akkumulation) > 300 µL/L, umgerechnet (mit 35 % und einer Dichte von 1,09 g/cm³) 114 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]
LC₅₀ (3 h) = 495 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 199 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (6 h) = 232 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 93,1 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
EC (24 h; Akkumulation) > 8,9 mg/L (gemessen; Formaldehyd 100 %) [Sills und Allen 1979]
LC₅₀ (24 h, fl.) = 122 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 49,0 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (24 h, stat.) = 50,7 mg/L [Willford 1966]
LC₅₀ (48 h, stat.) = 35,5 mg/L [Willford 1966]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 65,8 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 26,4 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (96 h) = 25,5 mg/L [Clemens und Sneed 1958, 1959]

Schwarzer Katzenwels (*Ameiurus melas* oder auch *Ictalurus nebulosus*)

LC₅₀ (24 h, fl.) = 173 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 69,5 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]
LC₅₀ (72 h) = 17,1 mg/L [Helms 1967]
LC₅₀ (96 h, fl.) = 62,1 µL/L (nominal; 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 24,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Bills et al. 1977]

Amerikan. Aal (*Anguilla rostrata*)

LC₅₀ (96 h, stat.; Glasaal) = 31,1 mg/L [Hinton und Eversole 1978;1979;1980;1989]
LC₅₀ (96 h, stat.; Schwarzstadium) = 83,1 mg/L [Hinton und Eversole 1978;1979;1980;1989]
LC₅₀ (96 h, stat.; Gelbstadium) = 122,1 mg/L [Hinton und Eversole 1978;1979;1980;1989]

Karpfen (*Cyprinus carpio*):

LC (2 h, stat.) = 74 mg/L [Suzuki und Kimura, 1989]
LC₅₀ (72 h) > 26,6 mg/L [Helms 1967]

Koboldkärpfling (*Gambusia affinis*):

LC₅₀ (24 h, semistat.) = 100 mg/L [Sangli und Kanabur 2000]
LC₅₀ (48 h, semistat.) = 97 mg/L [Sangli und Kanabur 2000]
LC₅₀ (72 h, semistat.) = 94 mg/L [Sangli und Kanabur 2000]
LC₅₀ (96 h, semistat.) = 90 mg/L [Sangli und Kanabur 2000]

Guppy:

LC₀ = 10 mg/L [Meinck et al. 1968]

LC = 50-200 mg/L [Meinck et al. 1968]

Guppy (*Poecilia reticulata*)

LC₅₀ (96 h, semistat.) = 100 mg/L [Dolezelova et al. 2009]

LC₅₀ (14 d, semistat.) = 27 mg/L [Deneer et al. 1988]

LC₅₀ (14 d, semistat.) = 33 mg/L (Formaldehyd p.a.) [Hermens et al. 1985]

Japan. Reisfisch (*Oryzias latipes*):

EC (28 d, fl.; Wachstum, histologische Wirkungen) < 48 mg/L (100 %, gemessen)

[Johnson et al. 1993]

LC (28 d, fl.) = 2,3-48,6 mg/L (100 %) [Johnson et al. 1993]

Japan. Flunder (*Paralichthys olivaceus*) :

EC₀ (3 h; Zahl der roten Blutkörperchen, Hämoglobin, Hämatokrit, Anteil unreifer Erythrozyten) < 31,3 mg/L (37 %), umgerechnet 11,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Jung et al. 2003];

EC₀ (3 h; Methämoglobin-Bildung) = 500 mg/L (37 %), umgerechnet 185 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Jung et al. 2003];

EC₀ (3 h; Hämolyse) > 2000 mg/L (37 %), umgerechnet 740 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Jung et al. 2003]

LC₅₀ (24 h, stat.) = 142,2 mg/L (100 %ig) [Kim et al. 2008]

LC₅₀ (24 h) = 406 mg/L (100%ig) [Park et al. 2008]

Florida Pompano (*Trachinotus carolinus*): marin

LC₅₀ (24 h, stat.) = 78,0 mg/L (37%ig), umgerechnet 28,8 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Birdsong und Avault 1971]

LC₅₀ (48 h, stat.) = 73,7 mg/L (37%ig), umgerechnet 27,3 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Birdsong und Avault 1971]

LC₅₀ (72 h, stat.) = 69,1 mg/L (37%ig), umgerechnet 25,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Birdsong und Avault 1971]

LC₅₀ (96 h?, stat.) = 69,1 mg/L (37%ig), umgerechnet 25,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Office of Pesticide Programs 2000; ECOTOX 2010; HSDB 2010]

Milchfisch (*Chanos chanos*):

LC₅₀ (24 h, stat.) = 322 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 119 mg/L (Formaldehyd 100 %) [ECOTOX 2010; HSDB 2010];

LC₅₀ (48 h, stat.) = 260 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 96 mg/L (Formaldehyd 100 %) [ECOTOX 2010; HSDB 2010];

LC₅₀ (72 h, stat.) = 241 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 89 mg/L (Formaldehyd 100 %) [ECOTOX 2010; HSDB 2010];

LC₅₀ (96 h, stat.) = 232 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 37 %) 86 mg/L (Formaldehyd 100 %) [ECOTOX 2010; HSDB 2010]

Goldbrasse (Dorade; *Sparus aurata*): marin

LC₀ (48 h, stat.) = 8,0 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 2,8 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fernández-Tejedor et al. 2007]

NOEC (48 h, stat.; Hämatokrit (Anämie), Mortalität) = 8,0 mg/L (Formalin), umgerechnet (mit 35 %) 2,8 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fernández-Tejedor et al. 2007]

Meerbrasse (*Acanthopagrus schlegelii*): marin

LC₅₀ (24 h, stat.) = 61,2 mg/L (100 %ig) [Kim et al. 2008]

LC₅₀ (24 h) = 174 mg/L (100%ig) [Park et al. 2008]

Atlantic Silverslide (*Menidia menidia*): Brackwasser

LC₅₀ (96 h, stat.) = 69,2 mg/L (37 %), umgerechnet 25,6 mg/L (Formaldehyd 100 %) [ECOTOX 2010; HSDB 2010]

Bitterling (*Rhodeus amarus*): Süßwasser

LC₅₀ (24 h) = 18 mg/L

[Meinck et al. 1968]

Ring-Kugelfisch (*Sphoeroides annulatus*): marin

LC₅₀ (1 h, stat.) = 972 mg/L (35%ig), umgerechnet 360 mg/L (Formaldehyd 100 %)

[Fajer-Ávila et al. 2003];

LC₅₀ (48 h, stat.) = 87 mg/L (35%ig), umgerechnet 32 mg/L (Formaldehyd 100 %)

[Fajer-Ávila et al. 2003];

LC₅₀ (72 h, stat.) = 79 mg/L (35%ig), umgerechnet 29 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Fajer-Ávila et al. 2003]

Meeräsche (*Liza klunzingeri*): marin

LC₅ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,00004 mg/L (100 %)

[Bu-Olayan et al. 2008]

LC₁₅ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,000058-0,000077 mg/L (100 %)

[Bu-Olayan und Thomas 2006a, Bu-Olayan et al. 2008]

LC₅₀ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,000157-0,000222 mg/L (100 %)

[Bu-Olayan und Thomas 2006a, Bu-Olayan et al. 2008]

LC₉₉ (96 h, semistat.; Meerwasser nahe Kraftwerk oder Entsalzungsanlage) = 0,00109-0,00243 mg/L (100 %)

[Bu-Olayan und Thomas 2006a, Bu-Olayan et al. 2008]

Drachenkopf (*Sebastes pachycephalus*): marin

LC₅₀ (24 h, stat.) = 94,1 mg/L (100 %ig)

[Kim et al. 2008]

LC₅₀ (24 h) = 286 mg/L (100%ig)

[Park et al. 2008]

Orangegefleckter Zackenbarsch (*Epinephelus coioides*):

EC₀ (1 h, Süßwasser; Betäubung) = 250 mg/L

[Yang et al. 2003];

EC₀ (1 h, Meerwasser; Betäubung) = 600 mg/L

[Yang et al. 2003];

EC₁₀₀ (1 h, Süßwasser; Betäubung) = 500 mg/L

[Yang et al. 2003];

EC₁₀₀ (1 h, Meerwasser; Betäubung) = 1000 mg/L

[Yang et al. 2003]

Toxizität gegenüber Amphibien

Leopardfrosch (*Rana pipiens*):

LC₅₀ (72 h) = 8,7 mg/L

[Helms 1967]

Ochsenfrosch (*Rana catesbeiana*) :

LC₅₀ (72 h) = 8,7 mg/L

[Helms 1967]

Kröte (*Bufo* sp.)

LC₅₀ (72 h) = 18,6 mg/L

[Helms 1967]

Toxizität gegenüber terrestrischen Pflanzen:

Kopfsalat (*Lactuca sativa*)

EC₅₀ (72 h; Hemmung der Keimung) = 580 mg/L

[Schultz et al. 1994]

Osterlilie (*Lilium longiflorum*)

EC (5h, Reduktion der Pollen-Tube-Länge) = 0,37 ppm [Masaru et al. 1976]

EC (1h, Reduktion der Pollen-Tube-Länge) = 2,4 ppm [Masaru et al. 1976]

Ökotoxizitäten für andere Organismen

Terrestrische Organismen:

Nematode: LC = 179 ml/m³ (Formalin, 37%ig), umgerechnet (mit einer Dichte von 1,085 g/cm³) 71,9 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Lockhart 1972]

Magen-Darm-Parasiten von Rindern:

Labmagenwurm (*Ostertagia ostertagi*), Cooperia (*Cooperia oncophora*):

EC₀ (7-14 d; Larven und Eier) = 0,5 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 1850 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Persson 1973]

EC₁₀₀ (7-14 d; Eier) = 1,0 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 3700 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Persson 1973]

EC₁₀₀ (7-14 d; Eier und Larven) = 5,0 % Formalin, umgerechnet mit 37 % 18.500 mg/L (Formaldehyd 100 %) [Persson 1973]