



2.12 Welche Fremd- und Schadstoffe gefährden oder verunreinigen prioritär das Trinkwasser?

HERMANN H. DIETER

Which adverse effect or »xenochemicals« contaminate or endanger preferentially the drinking-water? Geogenic constituents, residues from treatment additives and/or pipe materials as well as hydrophilic environmental contaminants prevalent in drinking-water are groups of compounds with high priority to evaluate in drinking-water. Up to a adverse (health, technical or esthetic) effect based level they are hygienically acceptable there only if a lower value is not or hardly possible to achieve, e. g. by precautionary or surrogate technical measures. Most difficult to avoid are geogenic constituents whereas minimal values for a functionally optimized treatment and distribution of drinking-water in most cases are distinctly lower than as based purely on their adverse effect potential. Maximal values for hydrophilic »new analytes« to avoid »on site« appear acceptable »off site« in drinking-water even only in trace concentrations of maximally a few $\mu\text{g/l}$, hence at most at the level of health related precautionary values.

Wasser ist, anders als der Luftsauerstoff, kein Lebensmittel aus denen Lebewesen biochemische Energie gewinnen, sondern viel mehr: Als Transport-, Struktur-, Reaktionsmedium ist es ein Lebens-Mittler, der Lebewesen die Gewinnung biochemischer Energie zur Selbst-Unterhaltung überhaupt erst ermöglicht. Seine begriffliche Ausprägung »Wasser für den menschlichen Gebrauch« – kurz: TRINKWASSER, zielt deshalb nicht nur auf seine gesundheitlich sichere Funktion als unserem wichtigsten Lebensmittelzusatzstoff und Durstlöcher, sondern auch auf seine unersetzliche Funktion als Garant aller gesundheitlich sicheren häuslichen und körperlichen Hygiene.

Grundsätzliche Überlegungen dazu, wie die Ver-

sorgung der Bevölkerung mehr oder weniger dicht besiedelter Gebiete mit Trinkwasser aus hygienischer und gesundheitlicher Sicht funktional zu optimieren sei, führen immer wieder zu dem Ergebnis, dass seine Verwendung zur Stillung physiologischer und hygienischer Bedürfnisse eine gleichermaßen einwandfreie Qualität voraussetzt und so genannten »Grauwassersystemen«, selbst in Verbindung mit einem zweiten parallelen Leitungssystem, schon aus diesen beiden Blickwinkeln mit größten Vorbehalten zu begegnen ist.

Einwandfreies Trinkwasser ist nicht unbedingt steril, jedoch so arm an Keimen, dass es mit Sicherheit nicht infektiös wirkt. Weder in mikrobiologischer noch in chemischer Hinsicht darf es in verzehrsüblicher

*Aus: WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011)
- Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese*

Menge (bis zu 2 Liter pro Tag und Person) jemals Anlass zu gesundheitlicher Besorgnis bieten. Darüber hinaus sollte Trinkwasser auch appetitlich, farblos, kühl, geruchs- und geschmacksfrei sein und möglichst wenige, wenn auch ungefährliche Keime enthalten. Es sollte unauffällig schmecken und zum Genuss anregen. Sein Gehalt an gelösten Stoffen hat so niedrig zu sein wie im Rahmen des technisch Möglichen gemäß ALARA-Prinzip¹ vernünftigerweise erreichbar. Es sollte auf technische Materialien des Verteilungssystems und der häuslichen Trinkwasser-Installation möglichst wenig korrosiv wirken und am Übergabepunkt jederzeit in ausreichender Menge und mit genügend Druck zur Verfügung stehen.

Die Qualität des Trinkwassers in Deutschland

Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union müssen alle drei Jahre über die Qualität ihres Trinkwassers berichten. In Deutschland verfassen diese Berichte das BMG und das UBA. Sie sind vom Netzstandort des UBA abrufbar: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3616.

Rund 2.600 zentrale Versorgungen in Deutschland gelten als groß, weil sie täglich mehr als eine Million Liter Trinkwasser abgeben oder mehr als 5.000 Menschen versorgen. Insgesamt liefern sie rund 4,5 Mrd. m³ Trinkwasser pro Jahr an 65,5 Mio. Menschen. Mehr als 99% dieser Trinkwässer genügen den gesetzlichen Anforderungen oder übertreffen sie deutlich. Kleine Anlagen, die 10.000 bis eine Million Liter Trinkwasser pro Tag abgeben, schneiden mit einer Erfüllungsquote von 93% dagegen etwas weniger gut ab.

Überschreitungen sind am häufigsten beim (mikrobiologischen) Parameter »coliforme Bakterien«. Er zeigt aber nur extrem selten die Möglichkeit einer gesundheitlichen Gefährdung an. Nach Häufigkeit folgen ihm die chemischen Parameter Nitrat, Ammonium, Eisen, Mangan, pH-Wert, Trübung, Blei, Nickel, Cadmium und Kupfer. Überschreitungen bei Metallen Eisen, Blei, Nickel und Kupfer gehen praktisch immer auf die häusliche Trinkwasser-Installation zurück, während das geogene Mangan nur dann im Trinkwasser per Braunfärbung auffällig wird, wenn es der Versorger vor der Verteilung des Wassers nicht verordnungsgemäß als Oxid ausgefällt und abgefilitert haben sollte.

Trinkwasserhygienisches Interesse verdienen auch Spurenstoffe (z.B. Pestizide und ihre Metaboliten, Arzneimittel und ihre Rückstände), perfluorierte Verbindungen und geogenes Uran.

Grenzwerte und Höchstwerte für Stoffe im Trinkwasser

Grenzwerte sind rechtlich verankerte Höchstwerte potenziell schädlicher, lästiger oder unerwünschter Stoffe im Trinkwasser. Ihre Einhaltung ist immer sanktionsbewehrt. Sie können, müssen aber nicht nur der Erreichung oder Sicherung eines konkreten Schutzziels dienen. Im Idealfall sind sie sogar wesentlich niedriger.

Toxikologen, Mediziner, Umwelttechniker und Ingenieure liefern dem Gesetzgeber Optionen für Trinkwasser-Grenzwerte in Form gesundheitlich, technisch oder ästhetisch motivierter Höchstwerte. Folgende Schutzziel-Bereiche in von 1–3 abnehmender Priorität des Gesamtsystems »Trinkwasserversorgung« liefern hierfür die Kriterien:

1. Menschliche Gesundheit,
2. Technische Einrichtungen,
3. Beachtung sensorischer (Geruch/Geschmack) und ästhetischer (Farbe, Reinheit) Qualitätsmerkmale.

Die konkreten A. Schutzobjekte (Ressourcen, Verfahren, Materialien, Geräte) und B. Schutzsubjekte (Populationsgruppen; Individuen) reagieren auf chemische oder mikrobiologische Veränderungen sehr unterschiedlich empfindlich. Entsprechend deutlich können sich auch schutzzielspezifische Höchstwerte für ein- und denselben Stoff voneinander unterscheiden.

Art und Höhe eines Höchstwertes, nicht immer korrekt auch Schädigungsschwelle genannt, informieren aber nicht nur über die avisierten Schutzzielbereiche 1–3 und die Qualität der Begründungslage, sondern auch darüber, welcher gesundheitlichen oder anderen Gefährdungskategorie: a–c (s. unten) er in seinem Schutzzielbereich zuzuordnen ist.

Klassifizierung von Höchstwerten nach Gefährdungskategorien

a. Vorsorgewerte

...sind Höchstwerte gemäß ALARA = Minimierungsgebot. Die TrinkwV 2001 enthält es in Form ihres §6(3) und verlangt vom Wasserversorger, nutzlose = vermeidbare Belastungen auch unterhalb eines Warnwertes (b) oder Besorgniswertes (c) so niedrig zu halten wie dies zwar theoretisch möglich, in Anbetracht aller – auch systemfremden – Umstände jedoch nur auf höherem Niveau als n. n. = »nicht nachweisbar« bzw. dem geogenen Hintergrund machbar erscheint.

Mit Verbesserung der Vermeidbarkeit einer nutzlosen Belastung sollten sich Vorsorgewerte durch niedrigere Werte bis hinab zu »n.n.« oder einem (geogenen) Hintergrundwert ersetzen lassen. Spätestens dann han-

delt es sich um einen allgemeinen Vorsorgewert.

Allgemeiner Vorsorgewert ist definitionsgemäß immer so niedrig, dass zumindest die im System erwartbaren Überschreitungshöhen lebenslang gesundheitlich duldbare Besorgniswerte (c) oder auch andere Besorgniswerte voraussichtlich nie erreichen und praktisch immer deutlich unterschreiten werden.

Vorsorgewerte für folgende chemischen Parameter sind in der TrinkwV 2001 als Grenzwerte zu finden: PSMBP (Einzelstoff- und Summenwert), PAK (Summe), chlorierte Lösemittel (Summe), THM (Summe).

b. Warnwerte

... oder Indikatorwerte sind Höchstwerte für systemeigene Parameter und zeigen an, wann ein fehlerfreier in einen fehlerbehafteten und entsprechend aufwendiger zu kontrollierenden oder konservativer zu bewertenden Systemzustand überginge. Selbst theoretisch können sie nur höher sein als Werte gemäß ALARA bzw. entsprechende Hintergrundwerte. Zugleich sind sie aber auch so niedrig anzusetzen, dass die Warnung genügend rechtzeitig kommt, um das Erreichen eines Besorgniswertes (c) während des Beobachtungs- und gegebenenfalls Sanierungszeitraums möglichst auszuschließen.

Die Überschreitung einiger der in Anlage 3 TrinkwV 2001 als Grenzwert festgelegten Indikatorparameter kann zwar zu sensorischen, kaum jedoch zu gesundheitlichen Beschwerden führen. Lediglich der noch bis 24.12.2013 gültige Anzeigewert für die »Altlast Blei« im System ist aus heutiger gesundheitlicher Sicht für Säuglinge eindeutig zu hoch und steht deshalb in Anlage 2/Teil II der TrinkwV 2001.

Zur Kategorie »Warnwerte« gehören auch die Gesundheitlichen Warn- oder Orientierungswerte der »GOW-Empfehlung« vom März 2003³ des Umweltbundesamtes. Sie bewerten unvollständige Daten in Form dennoch sicherer gesundheitlicher Vorsorgewerte solange, bis ein Besorgniswert (c) auf vollständiger Datenbasis verfügbar ist.

c. Besorgniswerte...

... sind auf vollständiger Datenbasis abgeleitete Höchstwerte für systemeigene und systemfremde Stoffe im Trinkwasser, deren Überschreitung konkreten Anlass zu gesundheitlicher, technischer oder ästhetischer Besorgnis böte (vgl. voriger Abschnitt, 1–3).

Rechtlicher Bezugspunkt für die Überführung solcher Werte in Grenzwerte oder Leitwerte des Umweltbundesamtes ist § 6(1,2) TrinkwV 2001. Bei den meisten der Grenzwerte ihrer Anlage 2 handelt es sich um gesundheitliche Besorgniswerte.

Die Ableitung von Besorgniswerten und auch von

Werten, bis zu denen selbst diese Werte während Sanierungsmaßnahmen vorübergehend überschritten sein dürfen, beschreibt die Maßnahmewert- bzw. »MW-Empfehlung« vom August 2003³ des Umweltbundesamtes.

Am Beispiel »Blei« war und ist zu sehen, wie teuer es werden kann, wenn ein Grenzwert zu permissiv und lediglich unter Rückgriff auf einen Besorgniswert festgelegt wurde, dessen Einhaltung im Lichte (zu) später Erkenntnisse jedoch nicht mehr für die Abwesenheit gesundheitlicher Besorgnis steht. Die Wissensbasis für einen Besorgniswert sollte also auf Jahrzehnte hinaus stabil sein, gegebenenfalls wäre ersatzweise zunächst ein niedrigerer GOW (b) oder am besten gleich ein Minimierungs- oder Vorsorgewert (a) weit unterhalb der bis dato bekannten Besorgnisschwelle als Grenzwert festzusetzen.

Welcher Höchstwert sollte zum Grenzwert werden?

Gesellschaftlich stabile Grenzwerte sollten auch beim Trinkwasser in einem transparenten und wissensbasierten gesellschaftlichen Entscheidungsprozess auf Basis der folgenden dreidimensionalen umwelthygienischen Handlungsmaxime zustande kommen:

- Minimiere nutzlose Belastungen (Belastung »n.n.« als langfristig umzusetzende Daueraufgabe),
- Optimierte funktionale Belastungen (funktional optimierte und insofern unvermeidbare Mindestbelastung gemäß aaRdT als mittelfristig umzusetzende Daueraufgabe)
- Verhindere schädliche Belastungen (Schutz der menschlichen Gesundheit durch gesundheitliche Vorsorge als kurz-, mittel- und langfristig umzusetzende Daueraufgabe)

Höchstwerte, die niedriger sind als unmittelbar schädigungs-basiert ableitbar, genügen gesundheitlich, technisch oder ästhetisch motivierten Schutzziele, die widerspruchsfrei mit rein wissenschaftlichen Argumenten langfristig weder zu begründen noch zu erreichen wären. Sie heißen deshalb »Vorsorgewerte«. Die entsprechenden Vorsorge-Argumente müssen allerdings wissenschaftlich plausibel sein, wenn sie selbst bei später verbessertem Wissensstand weiterhin widerspruchsfrei sein sollen.

Häufig sind allein Vorsorgewerte als Grenzwert gesellschaftlich konsensfähig.

Für Stoffe, die im Trinkwasser keinen Nutzen besitzen, lautet dort der Vorsorgewert »Null« bzw. ein analytisches Surrogat > Null, das als »Nullbelastung« des Trinkwassers gesellschaftlich akzeptiert ist. Gruppen »trinkwassergängiger Umweltkontaminanten/Spurenstoffe«, für die solche Vorsorgegrenzwerte sinnvoll sind oder wären, sind die landwirtschaftlichen Pestizi-

de, Industriechemikalien oder Rückstände von Humanarzneimitteln (HAMR).

Von diesen zu unterscheiden sind die absichtlich dem Trinkwassersystem zugegebenen »Zusatzstoffe« sowie ihre funktionsbedingt unvermeidbaren und/oder weitere, systembedingt eingetragene Rückstände. Die entsprechenden Desinfektionsmittel und Reaktionsprodukte, aber auch metallische Korrosionsprodukte, Korrosionsinhibitoren und Migrationsstoffe sind je nach gesellschaftlich akzeptiertem oder zugelassenem Nutzen dann auch in Konzentrationen deutlich oberhalb eines analytischen Surrogats für »Null« akzeptiert. Ein akzeptables Kriterium für die richtige Höhe eines Vorsorgegrenzwertes für Stoffe dieser Art ist ihre funktional optimale (funktionstechnisch unvermeidbare) Mindestkonzentration.

Beiden Stoffgruppen stehen die technisch kaum vermeidbaren oder nur durch aufwendige Aufbereitung entfernbaren geogenen Inhaltsstoffe gegenüber. Je nach (Nicht-)Verfügbarkeit eines „besseren“ Rohwassers sind sie im Trinkwasser sogar bis zur Höhe eines rein gesundheitlich motivierten Grenzwertes, der dann aber kein Vorsorgegrenzwert mehr wäre und deshalb einer viel dichteren Überwachung bedürfte, akzeptiert. Zu dieser Stoffgruppe gehören die gesundheitlich hoch relevanten Elemente Arsen (als Arsenat oder Arsenit), Fluor (als Fluorid), Uran (als Uranyl) sowie je nach hydrogeologischer Situation noch weitere.

Die gesundheitlich relevantesten Stoffe und ihre gesundheitlichen Besorgniswerte für Trinkwasser

Geogene Inhaltsstoffe von Trinkwasser-Ressourcen

Arsen

Anorganische Verbindungen des Arsens sind humankarzinogen. Über die Höhe des zusätzlichen Krebsrisikos, das von der Exposition gegenüber Konzentrationen von weniger als 100 µg/l As im Trinkwasser ausgehen könnte, herrscht weltweit allerdings erhebliche Unsicherheit. Dies liegt an einer Reihe schwer quantifizierbarer Einflussfaktoren und dem komplexen Giftungs/Entgiftungsmetabolismus von As(III), der aber wahrscheinlich eine Sättigungs- und damit auch Wirkungsschwelle für die Giftung besitzt. Jedenfalls schützt (unter dieser Voraussetzung) der Grenzwert der EU für Arsen (0,010 mg/l As) nicht nur vor Hautkrebs, sondern auch vor frühen Verhornungen und Überpigmentierung der Handflächen und Fußsohlen durch As.

Die WHO dagegen bekräftigte 2003 ihren numerisch identischen guide value (Leitwert) von 1993 erneut nicht mit gesundheitlichen Überlegungen, sondern

mit solchen der aufbereitungstechnischen und analytischen Machbarkeit.

Die Überschreitungsrate des Grenzwertes für As sank in Deutschland von 2005 bis 2007 von ca. 1 Promille auf null⁴. Weltweit allerdings ist geogenes As ab ca. 50 µg/l nach wie vor – weit vor dem anthropogenen Nitrat – das bedeutendste Beispiel für eine primär trinkwasserseitig bedenkliche chemisch-toxische Noxe. Neu zu erschließende Trinkwasser-Ressourcen sind deshalb immer auf ihren geogenen As-Gehalt zu prüfen.

Fluorid

Ähnlich wie As ist geogenes Fluorid eine der weltweit bedenklichsten chemisch-toxischen Noxen im Trinkwasser. Wie das (allerdings meist installationsbedingt eingetragene) Kupfer besitzt es eine sehr steile Dosis-/Wirkungskurve, und zwar für Dental- und Knochenfluorose. Säuglinge und Kleinkinder wären laut WHO vor diesen Schädigungsmöglichkeiten spätestens ab Werten von mehr als 1,5 mg/l Fluorid im Trinkwasser nicht mehr zuverlässig geschützt.

In Deutschland sind Überschreitungen des Grenzwertes der EU für Fluorid (1,5 mg/l) äußerst selten⁴.

Infolge von Fehldosierung und technischen Pannen bei der medizinisch motivierten Fluoridierung des Trinkwassers (die aber auch im Osten Deutschlands seit Beginn der 1990er Jahre nicht praktiziert wird) kommt es weltweit immer wieder auch zu anthropogen bedingten und potenziell toxischen Expositionen.

Mangan

Sauerstoffarme Trinkwässer, die nicht sachgemäß entmangant wurden, können immer geogenes Mn²⁺ enthalten. Es wirkt vielleicht schon ab 0,2 mg/l Mn²⁺ auf Säuglinge und Kleinkinder neurotoxisch. Diese Befürchtung ergibt sich aus der Extrapolation von Ergebnissen zur Neurotoxizität von Mn²⁺ aus Tierversuchen und einigen humanen Fallstudien auf diese Risikogruppe.

Der Grenzwert der EU für Mangan(gesamt) beträgt demgegenüber 0,05 mg/l. Er schützt vor Trübungen des Trinkwassers durch Manganoxide und ist wesentlich niedriger als gesundheitlich begründbar. Er war 2007 in Deutschland in 0,7% der Reinwässer und 0,4% der Haushaltswässer überschritten⁴.

Uran

Uran ist natürlicher Bestandteil mancher besonders reiner Trinkwässer, die aus vor anthropogenen Einflüssen bestens geschützten Grundwässern stammen, die ihrerseits jedoch einen engen Kontakt zu uranhaltigen Gesteinen und Sedimenten besitzen. Deren Abgabe von Uran variiert innerhalb weiter Grenzen. Selbst Trinkwässer aus eng benachbarten Tiefbrunnen können des-

halb sehr unterschiedliche Urangelhalte aufweisen.

Landwirtschaftliche Phosphatdünger, die aus schwermetallhaltigen Rohphosphaten hergestellt wurden, sind die einzige denkbare und dann nicht natürliche Quelle für den Eintrag von Uran in die Umwelt und das Trinkwasser. Dieser Pfad existiert bisher aber nur in Modellrechnungen und würde das Trinkwasser gegebenenfalls nur über Trinkwassertalsperren und oberflächennahe Grundwässer erreichen.

Häufigste Form des Urans in Gewässern ist das sauerstoffhaltige und zweifach positiv geladene Uranyl-Ion (UO_2^{2+}), das sich im Trinkwasser mit dem omnipräsenten Carbonat-Ion zu sehr stabilen, ebenfalls sehr gut wasserlöslichen Komplexen verbindet. Sie werden im Magen-/Darmtrakt schlechter resorbiert als das freie Uranyl-Ion.

Die WHO vertritt seit 2003 einen guide value (Leitwert) für Uran im Trinkwasser von 15 $\mu\text{g/l}$ Uran pro Liter, während das UBA seit 2004 für einen gesundheitlichen Leitwert von $\text{LW}_{\text{TW}} = 10 \mu\text{g U/l}$ eintritt. Er berücksichtigt neueste Beobachtungen am Menschen und schützt auch sehr empfindliche Personengruppen bzw. das für Uran vermutlich empfindlichste Zielorgan des Menschen, die Niere und wird in Kürze als Teil der novellierten TrinkwV 2001 Rechtskraft erlangen.

Die Bewertung des Urans durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit vom April 2009 unterscheidet sich im Ergebnis kaum von derjenigen des UBA und der WHO.

Überschreitungen des UBA-LW für Uran kommen gemäß Kinder-Umweltsurvey des UBA (abgeschlossen 2006) in maximal 0,6% aller Haushalte in Deutschland vor und dabei allenfalls in solchen, die ihr Trinkwasser nicht von einem der großen Wasserversorger, sondern aus einer Anlage beziehen, die weniger als 5000 Personen versorgt.

Wenn ein Trinkwasser mehr als 10 μg Uran /l enthält, kann der Wasserversorger, um den Leitwert des UBA (demnächst Grenzwert) wieder einzuhalten, entweder die Rohwasserquelle wechseln oder das belastete mit einem unbelasteten Wasser mischen. Auch Uranspezifische Aufbereitungsmaßnahmen (durch Ionenaustausch) stehen hierfür mittlerweile zur Verfügung.

Nebenprodukte der Trinkwasser-Desinfektion und –Oxidation

Bromat

Bromat entsteht bei der Ozonung von Trinkwasser aus allfällig vorhandenem geogenem Bromid. Bis vor einigen Jahren galt es nach übereinstimmender Expertenmeinung als DNA-reaktives Karzinogen ohne Wirkungsschwelle. Dementsprechend schrieb ihm die WHO noch 2005 für das Zusatzrisiko 10^{-5} einen *guide*

value (Leitwert) von 2 $\mu\text{g/l}$ im Trinkwasser zu. Seither *in vitro* und *in vivo* erhobene experimentelle Befunde sprechen jedoch deutlich zugunsten seiner effektiven Entgiftung durch chemische Reduktion im Magen-/Darmtrakt und (nach Resorption) im extrazellulären Raum des Organismus. Deshalb sind heute lebenslang gesundheitlich duldbare Leitwerte für Bromat ab 30 $\mu\text{g/l}$ zu diskutieren, deren Einhaltung auch empfindliche Personen sicher vor dessen präkanzerogenen Effekten schützt, jedenfalls insofern diese eine zelluläre Wirkungsschwelle besitzen (müssen).

Überschreitungen des Grenzwertes der EU für Bromat im Trinkwasser (0,010 mg/l) kamen in Deutschland während der letzte Jahre praktisch nie vor⁴.

Trihalogenmethane

Trihalogenmethane (THM) entstehen bei der Desinfektion von Trinkwasser mit hypochloriger Säure aus deren Reaktion mit biogenen organischen Vorläuferverbindungen, die in jedem Rohwasser vorkommen.

THMs waren in Tierversuchen karzinogen, allerdings nicht nach Verabreichung mit dem Tränkwasser, wahrscheinlich weil die dann sehr kontinuierliche THM-Aufnahme die Entstehung kritischer Metabolite verhindert. Falls THM im trinkwasserrelevanten Konzentrationsbereich (bis 200 $\mu\text{g/l}$) humankarzinogen wären, dann nur, wenn alle vier, anders als Bromat, keine Wirkschwelle besäßen. Für einen dieser Befürchtung entsprechenden Wirkmechanismus gibt es zumindest für das mengenmäßig weitaus bedeutendste Trichlormethan keinen Anhaltspunkt.

Ähnlich wie für Nitrat existieren auch zahlreiche Humanstudien, die sich hier der Beantwortung der Frage zu nähern suchten, ob THM-haltiges gechlortes Trinkwasser im Menschen zu Leber- und/oder Blasenkrebs und/oder anderen nicht karzinogenen Effekten führt. Kaum eine dieser Studien war bisher hinsichtlich der langfristigen Expositionsdosis, möglicher Störfaktoren und plausibler Reaktionsmechanismen verbindlich in dem Sinne wissenschaftlich belastbar, dass »gechlortem Trinkwasser« im Bereich der in Deutschland gemessenen Werte ein karzinogenes Potenzial von rechnerisch mehr als 10^{-6} zuzusprechen gewesen wäre.

Falls in Deutschland ein Wasserversorger sein Trinkwasser überhaupt mit Chlor/hypochloriger Säure desinfiziert, werden THM-Werte von mehr als 10 $\mu\text{g/l}$ (Grenzwert in Deutschland am Wasserwerksausgang) so selten erreicht, dass die Überschreitungsrate flächendeckend nur maximal 0,5% beträgt⁴. Entsprechend niedrig ist in den desinfizierten Wässern auch die Gesamtkonzentration anderer Desinfektions-Nebenprodukte, für die THM als Leitparameter dann stellvertretend gemessen und überwacht werden.

Metalle aus der häuslichen Trinkwasser-Installation

Blei

Bleiwerte von (im Wochenmittel) mehr als 0,010 mg/l sind ein fast sicheres Indiz für noch vorhandene Bleileitungen in der Trinkwasser-Installation von Altbauten, vor allem noch im Köln/Bonner Raum, in Hamburg, und im Osten Deutschlands. Im Stagnationswasser ist dieser Wert oft sogar mehrfach überschritten⁴.

Blei ist ein Nerven- und Blutgift, das sich zudem im Körper anreichert. Ungeborene, Säuglinge und Kleinkinder sind besonders gefährdet und deshalb vor der Aufnahme von Blei mit dem Trinkwasser besonders zu schützen. Kinder nehmen im Vergleich zu Erwachsenen auch wesentlich mehr Blei aus Nahrung und Trinkwasser auf. Selbst Bleigehalte des Trinkwassers zwischen 0,010 und 0,025 Milligramm pro Liter (mg/l) beeinträchtigen vor und während der ersten Lebensjahre die Intelligenzentwicklung.

Angesichts des ständig erweiterten Wissens zur Giftigkeit von Blei für Ungeborene und Säuglinge setzte der Gesetzgeber den Grenzwert für Blei im Trinkwasser in den letzten Jahrzehnten mehrmals herab. Ende der 1990er Jahre betrug er 0,040 mg/l, zurzeit noch 0,025 mg/l. Ab 25.12. 2013 sind dann im Wochenmittel 0,010 mg/l verbindlich einzuhalten. Daher gibt es für Hauseigentümer zum vollständigen Austausch der Bleileitungen bereits heute keine Alternative.

Grundsätzlich, und namentlich beim Vorliegen von Bleileitungen, empfiehlt das UBA, Wasser für Lebensmittelzwecke nur frisch abgelaufen aus der Leitung zu entnehmen (Abb. 2.12-1). Schwangere Frauen sollten sogar nur bleifreies abgepacktes Wasser für Lebensmittelzwecke verwenden. Desgleichen empfiehlt das UBA bereits seit Jahren, sofern im Haushalt noch Bleileitungen installiert sind, für die Säuglingsernährung nur abgepacktes Wasser, das mit dem Aufdruck »geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung« als besonders reines Lebensmittel gekennzeichnet ist, zu verwenden.

Nickel, Cadmium, Kupfer

Erhöhte Wochenmittelwerte an Cadmium, Kupfer und

Nickel wurden 2007 in Deutschland in 0,1 bis 0,6% der Proben gemessen⁴. Sie gehen meist darauf zurück, dass die Eigentümer der Installationen oder die Installateure die allgemein anerkannten Regeln der Technik beim Einbau von Leitungsmaterialien oder Armaturen missachtet haben.

Stagnationswasser aus ordnungsgemäßen Installationen kann ebenfalls erhöhte Nickelgehalte (Grenzwert: 0,020 mg/l), Kupfer (Grenzwert: 2,0 mg/l) oder Cadmium (Grenzwert: 0,005 mg/l) aufweisen. Der Beitrag von Trinkwasser zur Gesamtaufnahme an Cadmium über Nahrung und Getränke ist zwar gering, lässt sich jedoch weiter verringern, wenn für Lebensmittelzwecke nur frisch abgelaufenes Wasser Verwendung findet.

Personen, die gegen Nickel vorsensibilisiert sind, sollten den Kontakt mit Stagnationswasser aus Armaturen vermeiden. Kupfer könnte bei Säuglingen lebertoxisch wirken, deren Nahrung die Eltern entgegen jeder Vernunft regelmäßig mit einem harten Stagnationswasser aus neuen Kupferleitungen zubereiten. Als potenziell schädlich für Säuglinge gilt bereits die regelmäßige Aufnahme weniger mg/l Cu.

Trinkwassergängige

Umweltkontaminanten/Spurenstoffe (twgS)

Vorkommen

Immer wieder gelangen persistente Umweltkontaminanten in Gewässer, die auf dem einen oder anderen Weg als Rohwasser auch der Trinkwassergewinnung dienen. Im Trinkwasser sind diese »trinkwassergängigen Umweltkontaminanten« ungeachtet ihrer Konzentration, toxikologischen Relevanz, Wirkung oder von ihnen ausgehender geschmacklicher Beeinträchtigungen grundsätzlich unerwünscht, weil sie – anders als z.B. Aufbereitungsstoffe – zum Prozess der Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung des Trinkwassers in keinerlei funktionaler Beziehung stehen.

TwgS entstammen den unterschiedlichsten, z.T. auch noch nicht identifizierten (»unbekannten«) Herkunftsbereichen. Falls überhaupt detektiert, betragen ihre Messwerte in Trinkwässern noch meist wenige ng/l



Abb. 2.12-1: Für Lebensmittelzwecke besitzt nach Auskunft des Umweltbundesamtes nur ein Trinkwasser, das nicht länger als 4 Stunden in der Leitung gestanden hat, die optimale Qualität.

Gestaltung: www.publicgarden.de.

bis maximal einige µg/l. Deshalb ist in diesem Zusammenhang auch oft von »Spurenstoffen« die Rede.

Aktuelle Beispiele für twgS sind Komplexbildner (EDTA, DTPA), industrielle Abprodukte (TOSU), Kraftstoffzusätze (MTBE, ETBE), Lebensmittelzusatz- und -inhaltsstoffe (Sacharin, Koffein), Bestandteile von Kosmetika, Arzneimittelrückstände und -metaboliten, sowie pflanzenschutzrechtlich »nicht relevante« Metaboliten (nrM) von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten.

Die verstärkte Wahrnehmung all dieser »neuen Analyte« seit ca. 20 Jahren ist nicht nur die Folge enormer analysetechnischer Fortschritte, sondern auch der umwelt- und chemiepolitisch erwünschten und entsprechend forcierten Verwendung „gut abbaubarer“ und lipophober Chemikalien in umweltoffenen Anwendungsbereichen. „Gut abbaubar“ bedeutet dabei in der Regel aber nur die Einführung einer Hydroxyl-, Carboxyl-, Sulfonyl- oder anderer hydrophiler Gruppen, was die Stoffe dann erst recht potenziell trinkwassergängig macht.

Eigenschaften

Das Trinkwassergängigkeitspotenzial (TWGP) einer Umweltkontaminante hängt ab

- von Art und Ort ihrer lokal, regional oder global in die Umwelt (meist ein Gewässer) freigesetzten Menge, sowie
- von der Summe ihrer intrinsischen (physikalischen und chemischen) Eigenschaften bzw. ihrem sich unter Umweltbedingungen daraus ergebenden physikochemischen Verhalten.

Das Wirkungspotenzial einer potenziellen twgS im Menschen oder in der Umwelt wird zur Quantifizierung ihres TWGP dagegen ausdrücklich nicht berücksichtigt. Die hinsichtlich ihres intrinsischen TWGPs aussagekräftigsten physikochemischen Verhaltensmerkmale

einer Umweltkontaminante sind vielmehr ihre Abbaubarkeit/Persistenz, ihre Adsorbierbarkeit und ihre Polarität/Wasserlöslichkeit. Dementsprechend sollte das intrinsische TWGP in Form einer Resultante aus diesen Eigenschaften auf experimenteller Grundlage quantifizier- und prognostizierbar sein. Die Möglichkeiten hierfür prüft das Umweltbundesamt zurzeit.

Bewertung

Aus gesundheitlicher Sicht sind twgS im Trinkwasser deshalb unerwünscht, weil sie als unabsichtlich verteilte Umweltkontaminanten humantoxikologisch – mit Ausnahme von Nitrat – oft entweder noch überhaupt nicht bewertet oder zumindest hinsichtlich der Möglichkeit ihres Vorkommens und ihres Verhaltens im Trinkwasser (noch) nicht entsprechend bewertet wurden. Analog gilt dies für ihre Mischungen oder ihre möglichen Transformationsprodukte aus oxidativen Trinkwasseraufbereitungsschritten.

Falls ein twgS toxikologisch überhaupt nicht bewertbar ist, betrachtet das Umweltbundesamt nur Konzentrationen von bis zu $GOW_1 = 0,1 \mu\text{g/l}$ und den Stoff als in jeder Hinsicht⁵ gesundheitlich duldbar. Einzige Ausnahme wären stark gentoxische Stoffe, vergleichbar etwa dem gentoxischen Potenzial von Stoffen wie N-Nitrosodimethylamin, 2,6-Dinitrotoluol oder Benzo(a)pyren. Stark gentoxische Stoffe sind allerdings entweder sehr reaktiv oder nicht besonders hydrophil bzw. polar. Deshalb sind Stoffe dieser Art bisher kaum als trinkwassergängig aufgefallen und werden dies sicher auch in Zukunft nur sehr selten tun.

Besonders auffallende Gruppen potenziell trinkwassergängiger Spurenstoffe sind

- die pflanzenschutzrechtlich »nicht relevanten« Metabolite (nrM) landwirtschaftlicher Pestizide,
- Nitrat aus Düngemitteln

Wie gelangen Arzneimittelwirkstoffe in die Umwelt

Quelle: Institut für sozial-ökologische Forschung GmbH (2008)

.....▶ Präparate → Wirkstoffe

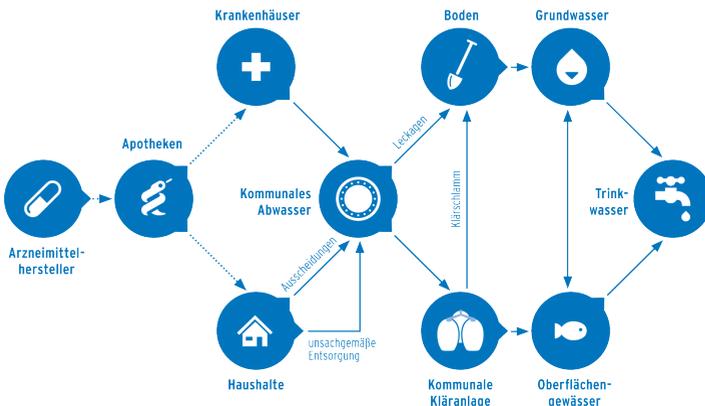


Abb. 2.12-2: Eintragspfade für HAMR in die Gewässer und ins Trinkwasser.

Gestaltung: www.publicgarden.de

- die Rückstände von Humanarzneimitteln und ihre Metaboliten (HAM und HAMR, vgl. Abb. 2.12-2), sowie
- abwassergängige Chemikalien aus Bedarfsgegenständen und industriellen Prozessen. Von diesen sind aus toxikologischer Sicht die perfluorierten Chemikalien (PFC) hervorzuheben (s. Bewertungsbeispiel).

Die toxikologische Datenbasis all dieser twgS wird in der Reihenfolge Nitrat >> nrM > HAMR > PFC deutlich lückenhafter. Dennoch können je nach Datenlage einzelnen Vertretern auch gesundheitlich motivierte Orientierungswerte von GOW > 0,1 µg/l zugeordnet werden. Dies gelingt auf Grundlage der

- »GOW-Empfehlung« des UBA vom März 2003² zur Bewertung der Anwesenheit nicht oder nur teilbewertbarer Stoffe im Trinkwasser, sowie der
- »nrM-Empfehlung« des UBA vom April 2008⁶ zur Bewertung pflanzenschutzrechtlich nicht relevanter Metaboliten von Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln.

In den letzten Monaten wurden von UBA und BfR zahlreiche nrM auf Grundlage der »nrM-Empfehlung« des UBA trinkwasserhygienisch und toxikologisch bewertet. Dasselbe geschieht für die wichtigsten anderen, vom UBA bisher bewerteten twgS⁸. Beispiele:

Perfluorierte Chemikalien (PFC)

PFC mit mehr als sechs perfluorierten C-Atomen sind ausgerechnet im menschlichen Körper extrem langlebig. Ihre gesundheitlich begründeten Werte im Trinkwasser liegen deshalb deutlich niedriger als ein Tausendstel Milligramm pro Liter⁹. Kürzerkettige PFC dagegen wären je nach Geschwindigkeit ihrer Ausscheidung aus dem menschlichen Körper gesundheitlich auch bei etwas höheren Werten duldbar.

Unser Trinkwasser enthält perfluorierte Verbindungen (PFC) allenfalls nur im Bereich eines Hundertstels gesundheitlich begründeter Höchstwerte oder gesundheitlicher Vorsorgewerte. Wenn allerdings im Einzugsgebiet eines Wasserwerksbrunnens schon einmal größere Brände bekämpft wurden oder sich dort gar ein regelmäßig genutzter Feuerlösch-Übungsplatz befindet, sollte das Trinkwasser auch auf kurz- und langkettige PFC untersucht werden.

Nitrat

Nitrat ist weltweit die am häufigsten im Trinkwasser vorkommende Umweltkontaminante. Zu Nitrit reduziert kann es oberhalb von 50 mg/l zum Blutgift mit akuter Wirkung auf Säuglinge werden, die zugleich an Magen-/Darm-Infektionen leiden. Mehr als 50 mg/l Nitrat, dem guide value der WHO, sollte bei sonst unbekanntem Expositionsbedingungen ein »Fläschchenwasser« deshalb grundsätzlich nicht enthalten.

Auch zur Entstehung karzinogener Nitrosamine im Stoffwechsel soll Nitrat/Nitrit beitragen, obwohl die hierzu vorliegenden Humanstudien bisher immer entweder negativ ausgingen oder wegen unterschiedlichster Mängel (Störfaktoren; unbekannte individuelle Exposition) kein schlüssiges Ergebnis liefern konnten.

Nitrat selbst hemmt ab 50 mg/l Nitrat die Aufnahme von Jodid in die Schilddrüse. Bei nicht ausreichender Jodversorgung entsteht dann zu wenig Schilddrüsenhormon mit den entsprechenden Langzeitfolgen.

Überschreitungen des Grenzwertes der EU für Nitrat (50 mg/l) werden in Deutschland seit ca. 10 Jahren seltener: Lag die Überschreitungsrate 1999 noch bei 1,1%, so war sie 2004 bereits auf 0,13% und 2007 auf 0,08% gesunken⁴.

Dies verweist aber nicht überall auf eine entsprechende Verbesserung der Rohwässer; Ursache ist auch die Einführung weiterreichender Aufbereitungsmaßnahmen zur Entfernung oder die Verschneidung von zu hoch belastetem mit weniger stark belastetem Wasser.

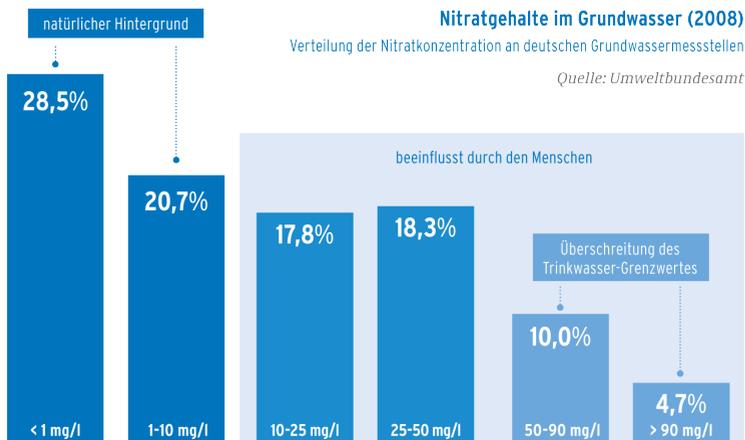


Abb. 2.12-3: Noch über 50% der im Jahr 2008 beprobten Messstellen des deutschen Grundwassermessnetzes für die Europäische Umweltagentur waren durch Nitrat anthropogen beeinflusst.

Gestaltung: www.publicgarden.de

Im Grundwasser, aus dem 70% des Trinkwassers in Deutschland stammen, betrug die Überschreitungsrate 2008 dagegen noch knapp 15%, und an über 50% war der Nitratgehalt höher als im unbeeinflussten Grundwasser (Abb. 2.12-3).

Weiterführende Literatur

I. Für Fachleute

- DIETER H.H. (2011) Drinking Water Toxicology in Its Regulatory Framework. In: Peter Wilderer (ed.) Treatise on Water Science, vol. 3, pp. 377–416 Oxford: Academic Press.
- DIETER H.H. (2010) The relevance of „non-relevant“ metabolites of pesticides for drinking water: The German View. Reg. Toxicol. Pharmacol. 56: 121-125
- DIETER H.H. (2009): Grenzwerte, Orientierungswerte. Leitwerte, Maßnahmewerte: Definitionen und Festlegung mit Beispielen aus dem UBA. Bundesgesundheitsblatt 52: 1202-1206
- DIETER H.H. (2009): Toxikologische und trinkwasserhygienische Bewertung von relevanten und nicht relevanten Metaboliten von Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmitteln im Grund- und Trinkwasser. Bundesgesundheitsblatt 52: 953-956
- DIETER H.H. (2004): Festsetzung von Grenzwerten, in: Regulatorische Toxikologie-Gesundheitsschutz-Umweltschutz-Verbraucherschutz (Reichl FX, Schwenk M, Hrsgg.). Springer, Berlin/Heidelberg/NewYork, Seiten 437-448
- DIETER H.H. (1999): Ableitung von Grenzwerten (Umweltstandards) - Wasser. in: Handbuch der Umweltmedizin (Wichmann E. et al. Hrsgg.), Kapitel III-1.3.5. ecomed, Landsberg, 16. Erg.-Lfg. 08/99, 19 pp.
- GROHMANN A., HÄSSELBARTH U. & SCHWERDT-FEGER W.K. (Hrsg.) (2003): Die Trinkwasserverordnung – Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 4., neu bearbeitete Auflage. Erich Schmidt, Berlin
- SCHUHMACHER-WOLZ U., DIETER H.H., KLEIN D. & SCHNEIDER K. (2009): Oral exposure to inorganic arsenic: evaluation of its carcinogenic and non-carcinogenic effects. Critical Reviews in Toxicology, Volume 39, Issue 4 April 2009, 271-298.
- WILHELM M., BERGMANN S. & DIETER H.H. (2010): Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4–C7 PFCs. International Journal of Hygiene and Environmental Health 213 (2010) 224-232.
- WILHELM M. & DIETER H.H. (2003): Bleiexposition über das Trinkwasser – unnötig und vermeidbar. Umweltmed Forsch Prax 8: 239-241.

Prof. Dr. Priv. Doz. Hermann H. Dieter
Umweltbundesamt
Corrensplatz 1 - 14195 Berlin
Hermann.Dieter@uba.de

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO): Guidelines for Drinking-Water Quality, rolling revision of chemical parameters of 3rd ed. 2003, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/index.html

II. Allgemein

- DIETER HH, GÖTZ K, KÜMMERER K UND KEIL F (2010): Handlungsmöglichkeiten zur Minderung des Eintrags von Humanarzneimitteln und ihren Rückständen (HAMR) in das Roh- und Trinkwasser, Umweltbundesamt und Institut für sozialökologische forschung, Dessau-Roßlau und Frankfurt am Main, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/4024.html>
- UMWELTBUNDESAMT (2011): „Rund ums Trinkwasser“, Informationsbroschüre des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau 2011 (im Druck)
- UMWELTBUNDESAMT (2011): „Trink was – Trinkwasser aus dem Hahn“, Ratgeber des Umweltbundesamtes zu gesundheitlichen Aspekten der Hausinstallation, Dessau-Roßlau 2005, 3. Auflage 2011 (im Druck), http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3058.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Uran (U) im Trinkwasser: Kurzbegründung des gesundheitlichen UBA-Leitwertes (10 µg/l U) und des Grenzwertes für „säuglingsgeeignete“ abgepackte Wässer (2 µg/l U) http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/kurzbegrueundung_uran_leitwert.pdf.

Fußnoten:

- ¹ *Abkürzungen: ALARA = As Low As Reasonably Achievable (Minimierungsgebot = So niedrig wie vernünftigerweise erreichbar); GOW = Gesundheitlicher Orientierungswert; HAMR = Rückstände von Humanarzneimitteln; MW = Maßnahmewert; PAK = Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe; PSMBP = Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte; THM = Trihalogenmethane;*
- ² <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/trinkwasser/Empfehlung-Nicht-bewertbare-Stoffe.pdf>
- ³ <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/trinkwasser/empfehlungen.htm>
- ⁴ http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=3616
- ⁵ *toxisches Potential, Expositions-dauer, Risikogruppen*
- ⁶ http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwasserkommission/empfehlung_nrm.pdf
- ⁷ http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/tabelle_gow_nrm.pdf
- ⁸ http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/trinkwassertoxikologie/grenzwerte_leitwerte.pdf
- ⁹ *Siehe Trinkwasserkommission (2007):* <http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/trinkwasser/empfehlungen.htm> und *Umweltbundesamt/Trinkwasser/Toxikologie*