

H. H. Dieter¹ · M. Henseling²

¹Umweltbundesamt, Berlin

²Hessisches Sozialministerium, Wiesbaden

Kommentar zur Empfehlung: Maßnahmewerte (MW) für Stoffe im Trinkwasser während befristeter Grenzwert-Überschreitungen gem. § 9 Abs. 6–8 TrinkwV 2001

Technische Leitsätze
der Trinkwassergewinnung
und Minimierungsgebot
im Dienst der gesundheitlichen Vorsorge

Im Bewusstsein des Normalbürgers scheiden gesetzlich festgelegte Grenzkonzentrationen („Grenzwerte“) für Stoffe in Umweltmedien, Lebensmitteln und Bedarfsgegenständen eine ungefährliche Umwelt (Grenzwertunterschreitung) von einer unmittelbar gesundheitsgefährdenden Umwelt (Grenzwertüberschreitung).

Gesundheitlich motivierte Grenzwerte sind dagegen meist so ausgelegt, dass eine Gefährdung der Gesundheit allenfalls mit einer lebenslang anhaltenden Belastung oberhalb des Grenzwertes zu besorgen ist. Viele Grenzwerte unterschreiten sogar aus anderen als gesundheitlichen, also z. B. aus umwelthygienischen, technischen, oder ökologischen Motivationen sehr deutlich solche rein gesundheitlich motivierten „Besorgniswerte“ [1, 2].

Insgesamt gesehen haben Grenzwerte deshalb meist einen mehr oder weniger strengen Vorsorgecharakter und nur in wenigen Fällen die Funktion der Abwehr einer unmittelbar drohenden Gesundheitsgefahr. Falls ein Grenzwert überschritten ist, kann und muss aber der gesundheitlich-regulatorische Handlungsspielraum, der je nach ursprünglicher Motivation für Festsetzung und Höhe des überschrittenen Grenzwertes unterschiedlich groß ist, genutzt

werden, um die Überschreitung und ihre Ursache zu beseitigen.

Auch in Trinkwasser, dessen Beschaffenheit den Leitsätzen der DIN 2000 und dem Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnungen entspricht, liegen die tatsächlichen Konzentrationen aller chemischen Parameter in aller Regel weit unterhalb gesetzlich festgelegter, gesundheitlich motivierter Höchstkonzentrationen bzw. Grenzwerte [3]. Zudem ist ein unter diesen Voraussetzungen gefördertes Wasser auch mikrobiologisch einwandfrei.

Im Kontext der DIN 2000 und des Minimierungsgebotes sind Überschreitungen von Grenzwerten für Stoffe im Trinkwasser deshalb stets ein Beleg für das Versagen von Schutzvorkehrungen – im Einzugsgebiet, im Wasserwerk oder im Verteilungsnetz. Hinweise auf Ort und Art ihres Versagens ergeben sich aus der Herkunft des Stoffes sowie der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Messbefunde.

Regelungen der TrinkwV 2001 für Abhilfemaßnahmen während befristeter Grenzwertüberschreitungen

Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen

Der § 4 Abs. 2 und 3 der TrinkwV 2001 verpflichtet den Unternehmer oder sonstigen Inhaber von Wasserversorgungsanlagen zur Einhaltung bzw. Un-

terschreitung der Grenzwerte für mikrobiologische Parameter (§ 5 Abs. 2 und 3) und chemische Stoffe (§ 6 Abs. 2) im Trinkwasser und von Indikatorparametern (früher: Kenngrößen) zur Beurteilung seiner Beschaffenheit (§ 7).

Maßgeblich sind darüber hinaus die allgemeinen gesundheitlichen Anforderungen der §§ 5 Abs. 1 und 6 Abs. 1, das in mikrobiologischen Zweifelsfällen greifende Desinfektionsgebot in § 5 Abs. 4 und das allgemeine „Minimierungsgebot“ des § 6 Abs. 3.

Ergänzend hält die TrinkwV 2001 u. a. folgende Regelungen zur vorbeugenden Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen bereit:

- ▶ § 14 Abs. 2 verpflichtet den Unternehmer oder sonstigen Inhaber von Wasserversorgungsanlagen, Untersuchungen des Rohwassers vorzunehmen, wenn ihm Veränderungen in der Schutzzone bzw. der Umgebung der Wasserfassung bekannt werden, die (negative) Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Rohwassers haben können.
- ▶ § 16 Abs. 1 verpflichtet den Unternehmer oder sonstigen Inhaber von Wasserversorgungsanlagen, (negative)

© Springer-Verlag 2003

Priv.-Doz. Dr. H. H. Dieter, Dir. u. Prof.
Umweltbundesamt,
Leiter des Fachgebietes Toxikologie
des Trink- und Badebeckenwassers,
Postfach 330022, 14191 Berlin

Übersicht 1
Abkürzungen

e	empfindliche Personengruppe
E	normal empfindliche (gesunde) Erwachsene
EF	Extrapolationsfaktor
GD	gefährbezogene Dosis ($GD=IF \cdot K_d$)
GHR ₇₀	Gesamt-Hintergrundrisiko ($GHR_{70} = 5,86 \cdot HR$)
GR	gefährbezogenes Risiko ($GR=5 \cdot GHR_{70}$)
HR	Hintergrundrisiko ($HR=1 \cdot 10^{-6}$ lt. WHO bei Einhaltung des LW ₇₀)
IF	Interpolationsfaktor
IPM	Interpolationsmethode gem. BMU (1999)
K _d	Lebenslang gesundheitlich duldbare Dosis (mg/kgKM·Tag)
KM	Körpermasse (kg)
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level (Niedrigste Dosis mit beobachtbarer Wirkung; Ausgangspunkt zur Berechnung der K _d mit Hilfe von 1–4 EF)
LW	gesundheitlicher Leitwert auf Wirkschwellenbasis (lebenslang gesundheitlich duldbare Höchstkonzentration)
LW ₇₀	gesundheitlicher Leitwert auf Risikobasis (lebenslang gesundheitlich akzeptierbare Höchstkonzentration)
MW	Maßnahmewert gem. Trinkw 2001
NAEL	No Adverse Effect Level (nicht beobachtet, sondern extrapoliert; theoretisch identisch mit einer Wirkungsschwelle)
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level (Höchste Dosis ohne beobachtete Wirkung)
THR	Hintergrund(teil)risiko
TrinkwV 2001	Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 (BGBl I/24:959–980)
TWK	Trinkwasserkommission des Umweltbundesamtes
ZR	Zusatzrisiko (unterschiedlicher Höhen, s. Text)
≡	definiert (festgesetzt) ab, identisch mit

Veränderungen der Qualität des Rohwassers und andere qualitätsrelevante Beobachtungen unverzüglich dem Gesundheitsamt anzuzeigen. Abs. 6 verpflichtet ihn zur Erstellung eines Maßnahmenplans, der angibt, wie notfalls (bei Gefahr der „akuten Schädigung der menschlichen Gesundheit“, s. § 9 Abs. 3, Satz 2) auf eine andere Wasserversorgung umzustellen wäre.

- ▶ § 21 Abs. 1 verpflichtet den Unternehmer oder sonstigen Inhaber von Wasserversorgungsanlagen zur Weitergabe von geeignetem und aktuellem Informationsmaterial über die Wasserqualität an den Verbraucher, u. a. zu dem Zweck, ihm die Auswahl geeigneter Materialien zu ermöglichen, deren Einsatz (in Hausinstallationen) nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik im Sinne der Einhaltung oder Unterschreitung der entsprechenden Grenzwerte erforderlich ist (§ 4 Abs. 1).

Die Nichtbeachtung von § 4 Abs. 4 ist laut § 24 TrinkwV 2001 strafbewehrt, die Nichtbeachtung von Anweisungen des

Gesundheitsamtes zur Beachtung der anderen Verpflichtungen gilt als bußgeldbewehrte Ordnungswidrigkeit (§ 25). Zur Umsetzung benötigt das Gesundheitsamt also die Unterstützung der Ordnungsämter und – im Hinblick auf die Weisungsbefugnis der Kommunen – auch der Kommunalaufsicht der Innenministerien der Länder.

Abhilfemaßnahmen mit Augenmaß

Um ein dennoch oberhalb gültiger Grenzwerte kontaminiertes Wasser wieder in einen einwandfreien Zustand zu versetzen, sind seitens des Gesundheitsamtes „unverzüglich Maßnahmen zur Abhilfe“ zu ergreifen (§ 9 Abs. 4 der TrinkwV 2001). Diese müssen, ihrer Dringlichkeit entsprechend, in Form zeitlich und humantoxikologisch gestufter Maßnahmen vorstrukturiert werden. Maßgeblich für die zeitliche Dringlichkeit ist die toxikologische Bewertung der Grenzwertüberschreitung und die gesundheitliche Dringlichkeit ihrer Abwehr. Beide bestimmen den Handlungsspielraum, der dem Wasserversorger,

dem Gesundheitsamt und der Wasserbehörde zur Verfügung steht, damit sie Abhilfemaßnahmen „mit Augenmaß“ einleiten können.

„Augenmaß“ heißt: Optimales Kosten/Nutzen-Verhältnis zwischen

- ▶ Gesundheitsschutz (Handlungskategorien: Gefahr, Besorgnis oder Vorsorge),
- ▶ Ressourcenschutz (Sanierung und Vermeidung weiterer Einträge) und
- ▶ Kostenaufwand für technische Maßnahmen (technische Sanierung).

Maximal- und Minimalansprüche einer der beteiligten Seiten würden dieses Optimum unerreichbar machen. Das Gesundheitsamt muss deshalb gem. § 9 prüfen und darüber entscheiden,

- ▶ welche Sanierungs- und Vermeidungsmaßnahmen innerhalb welchen Zeitraums angemessen sind,
- ▶ ob die Versorgung mit einwandfreiem Trinkwasser nicht auf andere Weise sichergestellt werden könnte,
- ▶ unter welchen Bedingungen die chronische Gefährdung durch eine gefahrverknüpfte Dosis (GD) oder ein gefahrverknüpftes Risiko (GR) als Folge der Überschreitung eines Grenzwertes zu befürchten wäre und
- ▶ ob nach Gesamtbewertung dieser 3 Handlungsoptionen die Versorgung mit dem beanstandeten Trinkwasser während des Sanierungszeitraumes nicht doch weiterbetrieben werden kann oder sogar muss.

Der rechtliche Rahmen, innerhalb dessen dieses Optimum erreicht werden kann, wird im ersten Teil der Empfehlung erläutert. Die Höhe der „gefährverknüpften Dosis“ und des gefahrverknüpften Risikos ist Gegenstand des folgenden Abschnitts.

Definition der gefahrverknüpften Dosis (GD) und des gefahrverknüpften Risikos (GR)

Gefahrverknüpfte Dosis/Stoffe mit Wirkungsschwelle

Fachliche Grundlage zur Beantwortung der Frage, ob eine Exposition tatsächlich gefahrverknüpft sein könnte, ist bei Stoffen mit Wirkungsschwelle das Konzept der gesundheitlich lebenslang duldbaren

ren Körperdosis K_d (Abkürzungen s. Übersicht 1). Die K_d ist das regulatorische Surrogat für die tatsächliche, meist jedoch unbekannte Wirkungsschwelle des Stoffes im Menschen ($NAEL_e$, No Adverse Effect Level). Sie wird mithilfe von bis zu 4 „Extrapolationsfaktoren“ (EF) aus dem NOAEL (No Observed Adverse Effect Level/höchste noch nicht schädliche Dosis) einer möglichst vollständigen und dementsprechend aussagekräftigen Datenbasis auf die empfindlichste Bevölkerungsgruppe (e) extrapoliert [4]. Die Extrapolation besteht darin, dass der NOAEL durch den Gesamt-Extrapolationsfaktor EF_g , der sich aus bis zu 4 Teil-EF multiplikativ zusammensetzt, dividiert wird. Auf Basis vollständiger Tierversuche (TV) gilt meist $EF_g=100$, sodass meist $NAEL_e \equiv K_d = NOAEL_{TV:100}$.

Zur Verknüpfung gesundheitlich motivierter mit rechtlich motivierten Risikoassessungen bei Expositionen $>K_d$ bzw. aus der K_d abgeleiteter Höchstkonzentrationen dient in der Empfehlung der Trinkwasserkommission (TWK) die sog. Interpolationsmethode (IPM). Die IPM ist seit 1999 toxikologischer Baustein der Methoden und Maßstäbe für die Ableitung gefahrverknüpfter Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundesbodenschutz- und Altlastverordnung (BBodSchV) [5]. Ihr fachlicher Kern ist eine Konvention zur Quantifizierung und toxikologischen Bewertung von Expositionen, die höher sind als lebenslang gesundheitlich duldbar. Solche Expositionen gelten ab einer bestimmten, durch die IPM definierten Höhe bereits dann als gefahrverknüpft, wenn sie kürzer als lebenslang andauern. Die Höhe dieser gefahrverknüpften Dosis GD ist das Produkt aus der K_d und einem Interpolationsfaktor IF. Der IF ist seinerseits eine Funktion derjenigen EF_{a-d} , mit deren Hilfe der NOAEL der Datenbasis auf den Menschen (h) zwecks Findung der K_d extrapoliert wurde. Der entsprechenden Teilfaktor des EF_g heißt EF_{gh} .

Der EF_g enthält zusätzlich 1 oder 2 „Abschätzfaktoren“ ASF [4] zur Überbrückung von Lücken in der Datenbasis. Die ASF besitzen i. d. R. keinen direkten Bezug zum Menschen und kommen deshalb als Bestimmungsgröße für IF nur selten in Frage [6].

Die IPM definiert den IF als die Quadratwurzel von EF_{gh} . Das Produkt aus IF und K_d ist laut IPM die gefahrver-

knüpfte Dosis $GD=K_d \cdot IF$. GD heißt deshalb „gefahrverknüpft“, weil eine Schutzzielgruppe, die in Höhe der GD bzw. einer aus der GD abgeleiteten Höchstkonzentration im Rahmen dieser zugeordneten Szenarios exponiert ist, mit hinreichender Wahrscheinlichkeit einer Gesundheitsgefährdung ausgesetzt wäre [6].

Für die Festsetzung des Produktes $GD=K_d \cdot IF$ als die regulatorisch kritische GD gab folgende Betrachtung den Ausschlag: Falls nicht nur $K_d \equiv NAEL_e$, sondern auch $NAEL_e=K_d$ gilt nicht nur $NAEL_e \cdot IF=LOAEL_e=GD$, sondern auch $K_d \cdot IF=LOAEL_e=GD$. Je nach tatsächlicher Höhe des unbekanntes $NAEL_e$ könnte deshalb $GD=K_d \cdot IF$ bis zu IF-mal höher sein als ein unbekanntes $NAEL_e$. Deshalb wäre $GD=LOAEL_e$, falls $NAEL_e=K_d$. In solchen Fällen läge die GD dann nicht nur mit hinreichender Wahrscheinlichkeit auf halbem Weg zwischen dem $NAEL_e$ und dem $LOAEL_e$, sondern bei empfindlichen Personen tatsächlich im Gefahren- oder Wirkbereich. In allen anderen, regulatorisch weniger kritischen Fällen ist $NAEL_e > K_d$. In diesen Fällen wäre das Produkt $GD=K_d \cdot IF$ unterschiedlich niedriger als das regulatorisch kritische Produkt $NAEL_e \cdot IF=LOAEL_e$.

Der Interpolationsfaktor IF ist als Funktion des EF_{gh} nicht nur stoffspezifisch unterschiedlich hoch und erkenntnisabhängig flexibel, sondern auch regulatorisch konservativ. Die GD kann zwar, muss nach dem Vorgesagten aber nicht, mit dem $LOAEL_e$ identisch sein. Die unterschiedlichen IF sind sogar desto konservativer, je unvollständiger die Datenbasis ist: Die Ausschöpfung der Sicherheitsspanne oberhalb der K_d durch $GD=K_d \cdot IF$ ist bei schlechter Datenbasis bzw. relativ hohem EF_{gh} prozentual viel geringer als bei relativ niedrigem EF_{gh} [4, 6].

Gefahrverknüpftes Risiko/Stoffe ohne Wirkungsschwelle

Zur Prüfung der Gefahrverknüpftheit tatsächlicher Expositionen gegenüber Stoffen ohne Wirkungsschwelle auf dem Direktpfad Boden \Rightarrow Mensch schlägt die IPM ein modifiziertes Vorgehen vor.

Das gesundheitlich akzeptierbare (und politisch akzeptierte) populationsbezogene Zusatzrisiko im Rahmen von Nachsorgemaßnahmen bei Altlastsanie-

rungen gem. Bundesbodenschutzgesetz beträgt $ZR=1 \cdot 10^{-5}$. Seine Multiplikation mit dem willkürlichen, aber festen Interpolationsfaktor $IF=5$ ist Ausgangspunkt für die Berechnung derjenigen „gefahrverknüpften“ Stoffkonzentration im Oberboden, die dort für 70 Jahre Exposition das „gefahrverknüpfte (Zusatz-) Risiko“ $GR=5 \cdot ZR$ abbildet [5].

Das im Rahmen von Grenzwertfestsetzungen zur gesundheitlichen Vorsorge auf dem Trinkwasserpfad akzeptierte Risiko heißt demgegenüber Hintergrundrisiko HR. Die TWK schlägt vor diesem Hintergrund vor, eine modifizierte IPM zur Bewertung von Risiken $>HR$ auch auf dem Pfad Trinkwasser \Rightarrow Mensch anzuwenden, und zwar in Form zweier unterschiedlicher IF – eines höheren IF für Überschreitungsdauern von höchstens 3 Jahren (IF_3) und eines ca. 3-mal niedrigeren für die Dauer von mehr als 3 bis zu 10 Jahren (IF_{10}). IF_3 und IF_{10} wurden so bemessen, dass in Erwartung eines durchschnittlich 70 Jahre dauernden Lebens $GR=5$ HR immer eingehalten (und meist unterschritten) ist.

Maßnahmewerte gem. TrinkwV 2001

Stoffe mit Wirkungsschwelle: Ableitung aus der GD

Die Bewertung nicht lebenslang gesundheitlich duldbarer Expositionen gem. § 9 Abs. 4–6 TrinkwV 2001 erfolgt in der Empfehlung der TWK nicht in Form des für den Rechtsbereich „Bodenschutz“ bereits vergebenen Ausdrucks (wirkungsschwellenbasierter) „Prüfwert“ [5, 6], sondern in Form des gesundheitlich duldbaren Leitwertes für kurzfristige Exposition LW_{KE} . Aus toxikologisch-inhaltlicher Sicht sind beide Ausdrücke identisch.

Laut Empfehlung der TWK ist der LW_{KE} ein Maßnahmewert (MW), dessen Überschreitung rechtzeitig durch geeignete Maßnahmen zu verhindern ist. Er soll demselben Anteil (meist 10%) an der GD in 2 Litern täglicher Trinkwasseraufnahme entsprechen wie der gesundheitliche Leitwert LW (=lebenslang gesundheitlich duldbare Höchstkonzentration) an der K_d . Deshalb ist $MW=LW \cdot IF$.

Die Höhe der MW_A für Stoffgruppe A (nicht oder nur schwach kumulierende Stoffe) und der MW_B für Stoff-

Tabelle 1

Interpolationsfaktoren IF zur Berechnung der Maßnahmewerte durch Multiplikation des LW oder des LW₇₀ eines Stoffes der Gruppen A–C mit dem IF

Wichtigste gemeinsame Eigenschaften der Stoffe mit identisch definiertem IF	Definition des IF	Berechnung des MW
Gruppe A: Nicht oder schwach kumulierend; mit Wirkungsschwelle ($t_{1/2} \leq 3$ Jahre)	$IF_A = \sqrt{EF_{gh}}$	$MW_A = LW \cdot \sqrt{EF_{gh}}$
Gruppe B: Stark kumulierend; mit Wirkungsschwelle ($t_{1/2} > 3$ Jahre)	$IF_B = 2 \cdot \sqrt{EF_{gh}}$	$MW_B = LW \cdot 2 \cdot \sqrt{EF_{gh}}$
Gruppe C: Gentoxisch; ohne Wirkungsschwelle	$IF_3 = 17$ (≤ 3 Jahre Überschreitung des GW)	$MW_3 \leq 17 \cdot LW_{70}$
	$IF_{10} = 6$ ($> 3 - \leq 10$ Jahre Überschreitung des GW)	$MW_{10} = 6 \cdot LW_{70}$

IF Interpolationsfaktor, EF_{gh} Gesamtprodukt (g) der Extrapolations (teil) faktoren mit Humanbezug (h) zur Ableitung der K_d , LW lebenslang (70 Jahre) gesundheitlich duldbare Höchstkonzentration im Trinkwasser (Stoffe mit Wirkungsschwelle), LW_{70} lebenslang (70 Jahre) gesundheitlich akzeptierbare Höchstkonzentration im Trinkwasser (Stoffe ohne Wirkungsschwelle), MW Maßnahmewert im Sinne von § 9 Abs. 6–8 TrinkwV 2001, $t_{1/2}$ Halbwertszeit der Elimination eines Stoffes aus dem menschlichen Körper, GW Grenzwert

gruppe B (kumulierende bis stark kumulierende Stoffe) in den Tabellen 1–3 der Empfehlung ist so bemessen, dass sie für alle gem. TrinkwV 2001 zulässigen Überschreitungszeiträume (bis zu 3·3 Jahre) mit zumindest „hinreichender Wahrscheinlichkeit (noch) gesundheitlich sicher“ sind.

Ein MW_A (MW_B) entsteht durch Multiplikation des jeweiligen LW_A (LW_B) mit dem in Tabelle 1 hierfür in allgemeiner Form angezeigten IF_A (IF_B) des betreffenden Stoffes. Die einzelnen IF , der EF_{gh} , und der LW für jeden in der TrinkwV 2001 per Grenzwert belegten Stoff mit Wirkungsschwelle befinden sich in Tabelle 2. Wie von der IPM (s. oben) bereits für die Berechnung von Prüfwerten vorgegeben, gilt meist $IF = \sqrt{100} = 10$. Falls $EF_{gh} < 100$ (> 100) kann der IF aber auch niedriger (höher) sein. Die Begründung für die Höhe der einzelnen Extrapolationsteilfaktoren, aus denen sich die stoffspezifischen EF_{gh} aus Tabelle 2 multiplikativ zusammensetzen, ist [7] zu entnehmen.

Der zusätzliche pauschale Multiplikator 2 zur Ermittlung eines IF_B (vgl. Tabelle 1) wird folgendermaßen erklärt: Bei (stark) kumulierenden Stoffen stellt sich das Gleichgewicht zwischen Aufnahme und Ausscheidung und damit auch die gesundheitlich relevante inne-

re Schadstoffkonzentration um mindestens den Faktor 2 langsamer ein, als bei den nicht oder nur schwach kumulierenden [7]. Deshalb ist es, um einen MW_B zu erhalten, toxikologisch plausibel, einen LW_B mit einem 2-mal höheren IF zu multiplizieren, als wenn es sich um den LW eines ähnlich toxischen aber nicht kumulierenden Stoffes handeln würde. Dieses Vorgehen ist aber nur gerechtfertigt, wenn sicher vorhergesagt werden kann, dass die nach TrinkwV 2001 zulässigen Überschreitungszeiträume eingehalten werden.

Stoffe ohne Wirkungsschwelle: Ableitung aus dem GR

Expositionen gegenüber diesen Stoffen (Stoffgruppe C) sind rechnerisch mit einem bestimmten (Hintergrund-)Risiko HR verknüpft, bei den Exponierten während 70 Jahren durchschnittlicher Lebenszeit zu einem nicht vorhersagbaren Zeitpunkt expositionsbedingt eine Erkrankung auszulösen. Theoretisch vermag dies sogar jedes einzelne Stoffmolekül, und zwar irreversibel. Es ist deshalb nicht möglich, mit wissenschaftlicher Gewissheit eine wirkfreie Dosis anzugeben. In der Regel handelt es sich um gentoxische karzinogene Stoffe, doch weitere toxische (z. B. fetotoxische, neurotoxi-

sche, immuntoxische) Endpunkte ohne Wirkungsschwelle werden diskutiert.

Zur Ableitung der MW für Stoffe ohne Wirkungsschwelle bedient sich die TWK ebenfalls der IPM. Die MW entsprechen hier dem gefahrbezogenen Risiko $GR > HR$ während befristeter Grenzwert-Überschreitungen. Aus toxikologischer Sicht handelt es sich bei diesen MW um gesundheitlich akzeptierbare Leitwerte für kurzfristiges Risiko LW_{KR} . Ein LW_{KR} entspricht 100% des GR auf dem Trinkwasserpfad – ebenso wie der LW_{70} das HR des betreffenden Stoffes zu 100% abbildet. In Analogie zum Vorgehen bei Stoffen mit Wirkungsschwelle gilt deshalb $MW = IF \cdot LW_{70}$.

Die Höhe der IF für Stoffe ohne Wirkungsschwelle ist gem. IPM und darauf aufbauender Empfehlung der TWK zwar nicht von Art und Qualität der toxikologischen Datenbasis des betreffenden chemischen Parameters, dafür aber von der verbindlich vorhersehbaren Dauer der Überschreitung des Grenzwertes abhängig. Sie soll entweder maximal 3 Jahre oder maximal 10 Jahre betragen. Die zugehörigen IF_3 und IF_{10} (vgl. Tabelle 1) sind der Höhe nach so eingestellt, dass das rechnerische Zusatzrisiko ZR während einer Überschreitungsdauer zwar unterschiedlich hoch ist, das $GR = ZR + HR$ aber unter Berücksichtigung der besonderen Empfindlichkeit der ersten 10 Lebensjahre und in Erwartung eines durchschnittlich 70 Jahre dauernden Lebens immer auf $GR \leq 5$ HR beschränkt bleibt.

Derjenige gesundheitliche Leitwert eines trinkwassergängigen Stoffes, der das HR gegenüber einem gentoxischen Stoff abbildet, heißt im folgenden LW_{70} und wird angegeben in x ($\mu\text{g/L}$). Stoffspezifische Zahlenwerte für x befinden sich in Tabelle 2.

Auf Basis LW_{70} werden im folgenden Rechengang die beiden Interpolationsfaktoren $IF_3 = 17$ (bis zu 3 Jahre Überschreitungsdauer) und $IF_{10} = 6$ (bis zu 10 Jahre Überschreitungsdauer) berechnet.

Das HR pro Stoff bei den LW_{70} von Tabelle 2 beträgt $1 \cdot 10^{-6}$, allerdings nur, wenn man der Weltgesundheitsorganisation [8] folgt und eine über die (erwarteten) 70 Lebensjahre gleich bleibende Empfindlichkeit (E) des Menschen gegenüber Stoffen ohne Wirkungsschwelle (gentoxische Stoffe) unterstellt.

Die nach 70 Jahren insgesamt aufgenommenen und entsprechend risikobehaftete Stoffmenge M_E , auf kgKM ei-

Tabelle 2

Interpolationsfaktoren für die toxikologisch bedeutsamen chemischen Parameter der TrinkwV 2001

Fundstelle in der TrinkwV 2001 Anlage/Teil-Par. Nr.	Stoff (Gruppe gem. IV.1) – alphabetisch	LW [mg/L] ^a	LW ₇₀ [mg/L] ^b	EF _{gh}	IF gem. Tabelle 1
2/I-Nr. 1	Acrylamid (C)	-	0,05	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
3-Nr. 1	Aluminium (A)	1,2	-	100	10
2/II-Nr. 1	Antimon (A)	0,02	-	100	10
2/II-Nr. 2	Arsen (B)	0,01	-	3	3,4
2/II-Nr. 3	Benzo[a]pyren (C)	-	0,00007	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
2/I-Nr. 2	Benzol (C)	-	0,001	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
2/II-Nr. 4	Blei (B)	0,010 (e) ^c	-	1	1
		0,025 (E)	-	3	3,4
2/I-Nr. 3	Bor (A)	1,0	-	30	5,5
2/I-Nr. 4	Bromat (C)	-	0,00036	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
2/II-Nr. 5	Cadmium (B)	0,002	-	3	3,4
2/I-Nr. 5	Chrom gesamt (A)	0,02 (Cr-VI)	-	100	10
2/I-Nr. 6	Cyanid (A)	0,02	-	100	10
2/I-Nr. 7	1.2-Dichlorethan (C)	-	0,003	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
-	cis-1.2-Dichlorethen (A) ^d	0,05	-	100	10
2/II-Nr. 6	Epichlorhydrin (C)	-	0,0004	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)
2/I-Nr. 8	Fluorid (B)	0,2 ^e	-	3	3,4
2/II-Nr. 7	Kupfer (A)	2,0	-	1	1
3 – Nr. 12	Mangan gesamt (A)	0,2 Mn ²⁺ (e) ^c	-	1	1
		-	0,5 Mn ²⁺ (E)	3	1,7
2/II-Nr. 8	Nickel (A)	0,02	-	10 (s) ^f	3
				100 (S)	10
2/I-Nr. 9	Nitrat (A)	50 (e) ³⁾	-	1	1
		13 (E) ⁷⁾	-	100 ^g	10 ^g
2/II-Nr. 9	Nitrit (A)	0,7	-	100	10
2/I-Nr. 12	Quecksilber (B)	0,001	-	20	9
2/I-Nr. 14	Tri- plus Tetrachlorethen (A)	0,1	-	3 (e) ^{c,h}	1,7
		100 (E)	10	-	-
2/II-Nr. 11	Trihalogenmethane (A)	0,06 bis 0,2	Additionsregel lt. TWK-Empfehlung	-	-
2/II-Nr. 12	Vinylchlorid (C)	-	0,0005	-	6 (IF ₁₀) 17 (IF ₃)

^a Lebenslang gesundheitlich duldbare Höchstkonzentration (gesundheitlicher Leitwert) für Stoffe mit Wirkungsschwelle.

^b Lebenslang gesundheitlich akzeptierbare Höchstkonzentration (risikobasierter gesundheitlicher Leitwert) für Stoffe ohne Wirkungsschwelle. Ein LW₇₀ entspricht in Erwartung einer 70 Jahre lang andauernden Exposition theoretisch einem Hintergrundrisiko von HR=1·10⁻⁶ für Morbidität durch Krebs [9], allerdings ohne Berücksichtigung der ca. 10-mal höheren Empfindlichkeit des Menschen gegenüber genotoxischen Karzinogenen während der ersten 10 Lebensjahre. Wenn diese auf sonst gleicher Berechnungsgrundlage berücksichtigt wird, ergibt sich für das Gesamthintergrundrisiko ein Wert von GHR₇₀=5,86·10⁻⁶. Auf dieser Basis wurde die Berechnung von IF₃ und IF₁₀ in Abschnitt IV.2 durchgeführt, sodass gesonderte MW für Säuglinge und Kleinkinder bei Stoffen ohne Wirkungsschwelle aus toxikologischen Überlegungen nicht benötigt würden. Um aber möglichst zu verhindern, dass Mehrfachexpositionen infolge Wechsels des Versorgungsgebietes womöglich doch zur Überschreitung von GR=5 GHR₇₀ führen, sollte im (Trink)wasser für die Säuglingsernährung während Grenzwertüberschreitungen genotoxischer Stoffe grundsätzlich der MW₁₀ des (der) betreffenden Stoffe(s) eingehalten werden.

^c e=empfindlichste Bevölkerungsgruppe, i. d. R. Säuglinge und Kleinkinder, E=durchschnittlich empfindliche Bevölkerungsgruppe, i. d. R. gesunde Erwachsene.

^d Häufiges Abbauprodukt von Tri- und Tetrachlorethen und/oder Vorprodukt des Abbaus von Vinylchlorid im Emissionsbereich von Ablagerungen.

^e Fluorid-Supplementierung gilt unter 0,7 mg/L F als nicht eingeschränkt.

^f s=gegen Nickel vorsensibilisierte Personen. S=gegen Nickel nicht vorsensibilisierte Personen.

^g Auf Basis Tierversuche lässt sich mit EF=100 für E ein LW in Höhe von 13 mg/L Nitrat ableiten. Der Wert für e ist auf wesentlich besserer Datenbasis abgeleitet und deshalb ausnahmsweise höher als für E.

^h Bei e kleinere Sicherheitsspanne (und damit auch niedrigerer IF) als bei E wegen des Verdachtes auf Humankarzinogenität von Tri- und Tetrachlorethen.

nes 70 kg schweren Menschen bezogen, beträgt

$$M_E = x[\mu\text{g/L}] \cdot 2[\text{L/Tag}] \cdot (70 \cdot 365)[\text{Tage}] / 70[\text{kgKM}]$$

bzw.

$$M_E = 730x[\mu\text{g/kgKM}].$$

Unterstellt man, wie bei [9] belegt, während der ersten 10 Lebensjahre eine bis zu 10-mal höhere Empfindlichkeit (e) gegenüber genotoxischen Stoffen, dann beträgt die auf kgKM bezogene, mit dem Risiko 10^{-6} behaftete Dosis dagegen $M_{E/10}$, d. h.

$$M_e = 73x[\mu\text{g/kgKM}].$$

Dieser Dosis bzw. dem Risiko $HR=1 \cdot 10^{-6}$ entspricht, falls ein im 10-Jahres-Durchschnitt 10 kg schweres Kind 10 Jahre lang täglich 1 Liter Trinkwasser mit der Konzentration x des LW_{70} aufnimmt, ein LW_{KR} in Höhe von

$$LW_{10e} = M_e[\mu\text{g/kgKM}] \cdot 10[\text{kgKM}] / (1[\text{L/Tag}] \cdot (10 \cdot 365)[\text{Tage}])$$

bzw.

$$LW_{10e} = 0,2x[\mu\text{g/L}] = 0,2 \cdot LW_{70}.$$

Falls also ein 10-jähriges Kind während bis zu 10 Jahren ein Trinkwasser aufgenommen hat, in dem der LW_{70} ausgeschöpft war, betrug sein Hintergrund(teil)risiko THR, bis dahin an Krebs zu erkranken, nicht $HR=1 \cdot 10^{-6}$, sondern $THR_{10e}=5 \cdot 10^{-6}$. Dieses THR_{10e} setzt sich anteilig zusammen aus $THR_{3e}=1,5 \cdot 10^{-6}$ plus $THR_{7e}=3,5 \cdot 10^{-6}$. Das während der verbleibenden 60 Jahre Lebenserwartung akkumulierende THR ist dagegen

$$THR_{60E} = 60/70 \cdot 10^{-6} = 0,86 \cdot 10^{-6}.$$

Unter Berücksichtigung der besonderen Empfindlichkeit während der ersten 10 Lebensjahre ergibt sich so für ein 70-jähriges Leben ein Gesamt-Hintergrundrisiko ($GHR_{70}=THR_{10e}+THR_{60E}$) in Höhe von

$$GHR_{70} = 5,86 \cdot 10^{-6}.$$

Erhöht man wie im Bodenschutzrecht dieses Risiko zur Definition gefahrbezogener Situationen willkürlich auf das 5fache seines Wertes, also auf ein gefahrbezogenes Risiko GR in Höhe von

$$GR = 29,3 \cdot 10^{-6},$$

so verbleibt – nach Abzug des THR_{60E} – ein während der ersten 10 Lebensjahre per Grenzwertüberschreitung maximal ausschöpfbares Zusatzrisiko ZR_{10e} in Höhe von

$$ZR_{10e} = 28,44 \cdot 10^{-6}.$$

Der LW_{70} darf während einer bis zu 10 Jahre andauernden Überschreitszeit nicht um mehr als das ZR_{10e}/THR_{10e} fache seines Wertes erhöht werden, sonst wäre nach 70 Jahren Expositionszeit das soeben vereinbarte GR überschritten. Deshalb gilt für diesen Überschreitszeitraum der Interpolationsfaktor

$$IF_{10} = 28,44/5^26.$$

Die analoge Betrachtung zu einem maximal 3 Jahre andauernden Zeitraum der Überschreitung des Grenzwertes eines genotoxischen Stoffes führt auf den Interpolationsfaktor $IF_3=(ZR_{10e}-THR_{7e})/THR_{3e}=ZR_{3e}/THR_{3e}$, sodass

$$IF_3 = 24,94/1,5^217.$$

Abschließend sei angemerkt, dass es sich bei dem Zahlenwert für GR um ein Maximalrisiko handelt, das während eines 70 Jahre andauernden Lebens allenfalls dann erreicht würde, wenn der höchstens 3- oder 10-jährige Überschreitszeitraum vollständig in den ersten 10 Lebensjahren enthalten wäre.

Literatur

1. Dieter HH, Grohmann A (1995) Grenzwerte für Stoffe in der Umwelt als Instrument der Umwelthygiene. Bundesgesundhbl 38:179–186
2. Dieter HH (1999) Kapitel III-1.3.5: Ableitung von Grenzwerten (Umweltstandards) – Wasser. In: Wichmann E et al. (Hrsg) Handbuch der Umweltmedizin. Ecomed, Landsberg
3. Dieter HH (1998) Proactive limit values for responsible management of chemicals. Part I Environmental hygiene and management of chemicals. ESPR-Environ. Sci Poll Res 5:51–54. Part II: Defining proactive limit values. ESPR-Environ. Sci Poll Res 5:112–116
4. Dieter HH (1995) Risikoquantifizierung: Abschätzungen, Unsicherheiten, Gefahrenbezug. Bundesgesundhbl 38:250–257
5. BMU (Bundesministerium für Umwelt) (1999) Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999. Bundesanzeiger 51(161a):1–43
6. Konietzka R, Dieter HH (1998) Ermittlung gefahrbezogener chronischer Schadstoffdosen zur Gefahrenabwehr beim Wirkungspfad Boden-Mensch. Bodenschutzhandbuch (27. Lieferung X/98, Ziff. 3530). Erich Schmidt, Berlin
7. Dieter HH (in Vorbereitung) Substanzspezifische Interpolationsfaktoren zur Ableitung von Leitwerten für kurzfristige Exposition (gesundheitliche Maßnahmewerte) bei Feststellung einer Gefährdung der Trinkwasserversorgung
8. WHO (Weltgesundheitsorganisation) (1993) Guidelines for drinking water quality, vol I: Recommendations. WHO Geneva
9. Schneider K (2001) Zur Frage von Unterschieden in der Empfindlichkeit von Kindern gegenüber krebs erzeugenden Stoffen im Vergleich zu Erwachsenen. In: Eikmann T, Heinrich U, Heinow B, Konietzka R (Hrsg) Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen: Ergänzbares Handbuch toxikologischer Basiswerte und ihre Bewertung. Erich Schmidt, Berlin Bielefeld München, 5. Erg.-Lfg. 10/01, Kennz. B 100