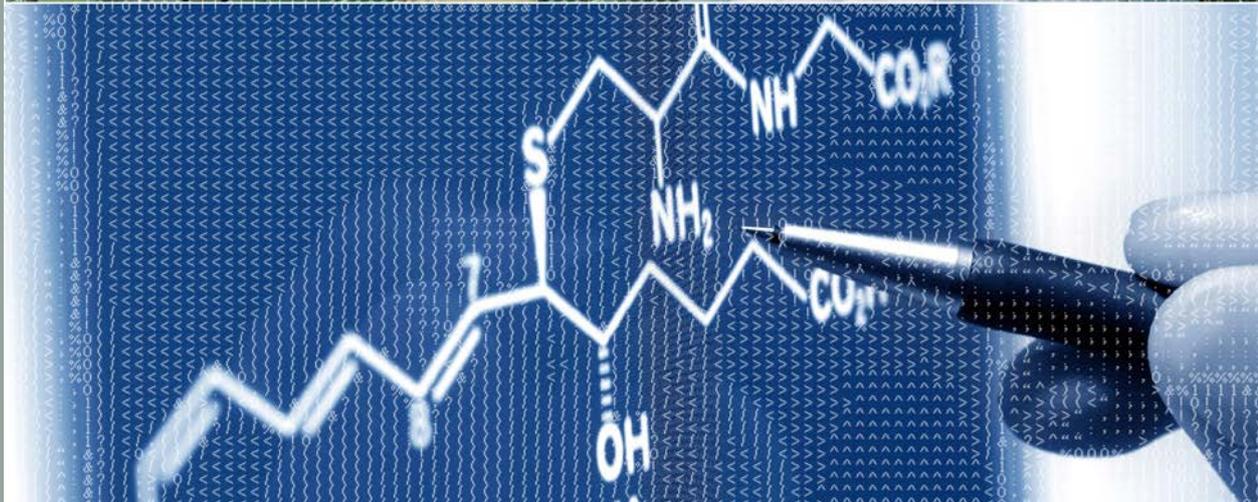


> Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten

*Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur
Technischen Verordnung über Abfälle*



> Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten

*Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur
Technischen Verordnung über Abfälle*

Rechtlicher Stellenwert

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Christian Niederer, BMG Engineering AG
Christoph Munz, BMG Engineering AG

Begleitung BAFU

Christiane Wermeille, Abt. Boden und Biotechnologie, BAFU
Kaarina Schenk, Abt. Abfall und Rohstoffe, BAFU
Rolf Kettler, Abt. Boden und Biotechnologie, BAFU

Zitierung

BAFU 2013: Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten. Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur Technischen Verordnung über Abfälle. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1333: 21 S.

Gestaltung

Valérie Fries, 3063 Ittigen

Titelbild

BAFU/©iStock.com/r.kettler

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1333-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

> Inhalt

Abstracts	5
Vorwort	7
<hr/>	
1 Einleitung	8
1.1 Rechtliche Grundlagen	8
1.2 Herleitungsgrundsätze	8
<hr/>	
2 Herleitung von Konzentrationswerten nach Altlastenverordnung	10
2.1 Expositionsszenario	11
2.2 Toxikologische Datenbasis	11
2.3 Beurteilung der Karzinogenität	12
2.4 Vorgehen beim Fehlen von RfD ₀ - und SF ₀ -Werten	13
2.5 Trinkwasser-Anforderungen nationaler und internationaler Behörden und Organisationen	13
2.6 Behördliche Prüfung des Werts	14
<hr/>	
3 Herleitung von Feststoff-Grenzwerten nach TVA	15
3.1 Grenzwerte für unverschmutzte Abfälle (U-Werte)	15
3.2 Grenzwerte für verschmutzte Abfälle	16
3.2.1 Grenzwert zur Ablagerung auf Inertstoffdeponien (Inertstoff-Grenzwert)	16
3.2.2 Grenzwert zur Ablagerung auf Reaktordeponien (Reaktorstoff-Grenzwert)	16
3.2.3 Grenzwert zur Ablagerung auf Reststoffdeponien (Reststoff-Grenzwert)	16
3.2.4 Richtwert für tolerierbar verschmutzte Abfälle (Richtwert T)	16
3.2.5 Herleitung der risikobasierten Feststoff-Grenzwerte via virtuellen Eluattest	16
3.2.6 Vorgehen bei Grenzwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze	19
3.3 Behördliche Prüfung des Werts	20
<hr/>	
Literatur	21

> Abstracts

In the course of dealing with abandoned contaminated sites or implementing waste legislation, some pollutants may be relevant for which no specifications are defined in the Contaminated Sites Ordinance and the Technical Ordinance on Waste. In this case, the necessary concentration levels and critical values should be derived in a project-specific manner. This publication demonstrates the methods that should be used to derive them.

Im Rahmen der Altlastenbearbeitung oder dem Vollzug der Abfall-Gesetzgebung können Schadstoffe relevant sein, für welche in der Altlastenverordnung und/oder der Technischen Verordnung über Abfälle keine Anforderungen definiert sind. Die erforderlichen Konzentrations- oder Grenzwerte sind in diesem Falle projektspezifisch herzuleiten. Mit der vorliegenden Publikation wird aufgezeigt, nach welcher Methodik diese Herleitung zu erfolgen hat.

Même s'ils ne sont soumis à aucune exigence dans l'ordonnance sur les sites contaminés ou dans l'ordonnance sur le traitement des déchets, certains polluants sont néanmoins significatifs lorsqu'il s'agit de traiter un site contaminé ou d'exécuter la législation sur les déchets. Les valeurs de concentration et les valeurs limites applicables sont alors déterminées au cas par cas pour chaque projet. La présente publication décrit la procédure à suivre.

Nell'ambito della gestione dei siti contaminati o dell'esecuzione della legislazione sui rifiuti possono assumere rilievo sostanze inquinanti per cui l'ordinanza sui siti contaminati e/o l'ordinanza tecnica sui rifiuti non definiscono alcun requisito. In questi casi, i valori di concentrazione e i valori limite necessari devono essere calcolati per il progetto specifico. La presente pubblicazione illustra il metodo di calcolo.

Keywords:

Waste, contaminated sites, concentration value, limit value, derivation

Stichwörter:

Abfall, Altlasten, Konzentrationswert, Grenzwert, Herleitung

Mots-clés:

Déchets, sites contaminés, valeur de concentration, valeur limite, détermination

Parole chiave:

Rifiuti, siti contaminati, valore limite, valore di concentrazione, calcolo

> Vorwort

Wenn bei einem belasteten Standort abgeklärt werden muss, ob von ihm schädliche Umweltauswirkungen ausgehen, müssen die dort vorhandenen Schadstoffe ermittelt und ihre Toxizität abgeklärt werden. Für die gängigen Schadstoffe enthält die Altlasten-Verordnung (AltIV) so genannte Konzentrationswerte, anhand derer die Beurteilung vorgenommen werden kann. Hin und wieder gibt es jedoch Standorte mit einem sehr vielfältigen Gemisch aus wenig bekannten Stoffen und deren Abbauprodukten, z.B. bei ehemaligen Chemiemülldeponien. In diesen Fällen reichen die in der Verordnung aufgeführten Werte nicht für eine Gefährdungsbeurteilung aus und es müssen Konzentrationswerte für zusätzliche Verbindungen hergeleitet werden.

Eine analoge Problematik ergibt sich bei der Entsorgung von Abfällen aus solchen Standorten. Ist das schadstoffhaltige Material so umweltgefährdend, dass es vor der Ablagerung noch behandelt werden muss? Auf welchem Deponietyp darf es abgelagert werden? Die Technische Verordnung über Abfälle (TVA) führt zur Beurteilung pro Deponietyp und für die gängigsten Schadstoffe Grenzwerte auf. Für alle anderen Schadstoffe sind jedoch auch hier zusätzliche Grenzwerte im Einzelfall herzuleiten.

Diese Herleitung muss nach denselben methodischen Grundsätzen erfolgen, die auch den Werten in der AltIV und der TVA zugrunde liegen. Die vorliegende Vollzughilfe erläutert dieses Vorgehen zuhanden der Experten und der Behörden, die anschliessend die neu hergeleiteten Konzentrationswerte prüfen und festlegen müssen.

Gérard Poffet
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 > Einleitung

1.1 Rechtliche Grundlagen

Im Rahmen der Altlastenbearbeitung ist zu prüfen, ob von Stoffen mit denen ein Standort belastet ist, die konkrete Gefahr einer Verunreinigung von Gewässern besteht. Die Beurteilung erfolgt anhand der Konzentrationswerte von Anhang 1 der Altlastenverordnung (AltIV, [1]). Bei Stoffen, für die keine Konzentrationswerte festgelegt sind, legt die Behörde solche mit Zustimmung des BAFU im Einzelfall nach den Vorschriften der Gewässerschutzgesetzgebung fest (Anh. 1 Abs. 1 AltIV).

Eine vergleichbare Regelung findet sich in der Technischen Verordnung über Abfälle (TVA, [2]). Anhang 1 der TVA führt die Grenzwerte auf, die massgebend dafür sind, ob ein Abfall auf einer Deponie abgelagert werden darf. Enthält die TVA für gewisse umweltgefährdende Stoffe keine Grenzwerte, legt die Behörde solche mit Zustimmung des BAFU im Einzelfall nach den Vorschriften der Umwelt- und Gewässerschutzgesetzgebung fest (Anh. 1 Ziff. 4 Abs. 2 AltIV). Gemäss Anhang 1 Ziffer 4 Absatz 3 Buchstabe c AltIV ist das BAFU verpflichtet, eine Richtlinie über die Festlegung der Grenzwerte im Einzelfall zu erlassen.

Die vorliegende Vollzughilfe definiert das Vorgehen für die Herleitung von Konzentrationswerten (K-Werte) nach AltIV sowie für die Herleitung von Feststoff-Grenzwerten nach TVA.

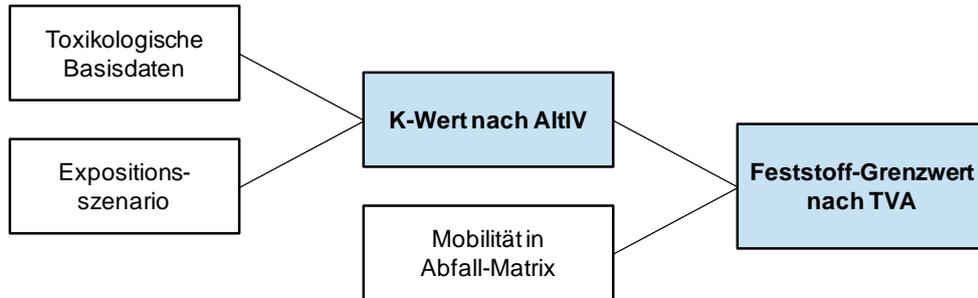
Die Vollzughilfe richtet sich an die vollziehenden kantonalen Behörden und die Spezialisten im Abfall- und Altlastenbereich, die solche Werte im Auftrag der Behörden herleiten.

1.2 Herleitungsgrundsätze

Um eine Gefährdung von Mensch und Umwelt durch belastete Standorte wie auch durch Abfälle zu vermeiden, werden K-Werte wie auch Feststoff-Grenzwerte risikobasiert hergeleitet (vgl. nachfolgende Abb. 1):

- > Die K-Werte der Altlastenverordnung basieren auf humantoxikologischen Basisdaten kombiniert mit einem festgelegten Expositionsszenario (Aufnahme des Schadstoffs durch den Körper via Trinkwasser). Die K-Werte entsprechen somit einem (human-)toxikologisch begründeten Trinkwasser-Wert.
- > Die Feststoff-Grenzwerte und -Richtwerte der TVA basieren ihrerseits auf den K-Werten der Altlastenverordnung kombiniert mit der Mobilität des Schadstoffs in der Abfall-Matrix.

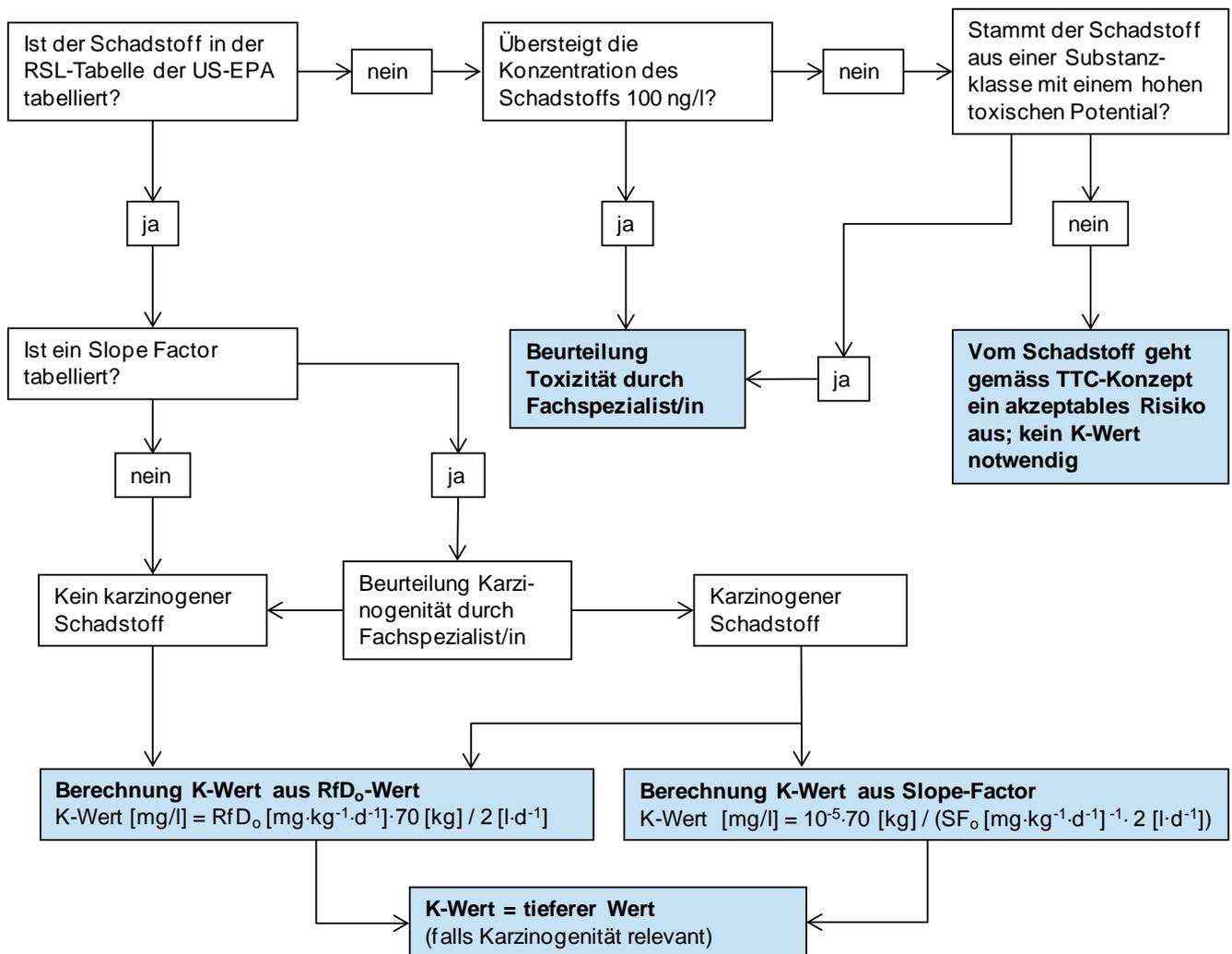
Abb. 1 > Risikobasierte Herleitung der K-Werte und der Feststoff-Grenzwerte



2 > Herleitung von Konzentrationswerten nach Altlastenverordnung

Abbildung 2 zeigt das Ablaufschema zur Herleitung eines Konzentrationswerts nach Altlastenverordnung.

Abb. 2 > Herleitung eines K-Werts nach AltIV



Im Folgenden werden die einzelnen Teilschritte der Herleitung erläutert:

2.1 Expositionsszenario

Die Herleitung des K-Werts basiert auf dem folgenden Expositionsszenario (vgl. nachfolgende Tab. 1):

- > Aufnahmepfad: Es wird nur die orale Aufnahme des Schadstoffs berücksichtigt, d. h. nur die Aufnahme via Trinkwasser, nicht aber via feste Nahrung. Weitere Aufnahmepfade wie z. B. inhalative Aufnahme werden nicht berücksichtigt.
- > Ausschöpfung des Konzentrationswerts: Der Konzentrationswert wird zu 100 % durch die Aufnahme durch Trinkwasser ausgeschöpft.
- > Körpergewicht: Der Berechnung liegt ein Mustermensch mit einem Körpergewicht von 70 kg zu Grunde.
- > Trinkwasser-Konsum: 2 Liter pro Tag.
- > Bei karzinogenen Stoffen wird von einem akzeptablen Krebsrisiko von 10^{-5} ausgegangen (d. h. ein zusätzlicher Krebsfall pro 100 000 Menschen bei Konsum von 2 Litern mit diesem Stoff belastetem Wasser während 70 Jahren).

Die Expositionsszenarien anderer Behörden und Organisationen unterscheiden sich leicht von diesem Szenario. Für die Herleitung von K-Werten ist jedoch obiges Szenario zu verwenden.

Tab. 1 > Expositionsszenario AltIV

Dauer der Exposition	70 Jahre
Expositionshäufigkeit	365 d/Jahr
Aufnahmepfad	nur oral
Ausschöpfung Konzentrationswert via Trinkwasser	100 %
Körpergewicht	70 kg
Trinkwasser-Konsum	2 Liter pro Tag
Akzeptables Krebsrisiko	10^{-5}

2.2 Toxikologische Datenbasis

Die Herleitung der K-Werte erfolgt basierend auf der toxikologischen Basisdaten der amerikanischen Umweltbehörde US-EPA: Die US-EPA publiziert für mehr als 700 Stoffe sog. Regional Screening Levels (RSL, [5]) inklusive toxikologische Referenzwerte¹ (online verfügbar). Die RSL-Tabelle wird zirka zweimal jährlich aktualisiert. In der RSL-Tabelle sind für jeden Schadstoff eine Referenz-Dosis (Reference Dose oral, RfD_o) sowie – falls der Schadstoff krebserregend ist – ein Slope Factor (SF_o) aufgeführt.

¹ Die Regional Screening Levels entsprechen den früheren Preliminary Remediation Goals (PRG). Die Liste der Basisdaten wird teilweise noch unter dem Namen PRG-Table geführt.

- > Der RfD_o-Wert² (Reference Dose oral) ist diejenige tägliche Dosis eines Schadstoffes, die ein Mensch ein Leben lang oral aufnehmen kann, ohne dass er dadurch nachteilige Wirkungen auf seine Gesundheit zu erwarten hat. Je kleiner der RfD_o-Wert einer Substanz, desto toxischer ist sie.
- > Die mittlere tägliche Dosis eines Schadstoffs multipliziert mit dem SF_o (Slope Factor oral) ergibt das statistische Risiko, über einen bestimmten Zeitraum an Krebs zu erkranken. Je grösser der SF_o einer Substanz, desto grösser ist das Risiko bei der gleichen Dosis.

Mit Gleichung 1 bzw. Gleichung 2 werden die Konzentrations-Werte aus dem RfD_o-Wert bzw. dem Slope-Factor berechnet. Die Expositionsszenarien aus Tab. 1 sind in der Gleichung berücksichtigt. Falls der Schadstoff karzinogen ist gilt der tiefere der beiden Werte als K-Wert.

$$K\text{-Wert [mg/l]} = (RfD_o \text{ [mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}] \cdot 70 \text{ kg}) / (2 \text{ [l} \cdot \text{d}^{-1}])$$

Gleichung 1

$$K\text{-Wert [mg/l]} = (10^{-5} \cdot 70 \text{ kg}) / (SF_o \text{ [mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}]^{-1} \cdot 2 \text{ [l} \cdot \text{d}^{-1}])$$

Gleichung 2

Die RSL-Tabelle wird regelmässig von der US-EPA aktualisiert. Es muss damit gerechnet werden, dass im Rahmen einer Revision einzelne Schadstoffe strenger oder weniger streng bewertet werden. Es ist immer die aktuellste Tabelle zu verwenden.

2.3 Beurteilung der Karzinogenität

Die Karzinogenität von Schadstoffen wird durch verschiedene nationale und internationale Behörden und Organisationen beurteilt, zum Beispiel durch die:

- > US-EPA (Karzinogenität quantifiziert via die vorhergehend eingeführten Slope-Factors)
- > Europäische Union (CLP-Verordnung, Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures),
- > IARC (International Agency for Research on Cancer, WHO/UNO)
- > NCI (National Cancer Institute, US Department of Health and Human Services).

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei der Beurteilung der Karzinogenität eines Schadstoffs durch unterschiedliche Behörden und Organisationen Differenzen auftreten. Aufgrund dieser möglichen Unsicherheiten wird bei der Herleitung von K-Werten für Schadstoffe, für welche in der RSL-Table ein Slope-Factor tabelliert ist, eine Expertenmeinung bezüglich Beurteilung der Karzinogenität verlangt. Die Fachperson hat insbesondere die Einstufung der Karzinogenität verschiedener Behörden und Organisationen zu prüfen und die Gründe für mögliche Differenzen aufzuzeigen.

² Die Referenz-Dosis entspricht in etwa einem TDI-Wert (Tolerable Daily Intake) bzw. einem ADI-Wert (Acceptable Daily Intake)

Es ist beispielsweise möglich, dass im Rahmen einer Neuregistrierung einer Verbindung aktualisierte toxikologische Basisdaten zur Verfügung stehen.

2.4 Vorgehen beim Fehlen von RfD_o- und SF_o-Werten

Die RSL-Table der US-EPA ist limitiert auf 700 Verbindungen. Ist für eine relevante Verbindung die toxikologische Datenbasis nur lückenhaft bzw. gar nicht vorhanden, oder sind in einem non-target Screening³ identifizierte Schadstoffe zu priorisieren, wird das TTC-Konzept⁴ (Threshold of Toxicological Concern [7]) verwendet. Das TTC-Konzept wird vom Bundesamt für Gesundheit BAG bei der Beurteilung von Fremdstoffen im Trinkwasser mit fehlender toxikologischer Datenbasis eingesetzt [8]. Gemäss TTC-Konzept besteht bei Schadstoff-Konzentrationen von <100 ng/l praktisch keine Gefahr für die menschliche Gesundheit, auch wenn die Verbindung ein karzino- genes Potential aufweist. Dies wurde von KROES et al. [7] in einer breit abgestützten Studie aufgezeigt. Für Schadstoffe, welche Konzentrationen <100 ng/l aufweisen, kann somit auf eine weiterführende toxikologische Risikobewertung verzichtet werden, falls die Schadstoffe nicht aus einer der folgenden Substanzklassen mit hohem toxikologi- schem Potential stammen:

- > Aflatoxin-ähnliche Verbindungen
- > Azoxy-Verbindungen
- > N-Nitrosoverbindungen
- > polyhalogenierte-Dibenzodioxine, -Dibenzofurane und -Biphenyle
- > nicht-essentielle Metalle und metallorganische Verbindungen
- > Benzidin, Benzidin-Derivate und Azofarbstoffe
- > Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
- > Persistente organische Verbindungen (POPs) gemäss der Stockholm-Convention, insbesondere Organochlor-Pestizide
- > Proteine, Steroide, Zytostatika.

Für Schadstoffe ohne RfD_o- und SF_o-Werte, welche Konzentrationen >100 ng/l aufweisen, ist durch einen Fachspezialisten eine weiterführende toxikologische Risikobe- wertung durchzuführen und gestützt darauf ein K-Wert abzuleiten.

2.5 Trinkwasser-Anforderungen nationaler und internationaler Behörden und Organisationen

Für zahlreiche Verbindungen wurden durch andere nationale und internationale Be- hörden oder Organisationen bereits Trinkwasser-Anforderungen hergeleitet. Insbeson- dere zu erwähnen sind das BAG (Fremd- und Inhaltstoffverordnung FIV), die WHO

³ Wird gezielt nach zuvor bekannten Substanzen gesucht, handelt es sich um ein «Target-Screening». Soll eine Probe auch auf zuvor unbekannte Substanzen hin untersucht werden, handelt es sich um ein «Non-Target-Screening».

⁴ Das TTC-Konzept wurde entwickelt um bei Substanzen mit unbekannter Toxizität, die in geringen Konzentrationen in Lebensmitteln vorkommen, abschätzen zu können, bis zu welcher Konzentration sie toxikologisch unbedenklich sind. Das TTC-Konzept basiert auf einem Entscheidungsbaum, mit Hilfe dessen eine chemische Substanz auf Grund ihrer Strukturmerkmale beurteilt und einer von sechs Kategorien zugeordnet wird. Für jede Kategorie gibt es eine tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI, tolerable daily intake) für den Menschen, unterhalb welcher das Gesundheitsrisiko vernachlässigbar gering ist (= TTC).

(Guidelines for Drinking Water Quality), die Europäische Union (Richtlinie 98/83/EG), das BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung, Deutschland), die UNEP (United Nations Environmental Programme). Anforderungen dieser Institutionen können im Rahmen einer Plausibilitätsüberprüfung der hergeleiteten K-Werte beigezogen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den Trinkwasserwerten immer um Vorsorgewerte handelt. Bis zu einem gewissen Grad werden bei solchen Vorsorgewerten auch vermutete schädliche Langzeitwirkungen mitberücksichtigt, deren Einfluss auf die menschliche Gesundheit noch nicht wissenschaftlich nachgewiesen ist. Demgegenüber basieren Altlasten-Konzentrationswerte immer auf erhärteten, wissenschaftlich belegten Fakten. Sie sind deshalb tendenziell höher als die vorsorgeorientierten Trinkwasserwerte.

Das Literaturverzeichnis beinhaltet Web-Links zu den vorangehend erwähnten Behörden und Organisationen.

2.6 Behördliche Prüfung des Werts

Bevor die zuständige Kantons- oder Bundesbehörde einen neu hergeleiteten Konzentrationswert verbindlich festlegen darf, muss das BAFU gemäss Anhang 1 Absatz 1 AltIV diesem neuen Wert zustimmen. Das BAFU prüft in diesem Zusammenhang gestützt auf die Herleitungsgrundlagen ob die Herleitung sachlich korrekt und in Übereinstimmung mit der hier beschriebenen Methodik erfolgte.

3 > Herleitung von Feststoff-Grenzwerten nach TVA

Die Technische Verordnung über Abfälle legt Feststoff-Grenzwerte für unverschmutztes Aushubmaterial, und für die Ablagerung von Abfällen auf Inertstoff-, Reststoff- und Reaktordeponien fest. Die Aushubrichtlinie (AHR, [3]) enthält zusätzlich Anforderungen an tolerierbares Aushubmaterial. Für den Grossteil der regulierten Schadstoffe sind Feststoff-Grenzwerte festgelegt, für ionische Schadstoffe wie Ammonium oder Nitrit bestehen Eluatgrenzwerte.

3.1 Grenzwerte für unverschmutzte Abfälle (U-Werte)

Abfälle gelten gemäss Artikel 3 Absatz 7 TVA als unverschmutzt, wenn sie keine Fremdstoffe wie Siedlungsabfälle, Grünabfälle oder Bauabfälle enthalten und die in ihnen enthaltenen Stoffe die Grenzwerte gemäss Anhang 3 TVA nicht überschreiten. Ebenfalls als unverschmutzt gelten Abfälle, wenn eine Überschreitung nicht auf eine menschliche Tätigkeit zurückzuführen ist, sondern wenn eine geogene Hintergrundbelastung besteht. Solch erhöhte Werte treten typischerweise bei einigen Schwermetallen auf. Um Fehlbeurteilungen auszuschliessen, ist daher bei der Herleitung eines U-Werts in einem ersten Schritt abzuklären, in welcher Konzentration die betreffende Verbindung geogen vorhanden ist.

a) *Schadstoffe mit geogener Hintergrundbelastung*

Zur Abklärung der geogenen Hintergrundbelastung kann auf Literaturstudien zurückgegriffen werden. Dabei sind verschiedene Quellen zu berücksichtigen, da Schwermetalle in gewissen geologischen Formationen bzw. geographischen Regionen sehr unterschiedliche Hintergrundwerte (Backgrounds) aufweisen können. Daten aus dem Schweizerischen Mittelland sind bevorzugt zu verwenden. Alternativ zu einer Literatur-Recherche können auch Laboranalysen in Untergrund-Proben durchgeführt werden. Auch in diesem Fall ist die Datenerhebung breit abzustützen.

b) *Schadstoffe ohne geogene Hintergrundbelastung*

Schadstoffe die natürlicherweise nicht in der Umwelt vorkommen sondern erst durch menschliche Tätigkeit dorthin gelangen, dürfen in unverschmutzten Abfällen per Definition nicht vorkommen. Sobald sich also ein messbarer Gehalt an anthropogenen Kontaminanten ermitteln lässt, d. h. sobald die Bestimmungsgrenze für einen solchen Stoff überschritten ist, muss der Abfall als verschmutzt eingestuft werden. Die BAFU-Vollzugshilfe «Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich» führt die Bestimmungsgrenzen für die häufigsten Schadstoffe auf. Bei allen anderen Schadstoffen ist die Bestimmungsgrenze von einem routinierten Analytiker zu bestimmen bzw. abzuschätzen. Er hat sich dabei am Stand der Technik zu orientieren. Die vorgeschlagene Bestimmungsgrenze soll robust sein, muss also mit einer

anerkannten Methode und mit dem jeweiligen Probematerial von vergleichbaren Analyselabors im In- und Ausland erreichbar sein.

3.2 Grenzwerte für verschmutzte Abfälle

Die Richtwerte für tolerierbar verschmutzte Abfälle und die Grenzwerte für Abfälle zur Ablagerung auf den verschiedenen Deponietypen werden unter Berücksichtigung der toxikologischen Eigenschaften des Schadstoffs sowie basierend auf dessen Mobilität in der Feststoff-Matrix hergeleitet. Die Herleitung der Feststoff-Grenzwerte basiert auf dem virtuellen Eluattest nach AltIV (vgl. unten).

3.2.1 Grenzwert zur Ablagerung auf Inertstoffdeponien (Inertstoff-Grenzwert)

Der Inertstoff-Grenzwert ist derart festgelegt, dass die Konzentration im Eluat der Probe im Bereich des einfachen K-Wertes nach AltIV liegt.

3.2.2 Grenzwert zur Ablagerung auf Reaktordeponien (Reaktorstoff-Grenzwert)

Der Reaktorstoff-Grenzwert ist derart festgelegt, dass die Konzentration im Eluat der Probe im Bereich des 10-fachen K-Wertes nach AltIV liegt → Reaktorstoff-Grenzwert ~10x Inertstoff-Grenzwert.

3.2.3 Grenzwert zur Ablagerung auf Reststoffdeponien (Reststoff-Grenzwert)

Die Anforderungen an organische Schadstoffe in Abfällen, die zur Ablagerung auf Reststoffdeponien zugelassen sind, entsprechen denjenigen für Abfälle auf Inertstoffdeponien. Für die gängigen anorganischen Schadstoffe sind Eluatwerte festgelegt. Im Grundsatz soll das aus einer Reststoffdeponie abgeleitete Sickerwasser ohne weitere Behandlung in ein Gewässer eingeleitet werden können.

3.2.4 Richtwert für tolerierbar verschmutzte Abfälle (Richtwert T)

Der Richtwert für tolerierbar verschmutzte Abfälle sind derart festgelegt, dass im Eluat von Material tolerierbarer Qualität ~50 % des K-Wertes nach AltIV nicht überschritten wird → Richtwert T ~50 % Inertstoff-Grenzwert.

3.2.5 Herleitung der risikobasierten Feststoff-Grenzwerte via virtuellen Eluattest

Die Herleitung der risikobasierten Feststoff-Grenzwerte erfolgt via virtuellen Eluattest nach AltIV [1] gemäss Gleichung 3 (vgl. auch Abb. 3).

$$c_t = c_w \cdot (K_d + W/F \cdot 1/\rho_w)$$

Gleichung 3

Für organische Schadstoffe gilt näherungsweise:

$$K_d \sim f_{oc} \cdot K_{oc}$$

Gleichung 4

- c_w = Konzentration der Verbindung im Porenwasser (Eluat) [mg/l]
 → c_w für Inertstoff ~ K-Wert; c_w für Reaktorstoff ~ 10-facher K-Wert
 c_t = Gesamtgehalt der Verbindung in der Feststoff-Probe [mg/kg]
 → c_t entspricht somit dem Feststoff-Grenzwert
 K_d = Feststoff/Wasser-Verteilungskoeffizient [l/kg]
 f_{oc} = Fraktion organischer Kohlenstoff in der Feststoff-Probe [-]
 K_{oc} = organischer Kohlenstoff/Wasser-Verteilungskoeffizient [l/kg]
 W/F = Wasser/Feststoff-Verhältnis [-]
 ρ_w = Dichte des Porenwassers [kg/l]

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der für die Grenzwert-Herleitung notwendigen Parameter:

Wasser/Feststoff-Verhältnis W/F

Die Wahl unterschiedlicher Wasser/Feststoff-Verhältnisse für Schadstoffe mit hoher bzw. tiefer Wasserlöslichkeit basiert auf ihrem unterschiedlichen Elutionsverhalten im experimentellen Säulen-Eluattest. Für weitere Details vgl. [6]).

Für leichtlösliche Verbindungen ($c_w^{sat} > 0,1$ g/l) ist ein W/F-Verhältnis von 0,25, für schwerer lösliche Verbindungen ($c_w^{sat} < 0,1$ g/l) wie auch für Schwermetalle ist ein W/F-Verhältnis von 3 zu wählen⁵.

Feststoff/Wasser-Verteilungskoeffizient K_d

Der K_d -Wert quantifiziert die Mobilität eines Schadstoffs in der Feststoff-Matrix. Der Einfluss des K_d -Werts auf den Feststoff-Grenzwert liegt in der gleichen Größenordnung wie derjenige des K-Werts. Der K_d -Wert ist entsprechend sorgfältig zu validieren.

K_d -Wert für organische Schadstoffe

Ein K_d -Wert für organische Verbindungen kann via die Gleichung $K_d \sim f_{oc} \cdot K_{oc}$ approximiert werden (f_{oc} : Fraktion organischer Kohlenstoff; K_{oc} : Verteilungskoeffizient zwischen organischem Kohlenstoff und Wasser; vgl. unten).

⁵ Die Wahl des W/F-Verhältnisses als Funktion der Wasserlöslichkeit wurde aus praktischen Gründen gewählt. Es soll damit aber nicht impliziert werden, dass die Wasserlöslichkeit und Sorptionsprozesse korrelieren. Mit anderen Worten: Die Herleitung von K_{oc} -Werten via Korrelationen mit der Wasserlöslichkeit der Verbindungen ist nicht zulässig.

Fraktion organischer Kohlenstoff (f_{oc} -Wert)

Bei der Herleitung ist ein f_{oc} -Wert von 0,01 (-) zu verwenden (dies entspricht einem Anteil von 1 % organischem Material im Feststoff).

Organischer Kohlenstoff / Wasser-Verteilungskoeffizient K_{oc}

Zur Bestimmung eines K_{oc} -Werts bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- > Literatur-Werte
- > Vorhersage-Tools: Es wurden diverse Modelle entwickelt, welche K_{oc} -Werte basierend auf der molekularen Struktur einer Verbindung voraussagen (Strukturfragment-Methoden). Diese Modelle liefern jedoch ausserhalb ihres Kalibrationsdatensets keine verlässlichen Resultate. Demgegenüber bieten Polyparameter-Gleichungen (pp-LFERs) zuverlässige Voraussagen.
- > *Read-across* Ansatz: Abschätzung via bekanntem K_{oc} -Wert einer strukturverwandten Verbindung (dazu ist spezifisches Fachwissen notwendig)
- > Herleitung via Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient K_{ow} . Diese Herleitung ist nur für apolare Verbindungen zulässig.
- > Experimentelle Bestimmung (Säulen- oder Batchtests)

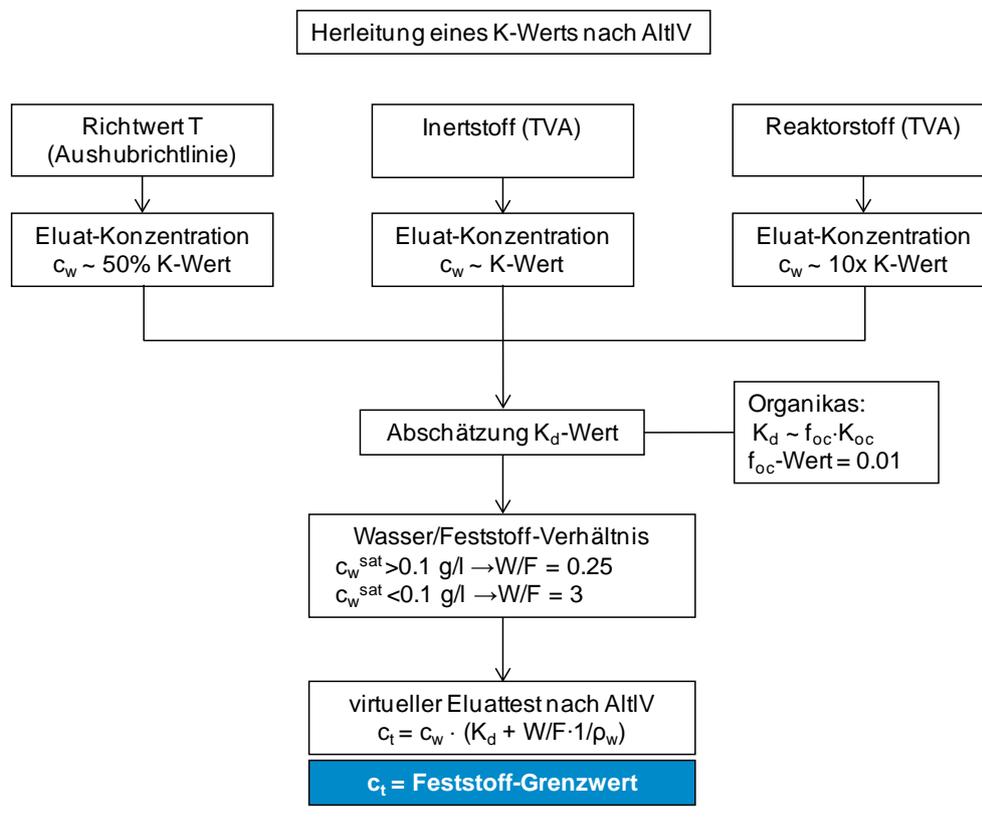
Die Speziierung von organischen Säuren und Basen bzw. die unterschiedlichen Sorptionseigenschaften der neutralen und dissoziierten Spezies sind bei der Berechnung des Feststoff-Grenzwerts zu berücksichtigen (zu berechnen für die Werte $\text{pH} = 7,2$ und $\text{pH} = 8,2$; der tiefste der errechneten Werte ist als Feststoff-Grenzwert zu wählen). In diesen Fällen ist grundsätzlich eine Fachperson beizuziehen.

K_d -Wert für Schwermetalle

Der K_d -Wert von Metallen hängt u.a. von der Qualität der Feststoff-Matrix, der Speziierung, des pH -Werts und/oder der Anwesenheit von Komplexligenanden wie Chlorid oder Ammonium ab. Aufgrund der Komplexität der Sorptionsprozesse sind für Metalle primär K_d -Werte aus der Literatur zu verwenden (pH -Werte ungefähr im Bereich 7–8,5). Es ist grundsätzlich möglich, durch Analogieschlüsse K_d -Werte abzuschätzen. Dazu ist jedoch geochemisches Fachwissen notwendig.

Das Vorgehen und die Grundsätze, auf denen die Herleitung von risikobasierten Feststoff-Grenzwerten basiert, sind in Abb. 3 schematisch zusammengefasst.

Abb. 3 > Risikobasierte Herleitung von Feststoff-Grenzwerten



3.2.6 Vorgehen bei Grenzwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze

Der toxbasierend hergeleitete Inertstoff-Grenzwert kann kleiner als die Bestimmungsgrenze sein. In diesem Fall wird die Bestimmungsgrenze als Grenzwert verwendet bis zur Schwelle, bei der der toxbasierend hergeleitete Wert grösser-gleich der doppelten Bestimmungsgrenze ist.

Beispiel 1

$BG=0,01 \text{ mg/kg}$; $I=0,005 \text{ mg/kg}$; dann gilt $U=T=I=0,01 \text{ mg/kg}$, $R=0,05 \text{ mg/kg}$

Beispiel 2

$BG=0,01 \text{ mg/kg}$; $I=0,014 \text{ mg/kg}$; dann gilt $U=T=I=0,01 \text{ mg/kg}$, $R=0,14 \text{ mg/kg}$

Beispiel 3

$BG=0,01 \text{ mg/kg}$; $I=0,02 \text{ mg/kg}$; dann gilt $U=T=0,01 \text{ mg/kg}$, $I=0,02 \text{ mg/kg}$, $R=0,2 \text{ mg/kg}$

U = Grenzwert für unverschmutztes Aushubmaterial

T = Richtwert für tolerierbar verschmutztes Aushubmaterial

I = Inertstoff-Grenzwert

R = Reaktorstoff-Grenzwert

Grau hinterlegt = der toxbasierend hergeleitete Wert grösser-gleich der doppelten Bestimmungsgrenze

In der Praxis stellt sich in solchen Fällen die Frage, ob durch Material, dessen Konzentration des relevanten Schadstoffs gemäss Analytik unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt, dennoch eine Gefährdung für die menschliche Gesundheit besteht. Oder anders formuliert: Kann das Material bei Feststoff-Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze tatsächlich als unverschmutzt klassiert werden?

In diesem Fall ist wie folgt vorzugehen:

1. Ausgangslage: Eine Feststoff-Analyse wurde durchgeführt, die Konzentration des Schadstoffs liegt unterhalb der Bestimmungsgrenze.
2. Mit dem Material ist ein 24-h Eluat nach TVA durchzuführen⁶ und der Schadstoff ist im Eluat zu analysieren (Bem.: Die Bestimmungsgrenzen einer Verbindung sind im Wasser i.d.R. deutlich tiefer als im Feststoff). Daraus ergibt sich die Eluat-Konzentration $c_{w,Eluat}$.
3. Falls die Eluat-Konzentration $0,1 \text{ K-Wert} < c_{w,Eluat} < \text{K-Wert}$ beträgt, dann ist das Material als Inertstoff zu klassieren.
4. Falls die Eluat-Konzentration $\text{K-Wert} < c_{w,Eluat} < 10\text{K-Wert}$ beträgt, dann ist das Material als Reaktor-Stoff zu klassieren (dies gilt nicht, falls ein toxbasiert-hergeleiteter Reaktorstoff-Grenzwert für den Schadstoff definiert werden konnte).

3.3 Behördliche Prüfung des Werts

Bevor die zuständige Kantons- oder Bundesbehörde einen neu hergeleiteten Grenzwert verbindlich festlegen darf, muss das BAFU gemäss Anhang 1 Ziffer 4 Absatz 2 TVA diesem neuen Wert zustimmen. Das BAFU prüft in diesem Zusammenhang gestützt auf die Herleitungsgrundlagen ob die Herleitung sachlich korrekt und in Übereinstimmung mit der hier beschriebenen Methodik erfolgte.

⁶ Streng genommen sollten die TVA-Grenzwerte nach den Bedingungen des AltIV-Eluats und nicht des TVA-Eluats hergeleitet werden. AltIV-Säuleneluattests sind jedoch relativ aufwändig und teuer. Weil das TVA-Eluat für die Beurteilung von Deponieemissionen ausreichend konservative Werte ergibt, kann der Grenzwetherleitung im eher selten auftretenden Fall «I-Wert <BG» aber dennoch das TVA-Eluat zugrunde gelegt werden.

> Literatur

Publikationen

- [1] Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV, SR 814.680).
- [2] Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (TVA, SR 814.600).
- [3] Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von mineralischem Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie, AHR). Bundesamt für Umwelt, Bern. VU-3003-D. 20 S.
- [4] Verordnung des EDI vom 26. Juni 1995 über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV, SR 817.021.23).
- [5] U.S. Environmental Protection Agency. Regional Screening Levels (RSL) for Chemical Contaminants at Superfund Sites.
- [6] Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich. Stand 2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. UV-1027-D. 72 S.
- [7] Kroes R., Renwick A.G., Cheeseman M., Kleiner J., Mangelsdorf I., Piersma A., Schilter B., Schlatter J., van Schothorst F., Vos J.G., Wurtzen G. (2004): Structure-based threshold of toxicological concern (TTC): Guidance for application to substances present at low levels in the diet. Food Chem. Toxicol. 42: 65–83.
- [8] Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser. Leitfaden des BAG erstellt in Zusammenarbeit mit dem BAFU. Rechtlicher Status: Vollzugshilfe des BAG. Januar 2012.

Weblinks

- [1] US EPA, RSL Tables online:
www.epa.gov/region9/superfund/prg/
- [2] US EPA, Integrated Risk Information System IRIS:
www.epa.gov/IRIS/
- [3] EU-Trinkwasserrichtlinie 98/83/EG, REACH-Verordnung, CLP-Verordnung: <http://eur-lex.europa.eu>
- [4] WHO guidelines for drinking water quality:
www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwg_guidelines/en/
- [5] IARC, International Agency for Research on Cancer. WHO.
www.iarc.fr/
- [6] BfR, Bundesinstitut für Risikobewertung,
www.bfr.bund.de/de/start.html