

# **Kriterienkatalog zur Beurteilung von Gefahren in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen am Beispiel militärischer Altlasten**

Hans-Martin Mulisch, Werner Winter, Hermann H. Dieter und Helmut Kerndorff

## **Catalogue of criteria to assess hazards in drinking water catchment areas at the example of former military sites**

### **Abstract**

During the "cold war" the two power blocs of the world held a colossal potential of weapons and technology in Europe, particularly at the German border and the hinterland. Up to the disintegration of the eastern military alliance, the West Group of the Soviet Armies, together with the National People's Army of the German Democratic Republic (GDR) and its paramilitary unities, represented a high fighting strength and battle readiness on a military area of about 5000 Km<sup>2</sup>. Together with the properties of the western Allies (U.S. Forces, the British and the French Army, and others) and the Federal Armed Forces in the former Federal Republic of Germany, the total military area was approx. 10.000 Km<sup>2</sup> (= approximately 4-times the surface of the federal state of Saarland).

With the year 1990 the fears have been confirmed that particularly the military or former military sites held considerable dangers for the human health. Besides pollution from former production sites, other causes within the last decades were improper handling of toxic and water endangering substances. The gradual discount of the western group of the Soviet army was realized in close cooperation with the Federal Environmental Agency. Once this phase was finished, the Governments of the Länder, the Federal authorities for environment and health, the Federal Army, and the Federal Committee for Immediate Help (FKST) on Drinking Water (FKST), more than 40 sites of drinking water extraction were assessed as being acutely at risk. Since then, the interest has driven from such openly manifesting dangers to those being still unrecognised but of at least the same risk potential, called latent dangers. The significance of these military 'hangovers' is due to long-term effect chains on the soil/ground - water/drinking water path. Experts assessed, that the surface of the former GDR could comprise at least 100 out of 10.000 objects (combined properties of WGT, NVA, bordering troops, department for security of the state and others) with potentially serious consequences for human health. The aim of the criterions catalogue is to counteract such unhealthy effects on the man prospectively.

To prevent coming dangers for the drinking water supply from military hangovers, all surfaces have to be examined individually. This full-coverage task can be coped with neither by the Federal Government nor by the Länder. In order to prevent coming but yet unrecognised risks for drinking water under these surfaces, this catalogue of criteria was designed to open a way for assessing them already at a stage when only scanty knowledge on any risk potential - be it acute or latent - may be available.

The catalogue comprises an assessment complex, a ranking scale and a toxicological relation for well-founded renovation. The assessment complex itself contains the parts of A, B and C. Part A serves to assess a surface in the absence of analytical data, asking an historical analysis and answering special questions on the kind of the drinking water protection in the area under question. In complex B, special information are collected regarding geology, hydrogeology, distribution of contaminants and chemico-analytical data in drinking water catchment areas. In part C, substance specific statements have to be made with respect to the toxicity, the degradability under environmental conditions, the solubility in water and the adsorbability as far as such substances are of relevance on the drinking water path. The single criterions are organized within 9 data sets. A clear distinction is made between obligatory and optional criteria. The overall assessment of a surface under question is performed using a maximum of 28 working steps, starting from informations in step A, going over B, C and continuing to the steps which finally rank surface and substance specific risks.

The ranking scheme contains six levels of potential dangers (Hazard Categories HC I - HC VI) with respect to drinking water, additionally some more subordinated categories. In accordance with the respective part of the assessment complex, the level of the hazard and the knowledge on it is designed as HC, bearing the index of the respective complex part A, B, C within which the risk was definitely assessed. On the basis of administrative data, areas with civil or analogous history of use will be eliminated during the first two working steps, but only if there is no indication for need of action.

If the total of working steps leads to the conclusion that immediate actions in order to protect or safe a water supply are necessary, guidelines for decisions are offered to secure and renovate a resource on the basis of toxicologically derived basic and guide values. In future,

assessment of latent exposures will gain in significance because many more resources may be recognized as being endangered by chemical emissions from former military sites within in the next years.

## Inhaltsverzeichnis

	<i>Seite</i>
0 Kurzdarstellung	2
1 Grundlagen	4
2 Der Kriterienkatalog	9
3 Der Bewertungskomplex	12
3.1 Aufbau und Übersicht	12
3.2 Bewertungskomplextteil A: Allgemeine Aussagen	17
3.3 Bewertungskomplextteil B: Standortspezifische Aussagen	20
3.4 Bewertungskomplextteil C: Stoffspezifische Aussagen	22
3.4.1 Übersicht	22
3.4.2 Toxikologische Bewertungszahl	23
3.4.3 Biochemische Abbaubarkeit	26
3.4.4 Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit	36
3.4.5 Toxikologische Relevanz	37
3.4.6 Stoffspezifische Mobilität	41
4 Das Einstufungsraster	45
5 Arbeitsschritte	48
5.1 Erläuterungen und Vorauswahl	48
5.2 Bewertungskomplextteil A	50
5.3 Bewertungskomplextteil B	53
5.4 Bewertungskomplextteil C	55
6 Sanierungsentscheidungen	57
6.1 Basis- und Gefahrenwerte	57
6.2 Akute Exposition	69
6.3 Latente Exposition	70
7 Gesamtübersicht und Fallbeispiele	75
8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	84
9 Literatur	87
10 Verzeichnisse	91
10.1 Bilder	91
10.2 Tabellen	91
10.3 Abkürzungen und Definitionen	95
11 Anhang	104
A I. Militärische kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (KVN) und ihr Kontaminationspotential durch Schadstoffemissionen	105
A II. Erläuterungen zum Kompartimentenmodell	116

## **0 Kurzdarstellung**

Die Beurteilung von Gefahren für Trinkwasser wird über einen Kriterienkatalog, der die Risiken durch Kontaminanten z.B. aus Altlasten in Einzugsgebieten von Trinkwasserbrunnen anhand von definierten Merkmalen und standardisierten Methoden beschreibt und bewertet, wesentlich erleichtert. Auf dieser Grundlage konnten die Wirkungen der umfangreichen militärischen Altlasten in Deutschland bewertet werden.

Während des „Kalten Krieges“ hielten die beiden Machtblöcke der Welt in Europa und insbesondere an der deutsch-deutschen Grenze und dessen Hinterland ein gewaltiges Potential an Waffen und Technik bereit. Auf dem Gebiet der heutigen neuen Bundesländer demonstrierte die ehemalige Rote Armee mit ihrer Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT) gemeinsam mit der Nationalen Volksarmee der Deutschen Demokratischen Republik (NVA) und deren paramilitärischen Einheiten bis zum Zerfall des östlichen Militärbündnisses eine hohe Kampfkraft und Gefechtsbereitschaft auf einem militärischen Gebiet mit einer Gesamtfläche von über 5.000 km<sup>2</sup>. Unter Einbeziehung der Liegenschaften der westlichen Alliierten (Streitkräfte der USA, Briten, Franzosen u.a.) und der Bundeswehr in der alten Bundesrepublik ergibt sich für Deutschland eine militärisch genutzte Gesamtfläche von ca. 10.000 km<sup>2</sup>, die etwa der vierfachen Größe des Bundeslandes Saarland entspricht.

Beginnend mit dem Jahr 1990 haben sich die Befürchtungen bestätigt, dass durch den unsachgemäßen Umgang mit wassergefährdenden und toxischen Stoffen in den vergangenen Jahrzehnten, neben den Verunreinigungen durch Betriebe der ehemaligen Rüstungsproduktion, vor allem von den militärischen bzw. ehemaligen militärischen Liegenschaften erhebliche Gefahren für die menschliche Gesundheit ausgehen können. So wurden allein nach dem sukzessiven Abzug der Westgruppe der sowjetischen Truppen der Sowjetarmee bis heute in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt [1], den Landesregierungen, den Umwelt- und Gesundheitsbehörden, der Bundeswehr [2], den Oberfinanzdirektionen [3] und der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser [4] des Bundesministeriums für Gesundheit in einer ersten Bearbeitungsphase mehr als 40 akute Fälle mit Trinkwasserbezug bekannt, auf die über Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Gefahrenbeseitigung unverzüglich reagiert werden konnte. Neben der Feststellung dieser manifestierten Schäden sind Gefahren aus noch unerkannten Kontaminationsherden von

mindestens ebenso großer Bedeutung. Diese latenten Gefahren aus militärischen Altlasten wirken sich erst mittel- oder langfristig über den Pfad Boden-Grundwasser-Trinkwasser aus. Ihre Eintrittswahrscheinlichkeit wird von Experten unterschiedlich mit 1% - 10% bezogen auf alle militärischen Liegenschaften eingeschätzt. Das beträfe in den neuen Bundesländern mindestens 100 von etwa 10.000 Objekten (zusammengesetzt aus Liegenschaften der WGT, NVA, Grenztruppen, Ministerium für Staatssicherheit u.a.), bei denen mit bedeutenden gesundheitlichen Auswirkungen zu rechnen ist [5, 6, 7]. Zielstellung des vorliegenden Kriterienkataloges ist es, solchen gesundheitsschädigenden Wirkungen auf den Menschen prospektiv zu begegnen.

Um zukünftige Gefahren aus militärischen Altlasten für die Trinkwasserversorgung zu vermeiden, müssten alle Liegenschaften aus ehemaliger militärischer oder paramilitärischer Nutzung einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Dies betrifft vor allem die Liegenschaften, die aufgrund von Umstrukturierungen zivilen Nachnutzungen (z.B. Wohnbebauung) zugeführt werden und bei denen Gefahren für die menschliche Gesundheit mit Sicherheit ausgeschlossen werden müssen. Aus Zeit-, Kosten- und Verfahrensgründen kann diese flächendeckende Aufgabe weder durch den Bund noch durch die Länder durchgeführt werden. Um dennoch zukünftige Gefahren aus militärischen Altlasten wenigstens für das Lebensmittel Trinkwasser weitestgehend auszuschließen, wurde dieser Kriterienkatalog so aufgebaut, dass auch bei eingangs spärlicher Kenntnis eine Einschätzung darüber möglich ist, ob akute oder latente Gefahren vorliegen bzw. in Zukunft zu erwarten sind.

Der Kriterienkatalog besteht aus einem Bewertungskomplex, einem Einstufungsraster und einem toxikologisch begründeten Sanierungsbezug. Der Bewertungskomplex enthält drei Komplexe A, B und C. Mit dem Komplexteil A wird eine Erstbewertung vornehmlich auf beprobungsloser Basis vorgenommen. Er besteht aus den Elementen einer historischen Recherche ergänzt durch spezielle Fragestellungen des Trinkwasserschutzes. Im Komplexteil B sind Informationen zur Geologie, Hydrogeologie, der Schadstoffverteilung und über chemisch-analytische Befunde in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsgebieten gefragt. Im Komplexteil C werden stoffspezifische Aussagen der Toxizität, der biochemischen Abbaubarkeit, der Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit durch eine prospektive Bewertung trinkwasserrelevanter Verdachts- und Hauptkontaminanten über die bestimmenden

Stoffparameter der „toxikologischer Relevanz“ und der „Mobilität“ zu Prioritätskontaminanten für Trinkwasser geführt. Jeder Komplettteil enthält die zur Bewertung notwendigen Kriterien, die in 9 Datensätzen zusammengefasst sind. Zur Vereinfachung der Aussage wird dabei zwischen obligatorischen und fakultativen Kriterien unterschieden. Entsprechend dem aus dem jeweiligen Informationsniveau der Stufen A, B, C resultierenden Gefährdungspotential erfolgt über maximal 28 Arbeitsschritte progressiv die Zuordnung der militärischen Liegenschaft in die regulatorisch relevanten Gefährdungsstufen des Einstufungsrasters.

Das Einstufungsraster setzt sich aus sechs Gefährdungsstufen (GS I - GS VI) für Trinkwasser mit weiteren Unterstufen zusammen. Gemäß dem jeweils zugrunde liegenden Bewertungskomplettteil resultiert die Kennzeichnung der Gefährdungsstufen für Trinkwasser in GS<sub>A</sub>, GS<sub>B</sub> und GS<sub>C</sub>. Zuvor werden auf der Basis von Verwaltungsdaten in den ersten beiden Arbeitsschritten des Bewertungskomplettteils A die Liegenschaften mit ziviler oder analog ziviler Nutzungshistorie aus dem Untersuchungsprogramm herausgenommen, wenn sie keinen Handlungsbedarf erkennen lassen.

Weisen die Arbeitsschritte wegen Gefährdung des Trinkwassers Handlungsbedarf für Liegenschaften oder Wasserversorgungsanlagen aus, werden Entscheidungshilfen für Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen auf der Basis von toxikologisch begründeten Basis- und Gefahrenwerten angeboten, wobei latente Expositionen, wegen weiterer in den nächsten Jahren zu erwartenden Gefährdungen von Trinkwasserressourcen, an Bedeutung gewinnen.

## **1 Grundlagen**

Um die neuen Länder in ihrer Aufbauarbeit zu unterstützen und den zuständigen Behörden bei der Auffindung konkreter Anhaltspunkte für Gefährdungen der Trinkwasserversorgung zu helfen, hatte die Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser (FKST) des Bundesministeriums für Gesundheit die Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Militärische Altlasten/Trinkwasserversorgung“ (AG) gebildet, welche die Erfassung und Erstbewertung der Liegenschaften der Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT) und der Truppen der DDR in den Jahren 1992-96 zur Aufgabe hatte. Mit diesen Gefahrerforschungsmaßnahmen sollte Klarheit über das Bestehen oder den Ausschluss von trinkwasserhygienisch relevanten Gefahrenlagen durch militärische Altlasten gewonnen werden [4, 6, 7].



In den neuen Ländern zeigten sich seinerzeit vor allem Schwierigkeiten in der Definition und der Darstellung des für die Einleitung weitergehender Untersuchungen hinreichenden Erstverdacht (Anscheinsgefahr), da Interessenkonflikte zwischen den zuständigen Landesbehörden und dem Zustandsstörer Bund vorgezeichnet waren. Ziel der gemeinsamen Arbeit in der AG war es, für gefahrenverdächtige militärische Liegenschaften einen Erstverdacht darzulegen, um weitere Untersuchungsmaßnahmen zur Feststellung des Schadensausmaßes gezielt und kostengünstig einleiten zu können.

In ihrer fünfjährigen Tätigkeit konnte die AG in konsensualer Meinungsfindung verschiedene Belastungsschwerpunkte erkennen und Sofortmaßnahmen auslösen. Aufgrund des beschränkten Zeitrahmens ihrer Untersuchungen war die Erfassung und Bewertung sowie eine Abschätzung des erforderlichen liegenschaftsbezogenen Sanierungsbedarfs und -aufwands für die Aufrechterhaltung der Trinkwasserversorgung im Umfeld militärischer Liegenschaften aber nur bedingt möglich. Die Fortführung der Aufgaben ging mit Beendigung der Tätigkeit der FKST seit 1997 an die Länder über [8].

Grundstücke werden gemäß den Bestimmungen des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) zu Altstandorten, wenn auf ihnen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde. Altstandorte werden jedoch nur dann zu Altlasten, wenn von Ihnen bestimmte Wirkungen ausgehen, die eine konkrete Gefahr beinhalten (Sicherheitsbegriff und nicht Vorsorge). Altlastverdächtige Flächen im Sinne des BBodSchG sind Altablagerungen und Altstandorte, bei denen der Verdacht schädlicher Bodenveränderungen oder sonstiger Gefahren für den Einzelnen oder die Allgemeinheit besteht. Existiert auf Grund konkreter Anhaltspunkte ein hinreichender Verdacht, soll die zuständige Landesbehörde zur Ermittlung des Sachverhaltes die geeigneten Maßnahmen ergreifen. Sie kann anordnen, dass i.d.R. der Verursacher bzw. Grundstückseigentümer die notwendigen Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung durchführt [9].

Die Vorsorgepflicht für das Grundwasser richtet sich entsprechend dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) grundsätzlich nach wasserrechtlichen Vorschriften [10]. Der Qualitätsanspruch an Trinkwasser der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland ist in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) festgelegt, welche die Umsetzung der EU-Richtlinie

80/778/EWG in nationales Recht darstellt<sup>1</sup>. Eine Gefahr für die menschliche Gesundheit durch kontaminierte Rohwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung muss daher für jeden Einzelfall ausgeschlossen werden [11, 12].

Da eine Kontamination von Grundwasser, welches als solches ein Schutzgut der öffentlichen Sicherheit und Ordnung darstellt, bereits eine Gefahr im ordnungsrechtlichen Sinn darstellt, ist es vom juristischen Standpunkt aus gesehen für die Auslösung von Maßnahmen zwar nicht notwendig, eine zusätzliche Gefahr für die menschliche Gesundheit oder ein bestimmtes Wasserwerk aufzuzeigen<sup>2</sup>. Es ist aber unstrittig, dass dort, wo Altlasten in Einzugsgebieten des sensiblen Nutzungsbereichs der Trinkwassergewinnung liegen, diese aus Gründen der Gesundheitsvorsorge und des Gesundheitsschutzes vorrangig zu untersuchen sind und, falls dies erforderlich ist, auch prioritär zu sanieren sind<sup>3</sup>. Für die Wasserwirtschaft ist zudem aus wirtschaftlicher Sicht eine Differenzierung der Ressourcennutzbarkeit nach Tabelle 1 sinnvoll [13]. Für diese abgestufte Betrachtungsweise gibt es aus der Zielstellung des flächen-deckenden Grundwasserschutzes allerdings in Deutschland z.Z. keine normative Grundlage.

**Tabelle 1** Differenzierung der Nutzbarkeit von Grundwasservorkommen in Deutschland als Trinkwasserressourcen

Nutzbarkeit für Trinkwasserzwecke	Aussage
hoch	Grundwasservorkommen mit sehr hoher Ergiebigkeit von überregionaler Bedeutung
mittel	Grundwasser mit hoher Ergiebigkeit von regionaler Bedeutung
gering	Grundwasser mit geringer Ergiebigkeit
Kein Nutzen	flächenhaft mineralisiertes oder verunreinigtes Grundwasser

---

<sup>1</sup> Die Umsetzung der neuen Richtlinie 98/83/EC vom November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch in nationales Recht steht noch aus, wurde aber bereits im Januar 1999 in Angriff genommen.

<sup>2</sup> "Der Schutz des Grundwassers über § 34 WHG ist unabhängig von den speziell für die Beschaffenheit des Trinkwassers bestimmten Anforderungen. Die Annahme einer Gefährdung des Grundwassers setzt nicht voraus, dass eine unmittelbare Gefährdung des Trinkwassers festgestellt wird." (Leitsätze des Umweltbundesamtes). BVerwG, 24.8.98, 4 B 59.89. NVwZ, 1990, H.5, S. 474.

<sup>3</sup> "Eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit im Sinne des § 6 WHG ist regelmäßig zu erwarten, wenn die Nutzung des Wassers als Trinkwasser gesundheits- und seuchenpolizeiliche Bedenken auslösen kann." (Erweiterung gegenüber BVerwG 55, 220 (229)). BVerwG, 17.3.89, 4 C 30.88. Keppeler, J., NVwZ, 1992, H. 2, S. 137-141.

In der Diskussion, ob bzw. inwieweit Bewirtschaftungskonzepte des Grundwassers als Trinkwasser bei der Gefahrenbeurteilung (vgl. Abkürzungen und Definitionen S. 95) berücksichtigt werden sollen, hatte der 60. Deutsche Juristentag bereits 1994 eindeutige Beschlüsse gefasst [16]. Der Grad der Wahrscheinlichkeit, der für die Annahme einer Gefahr zu fordern ist, ist demgemäss abhängig von der Wertigkeit des Schutzgutes. Je höherwertig das Schutzgut, desto geringere Anforderungen müssen an die Wahrscheinlichkeit gestellt werden. Der menschlichen Gesundheit wird dabei der höchste Rang als Schutzgut eingeräumt.

Die Güteanforderungen an die Trinkwasserqualität orientieren sich gemäß der DIN 2000 an der Qualität eines aus genügender Tiefe und aus ausreichend filtrierenden Schichten gewonnenen Grundwassers von einwandfreier Beschaffenheit [14]. Insofern ist der Qualitätsanspruch an Grundwasser und Trinkwasser identisch. Bei Verunreinigung der Wasserressource durch Altlasten müssen für die Auslösung von Maßnahmen zur Gefahrenbeseitigung zunächst die unterschiedlichen Expositionen als umwelthygienische Bewertungsgrundlage von Grundwasser- bzw. Roh-/Trinkwasserkontaminationen deutlich gemacht werden.

Qualitätsansprüche an Grundwässer orientieren sich an der natürlichen stofflichen Zusammensetzung, die sich aufgrund der spezifischen geologischen und hydrogeologischen Situation einer Region in langen Zeitabläufen gebildet hat (Hintergrundbeschaffenheit). Eine Gefährdung des Grundwassers und die damit verknüpfte Auslösung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen ist aus umwelthygienischen Gesichtspunkten dann gegeben, wenn bei Überschreiten dieser Hintergrundwerte z.B. durch ökotoxische Wirkungen lokale natürliche Ökosysteme gestört werden. Der Gefahrenbezug ist auf das Schutzgut Grundwasser als Bestandteil unserer Umwelt gerichtet.

Die Anforderungen an Trinkwasser orientieren sich an sensorischen, humantoxikologischen und ästhetischen Werten, die sich zudem dem Stand der Aufbereitungstechnik des Rohwassers im Wasserwerk zuordnen lassen müssen, z.B. der Chlorung bei hygienisch nicht einwandfreiem Rohwasser. Ein Grundwasser mit einem natürlicherweise hohen geogen bedingten Eisen- oder Mangangehalt oder hohen Huminstoffgehalt ist für die direkte Trinkwasserversorgung ungeeignet. Ebenso kann der natürliche Hintergrundwert von toxikologisch relevanten Stoffen, wie z.B. Arsen, regional eine Trinkwassergewinnung

unmöglich machen bzw. erschweren. Die Auslösung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen bei Rohwasserbelastungen für die Trinkwasserversorgung ist durch den Gefahrenbezug auf das Schutzgut Mensch gegeben. Für die Gefahrenbeurteilung (vgl. Abkürzungen und Definitionen S. 95) werden Werte benötigt, die eine direkte Abwehr von Gefahren für die menschliche Gesundheit zum Inhalt haben.

Eine Gefahr für die menschliche Gesundheit aus durch militärische Altlasten kontaminiertes Roh- bzw. Trinkwasser beurteilt sich nach der Wirkung der zu erwartenden Exposition, die in absehbarer Zeit eine Beeinträchtigung (einen Schaden) für diese Schutzgüter mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erwarten lässt.

Aufgrund dieser Sachverhalte ist es erforderlich, dass bei Sanierungsentscheidungen von Altlasten in Nutzungsbereichen von Wasserressourcen als Trinkwasser die Beurteilung von Gefahren über stoffspezifische Gefahrenwerte für Roh-/Trinkwasser erfolgt, welche den Anforderungen der Trinkwasserhygiene genügen. Da es sich bei Altlasten um anthropogen eingetragene Stoffe handelt, können diese auf toxikologischer Basis mit bundesweit einheitlichen Werten in Einzugsgebieten der Trinkwasserversorgung die Auslösung notwendiger Sanierungsmaßnahmen bzw. deren zeitlich strukturierte Prioritätensetzung absichern [15]. Die in Kapitel 6 für verschiedene Parameter abgeleiteten toxikologischen Basis- und Gefahrenwerte stellen aufgrund der mitunter inhomogenen toxikologischen Datenlage vorläufige Bewertungen der Autoren dar. **Eine Diskussion der Werte in der Trinkwasserkommission unter Berücksichtigung der Empfehlungen der WHO und der Grenzwerte der europäischen Trinkwasserrichtlinie ist in jedem Fall unerlässlich, bevor auf der Grundlage dieser Publikation halbamtliche oder amtliche Empfehlungen formuliert werden.**

Das Sanierungsziel durchzuführender Maßnahmen liegt in der Wiederherstellung der Trinkwasserqualität, die sich dabei zweifellos auch an den Güteanforderungen der DIN 2000 und dem Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung orientieren muss (vgl. Kapitel 3.4.2 und Tabelle 11). Zur Erreichung des Ziels sind unter Umständen ergänzend zu den *in situ* – Sanierungen der Altlast im Boden und Grundwasser zusätzliche Verfahrensstufen im Wasserwerk notwendig. Aus den o.g. Gründen erscheint es jedoch nicht sinnvoll, Sanierungszielwerte für Grundwässer grundsätzlich an den Grenzwerten der Trinkwasser-

verordnung, soweit dort aufgeführt, zu orientieren. Diese liegen z.B. für chemische Parameter i.d.R. weit über den geogen bedingten Hintergrundwerten im Grundwasser.

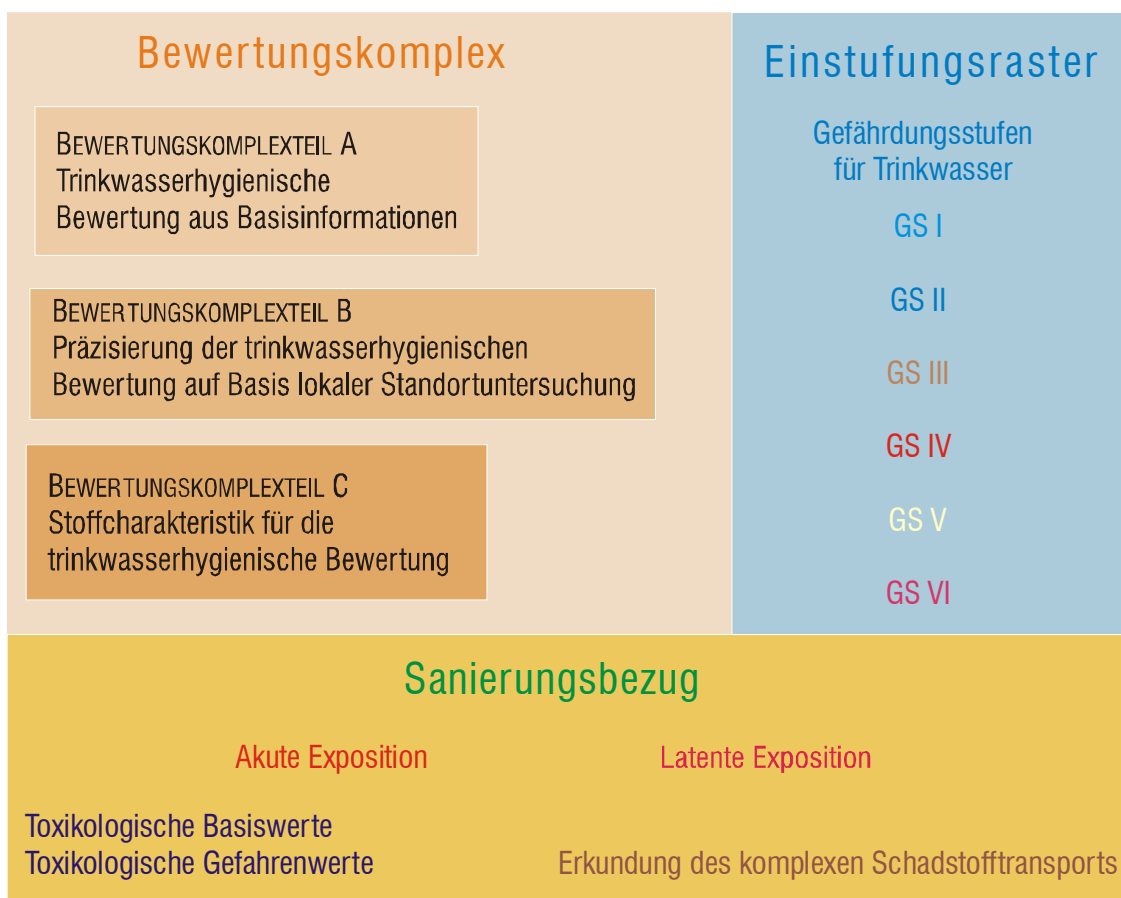
## **2 Der Kriterienkatalog**

Ausgehend von dem Standpunkt der Notwendigkeit einer prioritären Gefahrenbeurteilung von militärischen Liegenschaften im Einzugsgebiet von Gewinnungsanlagen der öffentlichen Wasserversorgung für die menschliche Gesundheit, wurde der vorliegende Kriterienkatalog mit dem Ziel entwickelt, weitestgehend sichere Entscheidungshilfen auch bei geringer und inhomogener Datenbasis zur Altlastensituation zu geben, die besonderen Belange des Trinkwasserschutzes und der Trinkwasserhygiene zu berücksichtigen und diese in die Altlastenbeurteilung verstärkt einzubeziehen. Er ist als Ergänzung zu bereits bestehenden Konzeptionen der Altlastenbewertung im Hinblick auf deren Wassergefährdungen aufgestellt worden. Der Katalog bezieht sich ausschließlich auf die Erkennung von Gefahren für die menschliche Gesundheit durch Trinkwasserkontaminationen aus Altlasten. Für die Bewertung des flächendeckenden Boden- bzw. Grundwasserschutz müssen zusätzliche umwelthygienische Kriterien, wie z.B. die Ökotoxizität der Altlastenstoffe, herangezogen werden.

Die Bearbeitung erfolgt sukzessive sowohl liegenschaftsbezogen, als auch im Hinblick auf die Charakteristik der Schadstoffe in mehreren Bearbeitungsphasen. Die Struktur des Kriterienkataloges ist schematisch in Bild 1 dargestellt. Er gliedert sich in einen Bewertungskomplex mit drei Komplextteilen A, B und C, ein Einstufungsraster mit sechs Gefährdungsstufen für Trinkwasser GS I – GS VI (und weiteren Untergruppen) und einen Sanierungsbezug mittels toxikologisch begründeter Basis- und Gefahrenwerte (BW, GefW). Die Abarbeitung der einzelnen Kriterien und deren Quantifizierung erfolgt über definierte Arbeitsschritte A1 – A28, die zu den Gefährdungsstufen des jeweiligen Bewertungskomplexes führen, oder über Zwischenschritte X<sub>1</sub> – X<sub>8</sub>, die zusätzliche Kriterien (ZA, ZB und ZC) abrufen, bevor eine Gefahrenbeurteilung möglich ist. Die Gefährdungsstufen zeigen den erforderlichen Handlungsbedarf für die Trinkwasserversorgung auf.

Durch den stufenweisen Aufbau des Kataloges mit den Komplextteilen A - Trinkwasserhygienische Bewertung aus Basisinformationen, B - Präzisierung der trinkwasserhygienischen

Bewertung auf Basis lokaler Standortuntersuchungen und C - Stoffcharakteristik für die trinkwasserhygienische Bewertung ist eine parallele Leseart zu dem allgemein anerkannten Leistungsbild der Altlastensanierung mit den Phasen I - Historische Erkundung, II – Technische Erkundung mit deren Unterpunkten IIa der orientierenden Phase und IIb der Detailerkundung, sowie den Stufen III - Sanierungsuntersuchung und IV - Sanierungsplanung und -überwachung möglich. Der Katalog zeigt die für den Trinkwasserschutz verbindlichen und hinreichenden Kriterien auf und liefert die aus Sicht der Trinkwasserhygiene erforderlichen Ergänzungen dieses Leistungsbildes.



**Bild 1** Aufbau des Kriterienkataloges zur Beurteilung von Gefahren aus militärischen Altlasten für Trinkwasser

Der Einstieg in die trinkwasserhygienische Bewertung erfolgt über den Bewertungskomplexteil A, dessen Kriterien eine erste Einschätzung zum Altlastenpotential der militärischen Liegenschaften in Trinkwassereinzugsgebieten auf beprobungsloser Basis zulassen. Eine

Präzisierung der trinkwasserhygienischen Bewertung ist auf Basis der lokalen Standort- bzw. Stoffcharakteristik möglich und erfolgt sukzessive über die Bewertungskomplexe B und C.

Stufenweise werden für die militärischen Liegenschaften bzw. Teilflächen über die Abfrage der Kriterien aus den Bewertungskomplexen und deren Zuordnung in die Gefährdungsstufen des Einstufungsrasters die Prioritäten zur weiteren Bearbeitung gesetzt. Zugleich erhöhen sich die Anforderungen zur Belegung eines Gefahrenverdachts von Stufe zu Stufe, so dass die Sicherheit der Aussage für gefahrenverdächtige Objekte zunimmt.

Der Aufbau der Bewertungskomplexe und eine Übersicht der heranzuziehenden obligatorischen und fakultativen Einzelkriterien sind in Kapitel 3 dargestellt. Die Beschreibung der für die Benutzung des Kriterienkataloges erforderlichen Arbeitsschritte erfolgt, ebenso wie die des Einstufungsrasters mit den Gefährdungsstufen GS I bis GS VI, mit ausführlicher Erklärung gesondert in den Kapiteln 4 und 5.

Für den aus der Gefährdungsstufe GS VI resultierenden unmittelbaren Handlungsbedarf werden in der Unterscheidung von akuten und latenten Expositionen Entscheidungshilfen zum Sanierungsbezug in Kapitel 6 gegeben. Basis für Sanierungsentscheidungen bei akuten Expositionen von Schadstoffen über das Trinkwasser sind stoffspezifische toxikologische Basis- und Gefahrenwerte. Bei Verdacht auf latente Expositionen sollen z.B. über Modellrechnungen des komplexen Schadstofftransports von der Altlast zu den Trinkwasserentnahmestellen Abschätzungen zur Notwendigkeit weiterer Erkundungsmaßnahmen bzw. zum zeitlichen Ablauf resultierender Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen erfolgen.

Die Gesamtübersicht wird in Kapitel 7 durch ein Fallbeispiel ergänzt, um die Anwendung des Kriterienkataloges bei der Gefahrenbeurteilung für Trinkwasser praktisch darzustellen.

In Fortführung der FKST-Vorhaben hat sich der Kriterienkatalog als Gefahrerkundungsmaßnahme für Trinkwasser im Umfeld militärischer Liegenschaften bewährt bei

- dem F&E-Vorhaben 202 02 664 "Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften aus der ehemaligen militärischen Nutzung durch die Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT)" Im Auftrag des Umweltbundesamtes (Umweltforschungsplans 1997-98) **[17]** und

- den entsprechenden Untersuchungen von 1998 im Auftrag des Freistaates Sachsen für die nunmehr in zivile Nutzungen übergegangenen Liegenschaften der ehemaligen Nationalen Volksarmee der DDR [18].

### 3 Der Bewertungskomplex

#### 3.1 Aufbau und Übersicht

Die für die Gefährdungseinschätzung von durch Altlasten beeinflussten Trinkwasserressourcen erforderlichen Arbeitsschritte werden durch einen Bewertungskomplex ermöglicht, der aus drei Bewertungskomplexteilen A, B und C besteht. Der Aufbau des Bewertungskomplexes mit Erläuterungshinweisen ist in Tabelle 2 skizziert.

**Tabelle 2** Aufbau des Bewertungskomplexes für die Gefährdungseinschätzung von Trinkwasser aus militärischen Altlasten

Komplexeil	Informations-ebene	Auswahl der Kriterien und Qualität der Aussage	Aussage zu Kontaminanten	Bewertungsergebnis	Einzelkriterien
A	niedrig	Beprobungslose Kriterien zur Feststellung eines begründbaren Altlastenverdachts in Trinkwassereinzugsgebieten	<u>Verdachtskontaminanten</u> - Stoffe bzw. Stoffgruppen, die sich aus der ehemaligen Nutzung aufzeigen lassen	Einstufungsraster GS <sub>A</sub>	Tabelle 5
B	mittel	Untersuchungsergebnissen zur Feststellung eines begründeten Kontaminationsverdachts von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung	<u>Hauptkontaminanten</u> – werden bei Untersuchungen häufig und in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen	Einstufungsraster GS <sub>B</sub>	Tabelle 6
C	hoch	Gesundheitsrelevante Kriterien zur Feststellung von stoffimmanenten Vorgängen und Prioritätskontaminanten	<u>Prioritätskontaminanten</u> - toxikologisch relevante, häufig und in hohen Konzentrationen im Abstrom von bestimmten Nutzungsbereichen nachgewiesene Kontaminanten im Grundwasser	Einstufungsraster GS <sub>C</sub>	Tabelle 7
Sanierungsentscheidung	sehr hoch	Parameter zur Quantifizierung von Sanierungsmaßnahmen	Basis- und Gefahrenwerte als Auslösewerte für Sanierungsentscheidungen bei Roh- bzw. Trinkwasserkontamination	Toxikologischer Basiswert (BW) Gefahrenwert Stufe 1 (GefW <sub>1</sub> ) Gefahrenwert Stufe 2 (GefW <sub>2</sub> ) Gefahrenwert Stufe 3 (GefW <sub>3</sub> ) Hygienisch-sensorische-Obergrenze (HSO-Wert)	Kapitel 6

Die Komplexeile stellen zunehmend unterschiedlich anspruchsvolle Informationsebenen dar. In der Unterscheidung der Stufen niedrig, mittel, hoch und sehr hoch drücken sie den quantitativen Umfang der berücksichtigten im Verhältnis zu den insgesamt aufgeführten und relevanten Kriterien aus. Aus der Auswahl der Kriterien ergibt sich die für jeden Komplexeil



qualitative Aussage des Gefahrenverdacht es bzw. der Gefahrenfeststellung (Beweisniveau). Die Aussage zu Kontaminanten wird qualitativ differenziert in Verdachtskontaminanten (Targetstoffe), die sich aus der Nutzungshistorie der militärischen Liegenschaft ableiten lassen und ein spezifisches Kontaminationspotential für Boden und Grundwasser bilden (vgl. Anhang I), Hauptkontaminanten, welche aufgrund von Vor-Ort-Untersuchungen in definierten Nutzungsbereichen besonders häufig und in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wurden, sowie Prioritätskontaminanten, die im Grundwasser im Abstrom der Altlast analytisch erfasst wurden - oder aufgrund stoffspezifischer Eigenschaften dies erwarten lassen - und per Definition humantoxikologisch relevant sind.

Die aus den Komplexeilen A, B und C erfolgte Bewertung wird in Form der Gefährdungsstufe GS I bis GS VI mit eventuellen Untergruppen a, b und c (vgl. Kapitel 4) und dem Index des Komplexeils dargestellt (z.B. GS<sub>A</sub> Ia). Toxikologische Basis- und Gefahrenwerte bilden die Grundlage zur Auslösung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen. Nur in wenigen Ausnahmefällen ist statt diesen Konzentrationen die sogenannte "Hygienisch-sensorische Obergrenze" (HSO) in Ansatz zu bringen, nämlich dort, wo die Konzentration eines Schadstoffes für Geruchs- bzw. Geschmacksbeeinflussung von Trinkwasser niedriger als deren Humantoxizität anzusetzen ist (vgl. Kapitel 6) **[19]**. Sie ist definiert als Grenzkonzentration, unterhalb derer hygienisch-sensorische Beeinträchtigung(en) beim Menschen noch nicht auftreten.

Jeder Komplexeil umfasst mehrere Datensätze von Kriterien, die in sich thematisch abgeschlossen sind. Die Aufschlüsselung der Bewertungskomplexeile in Datensätze mit zugehöriger Aussage sowie die Differenzierung in obligatorische und fakultative Kriterien sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Die Bezeichnung der Datensätze setzt sich aus dem Buchstaben des jeweiligen Komplexeils und einer fortlaufenden Nummerierung von 1 - 28 zusammen. Die Bezeichnung der Kriterien folgt der Nummerierung in Unterpunkten.

**Tabelle 3** Aufschlüsselung der Bewertungskomplexe A, B und C in thematische Datensätze von Kriterien

Komplex- teil	Datensatz	Aussagen	Obligatorische Kriterien	<i>Fakultative Kriterien</i>	Erläuterungen
A	A0	Verwaltungsdaten	0.1-0.3	<i>0.4-0.7</i>	Tabelle 5
	A1	Einschätzung der Altlastenrelevanz aus Liegenschaftsdaten	1.1-1.6	<i>1.7-1.13</i>	
	A2	Einzugsgebiet von Wasserversorgungsanlagen	2.1-2.3	<i>2.4-2.8</i>	
	A3	Relevanz von Verdachtskontaminanten für Wasser	3.1-3.2	<i>3.3-3.5</i>	
B	B4	lokale Standortcharakteristik	4.1-4.3	<i>4.4</i>	Tabelle 6
	B5	Untersuchungsergebnisse aus Bodenproben	5.1-5.2	<i>5.3-5.4</i>	
	B6	Untersuchungsergebnisse Grund-/Sickerwasser-/Rohwasserproben	6.1-6.2	<i>6.3-6.4</i>	
C	C7	Toxizitätspotential der Kontaminanten	7.1	<i>7.2-7.6</i>	Tabelle 7
	C8	biochemische Abbaubarkeit	8.1	<i>8.2-8.3</i>	
	C9	stoffspezifisches Migrationverhalten	9.1-9.2	<i>9.3-9.4</i>	

Die Darstellung der Einzelkriterien finden sich unter der jeweiligen Nummer in den Tabellen 5 bis 7. Fakultative Kriterien werden im Unterschied zu den obligatorischen Kriterien kursiv dargestellt. Diese Unterscheidung hat sich als zweckmäßig erwiesen, da zur Gefahrenbeurteilung eine jeweils begrenzte Menge an Mindestinformationen (Basisinformationen) notwendig ist. Zusatzinformationen der fakultativen Kriterien können einen Sachverhalt präzisieren, führen aber für sich allein, d.h. ohne Basisinformationen, nicht zu gesicherten Bewertungen. Hierdurch werden die Recherchen in den Komplexteilen A bis C erleichtert, so dass z.B. bereits Informationsinhalte wie die Feststellung von kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen (KVN, vgl. Anhang I) in die Gefahrenermittlung einbezogen werden können, ohne diese von vornherein durch aufwendige Untersuchungen stützen zu müssen. Durch diese Vorgehensweise wird die Aufarbeitung tausender von militärischen und paramilitärischen Liegenschaften in absehbarer Zeit erleichtert bzw. z.T. erst ermöglicht.

Das Informationsniveau des Komplexteils A beinhaltet vorwiegend beprobungslose Kriterien. Das betrifft z.B. eine große Anzahl von WGT-Objekten, für die - entsprechend der Zielsetzung des WGT-Projektes - zum überwiegenden Teil nur Projektberichte auf der Basis von Erstbegehungen vorliegen; bisweilen sind Ergänzungen durch einfache Vor-Ort-Unter-

suchungen gegeben als auch z.T. vertiefende Altlasterkundungen erfolgt [1]. Auf der Basis von Bewertungskomplextteil A können über die Arbeitsschritte 1 bis 10 mit hoher Wahrscheinlichkeit unbelastete Objekte früh aus dem System entlassen werden, für die kein Handlungsbedarf für die Trinkwassergewinnung erkennbar ist. Dies gilt vorwiegend für Objekte bzw. für in sich abgeschlossene Teile von Objekten mit rein oder vorwiegend ziviler oder zumindest analog ziviler Nutzungshistorie<sup>1</sup>, wo nicht mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wurde, wie beispielsweise Wohnkomplexe und Befehlsstäbe. Andererseits können aus den Begehungsberichten auch ohne Analytik eindeutige Kontaminationsherde mit möglichen Auswirkungen auf Trinkwasserressourcen abgeleitet werden. Die Recherchen auf der Ebene des Komplextteils A führen über die Arbeitsschritte zu den Gefährdungsstufen GS<sub>A</sub> I bis GS<sub>A</sub> VI. Die Qualität der Aussage der Gefährdungsstufen GS<sub>A</sub> liegt für kontaminationsverdächtige Standorte in der Feststellung eines begründbaren Altlastverdachts in Trinkwassereinzugsgebieten, der entweder durch Sofortmaßnahmen beseitigt oder durch weitergehende Nachforschungen bzw. Untersuchungen über Zusatzinformationen der fakultativen Kriterien oder die Kriterien des Bewertungskomplextteils B aufzuklären ist.

Der Bewertungskomplextteil B beinhaltet Kriterien über ergänzende historische sowie technische Erkundungsmaßnahmen - in Form geologischer / hydrogeologischer und stoffanalytischer Erkundungen des Bodens und des Sicker- bzw. Grundwassers - unter besonderer Berücksichtigung der Belange des Trinkwasserschutzes.

---

<sup>1</sup> Unter 'analog zivilen Nutzungen' werden nicht-militäertypische Nutzungsbereiche zusammengefasst, auf denen, aufgrund der (anzunehmenden) Nutzungshistorie, mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wurde. Hierzu zählen i.d.R. Wohnheime, Erholungsheime, Ledigenheime, Gaststätten, Ferienheime, Naherholung, Wohnunterkünfte, Gästehäuser, Museen, Bungalows, Wohnungen, Wohngrundstücke, Schulen, Wohnhäuser, Sportplätze, Sporthallen, Forsthäuser, Erholungsobjekte, Kulturhäuser. Vereinzelt sind Wehrkreiskommandos und sonstige Verwaltungsliegenschaften aufgenommen. Für diese Liegenschaften wird angenommen, dass keine ALVF bzw. KVN bestehen, welche relevant für Wasserressourcen sein könnten. Liegen jedoch Hinweise auf ALVF bzw. KVN vor, muss aufgezeigt werden, dass in der potentiellen Altlast keine Wasserschadstoffe vorliegen (z.B. Bauschutt, Sperrmüll). Dies erfolgt z.B. durch Aussagen der zuständigen Behörden oder aufgrund erster in Augenscheinnahme vor Ort bzw. entsprechender Erstuntersuchungen. Liegen diese entlastenden Aussagen nicht vor, wird im Kriterienkatalog ein Vorbehalt zur allgemeinen Vorgehensweise ausgesprochen. Die Liegenschaft wird dann im Bewertungsverfahren wie eine Liegenschaft mit militärischen Nutzungsbereichen behandelt.

Die Qualität der Aussage der Gefährdungsstufen  $GS_B$  liegt für kontaminierte Standorte in Trinkwassereinzugsgebieten in der Feststellung eines begründeten Kontaminationsverdachtes für Roh- bzw. Trinkwasser.

Bei festgestellter Kontamination von Boden oder Grundwasser im hydraulischen Einzugsgebiet einer Trinkwasserfassung werden über den Komplettteil C aus stoffbezogenen Aussagen der biochemischen Abbaubarkeit und der toxikologischen Wirksamkeit beim Menschen die für den Trinkwasserpfad relevanten Schlussfolgerungen der **toxikologischen Relevanz** über die Berechnung eines Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  und der Abschätzung der stofflichen Mobilität über  $AK_{MOB}$  gezogen, die eine toxikologische Bewertung sowie biochemische und physiko-chemische Parameter in sich einschließen (vgl. Kapitel 3.4).

Im Zuge der Abarbeitung des Kriterienkataloges über die Arbeitsschritte 1 bis 28 erfolgt auf den verschiedenen Ebenen eine Einstufung bzw. Rückstufung in einen Bereich, der keinen weiteren Handlungsbedarf aus Sicht der Trinkwasserhygiene erkennen lässt (GS I bis GS III). In Tabelle 4 sind als Übersicht vorab die wesentlichen Bedingungen aufgeführt, unter denen Altlastverdachtsflächen aufgrund der Bewertungssystematik als nicht vorhanden bzw. nicht trinkwasserrelevant gelten und somit eine weitere Bearbeitung aus trinkwasserhygienischen Gründen überflüssig machen. Diese als „Abbruchkriterien“ bezeichneten Konditionen weichen aufgrund der spezifischen Sichtweise von denen des allgemeinen Boden- bzw. flächen-deckenden Grundwasserschutzes mitunter ab, für die andere Kriterien mit einzubeziehen sind.

**Tabelle 4** Beispiele von Abbruchkriterien der Bewertung militärischer Liegenschaften aus Gründen der Trinkwasserhygiene

Abbruchkriterium	Bedingung
Altlastverdachtsflächen gelten als nicht vorhanden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Nutzungshistorie (vgl. Kapitel 3.2), lässt erkennen, dass</li> <li>- keine Schadstoffe ausgebracht wurden,</li> <li>- keine Schadstoffe illegal deponiert wurden.</li> </ul>
Altlastverdachtsflächen z.Z. nicht trinkwasserrelevant vgl. auch Übersicht zum Schadstoff- und Kontaminationspotential von militärischen kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen; im Anhang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Altlast befindet sich nicht im hydraulischen Einzugsgebiet von Wasserfassungen (vgl. Kapitel 3.2) <u>oder</u></li> <li>- Schadstoffe sind inert (vgl. Kapitel 3.4.3) bzw. die Löslichkeit des Schadstoffes in Wasser <math>&lt; 0,5 \text{ mg/l}</math> (vgl. Tabelle 15) <u>und</u></li> <li>- geringe toxikologische Relevanz des Schadstoffes; <math>AK_{TOR} \leq 3</math> (vgl. Kapitel 3.4.5) <u>oder</u></li> <li>- Komplexer Schadstofftransport lässt aufgrund von Modellrechnungen keine Gefährdung von Wasserfassungen durch Altlaststoffe erkennen (vgl. Kapitel 6.3) <u>oder</u></li> <li>- zu erwartende Konzentration des Schadstoffes im Roh-/ Trinkwasser <math>\ll</math> toxikologischer Basiswert (vgl. Kapitel 6.1) bzw. zu erwartende Konzentration des Schadstoffes im Roh-/ Trinkwasser <math>\ll</math> Grenz-/ Richtwert der TrinkwV (wenn vorhanden) <u>und</u> keine Anstieg der Konzentration im Beobachtungszeitraum</li> </ul>

$AK_{TOR}$  = Altlastenkoeffizient der toxikologischen Relevanz

$AK_{MOB}$  = Altlastenkoeffizient der Mobilität

## 3.2 Bewertungskomplexe teil A

Die zu berücksichtigenden Kriterien des Komplexteils A sind in Tabelle 5 aufgeführt, wobei Zusatzinformationen kursiv und eingerückt dargestellt sind.

### **Tabelle 5** Bewertungskomplexe teil A

Feststellung eines Altlastenpotentials in Trinkwassereinzugsgebieten nach einfachen Kriterien (nicht eingerückt = obligatorische Kriterien, *kursiv und eingerückt* = fakultative Kriterien)

#### **Datensatz A0: Verwaltungsdaten**

- 0.1 Objektbezeichnung
- 0.2 Daten zur Lokalisierung der Liegenschaft (postalische Anschrift, Gemarkung/Flur, Koordinaten, Kartenblätter etc.)
- 0.3 Dokumentation der Informationsquelle und Quellennummer
  - 0.4 *Objektnummer*
  - 0.5 *Eigentumsverhältnisse*
  - 0.6 *Verwertungsstand / Planung*
  - 0.7 *Fläche in Hektar [ha]*

#### **Datensatz A1: Beprobungsfreie Einschätzung der Altlastenrelevanz aus Liegenschaftsdaten**

- 1.1 zivile oder analog zivile Nutzungsart der Liegenschaft (z.B. Wohngebäude, Sportanlagen)
- 1.2 militärische Nutzungsart der Liegenschaft (z.B. Munitionslager, Truppenübungsplatz)
- 1.3 einzelne Nutzungsbereiche auf der Liegenschaft (z.B. Verwaltungsgebäude, Tanklager)
- 1.4 Altlastverdachtsflächen (ALVF) bzw. kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (KVN) aus 1.3 (z.B. Tanklager)
- 1.5 Verdachtskontaminant der ALVF bzw. des KVN aus 1.4 (z.B. MKW)
- 1.6 Ausgebrachte Schadstoffmenge (in Tonnen, geschätzt)
  - 1.7 *Einwirkdauer der Schadstoffe (in Jahren, geschätzt)*
  - 1.8 *Begehung der Liegenschaft im Rahmen einer Ersterkundung*
  - 1.9 *Erkundung durch Umwelt-, Bauamt, Ing.-Büro*
  - 1.10 *Zustand der Liegenschaft (gesichert, beräumt, Bebauung, etc.)*
  - 1.11 *Anzahl von Altlastverdachtsflächen bzw. kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen (gesamt)*
  - 1.12 *Durchgeführte Sofortmaßnahmen zur ordnungsrechtlich notwendigen Gefahrenabwehr*
  - 1.13 *Anzahl von Altlastverdachtsflächen mit Sofortmaßnahmen*

#### **Datensatz A2: Liegenschaftsbezug zu Wasserversorgungsanlagen (WVA)**

- 2.1 Art der Wasserversorgungsanlage (ZWVA, EGVA, EZVA) im Umfeld der Liegenschaft
- 2.2 Betroffenes Wasserwerk (Betreiber)
- 2.3 Liegenschaftsbezug zu Trinkwasserschutzzonen bzw. zu Vorbehaltsgebieten
  - 2.4 *Entfernung nächste Brunnengalerie*
  - 2.5 *Betroffene Wasserfassung*
  - 2.6 *ALVF bzw. KVN in Trinkwasserschutzzonen (TWSZ) I, II, III bzw. Vorbehaltsgebiet*
  - 2.7 *Verdachtskontaminanten aus ALVF in TWSZ*
  - 2.8 *Aktuelle zusätzliche Informationen von Gesundheitsamt, Umweltamt, Sofortmaßnahmen*

#### **Datensatz A3: Relevanz von Verdachtskontaminanten für Wasser**

- 3.1 wasserrelevante ALVF bzw KVN
- 3.2 Verdachtskontaminant bzw. -stoffgruppe
  - 3.3 *Hauptkontaminant (bei Gemisch oder Stoffgruppe)*
  - 3.4 *Schadstoffe außerhalb des Nutzungsbereichs (wie Lösungsvermittler, z.B. Tenside)*
  - 3.5 *Auswertung von Spezialkarten zur geologischen Situation*
  - 3.6 *Auswertung von Spezialkarten zur hydrogeologischen Situation*

Grundlage bilden zunächst Verwaltungsdaten des Datensatzes A0, wie sie durch die bisherigen Nutzer bzw. Verwalter der Liegenschaften übermittelt werden. Hierzu zählen die Objektbezeichnung, die Objektnummer und Daten zur Lokalisierung der Liegenschaft, wobei auch Kartenmaterial und Satelliten- bzw. Luftaufnahmen nützlich sind. Zusätzliche Informationen wie Eigentumsverhältnisse, Verwertungsstand und weitere Planung und Größe der Liegenschaft sind hilfreich.

Wichtige Basisinformationen für die Ersteinschätzung der Altlastenrelevanz aus Liegenschaftsdaten (Datensatz A1) sind die Art der Nutzung (Kriterien A1.1 und A1.2) bzw. bei großen Objekten die relevanten Nutzungsbereiche (Kriterien A1.3 allgemein und A1.4 kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche). In einer Vorauswahl kann über das Kriterium A1.1 in Verbindung mit dem Datensatz A0 für alle Objekte ohne wasserrelevanten Altlastverdacht mit ziviler oder analog ziviler Nutzungshistorie eine Freigabe erfolgen. Die Vorgehensweise ist in den Arbeitsschritten 1 und 2 beschrieben. Wenn, wie vor allem bei den ehemaligen NVA-Liegenschaften, in erster Instanz nur spärliche Informationen zur Altlastenrelevanz und im wesentlichen nur Informationen der Kriterien A1.2 bis A1.4 existieren, ist eine Orientierung über die ehemalige Nutzung bzw. über kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (KVN) möglich. Diese lassen sich aus dem Anhang I (vgl. Kapitel 11) ableiten. Hier sind als Ergebnis der bisherigen Auswertungen neben anderen die Verdachtskontaminanten für den Untergrund und Aussagen über das Schadstoffpotential fixiert.

Soweit bereits Erkundungsmaßnahmen oder Maßnahmen vor Ort stattgefunden haben, sollen diese Erkenntnisse über Sickerwassersimulationen in die Beurteilung eingebunden werden. (Angaben zu den Kriterien A1.7 bis A1.13 in Verbindung mit Bewertungskomplexe teil B). Sie sind jedoch zunächst für die Bearbeitung des Bewertungskomplexe teils A nicht notwendig und stellen bei nicht ausreichender Kenntnis Zusatzinformationen (fakultative Kriterien) dar.

Der Datensatz A2 gibt Auskunft zur relativen Lage (Entfernung) des militärischen Objektes zu einer eventuell betroffenen Wasserversorgungsanlage (WVA). Nach der Art der WVA wird unterschieden in:

- Zentrale Wasserversorgungsanlage (ZWVA)  
Unternehmen der öffentlichen Wasserversorgung,

- Eigenwasserversorgungsanlage (EGVA)  
dient der Versorgung kleiner (meist betrieblicher) Einheiten für weniger als 20 Einwohner,
- Einzelwasserversorgungsanlage (EZVA)  
Versorgung über Hausbrunnen.

Nur für die ZWVA sind Trinkwasserschutzzonen mit Nutzungsbeschränkungen ausgewiesen. Für den Fall, dass kein Trinkwasserschutzgebiet über ein hydrogeologisches Gutachten begründet und ausgewiesen ist, kann zunächst - ohne auf die einzelnen Grundwasser- verhältnisse und Entnahmemengen einzugehen - eine Abschätzung des näheren Einzugsgebietes einer Wasserversorgungsanlage überschlägig als Umfeld von 2 km um der Wasserentnahmestelle erfolgen. Dann sind z.T. bereits spezifische Einzelinformationen für die Gefahrenbeurteilung der betroffenen Wasserfassung(en) abzufragen wie die Entfernung zur nächsten Brunnengalerie, die Benennung von Altlastverdachtsflächen bzw. kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen (KVN) innerhalb von Trinkwasser- schutzzonen bzw. Vorhaltegebieten, die Erkundung von Verdachtskontaminanten (Targetstoffe) die das Roh- und Trinkwasser gefährden können und aktuelle zusätzliche Informationen der zuständigen Behörden. Im allgemeinen ist aber im Bewertungskomplextteil A ausreichend, ein Gefahrenpotential für Roh-/bzw. Trinkwasser bereits allein aus der Kenntnis abzuleiten, dass die militärische Liegenschaft eine Trinkwasserschutzzone bzw. ein Einzugsgebiet berührt.

In Datensatz A3 wird in einer ersten groben Einschätzung die generelle Relevanz von festgestellten Altlastverdachtsflächen bzw. KVN für das Schutzgut Wasser hinterfragt. Dieser Arbeitsschritt hat sich für die WGT-Altlastenerkundungsberichte bewährt, in denen z.T. ungefährliche Ablagerungen, wie Sperrmüll, zu Altlastverdachtsflächen deklariert wurden.

Die fakultativen Kriterien informieren über die Benennung von Hauptkontaminanten aus Gemischen oder Stoffgruppen und in den verschiedenen Nutzungsbereichen untypische Schadstoffe.

### 3.3 Bewertungskomplexe B

Die berücksichtigten Kriterien des Komplexteils B sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Der Datensatz B4 gibt Auskunft über Boden- und Grundwasserverhältnisse im lokalen Bereich und im Umfeld der Liegenschaft. Soweit eine Auswertung auf der Basis von Spezialkartenmaterialien laut Kriterien A3.5 bis A3.6 in der ersten Bearbeitungsphase bereits erfolgt ist, werden in den Kriterien B4.1 bis B4.4 erste Erkundungsergebnisse aus Vor-Ort-Untersuchungen berücksichtigt.

#### **Tabelle 6** Bewertungskomplexe B

Kriterien zur Feststellung von Gefahren für Trinkwasser durch militärische Altlasten auf der Basis von Untersuchungsergebnissen (nicht eingerückt = obligatorische, *kursiv und eingerückt* = fakultative Kriterien)

##### **Datensatz B4: Lokale Standortcharakteristik**

- 4.1 Erkundungsergebnisse zur geologischen Situation vor Ort (Gesteinszusammensetzung und Schichtfolge des Untergrundes, Klüftigkeit, Porosität, Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$ , Flurabstand (Mächtigkeit der Deckschichten))
- 4.2 Erkundungsergebnisse zur hydrogeologischen Situation vor Ort (Grundwassertyp (Poren-, Kluft-, Karstgrundwasserleiter, Grundwassernichtleiter), Grundwassermächtigkeit, Strömungsverhältnisse (Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung))
- 4.3 Trinkwassereinzugsgebiet (Art der genutzten Wasserressource (Uferfiltrat, Tiefe der Grundwasserentnahme), Bauart des Brunnens (Horizontal-/Vertikalbrunnen), Entnahmefolumen pro Tag)
  - 4.4 *Zusätzliche Angaben (z.B. Speichereigenschaften, Strömungsverhältnisse im Einzugsgebiet der Wasserentnahmestelle und in Relation zur ALVF, Depositionsrate (klimatische Wasserbilanz))*

##### **Datensatz B5: Untersuchungsergebnisse aus Bodenproben**

- 5.1 gezielte chemische, physikalische oder sensorische Befunde (Einzelparameter und Summenparameter)
- 5.2 Anzahl von Altlastverdachtsflächen aus der orientierenden Erkundung
  - 5.3 *Aussagen zur Verteilung von Schadstoffen im Boden*
  - 5.4 *Sonstige Bodenbefunde*

##### **Datensatz B6: Untersuchungsergebnisse aus Grund-/Rohwasserproben**

- 6.1 gezielte chemische, physikalische oder sensorische Befunde (Einzelparameter und Summenparameter)
- 6.2 Anzahl von Altlastverdachtsflächen aus der orientierenden Erkundung mit Grund-/Rohwasserbezug
  - 6.3 *Aussagen zur Verteilung von Schadstoffen im Sicker-/Grund-/Rohwasser*
  - 6.4 *sonstige Sicker-/Grund-/Rohwasser- Befunde*

Insbesondere soll in den Datensätzen B5 und B6 durch orientierende Vor-Ort-Untersuchungen festgestellt werden, ob und inwieweit die Kontamination der Wasserressource die



Bemessungen der lokalen Trinkwassergewinnung stören kann. Dies sind Untersuchungen zur Hydraulik im Untergrund und chemisch-analytische Untersuchungen des Grundwassers im Bereich sowie im Abstrom der Altlast bzw. des KVN und im Zustrom der Trinkwasserbrunnen. Gängig ist eine abgestufte Vorgehensweise im chemisch-analytischen Untersuchungsprogramm auf Verdachtskontaminanten (Targetstoffe). Relevante Stoffe und Stoffgruppen sind dabei solche, die bereits in niedrigen Konzentrationen eine Gefährdung darstellen sowie solche, die häufig und in großen Mengen angewendet wurden. Am Anfang eines Untersuchungsprogramms werden i.d.R. Summen- oder Gruppenparameter (z.B. DOC als gelöster organischer Kohlenstoffgehalt oder AOX als Konzentration adsorbierbarer organischer Halogenverbindungen) und Stoffgruppen (z.B. PAK als polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe oder Phenole) analytisch erfasst. Es wird sich daher zunächst als Mindestprogramm auf die Untersuchung der Verdachtsparameter der Kriterien A1.5 (vgl. Tabelle 5 und Anhang I) beschränken.

Bei der Untersuchung von Rohwasserproben (Kriterium A2.7), die abstromseitig in einer definierten Distanz zur Altlastverdachtsfläche genommen werden, sind diejenigen als relevante Parameter auszuwählen, die bestimmte stoffspezifische Eigenschaften bezüglich ihrer Mobilität, Persistenz, Akkumulierbarkeit und Abbaubarkeit besitzen (vgl. Kapitel 3.4). Ergebnisse von hydrogeologischen Detailerkundungen sind Grundlage der Beurteilung der potentiellen Quelle und der Verteilung von Schadstoffen im Untergrund.

Zur Beurteilung der Ergebnisse aus Vor-Ort-Untersuchungen im Bereich der Altlast wurden in der Vergangenheit länderspezifische Bezugswerte für Boden und Grundwasser zugrunde gelegt. Bestimmte Parameter sind nunmehr als Prüf- oder Maßnahmewerte in der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) für Böden und Sickerwässer bundesweit einheitlich festgeschrieben **[20]**. Für die Gefahrenbeurteilung von Stoffen aus Altlasten für Roh- bzw. Trinkwässer sind entsprechende Werte heranzuziehen, wie im Sanierungsbezug in Kapitel 6 dargestellt wird. Die Gefahrenwerte (GefW) für Trinkwasser sind Auslösewerte für Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen für Wasserressourcen in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen, also Maßnahmewerte im Sinne der Gefahrenerkennung und -abwehr für Trinkwasser. Ort der rechtlichen Gefahrenbeurteilung ist der Übergang von ungesättigter zur gesättigten Bodenzone innerhalb des hydraulischen Einzugsgebietes der

Trinkwasserfassung. Dieser Wert wird entweder direkt gemessen oder über Sickerwassersimulationsmodelle (z.B. LITZ und Mitarbeiter oder SISIM<sup>2</sup>) ermittelt (vgl. Kapitel 6.3 Latente Exposition).

### 3.4 Bewertungskomplexeil C

#### 3.4.1 Übersicht

Über den Bewertungskomplexeil C erfolgt die Bestimmung der Stoffcharakteristik für die trinkwasserhygienische Bewertung. Die Datensätze C7 Toxizitätspotential, C8 biochemische Abbaubarkeit sowie C9 Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit werden zur Bestimmung von Prioritätskontaminanten über die Bildung von Altlastenkoeffizienten (AK) miteinander verknüpft, um eine Gesamtaussage der Stoffgefährlichkeit für Trinkwasser zu erhalten. Die drei Datensätze mit ihren obligatorischen und fakultativen Kriterien sind als Übersicht der Tabelle 7 zu entnehmen.

#### **Tabelle 7** Bewertungskomplexeil C

Kriterien zur Bestimmung der Stoffcharakteristik für die trinkwasserhygienische Bewertung (nicht eingerückt = obligatorische Kriterien; *kursiv und eingerückt* = fakultative Kriterien)

##### **Datensatz C7: Toxizitätspotential von Kontaminanten und Metaboliten\***

- 7.1 Toxikologische Bewertungszahl (BZ)
  - 7.2 Einzelangaben zur chronischen Toxizität, wie NOAEL, ADI u.a.
  - 7.3 Einzelangaben zur akuten Toxizität, vor allem LD<sub>50</sub> (oral) und LC<sub>50</sub> (inhalativ).
  - 7.4 Stoffgefährlichkeitswerte verschiedener Autoren (z.B. System Baden-Württemberg [21, 22])
  - 7.5 Wassergefährdungsklasse (WGK 0-3)
  - 7.6 Ökotoxikologische Daten wie IC<sub>50</sub>, Fischtest, Daphnientest u.a.

##### **Datensatz C8: Biochemische Abbaubarkeit**

- 8.1 Angaben zur biochemischen Abbaubarkeit (Abbauraten auf der Basis eines standardisierten Verfahrens)
  - 8.2 *Abbauergebnisse, die nicht auf standardisierten Verfahren beruhen*
  - 8.3 *Abschätzung der biochemischen Abbaubarkeit aus der chemischen Konstitution*

##### **Datensatz C9: Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit**

- 9.1 Löslichkeit in Wasser (15/20°C)
- 9.2 Angaben zur Adsorbierbarkeit auf der Basis eines standardisierten Verfahrens
  - 9.3 *Adsorbierbarkeit aus nicht standardisierten Verfahren*
  - 9.4 *Weitere Parameter wie Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient, Viskosität, Dampfdruck u.a.*

\* vgl. auch Abkürzungsverzeichnis

---

<sup>2</sup> SISIM = EDV – Modul Sickerwassersimulation. ARGE Fresenius – Focon / Chemlog GbR; hrsg. Umweltbundesamt Berlin, 1999

In die Betrachtung einbezogen werden alle Verdachtskontaminanten aus Anhang I sowie gefährlichen Metabolite, soweit dazu Daten vorliegen oder berechnet werden können.

### 3.4.2 Toxikologische Bewertungszahl

Zur Einschätzung der stoffspezifischen Gefährlichkeit für das Lebensmittel Trinkwasser ist die toxikologische Bewertungszahl ( $BZ_{TOX}$ ) nach DIETER [23, 24] im Rahmen des Kriterienkataloges obligatorisch. Die dimensionslose toxikologische Bewertungszahl wird auf der Grundlage experimenteller Daten für die Quantifizierung der Toxizitätspotentiale der Hauptkontaminanten erstellt und berücksichtigt vorrangig deren orale Aufnahme über das Trinkwasser. Die dafür vorhandenen Stoffdaten (außer Karzinogenität) werden in acht toxikologisch relevanten Teilbereichen dokumentiert und ihrer Bedeutung entsprechend durch unterschiedliche Punktzahlen gewichtet (vgl. Tabelle 8). Das Vorhandensein von Daten zur Karzinogenität wird gesondert bewertet (vgl. Tabelle 10).

**Tabelle 8** Gesamtbeurteilung der toxikologischen Datenbasis

Lfd. Nr.	Daten	Wichtungspunkte
1	subchronische Toxizität	1
2	chronische Toxizität	3
3	Reproduktionstoxizität	2
4	subchronische Immuntoxizität	1
5	chronische Immuntoxizität	2
6	Toxikokinetik	1
7	Biochemie (Blutbild, Serum, Status der Immunzellen u.a.)	1
8	Mutagenität (DNA-Schäden u.a.)	1
Gesamtsumme bei vollständig vorhandenen Daten (= > vollständige toxikologische Stoffinformation)		12

Eine noch ausreichende Bewertbarkeit der toxikologischen Relevanz eines Stoffes ist bei Erreichen von 4 bis 8 Punkten gegeben, gesicherte Bewertungen sind bei 9 bis 12 erreichten Wichtungspunkten möglich. Stoffe mit spärlichen Informationen (1 bis 3 Punkte) sollten nur im Ausnahmefall (gekennzeichnet durch  $BZ_{TOX}$  Klammersetzung) toxikologisch bewertet werden.

Durch gezieltes Zusammenführen der Daten nach Tabelle 8 auf der Basis von Dosis-/Wirkungsbeziehungen, sonstiger tierexperimenteller toxikologischer Prüfungen sowie direkt am Menschen beobachteter Effekte wird die Dosis/Tox-Zahl errechnet, die Werte von 1 (Verbindung ohne Gefahr für die menschliche Gesundheit) bis 100 (hoch toxischer Stoff) annehmen kann [23]. Die Bewertung der Toxizität eines Stoffes durch seine Dosis/Tox-Zahl ist aus Tabelle 9 ersichtlich.

**Tabelle 9** Gruppeneinteilung zur Toxizität

TOX-Gruppe	Dosis/Tox-Zahl	Aussage: Der Stoff ist ...
I	90 – 100	hoch toxisch
II	68 – 89	stark toxisch
III	34 - 67	stark bis mäßig toxisch
IV	12 – 33	mäßig bis schwach toxisch
V	2 – 11	schwach toxisch
VI	1	gesundheitlich nicht relevant

Aus der Dosis/Tox-Zahl wird anschließend der toxikologische Altlastenkoeffizient  $AK_{TOX}$  abgeleitet. Dazu wird, wie in Tabelle 10 dargestellt, die Bewertung von Toxizität und Karzinogenität so zusammengeführt, dass die integrierte Bewertungszahl  $BZ_{TOX}$  wiederum Werte von 1 bis 100 annimmt (naturgemäß werden dadurch Werte im Bereich von 100 häufiger).

Die Kombination der Toxizität mit der Karzinogenität besteht in der Addition von Risikozuschlägen, deren Höhe von der Erkenntnislage zur Karzinogenität abhängt, zur Dosis/Tox-Zahl (zur Definition der RZ vgl. [23]). Die Obergrenzen der endgültigen  $BZ_{TOX}$ -Bereiche werden linear auf einer Skala von 1,0 bis 4,0 abgebildet. Dies sind die toxikologischen Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOX}$ .

Die  $BZ_{TOX}$  lassen sich auch zur Benennung toxikologisch gestützter und gleichzeitig trinkwasserhygienisch akzeptabler Konzentrationsbereiche an der Trinkwasserefassung verwenden [23, 24].

**Tabelle 10** Integrierte Bewertung von Toxizität und Karzinogenität über Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOX}$  auf der Basis der toxikologischen Bewertungszahl  $BZ_{TOX}$  mit Risikozuschlägen RZ

TOX-Gruppe	CANC-Gruppe	$BZ_{TOX}$	Toxizität, Karzinogenität und Risikozuschläge (RZ)	$AK_{TOX}$
I	canc A	100	eindeutig humankarzinogen (RZ = 100)	4,0
I	canc B <sub>1</sub>	100	eindeutig karzinogen im Tierversuch als Initiator <u>oder</u> Anfangsverdacht aus Humandaten bei wahrscheinlicher Initiatorwirkung (RZ = 100)	4,0
I	canc C	90 - 100	hoch toxisch und nicht karzinogen bei adäquater Testung	4,0
II	canc B <sub>2</sub>	68 - 89	stark toxisch und Initiatorwirkung im Tierversuch zweifelhaft, aber begründeter Anfangsverdacht aus Tier- und Strukturdaten (RZ=33)	3,7
IIIa	canc B <sub>3</sub>	51 - 67	stark toxisch <u>oder</u> mäßig toxisch und karzinogen bei nicht oraler Testung (RZ=22)	3,0
IIIb	canc B <sub>2</sub>	34 - 50	stark toxisch <u>oder</u> schwach toxisch und Initiatorwirkung im Tierversuch zweifelhaft, aber begründeter Anfangsverdacht aus Tier- und Strukturdaten (RZ=33)	2,5
IV	canc D	12 - 33	mäßig toxisch <u>oder</u> schwach toxisch und auf Karzinogenität nicht adäquat getestet, kein Verdacht aus Strukturdaten (RZ=11)	2,0
V	canc C	1 - 11	schwach toxisch und nicht karzinogen bei adäquater Testung	1,3
VI	canc C	1	gesundheitlich nicht relevant	1,0

Die Zuordnung duldbarer Konzentrationsbereiche im Trinkwasser für beispielhaft genannte militärisch bedingte Schadstoffe sind in Abhängigkeit von den  $BZ_{TOX}$ -Gruppen in Tabelle 11 aufgeführt.

Bei Anwesenheit mehrerer gleichartig wirkender Schadstoffe im Roh- bzw. Trinkwasser wird zur Ermittlung duldbarer Konzentrationsbereiche auf die bekannte Additionsregel verwiesen **[25]**. Ergänzend muss auf toxikologische Einzeldaten entsprechend Kriterium 7.2 zurückgegriffen werden. Hilfreich können auch Stoffgefährlichkeitswerte sein, die von verschiedenen Autoren dokumentiert werden **[21, 22]**. Aussagen zur akuten Toxizität besitzen eine geringe Aussagekraft. Sie gehen nicht in die Berechnung der  $BZ_{TOX}$ -Werte ein, sind aber für die Beurteilung der akut wirkenden chemischen Kampfstoffe erforderlich, wie z.B. von Soman, Sarin und VX.

**Tabelle 11** Zuordnung von Substanzen im Umfeld militärischer Liegenschaften zu duldbaren Konzentrationsbereichen

Substanz	Toxizitätsgruppe	Bereich noch duldbarer Konzentrationen [µg/l]
Arsen	I	n.n. - 0,1
Tetrachlormethan	I	n.n. - 0,1
Benzol	I	n.n. - 0,1
Vinylchlorid	I	n.n. - 0,1
Blei	II	0,1 – 1
Cadmium	II	0,1 – 1
Trichlormethan	II	0,1 – 1
2,4-Dinitrotoluol	IIIa	1 - 3
Pentachlorphenol	IIIa	1 – 3
Chrom (VI)	IIIa	1 – 3
Trichlorethen	IIIa	1 – 3
Nitrit	IIIa	1 – 3
Quecksilber	IIIa	1 – 3
Phenol	IIIb	3 – 10
Dichlormethan	IIIb	3 – 10
Nickel	IIIb	3 – 10
Chrom (III)	IIIb	3 – 10
Toluol	IV	10 – 100
Xylol	IV	10 – 100
Zink	IV	10 – 100
Nitrat	V	100 – 1000
Phosphat	VI	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>6</sup>

Angaben der Wassergefährdungsklasse 0 – 3 [26] und zur Ökotoxizität sind zwar mit Blickrichtung auf den Schutz des Trinkwassers nachrangig, stellen aber eine Bewertungshilfe beim flächendeckenden Grundwasserschutz dar, wenn keine anderen Daten zur Verfügung stehen. [26]

### 3.4.3 Biochemische Abbaubarkeit

Ein wesentlicher bestimmender Parameter für den Transfer von Stoffen im Untergrund ist ihre milieuspezifische Abbaurate im Boden bzw. im Grundwasser. Ein Stoff, der z.B. durch Mikroorganismen schnell abgebaut werden kann und nur eine geringe Mobilität besitzt, wird

den Nutzungsort (Ort der Trinkwasserentnahme) nicht oder nur in unbedeutenden Konzentrationen erreichen und hat daher i.d.R. eine geringe bzw. keine Relevanz hinsichtlich einer Trinkwassergefährdung. Beim biochemischen Abbau unterscheidet man grundsätzlich zwischen aerobem und anaerobem Abbau. Nur unter aeroben Bedingungen im Untergrund durch Luftsauerstoff oder Sauerstoffdonatoren führt der Abbau organischer Materie im ersten Schritt - in Abhängigkeit von der chemischen Konstitution in sehr unterschiedlichen Zeiträumen - im wesentlichen zu den Endprodukten Wasser, Kohlendioxid und anderen anorganischen Verbindungen, die nicht weiter dissimilierbar sind. Im reduktiven bzw. anaeroben Milieu werden beim Abbau jedoch oft nur Teilprodukte (Metabolite) erzeugt, die bisweilen sogar toxikologisch kritischer als das Ausgangsprodukt einzuschätzen sind. Im Datensatz C8 sind Abbauraten mittels Mikroorganismen daher auf der Basis einer standardisierten Labormethode obligatorisch. Diese sind für den aeroben Abbau vergleichbar mit dem biochemischen Abbau im Oberboden bei Durchschnittstemperaturen von 11-16 °C [27].

Sauerstoffdonatoren, wie z.B. Nitrat aus Düngemitteln oder als Abbauprodukt aus sprengstofftypischen Verbindungen (STV), können dort aerobe Verhältnisse schaffen, wo der Luftsauerstoff nicht mehr hingelangt. Soweit Bedingungen für einen anaeroben Abbau vorliegen, sind die resultierenden Metabolite in die Gefährdungsabschätzung einzubeziehen. Im Ausnahmefall kann auch eine chemische Reaktion – ohne biochemischen Umsatz – (z.B. über eine hydrolytische Reaktion oder über die Bildung freier Radikaler durch UV-Strahlen) vorherrschen.

Die aerobe biochemische Abbaubarkeit von Schadstoffen und anderen Verbindungen ist wegen der Vergleichbarkeit unter standardisierten Laborbedingungen durchzuführen. Dazu gehören:

- Wahl des Gerätetyps, z.B. Warburg - Respirometer,
- einheitliche Ausgangskonzentration, vorzugsweise 100 mg/l (möglicher Bereich 10 - 1000 mg/l),
- einheitliche Reaktionszeit, vorzugsweise 24 Stunden,

- Bemühung um volle Adaption, z.B. unter Verwendung einer Spontanflora in NPK-Nährlösung nach entsprechender Behandlung bzw. durch den Einsatz isolierter Mikroorganismen aus entsprechend oder vergleichbar kontaminierten Bereichen,
- Angabe der Ergebnisse in Prozent (%) vom Messwert als biochemischer Sauerstoffbedarf im Warburg - Respirometer (BSBW) oder analogen Geräten zum BSBT (theoretisch möglicher Sauerstoffbedarf auf Berechnungsbasis) bei chemisch definierten Verbindungen

oder

- Angabe der Ergebnisse in Prozent zum Messwert als BSBW zum Chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) bei chemisch nicht eindeutig definierten Verbindungen oder Gemischen (z.B. Vergaserkraftstoff).
- Wird bei Abbauuntersuchungen der CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) anstelle des BSBT als Bezugsbasis verwendet, ist zu berücksichtigen, dass der CSB nicht bei allen Substanzen eine vollständige Oxidation abbildet. Bezieht man sich auf den ermittelten CSB, kann deshalb die daraus berechnete Abbaurate zu hoch ausfallen. Aus diesem Grund sind die hieraus resultierenden Ergebnisse zur Unterscheidung mit "Untersuchungswert-CSB" zu kennzeichnen.
- Erste erweiterte Untersuchung:  
Prüfung auf Abhängigkeit der Abbaurate von der Stoffkonzentration.
- Zweite erweiterte Untersuchung:  
Verlängerung der Reaktionszeit > 24 Stunden für Substanzen mit eingeschränkter Abbaubarkeit.

Die Angabe zur biochemischen Abbaubarkeit (BIO-Gruppe) erfolgt wie bei der Toxikologie als Bewertungszahl bzw. als Altlastenkoeffizient ( $BZ_{\text{BIO}}$  bzw.  $AK_{\text{BIO}}$ ) und zwar für organische Substanzen in fünf und für anorganische Stoffe in zwei Abstufungen (vgl. Tabelle 12).

Bei einigen wenigen Substanzen verläuft, wie erwähnt, der chemische Umsatz, z.B. infolge von Hydrolyse, wesentlich schneller als der biochemische Abbau und ist somit unter Beachtung der toxikologischen Eigenschaften der Zersetzungsprodukte zu berücksichtigen.



**Tabelle 12** Einstufung der biochemischen Abbaubarkeit von chemischen Verbindungen inklusive militärischer Altlasten

(A bis D = Organika; E1 und E2 = Anorganika)

BZ <sub>BIO</sub>	BIO-Gruppe	Aussage	AK <sub>BIO</sub>
1 - 25	A	leicht abbaubar	1,0
26 - 50	B1	mit Einschränkung abbaubar	1,3
51 - 75	B2	teilweise abbaubar	1,5
76 - 95	C	schwer abbaubar	1,8
96 - 100	D	nicht abbaubar	2,0
100	E1	Anorganika - biochemisch stabil	2,0
26-75	E2	Anorganika - biochemischer Umsatz möglich	1,5

In Tabelle 13 sind die charakterisierenden Aussagen der fünf organischen und zwei anorganischen BIO-Gruppen als Ergebnisse der biochemischen Abbaubarkeit unter standardisierten Bedingungen und die Aussage für die Praxis zusammengefasst.

Alle Stoffe der BIO-Gruppe A werden im wässrigen Medium unter adaptierten und ausreichenden O<sub>2</sub>-Bedingungen biochemisch leicht vor allem zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut. Bei organischen Stickstoffverbindungen erfolgt anschließend die Nitrifikation. Da ein Teil des organischen Materials dem Baustoffwechsel unterliegt, werden gemessen am Gesamtumsatz bei respiratorischen Methoden keine 100% erreicht, auch wenn die Substanz vollständig umgesetzt wird.

Organische Verbindungen der BIO-Gruppe B (B1 und B2) sind durch einen unvollständigen Abbau (20% bis 59% zum BSBT bzw. CSB) oder verminderte Abbaugeschwindigkeiten charakterisiert.

Deutlich reduzierte Reaktionsumsätze weisen Vertreter der BIO-Gruppe C auf.

**Tabelle 13** Einordnung organischer Verbindungen hinsichtlich ihrer biochemischen Abbaubarkeit auf der Basis einer standardisierten Labormethode unter Berücksichtigung der Wasserlöslichkeit und möglicher Inhibitorwirkung

Gruppe	Abbaubarkeit [%]	BZ <sub>BIO</sub>	AK <sub>BI</sub> <sub>o</sub>	Dissimilationsaussagen	Wasserlöslichkeit [mg/l]	Inhibitorwirkung [mg/l]	BIO - t <sub>1/2</sub>	in-situ-Adaptionsdauer	Charakteristik
A	≥60	1 - 25	1,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dissimilation vollständig oder nahezu vollständig zu CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SO<sub>3</sub> usw.</li> <li>▪ Abbaurrate weitgehend unabhängig von der Ausgangskonzentration</li> </ul>	≥10	keine	Stunden oder Tage	Stunden oder Tage aus Spontanflora	leicht abbaubar
B1	≥40 - 59	26 - 50	1,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abbau nicht vollständig</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ der vollständige Abbau wird nicht in der fixierten Reaktionszeit erreicht</li> </ul>	≥10	keine	<1 Jahr	ein oder mehrere Tag(e) bzw. Wochen aus Spontanflora	mit Einschränkungen abbaubar
B2	≥20 - 39	51 - 75	1,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ gegenüber B1 weiter eingeschränkter Abbau</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ noch stärker prolongierte Dissimilationsdauer</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inhibitorwirkung</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eingeschränkte Wasserlöslichkeit</li> </ul>	≥10	<100	<1 Jahr		teilweise abbaubar
C	≥5 - 19	76 - 95	1,8	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nur geringer biochemischer Umsatz</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ auch bei deutlich verlängerten Reaktionszeiten nur geringe Zunahme der Abbaurrate</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ deutliche Inhibitorwirkung</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ stark eingeschränkte Wasserlöslichkeit</li> </ul>	<10	<10	>1 Jahr	Wochen oder Monate aus Spontanflora	schwer abbaubar

Gruppe	Abbaubarkeit [%]	BZ <sub>BIO</sub>	AK <sub>BI</sub> <sub>o</sub>	Dissimilationsaussagen	Wasserlöslichkeit [mg/l]	Inhibitorwirkung [mg/l]	BIO - t <sub>1/2</sub>	in-situ-Adaptionsdauer	Charakteristik
D	0 - 4	96 - 100	2,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ kein biochemischer Umsatz (max. 4% durch Messfehler oder/und Verunreinigung)</li> <li>▪ auch bei stark verlängerten Reaktionszeiten kein biochemischer Abbau</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ starke Inhibitorwirkung</li> </ul> <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sehr stark eingeschränkte Wasserlöslichkeit</li> </ul>	<1	<1	>>1 Jahr	Aus Spontanflora kaum möglich, ev. durch spezielle isolierte und entwickelte Bakterienkulturen, ev. durch gentechnische Manipulation	nicht abbaubar
E1	0	100	2,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ biochemisch stabil bzw. nur irrelevanter Umsatz</li> </ul>	<1 - ∞	vorwiegend keine bis z.T. möglich	∞	ohne Bedeutung	nicht abbaubar
E2	0 - 100	1 - 100	1,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ biochemisch abbaubar bei stark prolongierter Dissimilationsdauer (Monate bis Jahre)</li> </ul>	<1 - ∞	nur vereinzelt (z.B. CN <sup>-</sup> >30 mg/l)	<1 Jahr	Tage bzw. Wochen	abbaubar

Für nicht definierte Verbindungen oder Substanzgemische unbekannter Zusammensetzung muss, wie oben dargelegt, auf den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) als Bezugsgröße zurückgegriffen werden.

Zur BIO-Gruppe D gehören viele halogenierte Verbindungen, die unter standardisierten Bedingungen biochemisch nicht abbaubar sind. Das betrifft auch eine Anzahl von Prioritätskontaminanten aus militärischen Altlasten. "Biochemisch nicht abbaubar" weist auf, wenn überhaupt, sehr langsamen und vor allem unvollständigen Umsatz hin.

Substanzen, die einen  $AK_{L\ddot{o}s}$  von 1,9 haben werden in die BIO-Gruppe C, solche mit einem  $AK_{L\ddot{o}s}$  von 2,0 werden in die BIO-Gruppe D eingestuft, da Schwer- bzw. Unlöslichkeit den Abbauprozess entsprechend der Dissimilationsaussage lt. Tabelle 13 wesentlich verzögert bzw. unmöglich macht. Sind weder Abbauraten noch Ergebnisse aus standardisierten Methoden bekannt, so können zwar "wilde" Ergebnisse (Kriterium 8.2) informativ sein; sie sind aber meist für die Zuordnung zu einer BIO-Gruppe nach Tabelle 12 ungeeignet. Eine Ausnahme bilden Organika, die ausschließlich oder bevorzugt nicht-biochemischen Reaktionen unterworfen sind, sondern z.B. photochemischen Reaktionen aus Umsetzungen mittels Sonnenlicht oder hydrolytischen Prozessen. In diesen Fällen ist die jeweilige Umsatzrate auf die entsprechende BIO-Gruppe zu übertragen. Als Beispiel sei Zyanid genannt, das sowohl der organischen als auch der anorganischen Chemie zugeordnet werden kann. Beim Ansatz mit Natriumzyanid ( $NaCN$ ) erfolgt der biochemische Abbau bis zu einer Ausgangskonzentration von 50 mg/l zu Kohlendioxid und schließlich zu Nitrat. Mit steigender Konzentration wird der biochemische Abbau blockiert und der chemische Umsatz dominiert unter Bildung von Natriumformiat, das in einem nachfolgenden Prozess biochemisch ebenfalls zu Kohlendioxid und Nitrat dissimilierbar ist.

Bei Abwesenheit von Luftsauerstoff und wassergelösten  $O_2$ -Donatoren ist für eine Reihe von organischen Substanzen eine Teiloxidation unter Ausnutzung des molekularen Sauerstoffanteils theoretisch möglich. Voraussetzungen dazu sind, dass die Substanz in Wasser gelöst vorliegt, adaptierte Mikroorganismen anwesend und Inhibitoren nicht vorhanden sind. Der so theoretisch erreichbare Wert dieses **IntraMolekularen** Stoffumsatzes wird als BSB-IM in mg  $O_2$ /g Substanz angegeben. Aus  $BSB-IM \cdot BSBT^{-1}$  resultiert der prozentuale maximale Stoffumsatz.

Liegen widersprüchliche Aussagen zu Kriterium 8.2 vor oder sind keine Untersuchungsergebnisse recherchierbar (Kriterium 8.3), ist von Experten der biochemische Abbau aus der strukturellen Gegebenheit mit annähernder Wahrscheinlichkeit analog Wirkung und Reaktion bei Arzneimitteln einzuschätzen; dazu liegen jahrzehntelange Erfahrungen vor. Eine Anzahl der den aeroben biochemisch Abbau beeinflussenden Faktoren ist in Tabelle 14 zusammengestellt.

**Tabelle 14** Beispiele zur Abhängigkeit des biochemischen Abbaus von der chemischen Konstitution

**negative Faktoren**

- steigende Kettenlänge von n-Aliphaten
- steigende Ringzahl von Aromaten
- Verzweigung der aliphatischen Kette, sekundäre und tertiäre Verbindungen
- aliphatische Doppelbindungen
- Halogensubstitution
- Häufung von funktionellen Gruppen, außer Halogen,
- Blockierung der ortho-Stellung im Benzolgrundgerüst, außer phenolische Gruppe
- beschränkte Wasserlöslichkeit ( $AK_{L\text{ös}} = 1,5$ )

**positive Faktoren**

- Anwesenheit funktioneller Gruppen, vor allem Hydroxyl-, Carboxyl-, Sulfon-, Sulfonat-, Carbonyl- und Aminogruppen
- Metabolite mit zunehmender Wasserlöslichkeit im Vergleich zur Primärsubstanz

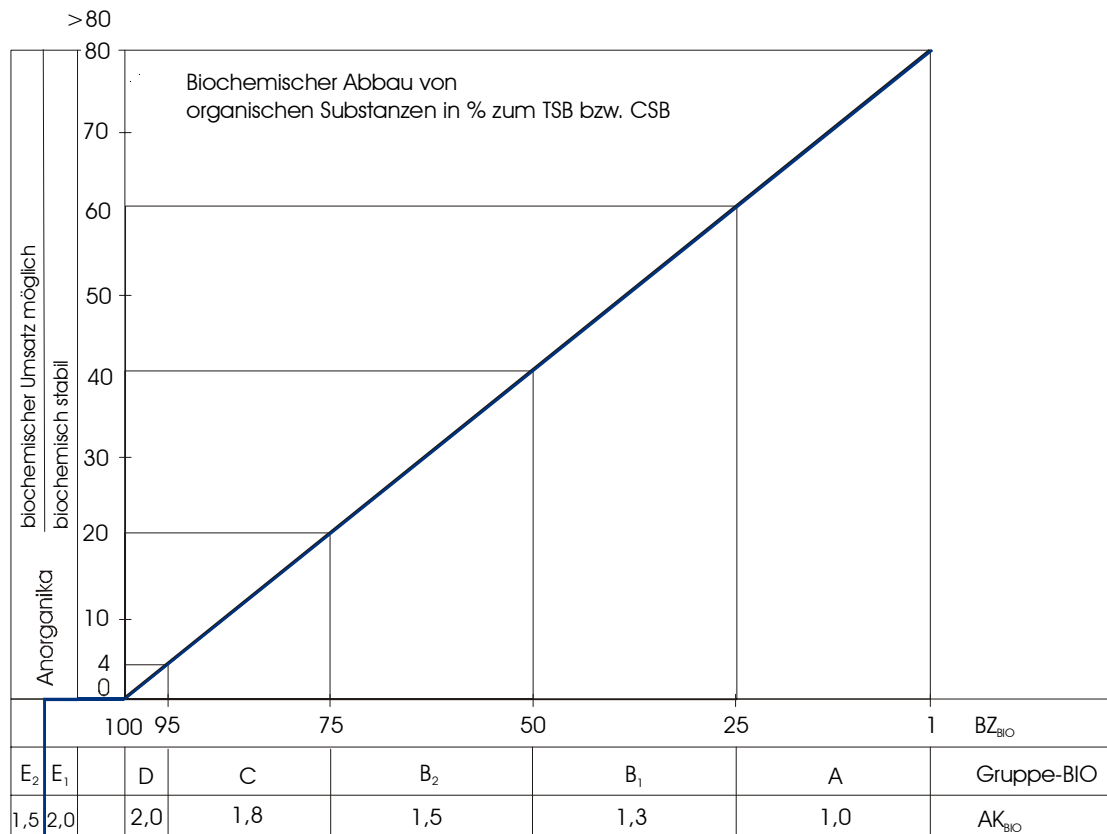
**Blockierung (kein Abbau)**

- schwer oder nicht lösliche Verbindung ( $AK_{L\text{ös}} \geq 1,9$ )
- Verbindungen mit bakterizider Wirkung
- Häufung von Halogensubstitution

In Bild 2 ist die Zuordnung der biochemischen Abbaubarkeit in Relation zur Bewertungszahl ( $BZ_{\text{BIO}}$ ), zur Gruppeneinteilung (Gruppe-BIO) und zum Altlastenkoeffizienten ( $AK_{\text{BIO}}$ ) auf der Basis von Laborbedingungen dargestellt.

Die eindeutigen und dominierenden Relationen zwischen chemischer Konstitution und biochemischer Abbaubarkeit von Organika ist bei anorganischen Verbindungen nicht in der Spezifikation gegeben, da hier nur zwei Alternativen existieren; entweder

- ein Stoffabbau findet nicht statt oder
- eine Stoffeliminierung ist auf biochemischem Weg möglich.



**Bild 2** Biochemischer Abbau von organischen und anorganischen Substanzen in Relation zur Bewertungszahl  $BZ_{BIO}$ , zur Gruppeneinteilung Gruppe-BIO und zum Altlastenkoeffizienten  $AK_{BIO}$

Die Einstufung anorganischer Substanzen in das Bewertungssystem "Biochemischer Abbau" ist in [Tabelle 15](#) beschrieben. Die meisten anorganischen Stoffe gehören der Gruppe  $E_1$  an und sind als „biochemisch stabil“ anzusehen bzw. im Sinne der Fragestellung erfolgt ein nur unbedeutender Stoffumsatz. Dies gilt auch für chemische Reaktionen, die im Boden oder Grundwasser stattfinden können. Daraus werden zwei Untergruppen gebildet:

Die Untergruppe a enthält Anorganika, die unverändert im Untergrund erhalten bleiben. Der Untergruppe b gehören alle anorganischen Verbindungen an, die zwar Reaktionen eingehen können, aber die Gesamtstoffbilanz nicht beeinflussen. In [Tabelle 15](#) sind dazu vier charakteristische Beispiele aufgeführt.

**Table 15** Einstufung anorganischer Verbindungen in das Bewertungssystem  
"Biochemischer Abbau"

Gruppe	Aussage / Beispiele / Folgerung
E1	biochemisch stabil bzw. nur untergeordneter Umsatz
Untergruppe a	reaktionsneutral relevante Schadstoffgruppen: - Elemente (z.B. Blei) - Oxide (z.B. Chromoxid) - Mehrzahl der Kationen
Untergruppe b	Reaktionen möglich relevante Beispiele: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}</math> (lösl. Eisenverb.) (schwer lösl. Eisenverb.)</li> <li>2. <math>\text{As}^{3+} \rightleftharpoons \text{As}^{5+}</math> (z.B. Arsenit <math>\text{AsO}_3^{3-}</math>) (z.B. Arsenat <math>\text{AsO}_4^{3-}</math>)</li> <li>3. <math>\text{Cr}^{3+} \rightleftharpoons \text{Cr}^{6+}</math> (z.B. Chromsulfat <math>\text{Cr}(\text{SO}_4)_3</math>) (z.B. Chromat <math>\text{CrO}_4^{2-}</math> u. Dichromat <math>\text{CrO}_7^{2-}</math>)</li> <li>4. <math>\text{S}^{2-} / \text{HS}^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-}</math> (Sulfid / Hydrogensulfid) (Sulfit) (Sulfat)</li> </ol>
<u>Folgerung:</u>	Keine stoffliche Verminderung in Wasser und Boden durch biochemische Reaktionen Gruppe E1 $\equiv$ Gruppe D
E2	biochemischer Umsatz möglich relevante Verbindungen <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\text{NH}_4^+</math> Ammonium (Sprengpulver Ammoniumnitrat)</li> <li>- <math>\text{NO}_2^-</math> Nitrit (aus Nitrifikation / Denitrifikation)</li> <li>- <math>\text{NO}_3^-</math> Nitrat (Sprengpulver)</li> <li>- <math>\text{CN}^-</math> Zyanid (Sabotagegift)</li> <li>- <math>\text{CNO}^-</math> Fulminat (Initialsprengstoff)</li> <li>- <math>\text{N}_3^-</math> Azid (Initialsprengstoff)</li> <li>- <math>\text{NCO}^-</math> Cyanat</li> <li>- <math>\text{CO}_3^{2-} / \text{HCO}_3^-</math> Carbonat / Hydrogencarbonat</li> </ul>
<u>Folgerung:</u>	Alle Verbindungen können durch biochemisch bedingte Reaktionen oxidativ oder reduktiv (oder in Kombination, z.T. über pH-Wert-Änderung) bei prolongierter Reaktionszeit vollständig eliminiert werden Gruppe E2 $\equiv$ Gruppe B2

Beide Untergruppen schließen eine Stoffminderung durch biochemische Umsetzung aus. Damit entspricht die BIO-Gruppe E1 in der Aussage der BIO-Gruppe D. Interessant für den Stoffumsatz ist die Gruppe E2, da hier bei entsprechenden Voraussetzungen eine vollständige Eliminierung anorganischer Substanzen mittels biochemischer Reaktionen (im Ausnahmefall auch durch rein chemische Vorgänge im Untergrund) möglich ist. Voraussetzungen dafür sind vor allem:

- Anwesenheit spezieller Mikroorganismen im wässrigen Medium,
- Sauerstoff oder  $\text{O}_2$ -Donatoren für aeroben Abbau,

- Red-Ox-Potential bei Anwesenheit von Anaerobiern bzw. reduktiven Prozessen,
- Zum Teil Kombination von aeroben und anaeroben Vorgängen und pH-Wert-Änderungen.

Sind entsprechende Bedingungen erfüllt, kann eine zeitlich verzögerte Eliminierung erfolgen. Damit ist die Gruppe E2 weitestgehend in ihrer Aussage der Gruppe B2 gleichzusetzen.

#### 3.4.4 Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit

Neben der Toxikologie und der biochemischen Abbaubarkeit werden Verdachtskontaminanten (Targetstoffe) aus militärischen Altlasten durch ihr Migrationsverhalten (Wanderung von Stoffen aus Altlastverdachtsflächen zur Rohwasserentnahmestelle) charakterisiert. Dafür sind eine Reihe von Parametern verantwortlich, die sich z.T. gegenseitig beeinflussen oder voneinander abhängen, wie die Löslichkeit in Wasser, die Adsorbierbarkeit an Bodenmaterialien, der Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient, die Viskosität, der Dampfdruck u.a. (vgl. Tabelle 7). Zwei wesentliche Kriterien, nämlich die Wasserlöslichkeit (definiert als Stoffmenge gelöster Substanz in g in einem Volumen von 1 l Wasser) und die Adsorbierbarkeit (definiert als Stoffmenge Adsorbat in mg an 1 g Adsorbens), sind als obligatorisch in den Kriterienkatalog aufgenommen worden. Alle anderen Parameter gelten als fakultativ und sind vor allem dann gefragt, wenn Angaben zur Löslichkeit und Adsorbierbarkeit fehlen.

Zur grundsätzlichen Information wird jeweils eine Fünfteilung der beiden Kriterien Löslichkeit und Adsorbierbarkeit für ausreichend erachtet. Für das Kriterium 9.1 ergibt sich damit die Unterscheidung in sehr schwer, schwer, mittelmäßig, leicht und sehr leicht löslich mit der Zuordnung des Altlastenkoeffizienten  $1 \leq AK_{LÖS} \leq 2$ . Die Angaben für  $AK_{LÖS}$  (Index LÖS für Wasserlöslichkeit) sind in Tabelle 16 aufgeführt.

**Tabelle 16** Bewertung der Löslichkeit von Kontaminanten in Wasser als  $AK_{LÖS}$

Löslichkeit [mg/l] bei 20 °C	Aussage	Altlastenkoeffizient $AK_{LÖS}$
<1	sehr schwer löslich	2,0
1 - <10	schwer löslich	1,9
10 – <100	mittelmäßig löslich	1,5
100 - <1000	leicht löslich	1,2
>1000	sehr leicht löslich	1,0



Zur Erfassung der Adsorbierbarkeit der Stoffe gibt es eine Reihe von Verfahren, die sich aber letztendlich alle zu der beabsichtigten Fünfeinteilung führen lassen. Die Autoren sind sich dabei der Problematik von spontanen Desorptionsvorgängen im Untergrund bewusst, die hierbei nicht berücksichtigt werden können. In diesem System wird die Einschätzung der Adsorbierbarkeit aus wässrigem Medium über standardisierte Verfahren für Kohle und Absorberharze gewählt; zudem liegen hierzu ausreichend Messwerte vor [28]. Die Ausgangskonzentration des Modellwassers beträgt i.d.R. 100 mg/l, die Versuchstemperatur liegt bei 10 - 20 °C. Die Auswertung der Versuchsergebnisse erfolgt mit Hilfe der Langmuir-Isotherme. Für die Charakterisierung des Adsorptionseffektes dient die Gleichgewichtsbeladung  $Q_{\infty}$ . In Tabelle 17 ist die Zuordnung des Altlastenkoeffizienten  $1 \leq AK_{ADS} \leq 2$  dargestellt. Die Angabe erfolgt wiederum in Form des Altlastenkoeffizienten als  $AK_{ADS}$  mit dem entsprechenden Index für Adsorption.

**Tabelle 17** Gruppeneinteilung zur Beurteilung der Adsorbierbarkeit

Gleichgewichtsbeladung $Q_{\infty}$ [mg/g]	Aussage zur Adsorbierbarkeit	Altlastenkoeffizient $AK_{ADS}$
$\geq 100$	sehr hoch	2,0
>49 - 99	hoch	1,9
>19 - 49	mittel	1,7
>2 - 19	gering	1,3
$\leq 2$	sehr gering	1,0

### 3.4.5 Toxikologische Relevanz

Die toxikologische Relevanz ist ein Maß für die toxikologische Bedeutung eines Stoffes unter dem Aspekt, dass das Zustandekommen einer toxischen Schädigung, außer von der Toxizität selbst, noch von anderen Faktoren abhängig ist. Unter Berücksichtigung der Aufgabenstellung sind hier z.B. die Stabilität der Verbindung, die Art der Verteilung und die Möglichkeit einer spontanen geochemischen Entgiftung zu nennen. Weitaus wichtigster Parameter ist die biochemische Abbaubarkeit eines Stoffes im Untergrund. Im Kriterienkatalog werden deshalb

die Angaben zur Toxizität und zur Abbaubarkeit zwecks Relativierung und als Entscheidungshilfe über die Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOX}$  und  $AK_{BIO}$  verknüpft:

$$6 \geq AK_{TOR} = AK_{TOX} + AK_{BIO} \geq 2 \quad (Gl. 1)$$

Wie Gleichung 1 ausweist, erfolgt die Verknüpfung von  $AK_{TOX}$  und  $AK_{BIO}$  additiv und nimmt im Ergebnis als  $AK_{TOR}$  (aus toxikologische Relevanz) Werte von 2 bis 6 an. Aus der Aussage zur "Toxikologischen Relevanz" folgt, dass der Toxizität in der  $AK_{TOR}$  - Beurteilung eine höhere Bedeutung beizumessen ist, als der sie beeinflussenden Faktoren. Aus diesem Grund erfährt der Altlastenkoeffizient  $AK_{TOX}$  im Kriterienkatalog eine doppelte Wichtung gegenüber dem Altlastenkoeffizienten  $AK_{BIO}$ . Diese Differenzierung ist auch begründet in der Tatsache, dass in den kritischen Bereichen  $AK_{TOX} = 2,5 - 4$  und  $AK_{BIO} = 1,3 - 2$  durch eine Erhöhung der Schadstoffkonzentration, die Dosis-Wirkungsbeziehung deutlich stärker beeinflusst wird, als die Minderung der biochemischen Abbaubarkeit (Faktor 2 und höher).

Bei Anwesenheit mehrerer Schadstoffe wird für  $AK_{TOX}$  die bereits genannte Summenregel angewendet; analog kann mit dem  $AK_{BIO}$  verfahren werden. Den höchsten Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  weist ein Einzelschadstoff auf, der ein hohes Toxizitätspotential besitzt und biochemisch nicht abbaubar ist. Dagegen tendieren leicht dissimilierbare Substanzen mit geringer Toxizität gegen Werte  $< 3$ . Eine Orientierungshilfe zur Aussage des  $AK_{TOR}$  ist Bild 3 zu entnehmen.



**Bild 3** Schematische Aussagen zum Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$

Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  für organische Substanzen, die auf militärischen Altlastverdachtsflächen ermittelt wurden bzw. als Ergebnis der Auswertung angetroffen werden können, sind in Tabelle 18 aufgeführt. Angaben von Altlastenkoeffizienten in Klammern beruhen auf geschätzten Werten.

**Tabelle 18** Beispiele von Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen Altlastverdachtsflächen

lfd. Nr.	Substanz	Formel / Kurzzeichen	$AK_{TOX}$	$AK_{BIO}$	$AK_{TOR}$
1	DDT <sup>1</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2Cl_3$	4,0	2,0	6,0
2	DDD <sup>2</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2HCl_2$	4,0	2,0	6,0
3	Tetrachlormethan	$CCl_4$	4,0	2,0	6,0
4	Vinylchlorid	$CHCl = CH_2$	4,0	2,0	6,0
5	Tetrachlordibenzdioxin	TCDD	(4,0)	2,0	(6,0)
6	Polychlorierte Biphenyle	PCBs	(4,0)	2,0	(6,0)
7	Tetryl	$C_6H_2 \cdot (N \cdot CH_3, NO_2) \cdot (NO_2)_3$	4,0	(1,8)	(5,8)
8	2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure	2,4,5-T	(4,0)	1,8	(5,8)
9	Tetrachlorethen	$C_2Cl_4$ (Per)	3,7	2,0	5,7
10	Trichlormethan	$CHCl_3$	3,7	2,0	5,7
11	Benzol	$C_6H_6$	4,0	1,5	5,5
12	2,4,6-Trinitrotoluol	$C_6H_2 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_3$ (2,4,6-TNT)	3,7	1,8	5,5
13	2,6-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,6-DNT)	(4,0)	1,5	(5,5)
14	Dichlormethan	$CH_2Cl_2$	3,0	2,0	5,0
15	Pentachlorphenol	$C_6Cl_5OH$ (PCP)	3,0	2,0	5,0
16	Trichlorethen	$CHCl \cdot CCl_2$ (Tri)	3,0	2,0	5,0
17	1,4-Dichlorbenzol	$C_6H_4 \cdot Cl_2$	3,0	2,0	5,0
18	Naphthalin	$C_{10}H_8$	3,0	1,8	4,8
19	DDA <sup>4</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$	(3,0)	1,8	(4,8)
20	Nitrofen <sup>3</sup>	$NO_2 \cdot C_6H_4 \cdot O \cdot C_6H_4Cl_2$	(3,0)	1,8	(4,8)
21	2,4-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,4-DNT)	(3,0)	1,5	(4,5)
22	Phenol	$C_6H_5OH$	3,0	1,0	4,0
23	Hexogen	$(CH_2N)_3 \cdot (NO_2)_3$	(3,0)	1,0	(4,0)

lfd. Nr.	Substanz	Formel / Kurzzeichen	AK <sub>TOX</sub>	AK <sub>BIO</sub>	AK <sub>TOR</sub>
24	Xylol	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> · (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,0	1,8	3,8
25	Benzin	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	(2,0)	1,8	(3,8)
26	Toluol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> · CH <sub>3</sub>	2,0	1,3	3,3
27	Methanol	CH <sub>3</sub> OH	(2,0)	1,0	(3,0)
28	Nonylphenoloctaglykolether <sup>5</sup>	C <sub>9</sub> H <sub>19</sub> · C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> · O(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O) <sub>8</sub> H	(1,5)	1,5	(3,0)
29	Dodecylbenzolsulfonat <sup>6</sup>	C <sub>12</sub> H <sub>25</sub> · C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> · SO <sub>3</sub> Na	(1,5)	1,3	(2,8)
30	1,2-Propandiol	CH <sub>2</sub> OH · CHOH · CH <sub>3</sub>	(1,5)	1,3	(2,8)
31	Glykol	(CH <sub>2</sub> OH) <sub>2</sub>	(1,5)	1,0	(2,5)

<sup>1</sup> Dichlordiphenyltrichlorethan (Insektizid); <sup>2</sup> Dichlordiphenyldichlorethan; <sup>3</sup> 2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether (Herbizid);

<sup>4</sup> Dichlordiphenyllessigsäure; <sup>5</sup> nichtionisches Tensid; <sup>6</sup> anionaktives Tensid

Auf der Basis der bisherigen Recherchen sind Substanzen mit einem Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR} \geq 5$  suspekt und geben auch noch nach Jahrzehnten zu unmittelbarem Handlungsbedarf Anlass. Im Gegensatz dazu können Stoffe mit einem Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR} \leq 3$  gemäß Aufgabenstellung i.d.R. vernachlässigt werden, da die Wahrscheinlichkeit der Präsenz im Laufe der Jahre, vor allem bei optimaler Verteilung, immer mehr abnimmt. Für Substanzen, die innerhalb der Grenzen von  $3 < AK_{TOR} < 5$  einzuordnen sind, ist zur Entscheidungsfindung vorrangig, deren stoffbezogene Mobilität bzw. Persistenz in Ansatz zu bringen (vgl. Kapitel 3.4.6). Diese führt entweder zur Rückstufung in GS<sub>C</sub> II mit der Aussage „festgestellte Altlast, aber langfristig keine Auswirkungen auf Wasserressourcen“ (vgl. Einstufungsraster Kapitel 4) oder gibt Anlass zu verstärkter Einflussnahme. Weitere Erläuterungen bezüglich der Arbeitsschritte im Bewertungskomplettteil C sind Kapitel 5.4 zu entnehmen.

In Tabelle 19 sind die Altlastenkoeffizienten für anorganische Stoffe aufgeführt, die auf militärischen Altlastverdachtsflächen analytisch erfasst wurden. Auch für anorganische Kontaminanten mit  $AK_{TOR} \geq 5$  ist dringender Handlungsbedarf angezeigt. Für Altlastenstoffe, mit  $AK_{TOR} \leq 3$  können i.a. Rückstufungen in die Gefährdungsstufe GS II vorgenommen, wenn diese Substanzen die alleinigen Verunreinigungen einer Altlast darstellen (vgl. Tabelle 4). Die Entscheidung für alle übrigen Substanzen mit  $3 < AK_{TOR} < 5$  ist wiederum im wesentlichen von der stoffspezifischen Mobilität abhängig.

**Tabelle 19** Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  für anorganische Substanzen inklusive Kontaminanten auf militärischen Altlastverdachtsflächen

Lfd.Nr	Substanz	Formel / Kurzzeichen	$AK_{TOX}$	$AK_{BIO}$	$AK_{TOR}$
1	Arsen	As	4,0	2,0	6,0
2	Blei	Pb	3,7	2,0	5,7
3	Cadmium	Cd	3,7	2,0	5,7
4	Quecksilber	Hg	3,0	2,0	5,0
5	Nickel	Ni	3,0	2,0	5,0
6	Chrom-III	Cr-III	3,0	2,0	5,0
7	Chrom-VI	Cr-VI	3,0	2,0	5,0
8	Nitrit	$NO_2^-$	3,0	1,5	4,5
9	Cyanid	$CN^-$	(3,0)	1,5	(4,5)
10	Mangan	Mn	2,0	2,0	4,0
11	Zink	Zn	2,0	2,0	4,0
12	Chlorat	$ClO_3^-$	(2,5)	1,5	(4,0)
13	Phosphat	$PO_4^{3-}$	1,0	2,0	3,0
14	Eisen	Fe	1,0	2,0	3,0
15	Ammonium	$NH_4^+$	1,5	1,5	3,0
16	Nitrat	$NO_3^-$	1,5	1,5	3,0

### 3.4.6 Stoffspezifische Mobilität

Als Näherungswert für die stoffspezifische Mobilität bzw. Persistenz von Substanzen im Zusammenhang mit militärischen Altlasten dient der Altlastenkoeffizient  $AK_{MOB}$ , der sich aus der additiven Verknüpfung der beiden Altlastenkoeffizienten für Wasserlöslichkeit  $AK_{LÖS}$  und Adsorbierbarkeit  $AK_{ADS}$  nach Gl. 2 ergibt.

$$4 \geq AK_{MOB} = AK_{LÖS} + AK_{ADS} \geq 2 \quad (Gl. 2)$$

Mit abnehmendem  $AK_{MOB}$  erhöht sich die physikochemisch bedingte Mobilität. Umgekehrt sind Schadstoffe mit hohem  $AK_{MOB}$  durch tendenziell lange Verweilzeiten im Untergrund charakterisiert (vgl. Tabelle 20).

**Tabelle 20** Gruppeneinteilung zur Beurteilung der Mobilität über den Altlastenkoeffizienten

$AK_{MOB}$

Altlastenkoeffizient $AK_{MOB}$	Aussage
2,0 - 2,4	sehr hohe Mobilität
2,5 - 2,7	hohe Mobilität
2,8 - 3,2	mittlere Mobilität
3,3 - 3,7	geringe Mobilität
3,8 - 4,0	keine Mobilität

Für einige der in Tabelle 18 ausgewählten organischen Substanzen auf militärischen Altlastverdachtsflächen sind die  $AK_{LÖS}$  und die  $AK_{ADS}$  sowie die daraus resultierenden Altlastenkoeffizienten  $AK_{MOB}$  in Tabelle 21 aufgeführt [29]. Für Angaben von Zahlenwerten in Klammern liegen keine exakten oder nur unvollständige Ergebnisse vor.

Die mit  $AK_{MOB} = 4$  ausgewiesenen Substanzen TCDD, DDT, PCBs und DDD, die aufgrund der hohen Adsorbierbarkeit und geringen Wasserlöslichkeit keine bzw. nur geringe Mobilität im Untergrund besitzen, sind zudem toxikologisch relevant und biochemisch schwer abbaubar, so dass Gefahren am Ort der Altlasten noch nach vielen Jahrzehnten nicht auszuschließen sind (relevant z.B. für solche Altlasten im nahen Einzugsgebiet von Trinkwasserfassungen oder im Fall einer Nachnutzung dieser militärischen Flächen als Wohnbebauung). Dagegen kann der Lösemittelmetabolit Vinylchlorid bei ebenso hoher toxikologischer Relevanz aber gleichzeitig guter Wasserlöslichkeit und geringer Akkumulierbarkeit erfahrungsgemäß schnell bis sehr schnell in das Grundwasser und in Abhängigkeit von der Standortcharakteristik nach relativ kurzer Zeit in Trinkwasserbrunnen gelangen.

Kontaminanten mit niedrigen  $AK_{TOR}$  und niedrigen  $AK_{MOB}$ -Werten wie beispielsweise Methanol als Enteisungsmittel und Glykol als Gefrierschutzmittel sind durch hohe Eliminierungsraten charakterisiert und in Abhängigkeit von den örtlichen und zeitlichen Gegebenheiten als Altlastenstoff i.d.R. bereits vernachlässigbar.

**Tabelle 21** Beispiele von Altlastenkoeffizienten  $AK_{MOB}$  für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen Altlastverdachtsflächen

lfd. Nr	Substanz	Formel / Kurzzeichen	Lösl. [mg/l]	$AK_{LÖS}$	$AK_{ADS}$	$AK_{MOB}$
1	Tetrachlordibenzdioxin	TCDD	0,000019	2,0	2,0	4,0
2	DDT <sup>1</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2Cl_3$	0,0017	2,0	2,0	4,0
3	Polychlorierte Biphenyle	PCBs	0,04-0,40	2,0	2,0	4,0
4	DDD <sup>2</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2HCl_2$	0,16	2,0	(2,0)	(4,0)
5	Pentachlorphenol	$C_6Cl_5OH$ (PCP)	14	1,5	2,0	3,5
6	Naphthalin	$C_{10}H_8$	31	1,5	2,0	3,5
7	1,4-Dichlorbenzol	$C_6H_4 \cdot Cl_2$	81,3	1,5	2,0	3,5
8	Benzinkohlenwasserstoffe	$C_mH_n$	50-200	1,2-1,5	2,0	3,2-3,5
9	2,4,6-Trinitrotoluol	$C_6H_2 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_3$ (2,4,6-TNT)	100	1,2	2,0	3,2
10	2,4-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,4-DNT)	270	1,2	2,0	3,2
11	Toluol	$C_6H_5 \cdot CH_3$	526	1,2	2,0	3,2
12	Xylole	$C_6H_4 \cdot (CH_3)_2$	175	1,2	(2,0)	(3,2)
13	2,6-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,6-DNT)	182	1,2	(2,0)	(3,2)
14	Tetrachlormethan	$CCl_4$	804	1,2	(1,9)	(3,1)
15	Hexogen	$(CH_2N)_3 \cdot (NO_2)_3$	59,7	1,5	(1,7)	((3,2))
16	DDA <sup>4</sup>	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$		(1,5)	(1,7)	((3,2))
17	Nitrofen <sup>3</sup>	$O_2 \cdot C_6H_4 \cdot O \cdot C_6H_4Cl_2$	1000	1,2	1,9	3,1
18	Tetryl	$C_6H_2 \cdot (N \cdot CH_3, NO_2) \cdot (NO_2)_3$	200	1,2	1,7	2,9
19	Nonylphenolglykoether <sup>5</sup>	$C_9H_{19} \cdot C_6H_4 \cdot O(C_2H_4O)_8H$	> 1000	1,0	1,9	2,9
20	Phenol	$C_6H_5OH$	82800	1,0	1,9	2,9
21	Dodecylbenzolsulfonat <sup>6</sup>	$C_{12}H_{25} \cdot C_6H_4 \cdot SO_3Na$	> 1000	1,0	1,9	2,9
22	Trichlorethen	$CHCl \cdot CCl_2$ (Tri)	1100	1,0	(1,9)	(2,9)
23	Benzol	$C_6H_6$	1800	1,0	(1,7)	(2,7)
24	Trinitrophenol <sup>7</sup>	$C_6H_2 \cdot [NO_2]_3 \cdot OH$	12400	1,0	1,3	2,3
25	1,2-Propanediol	$CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_3$	$\infty$	1,0	1,3	2,3
26	Vinylchlorid	$CHCl \cdot CH_2$	1100	1,0	(1,3)	(2,3)
27	Glykol	$(CH_2OH)_2$	10000	1,0	1,0	2,0
28	Methanol	$CH_3OH$	$\infty$	1,0	1,0	(2,0)

zunehmende stoffspezifische Mobilität

<sup>1</sup> Dichlordiphenyltrichlorethan (Insektizid); <sup>2</sup> Dichlordiphenyldichlorethan; <sup>3</sup> 2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether (Herbizid); <sup>4</sup> Dichlordiphenyllessigsäure; <sup>5</sup> nichtionisches Tensid; <sup>6</sup> anionaktives Tensid; <sup>7</sup> Pikrinsäure

Die Altlastenkoeffizienten  $AK_{MOB}$  für anorganische Substanzen weisen eine unterschiedliche Varianzbreite auf, da eine Reihe von Einzelsubstanzen z.T. sowohl als Kation, als Anion, als Oxid und mit unterschiedlichen Wertigkeiten vorliegen können sowie – wie z.B. Metallsalze, die im Sicker- und Grundwasser Hydroxokomplexe bilden - in Abhängigkeit vom pH-Wert unterschiedliche Wasserlöslichkeiten der jeweiligen Substanz zeigen [30]. Im allgemeinen

erhöhen sich die Sorptions- und Fällungseffekte bei Kationen mit zunehmendem pH-Wert. Einige Kationen wie z.B. Zink haben hohe Adsorptionseigenschaften, so dass sie zu irreversibler Abbindung im Untergrund tendieren. Die Anionensorption steigt dagegen bei sinkendem pH-Wert an. Auch Phosphat ist ein sehr gering mobiles Anion, welches in Sickerwässern gefunden wird. Nitrat und Chlorid dagegen haben eine so hohe Mobilität, dass sie sich als Tracer für die maximale Schadstoffausbreitung eignen [31]. Die Angaben in Tabelle 22 können deshalb nur in Form einer groben Stufung (*ranking*) eine erste Orientierung bieten. Für konkrete Entscheidungsfindungen sind diese Werte durch Vor-Ort-Messungen zu unterlegen.

**Tabelle 22** Altlastenkoeffizienten  $AK_{MOB}$  für anorganische Substanzen inklusive Kontaminanten auf militärischen Altlastverdachtsflächen

lfd.Nr.	Substanz	Formel / Kurzzeichen	$AK_{LÖS}$	$AK_{ADS}$	$AK_{MOB}$
1	Quecksilber	Hg	(1,2-) 2,0	(1,9-) 2,0	(3,1-) 4,0
2	Blei	Pb	(1,5-) 2,0	(1,9-) 2,0	(3,4-) 4,0
3	Eisen-III	Fe <sup>3+</sup>	1,9	1,9	3,8
5	Chrom-III	Cr-III	(1,2-) 1,9	1,9	(3,1-) 3,8
6	Phosphat	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	(1,2-) 2,0	1,7	(2,9-) 3,7
7	Chrom-VI	Cr-VI	1,2-1,9	1,3-1,9	2,5-3,8
8	Cadmium	Cd	1,2-1,9	1,3-1,9	2,5-3,8
9	Arsen	As	1,2-1,9	1,3-1,9	2,5-3,8
10	Mangan	Mn	1,2-1,9	1,3-1,7	2,5-3,6
11	Zink	Zn	(1,2-) 1,9	(1,3-) 1,9	(2,5-) 3,8
12	Nickel	Ni	(1,2-) 1,9	(1,7)	((2,9-)) (3,6)
13	Eisen-II	Fe <sup>2+</sup>	1,0	1,3	2,3
14	Chlorid	Cl <sup>-</sup>	1,0	1,0	2,0
15	Ammonium	NH <sup>4+</sup>	1,0	1,0	2,0
16	Nitrit	NO <sup>2-</sup>	1,0	1,0	2,0
17	Nitrat	NO <sup>3-</sup>	1,0	1,0	2,0
18	Cyanid	CN <sup>-</sup>	1,0	1,0	2,0
19	Chlorat	ClO <sup>3-</sup>	1,0	1,,0	2,0

zunehmende stoffspezifische Mobilität



Die Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  und  $AK_{MOB}$  haben bei der Festlegung von Prioritätskontaminanten und der Einschätzung möglicher Nutzungsgefährdungen ehemaliger WGT-



und NVA-Flächen eine wesentliche Hilfestellung gegeben. Weitergehende Vorgehensweisen zur Beschreibung der Stoffcharakteristik unter Einbeziehung der lokalen Standorteigenschaften als „komplexer Schadstofftransport im Untergrund“ werden in Kapitel 6.3 ausgeführt.

## 4 Das Einstufungsraster

Durch die Zuordnung der militärischen Liegenschaften aus den jeweiligen Bewertungskomplexen A, B und C in das Einstufungsraster wird der erforderliche Handlungsbedarf zur Sicherung der Trinkwasserversorgung abgeleitet.

Das bisher vorliegende Datenmaterial zu den Liegenschaften der WGT und der NVA weist qualitativ und quantitativ große Unterschiede auf und reicht von erheblichen Kenntnislücken bis zu mehrfach abgesicherten Untersuchungsergebnissen. Aus diesen Erfahrungen splittet sich der erforderliche Handlungsbedarf entsprechend Tabelle 23 grundsätzlich in vier Gruppen bezüglich Aussage und Schlussfolgerung auf.

**Tabelle 23** Grundlage des Einstufungsrasters

Gruppe	Aussage / Folge	Gefährdungsstufe
1	<u>Aussage:</u> Keine Gefährdung bzw. kein unmittelbarer Handlungsbedarf für die Trinkwasserversorgung <u>Folge:</u> keine	GS I - GS III
2	<u>Aussage:</u> Potentielle oder vermutete Kontamination von Rohwasser im Einzugsgebiet von Wasserversorgungsanlagen <u>Folge:</u> Unverzügliche Erkundungs- und Untersuchungsmaßnahmen	GS IV
3	<u>Aussage:</u> Fehlende Datensätze; in Einzelfällen widersprüchliche Aussagen in Lage- und Erkundungsberichten <u>Folge:</u> Durchführung entsprechender Recherchen	GS V
4	<u>Aussage:</u> Nachgewiesene Gefahr für das Trinkwasser (akute Exposition) bzw. akuter Gefahrenverdacht durch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwartende Kontamination des Trinkwassers (latente Exposition) <u>Folge:</u> Unmittelbarer Handlungsbedarf	GS VI

Resultierend aus der gemeinsamen Arbeit mit den Landesregierungen, den Gesundheits- und Umweltämtern, den Unternehmern oder sonstigen Inhabern von Wasserversorgungsanlagen sowie weiteren Verantwortlichen wurden die vier Gruppierungen der Tabelle 23 weiter spezifiziert. Entsprechend Tabelle 24 beinhaltet das Einstufungsraster zur Gefährdungsein-

schätzung von Trinkwasserressourcen durch militärische Liegenschaften insgesamt 13 unterschiedliche Gefährdungstufen GS [34], wobei die Unterscheidung in GS<sub>A</sub>, GS<sub>B</sub> und GS<sub>C</sub> das jeweilige Informationsniveau der Bewertungskomplexe A, B und C und die damit von A nach C steigende Qualifizierung der Aussage kennzeichnet.

**Table 24** Einstufungsraster zur Bestimmung der Gefährdung des Trinkwassers durch militärische Liegenschaften

Gruppe	Ermittlungs- und Untersuchungsergebnisse	Bewertungs-niveau	Aussage zur Gefährdung des Trinkwassers	Gefährdungs-stufe (GS)	Handlungsbedarf zur Qualitätssicherung des Trinkwassers
1	keine Altlastverdachtsflächen (ALVF) mit wassergefährdenden Stoffen	GS <sub>A</sub> , GS <sub>B</sub>	keine Gefährdung	GS Ia	<b>kein erkennbarer Handlungsbedarf</b>
	kein Verdacht auf Kontamination nach Einschätzung von Ingenieurbüros oder zuständigen Behörden		Einschätzung: keine Gefährdung	GS Ib	
	analog zivile Nutzungshistorie der Liegenschaft ohne umwelt- oder gesundheitsgefährdende Nutzungsbereiche	GS <sub>A</sub>	keine Gefährdung	GS Ic	
	potentieller Altlastenverdacht, jedoch langfristig keine Auswirkungen auf Wasserressourcen nachgewiesen	GS <sub>B</sub> , GS <sub>C</sub>	Nachweis: keine Gefährdung	GS II	
	z.Z. keine Nutzung von Wasserressourcen für Trinkwasserzwecke, jedoch potentielle Kontamination	GS <sub>A</sub> , GS <sub>B</sub> ,	z.Z. keine Gefährdung	GS IIIa	
	z.Z. keine Nutzung von Wasserressourcen für Trinkwasserzwecke, jedoch Kontamination nachgewiesen bzw. sehr wahrscheinlich		z.Z. keine Gefährdung	GS IIIb	
2	Die Liegenschaft liegt innerhalb eines Einzugsgebietes der öffentlichen Wasserversorgung	GS <sub>A</sub>	potentielle Gefährdung wegen möglicher Kontamination	GS IVa	<b>Untersuchungsbedarf</b>
	Einzel- bzw. Eigenwasserversorgungsanlagen befinden sich innerhalb bzw. in unmittelbarer Nähe zu der Liegenschaft			GS IVb	
	Verdacht auf bzw. Nachweis von wassergefährdende(n) Altlasten innerhalb eines Einzugsgebietes der öffentlichen Wasserversorgung		potentielle Gefährdung wegen Verdacht auf Kontamination	GS IVc	
3	Verdacht auf wassergefährdende Altlasten, jedoch Unkenntnis über ausgewiesene Trinkwasserschutzzonen oder betroffene Trinkwasserfassungen	GS <sub>A</sub>	Gefährdung kann nicht ausgeschlossen werden	GS Va	<b>Klärungsbedarf</b>
	widersprüchliche Aussagen			GS Vb	
	keine Kenntnisse			GS Vc	
4	vermutete bzw. nachgewiesene unmittelbare Kontamination von Rohwasser für Trinkwasserzwecke	GS <sub>A</sub> , GS <sub>B</sub> , GS <sub>C</sub>	Gefahr bzw. akuter Gefahrenverdacht	GS VI	<b>unmittelbarer Handlungsbedarf</b>

Die Aussagen der Gruppe 1 sind breit gefächert und reichen von „keine Altlastverdachtsflächen mit wassergefährdenden Stoffen“ (GS Ia) bis „nachgewiesene bzw. sehr

wahrscheinliche Verunreinigung von Grundwasser“ (GS IIIb), das jedoch nicht für Trinkwasserzwecke genutzt wird und in absehbarer Zeit auch nicht dafür vorgesehen ist. Aus Sicht eines nachhaltigen Umweltschutzes bzw. des flächendeckenden Grundwasserschutzes sind jedoch bereits bei Einstufungen in GS IIIa und GS IIIb Beanstandungen angebracht. Für Liegenschaften der Gruppe 1 besteht aus Sicht der Trinkwasserversorgung kein Handlungsbedarf.

Die Gruppe 2 bezeichnet Liegenschaften bzw. Teilliegenschaften, bei denen eine Gefährdung für Rohwasserressourcen durch Altlasten nicht auszuschließen bzw. wahrscheinlich oder bereits nachgewiesen ist bzw. latente Gefahren für Trinkwasser bestehen. Die im Umfeld betroffenen Wasserversorgungsanlagen (WVA) werden unterschieden in zentrale öffentliche Wasserversorgungsanlagen (ZWVA) sowie, soweit hierüber Kenntnisse bestehen, in Einzelwasserversorgungsanlagen (EZVA) und Eigenwasserversorgungsanlagen (EGVA).

Der festgestellte Untersuchungsbedarf für Liegenschaften der Gruppe 2 umfasst sowohl liegenschaftsbezogene Maßnahmen in Form von Altlasterkundungen und wasserwerksseitige Untersuchungen zur Feststellung der Roh- und Trinkwasserqualität an und im Umfeld der Entnahmestelle. Der Untersuchungsbedarf für Gruppe 2 bezieht sich daher auf die Liegenschaften im Bewertungskomplextteil A oder B der Gefährdungsstufe GS IV.

Der Gruppe 3 werden alle Liegenschaften zugeordnet, über die, außer den Verwaltungsdaten nach A0 (vgl. Bewertungskomplextteil A), keine Kenntnisse vorliegen. Dies betrifft auch alle Liegenschaften mit bereits festgestelltem Verdacht auf wassergefährdende Altlasten, für die jedoch noch keine Kenntnisse über ausgewiesene Trinkwasserschutz-zonen oder betroffene Wasserfassungen bestehen oder bei denen widersprüchliche Aussagen vorliegen.

Der festgestellte Klärungsbedarf für Liegenschaften der Gruppe 3 umfasst das Mindestinformationsniveau des Datensatzes A0 - A1.1 betreffs ziviler oder analog ziviler Objekte bzw. die Nutzungshistorie des Komplexteils A für militärische Liegenschaften. Bedeutung hat dabei die Tatsache, ob sich Trinkwasserbrunnen im Umfeld von Altlastverdachtsflächen (ALVF) oder von kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen (KVN) befinden. Ebenso sind widersprüchliche Aussagen in Begehungsberichten und Liegenschaftsangaben durch entsprechende Recherchen aufzuklären. Der Erläuterungsbedarf bezieht sich daher ausschließlich auf Liegenschaften im Bewertungskomplextteil A der Gefährdungsstufe GS V.

Die Gruppe 4 betrifft alle Liegenschaften mit vermuteten bzw. nachgewiesenen unmittelbaren Kontaminationen von Rohwasser für Trinkwasserzwecke, bei denen schnell reagiert werden soll, um den akuten Gefahrenverdacht auszuräumen.

Der festgestellte unmittelbare Handlungsbedarf der Gruppe 4 beinhaltet sämtliche Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen für Liegenschaften der Bewertungskomplexe A, B und C der Gefährdungsstufe GS VI.

## **5 Arbeitsschritte**

### **5.1 Erläuterungen und Vorauswahl**

In bis zu 28 Arbeitsschritten wird aus dem Bewertungskomplex die jeweilige Gefährdungsstufe (GS I – GS VI) und der daraus abzuleitende Handlungsbedarf über das Einstufungsraster ermittelt. Ausgangspunkt bildet der Datensatz A0, der im wesentlichen die Objektbezeichnung, Angaben zur Lokalisierung der Liegenschaft sowie die Dokumentation der Informationsquellen enthält. Alle Arbeitsschritte sind in den Tabellen 24 bis 27 dargestellt, wobei jeweils zwischen dem Kenntnisstand und der Aussage der einzelnen Datensätze eines Komplexteils unterschieden wird. Der Kenntnisstand gibt Auskunft, inwieweit die obligatorischen bzw. fakultativen Kriterien des jeweiligen Datensatzes geprüft wurden. Die Aussage eines Datensatzes kann entweder negativ entlastend (Symbol -) oder positiv belastend (Symbol +) sein. Das in Klammern gesetzte Symbol (+) im Arbeitsschritt 12 weist auf eine Gefährdung von Grundwasser hin, das aber derzeit nicht für eine Trinkwassergewinnung herangezogen wird (vgl. Tabelle 27). Die Aussage (+ -) im Arbeitsschritt 5 verweist auf Widersprüche in den dazu vorliegenden Berichten. Widersprüchliche Aussagen erfordern die Einstufung in GS Vb mit hoher Priorität zur unverzüglichen Klärung des Sachverhalts. Die Arbeitsschritte 2, 8, 10, 13, 19 und 21 führen entweder bei eindeutiger Situation zur Festlegung einer Gefährdungsstufe oder im Zweifelsfall über Zwischenschritte gekennzeichnet mit dem Symbol X (mit lfd. Nr. als Index) zu einem weiterführenden Arbeitsschritt, in dem die fehlende Zusatzinformation abgerufen wird. Die Aussagen der Arbeitsschritte 15, 17, 24 und 25 erlauben keine Gefährdungseinschätzung, sondern führen zwangsläufig zu einem weiterführenden Arbeitsschritt. Fundierte Kenntnisse über fakultative Kriterien (gekennzeichnet mit dem Symbol Z mit Angabe des jeweiligen Komplexteils bzw.

Datensatzes; also ZA, ZB oder ZC) können in den Arbeitsschritten 11, 12, 13 (für den Komplexeil A), 20 und 21 (für den Komplexeil B), 25 und 26 (für den Komplexeil C) zur Fixierung einer Gefährdungsstufe führen.

Die Schrittfolge beginnt mit dem Bewertungskomplexeil A, mit dem versucht wird, bereits auf der Grundlage von einfachen Kriterien und niedrigem Informationsniveau eine Entscheidung zu treffen, ob eine akute oder latente Gefahr für die Trinkwasserversorgung aus militärischen Altlasten gegeben oder möglich ist. Ansonsten erfolgt die sukzessive Abarbeitung der Komplexeile B und C in der vorgegebenen Schrittfolge. Die gesamte Vorgehensweise ist aus Bild 4 in Kapitel 7 zu ersehen.

Bereits in der Primärauswahl werden über das Kriterium A1.1 des Datensatzes A1 (vgl. Tabelle 5) alle Liegenschaften mit ziviler Nutzung (z.B. Sportplätze, Kultureinrichtungen) und analog ziviler Nutzung (z.B. Befehlsstände) aus der weiteren Bewertung herausgenommen, da die Nutzungshistorie dieser Flächen den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in der Vergangenheit nur als Ausnahmefall kennt.

Die Aussagen über Liegenschaften mit ziviler und analog ziviler Nutzung werden gemäß Tabelle 25 in zwei Arbeitsschritten vorgenommen.

**Tabelle 25** Arbeitsschritte zur Einschätzung von Liegenschaften mit ziviler und analog ziviler Nutzung (Kriterien vgl. Tabelle 5)

Arbeitsschritt	Kriterium A1.1	Datensatz A2		Datensatz A3		Gefährdungsstufe (GS <sub>x</sub> )
	Angabe	Angabe	Aussage	Angabe	Aussage	
1	Ja	Ja	-	Ja	-	Ia, Ic
	Ja	Ja	+	Ja	-	
2	Ja	Ja	+	Ja	+	Ib X <sub>1</sub>

Legende:

- = negative entlastende Aussage, + = positive belastende Aussage

X<sub>1</sub> = Zwischenaussage, die durch Zusatzinformationen zu präzisieren ist

Der Informationsgehalt zur zivilen bzw. analog zivilen Nutzungshistorie ist erfahrungsgemäß wegen geringerer Geheimhaltung gut, so dass insbesondere bei den WGT-Objekten oft entsprechende Kenntnisse vorliegen. Unabhängig davon, ob Einzugsgebiete von Wasserversorgungseinrichtungen berührt werden, führen fehlende wasserrelevante Altlastverdachts-

flächen im Arbeitsschritt 1 zur Gefährdungsstufe GS<sub>A</sub> Ia des Einstufungsrasters. Liegenschaften mit analog ziviler Nutzungshistorie werden der GS<sub>A</sub> Ic zugeordnet. In Ausnahmefällen sind jedoch auf Liegenschaften mit analog ziviler Nutzung - wie beispielsweise Wehrkreiskommandos (WKK) und Volkskreiskommandos (VKK) - unbefestigte Tanklager und Waschplätze angelegt worden. Befindet sich ein solches Objekt zudem in unmittelbarer Nähe einer Trinkwassergewinnungsanlage (Arbeitsschritt 2), kann die resultierende positiv belastende Aussage nur durch die zuständige Behörde bzw. durch weitergehende Erkundungsmaßnahmen enthärtet werden, was zur Einstufung in GS<sub>A</sub> Ib bzw. unter Nachweis, dass auf Dauer keine Gefährdung vorliegt, zur Einstufung in GS<sub>C</sub> II führt. Bleibt der Erstverdacht bestehen, ist auch für Liegenschaften mit analog ziviler Nutzungshistorie ab Arbeitsschritt 11 (vgl. Tabelle 26) weiter zu verfahren (Zwischenschritt X<sub>1</sub>).

## **5.2 Bewertungskomplexe Teil A**

Ausgehend von Verwaltungsdaten (Datensatz A0) sind in Tabelle 26 für alle Liegenschaften mit militärischer Nutzungshistorie die Arbeitsschritte aufgeführt, die je nach Qualität und Vollständigkeit der Datensätze A1 bis A3 zu einer Erstbewertung führen.

Fehlen außer den Verwaltungsdaten jegliche weiteren Angaben, gilt die Gefährdungsstufe GS<sub>A</sub> Vc. Gibt es Hinweise auf wassergefährdende Altlasten, jedoch Unkenntnis, ob die Liegenschaft Trinkwasserfassungen berührt, erfolgt die Einstufung in GS<sub>A</sub> Va. In die GS<sub>A</sub> Vb (Arbeitsschritt 5) werden Objekte aufgenommen, bei denen widersprüchliche Aussagen, z.B. in Begehungsberichten, zur Altlastensituation oder Lage der militärischen Objekte vorliegen. Für alle GS<sub>A</sub> V - Liegenschaften ist unverzüglicher Klärungsbedarf angezeigt, um eine Ersteinschätzung zumindest über den Liegenschaftsbezug zu Trinkwassereinzugsgebieten (Datensatz A2) zu ermöglichen (Arbeitsschritt 6 bis 10).

**Tabelle 26** Arbeitsschritte zur GS<sub>A</sub>-Einstufung im Bewertungskomplettteil A

Arbeitsschritt	Datensatz A1		Datensatz A2		Datensatz A3		Gefährdungsstufe (GS <sub>A</sub> )
	Angabe	Aussage	Angabe	Aussage	Angabe	Aussage	
3	Nein		Nein		Nein		Vc
4	Ja	+	Nein		Nein		Va
	Ja	+	Nein		Ja	+	
5	Ja	+-	Ja	+-	Ja	+-	Vb
6	Nein		Ja	-	Nein		IIIa
7	Ja	+	Ja	-	Ja	+	IIIb
	Ja	+	Ja	-	Nein		
8	Nein		Ja	+	Nein		IVa
	Nein		Ja	+	Nein		IVb
9							X <sub>1</sub>
	Ja	-	Nein		Ja	-	
	Ja	-	Ja	-	Ja	-	
10	Ja	-	Ja	+	Ja	-	Ia
	Ja	-	Ja	-	Ja	-	
	Ja	-	Ja	+	Ja	-	
10	Ja	+	Ja	+	Ja	+	IVc VI X <sub>1</sub>
	Ja	+	Ja	+	Ja	+	
	Ja	+	Ja	+	Ja	+	

Legende:

- = negative entlastende Aussage, + = positive belastende Aussage, +- = widersprüchliche Aussage

X<sub>1</sub> = Zwischenaussage, die durch jeweils nachstehende Datenbasis zu präzisieren ist

Liegenschaften, die sich außerhalb von Trinkwassereinzugsgebieten der öffentlichen Wasserversorgung befinden und auch keine Eigen- oder Einzelwasserversorgungsanlage gefährden, werden unabhängig von der Tatsache, ob Kenntnis über eine Altlastensituation vorliegt, entsprechend den Arbeitsschritten 6 bzw. 7 den Gefährdungsstufen GS<sub>A</sub> IIIa bzw. GS<sub>A</sub> IIIb zugeordnet. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass mit der Einstufung in GS<sub>A</sub> III eine Grundwasserkontamination prinzipiell als wahrscheinlich angesehen wird bzw. bereits vorliegt.

Ehemalige militärische Objekte, die sich nachweislich innerhalb von Trinkwasserschutzzonen bzw. in unmittelbarer Nähe von Einzel- oder Eigenwasserversorgungsanlagen befinden und bei denen jegliche Angaben zu den Datensätzen A1 und A3 fehlen, sind nach Arbeitsschritt 9 den Gefährdungsstufen GS<sub>A</sub> IVa bzw. GS<sub>A</sub> IVb zuzuordnen. Im Zweifelsfall sind weitere

Informationen notwendig, um über den Zwischenschritt  $X_1$  die Aussagen mit den Arbeitsschritten 11 bis 13 (vgl. Tabelle 27) präzisieren zu können.

Voraussetzung für die Entlassung von militärischen Liegenschaften aus der weiteren Bewertung in Arbeitsschritt 9 über die Einstufung in  $GS_A I$  sind entlastende Aussagen der Bewertungskomplexe A1 und A3. Nur durch die kombinierte Erfüllung beider Bedingungen entfallen weitere entlastende Aussagen zum Datensatz A2.

Die ungünstigste Variante für Liegenschaften resultiert aus dem Arbeitsschritt 10. Hier existiert ein unmittelbarer Bezug zu Wasserversorgungsanlagen bei nachweislich wasserrelevanten Schadstoffen und damit als Mindesteinstufung die  $GS_A IVc$ . Wird der Verdacht auf wassergefährdende Altlasten innerhalb des Einzugsgebiets der öffentlichen Wasserversorgung oder Beeinflussung von Einzel- oder Eigenwasserversorgung erhärtet, muss eine Einstufung in die höchste Gefährdungsstufe  $GS_A VI$  erfolgen: Um das Risiko einer Gesundheitsgefährdung zu vermeiden, ergibt sich hieraus unmittelbarer Handlungsbedarf. Wird die Aussage  $X_1$  als Zwischenlösung gewählt, muss als nächster Schritt eine Aufklärung des Sachverhaltes der fakultativen Kriterien des Komplexteils A erfolgen. Das betrifft vor allem Ersterkundungsmaßnahmen im Rahmen von liegenschaftsbezogenen historischen und technischen Erkundungen mittels der Arbeitsschritte 11, 12 und 13, wobei letzterer über die Zwischenaussage  $X_2$  (positive belastende Aussage) zum Bewertungskomplex B überleitet (vgl. Tabelle 27). Bei Vorliegen von entlastenden Aussagen der fakultativen Kriterien ZA kann eine Rückstufung in die  $GS_A I$  erfolgen, ansonsten ist die Aussage  $GS_A IV$  oder  $GS_A VI$  opportun. Die fakultativen Kriterien im Rahmen von liegenschaftsbezogenen historischen und technischen Erkundungen als Zusatzinformationen ZA beinhalten insbesondere die Klärung der Eigentumsverhältnisse, Nutzung und Bebauung, die Art von umweltrelevanten Vorkommnissen, die Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Situation des Standortes und der näheren Umgebung sowie die Bewertung des Schadstoffpotentials. Ist bei einer möglichen oder nachgewiesenen Kontamination mit Sicherheit eine Beeinflussung von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung auszuschließen, ergibt sich die Einstufung in  $GS_A III$ . Dagegen führen belastende Aussagen des Arbeitsschrittes 13 zur Gefährdungsstufe  $GS_A VI$  oder im Zweifelsfall über den Zwischenschritt  $X_2$  zur Datenbasis B4 (lokale Standortcharakteristik). Liegen nach Erreichen des Arbeitsschrittes 13 keine Zusatzinformationen (fakultative



Kriterien) zum Bewertungskomplex A vor, müssen ebenfalls Details zur lokalen Standortcharakteristik oder weiterführende B5- bzw. B6-Untersuchungen angefordert werden.

Das Ergebnis des Bewertungskomplextails A ist die Zuordnung in Gefährdungsstufen  $GS_A$  des Einstufungsrasters (vgl. Tabelle 24). Bei Liegenschaften der Gefährdungsstufen  $GS_A$  I bis  $GS_A$  III besteht für die Trinkwasserversorgung kein Handlungsbedarf. Aus Sicht der allgemeinen Umwelthygiene können aber insbesondere bei der Einstufung in  $GS_A$  III erhebliche Sanierungsmaßnahmen notwendig sein, die allerdings nicht das Lebensmittel Trinkwasser betreffen. Nur die Liegenschaften in den Einstufungen  $GS_A$  IV bis  $GS_A$  VI sind für weitere Betrachtungen bzw. Untersuchungen aus Sicht der Trinkwasserhygiene relevant.

Für Liegenschaften mit den Gefährdungsstufen  $GS_A$  VI oder  $GS_A$  IV (Trinkwassergefährdung oder Verdacht auf Trinkwassergefährdung) sollten gemeinsame Besichtigungen vor Ort unter Leitung der zuständigen Wasserbehörde und unter Einbeziehung des Gesundheitsamtes, des Wasserversorgers, der Oberfinanzdirektion bzw. des Grundstückseigentümers und ggf. der Bundeswehrverwaltung durchgeführt werden. Über den begründeten Verdacht einer Rohwassergefährdung auf der Basis der Ergebnisse des Bewertungskomplextails A lässt sich an dieser Stelle das weitere Vorgehen – insbesondere zu Anforderungen an Ausführung und Finanzierung von Maßnahmen - wesentlich vereinfachen und im Sinne wirtschaftlichen Handelns beschleunigen.

### **5.3 Bewertungskomplextail B**

Im Komplextail B sind Kenntnisse über die geologische und hydrogeologische Situation im Umfeld einer Liegenschaft sowie gegebenenfalls Untersuchungsergebnisse über Boden-, Roh- und Trinkwasserproben gefragt, mit dem Ziel, GS-Rückstufungen vornehmen oder aber den erforderlichen Handlungsbedarf präzisieren zu können (vgl. Tabelle 27).

**Tabelle 27** Arbeitsschritte zur GS<sub>B</sub>-Einstufung im Bewertungskomplexeil B

Arbeitsschritt	Zwischenaussage	Zusatzinformation			Gefährdungsstufe (GS <sub>B</sub> ) bzw. Zwischenaussage X
		Datenbasis	Angabe	Aussage	
11	X <sub>1</sub>	ZA	Ja	-	I
12	X <sub>1</sub>	ZA	Ja	(+)	III
13	X <sub>1</sub>	ZA	Ja	+	VI
			Nein		X <sub>2</sub>
14	X <sub>2</sub>	B4	Ja	-	II
15	X <sub>2</sub>	B4	Ja	+	X <sub>3</sub>
16	X <sub>3</sub>	B5	Ja	-	II
17	X <sub>3</sub>	B5	Ja	+	X <sub>4</sub>
18	X <sub>4</sub>	B6	Ja	-	II
19	X <sub>4</sub>	B6	Ja	+	VI
					X <sub>5</sub>

Legende:

- = negative entlastende Aussage, + = positive belastende Aussage; (+) = positiv belastende Aussage, ohne direkten Trinkwasserbezug  
X<sub>1</sub> – X<sub>4</sub> sind Zwischenaussagen, die durch jeweils nachstehende Datenbasis (obligatorische bzw. fakultative Kriterien) zu präzisieren sind

Erste Übersichten zu Strömungsverhältnissen des Aquifers im Untergrund, zum Grundwasserflurabstand und zur Grundwasserneubildung sowie zur Art der deckenden Bodenschichten usw. geben Kartenmaterialien der Geologischen Landesämter bzw. stellen allgemeine Aussagen zur Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers zur Verfügung. Diese Daten dienen der technischen Erkundung und werden bei der Festlegung notwendiger Entnahmestellen von Boden- bzw. Grundwasserproben der Datensätze B4 bis B6 berücksichtigt. Aus Aussagen zu Deckschichten und dem Rückhaltevermögen des Untergrundes gegenüber Schadstoffen sowie der Nutzungsdauer können zudem erste quantitative Abschätzungen zu militärischen Altlasten durchgeführt werden. Auch können anhand dieser Kriterien z.B. aus den Strömungsverhältnissen, Geschwindigkeit und Fließrichtung des Grundwasser die Lokalisierung potentieller Schadstoffbereiche im Untergrund abgeschätzt bzw. eingegrenzt werden (vgl. auch Kapitel 6.3).

Im Rahmen der geologischen/hydrogeologischen Untersuchungen bzw. im Anschluss daran werden die stoffanalytischen Boden- und Grundwasseruntersuchungen durchgeführt. Dabei sind vorrangig die Ergebnisse der Grundwasseranalysen aus dem lokalen Bereich der Altlast heranzuziehen. Werden hier Kontaminationen gemessen, sollen zur weiteren Beurteilung an-

und abstromseitig der Altlast, sowie im Anstrom der Trinkwasserentnahmestelle Messungen analog den Schutzzonendefinitionen stattfinden. Nur wenn die Ergebnisse in den Arbeitsschritten 14, 15 und 17 sichere Aussagen, z.B. im Rahmen von geologischen / hydrogeologischen Gutachten über die Geschützteit des Rohwassers aufgrund der gegebenen Verhältnisse zulassen, ist eine Rückstufung in GS<sub>B</sub> II und damit eine Entlassung der militärischen Liegenschaft aus dem weiteren Untersuchungsprogramm möglich. Liegen jedoch belastende Aussagen für Kontaminationen von Trinkwasserressourcen insbesondere aufgrund der Stoffkonzentrationen im Rohwasser vor, erfolgt die Zuordnung über den Zwischenschritt X<sub>5</sub> zur weiteren Präzisierung des Gefahrenverdachts oder direkt in GS<sub>B</sub> VI zur direkten Auslösung von Maßnahmen (Arbeitsschritt 19).

Das Ergebnis des Bewertungskomplextails B ist die Zuordnung der militärischen Liegenschaften in die Gefährdungsstufen GS<sub>B</sub> des Einstufungsrasters (vgl. Tabelle 24). Rückstufungen aus dem Bewertungskomplex A gelangen über entlastende Aussagen in die Gefährdungsstufen GS<sub>B</sub> I, GS<sub>B</sub> II oder GS<sub>B</sub> III. Für diese Liegenschaften besteht aus Sicht der Trinkwasserhygiene dann kein Handlungsbedarf mehr.

Bei Einstufungen in die Gefährdungsstufen GS<sub>B</sub> VI sind Gefahren für Trinkwasser im Umfeld der Liegenschaften eindeutig festgestellt. Hieraus ergibt sich unmittelbar die Notwendigkeit von Gefahrenabwehrmaßnahmen in Form von Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen am Kontaminationsort sowie im Einzugsgebiet der betroffenen Wasserversorgungsanlage. Liegen keine ausreichenden stoffspezifischen Daten zur Toxikologie, zur Mobilität und zur Abbaubarkeit vor, erfolgt über den Zwischenschritt X<sub>5</sub> der Eintritt in den Bewertungskomplextail C.

#### **5.4 Bewertungskomplextail C**

Im Bewertungskomplextail C werden Kriterien zur Beurteilung der Trinkwasserrelevanz von Schadstoffen in der Gefahrenabschätzung herangezogen (vgl. Tabelle 28).

Zunächst werden die fakultativen Kriterien als Zusatzinformationen ZB aus dem Bewertungskomplextail B in den Arbeitsschritten 20 und 21 abgerufen. Bei ausreichend entlastenden Aussagen kann eine Rückstufung in GS<sub>C</sub> II erfolgen. Nur eindeutig positiv belastende Zusatzinformationen sollten zur Einstufung GS<sub>C</sub> VI führen, ansonsten muss über

die Zwischenstufe  $X_6$  weiter verfahren werden. Das gilt auch, wenn keine fakultativen Aussagen vorliegen.

**Tabelle 28** Arbeitsschritte zur  $GS_C$ -Einstufung im Bewertungskomplextteil C

Arbeitsschritte	Zwischenaussage	Datensatz / AK	Kenntnis / Angabe	Aussage	Gefährdungsstufe ( $GS_C$ )
20	$X_5$	ZB	Ja	-	II
21	$X_5$	ZB	Ja	+	VI
			Nein		$X_6$
					$X_6$
22	$X_6$	$AK_{TOR}$	Ja	$AK_{TOR} \leq 3$	II
23	$X_6$	$AK_{TOR}$	Ja	$AK_{TOR} \geq 5$	VI
24	$X_6$	$AK_{TOR}$	Ja	$3 < AK_{TOR} < 5$	$X_7$
25	$X_7$	$AK_{TOR}$	Nein		$X_8$
26	$X_7$	$AK_{MOB}$	Ja	$AK_{MOB} \rightarrow 2$	VI
			Ja	$AK_{MOB} \rightarrow 4$	$X_8$
			Nein		$X_8$
27	$X_8$	ZC	Ja	-	II
28	$X_8$	ZC	Ja	+	VI

Legende:

- = negative entlastende Aussage, + = positive belastende Aussage

$X_5 - X_8$  sind Zwischenaussagen, die durch jeweils nachstehende Datenbasis (obligatorische bzw. fakultative Kriterien) zu präzisieren sind

$AK_{TOR}$  Altlastenkoeffizient der toxikologischen Relevanz;  $AK_{MOB}$  Altlastenkoeffizient der Mobilität

$AK_{MOB} \rightarrow$  [Zahlenwert] = Altlastenkoeffizient geht gegen [Zahlenwert]

In Kenntnis von Prioritäts-, Haupt- oder Verdachtskontaminanten ist in den Arbeitsschritten 22 und 23 auf der Basis der Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  aus den Tabellen 18 und 19 eine Entscheidung auf Rückstufung in  $GS_C$  II aufgrund stoffspezifischer Daten für die Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR} \leq 3$  oder zur  $GS_C$  VI bei  $AK_{TOR} \geq 5$  zu treffen (vgl. auch Tabelle 4). Für die übrigen Verbindungen mit  $3 < AK_{TOR} < 5$  wird über die Zwischenaussage  $X_7$  der Altlastenkoeffizient  $AK_{MOB}$  abgefragt. Im allgemeinen sind Stoffe mit hoher Mobilität in Abhängigkeit von der lokalen Untergrundbeschaffenheit kritischer einzuschätzen, da sie den Nutzungsort schneller erreichen ( $GS_C$  VI). Substanzen mit einem hohen  $AK_{MOB}$  weisen dagegen ein geringes Ausbreitungsverhalten auf und liegen im Umfeld der Altlastverdachtsflächen aufgrund dieser Eigenschaft nahezu in Höhe der Ausgangskonzentration vor. Erst in sehr langen Zeiträumen können sie den Expositionsort erreichen. Dagegen spricht jedoch, dass in dieser Zeit für einen Großteil der Substanzen mit  $3 < AK_{TOR} < 5$  ein biochemischer Abbau eingetreten sein kann, der zu einer deutlichen Konzentrationsminderung führt ( $GS_C$  II).

Sind für den oder die Kontaminanten keine  $AK_{TOR}$ -Werte bekannt und fehlen auch die im Arbeitsschritt 26 geforderten Angaben zum  $AK_{MOB}$ , muss über die Arbeitsschritte 27 und 28 auf die fakultativen Kriterien der Datensätze C7 bis C9 zurückgegriffen werden. Bei ausreichender Kenntnis ergibt sich alternativ die Wahl zwischen  $GS_C$  II und  $GS_C$  VI. Sind auch diese Zusatzinformationen nicht in dem Maße verfügbar, um eine eindeutige Aussage zu treffen, müssen eigene Untersuchungen bzw. Recherchen zur Berechnung der  $AK_{TOR}$  und  $AK_{MOB}$  durchgeführt oder die diesbezüglichen Expertisen von den Autoren oder z.B. im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des UBA angefordert werden.

Der Bezug zu den Gefährdungsstufen des Einstufungsrasters aus dem Bewertungskomplettteil C ist rein stoffspezifisch und erfordert, außer der Kenntnis der nachgewiesenen Prioritäts- oder Hauptkontaminanten bzw. der aus der ehemaligen militärischen Nutzung abgeleiteten Verdachtskontaminanten, keine weiteren standortspezifischen Untersuchungen. Wird Handlungsbedarf als Ergebnis der Arbeitsschritte 21 (z.T.), 23, 26 (z.T.) und 28 signalisiert, interessiert jedoch weiterführend in erster Linie die tatsächliche Konzentration der Schadstoffe im Untergrund und führt damit zum Kapitel 6, das Entscheidungshilfen auf der Grundlage von Basis- und Gefahrenwerten offeriert.

## **6 Sanierungsentscheidungen**

### **6.1 Basis- und Gefahrenwerte**

Im Fall von Sanierungsentscheidungen, die sich auf die Sicherung des Lebensmittels Trinkwasser im Umfeld von Altlasten beziehen, wird grundsätzlich zwischen akuter und latenter Exposition unterschieden. Im ersten Fall liegt bereits eine manifestierte Kontamination der Trinkwasserressourcen vor. Schwieriger ist die Situation zu beurteilen, wenn nur ein Gefahrenverdacht besteht, also kurz-, mittel- oder langfristig infolge von Boden- / Grundwasserkontamination eine Beeinträchtigung von Rohwasser für Trinkwasserzwecke „nur“ zu befürchten ist. Für beide Fälle bieten die Basiswerte (BW) und Gefahrenwerte (GefW) eine toxikologisch begründete Orientierung.

Unter einem Basiswert (BW) versteht man die lebenslang gesundheitlich sichere Grenzkonzentration für einen Stoff mit Wirkungsschwelle in Trinkwasser. Bei Stoffen ohne

Wirkungsschwelle ist dies die einem „akzeptablen“ (politisch akzeptierten) Lebenszeit-Zusatzrisiko für Krebs in Höhe von  $10^{-6}$  zugeordnete Konzentration. In dieser Arbeit (vgl. Tabelle 31) entsprechen die Basiswerte für die Stoffe Benzol<sup>3</sup>, 3,4-Benzo(a)pyren<sup>3</sup> und Vinylchlorid<sup>3</sup> einem Lebenszeit-Zusatzrisiko für Krebs in dieser Höhe. Die Stoffe Arsen und Nickel dagegen sind bei oraler Aufnahme nach Meinung des Autors als Karzinogene mit Wirkungsschwelle zu bewerten.

Für Stoffe mit Wirkungsschwelle wird der Basiswert aus einem stoffspezifischen TDI-Wert (*tolerable daily intake*), dies ist die lebenslang gesundheitlich duldbare tägliche Aufnahme in mg pro Kilogramm Körpermasse und Tag, bzw. für Stoffen ohne Wirkungsschwelle aus der experimentell oder epidemiologisch ermittelten Risk unit (Anzahl beobachteter Krebserkrankungen pro mg Schadstoff pro Tag und kg KG) errechnet. Ergänzend dazu sind Gefahrenwerte aus einem Basiswert abgeleitete Grenzkonzentrationen mit hinreichend wahrscheinlichem Gefahrenbezug für Substanzen in Trinkwasser. Sie sind bei Stoffen mit Wirkungsschwelle deshalb stoffspezifisch unterschiedlich höher als der jeweilige, gesundheitlich lebenslang sichere Basiswert. Sie sind bei kumulierenden Stoffen sogar schon während nicht lebenslanger Belastungsdauern u.U. als gesundheitlich unsicher zu bewerten. Die Errechnung der Gefahrenwerte erfolgt durch Multiplikation des jeweiligen BW mit einem Gefahrenfaktor  $F_{(Gef)}$ . Der  $F_{(Gef)}$  entsteht unter teilweiser Inanspruchnahme derselben Sicherheitsfaktoren, die auch bei der Ableitung des Basiswertes aus der experimentellen oder epidemiologischen Datenbasis zur Anwendung kamen, und zwar in Anlehnung an eine Grundlagenarbeit von KONIETZKA UND DIETER [32].

Der gefahrenverknüpfende Faktor (= Gesamtfaktor  $F_{(Gef)}$ ) für die Herleitung eines Gefahrenbezuges aus dem Basiswert ist bei Stoffen mit Wirkungsschwelle eine Funktion der Vollständigkeit der der „virtuell sicheren Dosis (VSD)“ zugrundegelegten Datenbasis (Epidemiologie oder Tierversuch), von Art und Höhe der einzelnen Abschätz- und Sicherheitsfaktoren zur Vervollständigung der Datenbasis sowie ihrer Übertragung (Extrapolation) auf den Menschen. Es gilt:

---

<sup>3</sup> lt. WHO (1993): Guidelines for drinking water quality, 2nd ed. vol. 1, Geneva 1993

- $SF_a$  = Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines chronischen NOAEL durch Hochrechnung von subchronischer auf chronische Expositionsdauer (auf Basis von Tierversuchen nicht humanrelevant, nur zur Überbrückung von Datenlücken)
- $SF_b$  = Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines  $NOAEL_{TV}$  aus einem experimentellen  $LOAEL_{TV}$ ; (auf Basis von Tierversuchen meist nicht humanrelevant), zur Abschätzung eines  $NOAEL_E$  aus einem epidemiologisch ermittelten  $LOAEL_E$  (immer humanrelevant)
- $SF_c$  = Sicherheitsfaktor zur Überbrückung der zwischenartlichen Varianz zwischen Mensch und Versuchstier (immer humanrelevant)
- $SF_d$  = Sicherheitsfaktor zur Überbrückung der innerartlichen Varianz beim Menschen, falls der NOAEL nicht schon an besonders empfindlichen Teilpopulationen gemessen wurde (immer humanrelevant)

Aus der Multiplikation der Einzelfaktoren ergibt sich der Gesamtsicherheitsfaktor  $SF_g = SF_a \cdot SF_b \cdot SF_c \cdot SF_d$

Als Bemessungsgrundlage ( $F_{Gef}$ ) zur Herstellung des Gefahrenbezugs auf Grundlage des BW kommen nur diejenigen Sicherheitsfaktoren in Frage, die das „System Mensch“ entweder direkt beschreiben oder es auf definierte Weise zu einem tierexperimentellen  $NOAEL_{TV}$  in Beziehung setzen. Auf dem Weg von der Datenbasis „tierexperimentelle Untersuchung“ zur duldbaren Körperdosis sind dies immer die Faktoren  $SF_c$  und  $SF_d$ . Diese bei DIETER **[33]** als  $USF_c$  und  $USF_d$  bezeichneten „Unsicherheits“-Faktoren transformieren  $NOAEL_{TV}$  in die gesundheitlich duldbare Körperdosis. Dieser Bewertungsschritt macht ihn zu einem regulativen Maß für die Vermeidung wahrscheinlich schädlicher Expositionssituationen des Menschen ( $NOAEL_{TV} \rightarrow$  virtueller  $NOAEL_e = TDI$ ). Ein direkt ermittelter  $NOAEL_E$  braucht dagegen nur durch einen  $SF_d$  ( $USF_d$ ), ein  $NOAEL_e$  überhaupt nicht transformiert zu werden (vgl. Tabelle 29, Spalte 5). Die nur innerhalb einer Datenbasis „Tierversuche“ verwendeten  $SF_a$  und  $SF_b$  (bei DIETER als  $ASF_a$  und  $ASF_b$  bezeichneten Abschätzfaktoren) sind für das System Mensch dagegen quantitativ nicht definiert und daher kein Beitrag zur Bemessungsgrundlage für den Gefahrenbezug. Nur wenn für Mensch und Versuchstier bezüglich des schädlichen Effektes eine gleich oder ähnlich steile Dosis-Wirkungsbeziehung

(Abstand LOAEL → NOAEL) vorausgesetzt werden kann, kommt als Beitrag zur Bemessungsgrundlage zusätzlich der Sicherheitsfaktor  $SF_b$  in Frage.

Der Sicherheitsfaktor  $SF_a$  steht dagegen für die Bewertung eines Gefahrenbezuges für chronische und/oder nicht pfadgleiche Expositionen nur auf Basis von Humandaten zur Verfügung.

Als Multiplikator der duldbaren Körperdosis zur Eingrenzung des Gefahrenbezuges auf die juristisch geforderte „hinreichende Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung“ bei Überschreitung der duldbaren Körperdosis wurde durch KONIETZKA UND DIETER [33] die quadratische Wurzel des Anteils  $SF_{gh}$  der humanrelevanten Einzelsicherheitsfaktoren aus dem Gesamtsicherheitsfaktor  $SF_g$  (bei Tierversuchen also nicht  $SF_a$  und meist nicht  $SF_b$ ) vorgeschlagen. Der resultierende gefahrenverknüpfende Faktor  $F_{(Gef)}$  entspricht in Übereinstimmung mit der multiplikativen Verknüpfung aller Faktoren logarithmisch dem halben Abstand zwischen unwirksamer und mit großer Wahrscheinlichkeit wirksamer Dosis (Rechenbeispiel  $F_{(Gef)} = \sqrt{SF_b} \cdot \sqrt{SF_c} \cdot \sqrt{SF_d} = \sqrt{1000} = 32$ ). Je nach Datenbasis ergeben sich die in Tabelle 29 aufgeführten Faktoren.

Der gefahrenverknüpfende Faktor  $F_{(Gef)}$  liegt auf der Grundlage sehr guter bis mäßig guter Epidemiologie bei größer 1 (mit  $SF_b > 1$ ) bis  $\sqrt{SF_a \cdot SF_b \cdot SF_d}$ . Auf der Grundlage von Tierversuchen und dem seltenen Fall einer gleichen Steilheit der Dosis-Wirkungskurven bei Versuchstier und Mensch beträgt er  $F_{(Gef)} = \sqrt{SF_b \cdot SF_c \cdot SF_d}$ . Als Untergrenze muss aber bei den Datenbasen  $LOAEL_e$  und  $NOAEL_e$  der Faktor  $SF_b$  gewählt werden (nicht  $\sqrt{SF_b}$ ), um den  $TDI = NOAEL_e$  definitionsgemäß zumindest wieder in den  $LOAEL_e$  zurückzutransformieren. Als Obergrenze auf Basis von Tierversuchen ist  $F_{(Gef)} = \sqrt{SF_c \cdot SF_d}$ , wenn ein  $NOAEL_{TV}$  oder ein  $LOAEL_{TV}$  ohne Kenntnisse über die Steilheit der Dosis-Wirkungskurve bei Versuchstier und Mensch als Datenbasis für den TDI gedient hat.



**Tabelle 29** Ableitung der duldbaren Körperdosis TDI und des Gefahrenbezuges für den Menschen über Sicherheitsfaktoren aus der jeweiligen Datenbasis und Beispielrechnung mit ( $SF_a = 10$ ,  $SF_b = 3$ ,  $SF_c = 10$ ,  $SF_d = 10$ )

Datenbasis		Gesamtsicherheitsfaktor		duldbare Körperdosis TDI = [NOEL/LOAEL] · SF <sub>d</sub> (=virtueller NOAEL <sub>v</sub> )	Basiswert für Exposition über Trinkwasser	gefahrenverknüpfender Faktor		Prozent des SF <sub>d</sub>	gefahrenbezogene Dosis (= virtueller LOAEL <sub>v</sub> )	Gefahrenwert für Exposition über Trinkwasser
Expositionsdauer	NOAEL / LOAEL [mg/kg/d]	SF <sub>d</sub>	Beispiel SF <sub>d</sub>	TDI [mg/kg/d]	BW [mg/l]	F <sub>(Gef)</sub> = √SF <sub>gh</sub>	Beispiel	Beispiel	GefD [mg/kg/d]	GefW [mg/l]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
subchronisch	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>a)</sup>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	3000	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>a)</sup> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )	<b>TDI/10 · 70kg/2 l</b>	√SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√100 = 10	0,3 %	<b>TDI · F<sub>(Gef)</sub></b>	<b>GefD/10 · 70kg/2 l</b>
subchronisch	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>b)</sup>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	3000	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>b)</sup> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>b</sub> · √SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√300 = 17	5,7 %		
subchronisch	NOAEL <sub>TV</sub>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	1000	NOAEL <sub>TV</sub> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√100 = 10	1 %		
subchronisch	NOAEL <sub>IV</sub>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>c</sub>	100	NOAEL <sub>IV</sub> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>c</sub> )		√SF <sub>c</sub>	√10 = 3,2	3,2 %		
chronisch	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>a)</sup>	SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	300	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>a)</sup> : (SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√100 = 10	3,3 %		
chronisch	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>b)</sup>	SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	300	LOAEL <sub>TV</sub> <sup>b)</sup> : (SF <sub>b</sub> · SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>b</sub> · √SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√300 = 17	5,7 %		
chronisch	NOAEL <sub>TV</sub>	SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub>	100	NOAEL <sub>TV</sub> : (SF <sub>c</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>c</sub> · √SF <sub>d</sub>	√100 = 10	10 %		
chronisch	NOAEL <sub>IV</sub>	SF <sub>c</sub>	10	NOAEL <sub>IV</sub> : SF <sub>c</sub>		√SF <sub>c</sub>	√10 = 3,2	32 %		
subchronisch	LOAEL <sub>E</sub>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>d</sub>	300	LOAEL <sub>E</sub> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>b</sub> · √SF <sub>d</sub>	√30 = 5,5	1,8 %		
subchronisch	NOAEL <sub>E</sub>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>d</sub>	100	NOAEL <sub>E</sub> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>d</sub>	√10 = 3,2	3,2 %		
subchronisch	LOAEL <sub>e</sub>	SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub>	30	LOAEL <sub>e</sub> : (SF <sub>a</sub> · SF <sub>b</sub> )		SF <sub>b</sub>	3	10 %		
subchronisch	NOAEL <sub>e</sub>	SF <sub>a</sub>	10	NOAEL <sub>e</sub> : SF <sub>a</sub>		SF <sub>b</sub>	3	30 %		
chronisch	LOAEL <sub>E</sub>	SF <sub>b</sub> · SF <sub>d</sub>	30	LOAEL <sub>E</sub> : (SF <sub>b</sub> · SF <sub>d</sub> )		√SF <sub>b</sub> · √SF <sub>d</sub>	√30 = 5,5	18 %		
chronisch	NOAEL <sub>E</sub>	SF <sub>d</sub>	10	NOAEL <sub>E</sub> : SF <sub>d</sub>		√SF <sub>d</sub>	√10 = 3,2	32 %		
chronisch	LOAEL <sub>e</sub>	SF <sub>b</sub>	3	LOAEL <sub>e</sub> : SF <sub>b</sub>		SF <sub>b</sub>	3	100 %		
chronisch	NOAEL <sub>e</sub>	-	1	NOAEL <sub>e</sub>		SF <sub>b</sub>	3	300 %		

<sup>a)</sup> Datenbasis LOAEL<sub>TV</sub> ohne Kenntnisse über die Steilheit der Dosis-Wirkungskurven in Versuchstier und Mensch  
<sup>b)</sup> Datenbasis LOAEL<sub>TV</sub> bei nachweislich gleicher Steilheit der Dosis-Wirkungskurven in Versuchstier und Mensch  
 LOAEL<sub>TV</sub> = lowest observed adverse effect level; niedrigste Dosis mit beobachteter schädlicher Wirkung im Tierversuch  
 LOAEL<sub>E</sub> = niedrigste Dosis mit beobachteter schädlicher Wirkung für die Allgemeinbevölkerung (gesunde Erwachsene)  
 LOAEL<sub>e</sub> = niedrigste Dosis mit beobachteter schädlicher Wirkung für die Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Bevölkerungsgruppe  
 NOAEL<sub>TV</sub> = no observed adverse effect level; höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung im Tierversuch.  
 NOAEL<sub>IV</sub> = höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung im Tierversuch (empfindliche Spezies)  
 NOAEL<sub>E</sub> = höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung für die Allgemeinbevölkerung (gesunde Erwachsene)  
 NOAEL<sub>e</sub> = höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung für die Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Bevölkerungsgruppe  
 F<sub>(Gef)</sub> = gefahrenverknüpfender Faktor  
 GefD = gefahrenbezogene Dosis aus dem gesundheitlich sicheren TDI-Wert und dem gefahrenverknüpfenden Faktor F<sub>(Gef)</sub> (GefD = TDI · F<sub>(Gef)</sub>)  
 TDI = lebenslang gesundheitlich tolerierbare Dosis [mg/kg KG/Tag]  
 BW = Basiswert, lebenslang gesundheitlich unschädliche Konzentration, berechnet als 10% des TDI in 2 l TW pro Tag und Person  
 GefW = Wert mit hinreichender Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung für die menschliche Gesundheit über den Expositionspfad Trinkwasser  
 SF<sub>gh</sub> = humanrelevanter Gesamtsicherheitsfaktor

Die gefahrenbezogene Dosis GefD als Produkt des TDI und des gefahrenverknüpfenden Faktors  $F_{(Gef)}$  entspricht maximal dem durch die Datenbasis und die Sicherheitsfaktoren definierten (virtuellen) LOAEL<sub>e</sub>. In humantoxikologischer Hinsicht ist dadurch die juristisch geforderte Bedingung „hinreichende Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung“ definiert **(Konietzka und Dieter 1998)**.

Der Gefahrendosis (GefD) lässt sich durch Zuteilung von 10% dieser Exposition auf 2 Liter Trinkwasser pro Tag und Person ein analog definierter Gefahrenwert (GefW) zuordnen. Er ist identisch mit dem Produkt  $GefW = BW \cdot F_{(Gef)}$  (s.o).

Das Rechenbeispiel in der Tabelle 10 mit den eingesetzten Sicherheitsfaktoren ( $SF_a = 10$ ,  $SF_b = 3$ ,  $SF_c = 10$ ,  $SF_d = 10$ ) zeigt deutlich, dass bei geringem Wissen, trotz höherem gefahrenverknüpfendem Faktor  $F_{(Gef)}$ , der Abstand zwischen gefahrenbezogener Dosis und experimenteller oder epidemiologischer Datenbasis größer ist, als bei toxikologisch besser charakterisierten Stoffen. Damit wird sichergestellt, dass Wissensunsicherheiten nicht zu Lasten des Schutzgutes „menschliche Gesundheit“ in die Werteableitung eingehen **[32]**.

In Anlehnung an die Arbeit von DIETER, GROHMANN UND WINTER **[19]** wird der Gefahrenbezug auch in der vorliegenden Arbeit mit abnehmender, gesundheitlich duldbarer Belastungsdauer bzw. zunehmender Höhe der täglichen Belastung zusätzlich in die Stufen 1 bis 3 unterteilt (GefW<sub>1</sub> bis GefW<sub>3</sub>). Als Zeiträume, nach deren Ablauf Expositionen gegenüber Stoffen im Trinkwasser als gesundheitlich unsicher zu bewerten sind, werden für den GefW<sub>1</sub> = 70 Jahre bzw. die gesamte Lebenszeit, für den GefW<sub>2</sub> = 10 Jahre und für den GefW<sub>3</sub> = 1,5 Jahre vorgeschlagen. Zur Multiplikation des gesundheitlichen Basiswertes BW auf die verschiedenen Gefahrenwerte (GefW<sub>1</sub>, GefW<sub>2</sub>, GefW<sub>3</sub>, GefW<sub>SK</sub>) werden darüber hinaus mit ansteigender Kumulationstendenz I - III der Stoffe im menschlichen Körper abnehmende Multiplikatoren eingesetzt, ebenso wie bereits mit ansteigender Expositionsdauer (Gefahrenstufe 3 bis 1; vgl. Tabelle 30). Der kleinste  $F_{(Gef)}$  steht deshalb in Feld III-1 (Kumulationsgruppe III (stark kumulierend) / 1. Gefahrenstufe (längste Expositionsdauer)), der größte im Feld I-3.

Der Multiplikator ist entweder der gefahrenverknüpfende Faktor  $F_{(Gef)}$  selbst oder dessen 2. Potenz  $F_{(Gef)}^2$  (= humanrelevanter Gesamtsicherheitsfaktor  $SF_{gh}$ ). Für stark kumulierende

Stoffe sind bei lebenslangen Belastungsdauern keine Überschreitungen der Basiswerte vorgesehen.

**Tabelle 30** Zuordnung der Kumulationsgruppen I-III für die Berechnung von zeitlich strukturierten Gefahrenwerten (GefW<sub>1</sub> bis GefW<sub>3</sub>) mit Hilfe gefahrenverknüpfender Faktoren

$F_{(Gef)}$

Kumulationsgruppe / Gefahrenstufe	1. Stufe: GefW <sub>1</sub>	2. Stufe: GefW <sub>2</sub>	3. Stufe: GefW <sub>3</sub>
Gruppe I: nicht kumulierend	$m_{1/I} = F_{(Gef)}$ , max. 10	$m_{2/I} = F_{(Gef)}^2$ , max. 10	$m_{3/I} = F_{(Gef)}^2$ , max. 10
Gruppe II: schwach kumulierend	$m_{1/II} > 1$ *)	$m_{2/II} = F_{(Gef)}$ , max. 10	$m_{3/II} = F_{(Gef)}^2$ , max. 10
Gruppe III: stark kumulierend	$m_{1/III} \leq 1$ **)	$m_{2/III} = F_{(Gef)}$ , max. 3	$m_{3/III} = F_{(Gef)}^2$ , max. 3

\*) „>“ bedeutet: Gesicherte Überschreitung des BW löst Maßnahmen aus

\*\*) „≤“ bedeutet: Der BW muss ständig unterschritten bleiben oder darf höchstens erreicht werden

Für die Kumulationsgruppen I und II wird durch Tabelle 30 die Gesamtexposition auf 100 % bzw. für die Gruppe III auf 30 % der pro Person und Tag lebenslang unschädlichen Dosis [mg/d] begrenzt. Hierdurch soll ein ausreichend großer Pufferbereich für Expositionen anderer Herkunft als Trinkwasser sichergestellt werden. Diese Kappung ist aber bei genauer Kenntnis aller Expositionspfade, z.B. über eine Einzelfallprüfung, ggf. zu korrigieren.

Bei den nicht kumulierenden Stoffen unterscheiden sich die gesundheitlich duldbaren Expositionshöhen nicht in Abhängigkeit von der Belastungsdauer. Der Unwägbarkeit von (früh)kindlicher Toxikodynamik und -kinetik aus Vorsorgegründen Rechnung tragend, werden aber gegebenenfalls zusätzliche Gefahrenwerte für Säuglinge und Kleinkinder GefW<sub>SK</sub> erstellt. Die Abschätzungen werden so getroffen, dass für diese Zielgruppe auch bei Exposition während bis zu 10 Jahren Schädigungen mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen sind.

Bei kanzerogenen Stoffen (ohne Wirkungsschwelle, s.o.) kann die Berechnung von Gefahrenwerten nicht auf der Grundlage des Wirkschwellenprinzips erfolgen [19]. Stattdessen wird ein willkürlicher, aber fester gefahrenverknüpfender Faktor in Höhe von  $F_{(Gef)} = 7$  eingesetzt, um aus dem BW einen Gefahrenwert zu errechnen. Der so errechnete Gefahrenwert bezieht sich auf 10 Jahre „akzeptable“ Expositionsdauer.

Unter Berücksichtigung der im Vergleich zu Erwachsenen etwa 10-mal höheren Empfindlichkeit von Säuglingen und Kleinkindern gegenüber genotoxischen Karzinogenen lässt sich errechnen, dass die Versiebenfachung des BW für einen Stoff ohne Wirkungsschwelle während maximal 10 Jahren Dauer zur Folge haben kann, dass das maximale Lebenszeit-Zusatzrisiko entsprechend ungünstig exponierter Personen bis auf das 16-fache des politisch im Rahmen der gesundheitlichen Vorsorge akzeptierten Wertes (also auf  $16 \cdot 10^{-6}$ ) ansteigen kann. Dies ist aber immer noch nur 1/3 dessen, was bei Vorliegen analoger Expositionssituationen im Bodenschutz auf dem Direktpfad Boden → Mensch als „akzeptabel“ (politisch akzeptiert) gilt.<sup>4</sup>

Im Zusammenhang mit Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen ergibt sich der Bedarf nach Gefahrenwerten aus zwei wichtigen Überlegungen **[19]**:

1. Aus hygienischen Gründen kann die Wasserversorgung von Haushaltungen selbst bei Überschreiten eines oder mehrerer Grenzwerte nicht ohne weiteres unterbrochen werden.
2. Bei nicht gesundheitsgefährdenden Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes kann dem Wasserversorger ein definierter Zeitraum gegeben werden, innerhalb dessen Abhilfe durch Sanierungsmaßnahmen zu treffen ist.

Aus gesundheitlichen Gründen ist spätestens bei Überschreiten der GefW der Stufe 3 (GefW<sub>3</sub>) sofortiger Handlungsbedarf gegeben, während die Überschreitung der Stufen 2 (GefW<sub>2</sub>) oder 1 (GefW<sub>1</sub>) mittelfristigen oder gar langfristigen Handlungsspielraum signalisiert, der allerdings aus Vorsorgegründen und wegen Beachtung des Minimierungsgebots nur im Ausnahmefall ausgeschöpft werden sollte.

Um Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen mit Augenmaß zu ermöglichen und die Umstände des Einzelfalls angemessen zu berücksichtigen, ist der Handlungsbedarf für den Schutz des Trinkwasserkonsumenten über die Gefahrenwerte wie folgt strukturiert **[19]**:

---

<sup>4</sup> vgl. Bekanntmachung über Methoden und Maßstäbe für die Ableitung der Prüf- und Maßnahmenwerte nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 18. Juni 1999, Bundesanzeiger, August 1999, Jahrg. 51, Nr. 161 a

### Gefahrenwert der 1. Stufe (GefW<sub>1</sub>): langfristige Exposition

Diese Werte sind lebenslang gesundheitlich sicher bzw. akzeptabel. Sie sind für die kumulierenden Stoffe und die karzinogenen Stoffe ohne Wirkungsschwelle mit dem Basiswert (BW) identisch.

Abweichungen nach oben von diesen Werten wären in Verbindung mit einer lebenslangen Exposition nicht gesundheitlich sicher bzw. nicht akzeptabel.

Ab Überschreitung des GefW<sub>1</sub> besteht langfristiger Handlungsbedarf (≥10 Jahre) aus gesundheitlichen Gründen zur Wiederherstellung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung.

### Gefahrenwert der 2. Stufe (GefW<sub>2</sub>): mittelfristige Exposition

Diese Werte sind während Expositionsdauern von bis zu 10 Jahren gesundheitlich sicher bzw. akzeptabel.

Sie sind deshalb je nach Höhe des gefahrenverknüpfenden Faktors  $F_{(Gef)}$  bzw. des Gesamtsicherheitsfaktors  $SF_g$  unterschiedlich höher als der lebenslang gesundheitlich sichere bzw. akzeptable Basiswert (vgl. Tabelle 10).

Abweichungen nach oben von diesen Werten wären für längere Expositionsdauern als 10 Jahre nicht gesundheitlich sicher bzw. nicht akzeptabel.

Ab Überschreitung des GefW<sub>2</sub> besteht mittelfristiger Handlungsbedarf (1,5 bis ≤10 Jahre) aus gesundheitlichen Gründen zur Wiederherstellung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung.

### Gefahrenwert der 3. Stufe (GefW<sub>3</sub>): kurzfristige Exposition

Diese Werte sind während Expositionsdauern von bis zu 1,5 Jahren gesundheitlich sicher bzw. akzeptabel.

Sie sind deshalb je nach Höhe des "gefahrenverknüpfenden Faktors" unterschiedlich deutlich höher als der lebenslang gesundheitlich sichere bzw. akzeptable Basiswert.

Abweichungen nach oben von diesen Werten wären für längere Expositionsdauern als 1,5 Jahre nicht gesundheitlich sicher. Für Stoffe ohne Wirkungsschwelle wurden keine GefW<sub>3</sub> angegeben (Hochrechnungen aus dem Basiswert zu spekulativ).

Für kürzere Expositionsdauern als 1,5 Jahre muss aus toxikologischer Sicht gegebenenfalls eine noch spezifischer einzelstoffbezogene Bewertung getroffen werden, die spezifische

toxikologische Informationen und die spezifische Expositionssituation, wie sie im Einzelfall nachweislich gegeben sein mögen, berücksichtigen.

Ab Überschreitung des  $GefW_3$  besteht unmittelbarer Handlungsbedarf ( $\leq 1,5$  Jahre) aus gesundheitlichen Gründen zur Wiederherstellung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung.

Gefahrenwert für Säuglinge und Kleinkinder ( $GefW_{SK}$ ): mittelfristige Exposition

Diese Werte sind in der Regel mit den jeweiligen  $GefW_2$  identisch. Bei bezüglich dieser Risikogruppe lückenhafter oder unklarer Datenlage wurden vorsorglich als Grenzkonzentrationen die niedrigen  $GefW_1$  eingesetzt (Expositionsdauern bis zu 10 Jahre).

Die  $GefW_{SK}$  sind gesundheitlich sicher bzw. akzeptabel für Säuglinge und Kleinkinder. Ab Überschreitung des  $GefW_{SK}$  besteht mittelfristiger Handlungsbedarf (1,5 bis  $\leq 10$  Jahre) aus gesundheitlichen Gründen für Säuglinge und Kleinkinder zur Wiederherstellung einer einwandfreien Trinkwasserversorgung.

Die Lang- bzw. die Mittelfristigkeit des Handlungsbedarfs bei Grenzwert- bzw. Basiswertüberschreitungen lt. Stufe 1, 2 und SK setzt die regelmäßige Untersuchung des Rohwassers, wie sie aus Sicht der Trinkwasserhygiene für jedes Einzugsgebiet einer Wasserversorgung gefordert ist, in Erweiterung auf Verdachtsparameter im Umfeld festgestellter militärischer Altlasten voraus. Grundlage für eine entsprechende Anordnung ist § 13 TrinkwV [11]. Ziel ist die weitestgehende Entfernung der Schadstoffe aus dem Trinkwasser im Sinne des Minimierungsgebotes gemäß § 2(3) TrinkwV bzw. § 6(3) des Entwurfs der TrinkwV-Novelle [39]. Der aktuelle Entwurf der Novelle der Trinkwasser-verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 98/83 EG des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch<sup>5</sup> gibt Vorgaben für Maßnahmen im Falle der Nichteinhaltung von Grenzwerten und Anforderungen explizit an insbesondere § 9 (1)). Für Abhilfemaßnahmen ist eine entsprechende Vorstrukturierung von Maßnahmeplänen, die sich gemäß der Dringlichkeit zeitlich und humantoxikologisch begründen, erforderlich. D.h. je höher die Stoffkonzentration, desto höher ist auch die zeitliche Dringlichkeit ihrer Abwehr und

---

<sup>5</sup> EU (1998). Richtlinie des Rates 98/83/EC über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 3. November 1998 (ABl. EG Nr. L 330,32)

entsprechend kürzer der gemäß E-TrinkwV zulässige Zeitraum bis zum Wirksamwerden der notwendigen Abhilfemaßnahmen. Ziel ist die weitestgehende Entfernung der Schadstoffe aus dem Trinkwasser im Sinne des Minimierungsgebotes gemäß § 2(3) TrinkwV bzw. § 6(3) E-TrinkwV.

Sind Konzentrationen im Rohwasser für Trinkwasserzwecke oberhalb der Gefahrenwerte Stufe 3 (Auslösewert) bereits nachgewiesen, sind unverzüglich einzelfallspezifische Maßnahmen (z.B. Abwehrbrunnen, Aufbereitungsmaßnahmen im Wasserwerk bzw. Sanierung der Kontaminationsherde) einzuleiten.

Sanierungsbedarf ist solange gegeben, bis gewährleistet ist, dass die Konzentrationen der Stoffe am Wasserwerksausgang mit Sicherheit auf Dauer deutlich unterhalb der vorgegebenen Werte (Grenzwerte der Trinkwasserverordnung bzw. der toxikologischen Basiswerte) liegen. Um dies gewährleisten zu können, ist es i.d.R. notwendig, dass die Schadstoffkonzentrationen im Rohwasser im Bereich der aus den Bewertungszahlen  $BZ_{TOX}$  abgeleiteten Konzentrationen liegen **[23]**, die somit als Zielwerte herangezogen werden können (vgl. auch Tabelle 11), bis Sanierungszielwerte als Funktion des toxikologischen Basiswertes, dem Stand der Schadstoffeliminierungstechnik und dem Stand der analytischen Nachweisbarkeit erarbeitet sind. Die bisher abgeleiteten Basis- und Gefahrenwerte für Kontaminanten aus militärischen Altlastverdachtsflächen sind in Tabelle 31 in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt.

**Tabelle 31** Übersicht zu Basis- und Gefahrenwerten für Roh- und Trinkwasser (die Ableitung der  $GefW_{1-3}$  aus dem BW folgt den Erläuterungen zu Tabelle 30)

	Substanz	Formel/Kurzzeichen	BW [µg/l]	GefW <sub>1</sub> [µg/l]	GefW <sub>2</sub> [µg/l]	GefW <sub>3</sub> [µg/l]	GefW <sub>SK</sub> [µg/l]
1	Arsen	As	10 <sup>2)</sup>	10	15	20	10
2	Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,0 <sup>1)</sup>	1	7	n.a.	7
3	3,4-Benz(a)pyren	BaP	0,07 <sup>1)</sup>	0,07	0,5	n.a.	0,5
4	Blei	Pb	25 <sup>3)</sup>	25	40	80	10
5	Cadmium	Cd	2 <sup>3)</sup>	2	3	5	3
6	Chrom (VI)	Cr	20 <sup>3)</sup>	200	200	200	200
7	Cyanid	CN <sup>-</sup>	20 <sup>3)</sup>	200	200	200	200

	Substanz	Formel/Kurzzeichen	BW [µg/l]	GefW <sub>1</sub> [µg/l]	GefW <sub>2</sub> [µg/l]	GefW <sub>3</sub> [µg/l]	GefW <sub>SK</sub> [µg/l]
8	Dichlormethan	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	20 <sup>3)</sup>	200	200	200	200
9	2,4-Dinitrotoluol	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> · CH <sub>3</sub> · (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ; (2,4-DNT)	0,7 <sup>1)</sup>	7	7	n.a.	7
10	Nickel	Ni	20 <sup>3)</sup>	20	200*	200*	50
11	Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50000 <sup>3)</sup>	130000	130000	130000	50000
12	Nitrit	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1000 <sup>3)</sup>	7000	7000	7000	1000
13	Quecksilber	Hg	1 <sup>3)</sup>	1	3	3	3
14	Tetrachlormethan	CCl <sub>4</sub>	3 <sup>3)</sup>	25	25	25	25
15	Trichlorethen	CHCl · CCl <sub>2</sub> (Tri)	35 <sup>3)</sup>	35	350	350	350
16	1,3,5-Trinitrohexahydro-1,3,5-triazin	(NH) <sub>3</sub> (CH) <sub>3</sub> · (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> (Hexogen)	3,0 <sup>3)</sup>	3,0	30	30	30
17	2,4,6-Trinitrotoluol	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> · (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> · CH <sub>3</sub> (2,4,6-TNT)	0,2 <sup>1)</sup>	>0,2	2	n.a.	2
18	Vinylchlorid	CHCl · CH <sub>2</sub>	0,5 <sup>1)</sup>	0,5	3,5	n.a.	3,5

\* für empfindliche Personengruppen mit Nickelallergie gilt ein GefW<sub>2,3</sub> = 50 µg/l; n.a. = nicht angebar

<sup>1)</sup> Diese BW entsprechen Lebenszeit-Zusatzrisiken für Krebs in Höhe von  $1 \cdot 10^{-6}$ . Da es sich demnach um karzinogene Stoffe „ohne Wirkungsschwelle“ handelt, wurde in Anlehnung an KONIETZKA UND DIETER (1998) ein willkürlicher, aber fester  $F_{(Gef)}$  zur Berechnung des GefW<sub>2</sub> eingesetzt (nähere Erläuterungen s. Text)

<sup>2)</sup> oral aufgenommenes anorg. Arsen wurde hier mit Bezug auf die WHO (1993) als Karzinogen mit Wirkungsschwelle bewertet

<sup>3)</sup> Die BW dieser Stoffe wurden ebenso wie die aus ihnen gebildeten GefW mit Hilfe des Sicherheitsfaktorenkonzepts berechnet (nähere Erläuterungen s. Text)

Weitere toxikologische Basis- und Gefahrenwerte von relevanten Prioritäts- und Verdachtskontaminanten werden z.Z. im Rahmen des Forschungsvorhabens „Erarbeitung von Basis- und Gefahrenwerten für prioritäre Schadstoffe in Roh- und Trinkwasser im Einzugsgebiet militärischer Altlasten“ des Bundesministeriums für Gesundheit durch die Autoren erarbeitet.

Einige wenige altlastenrelevante Kontaminanten geben sich bereits unterhalb der jeweiligen Basiswerte durch Geruchs- bzw. Geschmacksbeeinflussung von Trinkwasser zu erkennen, die durch individuelle Empfindsamkeiten subjektiv bedingte Toleranzen aufweisen. Diejenige Konzentration, die in diesem Schwellenbereich liegt, wird als "Hygienisch-sensorische Obergrenze" (HSO) bezeichnet und orientiert sich auf die empfindlichste Organoleptik. Wie aus Tabelle 32 ersichtlich, betrifft das vorwiegend bestimmte Kohlenwasserstoffe. Für die hier aufgeführten Substanzen ist anstelle des Basiswertes der HSO-Wert zugrunde zu legen.



**Tabelle 32** Werte der hygienisch sensorischen Obergrenze (HSO) für altlastenrelevante Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe	Basiswert [mg/l]	HSO-Wert [mg/l]
Alkane (Hexan, Heptan, Oktan)	0,2	0,01
Toluole	0,7	0,02
Xylole	0,5	0,02
Ethylbenzol	0,3	0,002

## 6.2 Akute Exposition

Unter standortspezifischen Bedingungen erfahren die rein stoffbezogenen Angaben des Bewertungskomplexteils C zur Toxizität und Wasserlöslichkeit keine Veränderungen, wohl aber die zum biochemischen Abbau und zur Adsorbierbarkeit. Die in Kapitel 3.4.3 dargelegten Abbauwerte können im Untergrund nur erreicht werden, wenn die Schadstoffe gelöst vorliegen, Adaption vorhanden und die Anwesenheit von Sauerstoff über die Bodenluft oder O<sub>2</sub>-Donatoren gegeben ist. Ansonsten verlängern sich die Dissimilationsraten erheblich, wobei der Prolongationsfaktor aus den entsprechenden örtlichen Gegebenheiten abgeschätzt werden kann. Die Adsorbierbarkeit erfährt Varianz vor allem durch die unterschiedlichen Bodenarten (Ton-, C-Gehalt); die Relation der AK<sub>ADS</sub> aber bleibt erhalten. Unabhängig davon erfordern die Arbeitsschritte 23 und 28 unmittelbar und die Arbeitsschritte 10, 13, 19, 21 und 26 u.U. geeignete Sofortmaßnahmen im Sinne der Gefahrenabwehr.

Die Möglichkeit einer akuten Exposition ist nachgewiesen, wenn im Einzugsbereich der Wasserfassung Konzentrationen in Höhe der toxikologischen Basiswerte, die den Beginn des "Toxizitätsbereichs" markieren, im Rohwasser erreicht oder überschritten sind und somit eine Beeinträchtigung als Schaden des Roh- bzw. Trinkwassers anzeigen.

Spätestens bei Überschreiten der Gefahrenwerte im Rohwasser ist eine einzelfallbezogene, die derzeitige und künftige Nutzung berücksichtigende Entscheidung über die Quelle der Verunreinigung zu treffen, wobei grundsätzlich auf die Kontinuität der Nutzung "Trinkwassergewinnung" zu orientieren ist. Notwendige Sanierungen der Altlast sollten unverzüglich eingeleitet werden, um den vorgegebenen Zeitrahmen der Gefahrenstufen

einhalten und Gesundheitsgefährdungen ausschließen zu können. Zukünftige Nutzungen der Liegenschaften müssen die für die Trinkwassergewinnung und -bereitstellung speziellen umwelthygienischen Anforderungen einhalten.

Die Basis- und Gefahrenwerte haben sich zur Beurteilung gesundheitlicher Gefährdungen durch Schadstoffe im Trinkwasser und zur Auslösung entsprechender Aktivitäten im Umfeld einer Wasserversorgungsanlage hervorragend bewährt und fanden bereits Eingang in Landesverordnungen [35].

### **6.3 Latente Exposition**

Als ebenso gefährlich wie eine bereits am Nutzungsort eingetretene Rohwasserbeeinträchtigung kann eine latente Exposition, also eine schleichende Kontamination des Bodens und Grundwassers, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf eine Wasserentnahmestelle zubewegt, zu bewerten sein. Ein "Verdacht auf unmittelbare Gefahren" liegt dann vor, wenn durch eine zu erwartende Exposition in nächster Zeit eine Schädwirkung auf die menschliche Gesundheit zu befürchten ist. Die Situation unentdeckter Gefahren für Rohwasser wird mancherorts unterschätzt und trifft den Unternehmer oder sonstigen Inhaber einer Wasserversorgungsanlage dann oft völlig unvorbereitet. Aus diesem Grund wird er nach § 13 (1) TrinkwV verpflichtet, Untersuchungen durchzuführen bzw. durchführen zu lassen, wenn dies wegen außergewöhnlicher Vorkommnisse im Einzugsgebiet des Wasservorkommens erforderlich erscheint. Die Anordnung hierzu hat nötigenfalls die zuständige Behörde zu treffen, initiiert durch Recherchen, die zu den Gefährdungsstufen GS IV bis GS VI geführt haben.

Emissionspfade im Boden und Grundwasser, die von einer militärischen Liegenschaft bzw. Altlastverdachtsfläche ausgehen, werden von vielen Parametern und Faktoren beeinflusst. Neben den standortspezifischen Größen Niederschlagsmenge, Oberflächenabfluss, Evapotranspiration und dem Grundwasserflurabstand zur Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers [36] werden wesentliche Einflussgrößen in Tabelle 33 mit den Möglichkeiten ihrer Erkundung aufgeführt. Daraus ist zu ersehen, dass sich eine Reihe von erforderlichen Aussagen aus Laboruntersuchungen *in vitro* ableiten lassen. Ein erheblicher Teil der Parameter und Faktoren bzw. Abschätzungen zur Feststellung des „komplexen Schadstoff-

transports“ im Untergrund aber erfordert einen großen Untersuchungsaufwand und einen hohen Kenntnisstand (Datensätze B4 und B5 sowie Hinweise *in situ*). Hinter dem Begriff „komplexer Schadstofftransport“ verbirgt sich die Summe aller Vorgänge im Untergrund einschließlich Persistenz und Migration.

Die standortspezifische Persistenz resultiert im wesentlichen aus der biochemischen Persistenz, der Akkumulierbarkeit, der (geringen) Wasserlöslichkeit und weiteren physikalischen und physiko-chemischen Parametern (vgl. Tabelle 33).

**Tabelle 33** Parameter und Faktoren, welche die Schadstoffausbreitung im Untergrund beeinflussen und entsprechende Erkundungsmöglichkeiten

Parameter und Faktoren	Erkundungsmöglichkeiten
1 Emittierte Schadstoffmenge und Emissionsdauer	(meist) Schätzungen
2 Zeitpunkt der letzten Emission	aus Datensatz A0
3 Distanz vom Kontaminationsherd (Liegenschaft oder ALVF zum Nutzungsort)	aus Datensatz A2
4 Persistenz: Verminderung der Schadstoffmenge durch biochemischen Ab-/Umbau	
4.1 Relation biochemischer Abbau und chemische Konstitution des Schadstoffes	<i>in vitro</i> (vgl. Datensatz C8)
4.2 Art der Stoffverteilung im Untergrund (von Schadstofflinse im Boden bis vollständige Lösung im Grundwasser)	<i>in situ</i>
4.3 Sauerstoffverhältnisse (auch O <sub>2</sub> -Donatoren), Nährstoffverhältnisse, pH-Wert, Wassersättigung im Untergrund und Adaptionsgrad	<i>in situ</i> <i>in situ</i>
4.4 Relation biochemischer Abbau und Temperatur sowie Konzentrationsabhängigkeit	
5 Persistenz: Verminderung der Schadstoffmenge durch chemischen Ab-/Umbau	
5.1 Oxidierbarkeit / Reduzierbarkeit, CSB, Fällung, Hydrolyse	<i>in situ</i>
5.2 pH-Wert; Temperatur, Wassersättigung, Säurekapazität	<i>in situ</i>
6 stoffbezogene Mobilität	
6.1 Löslichkeit in Wasser (auch Anwesenheit von Lösungsvermittlern)	<i>in vitro</i> (vgl. Datensatz C9)
6.2 Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient, Dampfdruck, Viskosität Diffusionsgeschwindigkeit u.a.	<i>in vitro</i> (vgl. Datensatz C9)
6.3 Adsorbierbarkeit (Gleichgewichtsbeladung)	<i>in vitro</i> (vgl. Datensatz C9)
7 untergrundspezifische Mobilität	aus Datensatz B4
7.1 Aufbau und Struktur des Untergrundes (Flurabstand, Klüftigkeit, Durchlässigkeitsbeiwert, Permeabilität, Tongehalt, Kohlenstoffgehalt u.a.)	
7.2 Geoakkumulation und Eluation (Tongehalt, Kationenaustauschkapazität, Gehalt an org. Kohlenstoff u.a.)	
7.3 Deckschichten (Flurabstand u.a.)	

Parameter und Faktoren		Erkundungsmöglichkeiten
8	Hydrogeologische Migration 8.1 Grundwasserdynamik (Permeabilität, Durchlässigkeit, Transmissivität, Filtergeschwindigkeit u.a.) 8.2 Eigenschaften des Grundwassers (Dichte, dynamische Viskosität, Oberflächenspannung u.a.)	aus Datensatz B5
9	Resümee: Schadstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Emissionspfad	"komplexer Schadstofftransport"

Der der biochemischen Persistenz im Untergrund entgegenläufige Vorgang wird als „In-situ-Dissimilation“ bezeichnet. Während die biochemische Abbaubarkeit - unter standardisierten Laborbedingungen ermittelt - im wesentlichen von der chemischen Konstitution einer Substanz abhängig ist, wird die In-situ-Dissimilation einer Verbindung maßgeblich von den Standortbedingungen durch die örtlichen Umstände gegenüber den optimierten Laborbedingungen beeinflusst. Eine hohe biochemische Persistenz resultiert aus nachstehenden Bedingungen:

- Verminderte Gelöstheit der Schadstoffe im Sicker- bzw. Grundwasser (z.B. durch kompakte Schadstoffverteilung im Untergrund in Form von großen Einschlüssen),
- mangelhafte Sauerstoffverhältnisse im Untergrund (gelöster Sauerstoff und O<sub>2</sub>-Donatoren),
- Adaptionsdefizit durch Fehlen geeigneter Mikroorganismen oder durch hohe, den biochemischen Umsatz inhibierende Schadstoffkonzentration.

Analoges gilt für die unter Laborbedingungen ermittelte Adsorbierbarkeit (Altlastenkoeffizient  $AK_{ADS} = 2$ ). Sie wird unter Standortbedingungen als In-situ-Akkumulation von vielen örtlichen Faktoren beeinflusst. Der Effekt wird erheblich verstärkt, wenn zudem die Substanz in Wasser praktisch unlöslich ist (Altlastenkoeffizient  $AK_{LÖS} = 2$ ).

Konkurrierend dazu resultiert eine hohe Mobilität - neben den aktuellen hydrogeologischen Bedingungen - vor allem aus der guten Wasserlöslichkeit der Substanz und der geringen In-situ-Akkumulation. Begünstigt durch eine geringe biochemische Persistenz, also einer hohen mikrobiellen Abbaumöglichkeit des Stoffes im Untergrund, verliert der komplexe Schadstofftransport aufgrund der starken Reduzierung der Stoffmenge auf dem Transportweg von der Altlast zur Entnahmestelle an Bedeutung. Im Idealfall (vgl. Arbeitsschritt 24)

vermindert sich die Schadstoffkonzentration so stark, dass sie am Nutzungsort vernachlässigbar gering ist ( $c_{\text{Schadstoff}} \ll \text{BW}_{\text{Schadstoff}}$ ).

In Abhängigkeit von der am Ort der Altlast vorliegenden Schadstoffmenge und dem von der Schadstoffquelle ausgehenden "komplexen Schadstofftransport" ist sowohl ein Anstieg als auch eine Abnahme der Stoffkonzentration an einem definierten Ort im Einzugsgebiet der Altlast möglich. Das gefahrenverknüpfte handlungsauslösende Moment ergibt sich aus der Summe aller relevanten Vorgänge im Untergrund in Richtung Rohwasserentnahmestelle.

Die Berechnung des Schadstofftransports im Untergrund erfolgt über mathematische Strömungs- und Transportmodelle. Die rechnergestützte Prozesssimulation gewinnt dabei zunehmend an Akzeptanz und Bedeutung. Modelliert wird der Stofftransport im Strömungsfeld unter Berücksichtigung von Filtrations- und Migrationsvorgängen im Untergrund. Vor-Ort-Untersuchungen geben Primärdaten zu den Anfangs- und Randbedingungen [31], welche in das Modell eingegeben werden.

Für die Abschätzung von Schwermetall- und organischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser wurde durch LITZ UND MITARBEITER am Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene ein Modell entwickelt, welches Konzentrationen am Ende der Sickerstrecke (Eintrittsort Grundwasser) in Abhängigkeit von den Gesamtgehalten im Oberboden mittels eines einfachen Verfahrens unter Einbeziehung von Standort- und Stoffeigenschaften ermittelt [36]. Die resultierenden Gehalte im Sickerwasser können mit den toxikologischen Basis- und Gefahrenwerten bzw. den Grenzwerten der TrinkwV verglichen und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Das Modell befindet sich z.Z. in der Validierungsphase. Es kann zur Bewertung flächenhafter Bodenkontaminationen, nicht jedoch zur Bewertung punktförmiger, hoch konzentrierter Bodenverunreinigungen (Havariefälle) verwendet werden. Das Modell von LITZ zeigt die Verfügbarkeit des mobilen Anteils von anorganischen Stoffen in der Bodenlösung als pH-Wert abhängigen Anteil der Gesamtkonzentration im Oberboden. Verfügbar, d.h. mit Ammoniumnitrat im Labor extrahierbar, sind demnach bei pH 7 höchstens 1% der Gesamtmenge eines Schwermetalls im Boden nach Königswasseraufschluss im Labor. Bei sinkendem pH-Wert steigt die Verfügbarkeit aber z.B. bei Cadmium bis auf > 50% an. Da Schwermetalle auch an Ton- und

Humusfraktionen des Bodens adsorbieren, wird die Einstufung in Verfügbarkeitsklassen noch durch Zu- oder Abschläge modifiziert.

Für die Abschätzung von organischen Schadstoffgehalten im Sickerwasser wird folgende Gleichung zugrunde gelegt.

$$C_L = \frac{C_T \cdot 100}{(LD \cdot K_{OC} \cdot C_{ORG} + FK)} \quad \text{Gl. 3}$$

$C_L$  = Konzentration in der Bodenlösung [mg/l]

$C_T$  = Gesamtkonzentration des Schadstoffes im Boden [mg/l]

$LD$  = Lagerungsdichte des Bodens [g/cm<sup>3</sup>]

$FK$  = Feldkapazität des Bodens [mm/dm]

Wenn  $C_T$  aus Messwerten bekannt ist, kann nach Gleichung 3 die Konzentration in der Bodenlösung  $C_L$  und damit der mobile Anteil bestimmt werden. Für die Abschätzung von Stoffgehalten im Sickerwasser werden die Größen

- Verflüchtigung von organischen Stoffen aus dem Boden (berechnet über den Dampfdruck bzw. die Henry-Konstante),
- minimale Sickerwassermenge (berechnet über die klimatische Wasserbilanz),
- Grundwasserflurabstand und Bodenart,
- biochemischer Abbau im Oberboden

berücksichtigt. Es ergeben sich modifizierte Versickerungsklassen (von 1 bis 5) für eine Bodenkontamination, die sowohl stoffspezifisch als auch standortspezifisch abgeleitet sind. Diese werden in Konzentrationsbereiche des Schadstoffes im Sickerwasser an der Grenze zum Grundwasser am betrachteten Standort umgerechnet. Ergibt die Prognose eine Überschreitung der regionalen Hintergrundwerte, so kann unter Berücksichtigung des BBodSchG durch gezielte Messungen im Grundwasser überprüft werden, ob tatsächlich ein Grundwasserschaden eingetreten ist.

Um den Aufwand für Untersuchungen an der Altlast möglichst gering zu halten, lässt sich der zeitliche Verlauf einer Schadstoffkonzentration im Boden und Grundwasser unter vereinfachten Annahmen auch mit Hilfe eines Kompartimentenmodells analysieren. Dabei folgt die Betrachtung zunächst nicht dem komplizierten Aufbau und den o.b. Vorgängen im Unter-

grund, sondern einheitlichen "Kompartimenten", die eine triviale mathematische Modellierung des Konzentrationsverlaufs eines Schadstoffes im Untergrund erlauben (vgl. Anhang II).

## 7 Gesamtübersicht und Fallbeispiel

Die Gesamtübersicht des Kriterienkataloges mit den einzelnen Arbeitsschritten ist in Bild 4 dargestellt. Der Arbeitsablauf beginnt mit den Datensätzen A0 bis A3 des Bewertungskomplexteils A und führt entsprechend den Gegebenheiten über obligatorische / fakultative Kriterien ggf. über den Komplexteil B in den Komplexteil C. Die Stoffbewertung des Komplexteils C kann aber – z.B. resultierend aus einer ökonomischen Abwägung bei bereits vorliegenden Stoffdaten – auch losgelöst von liegenschaftsbezogenen Erkundungen zunächst für die Targetstoffe des Bewertungskomplexteils A erfolgen.

Aus den Arbeitsschritten AS 3 bis maximal AS 24 resultiert auf der Basis des Einstufungsrasters die Zuordnung der Liegenschaft. Rein zivile oder analog zivile Objekte aus militärischer Nutzung ohne Altlastverdacht werden in Kenntnis des Kriteriums A1.1 über die AS 1 bis AS 2 ausgewiesen.

Festgestellter Handlungsbedarf führt entsprechend der Bewertungsebene zu den Gefahrenstufen  $GS_A$  VI,  $GS_B$  VI oder  $GS_C$  VI. Unabhängig davon, ob man dabei eine akute oder latente Gefahr signalisiert, wird ein Sanierungsbezug für die betreffende Exposition auf der Grundlage von Basis- und Gefahrenwerten aufgezeigt. Verwiesen wird zudem auf die Erläuterungen zum Bild 4.

### Erläuterungen zum Bild 4

#### 1. Bewertungskomplex

Bewertungskomplexeile A, B und C mit den Datensätzen A0 bis C9, die obligatorische und fakultative Kriterien ZA, ZB und ZC beinhalten, sowie den Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOR}$  und  $AK_{MOB}$ .

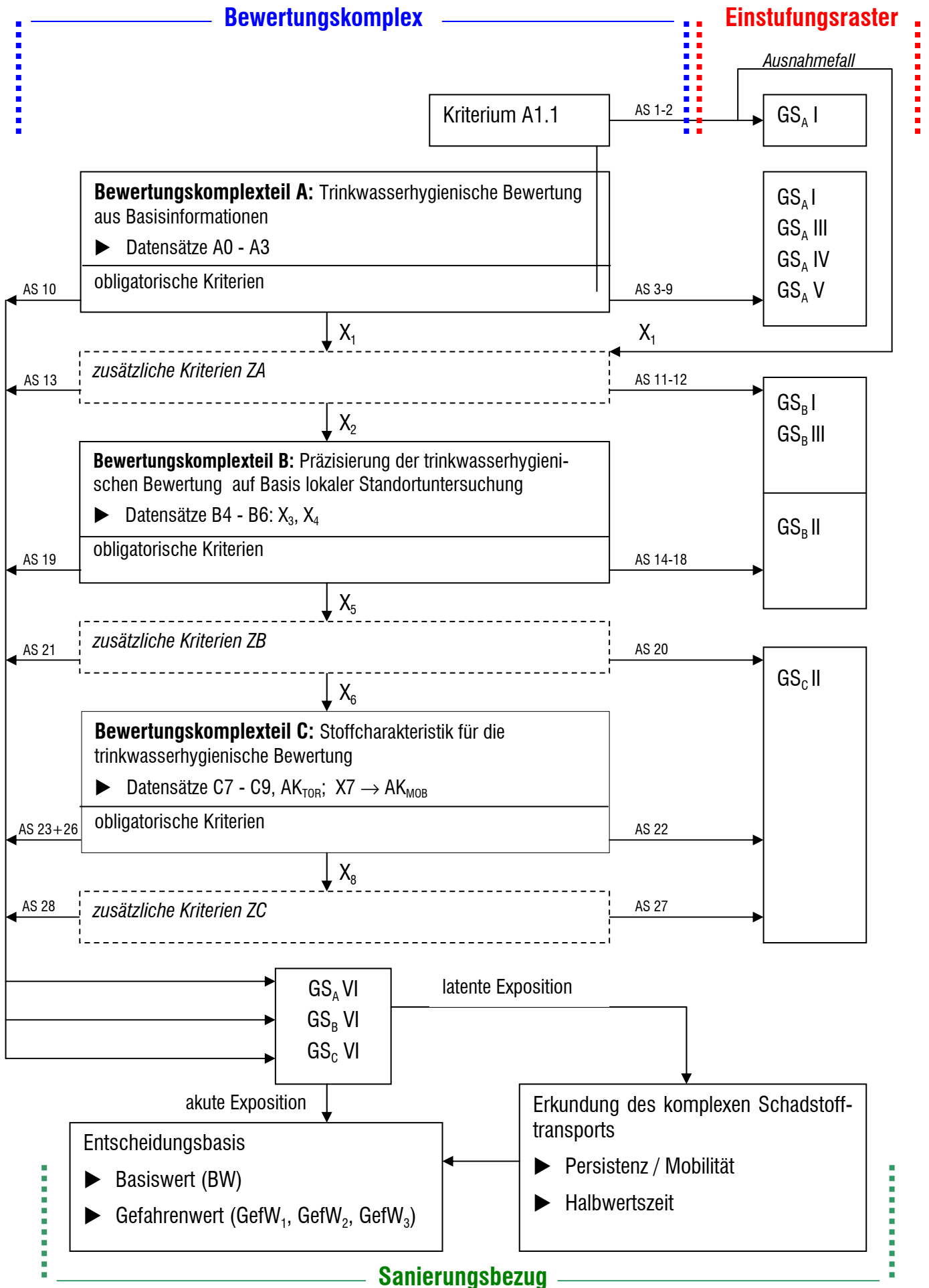
Methodik: 28 Arbeitsschritte (AS 1 bis AS 28);  $X_1$  bis  $X_8$  sind Zwischenschritte ohne Bewertung.

#### 2. Einstufungsraster

Ergebnis der Bewertung: Gefährdungsstufen 1 bis 6 ( $GS$  I –  $GS$  VI) in Abhängigkeit von steigendem Erkenntnisstand auf Basis der Bewertungskomplexeile von  $GS_A$  über  $GS_B$  bis  $GS_C$ .

#### 3. Sanierungsbezug

Die Gefährdungsstufe  $GS$  VI erfordert unabhängig vom Erkenntnisstand  $GS_A$  bis  $GS_C$  unmittelbaren Handlungsbedarf auf der Grundlage von zeitlich gestaffelten Basis- und Gefahrenwerten ( $BW$ ,  $GefW_1$ ,  $GefW_2$ ,  $GefW_3$ ).



**Bild 4** Gesamtübersicht des Kriterienkataloges



Die praktische Anwendung des Kriterienkataloges zur Beurteilung von Gefahren für Trinkwasser aus Altlasten soll über ein Fallbeispiel verdeutlicht werden.

**Fallbeispiel: Ehemaliges Kasernengelände der Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT)**

**Bewertungskomplexeil A**

Nachdem die Oberfinanzdirektion (OFD) den Abzug der WGT aus der Panzerkaserne gemeldet hatte, wurde das Umweltbundesamt vom Bundesumweltministerium und Bundesfinanzministerium beauftragt, eine Ersterkundung hinsichtlich Art und Umfang von Altlasten durchzuführen. Das Ergebnis der Begehung wird der Gefahrenbeurteilung zugrunde gelegt.

**Datensatz A1**

Über die Aufnahme der Verwaltungsdaten aus dem Datensatz A0 wird die Angabe der ehemaligen Nutzung der Liegenschaft mit den aus Archiven der Bundeswehrverwaltung vorliegenden Angaben zur Nutzungshistorie verglichen. Der Arbeitsschritt A1 zeigt keine Übereinstimmung mit dem *Kriterium 1.1* an (Nutzungshistorie war nicht analog zivil). Vielmehr sind aus den Liegenschaftsplänen Tanklager, Tankstellen, Waschplätze und Waschrampen für Panzer sowie Freilager für Lösungs- und Korrosionsmittel als kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (= *Kriterium 1.4*) ersichtlich, auf denen mit entsprechenden Wasserschadstoffen umgegangen wurde. Die Nutzungsdauer betrug 45 Jahre (= *Kriterium 1.7*, Einwirkdauer). Verdachtskontaminanten sind Diesel- und Vergaserkraftstoffe (DK, VK), Motorenöle, Getriebeöle und Altöle für die Bereiche der Tanklager, Tankstellen und Stellplätze. Weitere Verdachtskontaminanten sind Lösemittel-X, Lösemittel-KW, Schmierstoffe, Konservierungsöle und Imitationsmittel für die Bereiche der Wasch- und Reparaturanlagen sowie deren Lagerbereiche (= *Kriterium 1.5*; Hinweise zu Einzelstoffen vgl. Anhang 1).

Recherchen bei den Umwelt- und Gesundheitsämtern zeigen, dass keine weiteren Erkenntnisse zu den obligatorischen Kriterien 1.8 – 1.13 vorliegen; d.h. es gibt keine weiteren liegenschaftsbezogenen Erkundungsmaßnahmen oder bereits ausgelöste Sofortmaßnahmen.

**Ergebnis aus Datensatz A1: Angabe Ja; Aussage +**

## Datensatz A2

Aktuelle Bestandskarten sowie Recherchen mit den Umwelt- und Gesundheitsbehörden zeigen, dass Teile des Kasernengeländes die TWSZ III und auch die TWSZ II (= *Kriterium 2.3*) eines nahegelegenen Wasserwerkes (= *Kriterium 2.2*) der öffentlichen Wasserversorgung (ZWVA = *Kriterium 2.1*) berühren. Die Entfernung zwischen ehemaligem Waschplatz für Panzer (= *Kriterium 2.6*) und der nächstgelegenen Brunnengalerie beträgt 1500 m (= *Kriterium 2.4*). Die anderen kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereiche liegen weit außerhalb des Trinkwassereinzugsgebietes. Als trinkwasserrelevante Verdachtskontaminanten (Targetstoffe) verbleiben Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aus VK, DK, Schmier- und Konservierungsstoffen sowie Lösemittel-X und Lösemittel-KW (= *Kriterium 2.7*). Die kreislichen Gesundheits- und Umweltämter haben keine weiteren aktuellen Informationen (= *Kriterium 2.8*).

Ergebnis aus Datensatz A2: **Angabe Ja; Aussage +**

## Datensatz A3

Die genannten Targetstoffe werden aufgrund ihrer bekannten stoffspezifischen Eigenschaften als Wasserschadstoffe eingestuft (= *Kriterium 3.2*); der kontaminationsverdächtige Nutzungsbereich der Waschrampe für Panzer ist daher wasserrelevant (= *Kriterium 3.1*). Weitere Aussagen zu den obligatorischen Kriterien 3.3 bis 3.6 können nicht getroffen werden.

Ergebnis aus Datensatz A3: **Angabe Ja; Aussage +**

Im Ergebnis des Bewertungskomplextails A erfolgt über den Arbeitsschritt 10 die Einstufung in die Gefährdungsstufe  $GS_A$  IVc - potentielle Gefährdung wegen Verdacht auf Kontamination - mit der Maßgabe des unverzöglichen Untersuchungsbedarfs (vgl. Arbeitsschritt 10 in Kapitel 5.2). Die Einstufung  $GS$  VI – Sofortmaßnahme - wird nicht gewählt, da nach Rücksprache mit den Gesundheits- und Umweltbehörden die vorliegenden Roh- und Trinkwasseranalysen des Wasserwerks im Ergebnis die Aussage einer akuten Gesundheitsgefahr nicht zulassen. Die Zwischenaussage  $X_1$  wird nicht gewählt, da die Ausdehnung des Trinkwasserschutzgebietes mit den TWSZ II und III Ergebnis eines aktuellen hydrogeologischen Gutachtens ist.

### **Bewertungskomplexeil B**

Da für die Bemessung des Trinkwasserschutzgebietes ein hydrogeologische Gutachten vorliegt und sich die Panzerwaschrampe in der TWSZ II befindet, ist die lokale Standortcharakteristik des Datensatzes B4 bekannt (die Arbeitsschritte 11-13 entfallen).

#### **Ergebnis aus Datensatz B4: Angabe Ja; Aussage +**

Auf der Grundlage des § 13 der TrinkwV ordnet das zuständige Gesundheitsamt die Untersuchung von Rein- und Rohwasser auf die ermittelten Targetstoffe aus Komplexeil A durch den Wasserversorger an.

Neben der Beprobung des Reinwassers (Wasserwerksablauf = Einspeisestelle in das Versorgungsnetz) werden aufgrund des hydrogeologischen Gutachtens alle Entnahmebrunnen sowie drei neue Pegel im Anstrom der Wasserfassungen (Abstand 1000 m) und im Abstrom der Panzerwaschrampe (Entfernung ca. 500 m) beprobt. (*Kriterien 6.1 und 6.2*).

Ergebnis von ersten Roh- und Reinwasseruntersuchungen (Pegel 1 bis 3 im Abstrom der Altlast und im Anstrom der Entnahmebrunnen):

Pegel	Abstand vom Entnahmebrunnen (m)	Abstand von der Altlast (m)	Trichlorethen [ $\mu\text{g/l}$ ]	Vinylchlorid [ $\mu\text{g/l}$ ]
Pegel 1	1000	500	2000	35
Pegel 2	500	1000	500	65
Pegel 3	100	1400	300	15
Entnahmebrunnen	-	1500	60	1,0
Reinwasser	-	-	40	1,0

#### **Ergebnis aus Datensatz B6: Angabe Ja; Aussage +**

Unabhängig davon werden aufgrund des aufgezeigten Erstverdacht und auf Initiative des Umweltamtes liegenschaftsbezogene Maßnahmen mit der Zielsetzung orientierender Erkundungen im festgestellten Problembereich der Waschrampe gegenüber dem Grundstückseigentümer angeordnet (*Kriterien 5.1 und 5.2*).

Ergebnis der Untersuchungen aus 2 Rammkernsonderungen (RKS) am Ort der Panzerwaschrampe:

Entnahmetiefe	Trichlorethen in RKS 1 [mg/kg TS]	Trichlorethen in RKS 2 [mg/kg TS]
Oberfläche	0	0
0,5 m	1400	1000
1,0 m	2000	1500
2 m	500	400

TS = Trockensubstanz Boden

### Ergebnis aus Datensatz B5: Angabe Ja; Aussage +

Im Ergebnis des Bewertungskomplexteils B erfolgt über die Arbeitsschritte 15, 17 und 19 die Einstufung in die Gefährdungsstufe  $GS_B X_5$ , da Aussagen zur Verteilung des Schadstoffes im Untergrund fehlen und nach Rücksprache mit den Gesundheits- und Umweltbehörden die gezielten und aktuellen Roh- und Trinkwasseranalysen im Ergebnis die Aussage einer akuten Gesundheitsgefahr nicht zulassen.

### **Bewertungskomplexteil C**

Über den Bewertungskomplexteil C erfolgt die Überprüfung der Trinkwasserrelevanz der gefundenen Stoffe. Als maßgeblicher Kontaminant wurde das Lösemittel Trichlorethen (Trivialnahme Tri) ermittelt, das sich z.T. über cis-1,2-Dichlorethen bzw. trans-1,2-Dichlorethen zum Vinylchlorid im Laufe der Jahre metabolisiert hat. Der Arbeitsschritt 22 prüft zunächst die toxikologische Relevanz von Trichlorethen sowie dessen Metaboliten cis-Dichlorethen, trans-Dichlorethen und Vinylchlorid.

Die Berechnung der Toxikologischen Bewertungszahlen  $BZ_{TOX}$  und der Altlastenkoeffizienten  $AK_{TOX}$  erfolgt auf der Grundlage des Kriteriums 7.1:

Stoff	$BZ_{TOX}$	$AK_{TOX}$	Aussage
Trichlorethen	59	3,0	stark toxisch
cis-1,2-Dichlorethen	60*	(3,0)	vermutlich stark toxisch
trans-1,2-Dichlorethen	48*	(2,5)	vermutlich stark toxisch
Vinylchlorid	100	4,0	hoch toxisch bzw. eindeutig karzinogen

Ebenso liegen Angaben zur biochemischen Abbaubarkeit nach standardisiertem Verfahren vor (*Kriterium C8.1*).

Stoff	BZ <sub>BIO</sub>	AK <sub>BIO</sub>	Aussage gemäß Definition
Trichlorethen	96-100 = D	2,0	aerob biochemisch nicht abbaubar; allenfalls reduktiver Umsatz zu cis- bzw. trans-Dichlorethen und zu Vinylchlorid *)
cis-1,2-Dichlorethen	(96-100 = D)	(2,0)	Metabolit, biochemisch aerob nicht abbaubar *)
trans-1,2-Dichlorethen	(96-100 = D)	(2,0)	Metabolit, biochemisch aerob nicht abbaubar *)
Vinylchlorid	96-100 = D	2,0	Metabolit, biochemisch aerob nicht abbaubar *)

\*) eine prolongierte reduktive Metabolisierung findet statt.

Nachstehend ist die toxikologische Relevanz der vier Verbindungen aufgeführt.

Stoff	AK <sub>TOR</sub>	Aussage
Trichlorethen	5,0	hohe humantoxikologische Relevanz über den Trinkwasserpfad
cis-1,2-Dichlorethen	((5,0))	vermutlich hohe toxikologische Relevanz über den Trinkwasserpfad
trans-1,2-Dichlorethen	((4,5))	vermutlich (hohe) toxikologische Relevanz über den Trinkwasserpfad
Vinylchlorid	6,0	sehr hohe humantoxikologische Relevanz über den Trinkwasserpfad

Die Verdachtskontaminanten sind als Prioritätskontaminanten trinkwasserrelevant. Eine Rückstufung über die Prüfung der Mobilitäten im Arbeitsschritt 26 über die Parameter der Wasserlöslichkeit und der Adsorbierbarkeit (*Kriterien 9.1 und 9.2*) ist nicht möglich; ergänzend hierzu die Werte und Aussagen zur Mobilität.

Stoff	AK <sub>LÖS</sub>	AK <sub>ADS</sub>	AK <sub>MOB</sub>	Aussage
Trichlorethen	1,0	1,9	2,9	hohe Löslichkeit und hohe Adsorbierbarkeit => mittlere physiko-chemische Mobilität
cis-1,2-Dichlorethen	1,0	(1,7)	(2,7)	hohe Löslichkeit und vermutlich mittlere Adsorbierbarkeit => vermutlich erhöhte physiko-chemische Mobilität
trans-1,2-Dichlorethen	1,0	(1,7)	(2,7)	hohe Löslichkeit und vermutlich mittlere Adsorbierbarkeit => vermutlich erhöhte physiko-chemische Mobilität
Vinylchlorid	1,0	1,3	2,3	hohe Löslichkeit und geringe Adsorbierbarkeit => sehr hohe physiko-chemische Mobilität

Lt. Arbeitsschritt 23 erfolgt die **Einstufung in die Gefährdungsstufe GS<sub>c</sub> VI**.

## Sanierungsbezug

### I. Überprüfen auf akute Exposition

#### a) Reinwasser

Für Trichlorethen ist der Grenzwert der TrinkwV um das Vierfache und der Gefahrenwert für Säuglinge und Kleinkinder um das Dreifache überschritten, ebenso liegt der Meßwert leicht oberhalb des Basiswertes. Für Vinylchlorid sind der Basiswert und der GefW<sub>1</sub> überschritten. Die Situation verlangt somit unmittelbar nach Maßnahmen. Eine sofortige Schließung der Wasserversorgungsanlage erscheint aber aus toxikologischer Sicht bei Einhaltung bestimmter Auflagen nicht notwendig. Dazu gehören vor allem

1. detaillierte Belastungsanalysen;
2. daraus resultierende Maßnahmen wie beispielsweise die Schließung von belasteten Brunnen und zusätzliche Aufbereitungsschritte im Wasserwerk;
3. Information der Abnehmer mit Säuglingen und Kleinkindern, auf Ersatzwasser auszuweichen.

#### b) Rohwasser am Ort der rechtlichen Beurteilung

Über das Schichtenverzeichnis des Bodens und die Bodenwerte

Gesamtporenanteil, Luft- und Feldkapazität, Durchlässigkeitsbeiwert, pH-Wert und Grundwasserneubildung (vgl. auch *Kriterien 4.4 und Kapitel 6.3*)

wird über eine Sickerwassersimulation für Trichlorethen eine Konzentration von 300 µg/l, für die Metaboliten cis- und trans-1,2-Dichlorethen 100 µg/l und 80 µg/l sowie für Vinylchlorid eine Konzentration von 6 µg/l am Ort der rechtlichen Beurteilung (Trennschicht der ungesättigten zur gesättigten Bodenzone) errechnet (*Kriterium 6.3*).

Stoff	Konzentration am Ort der rechtlichen Beurteilung [µg/l]	Grenzwert der TrinkwV [µg/l]	EU-Richtlinie [µg/l]	BW [µg/l]	GefW <sub>1</sub> [µg/l]	GefW <sub>2</sub> [µg/l]	GefW <sub>3</sub> [µg/l]	GefW <sub>SK</sub> [µg/l]
Trichlorethen	300	10	10	35	350	350	350	100
Vinylchlorid	6	*	0,5	0,5	0,5	3,5	n.a.	3,5

n.a. nicht angebar und damit gilt 3,5 µg/l als maximaler Gefahrenwert

\* wird in der kommenden TrinkwV berücksichtigt

Die Überprüfung der Rohwasserwerte am Ort der rechtlichen Beurteilung (Trennschicht zwischen gesättigter und ungesättigter Bodenschicht im kontaminierten Bereich der

Panzerwaschanlage) zeigt klaren Handlungsbedarf auf. Der Gefahrenwert für Vinylchlorid signalisiert, dass die einzuleitenden Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von gesundheitlichen Gefahren innerhalb von 1,5 Jahren abgeschlossen sein müssen.

## II. Überprüfung auf latente Exposition

Die Überprüfung des festgelegten Zeitrahmens kann über eine Prognoserechnung – in welchen Konzentrationsbereichen und wann die Rohwasserkontaminationen die Förderbrunnen erreichen – und eine standortbezogene Transportmodellierung für die einzelnen Schadstoffe ermittelt werden. Hierauf wird im Fallbeispiel verzichtet, weil der Sanierungsbezug bereits durch die Überschneidung der Kontamination (des Ortes der rechtlichen Beurteilung) mit der TWSZ II gegeben ist.

## 8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Anwendung des Kriterienkataloges garantiert bei geringem Personal-, Zeit- und Kostenaufwand mögliche Gefährdungen von Trinkwasserressourcen durch militärische Altlasten mit hoher Treffersicherheit zu erkennen. Bei positiv belastender Aussage bietet sie toxikologisch begründete Entscheidungshilfen mit dem Ziel an, gesundheitliche Gefahren durch Trinkwasserkontaminationen rechtzeitig und mit Sicherheit auszuschließen.

Mit Hilfe des Kriterienkataloges konnten bisher neben offensichtlichen Rohwasserbeeinträchtigungen über 60 Indikationen dieser Art auf ehemaligen Militärfeldern der WGT und der NVA ermittelt werden, die sich vornehmlich auf den akuten Bereich konzentrieren. Diese Aufgabe ist für den Anteil der untersuchten militärischen Liegenschaften in den neuen Bundesländern - 1026 ehemalige WGT-Liegenschaften der Sowjetarmee und 425 ehemalige NVA Liegenschaften der DDR-Truppen im Freistaat Sachsen in heutiger ziviler Nutzung - im wesentlichen abgeschlossen, wenn auch Sanierungsmaßnahmen zum überwiegenden Teil noch erfolgen müssen. Die Recherchen sind nunmehr verstärkt auf latente Expositionen zu richten, die vor allem mittel- und langfristig das Lebensmittel Trinkwasser gefährden können. Die für die Gefahreinschätzung verfügbaren (Erst-)Erkundungen und Dokumente **[1, 2, 3, 36, 37]** sind quantitativ und qualitativ sehr unterschiedlich und beinhalteten überwiegend Aussagen zum Bewertungskomplextteil A auf vorwiegend beprobungsloser Basis. Bisweilen kann sogar in erster Instanz nur auf die Datenbasis A0 (Verwaltungsdaten) zurückgegriffen werden.

Mit Zunahme der Verdachtsmomente sind verstärkt die Datensätze B4 bis B6 (hydrogeologische und geologische Erkenntnisse sowie Analysendaten aus Boden- und Grundwasserbeprobungen) des Komplexteils B gefragt. Die zur Gefahreinschätzung erforderlichen Stoffparameter werden am Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene erarbeitet bzw. der Fachliteratur [u.a. **28, 37, 38, 39, 40]** und online-Datenbanken entnommen.

Für alle drei Bewertungskomplextteile haben die obligatorischen Kriterien Priorität. Zusätzliche Aussagen (fakultative Kriterien) dienen der Präzisierung der Einschätzungen oder ersetzen fehlende obligatorischen Kriterien erforderlichenfalls.



Der gesamte Vorgang des Erkennens und Beurteilens von Gefahren aus militärischen Altlasten bzw. Liegenschaften in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen ist in 28 Arbeitsschritten (AS 1 - 28) inklusive 8 Zwischenschritten ( $X_1 - X_8$ ) schematisiert. Neben dem Aufzeigen von erforderlichem Untersuchungsbedarf für die Wasserversorgungsunternehmen, die Umwelt- und Gesundheitsämter bzw. liegenschaftsbezogen für den Verursacher bzw. Grundstückseigentümer besteht das Hauptziel im Erkennen und Bewerten von Liegenschaften, Altlastverdachtsflächen bzw. kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen mit unmittelbarem Handlungsbedarf (Gefährdungsstufe VI).

Mit den Basis- und Gefahrenwerten ( $BW$ ,  $GefW_1 - GefW_3$ ) wird den Verantwortlichen eine toxikologisch begründete Entscheidungshilfe angeboten, die grundsätzlich an der Kontinuität der Trinkwassergewinnung im Umfeld der militärischen Liegenschaften orientiert ist. Notwendige Sanierungen von Altlasten und zukünftige Nutzungen der Liegenschaften können so die für die Trinkwassergewinnung und -bereitstellung speziellen umwelthygienischen Anforderungen einhalten.

Vermutete latente Expositionen setzen, im Gegensatz zu den akuten Verunreinigungen von Rohwasser für die Trinkwasserversorgung, die Erkundung des "komplexen Schadstofftransports" im Untergrund voraus, der alle Vorgänge von Persistenz und Mobilität integriert.

In Fortführung der Arbeit der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser hat sich der Kriterienkatalog als Gefahrerforschungsmaßnahme für Trinkwasser im Umfeld militärischer Liegenschaften bewährt bei

- dem Vorhaben "Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften aus der ehemaligen militärischen Nutzung durch die Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT)" im Auftrag der Bundesregierung im Rahmen des Umweltforschungsplans 1997-98 **[17]** und
- den entsprechenden Untersuchungen von 1998 im Auftrag des Freistaates Sachsen für die nunmehr in zivile Nutzungen überangenen Liegenschaften der ehemaligen Nationalen Volksarmee der DDR **[18]**.

In einer konzertierten Aktion zwischen den obersten Gesundheits- und Umweltbehörden von Bund und Ländern sollten nunmehr verstärkt die noch verbliebenen latenten Expositionen auf der Basis des Kriterienkataloges bearbeitet werden. Das Bewertungssystem kann

insbesondere auch in den alten Bundesländern Anwendung finden und damit eine bundesweite gesundheitliche Absicherung von Trinkwasserressourcen im Umfeld ehemaliger militärischer Liegenschaften erzielen. Darüber hinaus kann der Kriterienkatalog auch zur raschen Aufklärung von langfristig zu erwartenden Gefährdungen aus ehemaligen Rüstungsstandorten herangezogen werden, für die bisher bundesweit nur Kriterien zum Datensatz A0 bekannt sind **[38]**.

## 9 Literatur

- [1] Ermittlung von Altlastverdachtsflächen auf den Liegenschaften der Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT), WGT-Projektberichte, IABG Ottobrunn (1995)
- [2] Altlastprogramm Ost der Bundeswehr im Auftrag der WBV VII. OFD-Hannover (Teilauszug bis 1996)
- [3] Erfassungsbögen der AG "Militärische Altlasten / Trinkwasserversorgung" der FKST, ständig aktualisierte Fassung bis 1998
- [4] Trinkwasser - Mögliche Auswirkungen militärischer Altlasten auf die Trinkwasserversorgung in den neuen Bundesländern - Erfassung militärischer Standorte. Zwischenbericht der Arbeitsgemeinschaft Militärische Altlasten / Trinkwasserversorgung der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser, Berlin (1994)
- [5] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa: Vermeidung und Kontrolle von Grundwasserverunreinigungen durch Chemikalienlagerung und Abfallbeseitigung, hrsg. BMU Bonn (1996)
- [6] Beschluss der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser 8/1/3 "AG Militärische Altlasten" vom 22./23.1.92
- [7] Trinkwasser - in den neuen Ländern. Tätigkeitsbericht der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser (FKST), Berlin (1996)
- [8] Beschluss der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser 20/1/2 "Trinkwasserschutz im Umfeld militärischer Liegenschaften" vom 17.09.96
- [9] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz - BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl. I Nr. 16, S. 502)
- [10] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) v. 23.9.1986 (BGBl. I S. 1529, Ber. S. 1654) mit späteren Änderungen
- [11] Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) v. 05.12.1990 (BGBl. S. 2612 - S. 2629)

- [12] Richtlinie des Rates 98/83/EC vom November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch
- [13] Dörhofer, G.: Bewertung von Altlasten - Ansätze zur abgestuften Beurteilung von Grundwasserkontaminationen durch Altlasten. Altlasten Spektrum 1/98, S.20-26 (1998)
- [14] Deutsche Normen, DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser. Planung, Bau und Betrieb der Anlagen. Fachnormenausschuss Wasserwesen (FNW) im Deutschen Normenausschuss (DANN), (1973)
- [15] Grohmann, A., H.H. Dieter: Schutz von Wasserressourcen im Umfeld militärischer Liegenschaften - eine Herausforderung für die Trinkwasserhygiene, aus: Trinkwasserressourcen im Umfeld militärischer Liegenschaften. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 6/97, Berlin (1997)
- [16] 60. Deutscher Juristentag, Vorschläge zur Regelung der Altlasten im Rahmen des Bodenschutzes, Verlag C. H. Beck, München (1994)
- [17] Mulisch, H.-M., W. Winter, S. de Lima: Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften aus der ehemaligen militärischen Nutzung durch die Westgruppe der Truppen der Sowjetarmee (WGT). Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 6/99, Berlin (1999)
- [18] Mulisch, H.-M.: Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften der ehemaligen Nationalen Volksarmee im Freistaat Sachsen. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes und des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, UBA, Berlin (1998)
- [19] Dieter, H.H., A. Grohmann, W. Winter: Trinkwasserversorgung bei Überschreiten von Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Aus: Transparenz und Akzeptanz von Grenzwerten am Beispiel des Trinkwasser. Umweltbundesamt: Berichte; 96/6 [Hrsg.: Umweltbundesamt. Andreas Grohmann; Hermann H. Dieter; Gesine Reinicke] Erich Schmidt, Berlin (1996)

- [20] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 16.7.1999 (BGBl. Jg. 1999, Teil I, Nr. 36)
- [21] Altlasten-Handbuch. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart (1997)
- [22] Schadstoffinformation für die Anwendung baufachlicher "Richtlinien für die Planung und Ausführung der Sicherung und Sanierung belasteter Böden" des BMBau für Liegenschaften des Bundes, Hannover (1995)
- [23] Dieter, H.H.: Kriterien und Konzentrationsvorschläge zur gesundheitlichen Bewertung von 35 Sprengstoff-typischen Verbindungen und Abbauprodukten in Böden und Trinkwasser. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, WaBoLu-Hefte 7/1994, Berlin (1994)
- [24] Kerndorff, H., R. Schleyer, H.H. Dieter: Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen. Standardisierte Methoden und Maßstäbe. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, WaBoLu-Hefte 1/1993, Berlin (1993)
- [25] Lehrbuch der Toxikologie / hrsg. von H. Marquardt und S.G. Schäfer. - Mannheim; Leipzig; Wien; BI-Wiss.-Verl., Zürich (1994)
- [26] Beirat beim Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Lagerung und Transport wassergefährdender Stoffe: Katalog wassergefährdender Stoffe. LTWS-Nr. 12 Band 1 - 4, hrsg. vom Umweltbundesamt, Berlin (1996)
- [27] Litz, N. und H.P. Blume: Verhalten organischer Chemikalien in Böden und dessen Abschätzung nach einer Kontamination. Z. f. Kulturtechnik u. Landesentwickl. 30. S. 355-364 (1989)
- [28] Starke, W. im Autorenteam: Angaben zur Adsorbierbarkeit im Wasserschadstoffkatalog, Institut für Wasserwirtschaft, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1975 mit Aktualisierungen 1979, 1981 und 1984
- [29] ChemIndexNet – Datenbank der CambridgeSoft Corporation, Cambridge, MA 02139 USA (1999)

- [30] Baes, C. F., R. E. Mesmer: The hydrolysis of cations. John Wiley and Sons, New York (1984)
- [31] Lege, T., O. Kolditz, W. Zielke: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten- Band 2; hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1996)
- [32] Konietzka, R. und H.H. Dieter: Ermittlung gefahrenbezogener chronischer Schadstoffdosen zur Gefahrenabwehr beim Wirkungspfad Boden-Mensch. Bodenschutzhandbuch (27. Lieferung X/98, Ziff. 3530). Erich Schmidt Verlag, Berlin 1998
- [33] Dieter, H.H.: Risikoquantifizierung: Abschätzungen, Unsicherheiten, Gefahrenbezug. Bundesgesundhbl. 7/95, S. 250-257 (1995)
- [34] Mulisch, H.-M., W. Winter, A. Grohmann: Assessment of the hazards to drinking water from former military sites. J. Water SRT - *Aqua* Vol. 45, No.2, pp. 72-75 (1996)
- [35] Erlass zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserversorgung nach Ablauf der EG-Rechtsüberleitungsverordnung v. 18.12.1990. *Gesetzblatt I S. 2915*, Thüringer Staatsanzeiger Nr. 13, S. 66 (1996)
- [36] Litz, N., T. Struppe und U. Müller-Wegener: Modellhafte Abschätzung von Stoffgehalten im Sickerwasser am Ende der Sickerstrecke als Grundlage zur Prioritätensetzung hinsichtlich zu ergreifender Maßnahmen, Z. Bodenschutz, S. 144-148. 4 (1998)
- [37] Müller-Wegener, U., R. Schmidt: Erfassung der Bodenkontamination und Altlasten auf Liegenschaften des Bundes, Teilvorhaben Grenzstreifen. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Abschlußbericht 107 03 007/07 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin (1994)
- [38] Haas, R., J. Thieme: Bestandsaufnahme von Rüstungsalblastverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland. 2., erweiterte Auflage. TEXTE 25/96-30/96; hrsg. Umweltbundesamt, Berlin (1996)

[39] Entwurf einer Vorordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung - Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung). Stand: Juni 2000, Trinkwasserkommission, Umweltbundesamt (2000)

## 10 Verzeichnisse

### 10.1 Bilder

	<i>Seite</i>
<b>Bild 1</b> Aufbau des Kriterienkataloges zur Beurteilung von Gefahren aus militärischen Altlasten für Trinkwasser	10
<b>Bild 2</b> Biochemischer Abbau von organischen und anorganischen Substanzen in Relation zur Bewertungszahl $BZ_{\text{BIO}}$ , zur Gruppeneinteilung Gruppe-BIO und zum Altlastenkoeffizienten $AK_{\text{BIO}}$	34
<b>Bild 3</b> Schematische Aussagen zum Altlastenkoeffizienten $AK_{\text{TOR}}$	38
<b>Bild 4</b> Gesamtübersicht des Kriterienkataloges	76

### 10.2 Tabellen

	<i>Seite</i>
<b>Tabelle 1</b> Differenzierung der Nutzbarkeit von Grundwasservorkommen in Deutschland als Trinkwasserressourcen	6
<b>Tabelle 2</b> Aufbau des Bewertungskomplexes für die Gefährdungseinschätzung von Trinkwasser aus militärischen Altlasten	12
<b>Tabelle 3</b> Aufschlüsselung der Bewertungskomplexe A, B und C in thematische Datensätze von Kriterien	14
<b>Tabelle 4</b> Beispiele von Abbruchkriterien der Bewertung militärischer Liegenschaften aus Gründen der Trinkwasserhygiene	16

<b>Tabelle 5</b> Bewertungskomplexeil A - Feststellung eines Altlastenpotentials in Trinkwassereinzugsgebieten nach einfachen Kriterien	17
<b>Tabelle 6</b> Bewertungskomplexeil B - Kriterien zur Feststellung von Gefahren für Trinkwasser durch militärische Altlasten auf der Basis von Untersuchungsergebnissen	20
<b>Tabelle 7</b> Bewertungskomplexeil C - Kriterien zur Bestimmung der Stoffcharakteristik für die trinkwasserhygienische Bewertung	22
<b>Tabelle 8</b> Gesamtbeurteilung der toxikologischen Datenbasis	23
<b>Tabelle 9</b> Gruppeneinteilung zur Toxizität	24
<b>Tabelle 10</b> Integrierte Bewertung von Toxizität und Karzinogenität in Form der Altlastenkoeffizienten $AK_{TOX}$ auf der Basis der toxikologischen Bewertungszahl $BZ_{TOX}$ mit Risikozuschlägen RZ	25
<b>Tabelle 11</b> Zuordnung von Substanzen im Umfeld militärischer Liegenschaften zu duldbaren Konzentrationsbereichen	26
<b>Tabelle 12</b> Einstufung der biochemischen Abbaubarkeit von chemischen Verbindungen inklusive militärischer Altlasten	29
<b>Tabelle 13</b> Einordnung organischer Verbindungen hinsichtlich ihrer biochemischen Abbaubarkeit auf der Basis einer standardisierten Labormethode unter Berücksichtigung der Wasserlöslichkeit und möglicher Inhibitorwirkung	30-31
<b>Tabelle 14</b> Beispiele zur Abhängigkeit des biochemischen Abbaus von der chemischen Konstitution	33
<b>Tabelle 15</b> Einstufung anorganischer Verbindungen im Bewertungssystem "Biochemischer Abbau"	35
<b>Tabelle 16</b> Bewertung der Löslichkeit von Kontaminanten in Wasser als $AK_{LÖS}$	36



<b>Tabelle 17</b> Gruppeneinteilung zur Beurteilung der Adsorbierbarkeit	37
<b>Tabelle 18</b> Beispiele von Altlastenkoeffizienten $AK_{TOR}$ für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen Altlastverdachtsflächen	39-40
<b>Tabelle 19</b> Altlastenkoeffizienten $AK_{TOR}$ für anorganische Substanzen inklusive Kontaminanten auf militärischen Altlastverdachtsflächen	41
<b>Tabelle 20</b> Gruppeneinteilung zur Beurteilung der Mobilität über den Altlastenkoeffizienten $AK_{MOB}$	42
<b>Tabelle 21</b> Beispiele von Altlastenkoeffizienten $AK_{MOB}$ für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen Altlastverdachtsflächen	43
<b>Tabelle 22</b> Altlastenkoeffizienten $AK_{MOB}$ für anorganische Substanzen inklusive Kontaminanten auf militärischen Altlastverdachtsflächen	44
<b>Tabelle 23</b> Grundlage des Einstufungsrasters	45
<b>Tabelle 24</b> Einstufungsraster zur Bestimmung der Gefährdung des Trinkwassers durch militärische Liegenschaften	46
<b>Tabelle 25</b> Arbeitsschritte zur Einschätzung von Liegenschaften mit ziviler und analog ziviler Nutzung	49
<b>Tabelle 26</b> Arbeitsschritte zur $GS_A$ -Einstufung im Bewertungskomplexeil A	51
<b>Tabelle 27</b> Arbeitsschritte zur $GS_B$ -Einstufung im Bewertungskomplexeil B	54
<b>Tabelle 28</b> Arbeitsschritte zur $GS_C$ -Einstufung im Bewertungskomplexeil C	56
<b>Tabelle 29</b> Ableitung der duldbaren Körperdosis TDI und des Gefahrenbezuges für den Menschen über Sicherheitsfaktoren aus der jeweiligen Datenbasis und Beispielrechnung mit ( $SF_a = 10$ , $SF_b = 3$ , $SF_c = 10$ , $SF_d = 10$ )	61
<b>Tabelle 30</b> Zuordnung der Kumulationsgruppen I-III für die Berechnung von zeitlich strukturierten Gefahrenwerten ( $GefW_1$ bis $GefW_3$ ) mit Hilfe	63

gefahrenverknüpfender Faktoren $F_{(Gef)}$	
<b>Tabelle 31</b> Übersicht zu Basis- und Gefahrenwerten für Roh- und Trinkwasser	67-68
<b>Tabelle 32</b> Werte der hygienisch-sensorischen Obergrenze (HSO) für alllastenrelevante Kohlenwasserstoffe	69
<b>Tabelle 33</b> Parameter und Faktoren, welche die Schadstoffausbreitung im Untergrund beeinflussen und entsprechende Erkundungsmöglichkeiten	71-72

### 10.3 Abkürzungen und Definitionen

ADI	Acceptable daily intake, = akzeptable Tagesdosis; toxikologisch duldbare Exposition des Menschen gegenüber einem Schadstoff
AG	Arbeitsgemeinschaft des BMG "Auswirkungen militärischer Altlasten auf das Trinkwasser"
AK → [Zahlenwert]	Altlastenkoeffizient <b>geht gegen</b> [Zahlenwert]
AK <sub>ADS</sub>	Stoffspezifischer Altlastenkoeffizient der Adsorbierbarkeit einer in Wasser gelösten Substanz, nach einem standardisiertem Verfahren ermittelt
AK <sub>BIO</sub>	Stoffspezifischer Altlastenkoeffizient der biochemischen aeroben Abbaubarkeit von in Wasser gelösten Substanzen, nach einem standardisierten Verfahren ermittelt
AK <sub>LÖS</sub>	Altlastenkoeffizient auf der Basis der Löslichkeit von Substanzen in Wasser
AK <sub>MOB</sub>	Stoffspezifischer Altlastenkoeffizient der Mobilität eines Stoffes im Untergrund unter Berücksichtigung der Adsorptionseigenschaft und Löslichkeit in Wasser
AK <sub>TOR</sub>	Stoffspezifischer Altlastenkoeffizient der toxikologischen Relevanz unter Berücksichtigung der Humantoxizität und der biochemischen Abbaubarkeit
AK <sub>TOX</sub>	Stoffspezifischer Altlastenkoeffizient der chronischen Humantoxizität von Substanzen, vor allem Schadstoffen
ALVF	Altlastverdachtsfläche(n)
AS	Arbeitsschritt(e); der Kriterienkatalog ist auf 28 Arbeitsschritten aufgebaut
BaP	Benzo-a-pyren; PAK, (C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> )
Basiswert (BW)	Toxikologisch begründeter Basiswert; Expositionswert eines Schadstoffes als Konzentrationsschwelle, unterhalb derer auf lebenslange Sicht mit Sicherheit noch keine gesundheitliche Schädigung beim Menschen auftritt
BBodSchG	Bundesbodenschutzgesetz (vom 17.März 1998 BGBl. I S. 502)

BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
Beurteilung von Gefahren	Abweichend von der in der Humantoxikologie <b>[23, 31a]</b> üblichen Beurteilung der Vollständigkeit der wissenschaftlichen Datenlage (im Rahmen der toxikologischen Bewertung einer Stoffexposition) wird hier der Begriff „Beurteilung“ im Zusammenhang mit dem ordnungsrechtlichen <u>Gefahrenbegriff</u> benutzt. Zweck ist die Beantwortung der Frage, ob eine Gefahr (hier z.B. für Trinkwasser) vorliegt oder nicht.
BGA	Bundesgesundheitsamt
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BMBau	Bundesbauministerium
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BSBW	Biochemischer Sauerstoffbedarf für den aeroben Abbau von in Wasser gelösten Stoffen im Respirometer, z.B. Warburg Gerät (W), nach einem standardisierten Verfahren ermittelt
BTEX	Benzol, Toluole, Ethylbenzol, Xylole
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
Bw	Bundeswehr
BW <sub>Schadstoff</sub>	Toxikologischer Basiswert des Schadstoffes, bezeichnet die lebenslang gesundheitlich sichere Grenzkonzentration von einem Stoff im Trinkwasser
BZ <sub>BIO</sub>	Dimensionslose Bewertungszahl zwischen 1 - 100 für den aeroben biochemischen Abbau von Substanzen, nach einem standardisierten Verfahren ermittelt
BZ <sub>TOX</sub>	Toxikologische Bewertungszahl zwischen 1 - 100 von Substanzen, vor allem Schadstoffen, nach DIETER
C <sub>L</sub>	Stoffkonzentration in der Bodenlösung [mg/l]

CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf für den aeroben Abbau von Stoffen mittels Dichromat und Schwefelsäure
$C_{\text{Schadstoff}}$	Schadstoffkonzentration
$C_T$	Gesamtkonzentration des Schadstoffes im Boden [mg/kg TS] bzw. im Wasser [mg/l]
DDA	Dichlordiphenylelessigsäure; Metabolit von DDT
DDD	1,1-Bis-(4-chlorphenyl)-2,2-dichlorethan; Metabolit von DDT
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DDT	Dichlor-diphenyl-trichlorethan; Insektizid
DIN	Deutsches Institut für Normung
DK	Diesekraftstoff(e)
DNA	Desoxyribonukleinsäure (Erbsubstanz)
DOC	Dissolved Organic Carbon (gelöster organischer Kohlenstoff)
$DT_{50}$	Disappearance Time (Halbwertszeit eines Stoffes im Untergrund)
EC	European Commission
EGVA	Eigenwasserversorgungsanlage (Hausbrunnen)
EGW	Einwohnergleichwert(e); Schmutzbeiwert eines Abwassers bezogen auf den Anteil, den ein Einwohner pro Tag einbringt
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EZVA	Einzelwasserversorgungsanlage
$F_{\text{(Gef)}}$	Gefahrenfaktor für die Herleitung der gefahrenbezogenen Dosis GefD aus dem TDI
FK	Feldkapazität des Bodens [mm/dm]
FKST	Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser
g	Gewichtseinheit Gramm

GefD	Gefahrenbezogene Dosis ( $GefD = TDI \cdot F_{(Gef)}$ )
Gefahrenwert (GefW)	Konzentration eines Stoffes in stoffspezifisch definierter Höhe oberhalb seines Basiswertes. Gefahrenwerte sind im Vergleich zum BW nur während entsprechend kürzerer, also nicht lebenslanger Belastungszeiten gesundheitlich sicher
GefW <sub>1-3, SK</sub>	Toxikologische Gefahrenwerte für Trinkwasser der Stufen 1 bis 3 bzw. für Säuglinge / Kleinkinder
GefW <sub>1</sub>	Konzentration eines Stoffes, deren Unterschreitung für Belastungszeiten >70 Jahre gesundheitlich unsicher wäre
GefW <sub>2</sub>	Konzentration eines Stoffes, deren Unterschreitung für Belastungszeiten >10 Jahre gesundheitlich unsicher wäre
GefW <sub>3</sub>	Konzentration eines Stoffes, deren Unterschreitung für Belastungszeiten >1,5 Jahre gesundheitlich unsicher wäre
GefW <sub>SK</sub>	Konzentration eines Stoffes, deren Unterschreitung bei Säuglingen oder Kleinkindern mit hinreichender Wahrscheinlichkeit nicht zu gesundheitlichen Schäden führt
Gl.	Gleichung
GS	Gefährdungsstufe I bis VI für Trinkwasser durch Altlasten
GS <sub>A</sub> , GS <sub>B</sub> , GS <sub>C</sub>	Gefährdungsstufe I bis VI für Trinkwasser durch Altlasten bezogen auf die Bewertungskomplexe A, B, C
ha	Flächenmaß Hektar [1 ha = 100 x 100 m]
HCH	Hexachlorcyclohexan
HSO-Wert	Stoffspezifischer Wert der hygienisch-sensorischen Obergrenze; Grenzkonzentration eines Stoffes, deren Unterschreitung eine hygienisch-sensorische Beeinträchtigung beim Menschen (noch) nicht erwarten lässt
i.d.R.	In der Regel

IC <sub>50</sub>	Inhibitorkonzentration, die auf 50% der Organismen wirkt
k	Abbaukonstante bei Stoffumsetzungen
KCN	Kaliumzyanid
Kfz	Kraftfahrzeug
Kompartiment	Abgeschlossene Volumeneinheit, welche die Bedingungen des Modells (Kompartimentenmodell) einhält.
Kriterium A1.1	Liegenschaft mit ziviler oder analoger Nutzungshistorie
KVN	Kontaminationsverdächtiger Nutzungsstandort. Standort oder Bereich, der aufgrund seiner Nutzungshistorie vermuten lässt, dass mit wasserrelevanten Schadstoffen in relevanten Mengen umgegangen wurde
l	Volumeneinheit Liter
LD	Lagerungsdichte des Bodens [g/cm <sup>3</sup> ]
LD <sub>50</sub>	Dosis, die für 50% der Versuchstiere im Experiment letal ist
LFA	Leichtflüssigkeitsabscheider
LOAEL	Lowest observed adverse effect level; niedrigste Dosis mit beobachteter schädlicher Wirkung
LOAEL <sub>TV</sub>	- aus dem Tierversuch (für Versuchstiere)
LOAEL <sub>E</sub>	- für die Allgemeinbevölkerung (gesunde Erwachsene)
LOAEL <sub>e</sub>	- für die Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Bevölkerungsgruppe
Lösemittel-KW	Aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, die zudem Bestandteile von Kraftstoffen sind.
Lösemittel-OH	Alkohole, vor allem Methanol, daneben Ethanol und iso-Propanol
Lösemittel-X	Halogenierte Lösemittel
m	Längeneinheit Meter
mg	Gewichtseinheit Milligramm [1000 mg = 1 g]

MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
Mol	Molekulargewicht eines Stoffe in g
Nitrofen	Herbizid; [2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether]
NOAEL	No observed adverse effect level; höchste Dosis ohne beobachtete schädliche Wirkung
NOAEL <sub>TV</sub>	- aus dem Tierversuch (für Versuchstiere)
NOAEL <sub>tv</sub>	- aus dem Tierversuch (für Versuchstiere einschließlich empfindlicher Spezies)
NOAEL <sub>E</sub>	- für die Allgemeinbevölkerung (gesunde Erwachsene)
NOAEL <sub>e</sub>	- für die Allgemeinbevölkerung einschließlich der empfindlichsten Bevölkerungsgruppe
NVA	Nationale Volksarmee (der DDR)
o.b.	oben bezeichnet
OFD	Oberfinanzdirektion
PAK	Polycyclische(r) aromatische(r) Kohlenwasserstoff(e), (C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> mit n≥10, m≥8)
PCB	Pentachlorbenzol, C <sub>6</sub> HCl <sub>5</sub>
PCBs	Polychlorierte Biphenyl(e), (C <sub>6</sub> H <sub>n</sub> Cl <sub>m</sub> ) <sub>2</sub> mit $\sum n,m = 10$ und $m \geq 1$
PCDD	Polychloriert(e) Dibenzdioxin(e), (C <sub>12</sub> O <sub>2</sub> H <sub>n</sub> Cl <sub>m</sub> ) mit $\sum n,m = 8$ und $m \geq 1$
PCDF	Polychlorierte Dibenzfurane, (C <sub>12</sub> OH <sub>n</sub> Cl <sub>m</sub> ) mit $\sum n,m = 8$ und $m \geq 1$
pH-Wert	Negativer dekadischer Logarithmus der molaren H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> -Konzentration
Q <sub>∞</sub>	Gleichgewichtsbeladung eines in Wasser gelösten Stoffes (Adsorbat) am Adsorbens [mg/g]
RKS	Rammkernsondierung
SF	Sicherheitsfaktor



SF <sub>a</sub>	Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines chronischen NOAEL durch Hochrechnung von subchronischer auf chronische Expositionsdauer (entfällt bei Vorliegen bewertbarer chronischer experimenteller oder epidemiologischer Untersuchungen)
SF <sub>b</sub>	<p>Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines NOAEL<sub>TV</sub> aus einem experimentellen NOAEL<sub>TV</sub> (entfällt bei Vorliegen bewertbarer [sub]chronischer epidemiologischer Daten) mit Hilfe der Konvention <math>\text{NOAEL}_{\text{TV}} = \text{LOAEL}_{\text{TV}} : \text{SF}_b</math></p> <p><u>oder:</u></p> <p>Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines NOAEL<sub>E</sub> aus einem epidemiologisch ermittelten LOAEL<sub>E</sub> mit Hilfe der Konvention <math>\text{NOAEL}_E = \text{LOAEL}_E : \text{SF}_b</math> (entfällt bei bekanntem NOAEL<sub>E</sub> oder LOAEL<sub>e</sub> der NOAEL<sub>e</sub>)</p> <p><u>oder:</u></p> <p>Sicherheitsfaktor zur Abschätzung eines NOAEL<sub>e</sub> aus einem LOAEL<sub>e</sub> mit Hilfe der Konvention <math>\text{NOAEL}_e = \text{LOAEL}_e : \text{SF}_b</math> (entfällt bei bekanntem NOAEL<sub>e</sub>)</p>
SF <sub>c</sub>	Sicherheitsfaktor zur Überbrückung der zwischenartlichen Varianz zwischen Mensch und Versuchstier mit Hilfe der Konvention $\text{LOAEL}_e = \text{LOAEL}_{\text{TV}} : \text{SF}_c$ bzw. $\text{NOAEL}_E = \text{NOAEL}_{\text{TV}} : \text{SF}_c$ (entfällt bei Vorliegen bewertbarer [sub]chronischer epidemiologischer Daten)
SF <sub>d</sub>	<p>Sicherheitsfaktor zur Überbrückung der innerartlichen Varianz beim Menschen, falls der NOAEL<sub>E</sub> ersatzweise aus einem Tierversuch abgeleitet wurde mit Hilfe der Konvention <math>\text{NOAEL}_e = \text{NOAEL}_E : \text{SF}_d</math></p> <p><u>oder:</u></p> <p>Sicherheitsfaktor zur Abdeckung der innerartlichen Varianz beim Menschen, falls der NOAEL<sub>E</sub> epidemiologisch ermittelt wurde mit Hilfe der Konvention <math>\text{NOAEL}_e = \text{NOAEL}_E : \text{SF}_d</math> (entfällt bei bekanntem LOAEL<sub>e</sub> oder NOAEL<sub>e</sub>)</p>
SM	Schwermetall(e)
sonst.	sonstige(s, r)
STV	Sprengstofftypische Verbindung(en), z.B. TNT, DNT, Nitropenta u.a.

TCDD	Tetrachlordibenzdioxin, (C <sub>12</sub> O <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub> )
TDI	tolerable daily intake, lebenslang gesundheitlich tolerierbare Dosis [mg/kg/d]
t <sub>G</sub>	Ganzwertszeit (Verweilzeit) eines Stoffes im Untergrund
TNT	Trinitrotoluol [2,4,6-], (C <sub>7</sub> O <sub>6</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> )
TRD	Tolerable Resorbierte Dosis [mg/kg/d]
Tri	Trichlorethen, (C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> )
TrinkwV	Trinkwasserverordnung; Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe vom 5.12.1990 (BGBl I S. 2613-2629)
TS	Trockensubstanz
TSB	Theoretisch möglicher Sauerstoffbedarf für den totalen aeroben Abbau von Stoffen
TWSZ I, II, III	Trinkwasserschutzzone I, II, III der öffentlichen Wasserversorgung; Schutzgebiete um die Wasserentnahmestelle(n), für die bestimmte Nutzungsbeschränkungen gelten
UFOPLAN	Umweltforschungsplan des Bundes
UV	Licht im ultravioletten Spektralbereich
VC	Vinylchlorid, (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl)
vgl.	vergleiche
VK	Vergaserkraftstoff(e)
VKK	Volkskreiskommando (der NVA)
VX	o-Ethyl-S-(2-(diisopropylamino)-ethyl)-methylthiophosphat; militärchemischer Nervenkampfstoff
WaBoLu	Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des UBA (bis 30. Juni 1994 des BGA)
WBV	Wehrbereichsverwaltung der Bw
WGK 0 - 3	Wassergefährdungsklasse 0 - 3 (mit zunehmendem Gefährdungsgrad)

WGT	Westgruppe der sowjetischen Truppen der Roten Armee
WHG	Wasserhaushaltsgesetz; XXV. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 23.9.1986 (BGBl I S. 1529, ber. S. 1654) mit späteren Änderungen
WKK	Wehrkreiskommando (der NVA)
WVA	Wasserversorgungsanlage
X	ergänzender Zwischenschritt des Kriterienkatalogs im Bewertungsverfahren (ohne eigenes Bewertungsergebnis)
ZA, ZB, ZC	Zusatzkriterien der Bewertungskomplexe A, B, C als Hilfsmittel für die Findung der jeweiligen Gefährdungsstufe
ZWVA	Zentrale Wasserversorgungsanlage

## **11 Anhang**

**Anhang I** Militärische kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (KVN) und ihr Kontaminationspotential durch Schadstoffemissionen

## Militärische kontaminationsverdächtige Nutzungsbereiche (KVN) und ihr Kontaminationspotential durch Schadstoffemissionen

lfd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
1	illegale Entsorgung geschobene Flächen wilde Deponien	Abfälle aller Art (z.B. Sperrmüll, Kampfmittel, Pestizide und sonstige Sonderabfälle)	u.a. Kampfmittel, Herbizide, MKW, Altöl, SM, Lösemittel-X, Lösemittel-KW, Abfallsäuren, DDT, HCH, Chlorparaffine, PCB, Reste von Farben und Lacken )***	4 / 5 / 6	Hohes Kontaminationspotential wg. unbekanntem Ort und unbekannter Zusammensetzung. => Hohes Gefahrenpotential durch latente Expositionen in Grund- bzw. Rohwasser für die Trinkwassergewinnung
2	Großtankanlagen von Armee und Luftstreitkräften · Tankbehälter bis 2000 m <sup>3</sup> , meist unterirdisch · Pipelines, Umfüllanlagen, Verlade- und Übergabeeinrichtungen	· Handhabungsverluste · Leckagen an Tankbehältern und Leitungssystemen	DK, VK, Kerosin, Hydraulik- und Schmieröle, Ethylenglykol und Propandiol, Lösemittel-OH, PAK )****	4 / 5 / 6	i.d.R. hohe Kraftstoffverluste über einen langen Zeitraum
3	Tankstelle mit Behältergruppen · stationär und für Manöver · Zapfstellen für Kfz. und Panzerfahrzeuge	Ausgabe von Kraftstoffen und anderen Betriebsstoffen Sammlung und Zwischenlagerung von verbrauchten Betriebsstoffen Kontinuierliche Handhabungsverluste beim Zapfen Leckagen an Behältern und Rohrleitungen, Überfüllung Erhöhtes Risiko bei militärischen Übungen	VK, DK, Altöle, Getriebe- und Motorenöle PAK	4 / 5 / 6	Betankung spez. im Manöverinsatz (WGT) z.T. im freien Gefälle ohne Zapfhahnverschluss => örtlich sehr hohe Belastung
4	Brandplätze z.T. auf Truppenübungsplätzen (TÜP) z.T. in der Nähe von Munitionslagern	Verbrennen von Kampfmitteln und analogen Stoffen Verbrennung von Altölen und -fetten in Gruben	Kampfmittel und Kampfmittelmetabolite SM, PAK, PCDD, PCDF )*****	3 / 4 / 6	Punktuell hohes Kontaminationspotential durch Kampfmittelreste und deren Umsetzungsprodukte sowie Fette und Öle (Problem: viele Brandplätze sind nicht mehr auffindbar!).

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
5	Vorstartlinie Wartung und Versorgung von Flugzeugen Tanklager	Hauptverteilung von Kraft- und Schmierstoffen unter Zeitdruck  Freisetzung größerer Mengen Treibstoff, Hydrauliköle und Schmierstoffe	Kerosin, VK, Hydrauliköle, Schmieröle, Ethylenglykol, Propandiol, Chlorparaffine, Lösemittel-OH, Harnstoff, PAK	4 / 4 / 5	Hohes Kontaminationspotential analog der Betankungseinheiten für Landstreitkräfte (s. Ifd. Nr. 3): Grundwassersondierungen unbedingt erforderlich.
6	Abstellflächen für Fahrzeuge aller Art (LKW, Panzer, Amphibienfahrzeuge u.a.)  Mit und ohne Bodenabdichtung	- Vorbereitung der Technik auf Wartung und Instandsetzung  - z.T. Durchführung der Wartung  - Handhabungsverluste von Betriebsstoffen  - Leckagen an der Technik	Altöl, VK, DK, Konservierungsöle, Getriebe- und Motorenöle, Ethylenglykol, Propandiol  PAK  Abwässer	3 / 5 / 5	Geringe Belastung nur bei Bodenabdichtung und Kanalisation (z.T. nur bei NVA-Stellflächen)
7	Panzerfahrerschulstrecken (Panzerübungsgelände)	- Wartung für Technik  - Betankung  - Leckagen aus Unfällen  - Ungeordnete Ablagerungen	DK, Treib- und Schmierstoffe  SM (z.B. ausgelaufene Batterien)  Ethylenglycol, Propandiol  MKW  PAK, Phenole  Herbizide  DDT	4 / 4 / 5	Flächiges Kontaminationspotential => Gefahr von latenten Expositionen; Nachsorge kaum möglich
8	Transformatoranlagen  - PCBs als Isolierflüssigkeit	Undichtigkeiten, Havarien, Brände	PCBs, PCDD, PCDF	2 / 4 / 6	Punktueller Kontaminationspotential mit langlebigen Gefahrstoffen;
9	Feldbetankung  Tankeinrichtungen  Provisorische Wartung von schwerem Gerät	Mobile Betankung aus Tankfahrzeugen (behelfsmäßig und improvisiert) und Austausch sonstiger Betriebsstoffe mit hohen Handhabungsverlusten	VK, DK, Motorenöle	3 / 4 / 5	z.T. hohes Kontaminationspotential, z.T. flächige Kontaminationen durch Standortwechsel bei Betankungsvorgängen

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
10	Lager (ohne Munition) Offen oder überdacht Befestigter oder unbefestigter Untergrund	Umfüllvorgänge Unsachgemäße Lagerung, z.B. bei ungereinigtem Leergut Leckagen, Überfüllung Handhabungsverluste	Hydrauliköle, Schmierfette Altöle, Konservierungsöle, Lösemittel-KW, Lösemittel-X, Lösemittel-OH Ethylenglykol, Propandiol, Farben, Lacke Herbizide, DDT, HCH, PCB, Chlorparaffine, Chemikalien aller Art	3 / 4 / 5	Kontaminationspotential durch relativ harmlose Stoffe wie Kalium- und Natriumchlorid bis zu hochtoxischen Substanzen (z.B. KCN im Einzelfall)
11	Instandsetzungseinrichtungen · standortfeste Großtechnik	Waschen, Entfetten Beizen, Brünieren Spülen Konservieren, Ölen	Tenside (auch kationische Tenside), Lösemittel-X, Lösemittel-KW, Mineralsäuren, SM, Laugen (vorwiegend Natronlauge), Schmiermittel, MKW	3 / 4 / 4	Gegenseitige Beeinflussung verschiedener Schadstoffe (Toxizitätspotential, Inhibitorwirkung, Lösungsvermittlung)
12	Großgaragen und Abstellflächen für Technik im militärischen Bereich · Kfz · Panzer · spez. Ketten- und Amphibienfahrzeuge	· Wartungsarbeiten · Konservierung und Entkonservierung · Vorbereitung zur Lackierung sowie Spezialanstrich · Handhabungsverluste · Leckagen von Betriebsstoffen	VK, DK, MKW, Getriebe-, Motoren- und Konservierungsöle, Lösemittel-X, Lösemittel-KW, Ethylenglykol und Propandiol, SM	3 / 4 / 4	Potentiell großflächige Kontaminationen infolge meist unversiegelter Flächen

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
13	Munitionslager Zentrale Lager unselbständige Lager Freilager von Lösungs- und Korrosionsmitteln Waffenwerkstätten	Aufnahme, Bevorratung und Ausgabe von Munition Munitionsarbeiten auf Freiflächen Delaborierungsarbeiten und Vernichtung von Munition (offener Umgang mit Explosivstoffen) Freisetzung von Korrosions- und Lösemitteln Instandhaltung und Wartung von Munition Instandhaltung, Wartung und Reinigung von Waffen und Munition Einsatz von Herbiziden in großen Mengen und über längere Zeiträume	Kampfmittel Konservierungsöle Lösemittel-X Herbizide	2 / 4 / 5	In Waffenwerkstätten eher geringes Kontaminationspotential
14	Waschanlagen Waschplätze Waschrampen Vorwiegend für Panzer Auch andere Fahrzeuge - mit oder ohne LFA - mit oder ohne Filter	- Mechanische Reinigung - Einsatz von Tensiden u. Lösemitteln - Abwaschen von Konservierungsölen (auch Imitationsmittel) - Einsatz von Tensiden	Tenside, spezielle Tenside )***** Lösemittel-X, Lösemittel-KW Emulgatoren / Demulgatoren VK, DK, MKW Altöle, Konservierungsöle Imitationsmittel Emulsionen, Abwässer Ethylenglykol, Propandiol	2 / 4 / 5	Bei Einsatz von Tensiden entstehen beständige Emulsionen, die sich über LFA nicht trennen lassen. Alternative: Auftrennen mit Demulgatoren oder Einsatz spezieller Tenside (auf Silikatbasis) und Anwendung von CO <sub>2</sub> (Anwendung nur vereinzelt bei ehemaligen NVA-Waschanlagen). Auf WGT-Liegenschaften vorwiegend Einsatz von Lösemittel-X, und z.T. Lösemittel-KW mit hohem bis sehr hohem Kontaminationspotential
15	Hangars · Flugzeugstellplätze · Wartungshallen	Unterbringung und Wartung der Flugzeuge, Kontrolldurchsichten, Instandsetzungen	Kerosin, Hydrauliköle, Schmieröle, Ethylenglykol, Propandiol, Lösemittel-X sowie Chlorbrommethan und Dibromtetrafluorethen, SM, Chromsäure, Harnstoff, Lösemittel-OH, Altöle	2 / 3 / 5	



lfd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
16	Ausbildungsplatz für chemische Kampfstoffe · Lager für chemische Waffen sowie Schutz- und Entgiftungsmittel · chemisches Labor	Handhabung, Analyse und Dekontamination Anwendung von Imitaten, Brand- und Nebelmitteln Verluste bei Lager- und Umfüllprozessen	Originalkampfstoffe Chemische Imitationsmittel Entgiftungsmittel Brandmittel (Napalm und Analoge) Nebelmittel Chlorkalk	1 / 4 / 5	Hohes Kontaminationspotential bei unvorschriftsmäßiger Handhabung von chemischen Kampfstoffen (Yperit, Adamsit u. a.), Imitationen für VX und Sarin auf der Basis von substituierten phosphororganischen Verbindungen; notfalls Anwendung analog strukturierter konventioneller Insektizide
17	Leichtflüssigkeits- und Fettabseider Sand- und Schlammfang	Defekte Becken Unregelmäßige Wartung Unsachgemäßer Umgang mit kontaminiertem Schlamm	DK, VK, Kerosin Öle aller Art Lösemittel-X, Lösemittel-KW Reste von Farben und Lacken	2 / 3 / 5	Abscheider sind z.T. Waschanlagen, sehr selten Kläranlagen nachgeschaltet und nehmen Abwässer aus Instandsetzungseinrichtungen auf. Ein Kontaminationspotential ist durch Überlastung der Abscheider (hohe und stark schwankende Abwasserbeschaffenheit) und durch mangelhafte Wartung gegeben.
18	Schieß- und Sprengplätze für Handfeuerwaffen, Panzer und Artillerie Schießstellung Schießbahn Zielgebiet Ausbildungsplätze	An- und Abfahren der System bzw. Zugmittel Zwischenlagerung von Kartuschen Schussabgabe Imitationsmittel z.T. wilde Ablagerungen	Kampfmittel und –metabolite, MKW, Treib- und Schmierstoffe, Konservierungsöle, PAK, SM	2 / 3 / 5	Kontaminationspotential vor allem durch Kampfmittel aller Art
19	Flugfeld · Haupt- und Nebenrollbahnen · Start- und Landebahnen	Belastungen aus Flugzeugabgasen Reifen- und Pistenabrieb Enteisungs-, Feuerlösch- und Düngemittel Pestizide Kerosin in der Anflugschneise	MKW, PAK, Ammoniak, Nitrit, SM, Enteisungsmittel: Lösemittel-OH und Harnstoff, Schaumlöschmittel, Herbizide, DDT, HCH	2 / 3 / 4	Im allgemeinen großflächige Kontaminationseffekte mit geringer bis mittlerer Belastung

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
20	Kläranlagen < 50 EGW Kleinkläranlage > 50 EGW 2-stufig als mechanische und biologische Behandlung Klärgruben Oxidationsgräben, -teiche Kanalisation	Funktionsbeeinträchtigung durch unvollständige Schlammräumung Bodenkontamination durch ungeordnete Ablagerung des Schlammes Undichtigkeiten im Rohrsystem Rückstände aus Abscheidern	Schlamm mit PAK, MKW und SM Tenside	2 / 3 / 4	Bodenkontaminationspotential in Abhängigkeit der zugeführten Abwassertypen (z.B. Wäschereiabwässer) bei Überlastung und Funktionsstörungen
21	Krankenversorgung der Truppe · Lazarette, Hospitäler · Arzneimittellager · Werkstätten	Leckagen und sonstige Verluste beim Umgang mit Krankenhausabfällen, Arzneimittelresten, Krankenhausabwässern	Pharmaka, infektiöses und radioaktives Material bzw. Abwässer, Desinfektionsmittel, Lösemittel-OH, sonstige (Sonder-)Abfälle	2 / 3 / 4	Zu beachten sind neben mikrobiologischen Einwirkungen biochemisch resistente Pharmazeutika, die sich im Wasserkreislauf anreichern können
22	Großwäschereien, Reinigungen	Belastung bei fehlender oder mangelhafter Abwasserreinigung	Tenside, Lösemittel-X, Abwässer, MKW	2 / 2 / 5	Anfall stark belasteter Abwässer, z.T. in Gemeinschaftsanlagen gereinigt: Ortslage klären!
23	Schutzeinrichtungen der Landstreitkräfte Gefechts- und Unterstände Geschlossene und offene Deckungen für Flugzeuge	Übungseinsätze Pflege- und Wartungsarbeiten Oftmalige Betankung Enteisungen	Kerosin, VK, Konservierungsöle, Kampfmittel, Lösemittel-OH, PAK	2 / 2 / 4	Nur vereinzelt hohe Kontaminationspotentiale durch wilde Ablagerungen von Kampfmitteln
24	Versorgungseinrichtungen · (Groß-)Bäckereien · (Groß-)Küchen · Kantinen · sonst. Wirtschaftsgebäude	Spülen, Desinfektion, Abwasser, Abfälle	Tenside, kationische waschaktive Substanzen, Desinfektionsmittel, Küchenabfälle, ungeklärte Abwässer, Fette	2 / 2 / 4	kationische Tenside sind auch Lösungsvermittler, sie können aber mit unverbrauchten Desinfektionsmitteln biochemische Umsetzungen blockieren. Zu beachten ist auch das Schadstoffpotential in unmittelbarer Umgebung (z.B. Abgänge von Transformatorenölen)

Anhang I: Schadstoff- und Kontaminationspotential von militärischen kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
25	Enteisungsanlagen · Flugfelder · Flugzeuge	Einsatz chemischer Auftaumittel	Lösemittel-OH, Harnstoff	2 / 3 / 3	witterungsabhängig hoher Einsatz von Auftaumitteln. Hohes Kontaminationspotential für Grundwasser wegen großer zeitlicher Abstände und biochemisch guter Abbaubarkeit (s. Tabelle 13) praktisch nicht gegeben.
26	Tierhaltung (ausschließlich bei WGT)	Tierhaltung, -schlachtung und -verwertung	Abwässer und Abfälle aus Stallungen, Schlachthausabwässer, Tierkadaver, -abfälle, Desinfektions- und Reinigungsmittel	2 / 2 / 3	hygienische Probleme bisher nur vereinzelt auf WGT-Liegenschaften bekannt
27	Raketenstellungen · Raketenbasen · Lager für Raketentreibstoffe	· Unterirdische Anlagen · mobile Abschussbasen · Lagerhaltung	MKW, Raketentreibstoffe · Samin · Oxidator Melange	2 / 2 / 2	Durch hohe Sicherheitsbestimmungen praktisch geringes Kontaminationspotential für Rohwasser gegeben
28	Heizhäuser	Kohlenlagerplätze Verbrennungsanlagen Warmwasserverwertung	MKW	1 / 2 / 3	Bodenbelastung mit wassergefährdenden Stoffen unerheblich
29	analog zivile Liegenschaften II · außerhalb rein militärischer Objekte · vorwiegend in Sperrbereichen	Wohnhäuser mit Garagen-, Wartungs- und Reparaturbereichen; Kontaminationen bei unbefestigten oder defekter Bodenabdichtung möglich	MKW, As, PAK	1 / 1 / 3	Kontaminationspotential auf Basis von Bewertungskomplexeil A klären
30	Bombodrome Bombenabwurfplatz	Munitionsreste und Blindgänger	SM, PAK	1 / 2 / 2	Kontaminationspotential mit flächig verteilten Verunreinigungen

Ifd. Nr.	Militärischer kontaminationsverdächtiger Nutzungsbereich (KVN) und Ergänzungsinformation	Umweltrelevante Vorgänge	Verwendete bzw. ermittelte typische trinkwasserrelevante Schadstoffe )*	Schadstoffpotential )** [Minimum / Ø / Maximum]	Kommentar
31	Radar- und Funkstationen, Nachrichteneinheiten	Bisherige Recherchen ließen keine bis geringe umweltrelevante Vorgänge erkennen	MKW (Spuren)	1 / 1 / 2	Meist unterirdische Anlage mit Versorgungseinrichtungen
32	Kernwaffenlager	kleinkalibrige Kernwaffen Ausbildungsplätze	MKW, Nebelmittel	1 / 1 / 2	Durch hohe Sicherheitsbestimmungen praktisch kein Kontaminationspotential für Rohwasser gegeben
33	Truppenunterkünfte Feste Unterkünfte (auf Kasernenanlagen) Mobile Unterkünfte (Zeltplätze)	Mehrzweckobjekte, Verwaltungsgebäude, Sporteinrichtungen	Lösemittel-KW	1 / 2 / 6	Erfahrungsgemäß punktuelles Kontaminationspotential durch falschen Einsatz von Lösungsmitteln; (sonstige Nutzungen in Mehrzweckobjekten beachten, z.B. Tankanlagen (Ifd.Nr. 6), Werkstätten u.a.)
34	analog zivile Liegenschaften I · außerhalb rein militärischer Objekte · vorwiegend in Sperrbereichen	Wohnhäuser, Schulungsobjekte, Erholungsheime, Kulturhäuser, Sportanlagen, Verwaltungsliegenschaften, Wehrkreiskommandos, Befehlsstände	Offensichtlich keine Altlastverdachtsflächen mit wassergefährdenden Substanzen	1 / 1 / 1	Aus Sicht der Trinkwasserhygiene kein Kontaminationspotential

## Legende

)\* Aufgeführt werden wichtige auf der jeweiligen Liegenschaft verwendete Schadstoffe ausschließlich mit Trinkwasserrelevanz und solche, die auf Altlastverdachtsflächen, im Grundwasser oder im Trinkwasser analytisch erfasst wurden. In großen Mengen aufgefundene „inerte“ Stoffe bleiben hier unberücksichtigt. Das sind vor allem Bauschutt, Kohlen, Kohlenstaub, Haus- und Sperrmüll, leere Patronenhülsen, nicht schadstoffbelasteter Schrott, Siedlungsabfälle, Papier-, Papp-, Textil- und Holzabfälle, Altreifen, elektrische Kabel, Plastikabfälle, Glas aller Art sowie asbesthaltige Materialien.

)\*\* Abstufung des Schadstoff- /Kontaminationspotentials:

1 = kein

2 = gering

3 = mittel

4 = erheblich

5 = hoch

6 = sehr hoch

)\*\*\* Nachstehende Kampfmittel (Initialsprengstoffe, brisante Sprengstoffe und Treibmittel) und deren Metabolite wurden ermittelt und erfasst (soweit Aussagen zur Humantoxizität, der biochemischen Abbaubarkeit, Löslichkeit und Adsorbierbarkeit vorliegen, sind diese in den Tabellen 17 bis 20 aufgeführt. Für alle anderen Kampfmittel besteht Forschungsbedarf):

Hexogen, 2,4,6-Trinitrotoluol, 2,4-Dinitrotoluol, 2,6-Dinitrotoluol, 1,3,5-Trinitrobenzol, Dinitrobenzol, Nitrophenole, 2,4,6-Trinitrophenol (Pikrinsäure), Nitroglycerin, Nitroglykol, Nitrozellulose, Bleiazid, 2-Nitroguanidin, 2,4,6-Trinitrophenol, 2,4,6-Trinitro-m-xylol, 1,3,5-Trinitrobenzol, N-Methyl-N-2,4,6-tetranitroanilin (Tetryl), Bis-(2-hydroxyethylether)-dinitrat (Diethylenglykol), Acenaphthylen, Acenaphten, 1,3,5,7-Tetranitro-2,4,6,8-tetracyclohexan (Octogen), Pentaerythrittetranitrat (Nitropenta), Quecksilberfulminat

sowie die Nitrosulfonsäuren: 2,4-Dinitrotoluol-3-sulfonsäure, 2,4-Dinitrotoluol-5-sulfonsäure, 4-Amino-2-nitrotoluol-3-sulfonsäure, 2-Amino-4-nitrotoluol-5-sulfonsäure

und die Summenparameter: PAK und Nitroaromaten

Die am meisten im militärischen Bereich eingesetzten Herbizide waren offensichtlich:

2,4,5-T (2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure), 2,4-D (2,4-Dichlorphenoxyessigsäure), 2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure, Atrazin, Simazin, Bromuron, Ametryn, Nitrofen und Kaliumchlorat

MKW = Mineralölkohlenwasserstoffe auf der Basis der TrinkwV (gelöste oder emulgierte Kohlenwasserstoffe; Mineralöle)

SM = Schwermetalle, umfasst in jeweils unterschiedlichen Mengen: Pb, Cd, Cu, Ni, Hg, Cr und Fe.

Lösemittel-X = halogenierte organischen Kohlenwasserstoffe mit 1 oder 2 C-Atomen als Parameter der TrinkwV

1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen (Tri), Tetrachlorethen, Dichlormethan, Tetrachlormethan (Tetra),  
1,2-Dichlorethan

und im Ausnahmefall

Dichlordibrommethan, Trichlormethan (Chloroform), Dibromtetrafluorethen.

Dazu gehören die Metabolite

Vinylchlorid (Chlorethen) und Bromdichlormethan.

Lösemittel-KW = aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, die zudem Bestandteile von Kraftstoffen sind:

Kohlenwasserstoffe aliphatischer Natur sind diesbezüglich vor allem

n-Hexan, cyclo-Hexan, n-Octan, iso-Octan

und die angewandten aromatischen Verbindungen der BTEX-Gruppe

Benzol, Toluole, Ethylbenzol, Xylole

Abfallsäuren umfassen insgesamt je nach Verwendungszweck:

Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure und Phosphorsäure

Bis in die 80er Jahren hinein wurden auf dem Gebiet der ehemaligen DDR vor allem folgende Insektizide im militärischen Bereich eingesetzt:

DDT,

HCH (Hexachlorcyclohexan) und

verschiedene Phosphororganika

Chlorparaffine sind Imprägnier- und Schmiermittel mit einer Kettenlänge von C10 bis C30 und unterschiedlichem Chloranteil.

PCBs = Polychlorierte Biphenyle mit unterschiedlichem Chloranteil

)\*\*\*\* DK = Dieselmotorkraftstoff, VK = Vergasermotorkraftstoffe, Kerosin = Flugbenzin

Ethylenglykol und Propandiol dienen als Kühlflüssigkeiten

Lösemittel-OH = Alkohole, vor allem Methanol, daneben Ethanol und iso-Propanol

PAK = Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

als Parameter der TrinkwV:

Benzo-(a)-Pyren, Fluoranthren, Benzo-(b)-Fluoranthren, Benzo-(k)-Fluoranthren, Benzo-(ghi)-Perylen, Indeno-(1,2,3-cd)-Pyren

sowie Nitrobenzanthron (aus Dieselmotorkraftstoff)

)\*\*\*\*\* PCDD = Polychlorierte Dibenzdioxin(e)

PCDF = Polychloriertes Dibenzfuran(e)

)\*\*\*\*\* Tenside = waschaktive Substanzen, vorwiegend als anionaktive Substanz Alkylbenzolsulfonat (mittlere Kettenlänge: Dodecylbenzolsulfonat) und als nichtionische Substanz Alkylphenolpolyglykoether (mittlere Kettenlänge: Nonylphenolpolyglykoether). Für die Panzerwäsche der NVA kamen z.T. spezielle Tenside zum Einsatz.

## **Anhang II** Erläuterungen zum Kompartimentenmodell



### Kompartimentenmodell 1. Ordnung

Modellvoraussetzungen sind, dass sich der Schadstoff im Kompartiment gleichmäßig verteilt bzw. die Verteilungsprozesse im Vergleich zum Abbau bzw. Transport aus dem Kompartiment schnell ablaufen und alle Teile des Kompartiments im Gleichgewicht stehen. Die beteiligten kinetischen Prozesse folgen dann zumeist einer Kinetik 1. Ordnung. Dabei ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Konzentration eines Schadstoffes ändert, der jeweils im Untergrund vorhandenen Konzentration proportional

$$\frac{dc}{dt} = -kc \quad (\text{Gl. 4})$$

Die Abnahme der Schadstoffkonzentration  $dc$  ist der jeweiligen Schadstoffkonzentration  $c$  proportional ( $k$  ist die Proportionalitätskonstante). Durch Integration ergibt sich die bekannte Gleichung

$$c = c_0 \cdot e^{-kt} \quad (\text{Gl. 5})$$

oder nach logarithmischer Umformung erhält man die Gleichung der Geraden

$$\ln c = \ln c_0 - kt \quad (\text{Gl. 6})$$

Dabei ist  $c_0$  die fiktive Anfangskonzentration zum Zeitpunkt  $t = 0$ .

Die fiktive Anfangskonzentration kann man durch Rückextrapolation der Funktion zur Ordinate ermitteln. Die Halbwertszeit (*disappearance time*  $DT_{50}$ , Zeit bis zu der die Hälfte eines Stoffes aus dem Boden verschwunden ist **[37]**) kann ebenfalls ermittelt werden. Die Proportionalitätskonstante  $k$  als Geschwindigkeitskonstante der Elimination ergibt sich beispielsweise, wenn man für  $c = c_0/2$  bzw. für  $t = t_{1/2}$  einsetzt:

$$\ln \left( \frac{c_0}{2} \right) = \ln c_0 - kt_{1/2} \quad (\text{Gl. 7})$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0,693}{t_{1/2}} \quad (\text{Gl. 8})$$

Unter der Annahme, dass die Elimination des Schadstoffes aus dem und die zuvor stattfindende Invasion in das Kompartiment gleichzeitig ablaufen, ist die gemessene Konzentration die Resultierende dieser beiden gegenläufigen Prozesse

$$c = c_0(k_1/[k_1 - k_2]) \cdot (e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t}) \quad (\text{Gl. 9})$$

Unter Betrachtung des Vorgangs der Invasion eines Schadstoffes in das Kompartiment, ergibt sich die für die jeweils am Ort des komplexen Abbaus (vorwiegend biochemisch, z.T. chemisch, usw.) vorliegende Schadstoffmenge als

$$\frac{dM}{dt} = -k_1 \cdot M \quad (\text{Gl. 10})$$

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  ist die am Eintrittsort des Kompartiments vorliegende Menge gleich  $M_0$ . Nach Integration ergibt sich

$$M = M_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (\text{Gl. 11})$$

Die Schadstoffmenge  $S$ , die zum Zeitpunkt  $t$  abgebaut wurde, ergibt sich aus der Differenz von  $M_0$  und  $M$

$$S = M_0 (1 - e^{-k_1 t}) \quad (\text{G. 12})$$

oder ausgedrückt in Konzentrationen

$$c = c_0 (1 - e^{-k_1 t}) \quad (\text{Gl. 13})$$

wobei  $c_0 = M_0 / V$  mit  $V =$  Verteilungsvolumen des Schadstoffes

oder bei unvollständigem Abbau

$$c = A \cdot c_0 (1 - e^{-k_1 t}) \quad (\text{Gl. 14})$$

wobei  $A$  dem Anteil der abgebauten (der bioverfügbaren) Menge des Schadstoffes entspricht.

Da diesem Abbauvorgang immer die Elimination des Schadstoffes (über Transportvorgänge aus dem betrachteten Kompartiment in das nächste Kompartiment) überlagert ist, ergibt sich

die aktuelle Schadstoffkonzentration  $c$  im Kompartiment als Resultat beider Prozesse wie in Gleichung 9 dargestellt. Zur Berechnung der Abbaukonstanten  $k_1$  müssen bei gleichzeitig ablaufenden Vorgängen die Prozesse der Schadstoffverteilung und des Schadstofftransports aus dem Kompartiment berücksichtigt werden. Zudem werden die tatsächlich verzögerten Verteilungsprozesse eines Schadstoffes im Untergrund über ein Mehrkomponentenmodell genauer beschrieben. Hierzu dienen verschiedene mathematische Verfahren, auf deren Ableitung hier nicht näher eingegangen wird.

Als Beispiel sei das Insektizid DDT genannt, das auch im militärischen Bereich eingesetzt wurde. Je nach Standortbedingungen ergibt sich für diese Substanz nach Gleichung 8 eine Halbwertszeit von  $t_{1/2} = 5$  bis 10 Jahre.

Die "Ganzwertszeit"  $t_G$ , bei der sich die Schadstoffmenge auf 1/1000 verringert hat, beträgt ungefähr das Zehnfache der Halbwertszeit  $t_{1/2}$ .

$$t_G = t_{1/1000} = \frac{\ln 1000}{k} \approx 10 \cdot t_{1/2} \quad (Gl. 15)$$

Unter Berücksichtigung der ausgebrachten Mengen wird somit erst nach mehr als 100 Jahren die Konzentration bzw. die Menge des Insektizids DDT im Untergrund auf ein sicher unschädliches Maß gesunken sein. Die Verweilzeit  $t_G$  könnte sich etwas verringern, da die Metaboliten ab DDA B1- bzw. B2-Charakterisierung (vgl. Tabelle 17) aufweisen und gleichzeitig mit Verminderung der Ausgangskonzentration die Geschwindigkeit des biochemischen Umsatzes leicht zunimmt.

Das Einkomponentenmodell kann für ortsgebundene Grundwassermessstellen oder für Trinkwasserfassungen verwendet werden, wenn die zu verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Stoffkonzentrationen bei halblogarithmischer Darstellung annähernd auf einer Geraden liegen. Dieser Weg ermöglicht prospektive Aussagen zur Entwicklung der Schadstoffkonzentration an diesem Ort über die aus einer Messstelle gewonnenen Daten. Berücksichtigt werden müssen tages- und jahreszeitliche Schwankungen, die sich aus Wetter- und Klimaänderungen (Niederschlag, Temperatur) und damit einhergehenden Änderungen der Vegetation, des Oberflächenabflusses und der Durchlässigkeit des Untergrundes ergeben. Ebenfalls haben vor allem Änderungen der Grundwasserentnahme-

menge im hydraulischen Einzugsgebiet der Messstelle großen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse am Messpunkt, so dass bei Veränderung des Förderregimes vergleichbare bzw. prospektive Aussagen zum Schadstofftransfer von der militärischen Liegenschaft zur Rohwasserentnahmestelle der Wasserversorgungsanlage erschwert werden. Bei der Interpretation von Messwerten aus Grundwasserentnahmestellen im Anstrom von Trinkwassergewinnungsanlagen sind also unbedingt die genannten Randbedingungen und die daraus resultierenden hydrogeologischen Veränderungen in die Bewertung mit einzubeziehen.