

Übersichtsbeiträge

Beurteilung von Gefahren aus militärischen Altlasten in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen auf der Basis eines Kriterienkataloges

Hans-Martin Mulisch¹, Werner Winter¹, Hermann H. Dieter²

¹Umweltbüro Dipl.-Ing. Mulisch GmbH, Postfach 97 04 05, D-14443 Potsdam

²Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Corrensplatz 1, D-14195 Berlin

Korrespondenzautor: Hans-Martin Mulisch; e-mail: info@umweltbuero.de

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2000.06.022>

Zusammenfassung. Um Auswirkungen der umfangreichen militärischen Altlasten in Deutschland auf die Trinkwasserversorgung erfassen und bewerten zu können, wurde ein Kriterienkatalog zur Beurteilung von Gefahren in Einzugsgebieten der Trinkwassergewinnung entwickelt. Sowohl bei der liegenschaftsbezogenen Altlastenbearbeitung als auch bei der stoffspezifischen Bewertung entspricht der Kriterienkatalog den Belangen des Trinkwasserschutzes und der Trinkwasserhygiene. Er versteht sich als Ergänzung zu bestehenden Konzeptionen der Altlastenbearbeitung und ist so aufgebaut, dass auch bei eingangs spärlicher Kenntnis eine Einschätzung über das Vorliegen akuter oder latenter Gefahren für die menschliche Gesundheit im Umfeld ehemaliger militärischer Liegenschaften möglich ist.

Schlagwörter: Altlastenkoeffizienten; Gefahrenbeurteilung; militärchemische Altlasten; militärische Altlasten; öffentliche Wasserversorgung; Sanierung, altlastverdächtige Flächen; toxikologische Basiswerte; toxikologische Gefahrenwerte; Trinkwasser; Trinkwassergewinnung; Trinkwasserhygiene; Trinkwasserkontamination; Trinkwasserschutz; Umwelthygiene

Abstract: Assessment of the Hazards to Drinking Water from Former Military Sites in the Catchment Areas of Drinking Water Supply Based on a Criterion-Catalog (Review)

To include consequences emanating from former military sites on the drinking water supply, a catalog of criteria has been developed which permits the determination and assessment of the hazards in general and their impact on human health in particular. The assessment criteria correspond to the special requirements and standards for drinking water hygiene and protection in Germany. The criterion catalog is a completion module to the usual praxis and existing conceptions, and has proved its practical value in the initial assessment of military sites in the new federal states of Germany. The scheme is a control instrument suitable for obtaining an assessment concerning the extent to which drinking-water resources are and will be affected by former waste disposal and other contaminated sites at the present and in the future.

Keywords: Drinking water contamination; drinking water hygiene; drinking water protection; drinking water supply; drinking water; environmental health; hazard site coefficient; military chemical disposals; military waste disposals; restoration, military sites; risk assessment; toxicological hazard values; toxicological basic values

Einleitung

Während des "kalten Krieges" hielten die beiden Machtblöcke der Welt in Europa und besonders an der deutsch-deutschen Grenze und dessen Hinterland ein gewaltiges Potential an Waffen und Technik bereit. Auf dem Gebiet der neuen Bundesländer demonstrierte die Rote Armee der Sowjetunion mit ihrer Westgruppe der Truppen (WGT) gemeinsam mit der Nationalen Volksarmee der Deutschen Demokratischen Republik (DDR) und deren paramilitärischen Einheiten bis zum Zerfall des östlichen Militärbündnisses eine hohe Kampfkraft und Gefechtsbereitschaft. Gemeinsam mit den Flächen der Alliierten in den alten Ländern hatte das militärisch genutzte Gebiet in Deutschland eine Gesamtfläche von über 1.000.000 ha, 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 auf den Flächen von Rüstungsbetrieben und militärischen Liegenschaften in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Gefahren für die menschliche Gesundheit ausgehen. So wurden allein nach dem sukzessiven Abzug der Westgruppe der 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 bis 1996 mehr als 40 akute Schadensfälle mit Trinkwasserbezug bekannt. Neben diesen manifestierten Schäden sind Gefahren aus versteckten 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 betraf in den neuen Bundesländern mindestens 100 von etwa 10.000 Objekten, bei denen mit hohen gesundheitlichen Auswirkungen zu rechnen ist [5,6,7]. Durch die Priorisierung der "Verteidigungsbereitschaft" auf den militärischen Liegenschaften wurde das Vorsorgeprinzip mit dem Qualitätsanspruch an Trinkwasser der öffentlichen Wasserversorgung [8,9,10] weitgehend oder völlig außer Kraft gesetzt.

Um mittel- und langfristig zu erwartende Gefahren aus militärischen Altlasten für die Trinkwasserversorgung zu vermeiden, müssten alle Liegenschaften aus ehemaliger militärischer oder paramilitärischer Nutzung eingehend untersucht werden. Dies betrifft vor allem die Liegenschaften, die über Umstrukturierungen zivilen Nachnutzungen (z.B. im Woh-

nungsbau) zugeführt werden, da in diesem Bereich große Untersuchungslücken bestehen. Aus Zeit-, Kosten- und Verfahrensgründen wird diese flächendeckende Aufgabe weder durch den Bund noch durch die Länder durchgeführt. Um dennoch zukünftige Gefahren für Trinkwasser weitestgehend auszuschließen, wurde der Kriterienkatalog als Ergänzung zu bestehenden Konzeptionen [11,12] 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. Zielstellung des Kataloges, der einen Bewertungskomplex, ein Einstufungsraster und einen toxikologisch begründeten Sanierungsbezug beinhaltet, ist es, gesundheitsschädigenden Wirkungen auf den Menschen prospektiv zu begegnen (Abb. 1).

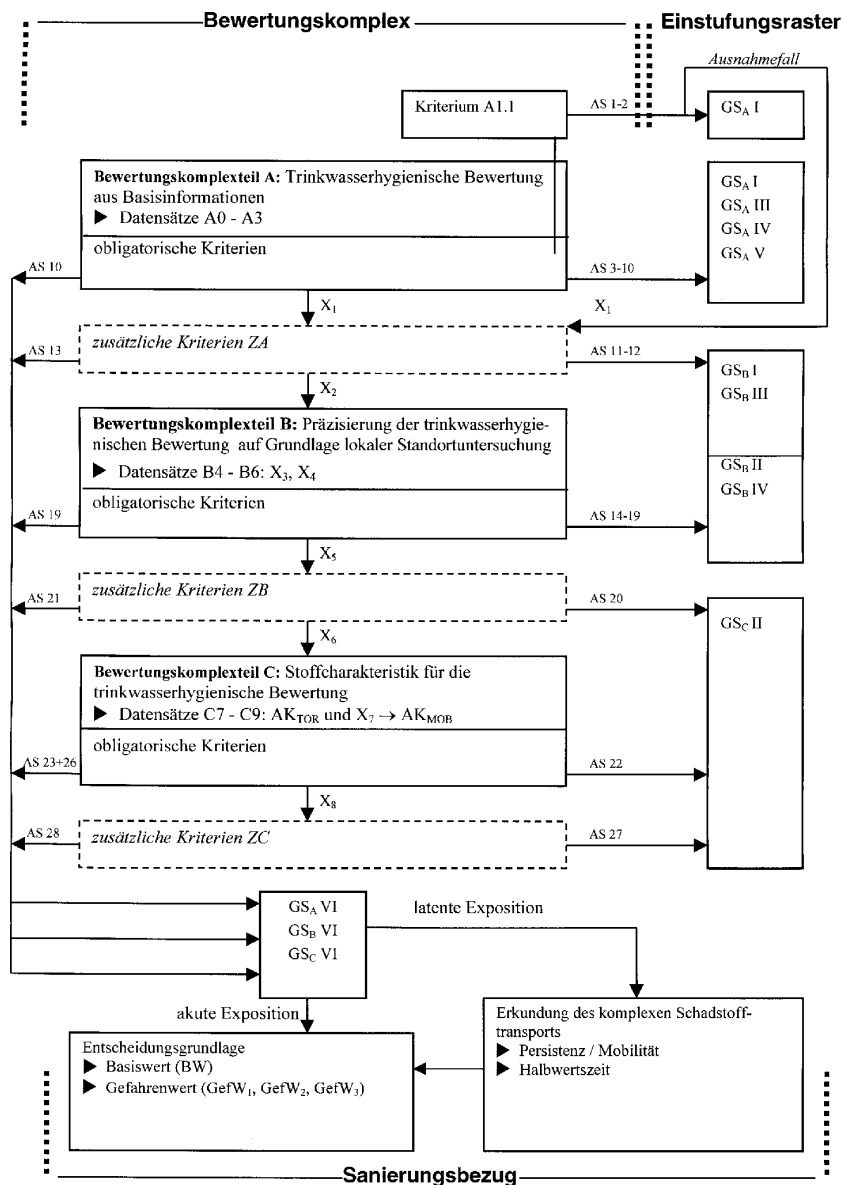


Abb. 1: Aufbau eines Kriterienkataloges: **1. Bewertungskomplex:** Bewertungskomplexe A, B und C mit den Datensätzen A0 bis C9, die obligatorische und fakultative Kriterien ZA, ZB und ZC beinhalten, sowie den Altlastenkoeffizienten AK_{TOR} und AK_{MOB} . Methodik: 28 Arbeitsschritte (AS 1 bis AS 28); X1 bis X8 sind Zwischenschritte ohne Bewertung. Sonderfall: AS 1 und AS 2 über Kriterium A1.1 für zivile bzw. analog zivile Liegenschaften. **2. Einstufungsraster:** Ergebnis der Bewertung: Gefährdungsstufen 1 bis 6 (GS I – GS VI) in Abhängigkeit von steigendem Erkenntnisstand 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, GefW₁, GefW₂, GefW₃)

1 Bewertungskomplex

1.1 Bewertungskomplex Teil A

Beginnend mit dem Bewertungskomplex Teil A (**Box 1**) wird versucht, bereits bei Vorlage von Informationen auf beprob-

ungsloser Basis die Situation einzuschätzen. Das betrifft z.B. eine große Anzahl von WGT-Objekten, für die zum überwiegenden Teil nur Projektberichte auf der Basis von Erstbegehungen vorliegen; bisweilen sind Ergänzungen durch einfache Vor-Ort-Untersuchungen gegeben. Auf der Basis von

Box 1: Bewertungskomplextteil A,B und C (nicht eingerückt = obligatorische Kriterien, kursiv und eingerückt = fakultative Kriterien)

Bewertungskomplextteil A: Feststellung eines Altlastenpotentials in Trinkwassereinzugsgebieten nach einfachen 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 altlastenverdächtige Flächen (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, geräumt, Bebauung, etc.)
 - 1.11 Anzahl von altlastenverdächtigen Flächen bzw. kontaminationsverdächtigen Nutzungsbereichen (gesamt)
 - 1.12 Durchgeführte Sofortmaßnahmen zur ordnungsrechtlich notwendigen Gefahrenabwehr
 - 1.13 Anzahl von altlastenverdächtigen Flächen mit Sofortmaßnahmen

Datensatz A2: Liegenschaftsbezug zu Wasserversorgungsanlagen (WVA)

- 2.1 Art der Wasserversorgungsanlage (ZWWA, EGVA, EZVA) im Umfeld der Liegenschaft
- 2.2 Betroffenes Wasserwerk (Betreiber)
- 2.3 Liegenschaftsbezug zu Trinkwasserschutzonen bzw. zu Vorbehaltsgebieten
 - 2.4 Entfernung nächste Brunnengalerie
 - 2.5 Betroffene Wasserfassung
 - 2.6 ALVF bzw. KVN in Trinkwasserschutzonen (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

Bewertungskomplextteil B: Kriterien zur Feststellung von Gefahren für Trinkwasser durch militärische Altlasten auf der Basis von Untersuchungsergebnissen

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-, Klüft-, Karstgrundwasserleiter, Grundwassernichtleiter), Grundwassermächtigkeit, Strömungsverhältnisse (Fließgeschwindigkeit, Fließrichtung))
- 4.3 Trinkwassereinzugsgebiet (Art der genutzten Wasserressource (Uferfiltrat, Tiefe der Grundwasserentnahme), Bauart des Brunnens (Horizontal-/Vertikalbrunnen), Entnahmefähigkeit pro Tag)
 - 4.4 Zusätzliche Angaben (z.B. Speichereigenschaften, Strömungsverhältnisse im Einzugsgebiet der Wasserentnahmestelle und in Relation zur ALVF)

Datensatz B5: Untersuchungsergebnisse aus Bodenproben

- 5.1 gezielte chemische, physikalische oder sensorische Befunde (Einzelparameter und Summenparameter)
- 5.2 Anzahl von altlastenverdächtigen Flächen 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 altlastenverdächtigen Flächen 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

Bewertungskomplextteil C: Kriterien zur Feststellung von stoffimmanenten Vorgängen und Prioritätskontaminanten

Datensatz C7: Toxizitätspotential von Kontaminanten und Metaboliten*

7.1 Toxikologische Bewertung

- 7.2 Einzelangaben zur chronischen Toxizität, wie NOAEL, ADI u.a.
- 7.3 Einzelangaben zur akuten Toxizität, vor allem LD₅₀ (oral) und LC₅₀ (inhalativ).
- 7.4 Stoffgefährlichkeitswerte verschiedener Autoren (z.B. System Baden-Württemberg)
- 7.5 Wassergefährdungsklasse (WGK 0-3)
- 7.6 Ökotoxikologische Daten wie IC₅₀, 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.

Teil A können mit hoher Wahrscheinlichkeit unbelastete Objekte früh aus dem System entlassen werden, für die kein Handlungsbedarf erkennbar ist. Dies gilt vorwiegend für Objekte bzw. für in sich abgeschlossene Objektteile mit ausschließlicher oder vorwiegend ziviler oder zumindest analog ziviler Nutzungshistorie, wo nicht mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wurde, wie beispielsweise Wohnkomplexe und Befehlsstäbe (→ *Box 1*, Kriterium A1.1). Andererseits können aus den Begehungsberichten eindeutige Kontaminationsherde mit möglichen Auswirkungen auf Trinkwasserressourcen abgeleitet werden.

Die im Datensatz A3 (→ *Box 1*) geforderte Kenntnis zu Verdachtskontaminanten resultiert in vielen Fällen aus der Nutzungshistorie. Die Autoren verfügen dazu über umfangreiches Datenmaterial (vgl. Anhang aus [13]).

1.2 Bewertungskomplex Teil B

Der Bewertungskomplex Teil B (→ *Box 1*) beinhaltet Kriterien zur Feststellung eines begründeten Kontaminationsverdachts 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 der Trinkwasserhygiene.

Die im Datensatz B5 und B6 (→ *Box 1*) erwähnten Befunde orientieren sich an Hauptkontaminanten; das sind häufig und in erhöhten Konzentrationen nachgewiesene Schadstoffe aus militärischen altlastenverdächtigen Flächen (ALVF = altlastenverdächtige Flächen lt. BBodSchG).

Bestimmte Parameter sind nunmehr als Prüf- oder Maßnahmewerte in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für Böden und Sickerwasser bundesweit einheitlich festgeschrieben [14].

1.3 Bewertungskomplex Teil C

Bei festgestellter Kontamination werden im Teil C (→ *Box 1*) aus stoffimmanenten Aussagen die für den Trinkwasserpfad relevanten Schlussfolgerungen der toxikologischen Relevanz über den Altlastenkoeffizienten AK_{TOX} und der Abschätzung der stofflichen Mobilität über den Altlastenkoeffizienten AK_{BIO} gezogen. Voraussetzung dazu sind ausreichende Kenntnisse über die obligatorischen Kriterien der Datensätze C7 bis C9 nach *Box 1*.

Die toxikologische Bewertung beinhaltet neben der Kanzerogenität Kenntnisse zur akuten, subchronischen oder chronischen Toxizität, zur Reproduktions- und Immuntoxizität, zur Toxikokinetik, Biochemie (Blutbild, Serum, Status der Immunzellen u.a.) und Mutagenität [15]. Im Katalog erfolgen die Angaben als Altlastenkoeffizienten AK_{TOX} , der bei steigender Gefährlichkeit der Kontaminanten Werte von 1 bis 4 annimmt (**Tabelle 1**). Ist das Datenmaterial zur Berechnung des AK_{TOX} nicht ausreichend, dienen gegebenenfalls die fakultativen Kriterien des Datensatzes C7 (→ *Box 1*) als Orientierungshilfe.

Bei chemischen Vorgängen im Untergrund, die zu einer Verminderung der organischen Schadstoffmenge im Boden bzw. im Grundwasser führen, dominieren biochemische Reaktionen. Deshalb ist neben dem AK_{TOX} im Kriterienkatalog der Altlastenkoeffizient AK_{BIO} opportun, der Werte von 1,0 (leicht abbaubar) bis 2,0 (nicht abbaubar) annehmen kann. Voraussetzung für die Relativierung der Werte sind standardisierte Labormethoden, die die Wahl des Gerätetyps, die Ausgangskonzentration, die Reaktionszeit und die Adaptivität fixieren. Die Angaben resultieren bei definierten Verbindungen aus der Gegenüberstellung des Messwertes (als mg O_2/g) zum theoretisch möglichen Sauerstoffbedarf (TSB) und erfolgen als AK_{BIO} (**Tabelle 2**).

Tabelle 2: Altlastenkoeffizienten AK_{BIO} der biochemischen Abbaubarkeit von Stoffen auf der Basis eines standardisierten Verfahrens

AK_{BIO}	wichtige Aussagen
2,0	nicht abbaubar Abbaurrate <4% (Messfehler und Verunreinigungen)
1,8	schwach abbaubar Abbaurrate 5 – 19%
1,5	teilweise abbaubar Abbaurrate 20 – 39% eingeschränkter Abbau <u>oder</u> stark prolongierte Dissimilationsdauer
1,3	mit Einschränkung abbaubar Abbaurrate 40 – 59% Abbau nicht vollständig oder der vollständige Abbau wird in der fixierten Reaktionszeit nicht erreicht
1,0	leicht abbaubar Abbaurrate $\geq 60\%$ Dissimilation vollständig oder nahezu vollständig zu CO_2 , H_2O , usw. Abbaurrate weitgehend unabhängig von der Ausgangskonzentration

Tabelle 1: Integrierte Bewertung von Toxizität und Karzinogenität in Form der AK_{TOX} auf der Basis BZ_{TOX} und RZ

TOX-Gruppe	CANC-Gruppe	BZ_{TOX}	Toxizität, Karzinogenität und Risikozuschläge (RZ)	AK_{TOX}
I	canc A	100	eindeutig humankarzinogen	4,0
I	canc B ₁	100	eindeutig karzinogen im Tierversuch als Initiator <u>oder</u> Anfangsverdacht aus Humandaten bei wahrscheinlicher Initiatorwirkung	4,0
I	canc C	90 - 100	hoch toxisch und nicht karzinogen bei adäquater Testung	4,0
II	canc B ₂	68 - 89	stark toxisch und Initiatorwirkung im Tierversuch zweifelhaft, aber begründeter Anfangsverdacht aus Tier- und Strukturdaten (RZ=33)	3,7
IIIa	canc B ₃	51 - 67	stark toxisch <u>oder</u> mäßig toxisch und karzinogen bei nicht oraler Testung (RZ=22)	3,0
IIIb	canc B ₂	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

Sind Strukturdaten unbekannt bzw. liegen undefinierbare Gemische vor, dient der CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) als Bezugsgröße. Abbauergebnisse ohne Verfahrensbezug sind zwar als fakultative Kriterien informativ, aber für eine AK_{BIO} -Zuordnung ungeeignet.

Für anorganische Schadstoffe gilt $AK_{\text{BIO}} = 2,0$. Ausnahme bilden Verbindungen wie Ammonium (z.B. als Sprengpulver Ammoniumnitrat), Nitrat (aus Sprengpulver), Zyanid (Sabotagegift) und Fulminat (Initialsprengstoff), für die eine Stoffeliminierung mittelfristig wahrscheinlich ist und die deshalb mit $AK_{\text{BIO}} = 1,5$ in die Kalkulation eingehen.

Bei Anwesenheit mehrerer Schadstoffe wird für die toxikologische Bewertung der Summe von Stoffen mit gleichen oder ähnlichen Wirkungsendpunkten auf die bekannte Additionsregel verwiesen:

$$c_1/GK_1 + c_2/GK_2 + \dots + c_n/GK_n \leq 1$$

Dabei sind $c_1, c_2 \dots c_n$ die gemessenen Konzentrationen der Stoffe 1, 2 ... n und $GK_1, GK_2 \dots GK_n$ die Grenzkonzentrationen dieser Stoffe für ein bestimmtes Expositionsszenario. Analog kann mit der biochemischen Summenbewertung von Stoffen verfahren werden, wenn synergistische Effekte weitgehend ausgeschlossen werden können. Bei deren Kenntnis wird darauf verwiesen.

Neben der Toxikologie und der biochemischen Abbaubarkeit werden die Prioritäts- und Verdachtskontaminanten aus militärischen Altlasten durch ihr Migrationsverhalten (Wanderung von Stoffen aus altlastenverdächtigen Flächen 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 und der Dampfdruck. Zwei der wichtigsten Kriterien sind – besonders unter dem Aspekt der militärischen Altlasten – die Wasserlöslichkeit und die Adsorbierbarkeit, die als obligatorisch in den Kriterienkatalog aufgenommen wurden. 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 Fünfeinteilung der beiden Kriterien Löslichkeit und Adsorbierbarkeit für ausreichend erachtet. Als Näherungswert für die stoffspezifische Mobilität bzw. Persistenz von militärischen Altlasten dient der Altlastenkoeffizient AK_{MOB} , der sich aus der additiven Verknüpfung der beiden Altlastenkoeffizienten für Wasserlöslichkeit und Adsorbierbarkeit nach $4 \geq AK_{\text{MOB}} = AK_{\text{LÖS}} + AK_{\text{ADS}} \geq 2$ ergibt. Mit zunehmendem AK_{MOB} erhöht sich die physikochemisch bedingte Stoffpersistenz bis zum Maximalwert von 4. Umgekehrt sind Schadstoffe mit niedrigem AK_{MOB} tendenziell durch geringe Verweilzeiten im Untergrund charakterisiert. Für ausgewählte organische Substanzen aus militärischen altlastenverdächtigen Flächen sind die $AK_{\text{LÖS}}$ und die AK_{ADS} sowie die daraus resultierenden Altlastenkoeffizienten AK_{MOB} in Tabelle 3 (\rightarrow Anhang, S. ■) aufgeführt. Für Angaben von Zahlenwerten in Klammern liegen entweder keine exakten oder voneinander abweichende Ergebnisse vor.

Unter Berücksichtigung der Humantoxizität und der biochemischen Abbaubarkeit von Schadstoffen wird als toxikologische Relevanz die Verknüpfung der Altlastenkoeffizienten AK_{TOX} und AK_{BIO} als AK_{TOR} (aus toxikologischer Relevanz) nach $6 \geq AK_{\text{TOR}} = AK_{\text{TOX}} + AK_{\text{BIO}} \geq 2$ verstanden und nimmt demzufolge Werte von 2 bis 6 an. Den höchsten Altlastenkoeffizient 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 . Altlastenkoeffizienten AK_{TOR} für organische Substanzen, die auf militärischen altlastenverdächtigen Flächen ermittelt wurden bzw. als Ergebnis der Auswertung angetroffen werden können, sind in Tabelle 4 (\rightarrow Anhang, S. ■) aufgeführt. Angaben von Altlastenkoeffizienten in Klammern beruhen auf geschätzten Werten. Auf der Basis der bisherigen Recherchen sind Substanzen mit einem Altlastenkoeffizienten $AK_{\text{TOR}} \geq 5$ suspekt und geben auch noch nach Jahrzehnten zu unmittelbarem Handlungsbedarf Anlass. Im Gegensatz dazu können Stoffe mit einem Altlastenkoeffizienten $AK_{\text{TOR}} \leq 3$ gemäß Aufgabenstellung erfahrungsgemäß 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 $3 < AK_{\text{TOR}} < 5$ einzuordnen sind ist zur Entscheidungsfindung vorrangig deren stoffbezogene Mobilität bzw. Persistenz in Ansatz zu bringen.

Aus der Aggregation der Altlastenkoeffizienten AK_{MOB} und AK_{TOR} aus den Tabellen 3 und 4 sind stoffimmanente Aussagen zu Verdachts-, Haupt- und Prioritätskontaminanten mit Trinkwasserrelevanz möglich. Dazu einige augenfällige Beispiele:

- Die mit $AK_{\text{MOB}} = 4$ 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 Jahrzehnten nicht auszuschließen sind. Das betreffe beispielsweise nahegelegene Einzugsgebiete von Trinkwasserfassungen oder die 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 in das Grundwasser und in Abhängigkeit von der Standortcharakteristik nach kurzer Zeit in Trinkwasserbrunnen gelangen.
- Kontaminanten mit niedrigen AK_{TOR} und AK_{MOB} -Werten, wie beispielsweise Methanol als Enteisungsmittel und Glykol als Gefrierschutzmittel, sind durch hohe Eliminierungsraten charakterisiert und in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten zu vernachlässigen.

2 Einstufungsraster

Durch die Zuordnung der militärischen Liegenschaften aus den jeweiligen Bewertungskomplexen Teile A, B und C in

das Einstufungsraster wird der erforderliche Handlungsbedarf zur Sicherung der Trinkwasserversorgung abgeleitet.

Entsprechend **Tabelle 5** (→ *Anhang, S. ■*) beinhaltet das Einstufungsraster zur Gefährdungseinschätzung von Trinkwasserressourcen durch militärische Liegenschaften insgesamt 13 unterschiedliche Gefährdungsstufen GS [16], wobei die Unterscheidung in GS_A, GS_B und GS_C das jeweilige Informationsniveau der Bewertungskomplexe A, B und C und die damit von A nach C steigende Qualifizierung der Aussage kennzeichnet.

Die Aussagen der Gruppe 1 (→ *Tabelle 5*) sind breit gefächert und reichen von "keine altlastenverdächtigen Flächen 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 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 verzeichnet 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 liegenschaftsbezogene Maßnahmen in Form von Altlasterkundungen. Außerdem sind wasserwerksseitige Recherchen und analytische Untersuchungen zur Feststellung der Roh- und Trinkwasserqualität an und im Umfeld der Entnahmestelle als Nutzungsort notwendig, um entweder den Gefahrenverdacht auszuräumen (Rückstufung lt. Raster) oder eine akute oder latente Kontamination zu bestätigen (Gefährdungsstufen GS IV oder sogar Höherstufung zur GS VI).

Der Gruppe 3 werden alle Liegenschaften zugeordnet, über die, abgesehen von Verwaltungsdaten nach A0 (vgl. Bewertungskomplexteil A), keine Kenntnisse vorliegen. Dies betrifft auch sämtliche Liegenschaften mit bereits festgestelltem Verdacht auf wassergefährdende Altlasten, für die jedoch noch keine Kenntnisse über ausgewiesene Trinkwasserschutzzonen oder betroffene Wasserfassungen bestehen oder bei denen widersprüchliche Aussagen vorliegen.

Die Gruppe 4 basiert entweder auf dem Schadstoffpotential bestimmter kontaminationsverdächtiger Militärbereiche oder auf Arbeitsschritten gemäß Bewertungskomplexteil B bzw. C und erfordert unmittelbaren Handlungsbedarf.

3 Arbeitsschritte

Die Entscheidungsfindung mit Angabe der Gefährdungsstufen und des zugehörigen Handlungsbedarfs erfolgt formal über bis zu 28 Arbeitsschritte, wobei sich sowohl die Anforderungen an das Datenmaterial als auch die Sicherheit der Aus-

gen von der 1. zur 3. Bewertungsebene mit den Datensätzen A0 – A3, B4 – B6 und C7 – C9 erhöhen.

4 Sanierungsentscheidungen

Die Sanierungsentscheidungen beziehen sich ausschließlich auf die Qualitätssicherung des Trinkwassers. Grundsätzlich ist dabei zwischen akuter und latenter Exposition zu unterscheiden. Im ersten Fall liegt bereits eine manifestierte Kontamination der Trinkwasserressourcen vor. Weitaus schwieriger ist die Situation zu beurteilen, wenn nur der Verdacht besteht, dass kurz-, mittel- oder langfristig infolge von Boden-/Grundwasserkontamination eine Beeinträchtigung von Rohwasser für Trinkwasserzwecke zu befürchten ist. In beiden Fällen bieten die Basiswerte (BW) und Gefahrenwerte (GefW) eine toxikologisch begründete Orientierung [17] in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen. Zur Bewertung von Grundwasserkontaminationen gelten im übrigen die jeweiligen Regelwerke der Länder.

Unter Basiswert versteht man die lebenslang gesundheitlich sichere Grenzkonzentration für einen Stoff in Trinkwasser. Er wird für Stoffe mit Wirkungsschwelle aus dem TDI-Wert ("tolerable daily intake"), als Wert der duldbaren täglichen Aufnahme in mg pro Kilogramm Körpermasse und Tag, bzw. bei Stoffen ohne Wirkungsschwelle aus rechnerischen Zusatzrisiken gebildet. Ergänzend dazu sind Gefahrenwerte toxikologisch über Sicherheitsfaktoren aus einem Basiswert abgeleitete Grenzkonzentrationen für Substanzen in Trinkwasser mit Gefahrenbezug. Sie sind nur während entsprechend kürzerer, als nicht lebenslangen Belastungszeiten gesundheitlich sicher. Der Gefahrenbezug wird mit abnehmender, gesundheitlich duldbarer Belastungsdauer bzw. zunehmender Höhe der Belastung in die Stufen 1 bis 3 differenziert (GefW₁ bis GefW₃). Als Zeiträume, in denen Expositionen der Kontaminanten im Trinkwasser gesundheitlich unsicher sind, werden für den GefW₁ = 70 Jahre, den GefW₂ = 10 Jahre und den GefW₃ = 1,5 Jahre bemessen. Der Unwägbarkeit von (früh)kindlicher Toxikodynamik und -kinetik aus Vorsorgegründen Rechnung tragend, werden gegebenenfalls zusätzliche Gefahrenwerte für Säuglinge und Kleinkinder GefW_{SK} erstellt. Damit sind Schädigungen auch bei Exposition sogar bis zu 10 Jahren mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen.

Die Gefahrenwerte (GefW) sind somit Auslösewerte für Sicherungs- und Dekontaminationsmaßnahmen für Wasserressourcen in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen, also Maßnahmewerte im Sinne der Gefahrenerkennung und -abwehr für Trinkwasser. Sie basieren im Zusammenhang mit Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen auf zwei wichtigen Überlegungen [18]:

1. Aus hygienischen Gründen kann die Wasserversorgung von Haushaltungen auch bei Überschreiten eines oder auch mehrerer Parameter nicht von vornherein unterbrochen werden.
2. Bei nicht gesundheitsgefährdenden Konzentrationen muss dem Wasserversorger zudem die Zeit gegeben werden, Abhilfe durch Sanierungsmaßnahmen zu treffen.

Aus gesundheitlichen Gründen ist spätestens bei Überschreiten von Stufe 3 (GefW₃) sofortiger Handlungsbedarf gegeben, während die Überschreitung der Stufen 2 (GefW₂)

oder 1 (GefW₁) mittelfristigen oder gar langfristigen Handlungsspielraum signalisiert, der allerdings aus Vorsorgegründen nur im Ausnahmefall ausgeschöpft werden sollte.

Sanierungsbedarf ist solange gegeben, bis gewährleistet ist, dass die Konzentrationen der Stoffe am Wasserwerksausgang mit Sicherheit und auf Dauer deutlich unterhalb der Basiswerte bzw. Grenzwerte der Trinkwasserverordnung liegen. Die bisher recherchierten Basis- und Gefahrenwerte für Kontaminanten aus militärischen altlastenverdächtigen Flächen sind in **Tabelle 6** (→ *Anhang, S. ■*) aufgeführt.

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. Das betrifft vorwiegend Kohlenwasserstoffe. So liegt z.B. für das Alkangemisch Hexan, Heptan und Oktan die HSO mit 0,01 mg/l deutlich unter dem Basiswert von 0,2 mg/l.

5 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.

Der gesamte Vorgang des Erkennens und der Beurteilung von Gefahren aus militärischen Altlasten bzw. Liegenschaften in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen ist im Kriterienkatalog in Form von 28 Arbeitsschritten (AS 1 - 28) inklusive 8 Zwischenschritten (X₁ - X₈) schematisiert.

Mit Hilfe des Kriterienkataloges konnten bisher neben offensichtlichen Rohwasserbeeinträchtigungen mehr als 70 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, auch wenn weitergehende Erkundungs- und Sanierungsmaßnahmen zum überwiegenden Teil noch erfolgen müssen [19,20]. 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 [1,2,3,21] sind quantitativ und qualitativ sehr unterschiedlich und beinhalteten überwiegend Aussagen zum Bewertungskomplex Teil A auf vorwiegend beprobungsloser Basis (→ *Box 1*). Bisweilen kann in erster Instanz nur auf die Datenbasis A0 (Verwaltungsdaten) zurückgegriffen werden. Mit Zunahme der Verdachtsmomente sind verstärkt

hydrogeologische und geologische Erkenntnisse sowie Analysedaten aus Boden und Grundwasserbeprobungen des Teils B gefragt. Die zur Gefahreinschätzung erforderlichen Stoffparameter des Teils C werden am Umweltbundesamt erarbeitet bzw. über Literatur- und online-Datenbanken ermittelt.

Mit den Basis- und Gefahrenwerten (BW, GefW₁ - GefW₃) wird eine toxikologisch begründete Entscheidungshilfe aufgezeigt, die grundsätzlich an der Kontinuität der Trinkwassergewinnung im Umfeld der militärischen Liegenschaften orientiert ist. Notwendige Sanierungen von Altlasten und zukünftige Nutzungen der Liegenschaften können auf diesem Weg die für die Trinkwassergewinnung und -bereitstellung speziellen umwelthygienischen Anforderungen einhalten.

Literatur

- [1] UBA (1995): Ermittlung von Altlastverdachtsflächen auf den Liegenschaften der Westgruppe der sowjetischen Truppen (WGT). WGT-Projektberichte. Umweltbundesamt (UBA)/IABG, Otobrunn, Deutschland
- [2] OFD-H (1992-96): Altlastprogramm Ost der Bundeswehr. Im Auftrag der WBV VII/Oberfinanzdirektion Hannover (OFD-H), Hannover, Deutschland (Teilauszug bis 1996)
- [3] FKST (1993-98): Daten aus den Erfassungsbögen der AG "Militärische Altlasten/Trinkwasserversorgung" der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser des Bundesministeriums für Gesundheit (FKST), Berlin, Deutschland (ständig aktualisierte Fassung bis 1998)
- [4] FKST (1994): 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 (FKST), Berlin
- [5] UN (1996): Vermeidung und Kontrolle von Grundwasser-Verunreinigungen durch Chemikalienlagerung und Abfallbeseitigung. Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN). Hrsg. durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- [6] FKST (1996): Beschluss 8/1/3 "AG Militärische Altlasten" vom 22./23.1.92. Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser (FKST), Berlin
- [7] FKST (1996): Trinkwasser – in den neuen Ländern. Tätigkeitsbericht der Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser, Fachkommission Soforthilfe Trinkwasser (FKST), Berlin
- [8] TrinkwV (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 05.12.1990, BGBl., S. 2612-2629
- [9] EU (1998): Richtlinie des Rates 98/83/EC über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom November 1998
- [10] Deutsche Normen (1973): DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser. Planung, Bau und Betrieb der Anlagen. Fachnormenausschuss Wasserwesen (FNW) im Deutschen Normenausschuss (DANN)
- [11] MULISCH, H.-M.; WINTER, W.; GROHMANN, A. (1996): Assessment of the hazards to drinking water from former military sites. J. Water SRT – *Aqua* (Oxford) 2, 72-75
- [12] KERNDORFF, H.; SCHLEYER, H.; DIETER, H.H. (1993): Bewertung der Grundwassergefährdung von Altablagerungen – Standardisierte Methoden und Maßstäbe. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes. WaBoLu 1/93
- [13] MULISCH, H.-M.; WINTER, W.; DIETER, H.H.; KERNDORFF, H. (1999): Kriterienkatalog zur Beurteilung von Gefahren aus militärischen Altlasten in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen. Umweltbundesamt. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. WaBoLu-Hefte 6/99, im Druck

- [14] BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). BGBl. I Nr. 36, 16.07.1999, 1554-1582
- [15] DIETER, H.H. (1994): 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 7/94
- [16] Thüringen (1996): Erlass zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserversorgung nach Ablauf der EG-Rechtsüberleitungsverordnung v. 18.12.1990. Gesetzblatt I S.2915, Thüringer Staatsanzeiger Nr. 13, S. 66
- [17] DIETER, H.H.; GROHMANN, A.; WINTER, W. (1996): Trinkwasserversorgung bei Überschreiten von Grenzwerten der Trinkwasserversorgung. In: Umweltbundesamt; Grohmann, A.; Dieter, H.H.; Reinicke, G. (Hrsg.): Transparenz und Akzeptanz von Grenzwerten am Beispiel des Trinkwassers. Umweltbundesamt: Berichte 96/6. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [18] GROHMANN, A.; DIETER, H.H. (1997): Schutz von Wasserressourcen im Umfeld militärischer Liegenschaften – eine Herausforderung für die Trinkwasserhygiene. In: Trinkwasserressourcen im Umfeld militärischer Liegenschaften. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes. WaBoLu-Hefte 6/97
- [19] MULISCH, H.-M.; WINTER, W.; DE LIMA, S. (1998): Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften aus der ehemaligen militärischen Nutzung durch die Westgruppe der Truppen der Sowjetarmee (WGT). UFOPLAN-Vorhaben 202 02 664. Texte 77/99, Umweltbundesamt, Berlin
- [20] MULISCH, H.-M. (1998): Trinkwasserschutz im Umfeld von Liegenschaften der ehemaligen Nationalen Volksarmee im Freistaat Sachsen. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes für das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Berlin
- [21] HAAS, R.; THIEME, J. (1996): Bestandsaufnahme von Rüstungsalastverdachtsstandorten in der Bundesrepublik Deutschland. 2., erweiterte Auflage. TEXTE 25/96-30/96. Umweltbundesamt, Berlin

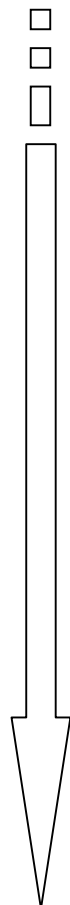
Erhalten: 18. April 2000
 Akzeptiert: 3. Mai 2000
 Online-First: 2. Juni 2000

Anhang: Tabellen 3 bis 6

Tabelle 3: Beispiele von Altlastenkoeffizienten AKMOB für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen altlastenverdächtigen Flächen

Lfd. Nr	Substanz	Formel / Kurzzeichen	Lösl. [mg/l]	AK _{LÖS}	AK _{ADS}	AK _{MOB}
1	Tetrachlordibenzo-p-dioxin	TCDD	0,000019	2,0	2,0	4,0
2	DDT ¹	(C ₆ H ₄ Cl) ₂ · C ₂ Cl 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 ²	(C ₆ H ₄ Cl) ₂ · C ₂ HCl ₂	0,16	2,0	(2,0)	(4,0)
5	Pentachlorphenol	C ₆ Cl ₅ OH (PCP)	14	1,7	2,0	3,7
6	Naphthalin	C ₁₀ H ₈	31	1,7	2,0	3,7
7	1,4-Dichlorbenzol	C ₆ H ₄ · Cl ₂	81,3	1,7	2,0	3,7
8	Benzinkohlenwasserstoffe	C _m H _n	50-200	1,5-1,7	2,0	3,5-3,7
9	2,4,6-Trinitrotoluol	C ₆ H ₂ · CH ₃ · (NO ₂) ₃ (2,4,6-TNT)	100	1,5	2,0	3,5
10	2,4-Dinitrotoluol	C ₆ H ₃ · CH ₃ · (NO ₂) ₂ (2,4-DNT)	270	1,5	2,0	3,5
11	Toluol	C ₆ H ₅ · CH ₃	526	1,5	2,0	3,5
12	Xylole	C ₆ H ₄ · (CH ₃) ₂	175	1,5	(2,0)	(3,5)
13	2,6-Dinitrotoluol	C ₆ H ₃ · CH ₃ · (NO ₂) ₂ (2,6-DNT)	182	1,5	(2,0)	(3,5)
14	Tetrachlormethan	CCl ₄	804	1,5	(1,9)	(3,4)
15	Hexogen	(CH ₂ N) ₃ · (NO ₂) ₃		(1,5)	(1,7)	((3,2))
16	DDA ³	(C ₆ H ₄ Cl) ₂ · CH ₂ · COOH		(1,5)	(1,7)	((3,2))
17	Tetryl	C ₆ H ₂ · (N · CH ₃ , NO ₂) · (NO ₂) ₃	200	1,2	(1,8)	(3,0)
18	Nonylphenolglykoether ⁴	C ₉ H ₁₉ · C ₆ H ₄ · O(C ₂ H ₄ O) ₈ H	>1000	1,0	1,9	2,9
19	Nitrofen ⁵	O ₂ · C ₆ H ₄ · O · C ₆ H ₄ Cl ₂	1000	1,0	1,9	2,9
20	Phenol	C ₆ H ₅ OH	82800	1,0	1,9	2,9
21	Dodecylbenzol-sulfonat ⁶	C ₁₂ H ₂₅ · C ₆ H ₄ · SO ₃ Na	>1000	1,0	1,9	2,9
22	Trichlorethen	CHCl · CCl ₂ (Tri)	1100	1,0	(1,9)	(2,9)
23	Benzol	C ₆ H ₆	1800	1,0	(1,7)	(2,7)
24	1,2-Propandiol	CH ₂ OH · CHO · CH ₃	∞	1,0	1,5	2,5
25	Vinylchlorid ⁷	CHCl = CH ₂	1100	1,0	(1,3)	(2,3)
26	Glykol	(CH ₂ OH) ₂	10000	1,0	1,0	2,0
27	Methanol	CH ₃ OH	∞	(1,0)	1,0	(2,0)

zunehmende stoffspezifische Mobilität



¹ Dichlordiphenyltrichlorethan (Insektizid); ² Dichlordiphenyldichlorethan; ⁵ 2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether (Herbizid); ³ Dichlordiphenylessigsäure; ⁴ nichtionisches Tensid; ⁶ anionaktives Tensid; ⁷ aus Trichlorethen durch anaerobe bakterielle Dehalogenierung über die Zwischenprodukte cis-1,2-Dichlorethen und trans-Dichlorethen [vgl. z.B. MAYMO, CHIEN, GOSSETT, ZINDER (1997) 276(5318): 1568-71]

Tabelle 4: Beispiele von Altlastenkoeffizienten AK_{TOR} für ausgewählte organische Substanzen auf militärischen altlastenverdächtigen Flächen

lfd. Nr.	Substanz	Formel / Kurzzeichen	AK_{TOX}	AK_{BIO}	AK_{TOR}
1	DDT ¹	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2Cl_3$	4,0	2,0	6,0
2	DDD ²	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2HCl_2$	4,0	2,0	6,0
3	Tetrachlormethan	CCl_4	4,0	2,0	6,0
4	Vinylchlorid ³	$CHCl = CH_2$	4,0	2,0	6,0
5	Tetryl	$C_6H_2 \cdot (N \cdot CH_3, NO_2) \cdot (NO_2)_3$	4,0	2,0	6,0
6	Tetrachlordibenzo-p-dioxin	TCDD	(4,0)	2,0	(6,0)
7	Polychlorierte Biphenyle	PCBs	(4,0)	2,0	(6,0)
8	2,6-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,6-DNT)	(4,0)	2,0	(6,0)
9	Benzol	C_6H_6	4,0	1,8	5,8
10	2,4,6-Trinitrotoluol	$C_6H_2 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_3$ (2,4,6-TNT)	3,7	2,0	5,7
11	Pentachlorphenol	C_6Cl_5OH (PCP)	3,0	2,0	5,0
12	Trichlorethen	$CHCl \cdot CCl_2$ (Tri)	3,0	2,0	5,0
13	1,4-Dichlorbenzol	$C_6H_4Cl_2$	3,0	2,0	5,0
14	2,4-Dinitrotoluol	$C_6H_3 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_2$ (2,4-DNT)	(3,0)	2,0	(5,0)
15	Hexogen	$(CH_2N)_3 \cdot (NO_2)_3$	(3,0)	2,0	(5,0)
16	Nitrofen ⁴	$NO_2 \cdot C_6H_4 \cdot O \cdot C_6H_4Cl_2$	(3,0)	2,0	(5,0)
17	Naphthalin	$C_{10}H_8$	3,0	1,8	4,8
18	DDA ⁵	$(C_6H_4Cl)_2 \cdot C_2H_2 \cdot COOH$	(3,0)	1,8	(4,8)
19	Phenol	C_6H_5OH	3,0	1,0	4,0
20	Xylole	$C_6H_4 \cdot (CH_3)_2$	2,0	1,8	3,8
21	Benzinkohlenwasserstoffe	C_mH_n	(2,0)	1,8	(3,8)
22	Toluol	$C_6H_5 \cdot CH_3$	2,0	1,3	3,3
23	Methanol	CH_3OH	(2,0)	1,0	(3,0)
24	Nonylphenolctaglykolether ⁶	$C_8H_{19} \cdot C_6H_4 \cdot O(C_2H_4O)_8H$	(1,5)	1,5	(3,0)
25	Dodecylbenzolsulfonat ⁷	$C_{12}H_{25} \cdot C_6H_4 \cdot SO_3Na$	(1,5)	1,3	(2,8)
26	1,2-Propandiol	$CH_2OH \cdot CHOH \cdot CH_3$	(1,5)	1,3	(2,8)
27	Glykol	$(CH_2OH)_2$	(1,5)	1,0	(2,5)

¹ Dichlordiphenyltrichlorethan (Insektizid); ² Dichlordiphenyldichlorethan; ³ aus Trichlorethen durch **anaerobe** bakterielle Dehalogenierung über die Zwischenprodukte cis-1,2-Dichlorethen und trans-Dichlorethen [vgl. z.B. MAYMO, CHIEN, GOSSETT, ZINDER (1997) 276(5318): 1568-71].

⁴ 2,4-Dichlorphenyl-4-nitrophenylether (Herbizid); ⁵ Dichlordiphenylelessigsäure; ⁶ nichtionisches Tensid; ⁷ anionaktives Tensid

Tabelle 5: Einstufungsraster zur Bestimmung der Gefährdung des Trinkwassers durch militärische Liegenschaften [11]

Gruppe	Ermittlungs- und Untersuchungsergebnisse	Bewertungs-niveau	Aussage zur Gefährdung des Trinkwassers	Gefährdungsstufe (GS)	Handlungsbedarf zur Qualitätssicherung des Trinkwassers
1	keine altlastenverdächtige Flächen (ALVF) mit wassergefährdenden Stoffen	GS_A, GS_B	keine Gefährdung	GS Ia	kein erkennbarer Handlungsbedarf
	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_A		GS Ic	
	potentieller Altlastenverdacht, jedoch langfristig keine Auswirkungen auf Wasserressourcen nachgewiesen	GS_B, GS_C	Nachweis: keine Gefährdung	GS II	
	z.Z. keine Nutzung von Wasserressourcen für Trinkwasserzwecke, jedoch potentielle Kontamination	GS_A, GS_B	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_A, GS_B	potentielle Gefährdung wegen möglicher Kontamination	GS IVa	Untersuchungsbedarf
	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_A	Gefährdung kann nicht ausgeschlossen werden	GS Va	Klärungsbedarf
	widersprüchliche Aussagen			GS Vb	
	keine Kenntnisse			GS Vc	
4	vermutete bzw. nachgewiesene unmittelbare Kontamination von Rohwasser für Trinkwasserzwecke	GS_A, GS_B, GS_C	Gefahr bzw. Gefahrenverdacht durch akute bzw. latente Exposition	GS VI	unmittelbarer Handlungsbedarf

Tabelle 6: Übersicht zu Basis- und Gefahrenwerten für Roh- und Trinkwasser (GefW1 langfristige, GefW2 mittelfristige und GefW3 kurzfristige Expositionen)

	Substanz	Formel/Kurzzeichen	BW [µg/l]	GefW ₁ [µg/l]	GefW ₂ [µg/l]	GefW ₃ [µg/l]	GefW _{sk} [µg/l]
1	Arsen	As	10	10	15	20	10
2	Benzol	C ₆ H ₆	1,0	1	7	n.a.	7
3	3,4-Benz(a)pyren	BaP	0,07	0,07	0,5	n.a.	0,5
4	Blei	Pb	25	25	40	80	10
5	Cadmium	Cd	2	2	3	5	3
6	Chrom	Cr	20	200	200	200	200
7	Cyanid	CN ⁻	20	200	200	200	200
8	Dichlormethan	CH ₂ Cl ₂	20	200	200	200	200
9	2,4-Dinitrotoluol	C ₆ H ₃ · CH ₃ · (NO ₂) ₂ (2,4-DNT)	0,7	-	-	7	-
10	Nickel	Ni	20	20	200	200	50
11	Nitrat	NO ₃ ⁻	50000	130000	130000	130000	50000
12	Nitrit	NO ₂ ⁻	1000	7000	7000	7000	1000
13	Quecksilber	Hg	1	1	3	3	3
14	Tetrachlormethan	CCl ₄	3	25	25	25	25
15	Trichlorethen	CHCl · CCl ₂ (Tri)	35	35	350	350	350
16	1,3,5-Trinitrohexahydro-1,3,5-triazin	(NH) ₃ (CH) ₃ · (NO ₂) ₃ (Hexogen)	1,0	-	-	10	-
17	2,4,6-Trinitrotoluol	C ₆ H ₂ · (NO ₂) ₃ · CH ₃ ; (2,4,6-TNT)	0,2	-	-	2	-
18	Vinylchlorid	CHCl · CH ₂	0,5	0,5	3,5	n.a.	3,5

* für empfindliche Personengruppen mit Nickelallergie gilt GefW_{2,3} = 50 µg/l; n.a. = nicht angebar