

# Bewertungsmodell zur Gefährdungsabschätzung von Rüstungsallastverdachtsflächen

G. Schulz-Terfloth, H.-P. Lühr

**Kurzfassung:** Es wird ein formalisiertes Verfahren zur vergleichenden Bewertung und Prioritätensetzung von Rüstungsallastverdachtsflächen vorgestellt. Das Verfahren baut auf dem vom Land Baden-Württemberg für die Altlastenbearbeitung entwickelten Bewertungsansatz (BWBV) auf, wobei mit dem Ziel einer einheitlichen und nachvollziehbaren Bewertung ein neuer Ansatz zur Risikoeinstufung der relevanten Sachverhalte entwickelt wurde. Im Sinne des BWBV ist das Verfahren für die Beweismniveaus BN 1 (Historische Erkundung) und BN 2 (Orientierende Erkundung) konzipiert. Das Verfahren liefert eine Rangfolge der Gefährdungspotentiale untersuchter Rüstungsallastverdachtsflächen. Es läßt sich weiterhin der erforderliche Handlungsbedarf ableiten.

## 1. Einführung

Rüstungsallasten sind Altablagerungen und Grundstücke stillgelegter Anlagen und Nebeneinrichtungen der Rüstungsindustrie, von denen aufgrund des unsachgemäßen Umganges vor allem mit Explosiv- und Kampfstoffen einschließlich der Vor- und Zwischenprodukte bei der Herstellung und Verarbeitung und der unsachgemäßen Entsorgung von Produktionsrückständen, aber auch der Produkte selbst Gefahren für die Umwelt ausgehen.

Die Vielzahl der zu untersuchenden Standorte zwingt zu einer formalisierten Vorgehensweise bei der Gefährdungsabschätzung, über die durch eine vergleichende Bewertung eine Rangfolge der Verdachtsflächen aufgrund des Gefährdungspotentials bzw. die Dringlichkeit weiterführender Einzelstandortuntersuchungen ermittelt wird.

Das vorliegende Bewertungsmodell zur vergleichenden Bewertung und Prioritätensetzung der Gefährdungspotentiale von Rüstungsallastverdachtsflächen erlaubt über festgelegte Verfahrensschritte auf der Grundlage von Mindestdatensätzen eine einheitliche Bearbeitung der Aufgabenstellung. Es wurde im Rahmen des Programms zur Bearbeitung der Gefährdungsabschätzung von Rüstungsallasten des Landes Niedersachsen im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums am Institut für wassergefährdende Stoffe an der TU Berlin (IWS) entwickelt [IWS-93].

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Altlastenbewertung in Niedersachsen baut das Verfahren auf dem vom Land Baden-Württemberg für die Altlastenbearbeitung entwickelten Bewertungsmodell (BWBV)

[BWBV-88] auf. Das Gefährdungspotential einer Verdachtsfläche und der Handlungsbedarf ergeben sich hierbei aus dem maßgeblichen Risiko, das aus der Stoffgefährlichkeit und der Bewertung der örtlichen Verhältnisse über die Verfahrensschritte Schadstoffaustrag aus der Altlast, Schadstoffeintrag in das Schutzgut, Schadstofftransport im Schutzgut und der Bedeutung des Schutzgutes ermittelt wird.

Da es sich bei Rüstungsallasten i. d. R. um Altstandorte handelt, mußte das BWBV, das primär auf Altablagerungen abgestellt ist, modifiziert werden. Das betrifft insbesondere die Ermittlung der Stoffgefährlichkeit, die im BWBV über das Kriterium „Ablagerbarkeit“ definiert ist, und die Risikofaktoren der örtlichen Verhältnisse und der Bedeutung des Schutzgutes. Für eine einheitliche und nachvollziehbare Bewertung wurde ein neuer Ansatz zur Risikoeinstufung der Sachverhalte eingeführt. Die Risikoabschätzung erfolgt dabei nicht mehr auf der Grundlage der Vergleichslage "Hausmülldeponie n. d. S. d. T."

Im Sinne des BWBV ist das Verfahren für die Bearbeitung des Beweismniveaus 1 (Historische Erkundung) und des Beweismniveaus 2 (Orientierende Erkundung) konzipiert. Für eine leichte Handhabbarkeit des Verfahrens war ein pragmatischer Ansatz gefordert, der relativ leicht zu beschaffende Daten und Informationen verwendet. Dabei werden konkrete Informationen zur Belastungssituation durch Meßwerte und chemisch-physikalische Analysen, wie sie bei Beweismniveau 2 vorliegen, in die Bewertung einbezogen.

## 2. Verfahrensprinzip

Die Gefährdungsabschätzung erfolgt getrennt für die Umweltkompartimente

- Grundwasser,
  - Oberflächengewässer,
  - Boden,
  - Luft
- über eine Bewertung
- der Stoffgefährlichkeit,
  - des tatsächlichen Risikos,
  - des maßgeblichen Risikos.

Ausgehend von der Stoffgefährlichkeit wird abgeschätzt, inwieweit sich die örtlichen Verhältnisse hinsichtlich der Einzelrisiken Schadstoffaustrag, -eintrag und -transport auf das Gefährdungspotential auswirken. Hieraus ergibt sich das tatsächliche Risiko. Das

maßgebliche Risiko wird durch Wichtung des tatsächlichen Risikos entsprechend der Bedeutung des einzelnen Kompartimentes für das betrachtete Schutzgut unter Berücksichtigung der aktuellen Immissionssituation der relevanten Umweltbereiche erhalten. Der Einfluß der einzelnen Sachverhalte auf das Gefährdungspotential wird jeweils in Multiplikatoren, den sog. m-Werten ausgedrückt, über die die Einzelrisiken verknüpft und kompartiment- und schutzgutabhängig zu einer Bewertungszahl für die Verdachtsfläche zusammengefaßt werden. Sie stellt ein Maß für das jeweilige Gefährdungspotential dar, über das durch den Vergleich mit anderen Flächen eine Rangbildung und die Ableitung des erforderlichen Handlungsbedarfes möglich ist.

### 3. Bewertungskonzeption

#### 3.1 Stoffgefährlichkeit

Anders als beim BWBY, bei dem die Ablagerbarkeit von Abfällen bewertet wird, ist die Stoffgefährlichkeit hier auf Einzelstoffe bezogen. Dabei werden ausschließlich toxikologische Eigenschaften der Stoffe berücksichtigt, wobei unterschieden wird zwischen der humantoxikologischen und ökotoxikologischen Bewertung. Maßgeblich ist jeweils die Toxizität, die für das betrachtete Schutzgut relevant ist.

#### 3.2 Tatsächliches Risiko - maßgebliches Risiko

Zur Ermittlung des tatsächlichen Risikos ist der Einfluß der örtlichen Verhältnisse auf die Schadstoffmenge in den Transferpfaden und die Exposition der Schutzgüter zu bewerten.

Das maßgebliche Risiko ergibt sich ausgehend von der Stoffgefährlichkeit über vier Verfahrensschritte. Die Bewertung jedes Verfahrensschrittes liefert eine Risikozahl für den jeweiligen rn-Wert, über den der Anteil des Verfahrensschrittes am Gefährdungspotential quantifiziert wird. Die Größe der Risikozahl ist dabei abhängig von den spezifischen Merkmalsausprägungen der Sachverhalte.

Entsprechend dem BWBV werden im Einzelnen berücksichtigt:

1. Im ersten Verfahrensschritt wird berücksichtigt, wieviel von dem Schadstoff den Gefahrenherd verläßt, d. h. wie groß der Austrag ist. Die Auswirkungen dieser Einflüsse werden im Risikofaktor mI erfaßt.
2. Es wird einbezogen, wieviel von dem ausgetragenen Schadstoff beim betrachteten Umweltkompartiment ankommt, d. h. wie groß der Eintrag ist. Dabei ist von Bedeutung, wie sich der Schadstoff nach Art und Menge auf dem Weg zum Schutzgut verändert. Die Auswirkungen dieser Einflüsse werden im Risikofaktor mn erfaßt.
3. Es wird berücksichtigt, wie sich Art und Menge des Schadstoffes beim Transport im betrachteten Umweltkompartiment verändern. Die Auswirkungen dieser Einflüsse werden im Risikofaktor mm erfaßt.
4. Es wird die Empfindlichkeit des Schutzgutes gegen

über den eingetragenen Schadstoffen' und die Schutzwürdigkeit der Nutzung berücksichtigt. Dabei wird die Immissionssituation des betrachteten Umweltkompartiments in die Bewertung einbezogen. Die Bewertung dieser Sachverhalte wird im Risikofaktor mIV zusammengefaßt.

ro	(Stoffgefährlichkeit)
n = mr x ro	(Risiko des Schadstoffaustrages)
ru = mu x n	(Risiko des Schadstoffeintrages)
fIU = MIIII x ru	(Risiko des Schadstofftransportes)
nv = mrvx nu	(maßgebliches Risiko)

Abbildung 1  
Verfahrensschritte

Die schrittweise Anpassung erfolgt damit nach (Abb.1):

- dem unter Berücksichtigung von Toxizität und Schadstoffrückhalt! -elimination ermittelten Schadstoffaustrag fl,
- dem durch Schadstoffrückhalt! -elimination beeinflussten Schadstoffaustrag beim Schadstoffeintrag rn,
- dem durch Schadstoffrückhalt! -elimination beeinflussten Schadstoffeintrag beim Schadstofftransport fIn (tatsächliches Risiko),
- dem entsprechend der Bedeutung des Schutzgutes gewichteten tatsächlichen Risiko fIV (maßgebliches Risiko).

### 4. Bewertungsansatz zur Ermittlung der Risikofaktoren

Die bewertungsrelevanten Sachverhalte

- Stoffgefährlichkeit ro
- Schadstoffaustrag mI
- Schadstoffeintrag mn
- Schadstofftransport mm
- Bedeutung des Schutzgutes mIV

werden durch Merkmale beschrieben, die von einfacher oder komplexer Natur sein können. Komplexe Merkmale gliedern sich wieder in Untermerkmale. Die Merkmale und Untermerkmale werden jeweils durch einen Deskriptor oder mehrere Deskriptoren ausgedrückt, über deren zahlenmäßige Einstufungen der jeweilige Sachverhalt bewertet wird.

In der folgenden Darstellung ist beispielhaft für die humantoxikologische Bewertung der Stoffgefährlichkeit die Zuordnung von Merkmalen und Deskriptoren gezeigt.

Sachverhalt	Merkmale	Deskriptoren
Stoffgefährlichkeit	a) akute Toxizität	LD <sub>50</sub> oder LC <sub>50</sub>
	b) chronische Toxizität	NOAEL
	c) Kanzerogenität	kanzerogenes Potential
	d) <u>Mutagenität</u>	<u>mutagenes</u> Potential

Die Bewertung der Risiken beruht auf einem mehrdimensionalen Merkmalsvergleich zur Klassifizierung der bewertungsrelevanten Sachverhalte (ro-, rn-Werte).

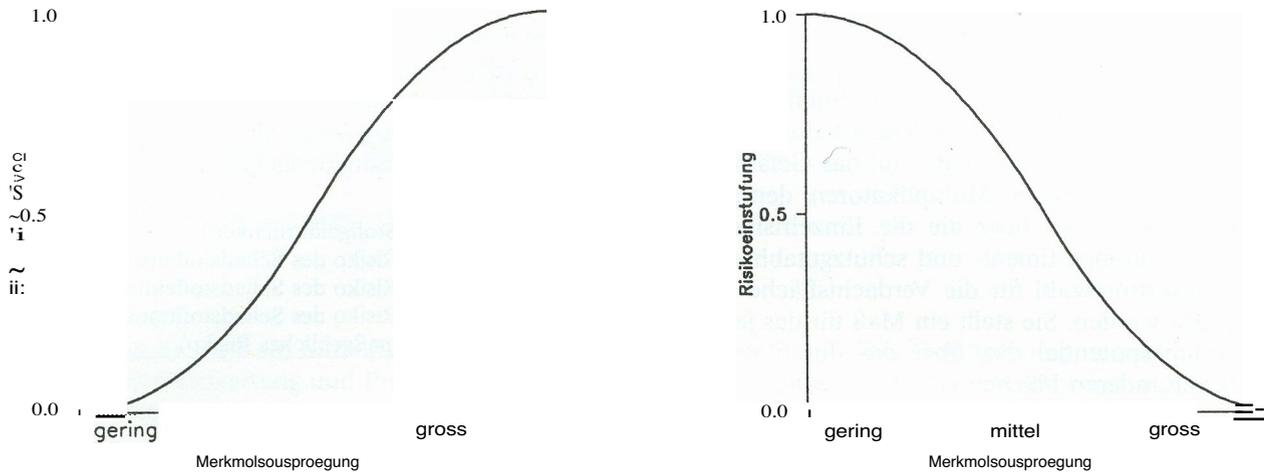


Abbildung 2 Wahrheitsfunktionen zu den Regeln: das Risiko ist groß, wenn die Merkmalsausprägung groß ist (a) bzw. gering ist (b)

Dabei werden die Merkmale als mehrdimensionale Eigenschaften der Sachverhalte zwischen den Grenzen maximaler und minimaler Ausprägung eingeordnet und durch numerische Werte beschrieben [GSF-86]. Es wird für jeden Sachverhalt in Abhängigkeit des jeweiligen Beweinsniveaus ein festgelegter Datensatz bewertet. per Datensatz setzt sich aus Merkmalen des jeweiligen Sachverhaltes zusammen, die über die Deskriptoren quantifiziert werden. Für die Merkmale und Deskriptoren werden Regeln erstellt, die den speziellen Sachverhalt "Ein hohes Risiko liegt vor, wenn ..." wiedergeben.

Die Verknüpfung der Deskriptoren setzt ihre Vergleichbarkeit voraus. Da die Deskriptoren i.d.R. unterschiedliche Effekte beschreiben und auf unterschiedlichen Skalen gemessen werden, müssen sie derart transformiert werden, daß gleichwertige bzw. vergleichbare Skalen entstehen (Normierung). Die Normierung erfolgt durch eine Beschreibung der Deskriptoren in Form sog. Wahrheitsfunktionen, über die sie entsprechend der Ausprägung der Merkmale, und zwar nach den Kriterien "gering", "mittel" und "hoch", unter Berücksichtigung der zugehörigen Regeln zwischen den Grenzen „0" (minimaler Wert) = Regel nicht erfüllt und „1" (maximaler Wert) = Regel vollständig erfüllt zahlenmäßig eingestuft werden [GSF-86, KOCH-88]. Die Einstufung „0" steht damit für ein minimales Risiko, eine „0,5" bedeutet ein mittleres Risiko und mit „1" wird das maximale Risiko angezeigt.

In der Abbildung 2 sind zwei mögliche Verläufe derartiger Wahrheitsfunktionen beispielhaft dargestellt. Die Abbildung 2a gilt für den Sachverhalt "das Risiko ist groß, wenn die Merkmalsausprägung groß ist". Abbildung 2b zeigt den Verlauf der Wahrheitsfunktion für

einen Sachverhalt, der ein großes Risiko bei einer geringen Merkmalsausprägung aufweist.

Der Verlauf der Wahrheitsfunktion gemäß Abbildung 2b wäre beispielsweise für die LD<sub>50</sub> (letale Dosis) zur Bewertung der akuten Toxizität heranzuziehen. Die Regel besagt hier, daß die akute Toxizität groß ist, wenn die LD<sub>50</sub> klein ist. Die Wahrheitsfunktion in Abbildung 2a gibt den Sachverhalt z.B. für die Bewertung der Schadstoffmenge wieder, wonach einer großen Stoffmenge ein hohes Risiko zugeordnet wird.

Im vorliegenden Bewertungsverfahren werden die Merkmalsausprägungen der Sachverhalte in Klassen eingeteilt. Die Wahrheitsfunktionen stellen damit Treppenkurven dar. Hierbei wird vereinbart, daß die Schnittstelle der Klassen jeweils als obere Grenze in die Klasse mit der geringeren Merkmalsausprägung eingeschlossen ist. In Abbildung 3 ist beispielhaft der Verlauf der Wahrheitsfunktion für die Risikoauswirkung des Schadstoffvolumens auf das Grundwasser dargestellt, nach der ein großes Schadstoffvolumen ein hohes Risiko darstellt.

Gegenüber dem BWBV wird durch die Definition der relevanten Einflußgrößen als getrennte, von einander unabhängige Merkmale eine bessere Transparenz der

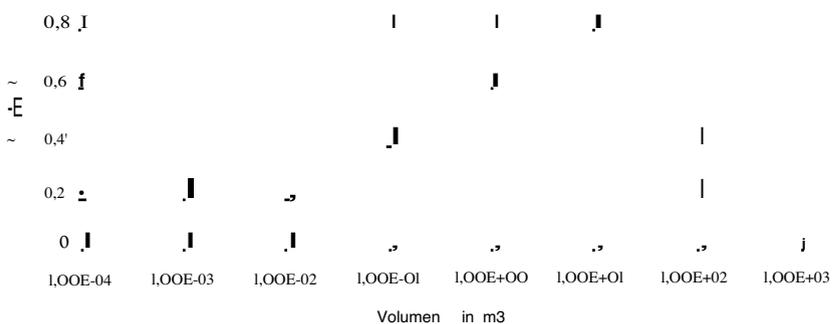


Abbildung 3 Wahrheitsfunktion für das Schadstoffvolumen

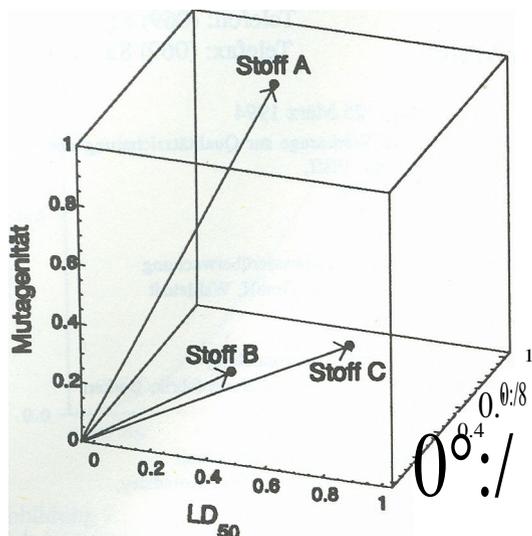


Abbildung 4  
Vektorielle Darstellung des Sachverhaltes "Stoffgefährlichkeit" dreier Stoffe für drei Merkmale verschiedener Ausprägungen

Risikoeinstufung erreicht, da erkennbar und nachvollziehbar ist, welchen Anteil einzelne Merkmale am Gefährdungspotential haben.

Die Festlegung von Werten für die Quantifizierung der Merkmale erfolgt auf der Grundlage von Konventionen, Experten- und Erfahrungswissen. Zur Quantifizierung der akuten Toxizität wäre beispielsweise die Einstufung gemäß EG-Richtlinie L 180 eine mögliche Vorgehensweise.

Zur Verknüpfung werden die Einzelmerkmale in einem Vektor zusammengefasst, der auf einen bestimmten Punkt im mehrdimensionalen Raum zeigt. Bei der Auswahl von z. B. drei Merkmalen läßt sich der Vektor im dreidimensionalen Raum abbilden. In der Abbildung 4 ist beispielhaft die Stoffgefährlichkeit dreier Stoffe durch die drei Merkmale LD<sub>50</sub> (akute Toxizität), Kanzerogenität und Mutagenität wiedergegeben. Das maximale Risiko liegt bei einer Einstufung des LD<sub>50</sub> sowie der Kanzerogenität und Mutagenität mit „1“ im Punkt (1,1,1). Im Beispiel der Abbildung 4 sind die folgenden Einstufungen dargestellt:

Stoff	LD <sub>50</sub>	Kanzerogenität	Mutagenität
A	0,4	0,6	1,0
B	0,1	0,2	0,2
C	0,7	0,5	0,2

Als Maß für das Gefährdungspotential eines Sachverhaltes wird hier ein normierter Abstand des Punktes zum Nullpunkt herangezogen. In Anlehnung an eine Vorgehensweise, wie sie im Zusammenhang mit dem Chemikaliengesetz zur vergleichenden Bewertung von Umweltchemikalien entwickelt wurde, wird die euklidische Distanz verwendet [GSF-86]:

Sachverhalt:  $e = \text{SQRT} (1: k_j^2/n)$

- mit:
- e = euklidische Distanz
- SQRT = Quadratwurzel
- k<sub>j</sub> = bewertetes Merkmal
- n = Anzahl Merkmale

Die Aggregation der Einzeleinflüsse eines Sachverhaltes zu einer Maßzahl über die euklidische Distanz bedeutet eine additive und gleichwertige Berücksichtigung aller maßgeblichen Merkmale. Durch die Quadrierung der Merkmale gehen hohe Merkmalsausprägungen allerdings relativ stärker in die Bewertung ein als geringe Einstufungen.

Aufgrund der Normierung der Deskriptoren über die Wahrheitsfunktionen zwischen den Werten „0“ und „1“ ergibt sich die euklidische Distanz ebenfalls in den Grenzen „0“ und „1“. Die Interpretation der Maßzahl "e" ist daher entsprechend der Bedeutung der Einstufung der Merkmale vorzunehmen:

- e = 0,0: minimales Risiko
- e = 0,5: mittleres Risiko
- e = 1,0: maximales Risiko

Für die im oben aufgeführten Beispiel dargestellten Stoffe ergibt sich die Stoffgefährlichkeit für den Stoff A zu e = 0,7118 (relativ hohes Risiko), für den Stoff B zu e = 0,1732 (relativ geringes Risiko) und für den Stoff C zu e = 0,5099 (mittleres Risiko).

Bei komplexen Merkmalen, die sich in Untermerkmale und Deskriptoren weiter untergliedern, wird eine gesonderte Aggregation auf niedrigerer Stufe durchgeführt, deren Ergebnis als Ausprägung des Merkmals in die übergeordnete Bewertung eingeht.

Handhabung fehlender Werte für Deskriptoren  
Für Fehlwerte sind Werte im Merkmalsvektor vorzugeben. Unter Berücksichtigung des "worstcase" sind Fehlwerte für Deskriptoren entsprechend der Regel durch eine „1“ zu ersetzen. In begründeten Fällen können hiervon abweichende Einstufungen innerhalb des gültigen Wertebereiches vorgenommen werden.

5. Anpassung der Bewertungsergebnisse an die Skalen des BWBV

Im BWBV geht die Stoffgefährlichkeit mit dem 3fachen Gewicht gegenüber den örtlichen Risiken in die Bewertung ein. Die Maßstabsskala der Stoffgefährlichkeit ist in den Grenzen von Obis 6, die der örtlichen Risiken zwischen 1 und 2 definiert. Dabei wird von folgender Zuordnung des Risikos ausgegangen:

linguistisch	m-Werte	ro-Wert
Risiko gering	0,1-0,4	0-2
Risiko kaum wahrscheinlich	0,4-0,8	
Risiko vielleicht vorhanden	0,8-1,2	2-4
Risiko wahrscheinlich	1,2-1,6	
Risiko sicher	1,6-2,0	4-6

Die Umrechnung der Risikoeinstufung des vorliegenden Bewertungsansatzes auf die entsprechenden Bewertungsskalen des BWBV erfolgt durch lineare Abbildung des Wertebereiches „0“ bis „1“ auf den jeweiligen Wertebereich des BWBV. Die Rechenvorschriften hierfür lauten damit:

- Stoffgefährlichkeit:  $r_o$  (BWBV) =  $r_o \times 6$
- Örtliche Verhältnisse:  $m$  (BWBV) =  $m \times 2$

### 6. Maßgebliches Gesamtrisiko einer Verdachtsfläche

Die Bewertung wird zunächst einzelstoffbezogen durchgeführt. Zur Ermittlung einer Gesamtbewertungszahl für alle betrachteten Schadstoffe auf einer Verdachtsfläche ist eine Aggregation der maßgeblichen Einzelrisiken  $r_{Vi}$  vorzunehmen. Hierfür sind im Rahmen der noch ausstehenden Erprobungsphase des Modells verschiedene Ansätze auf ihre Eignung zu prüfen, z. B.

1. Summation und Wichtung der maßgeblichen Einzelrisiken entsprechend den Stoffvolumenanteilen,  
 $R_v = (1/V_{ges}) \cdot \sum (f_{Vi} \cdot V_i)$
2. Maximalwert der maßgeblichen Einzelrisiken  
 $R_v = \text{MAX}(f_{Vi})$
3. euklidische Distanz der höchsten maßgeblichen Einzelrisiken  
 $R_v = e(nv, i)$

mit:

$R_v$  = maßgebliches Gesamtrisiko einer Verdachtsfläche

$V_{ges}$  = Schadstoffvolumen aller betrachteten Schadstoffe einer Verdachtsfläche

$r_{Vi}$  = maßgebliches Einzelrisiko eines Schadstoffes

$V_i$  = Stoffvolumen eines Schadstoffes

### 7. Handlungsbedarf

Das maßgebliche Risiko  $R_v$  einer Verdachtsfläche bestimmt das zur Behandlung der Verdachtsfläche gebotene Vorgehen. Der Handlungsbedarf ist dabei abhängig vom Kenntnisstand.

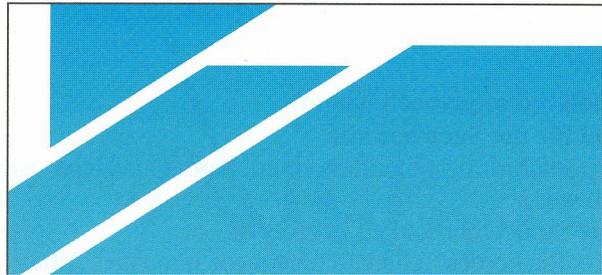
Als Handlungsbedarf bei Beweisniveau BN 1 sind zwei Vorgehensweisen möglich:

- Ausscheiden und Archivieren
- Orientierende bzw. indikative Erkundung

Das Beweisniveau BN 2 baut auf die orientierende Erkundung auf. Als Handlungsbedarf bieten sich drei Vorgehensweisen an:

- Ausscheiden und Archivieren
- Belassen zur Wiedervorlage
- Nähere bzw. Gesamt-Erkundung (Detailerkundung)

Für die einzelnen Erkundungsstufen stellt die Größe des maßgeblichen Risikos ein Maß für die Dringlichkeit der weiterführenden Untersuchungen dar. Die Zuordnung von Risikoeinstufung und Handlungsbedarf muß im Rahmen der Modellerprobung festgelegt werden.



@O@~@~O

@CW®wG@~

[Q)CW~@UD@?O

~  
Gesellschaft für Sediment- und Wasseranalytik m.b.H.  
Kruppstraße 82 (ETEC)  
45145 ESSEN  
Tel.: 0201/8920-5, Fax: 0201/235997

IA:Alij~~  
Institut für Schadstoffanalyse und Umweltberatung GmbH  
Gärmarsche Landstraße 81  
99974 MÜHLHAUSEN  
Tel.: 03601/440751, Fax: 03601/440752

### 8. Gefährdungsabschätzung

Regel für die Sachverhalte:

Das Gefährdungspotential einer Verdachtsfläche ist groß, wenn

- 1) die Stoffgefährlichkeit  $r_0$  groß ist,
- 2) das Risiko des Schadstoffaustrages  $r_1$  aus der Altlast groß ist,
- 3) das Risiko des Schadstoffeintrages  $r_n$  in ein Umweltkompartiment groß ist,
- 4) das Risiko des Schadstofftransportes  $r_m$  im Umweltkompartiment groß ist,
- 5) das Risiko einer Nutzungsbeeinträchtigung (maßgebliches Risiko  $r_{IV}$ ) groß ist.

Im folgenden wird eine ausführliche Darstellung der bewertungsrelevanten Merkmale beispielhaft für das Kompartiment Grundwasser gegeben. Die Bewertung der Sachverhalte für die Kompartimente Oberflächen-gewässer, Boden und Luft erfolgt in analoger Weise [IWS-93].

#### 8.1 Stoffgefährlichkeit $r_0$

Für das Kompartiment Grundwasser kann nur eine humantoxikologische Bewertung der Stoffgefährlichkeit vorgenommen werden. Zur Beschreibung der öko-toxikologischen Zusammenhänge im Grundwasser sind z.zt. keine ausreichenden Informationen vorhanden.

Die Ableitung der Stoffgefährlichkeit erfolgt aufgrund von humantoxikologisch relevanten Daten. Der Mindestdatensatz zur einheitlichen Festlegung des  $r_0$ -Wertes umfaßt die Bewertungsmerkmale bzw. Deskriptoren:

Merkmal	Deskriptor
1) akute Toxizität	- LD <sub>50</sub> , Ratte oral oder LD <sub>50</sub> , dermal oder LC <sub>50</sub> , inhalativ
2) chronische Toxizität	- NOAEL (Berücksichtigung Z.Zt. nicht möglich)
3) Kanzerogenität	- kanzerogenes Potential
4) <u>Mutagenität</u>	- mutagenes Potential

Eine Bewertung der chronischen Toxizität kann z.Zt. wegen einer fehlenden Zuordnung des NOAEL (No observable adverse effect level) nicht erfolgen. Die Einstufung der Toxizitätswerte für die akute Toxizität wird entsprechend der EG-Richtlinie L 180 [EG-91] vorgenommen. Die Einstufung des kanzerogenen Potentials eines Stoffes erfolgt in Analogie zur Vorgehensweise bei der Ableitung der MAK-Werte. Die Bewertung des mutagenen Potentials wird aus Versuchsergebnissen z.B. im Ames-Test, UDS-Test und SCE-Test abgeleitet.

Tabelle 1 zeigt die auf dieser Bewertungsgrundlage ermittelte Einstufung der Stoffgefährlichkeit für ausgewählte rüstungsalblastenspezifische Stoffe.

#### 8.2 Risiko des Schadstoffaustrages $r_1$

Die Größe des Schadstoffaustrages ist maßgeblich abhängig von

Tabelle 1  
Stoffgefährlichkeit ausgewählter rüstungsalblastenspezifischer Stoffe

Stoff	$r_0$	$r_0$ (BWBV)
2,4,6-Trinitrotoluol	0,74	4,4
2,4-Dinitrotoluol	0,77	4,6
2,6-Dinitrotoluol	0,84	5,0
2-Nitrotoluol	0,28	1,7
3-Nitrotoluol	0,63*)	3,8
4-Nitrotoluol	0,59*)	3,5
2-Amino-4,6 Dinitrotoluol	1,0**)	6,0
4-Amino-2,6 Dinitrotoluol	0,89**)	5,3
2-Amino-4 Nitrotoluol	0,84	5,0
1,3-Dinitrobenzol	0,88*)	5,3
Hexogen (RDX)	0,54	3,3
Diphenylchlorarsin	0,89	5,3
anorg. <u>Arsenverbindungen</u>	0,97	5,8

\*) ein Merkmal n.h.

\*\* zwei Merkmale n.h.

- der Größe und Lage des Schadstoffvorkommens,
- dem Untergrundaufbau,
- den Stoffeigenschaften, die zum Austrag beitragen,
- den klimatischen Verhältnissen, die zur Sickerwasserbildung beitragen.

Als maßgebliche Einflußgrößen werden die folgenden Bewertungsmerkmale bzw. Deskriptoren dem Mindestdatensatz zur Ermittlung des  $r_0$ -Wertes zugrunde gelegt:

Merkmal	Deskriptor
1) Größe des Schadstoffvorkommens	- Schadstoffvolumen
2) Lage zum Grundwasser	- %-Volumenanteil im Grundwasser bzw. Grundwasserwechselbereich
3) Sickerwassermenge	- Niederschlag - Oberflächenbeschaffenheit - Größe der kontaminierten Fläche
4) Barriere unterhalb des Schadstoffvorkommens	- Verhältnis der Durchlässigkeiten unterhalb des Schadstoffvorkommens $k_f^2$ zu im Schadstoffvorkommen $k_f$
5) Mobilität	- Wasserlöslichkeit - kinematische Viskosität (bei Flüssigkeiten) - Adsorption <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kationenaustauschkapazität KAK</li> <li>• Koc-Verteilungskoeffizient, Humusgehalt</li> </ul>
6) Schadstoffelimination	- Sickergeschwindigkeit (konvekt. Rückhalt) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchlässigkeit <math>k_f</math></li> </ul> - Schadstofftransformation (z.Zt. n. berücks.)

#### 8.3 Risiko des Schadstoffeintrages $r_n$

Die Größe des Schadstoffeintrages ist maßgeblich abhängig von

- der Lage des Schadstoffvorkommens zum Grundwasser,
- dem Untergrundaufbau und der Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone,
- den Stoffeigenschaften, die zum Eintrag beitragen.

Dem minimalen Datensatz des mn-Wertes werden die folgenden Merkmale bzw. Deskriptoren zugrunde gelegt:

Merkmal	Deskriptor
1) Sickerstrecke in der ungesättigten Zone	- Länge des Sickerweges
2) Mobilität	~ Sickergeschwindigkeit • Durchlässigkeit kf

Eliminationsprozesse durch Stofftransformation (Abbau) in der ungesättigten Zone werden nicht berücksichtigt, da die Auswirkungen hier gegenüber den entsprechenden Vorgängen beim Transport in der gesättigten Zone von untergeordneter Bedeutung sind. Im Fall, daß das Schadstoffvorkommen im Grundwasser bzw. Grundwasserwechselbereich liegt, wird das Risiko des Schadstoffeintrages ohne weitere Bewertung mit  $mn = 1,0$  bewertet.

#### 8.4 Risiko des Schadstofftransportes $r_{III}$

Die Transportvorgänge im Grundwasser werden durch eine Vielzahl von Mechanismen wie Konvektion, Dispersion, Diffusion, Sickerung und Reaktionsvorgänge (Abbau, Sorption) beeinflusst, die wegen ihrer Komplexität und der i.d.R. nicht vorhandenen Informationen nicht sämtlich erfaßt werden können. Der Mindestdatensatz für den mnWert wird hier auf den konvektiven Transport und Reaktionsvorgänge beschränkt.

Merkmal	Deskriptor
1) Transportgeschwindigkeit	- Abstandsgeschwindigkeit - Adsorption • Kationenaustauschkapazität KAK • KOC-Verteilungskoeffizient, Humusgehalt
2) Schadstoffelimination	- Schadstofftransformation (z.Zt. n. berücks.)

#### 8.5 Bedeutung des Schutzgutes - maßgebliches Risiko $r_{IV}$

Die Bedeutung eines Grundwasservorkommens hängt neben allgemeinen ökologischen Anforderungen in erster Linie von

- der Art derzeitiger oder künftiger Nutzungen,
- den geforderten Wasserqualitäten,
- den Beeinträchtigungsmöglichkeiten dieser „Nutzungen“.

ab. Bei der Bewertung der Bedeutung des Schutzgutes wird vorrangig die Schutzwürdigkeit einer Nutzung durch den Menschen betrachtet. Als maßgebliche Kriterien werden die folgenden Merkmale bzw. Deskrip-



Ingenieurgesellschaft  
Prof. Czurda und Partner mbH  
Badener Straße 5  
76227 Karlsruhe  
Tel. (0721)41449  
Fax (0721) 41547

Abfallwirtschaft • Deponien • Altlasten • Geotechnik  
Begutachtung. Erkundung • Planung. Überwachung

Karlsruhe • Ludwigsburg • Leipzig • Kaiserslautern • Kempten



ABFALLWIRTSCHAFT  
KUSTENSCHUTZ  
UMWELTECHNIK  
UMWELTPLANUNG

HYDROGEOLOGIE-  
ALTLASTEN  
SANIERUNG  
PROJEKTMANAGEMENT

### PROF. MULL & PARTNER GMBH

Osteriede 5 . 30827 Garbsen  
Telefon (05131) 4694-0 · Telefax (05131) 46 94-90

39114 Magdeburg . Berliner Chaussee 176  
41460 Neuss . Breite Straße 10  
42697 Solingen. Broßhauser Straße 27  
04910 Elsterwerda· Saathainer Straße 5  
09111 Chemnitz . An der Markthalle 13

## • WESTAB O

WESTAB Engineering GmbH  
Niederlassung Gommern

Ihr Partner für Dienstleistungen  
im Umweltschutz

- Altlasten und Rüstungsaltlasten
- Erfassung und Erkundung
- Gefährdungsabschätzung
- Sanierungsuntersuchung
- Sanierungsplanung
- Sanierungsüberwachung

39245 Gommern  
Magdeburger Str. 26 a

Tel.: (039200) 69-0  
Fax: (03 92 00) 6 92 99

Merkmal/Deskriptor	Ausprägung	Einstufung		
		Ebene 2*)	Ebene 1*)	Ebene 0*)
- Schadstoffvolumen	m <sup>3</sup>	> 30	> 0,6	kn = 0,6
- Lage zum Grundwasser	%	>0	> 0,5	k12= 0,5
- Sickerwassermenge				k13= 0,62
• Niederschlag	mm/a	> 700	> 0,5	
• Oberfläche		> Wiese	> 0,5	
• Plächengröße	m <sup>2</sup>	> 10.000	> 0,8	
- Barriere unterhalb des Schadstoffvork.	kf2lkfl_	> 1,0	> 1,0	k14= 1,0
- Mobilität	TNT			k15= 0,84
• Wasserlöslichkeit	mg/l	> 140	> 0,8	
• Adsorption (anorg.)	KAK		> ...	
oder	mmollkg	> .....	> ...	
• Adsorption (org.)			> 0,7	
Humusgehalt	%	> 2-5	> 0,9	
Koc		> ca. 1000	> 0,4	
• Durchlässigkeit kf	m/s	> 10-4	> 1,0	
				mI = 0,73

\*) Ebene 1 = Aggregation der Ebene 2; Ebene 0 = Aggregation der Ebene 1

$$mI = \sqrt[3]{(k11 \cdot k12 + k13 \cdot k14 \cdot k15) / S}$$

Abbildung 5

Bewertungsbogen Schadstoffaustrag mI (Kompartiment Grundwasser)

toren dem Mindestdatensatz für den mIVWert zugrunde gelegt:

Merkmal	Deskriptor
1) Belastung des Grundwassers (Beweisniveau 2)	- gemessene Schadstoffkonzentration im Grundwasser
2) Grundwassernutzung	- Lebensmittel - Brauchwasser - keine Nutzung
3) Schadenseintrittszeit	- Restfließzeit bis zur Nutzung
4) Schadensausmaß	- Verdünnungsmöglichkeiten • Ergiebigkeit des Grundwasserleiters - gemessene Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser an der Nutzung

Der Bewertung der Grundwasserbelastung wird der max. Analysenmeßwert aus dem Bereich der kontaminierten Fläche zugrunde gelegt. Die Einstufung erfolgt prinzipiell unter Verwendung schutzgutbezogener Prüfwerte. Liegen derartige Prüfwerte nicht vor, so wird behelfsweise die Einstufung der Meßwerte anhand der Nachweisgrenze für die Stoffe und deren Vielfachem vorgeschlagen. In analoger Weise wird bei der Bewertung der Belastung an der Nutzung verfahren.

Bei der Nutzung des Grundwassers zu Trink- bzw. Brauchwasserzwecken wird berücksichtigt, ob alternative Versorgungsmöglichkeiten bestehen und/ oder eine Aufbereitungsanlage für den betreffenden Schadstoff vorhanden ist. Nicht genutzte Grundwasservorkommen werden hinsichtlich ihrer Nutzungseignung unterschieden.

Die Ergiebigkeit des Grundwasservorkommens zur Charakterisierung der Verdünnungsmöglichkeiten wird

über die Förderleistung von im Grundwasserleiter verfilterter Entnahmebrunnen bewertet.

### 9. Modellanwendung

Als Testfall für das Modell wird eine hypothetische Verdachtsfläche betrachtet, die durch die folgende Situation charakterisiert ist:

Stoffcharakteristik:

- Stoff: TNT (2,4,6-Trinitrotoluol)
- Größe des Schadstoffvorkommens: 50 kg

Standortcharakteristik:

- Größe der kontaminierten Fläche: 10.000 m<sup>2</sup>
- Oberflächengestaltung: Wiese
- Untergrundverhältnisse: gut durchlässiger Untergrund, geringes Adsorptionsvermögen
- Flurabstand: 5 m
- Abstandsgeschwindigkeit: < 0,1 m/d

Nutzungscharakteristik:

- Art der Nutzung: Trinkwasser, Schutzzone III
  - Abstand zur Nutzung: 800 m
  - Belastung an der Nutzung: Stoff nicht nachweisbar
- Als Vergleichsvarianten werden vier weitere Fälle betrachtet, die sich jeweils durch ein Merkmal vom Ausgangsbeispiel (Beispiel 1) unterscheiden.
- Beispiel 2: Schadstoffvorkommen liegt im Grundwasser
  - Beispiel 3: ungesättigter Bereich sehr groß
  - Beispiel 4: Hexogen (RDX)
  - Beispiel 5: Fläche liegt in einem Vorsorgegebiet für die Trinkwassergewinnung

Die Gefährdungsabschätzung der Beispiele liefert die in Tabelle 2 dargestellten Einstufungen.

Tabelle 2  
Ergebnis der Gefährdungsabschätzung der Testbeispiele

Beispiel	Änderung gegenüber (1)	rIV	Rang
(1)		10,88	2
(2)	Lageim GW (mI, mu)	15,00	1
(3)	ungesättigter Bereich sehr groß (mn)	9,50	3
(4)	RDX anstelle TNT (ro, mI, mm)	8,53	5
<b>III</b>	Nutzung <u>Vorsorgegebiet</u> (mIV)	<u>8,68</u>	4

Im Ergebnis der untersuchten Fälle zeigt sich ein Maximalwert für den Fall, daß das Schadstoffvorkommen im Grundwasser liegt. Der Ausgangsfall selbst weist dagegen ein um ca. 50 % geringeres Risiko auf. Eine vergleichsweise geringe Reduzierung des Gefährdungspotentials wird bei einer großen ungesättigten Zone erhalten, was auf den verhältnismäßig geringen Einfluß des Schadstoffeintrages an der Gesamtbewertung zurückzuführen ist. Hexogen ist im Vergleich zu TNT im Hinblick auf seine Umweltgefährlichkeit geringer einzustufen. Eine Lage der Verdachtsfläche in einem Gebiet mit geringerwertiger Nutzungscharakteristik führt zu einem um ca. 20 % kleineren maßgeblichen Risiko.

In Abbildung 5 ist beispielhaft der Bewertungsablauf für den Schadstoffaustrag in einem Bewertungsbogen, wie er für alle Verfahrensschritte aufgestellt wurde, wiedergegeben. Dargestellt sind hier die Einstufungen nach Beispiel 1.

**Literatur**

[BWBV-88] *Altlasten-Handbuch, Teil I Altlastenbewertung*; Ministerium für Umwelt, Baden-Württemberg, 1988  
 [EG-91] *Richtlinie der Kommission vom 1. März 1991 zur zwölften Anpassung an den technischen Fortschritt der Richtlinie 6715481EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe (9113251EWG)*; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 180/1 vom 8. 7. 1991  
 [GSF-86] Rohleder, H.; Matthies, M.; Benz, J.; Brüggemann, R.; Münzer, B.; Trenkle, R.; Voigt, K.; Umweltmodelle und rechnergestützte Entscheidungshilfen für die vergleichende Bewertung und Prioritätensetzung bei Umweltchemikalien, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München (GSF); GSF-Bericht 42/86, München 1987  
 [IWS-93] *Niedersächsisches Umweltministerium: Gefährdungsabschätzung von Rüstungsalblasten in Niedersachsen, Modell zur vergleichenden Bewertung und Prioritätensetzung*, Institut für wassergefährdende Stoffe an der TU Berlin, 1993  
 [KOCH-92] Koch, R.; Blüml, T.; Nagel, M.: Bewertung der relativen Umweltgefährlichkeit von Chemikalien; in: UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 2(3),1990

Anschrift der Autoren:

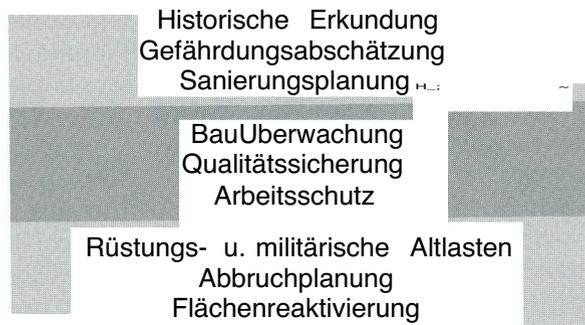
Dr.-Ing. G. Schulz-Terfloth  
 Prof. Dr.-Ing. H.-P. Lühr  
 Institut für wassergefährdende Stoffe an der TU Berlin  
 Hardenbergplatz 2  
 10623 Berlin



**JESSBERGER + PARTNER**

Beratende Ingenieure Geotechnik und Umwelttechnologie

**Kompetenz  
 Erfahrung  
 Qualität**



Prof. Dr.-Ing. JESSBERGER + PARTNER GmbH

• / Am Umweltpark 5, 44793 Bochum  
 Tel.(0234) 68775-0, Fax (0234) 68775-10

Bochum      Dortmund      Leipzig      München      Stuttgart