

- [32] Vgl. hierzu mit weiteren Hinweisen Hager, Das neue Umweltgesetz, in: NJW 1991, S. 134, 137; Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Umweltgutachten 1987 Nr. 1645; Black – Lilienfeld, Epidemiologie Proof in Toxic Tort Litigation, 1984, 52 Ford L. Rev. 732, 750 ff;
- [33] Vgl. Hager, Das neue Umweltgesetz, in: NJW 1991, S. 134, 137;
- [34] Vgl. Begründung des Gesetzentwurfs des UmweltHG, Bundestags-Drs. 11/ 7104, S. 18
- [35] Das neue Umweltgesetz, S. 134, 138; Der Fall ist abgedruckt in BGE 109 II, 304
- [36] Vgl. Feldmann, Umwelthaftung aus umweltpolitischer Sicht, in: UPR 1991, S. 45;
- [37] So sieht es Hager, Das neue Umweltrecht, in: NJW 1991, S. 134, 138 m.w.N.;
- [38] Siehe Bundestags-Drs. 11/7104, S. 18; vgl. hierzu auch Schmidt, Haftung für Umweltschäden, in DÖV 1991, S. 878, 882;
- [39] Siehe Hager, Das Neue Umweltrecht, in NJW 1991, S. 134, 139 m.w.N.; a.A. Schmidt, Haftung für Umweltschäden, in DÖV 1991, S. 878, 882 ;

- [40] Vgl. Begründung des Entwurfs des UmweltHG, Bundestags-Drs. 11/7109, S. 5, 19; s. hierzu auch Schmidt, Haftung für Umweltschäden, in DÖV, 1991, S. 878, 882;
- [41] Siehe hierzu Schmidt, Haftung für Umweltschäden, in DÖV 1991, S. 878, 882;
- [42] So Lange, Schadenersatz, 2. Aufl. 1990, §3 XII 2; BGHZ 66, 76; BGH in NJW 1979, S. 164;
- [43] BGH in NJW 1977, S. 2810; BGHZ 55, 86, 89; BGH in NJW, S. 993; Batt in NJW 1987, S. 2810
- [44] Vgl. hierzu Hager, Das neue Umweltgesetz, in: NJW 1991, S. 134, 137
- [45] Vgl. zu den ablehnenden Stellungnahmen der Versicherer vgl. die Beiträge von Nickel, in VersWirtsch 1987, S. 1170, in VersWirtsch 1988, S. 600, 601, und in VersWirtsch 1988, S. 1311
- [46] Siehe hier Kleindorfer, ZGesVersW 1987, S. 1, 13 ff
- [47] Siehe hierzu Nickel, in: VersWirtsch 1987, S. 1170; ders., in: VersWirtsch 1988, S. 600, 601, 606 ff; ders., in: Vers-Wirtsch 1988, S. 1311; Schmidt-Salzer, Versicherung, in: Handwörterbuch des Umweltrechts, Bd. II, 1988 (Hrsg. Kimmich, v. Lersner, Storm) Sp. 1047;

- [48] Siehe die Entscheidung des schweizerischen Bundesgerichts BGE 109 II 304 (zit. nach Hager, a.a.O. s. FN. 31)
- [49] Vgl. Hager, a.a.O. (s. FN. 31); Fauth, in: VersR 1969, S. 370;
- [50] Vgl. Kleindorfer, in: 2 GesVErsW 1987, S. 15;
- [51] Siehe hierzu § 4 Abs. 1 Nr. 5 der Allgemeinen Versicherungsbedingungen für die Haftpflichtversicherung. Vgl. auch BGH, in: VersR 1959, S. 174;
- [52] Siehe Nr. 1a der Besonderen Bedingungen für die erweiterte Versicherung von Umweltschäden im Rahmen der Betriebshaftpflichtversicherung, verBAV 1979, 49, in der 1984 geä. Fassung, VerBAV 1984, 441. Vgl. auch Hager, a.a.O. (FN. 31)
- [53] Vgl. Hager, a.a.O. (FN. 31) m.w.N.
- [54] Zum deutschen Pharmapool vgl. E.v. Hippel, Verbraucherschutz, 3. Aufl. 1986, S. 57 ff;
- [55] So Hager, a.a.O. (FN. 31)

Hans-Henner Sellmann  
Oberregierungsrat bei der Berliner Feuerwehr und Lehrbeauftragter an der Technischen Hochschule Berlin

# Verunreinigungen durch Schadstoffe

## Maßnahmen und Kosten der Abwehr und Beherrschung von Umweltbeeinträchtigungen in Boden und Wasser

Dipl.-Ing. Peter Kühl

### 1. Einführung

Verunreinigungen von Erdreich und (Grund-)Wasser mit Schadstoffen\* können durch Unfälle beim Umgang mit diesen Stoffen, durch Umfüll-, Tropf-, Kleckerverluste u. ä. Vorgänge sowie durch Eindringen des mit diesen Stoffen oder Zersetzungsprodukten vermischten Löschwassers bei Bränden verursacht werden oder in der Vergangenheit verursacht worden sein. Ursache kann auch das Lagern bzw. Ablagern von diesen Stoffen oder Behältern damit sein.

Dabei wird unterschieden, ob diese Verunreinigungen auf eigenem oder fremdem Grund vorliegen, wie sie eingetreten sind (plötzlich oder allmählich) und zu welchem Zeitpunkt (Altlast oder Nicht-Altlast\*\*).

\* Als Schadstoffe werden hier alle Stoffe verstanden, die in ein Ökosystem eingebracht, dieses bzw. dessen Ausnutzung in meßbarem Umfang schädigen. Bei vielen Stoffen ist das von der Konzentration abhängig.

\*\* Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) lehnt für andere Umweltbeeinträchtigungen als die Altlasten den Begriff der „Neualtlasten“ als hierfür ungeeignet ab und schlägt daher vor, diese Nicht-Altlasten zu nennen.

### URSACHEN

Brandschaden



Umweltschaden (Unfall)



Altlast



### 2. Altlasten

Altlasten stehen als Sammelbegriff nach dem gleichnamigen Gutachten vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) „für unangenehme, aus heutiger Sicht unerwünschte Geschehnisse, die durch ihre vergangene Entstehung abgeschlossen sind, in ihren Umweltauswirkungen jedoch gegenwärtiges Handeln erfordern“.

Danach werden Altlasten noch weiter unterteilt in

- Altablagerungen (verlassene und stillgelegte Ablagerungsplätze, illegale – „wilde“ – Ablagerungen usw.)
- Altstandorte (Grundstücke stillgelegter Anlagen, Leitungs- und Kanalsysteme usw.).

Altlasten sind also Altablagerungen und Altstandorte, sofern von ihnen Gefährdungen für die Umwelt, insbeson-

dere die menschliche Gesundheit, ausgehen oder zu erwarten sind.

### 3. Nicht-Altlasten

Nicht-Altlasten sind danach

- Verunreinigungen von Böden und Untergrund durch in Betrieb befindliche Anlagen einschließlich Umschlag- und Lagerplätze,
- Versickerungen von Schadstoffen aus undichten, noch in Betrieb befindlichen Rohrleitungen und Abwasserkanälen,
- Verunreinigungen nach unfallartigen Ereignissen (Brand, Sturz, Platzen, Transportunfall . . . ) und ähnliche Kontaminationen.

Da die Beseitigung der von diesen Verunreinigungen ausgehenden Gefähr-



derung mehr oder weniger nach den gleichen Verfahren vorgenommen wird, sollen in den folgenden Kapiteln diese Unterscheidungen nicht weiter aufrechterhalten werden. Vielmehr werden hier vor allem die technisch-naturwissenschaftlichen Maßnahmen und deren Kosten dargestellt. Diese Kosten sind u. a. auch zur Ermittlung der richtigen Versicherungssummen von besonderer Bedeutung.

#### FOLGEN



Erdreich-Grundwasser-Kontamination

Dabei ist zu beachten, daß sich die Gesamtkosten aus verschiedenen Einzelkosten zusammensetzen (können). Neben den Kosten für die eigentliche Sanierung sind je nach der Art der Durchführung auch noch Kosten für den Aushub, das Aufladen, die Fahrt zur Deponie (in Ausnahmefällen auch Zwischenlagerung), anfallende Untersuchungs- und Gutachterkosten sowie ggf. die Kosten für die endgültige Depositionierung (bei Dekontamination - u. U. - noch die nicht mehr zu reinigenden Reststoffe) selbst zu berücksichtigen. Die Praxis zeigt weiter, daß durch unsachgemäßes Vorgehen (z. B. sorgloses Baggern) die Kosten oft unnötig weiter vergrößert werden.

Trotz der nachfolgend dargestellten „marktüblichen“ Kostenübersichten kann es bei diesem Thema durch den Einfluß behördlicher Anordnungen, durch Abgrenzungsprobleme zwischen Kontaminationen von Altlasten und Nicht-Altlasten usw. immer noch zu erheblichen Schwankungen der Kosten kommen. Im Einzelfall muß daher sehr sorgfältig kalkuliert werden.

### 4. Vorgehensweise

Bei der Verschiedenheit der Kontaminationen kann es kein einheitliches Vorgehen z. B. im Umgang mit einer Altlast oder nach einem unfallartigen Ereignis mit einer Nicht-Altlast geben. Es haben sich aber vier Phasen der Vorgehensweise herausgebildet, die hier zum Tragen kommen:

- Erfassung des Schadensumfanges bzw. der Altlast
  - Abschätzung der davon ausgehenden Gefährdung
- } Untersuchungs- und Gutachterkosten

- Sanierung
- Überwachung und Kontrolle

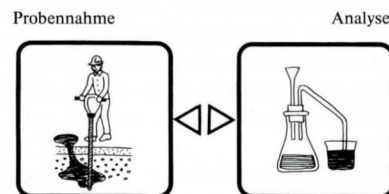
: Sanierungskosten  
: sonst. Kosten, Folgekosten

Zu diesen einzelnen Phasen der Vorgehensweise sollen jetzt die Einzelmaßnahmen und deren Kosten vorgestellt werden:

### 5. Untersuchungen

Als Untersuchungsmaßnahmen können, je nach Art und Grad der Verunreinigung, die verschiedensten Beprobungen und Analysen erforderlich sein. Dabei sind u. U. zunächst geophysikalische und/oder geologisch-hydrogeologische Untersuchungen durchzuführen. Chemische und physikalische Untersuchungen der Bodenschadstoffe und der Schadstoffe im Grundwasser sowie Gas-

#### UNTERSUCHUNGEN



bzw. Bodenluftuntersuchungen können ebenfalls notwendig werden.

#### 5.1. Tabelle 1 Untersuchungskosten

Maßnahmen	Kosten
- Bohrungen und Sondierungen	50-200 DM/m
- Probennahme	10- 50 DM/Probe
- Gutachter-, Ingenieurarbeiten	80-150 DM/h
- Analysen	
	Für die Analysen sind hier im einzelnen die Kosten sehr stark abhängig von den zu untersuchenden Stoffen. Als Richtwerte für diese Gebührensätze gelten:
- Stoffe:	
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	ca. DM 100 pro Stoffgruppe
Aromatische Kohlenwasserstoffe	ca. DM 150 pro Stoffgruppe
Chloride	ca. DM 50
Cyanide	DM 60-80
Fluoride	ca. DM 60
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	DM 200-250 pro Stoffgruppe
Halogenierte Pflanzenschutzmittel	DM 200-260 pro Stoffgruppe
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	DM 200-250
Schwermetall	DM 50-100 pro Metall
Phenole (gesamt)	DM 60-100
„Dioxin/Furan“	DM 2000-3000 pro Isomer
- Bodengutachten	
	Diese Kosten sind stark abhängig von den örtlichen Gegebenheiten
	üblich DM 1000-3000/Gutachten

Richtige Probennahme und deren exakte Analyse sind Voraussetzung für die optimale und rationelle Sanierung eines kontaminierten Standortes. Es werden immer wieder starke Schwankungen sowohl in der Aussage als auch in den Kosten zwischen verschiedenen Gutachtern und Labors festgestellt. Eine richtige, d. h., repräsentative Probennahme durchzuführen, kann sehr schwierig sein, setzt also hohes Fachwissen und

viel Erfahrung voraus. So könnte z. B. in kiesigem Untergrund zu „wenig“ und in bindigem Untergrund zu „viel“ gefunden werden. Auch die Gefahr der „Verschleppung“ von Kontaminationen von Bohrung zu Bohrung ist sehr groß.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß diese Kosten vor Sanierungsbeginn bereits DM 10.000 bis DM 100.000 (je nach Verunreinigungsgrad usw.) betragen können!



## 6. Bewertung

Mit dem Vorliegen der objektiven Daten muß eine Abschätzung der Gefährdung und der daraus notwendigen Maßnahmen vorgenommen werden. Da für viele Schadstoffe und deren Verhalten in der Umwelt, insbesondere im Bereich der Human- und Ökotoxikologie, noch nicht genügend Erkenntnisse vorliegen, fehlen häufig noch anerkannte Bewertungskriterien und -maßstäbe. Es werden als Entscheidungshilfen verschiedene Referenz-, Orientierungs- und Höchstwerte herangezogen, die in einzelnen Literaturstellen im Anhang aufgeführt sind.

Für den Einzelfall ist daher eine Zusammenarbeit aller am Schaden Beteiligten einschließlich der Behörden, Gutachter und Versicherer unbedingt zu empfehlen.

Dies um so mehr, als ein Sanierungsziel „Null-Kontamination“ wegen bereits bestehender regionaler Verunreinigungen („Hintergrundbelastung“) oder unzumutbar hoher Kosten nicht erfüllbar ist und daher praktikable und gleichzeitig vertretbare Kompromisse gefunden werden müssen. In diesem Zusammenhang geht es dann auch zugleich um die Vorsorge zur Verhinderung weiterer Schäden, was als mindestens ebenso wichtig angesehen werden muß!

## 7. Sanierung

Bei der Sanierung von kontaminiertem Untergrund unterscheidet man drei verschiedene Prinzipien:

- Umlagerung (Deponierung)
- Sicherung (Fixierung)
- Reinigung (Dekontamination)

Als Umlagerung bezeichnet man den Bodenaushub mit anschließender Zwischenlagerung oder endgültiger Deponierung.

Unter Sicherung wird eine Unterbrechung der Schadstoffausbreitung verstanden. Darunter fallen passive, hydraulische und pneumatische Sicherungsmaßnahmen, bautechnische Einkapselungs- und Einschließungsmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Einschränkung der Schadstoffe durch Immobilisierung.

Unter Reinigung versteht man die eigentliche Dekontamination des Bodens oder Grundwassers. Damit geht davon keine weitere Gefahr mehr für die Umwelt aus, was bei den anderen Maßnahmen nicht unbedingt der Fall ist. Als Dekontaminationsmaßnahmen kommen aktive hydraulische und pneumatische Maßnahmen, thermische und chemisch-physikalische Behandlungen sowie biologische Verfahren in Betracht.

IN SITU



Bodenluftabsaugung

ON SITE

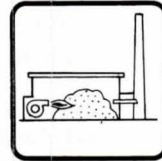


Biologische Bodenreinigung

OFF SITE



Auskofferrung



Thermische Behandlung



Deponierung

Bei den aufgezählten Maßnahmen „Umlagerung und Sicherung“ sollte immer beachtet werden, daß dabei die Schadstoffe als solche weiterhin vorhanden, also im kontaminierten Boden sind. Im ersten Fall werden sie zusammen mit dem Boden auf eine Deponie verbracht, im zweiten Fall bleiben sie im betroffenen Standort. Die eigentliche Umweltgefährdung durch diese Stoffe ist damit nicht beseitigt; die Dekontamination

nur hinausgeschoben. Außerdem wird bei der Maßnahme der Deponierung wertvoller Deponieraum in Anspruch genommen, der zukünftig ohnehin immer knapper und teurer wird.

Selbst wenn „nur“ eine Fläche von 25 x 25 m und diese „nur“ bis zu einer Tiefe von 1 m sanierungsbedürftig kontaminiert ist, handelt es sich hierbei schon um 625 m<sup>3</sup> Erdreich oder etwa 1000 t!

### 7.1 Deponierung/ Verbrennung

Die nachstehende Auflistung enthält Richtwerte für Deponierungskosten aus

den Jahren 1989/90. Nach dem heutigen Wissensstand ist jedoch wegen des knappen Deponieraumes mit einer starken Steigerung dieser Kostensätze zu rechnen:

7.1.1 Tabelle 2 Deponierungskosten

Deponieklasse	Einlagerungsgut Deponieart	Deponiegebühren in DM/t
I	sauberer Bodenaushub	ca. 5- 20
II	sauberer Bauschutt	ca. 5- 20
III	Siedlungs- und gleichw. Gewerbeabfälle	ca. 50
IV	Industrieabfälle	ca. 100
V	Abfälle mit erhöhtem Anteil umweltrelevanter Schadstoffe: (z. B. < 100 ppm polychlorierte Biphenyle)	ca. 100-450*
VI	Einlagerung in einer Sonderdeponie wie vor, jedoch mit höherem Schadstoffanteil; z. B. untertägige Einlagerung im Salzstock	ca. 500*

\* stark steigende Tendenz

Wegen der Deponieengpässe hat z. B. die hessische Landesregierung bereits reagiert und über einen ministeriellen Erlaß vom Mai 1990 die nachgeordneten

Behörden angewiesen, belastete Böden nicht mehr auf Deponien einlagern zu lassen. Ausnahmen sind nur dann möglich, wenn der Abfallerzeuger nachwei-



sen kann, daß die Böden nach derzeitigem Stand der Technik mit verhältnismäßigem Aufwand nicht so behandelt werden können, daß sie als gereinigte Böden wieder verbaut, also einer Wiederverwertung zugeführt werden können.

Um diese Probleme zu vermeiden, werden auch andere Lösungen gesucht. Es werden z. B. „Integrierte Sanierungszentren“ für Böden entwickelt, in denen die geringen Mengen Boden nach kleineren Schäden gemeinsam und damit wirtschaftlicher behandelt werden können.

Trotzdem wird man nach „kleineren“ Kontaminationsfällen, z. B. nach kleineren Bränden, vorläufig immer noch auf die Deponierung zurückgreifen (müssen) – in selteneren Fällen auch auf die Verbrennung (s. u.). Das liegt u. a. auch daran, daß Kontaminationen durch Brandzersetzungsprodukte aus einer Vielzahl von Schadstoffen mit häufig hohen Konzentrationen bestehen. Eine Reinigung dieser Böden ist mit üblichen Verfahren nicht möglich oder zu aufwendig.

Ist eine geeignete Deponie nicht gleich zu finden, zu der Brandschutt oder kontaminierter Boden verbracht werden kann, so wird man sich zunächst damit behelfen können, diese in Containern o. ä. Behältern „zur Abholung bereitzustellen“ (keine Zwischenlagerung). Dabei müssen diese Behälter natürlich gut gegen Regen u. ä. Fremdeinflüsse geschützt sein.

#### Verbrennungsanlagen

Bei gering kontaminiertem Brandschutt besteht u. U. die Möglichkeit, diesen in Hausmüllverbrennungsanlagen (HMV) verbrennen zu lassen. Für höher kontaminierte Abfälle sind spezielle Sonderabfall\*-Verbrennungsanlagen (SAV) erforderlich, bei denen erheblich höhere Kosten anfallen. Allerdings sind die Kapazitäten von Verbrennungsanlagen schon jetzt häufig völlig ausgelastet bzw. durch die allgemeine Umweltdiskussion sehr beschränkt. Dadurch wird sich diese Möglichkeit der „Sanierung“ in Zukunft eher weiter verschlechtern.

\* Den Begriff „Sonderabfall“ gibt es offiziell nicht. Hierunter werden allgemein nachweispflichtige Abfälle gem. Abfallgesetz verstanden. Allerdings kann die Einstufung in diese Kategorie von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich sein. In Zukunft sollen besonders überwachungspflichtige Abfälle nach der (bundeseinheitlichen) Abfallbestimmungs-Verordnung zugeordnet werden.

#### 7.1.2 Tabelle 3 Verbrennungskosten

Verbrennungsanlage	DM / t
Hausmüll-Verbrennungsanlage (HMV)	100... 150
Sonderabfall*-Verbrennungsanlage (SAV)	1000... 2000

## 7.2 Sicherung

Hier gibt es drei verschiedene Methoden:

- **Passive Maßnahmen** zur Eingrenzung oder Umleitung von flüssigen oder gasförmigen Schadstoffen:
  - Die hydraulischen Maßnahmen zielen auf Veränderung der Grundwasserströmung (= passive hydraulische Maßnahme) oder Entnahme von Grund-, Stau- oder Sickerwasser zu dessen Reinigung ab. Die Entnahme selbst zählt aber als sog. „aktive“ hydraulische Maßnahme zu den Dekontaminationsmaßnahmen (s. u.)
  - Die pneumatischen Maßnahmen dienen der Aufnahme von Gasen und Dämpfen. Überwiegend ist damit allerdings die gezielte Entnahme von Gasen mit Schadstoffanteilen (z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe [CKW]) zu deren Reinigung aus dem Boden gemeint, was ebenfalls zu den Dekontaminationsmaßnahmen gerechnet wird (siehe nachfolgend Seite 12).
- **Bautechnische Maßnahmen** der Einkapselung, Abdichtung usw., mit denen der Zutritt von Wasser zu dem kontaminierten Boden oder der Austritt von Schadstoffen daraus verhindert wird. Die verschiedenen Arten

der Abdichtung von Oberflächen, Seiten bzw. des Untergrundes erfordern in dieser Reihenfolge immer höheren Aufwand.

- **Immobilisierungsmaßnahmen**, mit denen die Ausbreitungsmöglichkeit der Schadstoffe eingeschränkt oder verhindert werden soll. Hier gibt es die „chemische“ Immobilisierung, mit der die Schadstoffe z. B. in ihrer Toxizität vermindert werden. Bei der „physikalischen“ Immobilisierung werden die Schadstoffe durch Bindemittel im Boden „festgehalten“. Weitere Methoden verbinden beide Prinzipien.

Die Mehrzahl dieser Methoden wird aber wegen der geringen Erfahrungen, insbesondere hinsichtlich des Langzeitverhaltens, noch sehr zurückhaltend angewendet.

Nachfolgend werden in der Tabelle 4 daher auch nur Kosten für die bekannteren Maßnahmen der Einkapselung gegeben.

#### 7.2.1 Tabelle 4 Sicherungskosten

Art der Einkapselung	Kosten in DM / m <sup>2</sup>
● Oberflächenabdeckungen (-abdichtungen)	100- 150
● Vertikale Barrieren (seitliche Untergrundabdichtungen)	
- Stahlspundwand	60- 280
- Schlitzwand	100- 350
- Bohrpfehlwand	120- 170
- Injektionswände	300- 600
- Schmalwand, gerammt	35- 50
- Kunststoffwand, eingerüttelt	50- 70
- Frostwand	300-1.700
- Tonwand, verdichtet	40- 60
● Horizontale Barrieren (waagerechte Untergrundabdichtungen)	
- Bergmännische Verfahren zur nachträglichen Einbringung der horizontalen Untergrundabdichtung	Schätzung 2000 und höher (bisher praktisch nicht durchgeführt)



## 7.3 Dekontamination

Mit diesen Maßnahmen sollen die Schadstoffe möglichst vollständig und endgültig beseitigt werden. Hierzu gibt es sowohl die Möglichkeit der Behandlung des Bodens ohne dessen Veränderung, als auch das Ausräumen („Auskof-fern“) mit nachfolgender Behandlung im Umfeld des Schadenortes oder an ganz anderer Stelle (s. 8.). Die Verfahren selbst werden in drei verschiedene Gruppen eingeteilt:

- Zerstörende Verfahren (thermische, chemische oder biologische Verfahren)
- Trennende Verfahren (Extraktion, Adsorption, Fällung, Abgas- und Abluftbehandlung)
- Verteilende Verfahren (Bodenspü-lung, Bodenluftabsaugung, Entgasung, Strippen).

Innerhalb dieser Verfahrens-Gruppen gibt es verschiedene **Arten der Behandlung**:

- aktive hydraulisch/pneumatische Behandlung
- thermische, chemisch/physikalische oder elektrochemische Behandlung und
- biologische Behandlung.

Bei der **hydraulisch/pneumatischen Behandlung** werden je nach der Phase (gasförmig oder flüssig) der zu behandelnden Schadstoffe bzw. Schadstoffträger diese im Untergrund mobilisiert und transportiert, gefaßt und dann zur Behandlung abgeleitet sowie die danach in der Behandlungsanlage abgeschiedenen Schadstoffe entsorgt.

Zur Verstärkung der Mobilisierung von Schadstoffen, besonders CKW, werden manchmal zusätzlich noch die sog. Hydro- oder Geo-Schockverfahren angewendet, bei denen durch mechanisches „Rütteln“ die Schadstoffe im Boden gelockert werden sollen. Dazu ist aber jeweils eine vorherige Abschätzung möglicher Folgerisiken (z. B. Bauwerkssetzungen) erforderlich.

Eine Methode, die gerade bei CKW bzw. allg. LHKW\*-Schäden häufig angewendet wird, ist die sog. **Bodenluftabsaugung**. Dabei wird über Vakuumbrunnen im Boden eine Saugwirkung erzeugt und durch diese die Schadstoffe abgepumpt. Bei der Abluft sind die Vorschriften der TA-Luft zu beachten; zur Reinigung der Abluft werden deswegen Aktivkohlefilter nachgeschaltet.

Eine Möglichkeit der Steigerung der Reinigungswirkung ist durch sog. Luft-

oder Dampfstrippanlagen möglich, bei denen zusätzlich (saubere) Druckluft oder Sattedampf in die abgepumpten Ströme eingeblasen werden.

Dieses Sanierungsverfahren wird analog auch bei LHKW-Kontaminationen im Grundwasser angewendet. Dazu werden die Schadstoffe im Grundwasser gelöst, nach oben gefördert und dieses dort in einer Desorptions-(Stripp-)Anlage getrennt bzw. in einer Adsorptionsanlage (Aktivkohle) gesammelt.

Oft gibt es aber Probleme mit dem gereinigten Grundwasser; je nach Bundesland ist es nämlich u. U. nicht erlaubt, dieses Wasser dann in die Kanalisation (Vorfluter) abzulassen oder gar über sog. Schluckbrunnen wieder im Boden versickern zu lassen. Damit fallen dann aber erhebliche Zusatz-Entsorgungskosten an!

Eine Weiterentwicklung der o. a. Bodenluftabsaugung reinigt daher das Grundwasser durch Strippen im Boden selbst und ohne Förderung nach oben (**Unterdruck-Verdampferbrunnen UVB**). Es werden dabei nur die Schadstoffe selbst abgesaugt und an der Aktivkohle adsorbiert.

Bei der **thermischen Behandlung** (Entgasung oder Verbrennung) werden die Bindungskräfte der Schadstoffe überwunden und diese anschließend oxidativ zerstört oder in Rückstände eingebunden. Es gibt hierfür die verschiedensten technischen Verfahren – bisher sind die Anlagen meist zentral oder als kleinere Anlagen auch „vor Ort“ geplant.

Flüchtige organische, nicht-halogenierte Kohlenwasserstoffe wie Lösemitel, Benzin, Heizöl, PAH\* usw. werden dabei größtenteils zerstört. Sonstige flüchtige Elemente bzw. anorganische Verbindungen werden nur getrennt und anschließend als Rückstände gebunden.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe wie CKW, PCB und chlorierte Pestizide müssen z. T. wegen der Möglichkeit der Verunreinigung mit Dioxinen und Furanen bei hohen Temperaturen verbrannt werden und dabei für eine Mindestverweilzeit im Ofen bleiben. Wegen der möglichen Rückbildung dieser Stoffe während der Abkühlung nach der Behandlung, müssen außerdem besondere Abgasreinigungsmethoden angewendet werden.

Schwermetalle können bisher praktisch nicht entfernt oder zerstört, allerdings durch Sinterung gebunden werden.

Bei der **chemisch/physikalischen Behandlung** werden die Schadstoffe durch Extraktions- und Waschverfahren sowie sonstige Behandlungsweisen wie Gasaustausch (Stripping), Adsorption,

Ionentausch, chemische Umwandlung oder elektrochemische Vorgänge entfernt, umgewandelt oder zerstört.

Die **biologische Behandlung** wird überwiegend mit Mikroorganismen (Algen, Bakterien oder Hefen und Pilze) durchgeführt. Es gibt dabei sowohl „in situ“ als auch „on site/off site“-Verfahren (s. 8.). Wegen der besseren „Steuerbarkeit“ (Temperatur, Feuchtigkeitskonzentration usw.) wird die Behandlung in Mieten oder Beeten, die zudem noch mit Zelten „eingehaust“ werden, in letzter Zeit bevorzugt.

Die anfängliche Euphorie über die breiten Anwendungsmöglichkeiten dieser Verfahren ist inzwischen etwas verflogen. Bis zum biologischen Abbau so kritischer Stoffe wie chlorierte Dioxine und Furane, niedrig chlorierte Biphenyle oder allgemein PCB ist es offensichtlich doch noch ein weiter Weg.

Bei den nachfolgend aufgelisteten Kosten für die verschiedenen Reinigungsverfahren kann es sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur um einen Überblick handeln. Viele der Verfahren befinden sich noch in der Entwicklung, werden zur Zeit verbessert oder optimiert und sind daher noch nicht als endgültig anzusehen. Wegen der schon erwähnten Problematik bei den Verfahren „Umlagerung bzw. Sicherung“, gewinnen die eigentlichen Reinigungsverfahren aber immer mehr an Bedeutung, so daß hier eine rasche Weiterentwicklung, ein breiteres Verfahrensspektrum und evtl. auch eine Senkung der Kosten zu erwarten sind.

### 7.3.5 Tabelle 5 Dekontaminationskosten

Es handelt sich um eine Übersicht nach verschiedenen Literaturstellen und Angaben einzelner Sanierungsfirmer. Wegen der Schwankungsbreite muß im Einzelfall immer geprüft werden, ob die ins Auge gefaßte Sanierungsmaßnahme für den Schadenfall geeignet ist und welche Nebenarbeiten in dem Preis enthalten sind.

Dekontaminationsmaßnahmen	Kosten in DM/t
Auswaschen mittels Wasser	100–350
Biologische Behandlung, z. B. in Mieten	100–500
Bodenluftabsaugung	5– 50
Extrahieren	100–250
Extrahieren mittels Lösemitel	100–350
Fixieren durch Zugabe von Bindemitteln	ca. 150
Immobilisieren	50–200
Thermische Behandlung	100–150

\* CKW = chlorierte Kohlenwasserstoffe  
LHKW = leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

\* PAH= PAK= polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe



## 8. Ort der Durchführung

Neben der Unterteilungsmöglichkeit dieses Themas nach den Stufen der **Vorgehensweise** (Seite 9), den **Sanierungs-Prinzipien** (Seite 10) oder **Sanierungs-Maßnahmen/-Verfahren** (Seite 10 ff) wird oft auch nach dem Ort der Durchführung der Maßnahmen unterschieden:

- in situ:  
Behandlung im Boden, also ohne dessen räumliche Veränderung.
  - on site:  
Behandlung neben oder im Bereich der Schadenstelle, also nach dem Ausräumen („Auskoffern“).
  - off site:  
Behandlung an ganz anderem Ort.
- Zur - sprachlichen - Systematisierung werden die beiden letztgenannten Maßnahmen manchmal auch „ex situ“ genannt.

Bei dieser Einteilung muß aber beachtet werden, daß es z. B. von der Verfahrensseite her Überschneidungen gibt. So werden bei der Bodenluftabsaugung die Schadstoffe zwar „in situ“ aus dem Boden geholt. Die Dekontamination der Luft findet dann aber (meist) „on site“ in der Filteranlage statt, während die Dekontamination z. B. der Aktivkohle (wenn überhaupt) „off site“ in ganz anderen Anlagen vorgenommen wird. Meistens wird sogar Einweg-Kohle verwendet, die nach Sättigung selbst deponiert oder verbrannt wird.

## 9. Aushub und Transport

Diese Kosten unterliegen starken Schwankungen; sie richten sich nach Schadenart und -hergang und sind durch entsprechende Angebote im Einzelfall zu erfragen. Unterschiede können sich insbesondere aus den verschiedenen stofflichen und toxikologischen Eigenschaften der Schadstoffe sowie den Eigenschaften des Untergrundes ergeben. Entstehen z. B. durch die Freilegung akute Gesundheitsgefahren, so können die dann erforderlichen Schutzmaßnahmen erhebliche Mehrkosten verursachen.

## 10. Sonstige Kosten

Im Zusammenhang mit einzelnen Sanierungsverfahren fallen zum Teil auch erhebliche laufende Kosten an. Diese bestehen neben den reinen Betriebskosten für Maschinen und Anlagen und dem „Unterhalt“ der Baustelle auch aus weiteren Untersuchungs-

Gutachterkosten, z. B. für die fortlaufende Grundwasserkontrolle.

Außerdem muß beachtet werden, daß gerade bei Kontaminationen im Bereich von noch aktiven Betrieben ganz erhebliche Störungen des Ablaufs mit entsprechenden Mehrkosten für Ausweichmaßnahmen bis hin zu Betriebsunterbrechungen auftreten können. Dies um so mehr, als sich der Entscheidungsprozeß, ob und wie saniert bzw. entsorgt werden muß, gerade behördenseitig oft sehr lange hinzieht.

Erschwerend kommt noch hinzu, daß gerade zu Beginn der Schadenbehebung die Diskussion um Sanierungsziele wegen der schon erwähnten „Nullwert-Diskussion“ einerseits und der Verhältnismäßigkeit der Mittel andererseits oft schwierig und zeitraubend ist.

Erfahrene, angesehene Gutachterbüros und nicht zuletzt die Versicherer mit ihren Kenntnissen aus diversen Schadenfällen können hierbei wertvolle Hilfe leisten.

Ein weiterer Bereich der U. zusätzliche Kosten verursacht, soll mit dem Begriff „Arbeitsicherheit“ beschrieben werden. Bei Arbeiten im Bereich kontaminierter Standorte sind für den Schutz der dort Beschäftigten z. T. umfangreiche Maßnahmen erforderlich. Eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen bis hin zu den Unfall-Verhütungsvorschriften sind dabei zu beachten. Auch hier ist daher im Einzelfall zu klären, ob diese Kosten bereits in den Kalkulationen berücksichtigt sind.

## 11. Ausblick

Das ganze hier beschriebene Gebiet ist noch relativ neu und daher gerade hinsichtlich der techn. Verfahren ständig noch in Fluß. So gibt es also Entwicklungen, wonach einzelne der beschriebenen Verfahren zusammengefaßt werden oder sich sogar ergänzen.

Andererseits unterliegen gerade die Gebiete Deponierung, Verbrennung und Grenzwerte wegen der allgemeinen Umweltdiskussion ebenfalls einer ständigen Änderung - meist einer Verschärfung.

Das sollte im Einzelfall immer bedacht werden, weshalb die Beratung durch die erwähnten Fachleute von großer Bedeutung ist, und die hier aufgezeigten Kosten immer aktuell überprüft werden sollten.

## 12. Literatur:

Neben der Vielzahl von Gesetzen, Verordnungen usw., die dieses Thema berühren, aber hier nicht einzeln aufgeführt werden, gibt es auch weiterführende Literatur:

- Ableitung von Bodenrichtwerten, Verband der Chemischen Industrie (VCI), Frankfurt 1989
- Altlasten-Sanierung, Sonderdruck 780.2 der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG), München 1989
- Altlasten - Sondergutachten Dezember 1989, Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), Metzler-Poeschel, Stuttgart 1990
- Arbeiten im Bereich kontaminierter Standorte - Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten, Sonderdruck 780.1 der Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG), München 1988
- Barkowski, D., Günther, P., Hinz, E., Röchert, R.: Altlasten - Handbuch zur Ermittlung und Abwehr von Gefahren durch kontaminierte Standorte, C. F. Müller, Karlsruhe 1987
- Batston, R., Smith, J. E., Wilson, D.: The Safe Disposal of Hazardous Wastes Volume I-III, World Bank Technical Paper Number 93, Washington D. C. 1989
- Beurteilung von Schwermetallkontaminationen im Boden, Fachgespräche Umweltschutz, Dechema, Frankfurt 1989
- Burmeier et al.: Sicheres Arbeiten auf Altlasten, focon-Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen 1990
- Daten zur Umwelt 1988/89, Umweltbundesamt, E. Schmidt, Berlin 1989
- Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altstandorten, Arbeitshefte Ruhrgebiet, A 039, Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen 1989
- Franzius; Stegmann; Wolf: Handbuch der Altlastensanierung, R. v. Deckers's Verlag G. Schenck, Heidelberg (Loseblattsammlung)
- Franzius, V.: Sanierung kontaminierter Standorte 1986, Neue Verfahren zur Bodenreinigung, Erich Schmidt, Berlin 1987
- Gossow, V. (Hrsg.): Altlastensanierung, Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1990
- Hein, H., Schwedt, G.: Richt- und Grenzwerte „Luft-Wasser-Boden-Abfall“, Umweltmagazin-Sonderausgabe, Vogel, Würzburg 1989
- Heintz, A., Reinhardt, G.: Chemie und Umwelt, Vieweg, Braunschweig 1990
- Kenne, H. et al.: Altlasten, Altdeponien - kontaminierte Standorte, Expert, Ehningen 1989
- Leitfaden zur Grundwasseruntersuchung bei Altablagern und Altstandorten, LWA-Materialien, Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1989
- Sanierung der Deponie Georgswerder, Umweltbehörde Hamburg, Amt für Altlastensanierung, Hamburg 1988
- Stoffe in Altlasten - ausgewählte Daten zu chemischen Elementen und Verbindungen, Fachgespräche Umweltschutz, Dechema, Frankfurt 1989
- Weber, H. H. (Hrsg.): Altlasten Erkennen, Bewerten, Sanieren; Springer, Berlin 1990
- Wichert, H.-W.: Grenzwerte für den Bereich Altlasten-Interpretation, Bewertung und Bedarf, In: VDI Berichte 832, VDI, Düsseldorf 1990
- Wichert, H.-W.: Sanierung von kontaminierten Standorten, Vermittlungsstelle der Wirtschaft für Altlastensanierungs-Beratung e.V. (VAB), Köln (ohne Datum)
- Die Bedeutung der Umweltverschmutzung für die Versicherung, Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München 1973
- Ökologie und Umweltschutz, Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich 1979
- Umweltschäden und Haftpflichtversicherung, Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München 1984
- Umweltveränderungen und Katastrophenrisiken, Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich 1985
- Kersten, J.: Die Haftung nach öffentlichem und privatem Recht für Boden- und Gewässerkontaminationen sowie Altlasten und Versicherungsschutz, VVW, Karlsruhe 1988
- Nicklisch, F.: Prävention im Umweltrecht - Risikoversorge, Grenzwerte, Haftung, C. F. Müller, Heidelberg 1988
- Aufräumkosten in der Sachversicherung, Heft 15 der Schriftenreihe der Kölnischen Rück, Köln 1989
- Haftpflichtversicherung für Deponien, Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich 1989
- Umweltschutz-Lebensschutz, Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich 1989



Forum: Umwelt. Informationen zum Umwelt-Haftungsrecht, Underwriting und zur Umwelttechnik Nr. 1, Frankona Rückversicherungs AG, München 1990

Schmidt, A.: Haftungs- und Versicherungsfragen bei Umweltrisiken, VVW, Karlsruhe 1990  
Umwelt-Haftpflichtversicherung für Unternehmen, Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich 1990

Forum: Umwelt. Informationen zum Umwelt-Haftungsrecht, Underwriting und zur Umwelttechnik Nr. 2, Frankona Rückversicherungs AG, München 1/1991

Kühl, P.: Umgang mit Lösemitteln – Hinweise zur Schadenvorsorge im Betrieb, Technische Information 3, Winterthur Versicherungen, München 1989

Nickel, F.: Der Umweltschaden in der Betriebs-Haftpflichtversicherung, Band 9, 19 und 27. In: Weiße Reihe, Winterthur Versicherungen, München

Nickel, F.: Der Begriff des industriell verursachten Umweltschadens, Band 21. In: Weiße Reihe, Winterthur Versicherungen München 1987

Schmidt, G.: Haftpflichtgeologie – Die Verschmutzungsempfindlichkeit des Untergrundes in München und Umgebung, Band 14. In: Weiße Reihe, Winterthur Versicherungen, München 1986

Dipl.-Ing. Peter Kühl  
Winterthur-Versicherungen  
Leiter Abteilung Engineering

# Aktuelle Aspekte zur Entsorgung von NVA-Munition

Dr. Dietrich Eckhardt und Dr. Joachim Otto

## 1. Beschreibung der NVA-Munition

Im Rahmen der Bestandsaufnahme der Bundeswehr waren bis zum Februar 1991 ca. 271280 t Lagermunition der Nationalen Volksarmee der ehemaligen DDR (NVA) erfaßt. Fachleute schätzen, daß die Gesamtmenge der Munition 400 000 t und mehr beträgt.

Durch die weitere Nutzung einzelner Waffensysteme der ehemaligen NVA werden ca. 30 000 bis 40 000 t dieser Munition im Bestand der Bundeswehr verbleiben. Der überwiegende Teil wird ausgesondert und ist zu vernichten bzw. zu verwerten.

Weiterhin wird gegenwärtig damit gerechnet, daß die sowjetischen Streitkräfte nach ihrem Abzug bedeutende Mengen an Munition zurücklassen werden. Grobe Schätzungen beziffern diese ebenfalls zu entsorgenden Bestände auf mehr als 1 Mio t.

Bei der Entsorgung der Munition fallen, bezogen auf 300 000 t an zu verwertenden bzw. zu vernichtenden Stoffen, schätzungsweise an:

- 180 000 t Metalle
- 80 000 t Verpackungsmaterialien
- 40 000 t Explosivstoffe

Zusätzlich fallen unterschiedlichste Chemikalien, wie z. B. flüssige Raketentreibstoffe, Brand- und Nebelmittel an.

Die Palette der zu vernichtenden Munition umfaßt praktisch alle Arten der konventionellen Munition, wie z. B. Leucht- und Signalmunition, Munition für Panzer, Schützenpanzer, Artillerie, Granat- und Geschößwerfer sowie für Schützenwaffen, Bomben, Raketen und Torpedos. Insgesamt befinden sich über 500 Munitionsarten in den Lagern.

Zur Beschreibung des technischen Zustandes wurde die Munition von der



100 mm-Panzergranaten (Panzergranaten befinden sich bereits in der Entsorgung)

NVA in 4 Kategorien eingeteilt.

In die Kategorie I und II wurde voll verwendungsfähige Munition eingeordnet,

in die Kategorie III Munition, deren normative Nutzungsfristen überschritten bzw. deren Instandsetzung erforderlich war und

in die Kategorie IV wurde solche Munition eingeordnet, die für den Einsatz in der Truppe gesperrt war.

Die Munition befand sich bis Anfang 1990 in einem System der regelmäßigen technischen Überwachung und Kontrolle. Der Zustand der Munition kann als gut eingeschätzt werden.

## 2. Vorgaben des Bundesministeriums für Verteidigung (BMVg) zur Entsorgung von NVA-Munition

Zur Entsorgung der NVA-Munition

wurden vom BMVg folgende Kriterien abgeleitet:

- Die großen Lagerbestände und damit der außerordentlich hohe Bewachungsbedarf sind möglichst schnell zu reduzieren. Gegenwärtig werden kleinere Lager aufgelöst und die Munition in Verdichtungslagern konzentriert. Man hofft, in 4 bis 5 Jahren eine entscheidende Entlastung der Bundeswehr zu erreichen.
- Die Entsorgung der Munition soll durch keinen Generalauftragnehmer, sondern grundsätzlich durch mehrere Privatunternehmen erfolgen. Dabei wird hinsichtlich der Entsorgungsstätten den neuen Bundesländern eine lokale Präferenz eingeräumt. Zur Entsorgung ausgeschriebene werden nach Munitionsart und -menge kleine Portionen aus dem Gesamtbestand. Mit der Auftragvergabe übernimmt die VEBEG (Treuhandgesellschaft des Bundes) weder Auslastungsgarantien noch Investitionshilfen für die Betriebe.