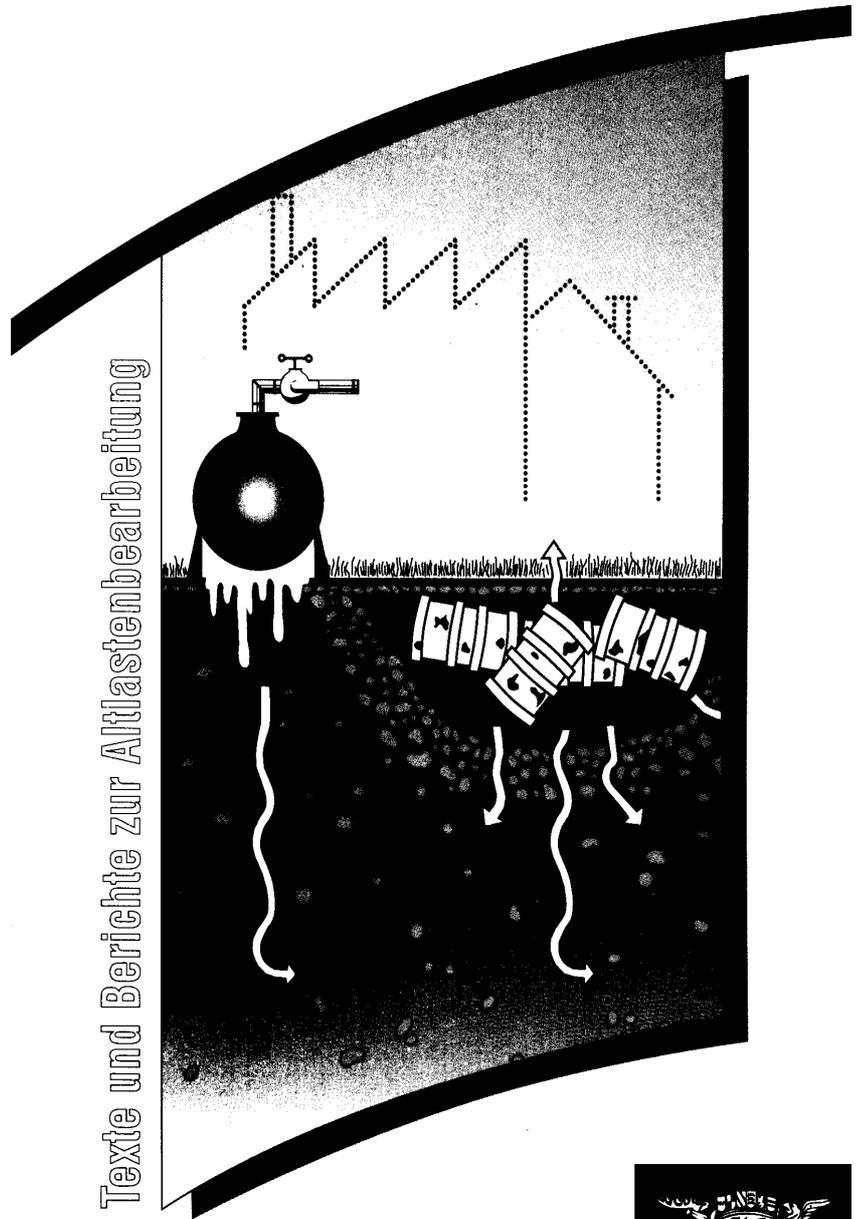


Zentraler Fachdienst Wasser - Boden - Abfall - Altlasten bei  
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

**Handbuch Altlasten  
und Grundwasserschadensfälle**

# Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen / Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>)

Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung

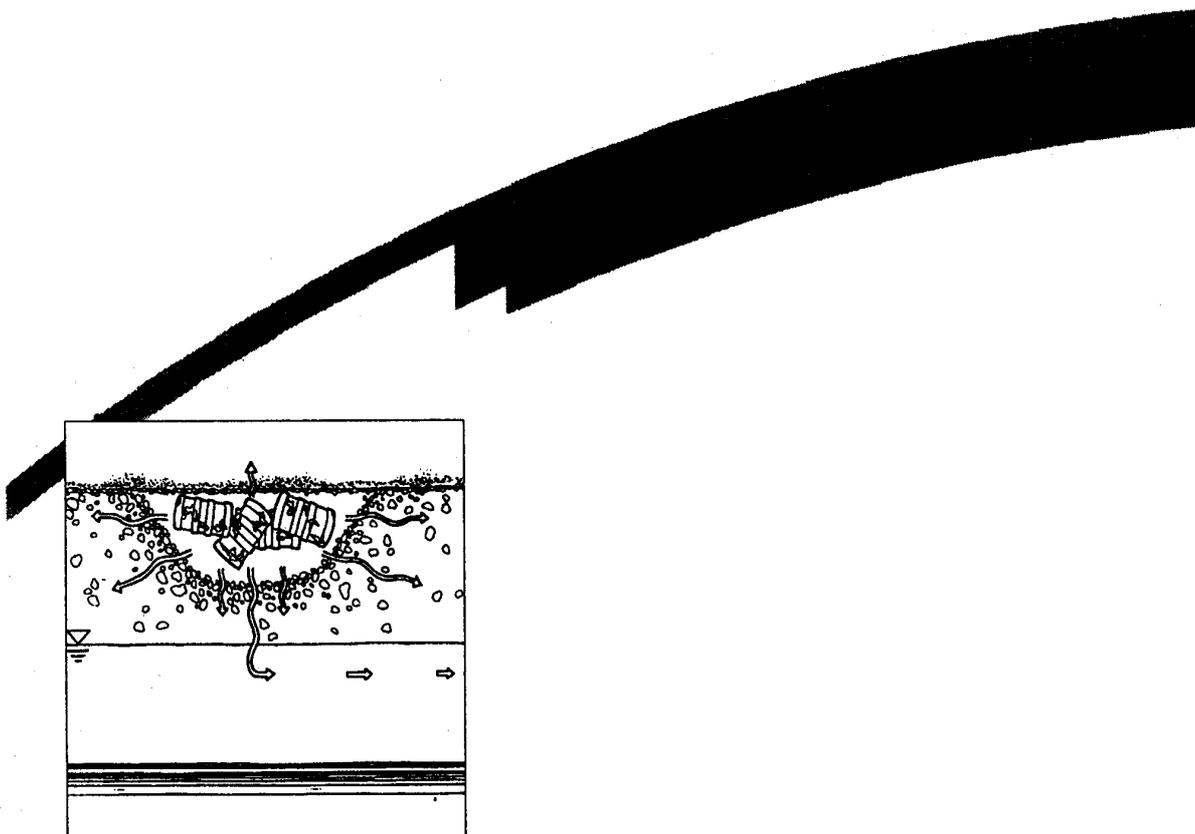


**BODEN  
ABFALL  
ALLASTEN**



**MINISTERIUM  
FÜR UMWELT  
UND VERKEHR**

# Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen / Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>)



Herausgegeben von der  
Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg  
1. Auflage

Karlsruhe 1994



Altlastenfachinformation im WWW

## **Impressum**

**Herausgeber:** Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg  
Griesbachstr. 1  
76185 Karlsruhe

**Redaktion:** Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
Abteilung Boden, Abfall, Altlasten  
Referat 53 – Altlastenbewertung  
Dr. Joachim Ruf  
Referat 54 – Altlastensanierung  
Dr. Wolfgang Kohler

**Verfasser:** Dr. K. Noe  
Trischler und Partner GmbH  
Niederlassung Karlsruhe  
Händelstr. 18  
76185 Karlsruhe

Karlsruhe, Juli 1994

**Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.**

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>TEIL I: ALLGEMEINE GRUNDLAGEN .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1. EINFÜHRUNG .....   | 1         |
| 2. VERGLEICH BISHERIGER MIT ZUKÜNFTIGER BEARBEITUNG.....  | 4         |
| <b>TEIL II: EINGEHENDE ERKUNDUNG FÜR SANIERUNGSMABNAHMEN/<br/>SANIERUNGSVORPLANUNG UND REALISIERUNG DER SANIERUNGSENTSCHEIDUNG.....</b> | <b>6</b>  |
| 1. EINFÜHRUNG .....   | 6         |
| 2. EINGEHENDE ERKUNDUNG FÜR SANIERUNGSMABNAHMEN/ SANIERUNGSVORPLANUNG (E <sub>3,4</sub> ) .....   | 8         |
| 2.1 Ermittlung der Grundlagen (Erkundungsergebnisse und Rahmenbedingungen) .....  | 8         |
| 2.2 Verfahrensvorauswahl .....  | 10        |
| 2.3 Fachdiskussion der Sanierungsziele .....  | 12        |
| 2.4 Vorläufige Festlegung der Sanierungsziele .....   | 13        |
| 2.5 Firmenanfragen .....  | 14        |
| 2.6 Kostenabschätzung .....   | 15        |
| 2.7 Nicht-monetäre Beurteilung.....   | 16        |
| 2.8 Kostenwirksamkeitsabschätzung .....   | 19        |
| 2.9 Gesamtbeurteilung/Sanierungsvorschlag .....   | 22        |
| 3. BEWERTUNG BEI BN 4.....  | 23        |
| 4. SANIERUNG (D) .....  | 24        |
| 4.1 Sanierungsplanung .....   | 24        |
| 4.2 Sanierungsdurchführung.....   | 25        |
| 5. BEISPIELE ZUR NOTWENDIGKEIT EINER EINGEHENDEN ERKUNDUNG/ SANIERUNGSVORPLANUNG UND<br>ERMITTLUNG DER SANIERUNGSZIELE .....            | 26        |
| A Mineralölkohlenwasserstoffschaden.....  | 26        |
| B BTEX-Kontamination .....  | 30        |
| C Atablagerung.....   | 33        |
| 6. BEISPIELE ZUR EINGEHENDEN ERKUNDUNG FÜR SANIERUNGSMABNAHMEN/ SANIERUNGSVORPLANUNG .....  | 38        |
| Beispiel A: Ehemaliges Gaswerk .....  | 39        |
| Beispiel B: CKW-Kontamination in ungesättigter und gesättigter Bodenzone.....   | 51        |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>  | <b>57</b> |
| <b>INDEXVERZEICHNIS.....</b>  | <b>58</b> |

# Teil I: Allgemeine Grundlagen

## 1. Einführung

In Baden-Württemberg ist eine stufenweise Erkundung von Altlasten bzw. altlastverdächtigen Flächen vorgesehen (siehe Abb. 1).

Die erste Stufe beinhaltet die "**Historische Erkundung**" des einzelnen Standorts. Bei der Bewertung auf Beweisniveau 1 (BN 1) wird entschieden, ob die Altlast ausscheidet und archiviert wird (A), zur Wiedervorlage vorgesehen ist (B) oder ob eine technische Erkundung durchgeführt wird. Im letzteren Fall muß das handlungsbestimmende Risiko  $R_{HB} > 2$  sein (siehe Abb. 2 "Handlungsmatrix").

Die technische Erkundung setzt sich aus zwei Stufen, nämlich der "**Orientierenden Erkundung**" (E<sub>1-2</sub>) und der "**Näheren Erkundung**" (E<sub>2-3</sub>) zusammen. Falls bei Beweisniveau 2 ein Belassen zur Wiedervorlage (B) oder eine fachtechnische Kontrolle (C) nicht ausreicht, wird im Rahmen der "Näheren Erkundung" die Altlast auf Art und Umfang der Kontamination umfassend untersucht. Nach Erreichen von Beweisniveau 3 sind in der Regel keine weiteren Felduntersuchungen zur Bewertung der Altlast mehr vorgesehen.

Anschließend an die technischen Erkundungen folgt die Bewertung auf Beweisniveau 3. Hier wird auf Grundlage einer Einzelfallentscheidung festgestellt, ob eine "**Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>)**" notwendig ist. Der Übergang zur Planungsphase stellt einen wichtigen Trennschnitt dar. Bei der Bewertung haben sich die Risikofaktoren bewährt. Sie erlauben einen allgemein akzeptierten relativen Vergleich zwischen den einzelnen Altlasten. Auf diese Weise kann z. B. die Priorität der Altlast im Hinblick auf eine weitere Förderung festgelegt werden.

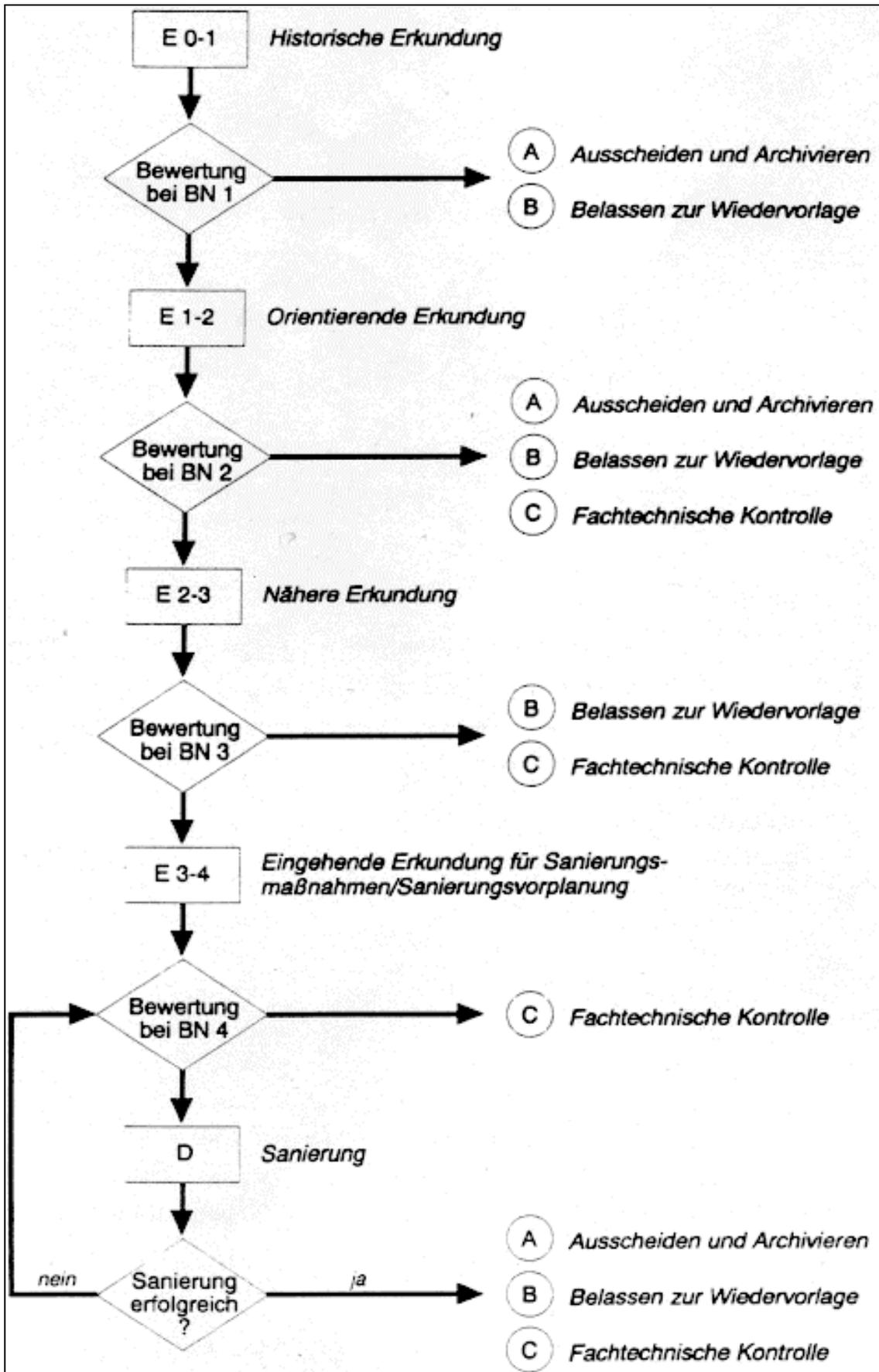
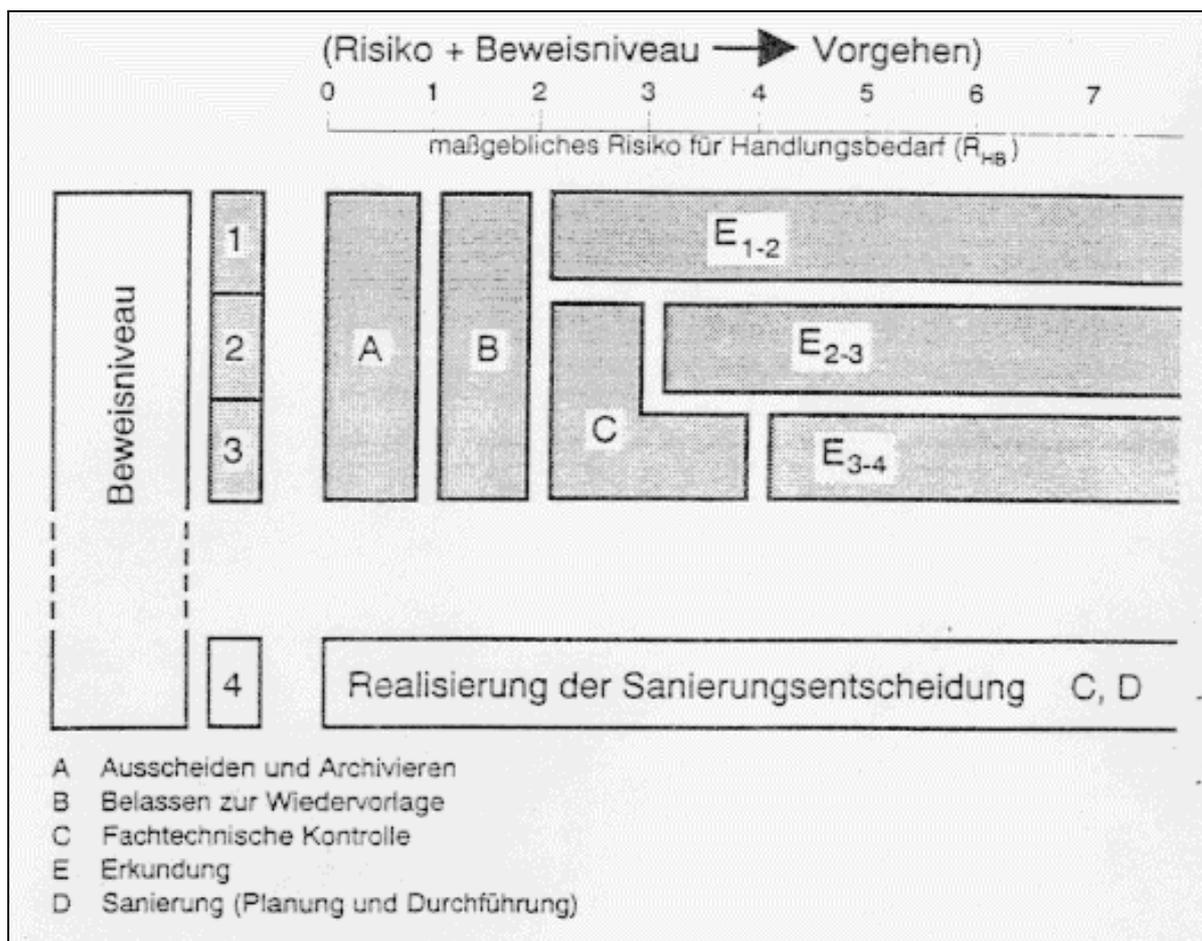


Abb. 1: Ablaufschema stufenweiser Erkundung und Bewertung eines Einzelfalls.



**Abb. 2: "Handlungsmatrix"**

Für die Sanierungsentscheidung auf BN 4 werden die Risikofaktoren nicht mehr verwendet. Inhalt der Sanierungsentscheidung ist die Klärung der Sanierungs-notwendigkeit, die Festlegung des Sanierungsziels und der zu seiner Einhaltung erforderlichen Maßnahmen.

In Abhängigkeit von der Sanierungsentscheidung erfolgt ihre Realisierung. Falls eine fachtechnische Kontrolle (C) nicht ausreicht, folgen die Schritte Sanierungsplanung und Durchführung der Sanierung (D).

## 2. Vergleich bisheriger mit zukünftiger Bearbeitung

Im Zuge der Fortschreibung des Altlastenhandbuchs werden einige Begriffe durch neue ersetzt. Die Vorgehensweise und der Inhalt der Arbeiten sind aber im wesentlichen gleichgeblieben. Die neuen Begriffe dienen dazu, die Vorgehensweise besser zu beschreiben und dem allgemein üblichen Sprachgebrauch bei Ingenieurarbeiten und Sanierungen anzupassen.

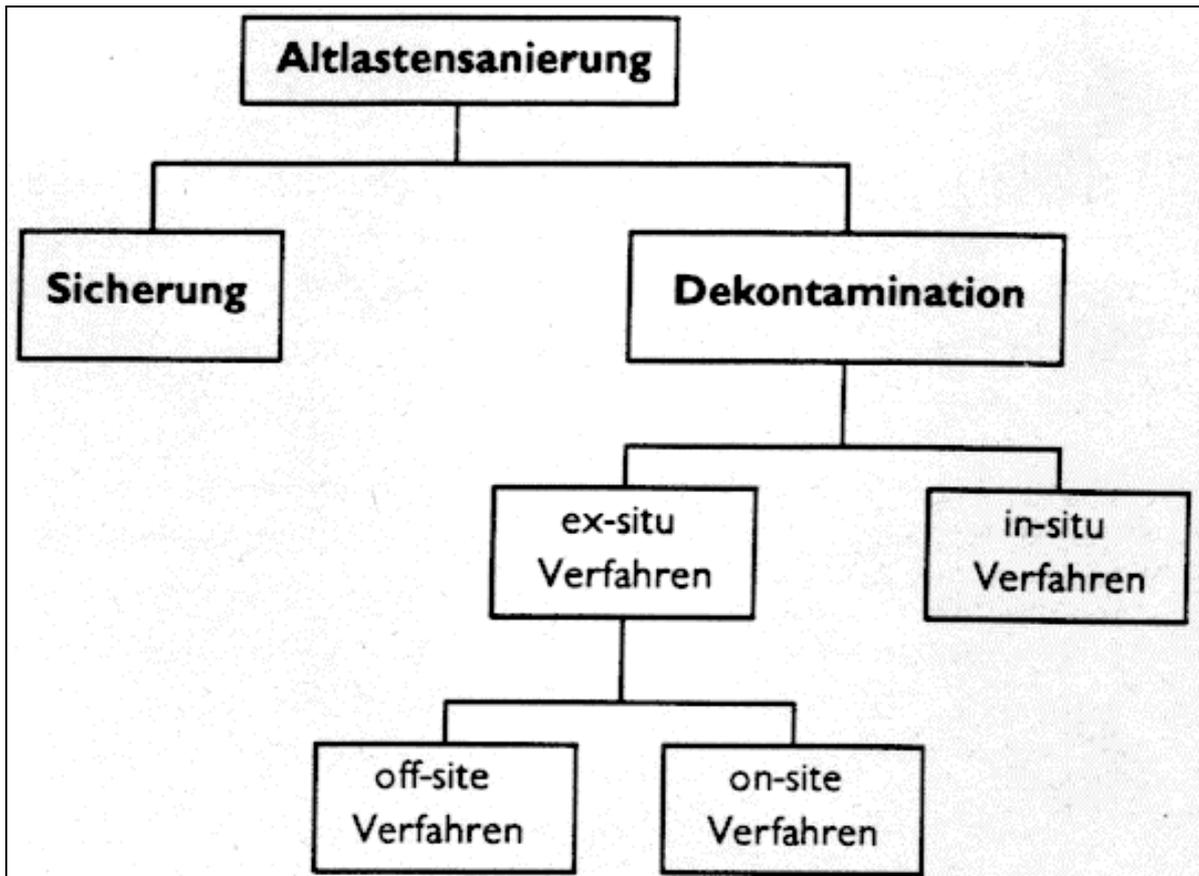
Anstatt "Eingehende Erkundung für Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen" wird der Begriff "Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>)" eingeführt. Die Begründung liegt darin, daß im Rahmen dieser Bearbeitungsstufe im wesentlichen Arbeiten anfallen, die im klassischen Sinn einer Vorplanung entsprechen. Die Leistungsbilder der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) im Rahmen der Vorplanung - hier vereinfacht wiedergegeben -

- Analyse der Grundlagen
- Abstimmung der Zielvorstellungen auf die Randbedingungen
- Untersuchen von Lösungsmöglichkeiten mit ihren Einflüssen auf Zweckmäßigkeit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit
- Erarbeiten eines Planungskonzepts einschließlich Untersuchung alternativer Lösungsmöglichkeiten
- Vorverhandlungen mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten
- Kostenschätzung

waren und sind wesentliche Bestandteile.

Neu ist die begriffliche Definition Sicherungs- und Sanierungsverfahren. Zukünftig wird in Abänderung des bisherigen Sprachgebrauchs der Begriff der Altlastensanierung neu verwandt:

Unterbegriffe sind Sicherung und Dekontamination. Diese Begriffe sind durch die Formulierungen im Altlastenhandbuch, Teil II (Seite 38) definiert, wobei der dortige Begriff Sanierungsmaßnahmen nunmehr durch Dekontamination ersetzt wird (Abb. 3).



**Abb. 3: Neue Begriffsdefinitionen der Altlastensanierung**

Die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung endet mit dem Erreichen des Beweinsniveaus 4. Dort wird im Rahmen einer Bewertung die Sanierungsentscheidung getroffen.

Neu geregelt ist auch die Festlegung der Sanierungsziele.

Nach Einführung des Erlasses des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung und des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 16.09.1993 erfolgt die Fachdiskussion und Festlegung der Sanierungsziele auf Grundlage der Verwaltungsvorschrift "Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen".

Auf die Sanierungsentscheidung im Rahmen der Bewertung auf Beweinsniveau 4 folgt, falls eine Kontrolle nicht ausreicht, die Sanierungsphase (D). Das Symbol "D" umfaßt die bisherigen Schritte Sanierungsplan, Ausschreibung und Durchführung, die zukünftig mit den Begriffen Sanierungsplanung und Sanierungsdurchführung beschrieben werden.

## **Teil II: Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung und Realisierung der Sanierungsentscheidung**

### **1. Einführung**

Nachdem gemäß der stufenweisen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg mit der Erkundungsstufe E<sub>2-3</sub> (nähere bzw. Gesamterkundung) die technischen Felduntersuchungen zur Bewertung der Altlast abgeschlossen sind, bestehen auf Beweisniveau 3 folgende Entscheidungsmöglichkeiten:

- Die Altlast wird zur Wiedervorlage in der Altlastendatei belassen (B)  
oder
- es ist eine fachtechnische Kontrolle notwendig (C)  
oder
- es muß eine eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>) erfolgen.

Die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>) führt zu Beweisniveau 4. Hier beinhaltet die Bewertung folgende Sanierungsentscheidung:

- Es ist eine fachtechnische Kontrolle notwendig (C)  
oder
- es ist eine Sanierung notwendig (D).

Im Falle einer Sanierung (D) erfolgt die Sanierungsplanung und Sanierungsdurchführung (Abb. 1).

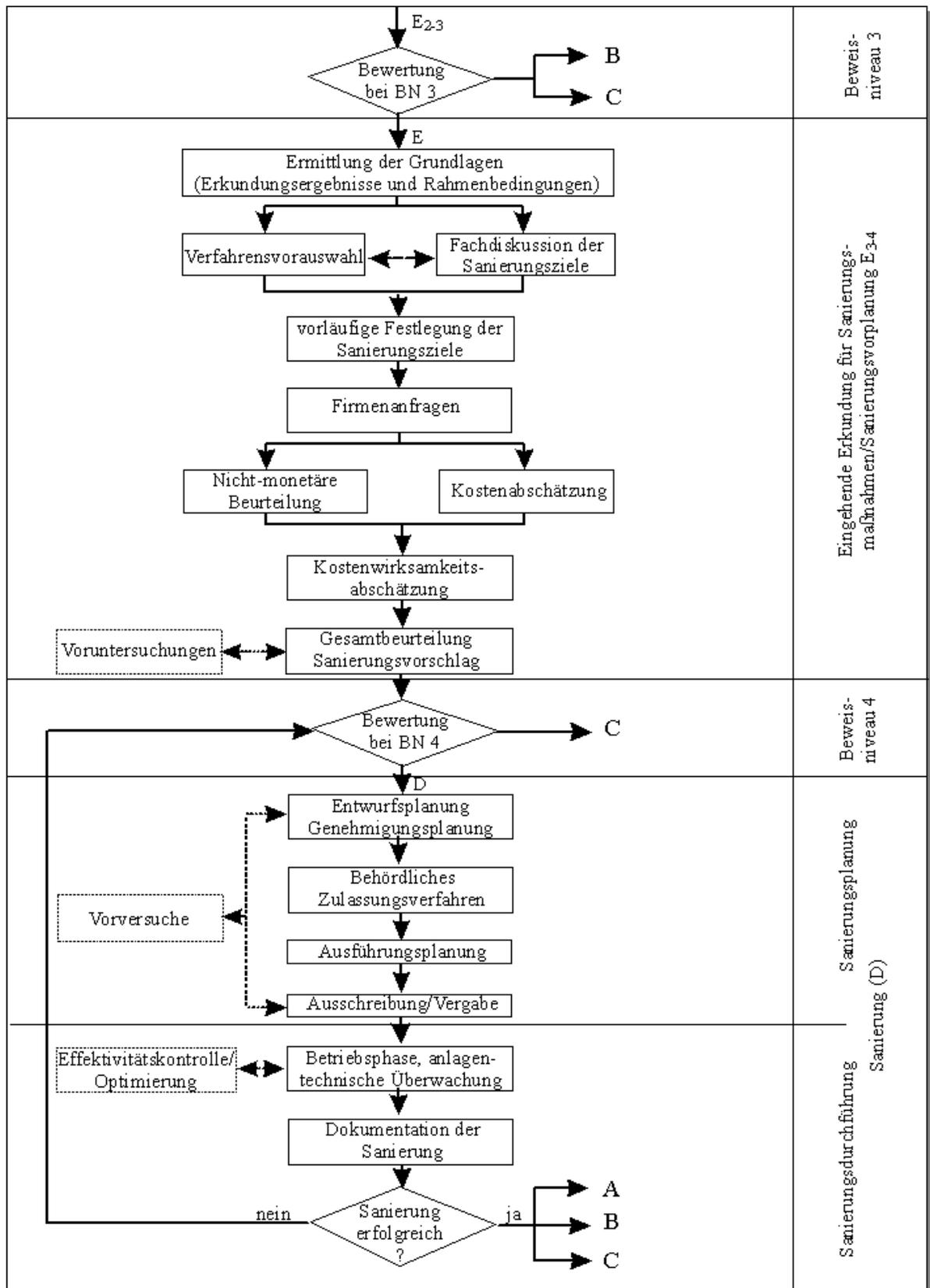


Abb.4: Ablaufschema für die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung, die Planung und Durchführung der Sanierung.

## **2. Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>)**

Die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>) wird ausgeführt, falls auf Beweinsniveau 3 ein diesbezüglicher Handlungsbedarf festgestellt wurde. Sie hat die Aufgabe, die in Frage kommenden Sanierungsalternativen (Sicherungs- und Dekontaminationsverfahren) zu erarbeiten, sie nach monetären und nicht-monetären Bewertungskriterien den Sanierungszielen gegenüberzustellen und damit bei der Bewertung auf Beweinsniveau 4 die Grundlagen für eine Sanierungsentscheidung bereitzustellen.

Nach der Entscheidung zur eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung ist von qualifizierten Stellen (Ingenieurbüro u. a.) in Abstimmung mit dem Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz (WBA) in einem Vorplanungskonzept (Angebot) der Leistungsumfang zu konkretisieren.

Auch im weiteren Verlauf der Arbeiten ist die enge Abstimmung zwischen Ingenieurbüro und Behörden (z. B. Untere Wasserbehörde, WBA) notwendig.

Da es den einfachen Altlastensanierungsfall in der Regel nicht gibt, sind grundsätzlich alle im folgenden beschriebenen Schritte abzuhandeln. Im Einzelfall ist hinsichtlich der Tiefe der Bearbeitung ein gewisses Maß an Flexibilität angebracht. Kleinere Altlasten wie z. B. ein aufgefällter Bombentrichter oder Fälle, bei denen sich ein Sanierungsverfahren als Stand der Technik hinreichend bewährt hat, erfordern eine weniger intensive und detaillierte Ausarbeitung als komplexe Fälle (z.B. Gaswerk).

Bei komplexeren Altlasten kann in begründeten Einzelfällen zur Vereinfachung eine Aufsplittung in verschiedene Teilbereiche und/oder Schutzgüter sinnvoll sein. So können eventuell größere Altlastenflächen mit variierender(m) Kontaminationsart und -grad in Teilflächen unterteilt werden. Sind bei einer anstehenden Sanierung mehrere Schutzgüter betroffen, gilt es zu klären, inwieweit eine getrennte Bearbeitung sinnvoll ist.

### **2.1 Ermittlung der Grundlagen (Erkundungsergebnisse und Rahmenbedingungen)**

Grundlage der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung sind die Ergebnisse der vorangegangenen Erkundungsstufen und die standortspezifischen Rahmenbedingungen.

Nach Altlastenhandbuch ist BN 3 mit folgenden Merkmalen beschrieben:

Durch ergänzende Messungen und Untersuchungen ist die Altlast soweit erkundet, daß Art und räumliches Ausmaß der Schadstoffbelastung am Standort und in den betroffenen Schutzgütern sowie die expositionsrelevanten Verhältnisse des Standortes umfassend bekannt sind.

Da die anschließende E<sub>3-4</sub>-Bearbeitung nur noch Untersuchungen im Hinblick auf alternative Sanierungsvorschläge und zur Festlegung der Sanierungsziele vorsieht, ist davon auszugehen,

daß diese Merkmale für Beweisniveau 3 nur dann erfüllt sind, wenn sowohl die P-Werte als auch die eM-Werte für die 4 Schutzgüter der Verwaltungsvorschrift "Orientierungswerte" festgestellt bzw. berechnet und mit dem vorgefundenen, quantitativ erkundeten und im E<sub>2-3</sub> Gutachten übersichtlich dargestellten (Schadstoffverteilungen räumlich und über statistische Kenngrößen (Median, 90tes Perzentil etc.)) Zustand der Umwelt im jeweiligen Geltungsbereich der P- bzw. eM-Werte verglichen werden können.

Im einzelnen sind dies:

### **Ergebnisse der historischen und technischen Erkundung**

- Standortbeschreibung
- Geologische Verhältnisse
- Hydrogeologische Verhältnisse
- Schadensbild (Art und Konzentration)
- Schadstoffverteilung (Fläche, Tiefe, Ausbreitung)
- Betroffene Schutzgüter bzw. Emissions-/Immissionsverhältnisse

### **Rahmenbedingungen**

- Planungsrechtliche Vorgaben (z. B. Naturschutz)
- Aktuelle Nutzung, gegebenenfalls Nutzungsabsichten
- Besondere Hinweise für die eingehende Erkundung
- Bearbeitungstiefe der eingehenden Erkundung (E<sub>3-4</sub>)

Die Ergebnisse und Rahmenbedingungen müssen zu Beginn der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung in übersichtlicher Form zusammengestellt werden.

## 2.2 Verfahrensvorauswahl

Die **Verfahrensvorauswahl** soll grundsätzlich durchgeführt werden. Dazu werden alle für Altlasten marktgängigen Sanierungsverfahren und Verfahrenskombinationen aufgelistet. Die folgende Aufstellung kann als Grundlage dienen.

|                           |                                 |  |
|---------------------------|---------------------------------|--|
|                           |                                 | vollständige Deponierung   |
| Dekontaminationsverfahren | ex-situ (off-site bzw. on-site) | naßmechanische Behandlung (Bodenwaschverfahren)<br>Thermische Behandlung<br>Mikrobiologische Behandlung (Miete, Beet, Reaktor)<br>Chemische Behandlung (Extraktion, Ozonierung, Oxidation)   |
| Dekontaminationsverfahren | in-situ                         | Mikrobiologische Behandlung<br>Chemische Behandlung (Extraktion, Ozonierung, Oxidation)<br>Elektrochemische Behandlung<br>Hydraulische Verfahren (in-situ-Strippen, Durchspülen, UVB)<br>Pneumatische Verfahren (Bodenluftabsaugung)   |
| Sicherungsverfahren       | ex-situ bzw. in-situ            | Immobilisierung<br><br>Oberflächenabdeckung (Schutzschicht)<br>Oberflächenabdichtung<br>Umschließungsmaßnahme (vertikale Dichtwände)<br>nachträgliche Sohlabdichtung<br>hydraulische Maßnahmen (Grundwasserabsenkung, umleitung u. a.) |

In einer ersten Auswahl werden aus technischen und schadstoffspezifischen Gründen im Einzelfall nicht einsetzbare Verfahren unter Angabe einer Begründung ausgeschieden. So können z. B. die meisten in-situ-Verfahren bei gering durchlässigem Boden und mikrobiologische Verfahren bei nicht abbaubaren Schadstoffen ausgeschieden werden.

Zur **Verfahrensvorauswahl** sind folgende Kriterien heranzuziehen:

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| • Schadstoffinventar                | (organisch, anorganisch; löslich; flüchtig; abbaubar; toxisch u. a.)                               |
| • Schadstoffbilanz                  | (Menge, Konzentration, u.a.)   |
| • Schadstoffverteilung              | (ungesättigte, gesättigte Zone; heterogen, homogen, u. a.)   |
| • Untergrundverhältnisse            | (Fest-, Lockergestein; Bodenart; Auffüllung; Abfall; Durchlässigkeit u. a.)                        |
| • Nutzung am Standort               | (Bebauung u. a.)   |
| • Grundsätzliche Funktionsfähigkeit | (Entwicklungsstand u. a.)  |
| • Grundsätzliche Verfügbarkeit      | (Genehmigungsstand u. a.)  |
| • Erreichbare Sanierungsziele       | (Grundsätzliche Anforderung, Allgemeine Mindestanforderung, Einzelfallbezogene Mindestanforderung) |

Bei grundsätzlich einsetzbaren Verfahren kann es notwendig sein, Einschränkungen zu vermerken. So sind manche Verfahren nur für Teilbereiche oder Teilaufgaben einer Sanierung geeignet.

Die Verfahrensvorauswahl muß darüber hinaus die Fachdiskussion der Sanierungsziele berücksichtigen. Verfahren, welche nicht einmal die 3. Sanierungszielstufe (einzelfallbezogene Mindestanforderung) erreichen können, werden ausgeschieden. Für die grundsätzlich einsetzbaren Verfahren muß die erreichbare Sanierungszielstufe (Grundsätzliche Anforderung, Allgemeine Mindestanforderung oder einzelfallbezogene Mindestanforderung) angegeben werden. Die Verfahrensauswahl muß deshalb immer parallel zu der Fachdiskussion der Sanierungsziele erfolgen.

Die Auflistung und Ausscheidung der Verfahren bzw. Einschränkungen zu den grundsätzlich einsetzbaren Verfahren können zweckmäßigerweise tabellarisch erfolgen:

| Verfahren | Am Standort grundsätzlich einsetzbar | Begründung für ein Ausscheiden/ Einschränkungen |
|-----------|--------------------------------------|---|
| 1         | ja                                   | nur für sandig-kiesige Auffüllung effektiv      |
| 2         | nein                                 | für vorliegendes Schadstoffspektrum ineffektiv  |
| 3         | ja                                   | erreicht nur 3. Stufe der Sanierungsziele       |
| usw.      |                                      |   |

Nach durchgeführter Verfahrensvorauswahl reduziert sich die Anzahl der zur Sanierung der Altlast einsetzbaren Verfahren mehr oder weniger stark.

Da bei der weiteren Bearbeitung die ausgeschiedenen Verfahren nicht mehr berücksichtigt werden müssen, reguliert die Verfahrensvorauswahl den Umfang der gesamten eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung.

Um im voraus den Aufwand der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung abschätzen zu können, ist es deshalb sinnvoll, die Verfahrensvorauswahl in grober Form bei der Angebotsphase mit dem Amt für Wasserwirtschaft und Bodenschutz abzuklären.

Die am Standort grundsätzlich einsetzbaren Verfahren sollten kurz beschrieben werden.

Dabei ist es sinnvoll, ein Datenblatt mit den Eckdaten des Sanierungsverfahrens zu erstellen. Die Beschreibung soll im wesentlichen folgende Informationen enthalten:

- Verfahrensbeschreibung mit Verfahrensskizze
- Stand der Technik/Referenzen
- Wirksamkeit
- Zeitbedarf

Die Daten sind aus vorliegenden eigenen Erkenntnissen, über Firmenanfragen oder eventuell auch aus der Literatur zu beziehen. Sie bilden u. a. auch die Grundlage der monetären und nicht-monetären Beurteilung.

## 2.3 Fachdiskussion der Sanierungsziele

Mit Erlaß des Ministeriums für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg und des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 16.09.1993 sind die Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen in einer Verwaltungsvorschrift (VwV) geregelt.

Zur Festlegung von Sanierungszielen gelten folgende drei Stufen:

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung (Hintergrundwerte; H-Werte)
2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung (Prüfwerte; P-Werte)
3. Stufe: einzelfallbezogene Mindestanforderung (eM-Werte)

Die grundsätzliche Anforderung und die allgemeine Mindestanforderung sind durch Konzentrationswerte festgelegt. In der 3. Stufe sind Werte zur Berücksichtigung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (eM-Werte) einzelfallspezifisch zu ermitteln. Die VwV "Orientierungswerte" enthält Hinweise, wie dies erfolgen soll. Die Grundlagen der eM-Werte werden bereits im Zuge der E<sub>2-3</sub>-Bearbeitung ermittelt. Sie zählen als Grundlage der E<sub>3-4</sub>-Bearbeitung gemäß 2.1.

Im Rahmen der Fachdiskussion der Sanierungsziele sind die Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten, die eine Abwägung ermöglichen, ob H-, P- oder eM-Werte als Sanierungsziele heranzuziehen sind.

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, sind die Sanierungsziele bei der Verfahrensvorauswahl zu berücksichtigen.

## 2.4 Vorläufige Festlegung der Sanierungsziele

Bei der vorläufigen Festlegung von Sanierungszielen ist anhand einer Abwägung unter Berücksichtigung der Angemessenheit des Aufwandes und der Umweltbilanz zu entscheiden.

Als Orientierungsrahmen werden Konzentrationswerte verwendet, die nach 3 Belastungsstufen gegliedert sind:

1. Stufe Grundsätzliche Anforderung: Hintergrundwerte
2. Stufe Allgemeine Mindestanforderung: Prüfwerte
3. Stufe Werte, die aus der einzelfallbezogenen Mindestanforderung abzuleiten sind.

Das Ziel von Sanierungsmaßnahmen sollte grundsätzlich sein, einen Zustand zu schaffen, der im ehemals kontaminierten Boden, Bodeneluat oder Grundwasser nur noch Schadstoffkonzentrationen aufweist, die den natürlichen oder anthropogenen Hintergrundwerten entsprechen oder diesen nahekommen (1. Stufe, grundsätzliche Anforderung).

Ergibt sich aus der Abwägung, daß Hintergrundwerte nicht als Sanierungsziel herangezogen werden können, sind zur Sicherstellung eines angemessenen Schutzes für die Menschen, unter Beachtung seiner wichtigsten Umweltnutzungen und des Grundwassers, zumindest die folgenden Schutzgüter zu berücksichtigen:

- Grundwasser
- Grundwassernutzungen
- Gesundheit von Menschen auf kontaminierten Flächen
- Boden, Schutzgut Pflanzen.

Die allgemeine Mindestanforderung an das Sanierungsziel (2. Stufe) ist es, diese Schutzgüter zu berücksichtigen, ohne daß dabei die Wirkung von Barrieren gegen Schadstoffausbreitung, Verdünnung, Nutzungsverzicht oder sonstige Besonderheiten des jeweiligen Einzelfalls berücksichtigt werden.

In der Verwaltungsvorschrift sind dazu Prüfwerte angegeben. Werden diese Prüfwerte unterschritten, ist ein ausreichender Schutz für die Schutzgüter gewährleistet.

Die Werte zum Schutz von

- Grundwasser beziehen sich auf das Bodeneluat
- Grundwassernutzungen beziehen sich auf das Grundwasser selbst
- Menschen und Pflanzen beziehen sich auf die Gesamtgehalte im Boden.

Wenn die Abwägung ergibt, daß es nicht möglich ist, die Werte zur Berücksichtigung der allgemeinen Mindestanforderung bei der Festlegung von Sanierungszielen zu berücksichtigen, können die Sanierungsziele aus der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (3. Stufe) abgeleitet werden. Diese Werte berücksichtigen alle Umstände des Einzelfalls, wie Barrieren gegen die Schadstoffausbreitung, mögliche und akzeptable Verdünnung, die Frage der Nutzungswürdigkeit und der vorhandenen bzw. aufgegebenen Nutzungen.

Diese Werte können demzufolge nicht als feste Werte aus einer Liste entnommen werden.

Die Verwaltungsvorschrift gibt Hinweise, wie diese Werte unter Berücksichtigung der Umstände des jeweiligen Einzelfalles zu berechnen oder festzulegen sind.

Im Rahmen der Sanierungsvorplanung erfolgt in enger Abstimmung mit den Fachbehörden eine vorläufige Festlegung auf eine Sanierungszielstufe. Die beiden verbleibenden Sanierungszielstufen sollen bei der E<sub>3-4</sub>-Bearbeitung grundsätzlich aber auch mitberücksichtigt werden. Dies betrifft insbesondere die Kostenwirksamkeitsabschätzung (Kap. 2.8) und hält für die Bewertung auf Beweisniveau 4 (Kap. 3) die Möglichkeit zur Festlegung einer anderen Sanierungszielstufe offen. In der Regel beinhaltet die vorläufige Festlegung der Sanierungsziele eine vereinfachte Betrachtung der 1. und 2. Stufe (Grundsätzliche Anforderung und Allgemeine Mindestanforderung) und eine detaillierte Beschreibung der 3. Stufe (einzelfallbezogene Mindestanforderung).

## 2.5 Firmenanfragen

Zur Unterbreitung eines Sanierungsvorschlages ist es notwendig, für die am Standort einsetzbaren Verfahren eine Kostenabschätzung und eine nicht-monetäre Beurteilung vorzunehmen.

Es empfiehlt sich, die Kosten bei Sanierungsfirmen abzufragen, wobei möglichst ein breites Firmenspektrum zu berücksichtigen ist. Dabei sollten mehrere Firmen je Verfahren angesprochen werden. Desweiteren sollen durch die Firmenanfragen Informationen über die Sanierungsverfahren erhoben werden, die im Zuge der nicht-monetären Beurteilung (Kap. 2.7) eine Einordnung nach den Kriterien Umweltauswirkungen/Umweltverträglichkeit, technischer Stand und organisatorische Bedingungen ermöglicht.

Bei den Firmenanfragen ist es notwendig, den Schadensfall mit seinen Randbedingungen detailliert zu beschreiben. Es ist aber nicht zweckmäßig, ein langes Gutachten als Informationsträger zu benutzen, sondern eine tabellarische, übersichtliche Zusammenstellung.

Im wesentlichen sind für die Firmenanfragen folgende Informationen notwendig:

### **Dekontaminationsverfahren (ohne in situ-Dekontamination)**

- Infrastruktur (Platz, Versorgungseinrichtungen, Zugänglichkeit u. a.)
- Bodenart und Struktur
- Schadstoffspektrum (Art, Menge, Konzentration und Bindung)
- Schadstoffausdehnung (Fläche, Tiefe)
- geforderte Dekontaminationsleistung (Konzentration, Menge/Zeiteinheit)
- Besonderheiten
- ggfs. Hinweise für Arbeitsschutz und Umgebungsschutz

### Sicherungsverfahren (und in-situ-Dekontamination)

- Infrastruktur (Zugänglichkeit, Bebauung u. a.)
- räumliche Ausdehnung (Geometrie)
- geologische/bodenmechanische Verhältnisse (Lithologie, Bodenart, Gesteinsbeschaffenheit)
- Boden bzw. Felsklassen
- hydrogeologische Verhältnisse (Durchlässigkeit, Fließgeschwindigkeit)
- hydrochemische Verhältnisse (Grundwasserqualität)
- Schadstoffspektrum (Art, Menge, Konzentration u. Bindung)
- angestrebte Sanierungsleistung
- Schadstoffverteilung
- Besonderheiten
- ggfs. Hinweise für Arbeitsschutz und Umgebungsschutz

Alternativ können die verfahrensspezifischen Informationen und Kosten aus eigener Erfahrung und aus der Fachliteratur ermittelt werden. Diese Möglichkeiten sollen aber nicht grundsätzlich Firmenanfragen ersetzen, sondern nur ergänzend hinzugezogen werden.

Wichtig sind möglichst genaue Kostenangaben, da das Ergebnis der späteren Kostenabschätzung und der Kostenwirksamkeitsabschätzung davon abhängt.

Zur Kostenabschätzung (Kap. 2.6) sind die Anfragen so zu gestalten, daß die Vergleichbarkeit der ermittelten Kosten gegeben ist.

## 2.6 Kostenabschätzung

Im Hinblick auf die Ermittlung der Gesamtsanierungskosten und die Kostenwirksamkeitsabschätzung müssen die Sanierungskosten umfassend für jedes Sanierungsverfahren, aber auch für die Verfahrenskombinationen aus den ermittelten Kosten und Preisen der Firmenanfragen zusammengestellt werden. Die Kostenabschätzung hat einen erheblichen Einfluß auf die Sanierungsentscheidung und ist daher besonders sorgfältig durchzuführen. Die Kostenabschätzung für jedes Verfahren beinhaltet alle Kosten der Sanierungsplanung und Sanierungsdurchführung.

Die Kosten beinhalten:

- Ingenieur-, Planungskosten
- vorbereitende Maßnahmen  
(Baustelleneinrichtung, Infrastrukturmaßnahmen, Erdaushub, u. a.)
- Durchführung der Sanierung  
(Dekontaminationsverfahren bzw. Erstellung einer Sicherungsmaßnahme, Investitions-/Betriebskosten, Reststoffentsorgung, begleitende Kontrolle, Arbeitsschutz u. a.)

Die Kosten bei Sicherungsverfahren sind längerfristig gegeben. Für einen Vergleich mit Dekontaminationsverfahren müssen deshalb Kostenvergleichsrechnungen (vgl. LAWA-Schrift: "Durchführung von Kostenvergleichsberechnungen") vorgenommen werden.

## 2.7 Nicht-monetäre Beurteilung

Zur Herbeiführung einer Sanierungsentscheidung müssen auch Kriterien herangezogen werden, die monetär nicht oder nur schwierig zu fassen sind.

Die nicht-monetäre Beurteilung beinhaltet technische und organisatorische Kriterien, sowie Kriterien zu Umweltauswirkungen/Umweltverträglichkeit.

Die zu verwendenden Kriterien sind in Tab. 1 dargestellt. Im Einzelfall sind dieser Liste weitere relevante Kriterien zuzufügen und für den Standort nicht maßgebliche Kriterien zu streichen.

Zur nicht-monetären Beurteilung empfiehlt sich die Verwendung einer Entscheidungsmatrix. Dabei werden die einzelnen Sanierungsverfahren bezüglich der nicht-monetären Kriterien mit Hilfe eines Punktesystems beurteilt.

Die Beurteilung erfolgt durch eine Zahlen- oder Symbolskala, wobei zu beachten ist, daß die nicht-monetäre Beurteilung größtenteils nur qualitative Aussagen ermöglicht. Es ist daher zu vermeiden, daß durch eine zu differenzierte Bewertungsskala eine quantitative Meßbarkeit vorgetäuscht wird.

Im Einzelfall kann es sinnvoll sein, eine Gewichtung der einzelnen Kriterien (mittels verschiedener Multiplikatoren) vorzunehmen. Diese Gewichtung muß aber nach objektiv nachvollziehbaren Gesichtspunkten erfolgen und darf keinen subjektiven Einflüssen unterliegen.

Im Einzelfall kann ein Kriterium auch ein Ausschlußkriterium für ein Verfahren darstellen. So fällt ein on-site-Dekontaminationsverfahren aus, sofern der Platz zur Aufstellung einer Dekontaminationsanlage vor Ort nicht ausreicht.

Die verwendeten Beurteilungskriterien und die Beurteilungsskala müssen definiert und erläutert werden.

Dies kann z. B. auf folgende Art und Weise erfolgen:

### Kriterium Entwicklungsstand/Referenzen

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| Definition        |   | Beurteilt wird, inwieweit die Verfahren technisch entwickelt und in der Praxis erprobt worden sind   |
| Beurteilungsskala | + | technisch entwickelt und in der Praxis zur Sanierung bzw. Sicherung von Altlasten erfolgreich eingesetzt.                                    |
|                   | 0 | technisch entwickelt, in der Praxis zur Sanierung bzw. Sicherung von Altlasten noch nicht eingesetzt, jedoch im Versuchsbetrieb erfolgreich. |
|                   | - | befindet sich noch in der Entwicklung.   |

**Kriterium Restprodukte: Anfall und Verwertbarkeit**

|                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| Definition:        |   | Beurteilt werden die Entstehung von Restprodukten (Menge, Schadstoffgehalt) und ihre Entsorgung                                  |
| Beurteilungsskala: | + | Es entstehen keine Restprodukte bzw. sie sind uneingeschränkt wieder verwertbar.   |
|                    | 0 | Es entstehen geringe Mengen an Restprodukten bzw. sie sind eingeschränkt oder erst nach einer Folgebehandlung wieder verwertbar. |
|                    | - | Es entstehen große Mengen an Restprodukten bzw. sie sind nicht wieder verwertbar (z. B. Sonderabfall)                            |

Mit Hilfe der Beurteilungsskala können die einzelnen Sanierungsverfahren hinsichtlich der nicht-monetären Gesichtspunkte in einer Matrix eingeordnet werden.

Die Matrix enthält die für den Standort maßgeblichen Beurteilungskriterien (Beispiel von Abb. 2).

**Tabelle 1: Nicht-monetäre Kriterien:**

|   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Technische Kriterien</b></li></ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Entwicklungstand/Referenzen</li><li>• Betriebssicherheit</li><li>• Verfügbarkeit</li><li>• Reparatur-/Wartungsfreundlichkeit</li><li>• Regelbarkeit der Inputschwankungen</li><li>• Kompatibilität zu anderen Maßnahmen</li><br/><li>• Komplexität</li><li>• Flexibilität</li><br/><li>• Arbeitsschutzmaßnahme</li><li>• Automatisierbarkeit</li></ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Organisatorische Kriterien</b></li></ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• öffentliche /politische Akzeptanz</li><br/><li>• Flächenbedarf</li><li>• Infrastrukturbedarf</li><li>• zusätzliche Verkehrsbelastung</li><br/><li>• Genehmigungsanforderungen</li><li>• Koordinationsbedarf</li></ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Umweltauswirkungen/-verträglichkeit</b></li></ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Dauer bis Erreichen der vollen Wirksamkeit</li><li>• Dauer der vollen Wirksamkeit/Langzeitverhalten</li><br/><li>• Kontroll-/Reparaturmöglichkeit</li><li>• Auswirkungen auf Biotop und Landschaft</li><li>• Emission Lärm</li><li>• Emission Abgas, Staub, Geruch</li><li>• Emission Abwasser</li><li>• Emission Schadstoffkonzentrat</li><br/><li>• Eingriff in den Untergrund/Störung der Untergrundverhältnisse</li><li>• Energieverbrauch</li><li>• Bilanz: Schadstoffaufkonzentrierung, -vernichtung, -verdünnung, -verlagerung, -metabolisierung</li><li>• Restprodukte: Anfall und Verwertbarkeit</li><br/><li>• Störfallsicherheit</li></ul> |

| nicht monetäre Kriterien                   | Verfahren I | Verfahren II | Verfahren III | Verfahren IV |
|--|-------------|--------------|---------------|--------------|
| Dauer bis Erreichen der vollen Wirksamkeit | +           | -            | +             | +            |
| Restprodukte                               | -           | +            | -             | 0            |
| Entwicklungsstand                          | +           | -            | +             | +            |
| Verfügbarkeit                              | 0           | 0            | +             | +            |
| Öffentliche/ politische Akzeptanz          | 0           | +            | +             | -            |
| Flächenbedarf                              | -           | -            | +             | +            |
| Genehmigungsanforderungen                  | 0           | 0            | +             | +            |
| Summe „+“                                  | 2           | 2            | 6             | 5            |
| Summe „-“                                  | 2           | 3            | 1             | 1            |
| Bilanz                                     | 0           | -1           | +5            | +4           |

**Abb. 5: Beispiel für die Beurteilung von Sanierungsverfahren nach nicht-monetären Kriterien**

Die Beurteilung erfolgt durch Addition der "+"-Symbole (positive Einstufung) und Subtraktion der "-"-Symbole (negative Einstufung). "0" besitzt neutralen Charakter.

Neben der aus Addition und Subtraktion errechneten Bilanz kann auch die einfache Summe der positiven bzw. negativen Einstufungen für die nicht-monetäre Beurteilung wichtig sein. So ist ein Verfahren kritisch zu prüfen, daß trotz positiver Bilanz mehrere negative Einstufungen bei Einzelkriterien beinhaltet. Nicht zu akzeptierende negative Auswirkungen bei Einzelkriterien können auch bei positiver Bilanz ein Ausscheiden eines Sanierungsverfahrens bewirken. Ebenso können zu viele neutrale Einstufungen auf einen nicht optimalen Erfolg einer Sanierungsdurchführung hinweisen.

Mit Hilfe der nicht-monetären Beurteilung können Sanierungsverfahren mit vorwiegend negativen Einstufungen bzw. negativer Bilanz aus der weiteren Sanierungsvorplanung ausgeschieden werden. Die nicht-monetäre Beurteilung reguliert folglich auch die Anzahl der Verfahren für die Kostenwirksamkeitsabschätzung (Kap. 2.8).

## 2.8 Kostenwirksamkeitsabschätzung

Für die nach der nicht-monetären Beurteilung zur Sanierung übrig gebliebenen Verfahren werden in der **Kostenwirksamkeitsabschätzung** die Kosten und die Wirksamkeit einander gegenübergestellt.

### Wirksamkeit

Die **Wirksamkeit** steht für die Reduzierung der Schadstoffkonzentrationen bzw. -frachten auf einen durch das Sanierungsverfahren erreichbaren Wert. Sie ist schadstoffspezifisch.

Im einfachen Fall bezieht sich die Wirksamkeit eines Sanierungsverfahrens nur auf ein Schutzgut. Meistens muß die Wirksamkeit für mehrere Schutzgüter betrachtet werden, was in der Regel nur mit Hilfe von mehreren Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen möglich ist.

Die Wirksamkeit von Dekontaminationsverfahren wird je nach Schutzgut als wassergetragene Schadstoffaustragsrate (Eluat, Sickerwasser) oder als Restkonzentration in der Originalsubstanz gemessen. Die Sanierungsfirmen geben für ihr Verfahren erreichbare Reinigungsleistungen an, bzw. solche Werte sind in der Literatur angegeben. Verbindliche Werte können im Stadium der Preisanfragen nicht erwartet werden.

Weniger geeignet als Entscheidungsgrundlagen sind Angaben zur Reinigungsleistung in Form prozentualer Werte.

Die Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen drückt sich dadurch aus, in welchem Maß der Schadstofftransport aus der Altlast heraus unterbrochen wird. Das Schadstoffpotential bzw. die Schadstoffkonzentrationen in der Altlast bleiben unberührt.

Die Reduzierung des Schadstoffaustrags aus einer Altlast durch die Sicherungsmaßnahme (verminderte Durchlässigkeit, Transport u. a.) muß berechnet oder zumindest abgeschätzt werden.

Bei Sicherungsmaßnahmen einer Altlast muß grundsätzlich auch die Langzeitwirksamkeit betrachtet werden. In vielen Fällen wird jedoch bei der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung die Wirksamkeit vor allem in Form des Langzeitverhaltens nicht zu quantifizieren sein. Somit sind die Wirksamkeiten von Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen häufig nur unzureichend vergleichbar. In solchen Fällen muß das mit Langzeitmaßnahmen verbundene Risiko (evtl. nachlassende Wirksamkeit) bei der nichtmonetären Betrachtung in die Beurteilung aufgenommen werden.

## **Durchführung der Kostenwirksamkeitsabschätzung**

Um eine Sanierungsentscheidung treffen zu können, ist es notwendig, die voraussichtliche Wirksamkeit der Verfahren den jeweiligen Kosten gegenüberzustellen. Dazu eignet sich ein Diagramm. Auf der Ordinate wird die Wirksamkeit der Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen abgetragen. Da die Einordnung der Wirksamkeit hinsichtlich des Erreichens der bestmöglichen Sanierungszielstufe erfolgt, sind diese entsprechend den festgelegten Orientierungswerten für die 3 Sanierungszielstufen aufzutragen.

Die Abszisse gibt die jeweiligen Kosten des Verfahrens bzw. der Verfahrenskombination wieder.

In der Regel wird sich durch erhöhten Kosteneinsatz die Wirksamkeit, d. h. das erreichbare Sanierungsziel, erhöhen.

Abhängig von der Sanierungszielstufe kann das Verfahren bzw. die Verfahrenskombination ausgewählt werden, mit dem bei Erreichen des Sanierungsziels die geringsten Kosten auftreten ("Verfahren höchster Effizienz").

Die Kosten der Verfahren können nur mit einer gewissen Unschärfe angegeben werden. Deshalb sind Bandbreiten vorzusehen.

Je nach angestrebter Sanierungszielstufe können die Kosten bei ein und demselben Verfahren unterschiedlich sein, weshalb im Diagramm ein Verfahren mehrmals auftreten kann. Der

Übersicht wegen kann es auch sinnvoll sein, für jede Sanierungszielstufe ein eigenes Diagramm aufzustellen.

Die Kostenwirksamkeitsabschätzung bezieht sich streng genommen nur auf ein Schutzgut. Sind mehrere Schutzgüter betroffen, muß sie für jedes Schutzgut getrennt durchgeführt werden, d. h. mehrere Diagramme sind möglich. Die Ergebnisse der einzelnen Kostenwirksamkeitsabschätzungen erlauben die Einordnung der Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen nach ihrer Effizienz für alle Schutzgüter.

Des weiteren bezieht sich die Kostenwirksamkeitsabschätzung streng genommen nur auf einen Schadstoff. Liegen in einer Altlast mehrere Schadstoffe vor, werden für jeden Schadstoff Orientierungswerte aufgestellt. Die Wirksamkeit und auch die Kosten von Sanierungsverfahren sind schadstoffspezifisch. Es kann deshalb notwendig sein, für verschiedene Schadstoffe Kostenwirksamkeitsabschätzungen durchzuführen. Es sind folglich je nach zu betrachtenden Schutzgütern und Schadstoffen eine Vielzahl von Diagrammen möglich.

Zur Vereinfachung sollten deshalb - falls möglich - für die Kostenwirksamkeitsabschätzung und folglich auch für die Sanierungsentscheidung auf Beweismiveau 4 repräsentative Parameter aus einer Schadstoffgruppe verwendet werden, die in der Höhe der Konzentrationen und Umweltrelevanz der vertretenden Stoffgruppe stellvertretend für die Einzelschadstoffe eingesetzt werden können. Die Kontrolle des Sanierungserfolgs später muß aber auf jeden Fall für alle Schadstoffe erfolgen.

Aus den einzelnen Kostenwirksamkeitsabschätzungen (für alle Schutzgüter und alle Schadstoffe) können nun umfassende Verfahrenskombinationen zur vollständigen Sanierung der Altlast erstellt werden. Das geschieht in einem zusammenfassenden Diagramm, in dem die Verfahrenskombinationen entsprechend den Sanierungszielstufen, die sie erreichen, eingeordnet werden (Abb. 3). Wirkt eine Verfahrenskombination unterschiedlich in der Sanierung der einzelnen zu betrachtenden Schutzgüter oder in der Sanierungsleistung für einzelne Schadstoffe, muß die Einordnung in die Sanierungszielstufe im Diagramm für den ungünstigsten Fall erfolgen.

Bei einfacheren Altlastenfällen (ein Schadstoff, wenige Verfahren) kann auf eine Kostenwirksamkeitsanalyse mittels Diagramm verzichtet werden. Eine Tabelle genügt.

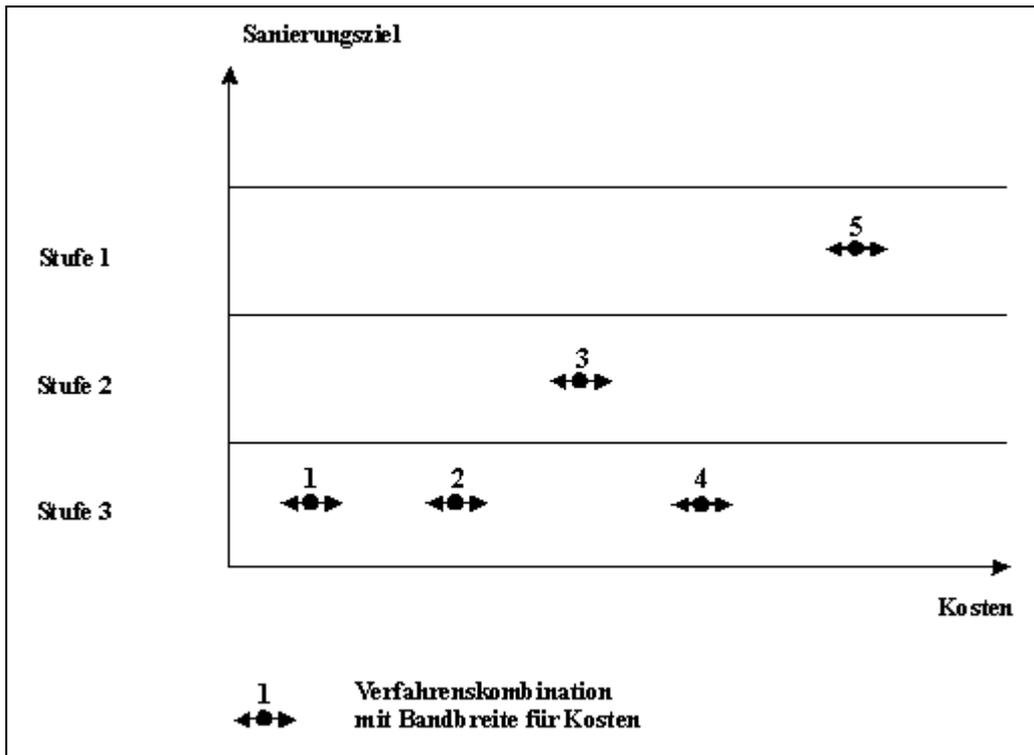


Abb. 6: Beispiel für die Kostenwirksamkeitsabschätzung

## 2.9 Gesamtbeurteilung/Sanierungsvorschlag

Für den endgültigen Sanierungsvorschlag sind die monetäre und nicht-monetäre Beurteilung der einzelnen Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen in einer Gesamtbeurteilung abzuwägen.

Aus der Kostenwirksamkeitsabschätzung kann eine Abfolge mehrerer Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen bezüglich ihrer Effizienz (Kostenwirksamkeit) aufgestellt werden.

Für die nicht-monetären Kriterien kann ebenso eine Abfolge angegeben werden.

Die Entscheidung für ein Verfahren bzw. eine Verfahrenskombination erfolgt durch Gegenüberstellung beider Abfolgen. Man wird in der Regel rein beschreibend die Gesamtbeurteilung vornehmen können.

Die Gesamtbeurteilung kann in Form einer Prioritätenliste erfolgen:

- |               |                        |
|---------------|------------------------|
| 1. Priorität: | Sanierungsvorschlag    |
| 2. Priorität: | 1. Alternativvorschlag |
| 3. Priorität: | 2. Alternativvorschlag |

Durch die Prioritätenliste wird vermieden, daß bei einem nachträglichen Ausscheiden des Sanierungsvorschlages die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/-vorplanung nochmals durchgeführt werden muß. Man kann somit auf den 1. Alternativvorschlag (2. Priorität) zurückgreifen. Im Einzelfall kann der Sanierungsvorschlag auch darin bestehen, eine fachtechnische Kontrolle vorzunehmen.

Der Sanierungsvorschlag kann darüberhinaus die Forderung nach Voruntersuchungen beinhalten. Die Voruntersuchungen dienen dabei ausschließlich der Entscheidungsfindung für ein Sanierungsverfahren. Entsprechend den Fragestellungen des Einzelfalls sind dies insbesondere chemisch-physikalische, bodenkundliche und hydrogeologische Spezialuntersuchungen. Die Voruntersuchungen können im Falle von Dekontaminationsverfahren z.B. labormäßige Abbauversuche für eine mikrobiologische Behandlung oder Waschversuche für ein Bodenwaschverfahren sein.

Die Voruntersuchungen gewinnen vor allem auch dann an Bedeutung, wenn zur Sanierung der Altlast kein ausgereiftes Verfahren zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen müssen wiederum in die Gesamtbeurteilung im Rahmen der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung einfließen.

### **3. Bewertung bei BN 4**

Auf Beweisniveau 4 wird auf der Grundlage des Berichts zur eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung gemäß Kapitel 2 die Sanierungsentscheidung getroffen. Sofern sich eine fachtechnische Kontrolle (C) als ausreichend erweist, wird deren Art und Umfang festgelegt. Im Falle der Notwendigkeit einer Sanierung werden das Sanierungsziel bzw. die Sanierungsziele endgültig festgelegt und ein Sanierungsverfahren ausgewählt. Die Sanierungsentscheidung betrifft lediglich das Verfahren als solches und ist nicht zwangsläufig eine Entscheidung für einen bestimmten Anbieter. Die Sanierungsfirma wird in der Regel im Rahmen der Sanierungsplanung über eine Ausschreibung ermittelt.

## 4. Sanierung (D)

Nach der Entscheidung über das einzusetzende Sanierungsverfahren bei Beweismiveau 4 beginnt die detaillierte Planung der Sanierung, die in die eigentliche Durchführung mündet.

### 4.1 Sanierungsplanung

Die Aufgaben der **Sanierungsplanung** können in Anlehnung an die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) mit folgenden Leistungsbildern beschrieben werden:

- Entwurfsplanung
- Genehmigungsplanung
- Ausführungsplanung
- Ausschreibung und Vergabe

Die Entwurfsplanung beinhaltet das stufenweise Durchplanen des Sanierungs-vorschlages unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen bis zu einem vollständigem Planungsentwurf.

Zeitgleich zur Entwurfsplanung erfolgt die Genehmigungsplanung. Sie besteht in der Erarbeitung und Zusammenstellung aller notwendigen Genehmigungsunterlagen. Die Genehmigungsplanung erfordert eine enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden. Sie mündet in ein behördliches Zulassungsverfahren.

Die erforderliche behördliche Zulassung kann folgende Rechtsgebiete und Bestimmungen betreffen:

- Wasserrecht
- Abfallrechtliche und Gefahrstoff/-gutrechtliche Verordnungen und Richtlinien
- Immissionsschutzrecht (Lärm, Geruch, Staub)
- Bergrecht
- Arbeitsschutz
- Baurecht (Abgrabungen, Gebäudeabbruch, Nutzungsänderungen, Standsicherheit, Korrosion)
- Naturschutzrecht
- Denkmalschutz
- Strahlenschutz

Die Ausführungsplanung sieht auf Grundlage der Entwurfsplanung und Genehmigungsplanung sowie der behördlichen Genehmigung die detaillierte Ausarbeitung der Sanierungsplanung bis zur ausführungsfähigen Lösung vor. Alle zur Sanierung notwendigen Einzelangaben sind in konkrete Ausführungs- und Detailpläne zu erstellen. Dazu zählen unter anderem auch die Aufstellung von Arbeitsschutzmaßnahmen, Klärung von Fragen der Sanierungsüberwachung und Erfolgskontrolle sowie die Planung eventuell notwendiger Nachsorgemaßnahmen (Langzeitüberwachung).

Die Ausschreibung setzt das Anfertigen einer detaillierten Leistungsbeschreibung voraus, die auf der Ausführungsplanung aufbaut. Spezielle Hinweise zur Ausschreibung gibt die VOB (Verdingungsordnung für Bauleistungen).

Nach Angebotsabgabe erfolgt die rechnerische Prüfung, die Erstellung eines Preisspiegels und eine technische Wertung als Grundlage der Auftragsvergabe.

Paralell zur Sanierungsplanung kann es sinnvoll sein, Vorversuche durchführen zu lassen. Im Gegensatz zu den Voruntersuchungen während der Sanierungsvorplanung erfolgen die Vorversuche verfahrensspezifisch von einem oder mehreren Verfahrensanbietern. Die Vorversuche dienen unter Umständen der großtechnischen Überprüfung der Sanierungsentscheidung und können die Grundlage der Vergabe sein. Je nach Erfordernis können die Vorversuche zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt der Sanierungsplanung angesiedelt werden.

## 4.2 Sanierungsdurchführung

Den Hauptteil der **Sanierungsdurchführung** nimmt die Betriebsphase des Sanierungsverfahrens ein. Die Betriebsphase muß stets von einer Effektivitätskontrolle begleitet sein. Gegebenenfalls muß der Verfahrensbetrieb modifiziert bzw. optimiert werden.

Nach Durchführung der Sanierung und entsprechender Dokumentation erfolgt die Überprüfung des Sanierungserfolgs.

Dabei wird entschieden, ob die Sanierung erfolgreich durchgeführt worden ist, d. h. ob die Sanierungsziele erreicht wurden.

Wurden die Sanierungsziele nicht erreicht, muß eine erneute Bewertung auf Beweismiveau 4 erfolgen.

Wurden die Sanierungsziele erreicht, erfolgt als weitere Festlegung:

- Die Altlast wird ausgeschieden und archiviert (A)  
oder
- sie wird zur Wiedervorlage in der Altlastendatei belassen (B)  
oder
- es ist eine fachtechnische Kontrolle notwendig (C).

## 5. Beispiele zur Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung/ Sanierungsvorplanung und Ermittlung der Sanierungsziele

Im folgenden werden anhand von drei beispielhaften Altlasten/ Schadensfällen die Notwendigkeit der eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung und die Ermittlung der Sanierungsziele dargestellt. Da die Berücksichtigung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (eM) am schwierigsten ist, wird bei allen Beispielen davon ausgegangen, daß diese Anforderung maßgeblich ist. Ergänzend wird auch dargestellt, welche Ziele sich ergeben würden, falls die grundsätzliche Anforderung oder die allgemeine Mindestanforderung maßgeblich wären.

Die Beispiele stellen abstrahierte, vereinfachte Praxisfälle dar und **betreffen ausschließlich den Grundwasserschutz vor verunreinigtem Boden**. Die Ermittlung der Sanierungsziele für Grundwassernutzungen (bereits kontaminiertes Grundwasser), Gesundheit von Menschen auf kontaminierten Flächen und Boden, Schutzgut Pflanzen sind in den vereinfachten Beispielen nicht dargestellt.

### A Mineralölkohlenwasserstoffschaden

Das Beispiel beinhaltet einen **Mineralölkohlenwasserstoffschaden** in der ungesättigten und teilweise in der gesättigten Bodenzone. In der gesättigten Bodenzone existiert ein kontaminierter und ein unkontaminierter Grundwasserteilstrom. Aufgrund der Asphaltierung der Erdoberfläche besteht kein Sickerwasserstrom durch die Altlast.

#### A1 Orientierungswerte Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H-W: 10 µg/l im Eluat

2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

P-W: 50 µg/l im Eluat

3. Stufe: einzelfallbezogene Mindestanforderung

Immissionsbegrenzung P-W: 50 µg/l im Grundwasser

Emissionsbegrenzung E<sub>max</sub>-W: 100 g/d

## A2 Erkundungsergebnisse

Konzentration (Bodeneluat) im Kontaminationsbereich:

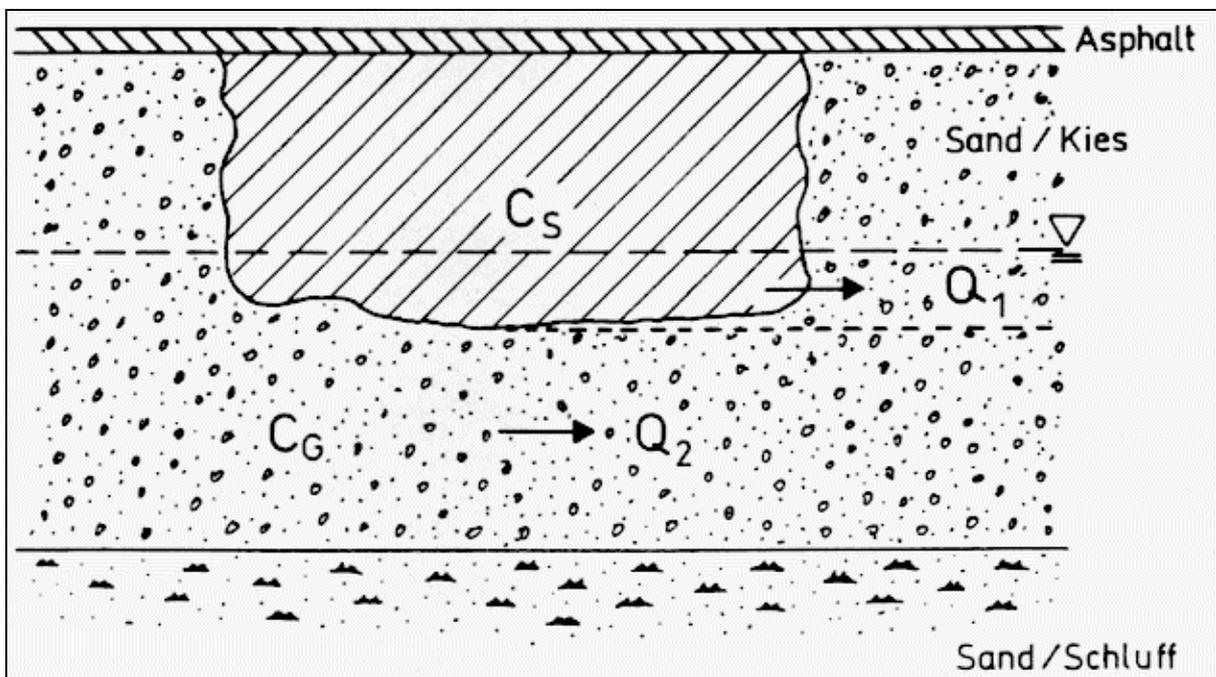
$$C_S = 2.000 \mu\text{g/l}$$

Konzentration im Grundwasser (oberstromig):  $C_G$ : n.n.

Teilstrom  $Q_1$ : 800.000 l/d

Teilstrom  $Q_2$ : 2.000.000 l/d

Die Kontamination liegt in einem genutzten und damit nutzungswürdigen Grundwasservorkommen.



## A3 Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung

Die im Bodeneluat gemessene repräsentative MKW-Konzentration von 2.000  $\mu\text{g/l}$  liegt über dem P-W-Wert. Damit ist gemäß Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen eine eingehende Erkundung/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>) notwendig.

## A4 Ermittlung der Sanierungsziele

Im Rahmen der eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung (E<sub>3-4</sub>) gelten folgende Anforderungen an die Sanierungsziele (1. und 2. Stufe) bzw. sind folgende Sanierungsziele zu berechnen (3. Stufe).

### 1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

$$\text{H-W:} \quad 10 \mu\text{g/l im Eluat}$$

### 2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

$$\text{P-W:} \quad 50 \mu\text{g/l im Eluat}$$

### 3. Stufe: einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Dekontamination

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = \text{P-W} * (Q_1 + Q_2)$$

$$C_{\text{SeM}} = 175 \mu\text{g/l im Eluat}$$

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = E_{\text{max-W}}$$

$$C_{\text{SeM}} = 125 \mu\text{g/l im Eluat}$$

- Die Emissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

### 3. Stufe: einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Sicherung

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_S * Q_{1eM} = \text{P-W} * (Q_{1eM} + Q_2)$$

$$Q_{1eM} = 51.282 \text{ l/d}$$

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_S * Q_{1eM} = E_{\text{max-W}}$$

$$Q_{1eM} = 50.000 \text{ l/d}$$

- Die Emissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

## A5 Sanierungsentscheidung

### Teil 1: Abwägung und Festlegung des Ziels

Die grundsätzliche Anforderung (H-W) und allgemeine Mindestanforderung (P-W) werden im vorliegenden Beispiel wegen unangemessenen Aufwands als Sanierungsziele ausgeschieden.

Maßgeblich für die Festlegung der Sanierungsziele ist daher die Einhaltung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung.

Sanierungsmöglichkeiten sind grundsätzlich:

- Schadstoffkonzentration im Bodeneluat auf  $C_{SeM} = 125 \mu\text{g/l}$  reduzieren (Dekontamination).
- Kontaminierten Teilstrom auf  $Q_{1eM} = 50.000 \text{ l/d}$  beschränken (Sicherung).

### Teil 2: Sanierungsnotwendigkeit

Die Sanierungsnotwendigkeit ist im vorliegenden Beispiel dadurch gegeben, daß der vorgefundene Zustand das hier maßgebliche Kriterium der einzelfallbezogenen Mindestanforderung nicht einhält.

## B BTEX-Kontamination

Bei dem vorliegenden Beispiel handelt es sich um eine **BTEX-Kontamination** in der ungesättigten Bodenzone. Es existiert ein Sickerwasserstrom durch den Kontaminationsbereich.

### B1 Orientierungswerte BTEX-Aromaten

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H-W: n.n. im Eluat

2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

P-W: 10 µg/l im Eluat

3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung

Immissionsbegrenzung P-W: 10 µg/l im Grundwasser

Emissionsbegrenzung E<sub>max</sub>-W: 20 g/d

### B2 Erkundungsergebnisse

Konzentration im Kontaminationsbereich (Bodeneluat):

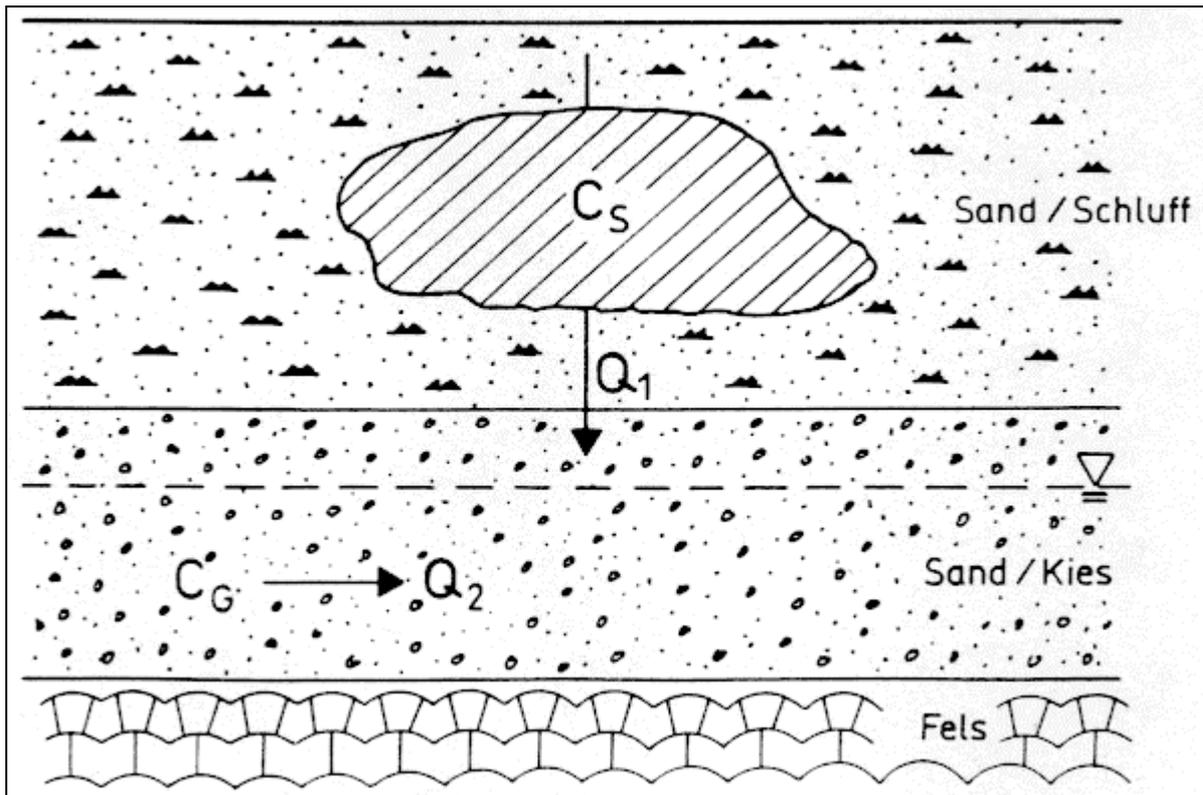
$C_S = 5.000 \mu\text{g/l}$

Konzentration im Grundwasser:  $C_G = \text{n.n.}$  (oberstromig)

Sickerwasserstrom:  $Q_1 = 2.000 \text{ l/d}$

Grundwasserstrom:  $Q_2 = 200.000 \text{ l/d}$

Das Grundwasservorkommen liegt oberstromig zu einem Wasserschutzgebiet, d. h. es ist auf jeden Fall Nutzungswürdig.



### B3 Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung

Die im Bodeneluat gemessene repräsentative BTEX-Konzentration von  $5.000 \mu\text{g/l}$  liegt über dem P-W-Wert. Damit ist gemäß der Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen eine eingehende Erkundung/Sanierungsvorplanung (E<sub>3,4</sub>) notwendig.

### B4 Ermittlung der Sanierungsziele

Im Rahmen der eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung (E<sub>3,4</sub>) gelten folgende Anforderungen an die Sanierungsziele (1. und 2. Stufe) bzw. sind folgende Sanierungsziele zu berechnen (3. Stufe).

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H-W: n.n. im Eluat

2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

P-W:  $10 \mu\text{g/l}$  im Eluat

### 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Dekontamination

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = P\text{-}W * (Q_1 + Q_2)$$

$$C_{\text{SeM}} = 1.010 \mu\text{g/l}$$

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = E_{\text{max}}\text{-}W$$

$$C_{\text{SeM}} = 10.000 \mu\text{g/l}$$

- Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

### 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Sicherung

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_S * Q_{1eM} = P\text{-}W * (Q_{1eM} + Q_2)$$

$$Q_{1eM} = 404 \text{ l/d}$$

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_S * Q_{1eM} = E_{\text{max}}\text{-}W$$

$$Q_{1eM} = 4.000 \text{ l/d}$$

- Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

## B5 Sanierungsentscheidung

### Teil 1: Abwägung und Festlegung des Ziels

Die grundsätzliche Anforderung (H-W) und allgemeine Mindestanforderung (P-W) werden im vorliegenden Beispiel wegen unangemessenen Aufwands als Sanierungsziele ausgeschieden.

Maßgeblich für die Festlegung der Sanierungsziele ist daher die Einhaltung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung.

Sanierungsmöglichkeiten sind grundsätzlich:

- Schadstoffkonzentration im Bodeneluat auf  $C_{\text{SeM}} = 1.010 \mu\text{g/l}$  reduzieren (Dekontamination).
- Kontaminierten Teilstrom auf  $Q_{1eM} = 404 \text{ l/d}$  beschränken (Sicherung).

### Teil 2: Sanierungsnotwendigkeit

Im vorliegenden Beispiel ist die Sanierungsnotwendigkeit gegeben, da der vorgefundene Zustand die hier maßgebliche einzelfallbezogene Mindestanforderung nicht einhält.

## C Altablagerung

Die **Altablagerung** im folgenden Beispiel liegt in der ungesättigten Bodenzone. Es existiert ein Sickerwasserstrom durch den Kontaminationsbereich. In einer abstromigen Grundwassermeßstelle wurden erhöhte Schadstoffkonzentrationen festgestellt. Eluatanalysen aus der Altlast liegen nicht vor.

### C1 Orientierungswerte

#### 1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H-W:  
im Eluat/Sickerwasser

|        |          |
|--------|----------|
| Zink   | 150 µg/l |
| Nickel | 3 µg/l   |
| Kupfer | 5 µg/l   |

#### 2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

P-W: :  
im Eluat/Sickerwasser

|        |           |
|--------|-----------|
| Zink   | 1500 µg/l |
| Nickel | 20 µg/l   |
| Kupfer | 100 µg/l  |

#### 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung

##### Immissionsbegrenzung

P-W:  
im Grundwasser

|        |           |
|--------|-----------|
| Zink   | 1500 µg/l |
| Nickel | 20 µg/l   |
| Kupfer | 100 µg/l  |

##### Emissionsbegrenzung

E<sub>max</sub>-W:

|        |           |
|--------|-----------|
| Zink   | 3.200 g/d |
| Nickel | 45 g/d    |
| Kupfer | 220 g/d l |

## C2 Erkundungsergebnisse

Konzentrationen im Kontaminationsbereich C<sub>S</sub>:

Es existieren keine Messungen der Schadstoffkonzentrationen im Eluat aus dem Altablagerungskörper. Die C<sub>S</sub>-Werte werden deshalb aus den Schadstoffkonzentrationen in der Grundwassermeßstelle (GWM) rückgerechnet.

Konzentrationen C<sub>G</sub> in der Grundwassermeßstelle:

Zink: 500 µg/l

Nickel: 25 µg/l

Kupfer: 20 µg/l

Teilstrom Q<sub>1</sub>: 120.000 l/d

Teilstrom Q<sub>2</sub>: 600.000 l/d

Teilstrom Q<sub>3</sub>: 30.000 l/d

Rückrechnung der C<sub>S</sub>-Werte aus C<sub>G</sub>:

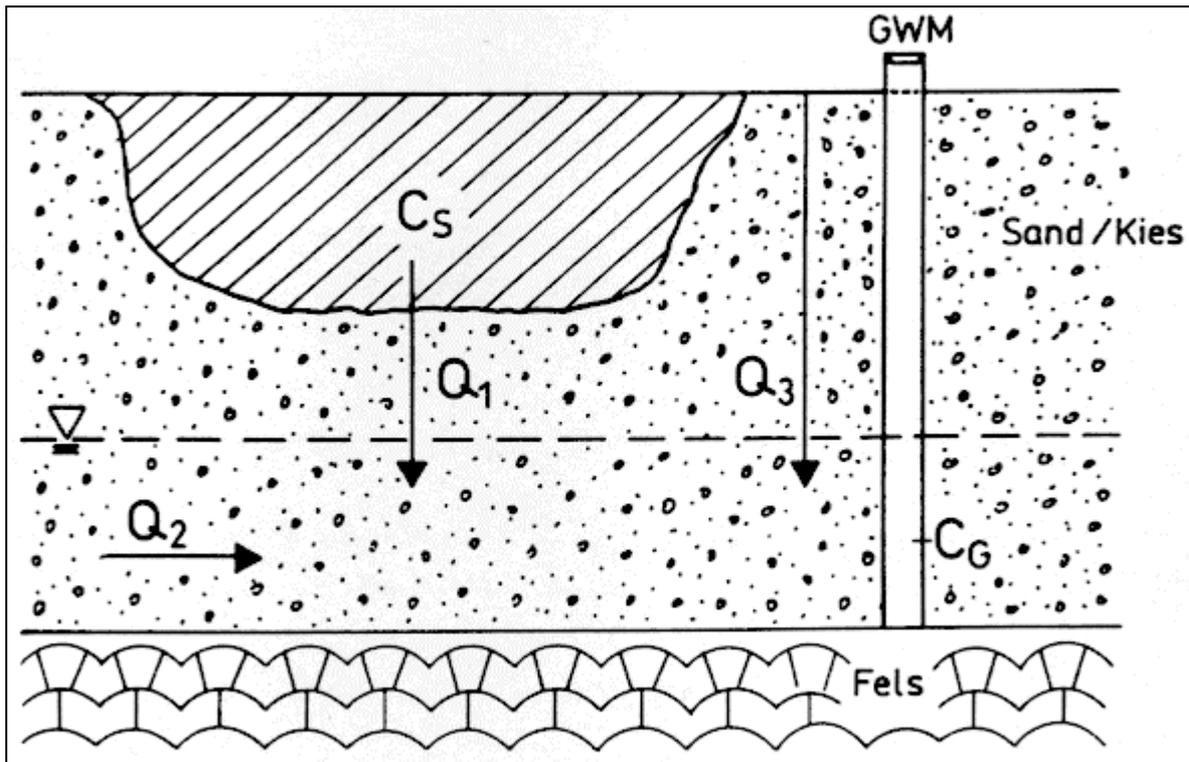
$$C_S \cdot Q_1 = (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot C_G$$

$$C_S: \text{ Zink} = 3.125 \text{ µg/l}$$

$$\text{ Nickel} = 156 \text{ µg/l}$$

$$\text{ Kupfer} = 125 \text{ µg/l}$$

Die Altablagerung liegt im Bereich nutzungswürdigen Grundwasservorkommens (Wasserangebot und geogene Beschaffenheit stehen einer Nutzung nicht entgegen).



### C3 Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung

Die rückgerechneten Schadstoffkonzentrationen für das Bodeneluat der Altanlage liegen über den P-W-Werten. Damit ist gemäß der Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen eine eingehende Erkundung/ Sanierungsvorplanung (E<sub>3,4</sub>) notwendig.

### C4 Ermittlung der Sanierungsziele

Im Rahmen der eingehenden Erkundung/Sanierungsvorplanung (E<sub>3,4</sub>) gelten folgende Anforderungen an die Sanierungsziele (1. und 2. Stufe) bzw. sind folgende Sanierungsziele zu berechnen (3. Stufe).

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H-W:  
im Eluat

Zink 150 µg/l

Nickel 3 µg/l

Kupfer 5 µg/l

## 2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

|          |           |
|----------|-----------|
| P-W:     | :         |
| im Eluat |           |
| Zink     | 1500 µg/l |
| Nickel   | 20 µg/l   |
| Kupfer   | 100 µg/l  |

## 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Dekontamination

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = P\text{-}W * (Q_1 + Q_2)$$

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| $C_{\text{SeM}}$ : |           |
| Zink               | 9000 µg/l |
| Nickel             | 120 µg/l  |
| Kupfer             | 600 µg/l  |

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = E_{\text{max}}\text{-}W$$

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| $C_{\text{SeM}}$ : |             |
| Zink               | 26.667 µg/l |
| Nickel             | 375 µg/l    |
| Kupfer             | 1.833 µg/l  |

- Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

## 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Sicherung

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_S * Q_{1eM} = P\text{-}W * (Q_{1eM} + Q_2)$$

|             |               |
|-------------|---------------|
| $C_{1eM}$ : |               |
| Zink        | 553.846 l/d   |
| Nickel      | 88.235 l/d    |
| Kupfer      | 2.400.000 l/d |

|                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| Emissionsbegrenzung | $C_S * Q_{1eM} = E_{\max-W}$ |
|                     | $C_{1eM}$ :                  |
|                     | Zink 1.024.000 l/d           |
|                     | Nickel 288.462 l/d           |
|                     | Kupfer 1.760.000 l/d         |

- Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

## C5 Sanierungsentscheidung

### Teil 1: Abwägung und Festlegung des Ziels

Die grundsätzliche Anforderung (H-W) und allgemeine Mindestanforderung (P-W) werden im vorliegenden Beispiel wegen unangemessenen Aufwands als Sanierungsziele ausgeschieden.

Maßgeblich für die Festlegung der Sanierungsziele ist daher die Einhaltung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung.

Sanierungsmöglichkeiten sind grundsätzlich:

- Schadstoffkonzentration im Eluat aus der Altablagerung auf  $C_{SeM}$  reduzieren (De-kontamination).
- Kontaminierten Teilstrom auf  $Q_{1eM} = 88.235$  l/d beschränken (Sicherung).

### Teil 2: Sanierungsnotwendigkeit

Die Sanierungsnotwendigkeit im vorliegenden Beispiel ist gegeben, da der vorgefundene Zustand die maßgebliche einzelfallbezogene Mindestanforderung (für Nickel) nicht einhält.

## **6. Beispiele zur eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/ Sanierungsvorplanung**

Im folgenden soll anhand zweier unterschiedlicher Altlasten die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung beispielhaft dargestellt werden. Die aufgeführten Beispiele betreffen einen ehemaligen Gaswerkstandort und eine Untergrundverunreinigung mit chlorierten Kohlenwasserstoffen.

Der Aufbau der Beispiele entspricht der Gliederung des Kapitels 2. Es empfiehlt sich, zum Verständnis der Beispiele Kapitel 2 als Grundlage zu benutzen.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Beispiele in den einzelnen Vorplanungsschritten nur stichpunktartig und beispielhaft abgehandelt sind und der Umfang nicht mit demjenigen eines vollständigen Vorplanungsberichts gleichgesetzt werden kann.

Weiterhin ist eine Vereinfachung unvermeidbar. Die z. T. komplexen Altlasten mit umfangreichen Erkundungsergebnissen sowie einer detaillierten eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung erfordern in diesem Rahmen eine abstrahierte Betrachtung. So sind die ausgewählten Sanierungstechniken oder die nicht-monetäre Beurteilung nicht ohne weiteres auf andere Fälle übertragbar.

Die Sanierungsziele in den Beispielen werden unter Berücksichtigung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (eM) festgelegt, um das Vorgehen dazu aufzeigen zu können. Ergänzend werden auch die grundsätzliche Anforderung und die allgemeine Mindestanforderung dargestellt.

## Beispiel A: Ehemaliges Gaswerk

### A 1 Ermittlung der Grundlagen

Das ehemalige Gaswerk im folgenden Beispiel liegt in einem Stadtgebiet. Gegenwärtig wird die ehemalige Gaswerksfläche als Parkplatz und Lagerfläche genutzt. Die Fläche ist teilweise asphaltiert.

Geologisch gesehen liegt das ehemalige Gaswerk im Bereich eines alten Flußsystems. Das jüngste Schichtglied bilden anthropogene Auffüllungen. Die mittlere Mächtigkeit der Auffüllungen beträgt 2,0 m.

Darunter folgt eine Schluffschicht mit einer stark schwankenden Mächtigkeit bis 1,70 m.

Unterhalb der Schluffschicht folgen Feinsande, die in sandige Kiese übergehen. Die Mächtigkeit der Kiese schwankt zwischen 8 und 12 m. Sie bilden einen Grundwasserleiter.

Das Grundwasser besitzt eine mittlere Grundwasserfließgeschwindigkeit von 0,5 m/d. Der Grundwasserdurchfluß unterhalb der Altlast (Q2) kann mit 500.000 l/d, die Grundwasserneubildung im unversiegelten Bereich und daraus der Sickerwasserzufluß durch die Schluffschicht in das Grundwasser (Q1) mit 2.000 l/d angegeben werden.

Die technischen Erkundungen des Untergrunds haben gezeigt, daß auf dem Gelände des ehemaligen Gaswerks im Boden eine Kontamination besonders durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) vorliegt. Der Vereinfachung wegen werden im folgenden deshalb nur die PAK betrachtet. Die Kontamination betrifft in der Tiefe die Auffüllung und den obersten Bereich der Schluffschicht.

Die mittleren Schadstoffkonzentrationen im Kontaminationsbereich können wie folgt angegeben werden:

---

| <b>Schadstoff im Boden<br/>(mg/kg)</b> | <b>Auffüllung</b> | <b>Schluff (oberer Bereich)</b> |
|--|-------------------|---------------------------------|
| PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)        | 3.600             | 4.025                           |
| Naphthalin                             | 420               | 190                             |

---

Im Bodeneluat wurden folgende Konzentrationen festgestellt:

| Schadstoff im Bodeneluat ( $\mu\text{g/l}$ ) | Auffüllung | Schluff (oberer Bereich) |
|--|------------|--------------------------|
| PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin)              | 555        | 350                      |
| Naphthalin                                   | 1.900      | 1.500                    |

Im Grundwasser unterhalb der Schluffschicht sind PAK (EPA-Liste ohne Naphthalin) bis  $0,36 \mu\text{g/l}$  und Naphthalin bis  $0,03 \mu\text{g/l}$  nachgewiesen worden.

Die festgestellten Schadstoffkonzentrationen im Eluat liegen z. T. um ein Vielfaches über den Prüfwerten des Erlasses über die Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Die Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung ist damit festgelegt.

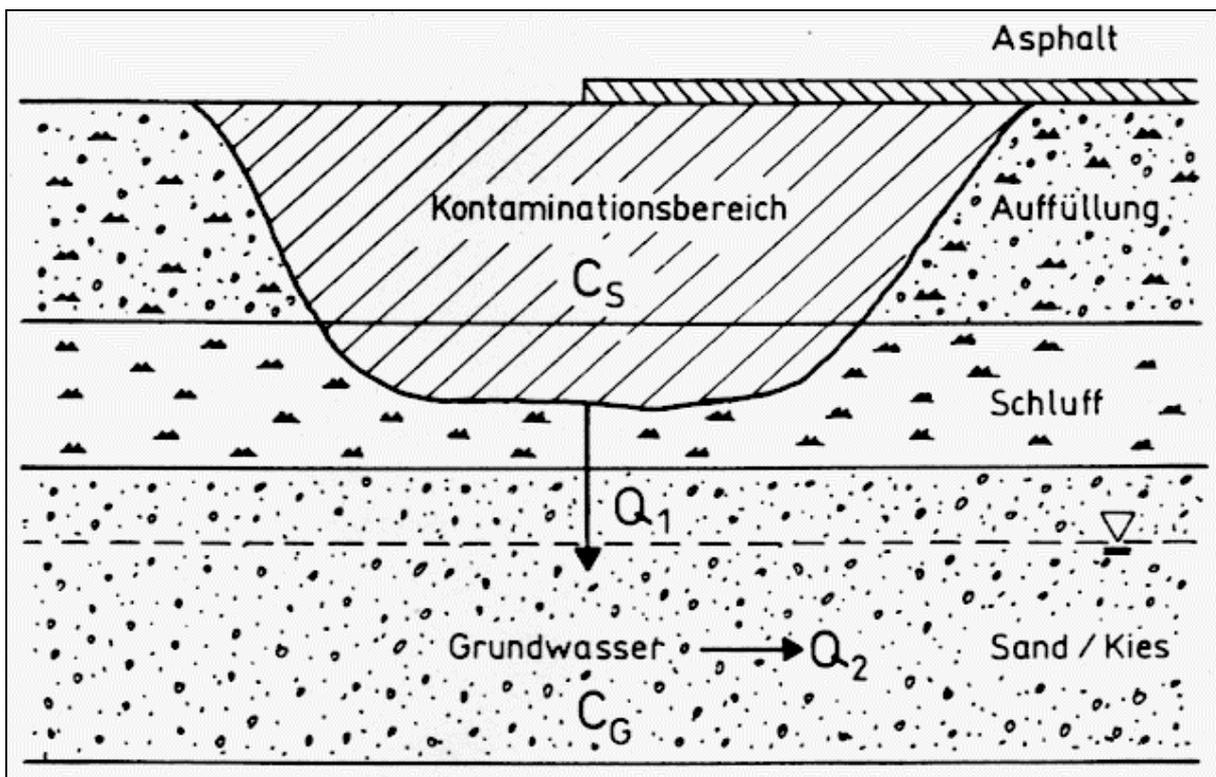


Abb. 7: Schematisierter Querschnitt durch den Untergrund

## A 2 Verfahrensvorauswahl

Bei der Vorauswahl werden alle auf dem Markt angebotenen Dekontaminations- und Sicherungsverfahren aufgelistet. Im vorliegenden Sanierungsfall nicht einsetzbare Verfahren werden unter Angabe einer Begründung ausgeschieden. Einschränkungen bei einsetzbaren Verfahren werden angemerkt.

### Dekontaminationsverfahren

#### *Thermische Verfahren (ex-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: ja

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: ja

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: --

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: Eine mobile Verbrennungsanlage hat wenig Aussicht auf Genehmigung.

#### *Mikrobiologische Verfahren (ex-situ, in-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Die mikrobiologische Behandlung ist aufgrund der vorliegenden schwer abbaubaren PAK-Verbindungen nicht möglich.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

#### *Chemische Verfahren (ex-situ, in-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Beim vorliegenden Schadstoffspektrum, den Schadstoffkonzentrationen und der Bodenart verspricht im vorliegenden Fall die chemische Sanierung (Extraktion, Ozonierung, Oxidation) keinen Sanierungserfolg.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

#### *Naßmechanische Verfahren (ex-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: ja

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: Die naßmechanische Behandlung (Bodenwäsche) ist sowohl off-site in einem Altlastensanierungszentrum als auch on site in einer mobilen Waschanlage möglich. Einschränkend gilt, daß nur der grobkörnige Bodenbereich der Auffüllung in 0 bis 2 m Tiefe waschbar ist, der Schluffhorizont infolge seines Feinkornanteils von > 90 % nicht bzw. mit sehr großem Kostenaufwand und geringem Sanierungserfolg (hohe Reststoffmenge).

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: --

#### *Hydraulische Verfahren (in-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Eine hydraulische Sanierung der Altlast mittels Bodenspülung u.ä. scheidet aufgrund der verhältnismäßig geringen Löslichkeit der PAK und der geringen Durchlässigkeit im Schluffhorizont aus.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

#### *Pneumatische Verfahren (in-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Aufgrund des vorliegenden Schadstoffspektrums sind pneumatische Verfahren ineffektiv. Die PAK sind schwerflüchtig (Siedepunkt zwischen 200° und 550° C) und nicht über die Gasphase zu beseitigen.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

### **Sicherungsverfahren**

#### *Verfestigung (ex-situ, in-situ)*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Eine ex situ-Verfestigung führt zu einer Volumenzunahme durch die Verfestigung und bei der im vorliegenden Fall nicht ausreichend vorhandenen Wiedereinbaumöglichkeit zur Notwendigkeit der Deponierung, was bei knappem Deponieraum negativ zu bewerten ist. Außerdem ist die Langzeitbeständigkeit und Schadstoffauslaugung vor allem bei einer denkbaren in situ-Verfestigung nicht geklärt.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Oberflächenabdeckung*

Einsatz möglich: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers vor verunreinigtem Boden ist die Oberflächenabdeckung im vorliegenden Fall nicht effektiv, da eine Sickerwasser-bildung nicht verhindert wird.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Oberflächenabdichtung*

Einsatz möglich: ja

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: --

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Umschließung*

Einsatz möglich: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Die Kontamination liegt nicht im Grundwasserbereich. Ein erforderlicher dichter Basishorizont zur Einbindung der Umschließung ist nicht ausreichend bzw. durchgehend mächtig vorhanden.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Sohlabdichtung*

Einsatz möglich: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Eine Sohlabdichtung wäre grundsätzlich zur Unterstützung der natürlichen Sperrschicht (Schluffhorizont) denkbar. Die technische Machbarkeit ist kritisch zu beurteilen und die Langzeitbeständigkeit ist zur Zeit nicht geklärt.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Hydraulische Maßnahmen*

Einsatz möglich: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Die Altlast liegt nicht im Grundwasser.

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

*Deponierung*

Einsatz möglich: Auffüllung 0 bis 2 m: nein

Schluffhorizont 2 bis 3,5 m: nein

Begründung für ein vollständiges Ausscheiden: Eine vollständige Deponierung von ca. 10.000 m<sup>3</sup> kontaminierten Materials ist aufgrund des knappen Deponieraums kaum umsetzbar und unter Umweltgesichtspunkten abzulehnen (Sekundärfolgen, Problemverlagerung).

Einschränkungen/Begründung für ein teilweises Ausscheiden: --

Aus der Verfahrensvorauswahl ergeben sich folgende grundsätzlich am Standort einsetzbare Verfahren:

S1 Thermische Verfahren (off site)

S2 Naßmechanische Verfahren (off site)

S3 Naßmechanische Verfahren (on site)

S4 Oberflächenabdichtung

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einsetzbarkeit der Verfahren in Bezug auf die Bodenschichten.

| Bodenschicht              | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---------------------------|----|----|----|----|
| Auffüllung (0 -2 m)       | x  | x  | x  | x  |
| Schluffhorizont (2- 3,5m) | x  |    |    | x  |

**A 3 Fachdiskussion der Sanierungsziele****Teil 1: Schutz von Grundwasser vor verunreinigtem Boden**

## 1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

|        |                       |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|
| H - W: | PAK (ohne Naphthalin) | 0,05 µg/l im Eluat |
|        | Naphthalin            | 0,05 µg/l im Eluat |

## 2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

|        |                       |                    |
|--------|-----------------------|--------------------|
| P - W: | PAK (ohne Naphthalin) | 0,15 µg/l im Eluat |
|        | Naphthalin            | 2 µg/l im Eluat    |

## 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung

|   |            |                          |
|---|------------|--------------------------|
| Immissionsbegrenzung:                         | PAK        | 0,15 µg/l im Grundwasser |
|   | Naphthalin | 2 µg/l im Grundwasser    |
| Emissionsbegrenzung<br>(E <sub>max</sub> - W) | PAK        | 0,32 g/d                 |
|   | Naphthalin | 4,5 g/d                  |

**Teil 2: Schutz von Grundwassernutzungen**

Zum Schutz von Grundwassernutzungen gilt als allgemeine Mindestanforderung die Einhaltung des P-W-Wertes im Grundwasser.

Ist die einzelfallbezogene Mindestanforderung maßgeblich, sind bei Aufgabe oder Nichtbetroffensein einer Grundwassernutzung keine Sanierungsziele für das Grundwasser selbst einzuhalten. Bei Nutzungseinschränkung oder sonstigen Besonderheiten (z.B. Aufbereitung des Grundwassers im Wasserwerk möglich) sind unter Berücksichtigung des Einzelfalls entsprechende Werte durch die Fachbehörden festzulegen.

**Teil 3: Schutz des Menschen und des Bodens, Schutzgut Pflanzen**

## 1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

|        |                       |                     |
|--------|-----------------------|---------------------|
| H - B: | PAK (ohne Naphthalin) | 1 mg/kg im Boden    |
|        | Naphthalin            | 0,05 mg/kg im Boden |

## 2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

|         |                       |   |
|---------|-----------------------|---|
| P - M1: | PAK (ohne Naphthalin) | 5 mg/kg im Boden                            |
|         | Naphthalin            | Einzelfallentscheidung des Gesundheitsamtes |

|        |                       |   |
|--------|-----------------------|---|
| P - P: | PAK (ohne Naphthalin) | 10 mg/kg im Boden   |
|        | Naphthalin            | Einzelfallentscheidung des Amtes für Wasserwirtschaft und Bodenschutz |

### 3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung

Bei Aufgabe der Nutzung der Fläche als Spielfläche oder zum Anbau von Pflanzen ist es nicht erforderlich, die P-M-1- bzw. P-P-Werte (2. Stufe) einzuhalten.

Für die eingeschränkten Nutzungen Siedlungs- oder Gewerbeflächen können die P-M2- oder P-M3-Werte als einzelfallbezogene Werte verwendet werden. Ansonsten sind unter Berücksichtigung des Einzelfalls entsprechende Werte durch die Fachbehörden festzulegen.

## A 4 Vorläufige Festlegung der Sanierungsziele

### Teil 1: Schutz von Grundwasser vor verunreinigtem Boden

Die grundsätzliche Anforderung (H-W) und die allgemeine Mindestanforderung (P-W) werden im vorliegenden Sanierungsfall wegen des unangemessenen Aufwands als Sanierungsziele ausgeschieden. Maßgeblich für die Festlegung der Sanierungsziele ist daher das Einhalten der einzelfallbezogenen Mindestanforderung.

Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Dekontamination

$$\text{Immissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 = \text{P-W} * (Q_1 + Q_2)$$

$$C_{\text{SeM}}$$

$$\text{für PAK} \quad 37,7 \mu\text{g/l}$$

$$\text{für Naphthalin} \quad 502 \mu\text{g/l}$$

$$\text{Emissionsbegrenzung} \quad C_{\text{SeM}} * Q_1 \quad E_{\text{max-W}}$$

$$C_{\text{SeM}}$$

$$\text{für PAK} \quad 160 \mu\text{g/l}$$

$$\text{für Naphthalin} \quad 2250 \mu\text{g/l}$$

Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

Einzelfallbezogene Mindestanforderung bei Sanierung durch Sicherung

|                      |                 |                         |
|----------------------|-----------------|-------------------------|
| Immissionsbegrenzung | $C_S * Q_{1eM}$ | $P-W * (Q_{1eM} + Q_2)$ |
|                      | $C_{1eM}$       |                         |
|                      | für PAK         | 135 l/d                 |
|                      | für Naphthalin  | 527 l/d                 |
| Emissionsbegrenzung  | $C_S * Q_{1eM}$ | $E_{max-W}$             |
|                      | $C_{1eM}$       |                         |
|                      | für PAK         | 577 l/d                 |
|                      | für Naphthalin  | 2.368 l/d               |

Die Immissionsbegrenzung als strengere Bedingung ist maßgebend.

Sanierungsmöglichkeiten zum Schutz des Grundwassers vor verunreinigtem Boden sind grundsätzlich:

- Schadstoffkonzentrationen im Bodeneluat auf  $C_{SeM}$  (PAK: 37,7 µg/l; Naphthalin: 502 µg/l) reduzieren (Dekontamination).
- Kontaminierten Teilstrom auf  $Q_{1eM} = 135$  l/d beschränken (Sicherung).

## Teil 2: Schutz von Grundwassernutzungen

Im vorliegenden Fall sind Grundwassernutzungen erst im weiteren Abstrom betroffen. Dort sind im Grundwasser wegen der bis dahin stattgefundenen Verdünnung keine Schadstoffkonzentrationen über den P-W-Werten mehr vorhanden. Somit besteht keine Notwendigkeit, bereits verunreinigtes Grundwasser zu sanieren.

## Teil 3: Schutz des Menschen und des Bodens/Pflanzen

Eine Nutzung des Bodens als Spiel- oder Siedlungsfläche oder zum Anbau von Pflanzen ist im vorliegenden Fall nicht vorgesehen, so daß zum Schutz des Menschen (Aufenthalt auf kontaminierten Flächen) ein einzelfallbezogener Wert in der Größe von P-M3 (PAK = 100 mg/kg im Boden) einzuhalten ist.

## A 5 Firmenanfragen/Kostenabschätzung

Aus den 4 grundsätzlich einsetzbaren Einzelverfahren S1 bis S4 (siehe A 2) ergeben sich zur Behandlung beider Bodenschichten insgesamt 4 verschiedene Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen.

Anhand von Richtpreisangeboten bei Sanierungsfirmen, gängigen Marktpreisen und eigenen Erfahrungen wurden Kostenermittlungen in Form von Abschätzungen durchgeführt.

|         |  |              |
|---------|--|--------------|
| S1      | Thermische Behandlung:   | DM 9,25 Mio. |
| S2 + S1 | Naßmechanische Behandlung (off site) 0 bis 2 m, thermische Behandlung 2 bis 3,5 m: | DM 9,60 Mio. |
| S3 + S1 | Naßmechanische Behandlung (on site) 0 bis 2 m, thermische Behandlung 2 bis 3,5 m:  | DM 9,44 Mio. |
| S4      | Oberflächenabdichtung:   | DM 1,6 Mio.  |

## A 6 Nicht-monetäre Beurteilung

Die Frage, welches Verfahren für den vorliegenden Fall das geeignete ist, kann nicht alleine durch eine monetäre Bewertung entschieden werden. Deshalb wurden weitere, nicht-monetäre Beurteilungskriterien herangezogen.

Zur Beurteilung wurde eine Entscheidungsmatrix verwendet, welche in folgender Tabelle dargestellt ist.

Nicht-monetäre Beurteilung der am Standort einsetzbaren Sanierungsverfahren

| Nicht-monetäre Kriterien                 | S1 | S2 | S3 | S4 |
|--|----|----|----|----|
| Sanierungsdauer                          | +  | +  | +  | -  |
| Kontroll-/Reparaturmöglichkeiten         | +  | +  | +  | o  |
| Emission (Abwasser, Lärm, Staub, Geruch) | o  | o  | -  | +  |
| Restprodukte, negative Sekundärfolgen    | +  | -  | -  | +  |
| Entwicklungsstand/Erfolgsaussichten      | +  | o  | o  | +  |
| Verfügbarkeit                            | +  | +  | +  | +  |
| öffentliche/politische Akzeptanz         | -  | o  | o  | o  |
| Flächenbedarf                            | +  | +  | -  | +  |
| Zusätzliche Verkehrsbelastung            | -  | -  | +  | +  |
| Summe +                                  | 6  | 4  | 4  | 6  |
| Summe -                                  | 2  | 2  | 3  | 1  |
| Bilanz                                   | +4 | +2 | +1 | +5 |

- S 1: Thermische Behandlung  
 S 2: Naßmechanische Behandlung (off-site)  
 S 3: Naßmechanische Behandlung (on-site)  
 S 4: Oberflächenabdichtung

Die Beurteilung erfolgte in Form einer Skala von "+" über "o" bis "-", wobei "+" eine positive, "o" eine mittlere und "-" eine negative Einschätzung zugrunde liegt. Die Bilanz setzt sich aus Addition zusammen, wobei sich eine positive und eine negative Wertung in der Bilanz aufheben.

In der Bilanz der nicht-monetären Beurteilung schneidet die Sicherung durch Oberflächenabdichtung (S4) am besten ab, gefolgt von der thermischen Behandlung (S1). Die Bodenwäsche in einem Sanierungszentrum (S2) folgt an dritter Stelle.

Durch Bildung des arithmetischen Mittels aus den Einzelbeurteilungen kann für die Verfahrenskombinationen eine nicht-monetäre Gesamtbeurteilung vorgenommen werden.

Nicht-monetäre Beurteilung der Verfahrenskombinationen

| Verfahrens-kombinationen | Einzelbeurteilung | Gesamtbeurteilung |
|--------------------------|-------------------|-------------------|
| S1                       | + 4 / --          | + 4,0             |
| S2 + S1                  | + 2 / + 4         | + 3,0             |
| S3 + S1                  | + 1 / + 4         | + 2,5             |
| S4                       | + 5 / --          | + 5,0             |

Es ergibt sich folgendes nicht-monetäres Gesamtergebnis:

- Die Oberflächenabdichtung nach Stand der Technik als Sicherungsverfahren ist zu präferieren (S4).
- Die thermische Behandlung der Auffüllung (0 bis 2 m) und der Schluffschicht (2 bis 3,5 m) in einer Verbrennungsanlage als umfassendes Dekontaminationsverfahren ist als Alternative zu nennen (S1).

## A 7 Kostenwirksamkeitsabschätzung

Die Kostenwirksamkeitsabschätzung kann in Form eines Diagramms dargestellt werden. Die Wirksamkeit bezieht sich dabei auf die Erreichbarkeit einer bestimmten Sanierungszielstufe. In Abb. 2 ist die Wirksamkeit der 4 Verfahrenskombinationen angegeben. Die Verfahrenskombinationen erreichen alle die 3. Sanierungszielstufe. Durch die Dekontamination wird der schadstoffbelastete Boden ausgekoffert und dekontaminiert. Die errechneten C<sub>SeM</sub>-Werte zum Schutz des Grundwassers können damit eingehalten werden. Ebenso werden durch den Bodenaustausch die C<sub>SeM</sub>-Werte zum Schutz des Menschen eingehalten.

Durch die Sicherung der Altlast durch Oberflächenabdichtung und der damit verbundenen Reduzierung der Sickerwassermenge auf < 135 l/d werden die errechneten Q<sub>1eM</sub>-Werte zum

Schutz des Grundwassers eingehalten. Ebenso wird durch die Versiegelung die Anforderung für den Aufenthalt von Menschen (Schutz des Menschen) gewährleistet.

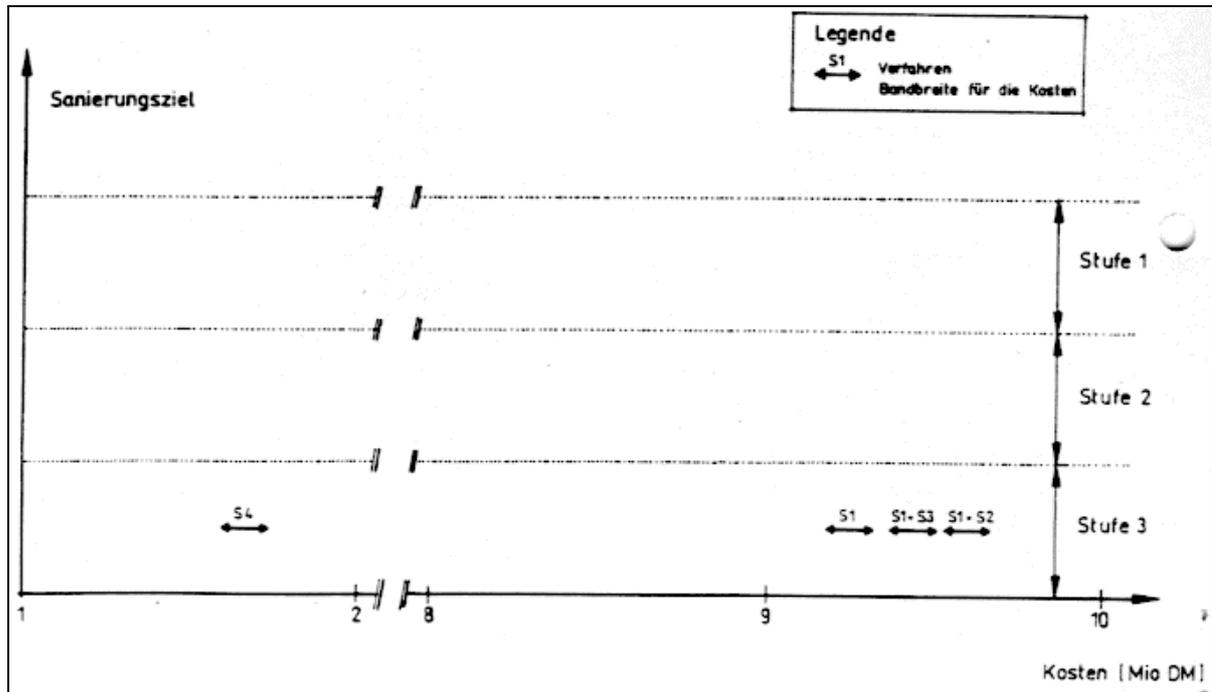


Abb. 8: Diagramm zur Kostenwirksamkeitsabschätzung

Die Kostenwirksamkeitsabschätzung hat zum Ergebnis, daß die Sicherung durch Oberflächenabdichtung das mit Abstand günstigste Verfahren ist, gefolgt von der reinen thermischen Behandlung.

## A 8 Gesamtbeurteilung und Sanierungsvorschlag

Unter Zugrundelegung der Kostenwirksamkeitsabschätzung und der nicht-monetären Beurteilung werden die 4 Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen einer Gesamtbeurteilung unterzogen.

Es ergeben sich folgende Rangfolgen:

| Verfahren | Kostenwirksamkeit | nicht-monetäre Beurteilung | Summe |
|-----------|-------------------|----------------------------|-------|
| S 1       | 2                 | 2                          | 4     |
| S 2 + S 1 | 4                 | 3                          | 7     |
| S 3 + S 1 | 3                 | 4                          | 7     |
| S 4       | 1                 | 1                          | 2     |

Aufgrund der Rangfolgen kann im vorliegenden Beispiel dem Verfahren S4, d. h. der Sicherung der Altlast mittels Oberflächenabdichtung der Vorzug vor den übrigen Verfahren gegeben werden. Als Alternative ist die thermische Behandlung zu nennen.

## **Beispiel B: CKW-Kontamination in ungesättigter und gesättigter Bodenzone**

### **B 1 Ermittlung der Grundlagen**

Das Beispiel behandelt eine CKW-Kontamination in Boden und Grundwasser. An einem Industriestandort hat sich seit den 60er Jahren eine CKW-Kontamination im Untergrund ausgebreitet. Die CKW rühren von einer Lösemittelverwendung zur Oberflächenbehandlung her. Es handelt sich fast ausschließlich um Tetrachlorethylen (Per). Die Schadensursache ist seit ca. 10 Jahren abgestellt. Die ehemalige Schadstoffeintragsfläche ist großräumig asphaltiert und dicht bebaut.

Das betroffene Gebiet liegt in der Oberrheinebene. Unter 4 bis 5 m mächtigen sandig-lehmigen Deckschichten folgen die ca. 30 m mächtigen sandig-kiesigen Ablagerungen des Oberen Kieslagers. Darunter folgt der Obere Zwischenhorizont.

Der Obere Grundwasserleiter im Oberen Kieslager ist ca. 20 m mächtig. Die Durchlässigkeit des Oberen Kieslagers kann durch einen  $k_f$ -Wert von  $1,3 \cdot 10^{-3}$  m/s, die Grundwasserfließgeschwindigkeit mit 0,3 m/d angegeben werden.

Von der CKW-Kontamination betroffen ist der Obere Grundwasserleiter. Die CKW-Konzentrationen erreichen im Grundwasser Werte bis zu 100 µg/l.

Im Kern der Bodenverunreinigung wurden in der Bodenluft bis zu 700.000 µg CKW/m<sup>3</sup>, im Bodeneluat bis 100 µg CKW/l gemessen.

Die CKW-Kontamination liegt in einem nutzungswürdigen Grundwasservorkommen.

Die festgestellten CKW-Konzentrationen im Bodeneluat und im Grundwasser liegen über den Prüfwerten des Erlasses über die Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Die Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung (E<sub>3,4</sub>) ist damit festgelegt. Diese betrifft den Schutz des Grundwassers vor verunreinigtem Boden und den Schutz von Grundwassernutzungen (bereits verunreinigtes Grundwasser). Der Schutz des Menschen auf kontaminierten Flächen und der Schutz von Boden (Schutzgut Pflanzen) ist wegen der vorhandenen vollständigen Versiegelung der Flächen durch Asphaltierung und Bebauung nicht relevant.

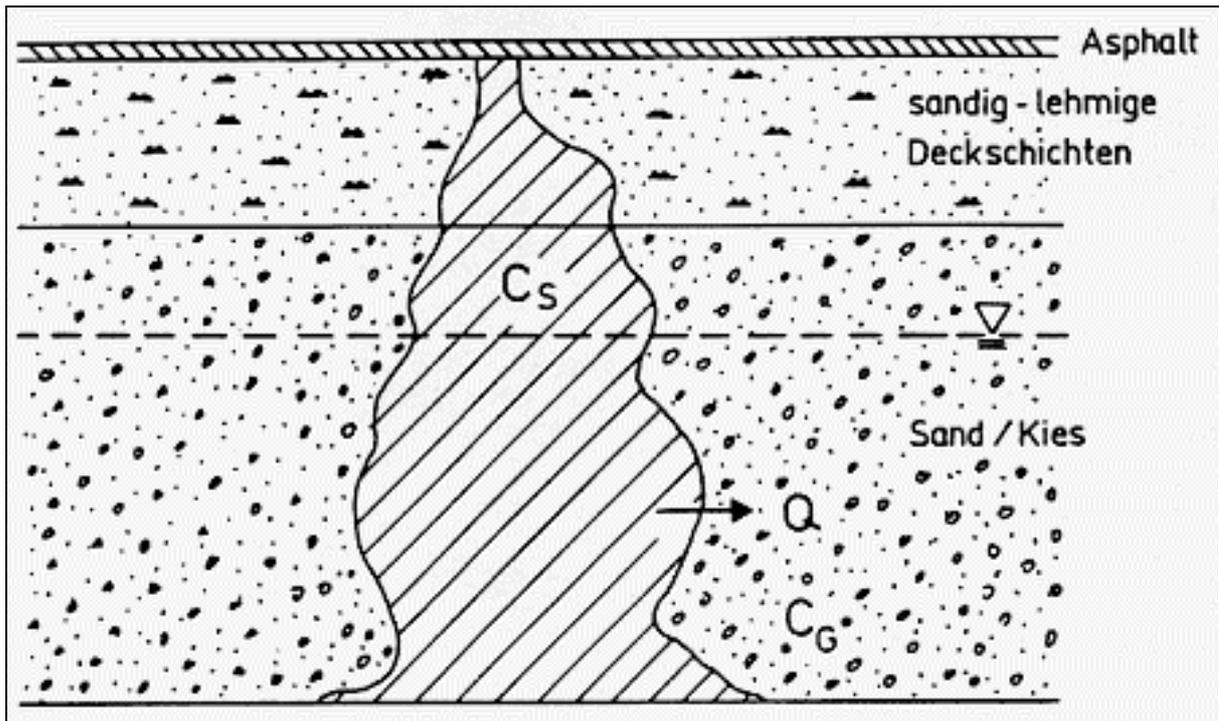


Abb. 9: Schematisierter Querschnitt durch den Untergrund

## B 2 Verfahrensvorauswahl

In einem ersten Schritt werden im vorliegenden Fall grundsätzlich einsetzbare Verfahren ausgewählt. Eine Auflistung aller auf dem Markt angebotenen Sanierungsverfahren ist nicht notwendig, da die Untergrundkontamination unter Bebauung (Industriebetriebe) liegt, so daß alle Verfahren mit Materialentnahme (ex-situ-Verfahren) entfallen.

Im vorliegenden Fall kann die Sanierung durch hydraulische und pneumatische Sanierungs- bzw. Sicherungsverfahren und/oder deren Kombinationen erfolgen. Als hydraulische Verfahren können im wesentlichen die reine Entnahme, die Durchspülung (horizontale, vertikale Spülung, Grundwasserzirkulationsbrunnen), als pneumatische Verfahren in der ungesättigten Bodenzone die Bodenluftabsaugung und Bodenluftspülung eingesetzt werden.

Im Beispiel wird auf die an dieser Stelle übliche detaillierte Verfahrensbeschreibung verzichtet.

## B 3 Fachdiskussion der Sanierungsziele

### Teil 1: Schutz von Grundwasser vor verunreinigtem Boden

Die Orientierungswerte für die Sanierung des vorliegenden CKW-Schadens sind wie folgt vorgegeben.

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung

H - W: CKW (Summe): 0,1 µg/l im Eluat

2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung

P - W: CKW (Summe): 10 µg/l im Eluat

3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung

Immissionsbegrenzung: CKW (Summe): 10 µg/l im Grundwasser

Emissionsbegrenzung CKW (Summe): 20 g/d

(E<sub>max</sub> - W)

### Teil 2: Schutz von Grundwassernutzungen

Als allgemeine Mindestanforderung gilt für bereits verunreinigtes Grundwasser der P-W-Wert im Grundwasser selbst. Für den Fall, daß die einzelfallbezogenen Werte der Sanierungsziel-festlegung zugrunde zu legen sind, gilt folgendes:

Wird die Nutzung von bereits kontaminiertem Grundwasser aufgegeben, muß kein Sanierungsziel für das Grundwasser selbst festgelegt und eingehalten werden. Bei eingeschränkter Nutzung oder wenn sonstige Besonderheiten zu berücksichtigen sind (z.B. Aufbereitung des Grundwassers im Wasserwerk), ist von der Fachbehörde ein Wert festzulegen.

## B 4 Vorläufige Festlegung der Sanierungsziele

### Teil 1: Schutz von Grundwasser vor verunreinigtem Boden

Bei der Festlegung des Sanierungsziels scheidet im vorliegenden Fall wegen des unangemes-senen Aufwandes die grundsätzliche Anforderung sowie die allgemeine Mindestanforderung aus. Bei Anwendung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung bei Sanierung durch **De-kontamination** ergeben sich:

Immissionsbegrenzung:

$$C_{SeM} \cdot Q = P-W \cdot Q$$

$$C_{SeM} = P-W = 10 \mu\text{g/l im Grundwasser}$$

Da der CKW-Schaden über den gesamten Grundwasserkörper reicht und daher kein Verdünnungseffekt durch einen unkontaminierten Teilstrom zu berücksichtigen ist, ergibt sich aus der Immissionsbegrenzung der gleiche Wert wie aus der allgemeinen Mindestanforderung (2. Stufe), d.h.

$$C_{SeM} = 10 \mu\text{g/l im Eluat}$$

Emissionsbegrenzung:

Da die Immissionsbegrenzung den Sanierungszielwert der 2. Stufe ergibt, ist die Emissionsbegrenzung (3. Stufe) nicht maßgebend.

Bei Sanierung durch **Sicherung** gilt im vorliegenden Fall, daß der Grundwasserabstrom Q aus dem Kontaminationsbereich zu unterbinden ist.

## Teil 2: Schutz von Grundwassernutzungen

Im vorliegenden Fall ist keine Grundwasserentnahme betroffen. Es ist damit nicht erforderlich, einen Wert für die einzelfallbezogene Mindestanforderung für bereits verunreinigtes Grundwasser festzulegen und einzuhalten.

### Sanierungsnotwendigkeit:

Die Notwendigkeit einer Sanierung im Hinblick auf den Schutz von Grundwasser ist gegeben, da die maßgebliche einzelfallbezogene Mindestanforderung nicht eingehalten wird.

Eine Sanierung im Hinblick auf den Schutz von Grundwassernutzungen (Sanierung des bereits verunreinigten Grundwassers) ist dagegen nicht erforderlich, da keine Grundwassernutzung betroffen ist, zum Schutz derer Sanierungszielwerte einzuhalten sind.

## B 5 Firmenanfragen/Kostenabschätzung

Anhand von Richtpreisangeboten von Sanierungsfirmen, gängigen Marktpreisen und eigenen Erfahrungen wurde für die grundsätzlich einsetzbaren Verfahren eine Kostenermittlung in Form einer Abschätzung durchgeführt.

Die nachfolgende Kostenabschätzung erfolgt in vereinfachter, beispielhafter Form. Auf eine detaillierte Aufstellung wird im Beispiel verzichtet. Die Kostenabschätzung ist daher nicht ohne weiteres auf andere Fälle übertragbar.

Die Kostenabschätzung beinhaltet Ingenieur- und Planungskosten, vorbereitende Maßnahmen und die Durchführung der Sanierung mit allen Betriebskosten für im vorliegenden Beispiel

angesetzte Zeitdauern von 10, 30 Jahren und eine unendliche Sanierungszeit (vgl. LAWA-Schrift: "Durchführung von Kostenvergleichsberechnungen"). Die Durchführungskosten sind im einzelnen:

- Installation der Anlagen zur hydraulischen Sanierung (Brunnen, Rohrleitungen, Wasseraufbereitung)
- Installation der Bodenluftabsaugung (Absauganlage, Rohrleitungen Brunnen, und Rammfilter)
- Betrieb der Anlagen (elektrische Energie, Chemikalieneinsatz, Reststoffentsorgung, Abwasser, Wartung, begleitendes Meßprogramm)

| <b>Sanierungsverfahren</b>  | <b>Kosten<br/>[Mio. DM]<br/>10 a</b> | <b>Kosten<br/>[Mio. DM]<br/>30 a</b> | <b>Kosten<br/>[Mio. DM]<br/>∞</b> |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Pneumatische Verfahren (z. B. Bodenluftabsaugung)                      | 1,7                                  | 3,9                                  | 6,6                               |
| 2. Hydraulische Verfahren (z. B. Entnahmehbrunnen mit Wasseraufbereitung) | 3,8                                  | 8,8                                  | 15,0                              |

## **B 6 Nicht-monetäre Beurteilung**

Von den pneumatischen und hydraulischen Sanierungsverfahren sind z. B. die Bodenluftabsaugung und die Grundwasserentnahme mit Grundwasseraufbereitung bei einer CKW-Untergrundkontamination Stand der Technik und in der Regel ohne negativen Begleiterscheinungen einsetzbar.

## **B 7 Kostenwirksamkeitsabschätzung**

Die Kostenwirksamkeitsabschätzung betrifft die Sanierung des Bodens (ungesättigte und gesättigte Bodenzone) im Hinblick auf den Grundwasserschutz. Als Schadstoffe müssen ausschließlich die chlorierten Kohlenwasserstoffe betrachtet werden.

Die Sanierung des Altstandorts bezieht sich auf die ungesättigte Bodenzone, die durch Absikern der Schadstoffe und über die Gasphase die gesättigte Zone sowie das Grundwasser kontaminiert und die ebenfalls kontaminierte gesättigte Bodenzone. Die Sanierung der ungesättigten Zone erfolgt durch Dekontamination, bis keine Schadstoffe mehr in die gesättigte Bodenzone eindringen (z.B. Bodenluftabsaugung). Für die gesättigte Bodenzone wird eine hydraulische Sicherung installiert, um das Abströmen von Schadstoffen zu verhindern.

Es wird nachfolgend eine vereinfachte Kostenwirksamkeitsbetrachtung vorgenommen.

| Verfahren | effektiv für ungesättigte Bodenzone (Gasphase) | effektiv für gesättigte Bodenzone (Wasserphase) | Kosten [Mio DM] 10a | Kosten [Mio DM] 30a | Kosten [Mio DM] ∞ |
|-----------|--|---|---------------------|---------------------|-------------------|
| 1         | ja   | nein  | 1,7                 | 3,9                 | 6,6               |
| 2         | nein   | ja  | 3,8                 | 8,8                 | 15,0              |
| 1 + 2     | ja   | ja  | 5,5                 | 12,7                | 21,6              |

1 Dekontamination durch pneumatische Verfahren (z. B. Bodenluftabsaugung)

2 Sicherung durch hydraulische Verfahren (z. B. Entnahmebrunnen mit Wasseraufbereitung)

1 + 2 Kombination

Die Kombination aus hydraulischen und pneumatischen Sanierungsverfahren verspricht die beste Wirksamkeit. Die Bodenluftabsaugung dekontaminiert in erster Linie die ungesättigte Bodenzone über die Gasphase, die hydraulische Sicherung verhindert das weitere Abströmen von kontaminiertem Grundwasser und sichert somit den Schadensherd in der gesättigten Zone.

## B 8 Gesamtbeurteilung

Die Kombination eines pneumatischen Verfahrens (z.B. Bodenluftabsaugung) zur Reduzierung der CKW-Gehalte in der ungesättigten Bodenzone und eine gleichzeitige hydraulische Sicherung in der gesättigten Bodenzone (Grundwasserentnahme und -aufbereitung) führt zur besten Wirksamkeit. Beide Verfahren sind für den vorliegenden Schadensfall Stand der Technik und vielfach erfolgreich eingesetzt, so daß die Kombination beider Verfahren zur Sanierung der CKW-Untergrundverunreinigung vorgeschlagen werden können.

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abb. 1: Ablaufschema stufenweiser Erkundung und Bewertung eines Einzelfalls. ....  | 2  |
| Abb. 2: "Handlungsmatrix" .....  | 3  |
| Abb. 3: Neue Begriffsdefinitionen der Altlastensanierung .....   | 5  |
| Abb. 4: Ablaufschema für die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/<br>Sanierungsvorplanung, die Planung und Durchführung der Sanierung. .... | 7  |
| Abb. 5: Beispiel für die Beurteilung von Sanierungsverfahren nach nicht-monetären Kriterien<br>.....   | 19 |
| Abb. 6: Beispiel für die Kostenwirksamkeitsabschätzung .....   | 22 |
| Abb. 7: Schematisierter Querschnitt durch den Untergrund .....   | 40 |
| Abb. 8: Diagramm zur Kostenwirksamkeitsabschätzung .....   | 50 |
| Abb. 9: Schematisierter Querschnitt durch den Untergrund .....   | 52 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Nicht-monetäre Kriterien:..... | 18 |
|---|----|

## Indexverzeichnis

### A

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Altablagerung                         |        |
| eingehende Erkundung für              |        |
| Sanierungsmaßnahmen/                  |        |
| Sanierungsvorplanung (E3-4).....      | 33     |
| Altlastensanierung                    |        |
| Allgemeines .....                     | 4      |
| Begriffsdefinition.....               | 4      |
| Beurteilung von Sanierungsverfahren   | 19     |
| Dekontaminationsverfahren (ohne in    |        |
| situ-Dekontamination) .....           | 14     |
| Firmenanfragen.....                   | 14     |
| Gesamtbeurteilung/Sanierungsvorschlag |        |
| .....                                 | 22     |
| Kostenabschätzung .....               | 15     |
| Kostenwirksamkeitsabschätzung..       | 19, 21 |
| Sanierung .....                       | 24, 25 |
| Sanierungsplanung.....                | 24     |
| Sicherungsverfahren (und in-situ-     |        |
| Dekontamination) .....                | 14     |
| Wirksamkeit .....                     | 19     |

### B

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Bewertung                        |    |
| Beweisniveau 4.....              | 23 |
| Erkundung .....                  | 1  |
| BTEX-Kontamination               |    |
| eingehende Erkundung für         |    |
| Sanierungsmaßnahmen/             |    |
| Sanierungsvorplanung (E3-4)..... | 30 |

### C

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) |    |
| Sanierung .....                     | 51 |

### D

|  |    |
|--|----|
| Dekontaminationsverfahren (ohne in situ- |    |
| Dekontamination) .....                   | 14 |

### E

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| eingehende Erkundung für            |        |
| Sanierungsmaßnahmen/                |        |
| Sanierungsvorplanung (E3-4)         |        |
| Ablaufschema .....                  | 6      |
| Allgemeines .....                   | 1, 8   |
| Altablagerung .....                 | 33     |
| Beispiele .....                     | 26, 38 |
| Beurteilung von Sanierungsverfahren | 19     |
| Bewertung BN 4 .....                | 23     |
| BTEX-Kontamination .....            | 30     |

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| CKW-Kontamination.....                | 51     |
| Erkundungsergebnisse und              |        |
| Rahmenbedingungen.....                | 8      |
| Ermittlung der Grundlagen .....       | 8      |
| Firmenanfragen .....                  | 14     |
| Gesamtbeurteilung/Sanierungsvorschlag |        |
| .....                                 | 22     |
| Kostenwirksamkeitsabschätzung ..      | 19, 21 |
| Mineralölkohlenwasserstoffschaden...  | 26     |
| nicht-monetäre Beurteilung.....       | 16     |
| nicht-monetäre Kriterien .....        | 17     |
| Sanierung (D).....                    | 24     |
| Sanierungsdurchführung .....          | 25     |
| Sanierungsplanung .....               | 24     |
| Sanierungsziele .....                 | 12, 13 |
| Verfahrensvorauswahl .....            | 10     |
| Wirksamkeit.....                      | 19     |

### Erkundung

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Ablaufschema.....           | 1 |
| allgemeine Grundlagen ..... | 1 |
| Bewertung .....             | 1 |

### H

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Handlungsmatrix.....  | 3 |
| historische Erkundung |   |
| Allgemeines .....     | 1 |

### K

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| KW, Mineralöl-Kohlenwasserstoffe  |    |
| eingehende Erkundung für          |    |
| Sanierungsmaßnahmen/              |    |
| Sanierungsvorplanung (E3-4) ..... | 26 |

### M

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Mineralölkohlenwasserstoffe       |    |
| eingehende Erkundung für          |    |
| Sanierungsmaßnahmen/              |    |
| Sanierungsvorplanung (E3-4) ..... | 26 |

### N

|                            |        |
|----------------------------|--------|
| nähere Erkundung           |        |
| Allgemeines .....          | 1      |
| nicht-monetäre Beurteilung |        |
| Allgemeines .....          | 16, 17 |

### O

|                         |   |
|-------------------------|---|
| orientierende Erkundung |   |
| Allgemeines .....       | 1 |

### S

|                   |    |
|-------------------|----|
| Sanierung         |    |
| Allgemeines ..... | 24 |

---

|                                     |        |                                       |    |
|-------------------------------------|--------|---------------------------------------|----|
| Sanierungsdurchführung.....         | 25     | einzelfallbezogene Mindestanforderung |    |
| Sanierungsplanung.....              | 24     | .....                                 | 13 |
| Sanierungsziel                      |        | grundsätzliche Anforderung.....       | 13 |
| allgemeine Mindestanforderung ..... | 13     | Sicherung und Sanierung von Altlasten |    |
| Allgemeines .....                   | 12, 13 | Mindestinformationen.....             | 14 |