

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie	Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung	Stand: 04/1998 Bearbeiter: Trischler und Partner Consult GmbH
Referat Altlasten	<b>5: Holzimprägnierstandorte</b>	Seiten: 18

## **1 Branchentypisches Schadstoffpotential**

### **1.1 Gesetzliche Grundlagen**

Die Anwendung chemischer Holzschutzmittel (HSM) war in der DDR-Zeit - neben allgemeinen Umweltschutzbestimmungen im Landeskulturgesetz (LKG) vom 14.05.1970 als Rahmengesetz und seinen Durchführungsverordnungen sowie weiteren Gesetzen wie dem Wassergesetz vom 02.07.1982 - in folgenden spezifischen Vorschriften, Richtlinien und Normen geregelt:

- Verordnung über den Schutz von Rohholz, Werkstoffen und Erzeugnissen aus Holz sowie holzhaltigen Werkstoffen - Holzschutzverordnung -, vom 10.11.1983. - In: Gesetzblatt DDR, Teil 1, Berlin (1983-12-30)
- Erste Durchführungsbestimmung zur Verordnung über den Schutz von Rohholz, Werkstoffen und Erzeugnissen aus Holz sowie holzhaltigen Werkstoffen - Holzschutzverordnung - (Nomenklatur über besonders gefährdetes, vorrangig zu schützendes Holz), vom 10.11.1983. - Gesetzblatt DDR, Teil 1, Berlin (1983-12-30)
- Zweite Durchführungsbestimmung zur Verordnung über den Schutz von Rohholz, Werkstoffen und Erzeugnissen aus Holz sowie holzhaltigen Werkstoffen - Holzschutzverordnung - (Aus- und Weiterbildung, Zulassung und Tätigkeit der Fachleute und Sachverständigen für Holzschutz), vom 10.11.1983. - Gesetzblatt DDR, Teil 1, Berlin (1983-12-30)
- Giftgesetz vom 07.04.1977
- ASMW-VW 1510 - Zulassung und Approbation von Holzschutzmitteln. - 88-03-1988
- TGL 36932 Holzschutz; Trogränungsverfahren, Tränkung von Nadelholz mit Tränkmittel aus UII-Salz. - 80-03-1980
- TGL 6490/01 Holzschutzverfahren - Kesseldruckverfahren. - 81-09-1981; 10/1988
- TGL 18979 Holzschutz, Termini und Definitionen
- TGL 34303/03 Spielanlagen für Kinder und Jugendliche, Spielelemente. - 78-01-1978
- TGL 10685/12 Bautechnischer Brandschutz.

Folgende DIN-Bestimmungen sind aktuell:

- DIN 52175 Holzschutz, Begriffe und Grundlagen
- DIN 68800 "Holzschutz" Teil 3, Tauchen und Trogränkung, Ausgabe April 1990
- DIN 68800 "Holzschutz im Hochbau"
- Chemikaliengesetz
- Gefahrstoffverordnung
- Teerölverordnung, 27.05.1991
- TRGS 6xx Ersatzstoffe und Verwendungsbeschränkungen für Chrom(VI)-haltige Holzschutzmittel (noch nicht veröffentlicht).

Das HOLZSCHUTZMITTELVERZEICHNIS (1992) wird jährlich aktualisiert.

Im übrigen wird auf die Merkblätter der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V. (DGfH) für den sicheren Betrieb von Nichtdruckanlagen mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln sowie von Kesseldruckanlagen mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln sowie von Kesseldruckanlagen mit wasserlöslichen Holzschutzmitteln bzw. mit aromatischen Imprägnierölen verwiesen.

### **1.2 Einteilung**

Erste einfache Anwendungen von Holzschutzmitteln (Arsen, Quecksilbersublimat) gab es vermutlich seit der Antike. Gegen Mitte des 19. Jahrhunderts fanden Steinkohlenteeröle, Arsen, Kupfersulfat und Zinkchlorid in Imprägnieranlagen weite Verbreitung. Ab ca. 1910 wurde Natriumfluorid und ab ca. 1920 Chlornaphthalin als Imprägniermittel eingesetzt. Ab etwa 1930 sind synthetische HSM wie Pen-

tachlorphenol und Lindan ebenso in Gebrauch wie Zinnverbindungen und Chromate.

Bor wird seit ca. 1950 verwendet. Seit den 60er Jahren wurden zunehmend fixierende Mehrfachsalze auf Chrombasis eingesetzt.

Als technologisch wichtigste Verfahren wurden ab der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts das Tauch- und das Trogrränkverfahren und ab ca. 1850 das Kesseldruckverfahren entwickelt (INFU, 1990).

Nach dem Anwendungsbereich sind zu unterscheiden:

- Holzimprägnierwerke
- Holzverarbeitungsstandorte
- mobile Anwendungen.

In **Holzimprägnierwerken** ist die Holzimprägnierung als Hauptproduktionszweig anzusehen. HSM wurden in breitem Umfang verwendet. Sowohl das Kesseldruckverfahren als auch das Trogrränkverfahren fanden Verwendung, wobei das erstere im großtechnischen Maßstab Bedeutung hatte. Ein großer Anwendungsbereich war die Holzschutzbehandlung von Bahnschwellen, ein anderer die Behandlung von Masten und Bauholz.

Auf **Holzverarbeitungsstandorten** wurden Holzschutzverfahren als Nebenproduktionszweig zum Oberflächenschutz von Holzprodukten angewendet. HSM wurden eher im kleintechnischen Maßstab und überwiegend im Trogrränkverfahren eingesetzt. Daneben wurde gespritzt und gestrichen.

**Mobile Anwendungen** - z.B. Nachimprägnierungen vor Ort bei der Bauwerkssanierung - haben aufgrund der geringen verwendeten HSM-Mengen kaum Bedeutung.

(Anm.: Nicht betrachtet werden hier die Produktion der HSM-Chemikalien selbst sowie die Herstellung von Spanplatten mit lösungsmittel- und formaldehydhaltigen Bindemitteln.)

### 1.3 Technologie

Nach dem technologischen Verfahren sind zu unterscheiden (KDT, 1987):

- Vollschutzverfahren (Kesseldrucktränkung, Trogsaugverfahren)
- Tiefschutzverfahren (Trogrränkverfahren, Durchtränkung)
- Randschutzverfahren (Paket-Tauchverfahren, Tauchen, Diffusionsverfahren, Streichen, Spritzen).

Mit Vollschutzverfahren erreicht man eine vollständige Querschnittsdurchtränkung des Holzes mit HSM. Bei Tiefschutzverfahren erfolgt eine unvollständige Querschnittsdurchtränkung mit einer Mindesteindringtiefe von 8 mm. Bei Randschutzverfahren beträgt die Eindringtiefe der HSM höchstens 8 mm.

Von altlastenrelevanter Bedeutung für Holzimprägnierstandorte sind insbesondere

- Kesseldruckverfahren
- Trogrränkverfahren
- Diffusionsverfahren
- Sprühverfahren.

**Kontaminationsträchtige Faktoren** sind vor allem Leckagen bei Imprägnier- und Konservierungsmittelbehältern (Tanks, Tauchbäder) sowie Handhabungs- und Abtropfverluste auf unbefestigten Betriebsflächen (Abtropfplätze). Daneben traten Ölverluste bei Transportanlagen und Kompressoren auf. An Betriebstankstellen ist mit Dieselkontaminationen zu rechnen. Gleisanlagen können mit Herbiziden behandelt worden sein.

### 1.3.1 Kesseldruckverfahren

Zu den Kesseldruckverfahren zählen:

- Vakuumverfahren
- Volltränkverfahren
- Wechseldruckverfahren
- Luftnachdruckverfahren.

Der Anlagenaufbau unterscheidet sich leicht bei Verwendung öliger und wasserlöslicher HSM. Bei öligen HSM wird eine Heizvorrichtung für Temperaturen von 110-120 °C benötigt, bei wasserlöslichen HSM ein mechanische Misch- und Löseanlage. Der Unterdruck im Arbeitskessel beträgt mindestens 80 kPa, der Überdruck mindestens 0.7 MPa.

Das zu behandelnde Holz wurde meist auf Eisenbahngleisen angeliefert und bis in den Tränkkessel gefahren. Das Tränkverfahren im Druckkessel wurde bei wechselnden Über- und Unterdruckphasen durchgeführt.

Nach der eigentlichen Trängung erfolgt bei den heutigen modernen Verfahren eine Dampf- und Vakuumfixierung, so daß die HSM nach 2 Stunden fest im Holz gebunden sind. Bei herkömmlichen Technologien betrug dieser Fixierungsprozeß bis zu 4 Wochen, in dieser Zeit konnten HSM auf offenen Lagerplätzen noch ausgewaschen werden.

**Tab. 1:** Technologischer Ablauf beim Kesseldruckverfahren.

Kesseldruckanlage für ölige HSM	Kesseldruckanlage für wasserlösliche HSM
Ölübergabestation	Lageraum für HSM
	Misch- und Lösegefäß
Vorratsbehälter	Vorratsbehälter
Vorwärmer	
Tränkdruckkessel mit Heizanlage	Tränkdruckkessel
Vakuumanlage	Vakuumanlage
Pumpen / Druckluftanlage	Pumpen / Druckluftanlage
Gleiswaage	Gleiswaage
Abtropfplatz	Abtropfplatz
Verladung	Verladung

Kontaminationsschwerpunkte sind vor allem Abtropfplätze und Leckagen an Tanks, Kesseln und Rohrleitungen.

### 1.3.2 Trogtränkverfahren

Zu den Trogverfahren zählen:

- Trogtränkverfahren
- Trogsaugverfahren
- Tauchverfahren.

Beim Trogtränkverfahren wird das zu behandelnde Holz vollständig in wasserlösliche HSM bei Normaltemperatur eingetaucht. Die Tränddauer beträgt 3-6 Tage.

Besonderheit beim Trogsaugverfahren (v.a. für Masten) war, daß an ein oder zwei Enden über Anschlußkappen ein Vakuum angelegt wurde.

Der technologische Ablauf beim Tauchverfahren ist ähnlich dem Trogtränkverfahren, nur die Eintauchzeit des Holzes ist wesentlich kürzer.

**Tab. 2:** Technologischer Ablauf beim Trogsaug- und Trogtränkverfahren.

<b>Trogsaugverfahren</b>	<b>Trogtränkverfahren</b>
(Mechanische Beschickungsvorrichtung)	(Mechanische Beschickungsvorrichtung)
Lageraum für HSM	Lageraum für HSM
Misch- und Lösegefäß	Misch- und Lösegefäß
Vorratsbehälter	Vorratsbehälter
Vakuumpumpe, Anschlußkappen	
Tränktröge	Tränktröge
Förderpumpen	Förderpumpe
Gleiswaage	Gleiswaage
Abtropfplatz	Abtropfplatz
Verladung	Verladung

Kontaminationsschwerpunkte sind vor allem Abtropfplätze und Leckagen an Tanks und Tauchbädern. Hohe Abtropfverluste von bis zu 50% des eingesetzten HSM sind möglich.

### 1.3.3 Diffusionsverfahren und Durchtränkung

Beim Diffusions- oder Osmoseverfahren wurde Langholz (Masten) mit pastösen HSM (Salze) gestrichen, das dann für 2-3 Monate in abgedeckten Holzstapeln lagerte. Auch beim Diffusionsverfahren können bei der Lagerung auf unbefestigten Plätzen erhebliche HSM-Mengen in den Boden gelangen.

Bei der Durchtränkung (Boucherie-Verfahren) wurde frisches Langholz schräggestellt. Am oberen Ende wurden wasserlösliche Salze aus Hochbehältern zugeführt, die die Baumsäfte verdrängten (daher auch Saftverdrängungsverfahren genannt).

### 1.3.4 Sprühverfahren

Beim Sprühverfahren wurde das zu behandelnde Holz manuell mit HSM gespritzt. Das Verfahren ist durch hohe Verluste an Tränkmitteln gekennzeichnet, die auf meist unbefestigten Oberflächen in den Boden gelangen konnten. Verluste bis zu 50% waren im Freien möglich.

### 1.3.5 Sonstige Anlagen

Sonstige Anlagen waren meist Werkstätten und eine Betriebstankstelle für Diesel.

## 1.4 Schadstoffe

Holzschutzmittel sind chemische Erzeugnisse zum Schutz von Holz gegen holzschädigende Einwirkungen, insbesondere gegen holzschädigende Pilze, Insekten und Feuer.

Alle HSM haben biozide Wirkung und sind daher mehr oder weniger toxisch.

Folgende HSM-Arten werden unterschieden:

- wasserlösliche HSM
- ölige HSM
- gasende HSM.

Gasende HSM haben für Holzimprägnierstandorte kaum altlastenrelevante Bedeutung, da es sich um Einmalbehandlungen und Versuche handelte. Wirkstoffe waren z. B. Phosphorwasserstoff und Blausäure.

(Anm.: Nicht betrachtet werden holzschützende und holzpflegende Anstrichstoffe.)

#### 1.4.1 Charakterisierung der vorkommenden Stoffe und Stoffgruppen

**Ölige HSM** basieren auf in organischen Lösungsmitteln gelösten Bioziden und auf Teerölprodukten.

**Wasserlösliche HSM** sind feste salzartige HSM ohne oder mit Fixierungseigenschaften.

Unter **sonstigen** Schadstoffen werden die in Nebenprozessen verwendeten Stoffe verstanden.

**Ölige HSM:** Ölige HSM kommen als gebrauchsfertige Flüssigkeiten in den Handel und werden unverdünnt angewendet. Man unterscheidet **Biozid-Lösemittelgemische** und **teerölartige HSM**.

Biozid-Lösemittelgemische enthalten als Wirkstoffe Kontaktinsektizide wie DDT und Lindan, Totalbiozide wie Tributylzinnoxid und Fungizide wie PCP. Lösemittel sind v.a. Teeröle und Phenole, aber auch Chlornaphthaline, chlorierte Phenole und LHKW.

Teerölartige HSM sind Ölfractionen aus der Carbo-, Petrol- und Harzchemie in Siedebereichen zwischen 170 und 360 °C. Aufgrund der Geruchsbelästigung sind sie in der Regel nur für den Außenbereich geeignet. (Schwellen und Masten).

Steinkohlenteeröl gehört zu den bewährtesten HSM. Es stellt ein PAK-Gemisch mit den Hauptanteilen Naphthalin, Methylnaphthalin, Phenanthren und Anthracen dar.

In der DDR wurde es mit Braunkohlenölen verschnitten. Das PAK-Gemisch enthielt u.a. Phenanthren, Anthracen, Fluoren und Methylnaphthalin. Vereinzelt wurden Harzöle beigemischt.

Erwähnt werden muß, daß bei der Verbrennung von PCP-haltigem Holz Hexachlorbenzol entstehen kann. Dioxine / Furane können sich bei Schwelbränden in HSM-Lagern entwickeln.

**Wasserlösliche HSM:** Wasserlösliche HSM sind in Wasser lösliche anorganische, vereinzelt organische Salze oder Salzgemische mit biozider oder/und feuerhemmender Wirkung.

Die bioziden Wirkstoffe sind Verbindungen mit Fluor, Bor und Kupfer.

Feuerhemmende Substanzen sind Phosphate und Ammoniumsalze. Als Fixierungskomponente wirken Chromat und Arsenat. Gegen Moderfäule sind auch Quecksilberverbindungen wirksam.

**Tab. 3 :** Eignung spezieller HSM (Handelsname) in der DDR für die wichtigsten Verfahrensarten.

<b>Streichen, Sprühen</b>	<b>Trogtränkverfahren</b>	<b>Kesseldruckverfahren</b>
Vogel-Fluat	Dohnalit UII	Dohnalit U
Kulbasal B	(Kulbasal B)	Dohnalit UII
Dohnalit Pyro I	(Dohnalit Pyro I)	Dohnalit CKF
Dohnalit UII		(Dohnalit Pyro I)

**Sonstige Schadstoffe:** In Nebenprozessen wurden v.a. Mineralöl-Kohlenwasserstoffe verwendet: Die- selkraftstoff (Betriebstankstellen), Hydrauliköl (Kompressoren), Schmierstoffe (Fördereinrichtungen), u. U. Pestizide (Gleisbereiche) .

#### 1.4.2 Zusammenfassung der altlastenrelevanten Stoffe und Stoffgruppen und deren Zuordnung zu Analyseparametern

**Tab. 4:** Altlastenrelevante Stoffe und Stoffgruppen bei Holzimprägnierstandorten sowie chemische Analyseparameter.

Stoffgruppe	Beispiel (Handelsname)	Inhaltsstoffe/Wirkstoffe	Analyseparameter
<b>Ölige Holzschutzmittel</b>			
Teerölartige HSM	· Bekarol TIP · Ricolit	· Steinkohlenteeröl · Braunkohlenöle	PAK (Phenole, BTEX) PAK (Phenole, BTEX)
Biozid-Lösemittel-Gemische	· Hylotox · Kombinol · Paractol, Hylotox IP · Hylotox 59 · Kombinal TO	· Teeröle · (Chlor-) Phenole · PCP, PCB · DDT, Lindan · Tributylzinnoxid, Thiram · Kupfernaphthenat	PAK (MKW) Phenol, EOX PCP, PCB OCP Sn, Hg Cu
<b>Wasserlösliche Holzschutzmittel</b>			
Quecksilbersublimat	(bis ca. 1935)	· Hg	Hg
Zinkchlorid	(bis ca. 1950)	· Zn	Zn
CF-Salze	· Dohnalit U	· Chromverbindungen · Fluorverbindungen	Cr F
CFA-Salze	· Dohnalit UII	· Alkalifluoride · Alkaliarsenate · Alkalibichromat · ev. Dinitrophenole	F As Cr(ges.), Cr(VI) Nitroaromaten
SF-Salze	· Vogel-Fluat	· Silico-Fluoride	F
HF-Salze	· Kulbasal 55 PF	· Hydrogenfluoride	F
B-Salze	· Kulbasal B	· anorg. Borverbindungen	B
CK-Salze	· Celcure K 33	· Cu-Salze, Bichromat	Cu, Cr(ges.), Cr(VI)
CKA-Salze	· Dohnalit UAII-88	· zzgl. Arsenverbindungen	As
CKB-Salze	· Dohnalit CKB-P	· zzgl. Borverbindungen	B
CKF-Salze	· Dohnalit CKF	· zzgl. Fluorverbindungen	F
CFB-Salze	· Dohnalit CFB · Kulbasal U	· Chrom-, Bor- und Fluorverbindungen	Cr(ges.), Cr(VI) B, F
Feuerschutz-Salze	· Dohnalit Pyro I	· Phosphat · Ammonium	Phosphat Ammonium
Sonstiges	· Diesel, Hydrauliköl	· Mineralöle	IR-KW
Bei Brandverdacht			PCDD/PCDF Hexachlorbenzol

## 2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

### 2.1 Altlastenrelevanz

**Holzimprägnierstandorte** weisen aufgrund der in der Vergangenheit üblichen Produktionstechnologien und der in großen Mengen verwendeten umweltgefährdenden Stoffe in der Regel ein hohes schadstoffbedingtes Kontaminationspotential auf. Insbesondere die jahrzehntelange Nutzung unbefestigter Abtropfplätze mit großer Flächenausdehnung und unter freiem Himmel konnte zu beträchtlichen Kontaminationen des Schutzgutes **Boden** führen.

Die besonders relevanten Schadstoffe PAK, Phenole, Cu, Cr, As, B, F, Hg, aber auch PCP und OCP wurden mit dem Niederschlagswasser in den Boden eingetragen, so daß besonders in Oberflächennähe hohe Bodenbelastungen auftreten können.

Einige Schadstoffgruppen (PAK, PCP) sind an sich relativ immobil, andere wie Cr(VI) und As gut löslich. Über große Zeiträume und bei erheblichen Schadstoffmengen sowie der Anwesenheit von Lösungsvermittlern können bei entsprechenden geologischen und hydrogeologischen Standortbedingungen die Schadstoffe mit dem Sickerwasser in die wassergesättigte Zone gelangen und so das Schutzgut **Grundwasser** beeinträchtigen.

Da die relevanten Schadstoffe als weitgehend persistent anzusehen sind, finden kaum Abbauprozesse statt, so daß einmal eingetretene Schutzgutbeeinträchtigungen für sehr lange Zeit weiterbestehen.

Eine Beeinflussung des Schutzgutes **Oberflächenwasser** ist über den Grundwasserpfad sowie über oberflächliche Abschwemmungen durch Regen möglich. Im Einzelfall wäre zu prüfen, ob Einleitungen kontaminierten Abwassers über die Kanalisation / Abwassergräben in Vorfluter gelangen konnten.

Eine Beeinträchtigung des Schutzgutes **Luft** ist kaum relevant, da die spezifischen Schadstoffe schwerflüchtig oder nicht flüchtig sind. Bei der Verwendung von Teerölen könnten lokale Geruchsbelastungen auftreten.

Bei **Holzverarbeitungsstandorten** sind prinzipiell die gleichen Schutzgutbeeinträchtigungen möglich. Die Altlastenrelevanz ist aber insgesamt nicht so beträchtlich, weil i.d.R. geringere Schadstoffmengen verwendet wurden und das behandelte Holz auf kleineren Flächen lagerte.

**Mobile Anwendungen** verursachen i.d.R. keine Altlasten.

### 2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Folgende Schutzgüter können gefährdet sein (Reihenfolge entsprechend der Gefährdung) :

- Boden
- Grundwasser
- Oberflächenwasser.

Menschen, Tiere und Pflanzen sind durch die Nutzung der o.g. Schutzgüter bzw. durch den direkten Kontakt gefährdet.

### 2.3 Gefährdungsabschätzung nach der Sächsischen Altlastenmethodik (SALM)

Aufgrund der vorkommenden Stoffe und des vorhandenen hohen Gefährdungspotentials für die Schutzgüter ist bei Holzimprägnierwerken und bei Holzverarbeitungsstandorten, auf denen mit HSM umgegangen wurde, immer eine Gefährdungsabschätzung durchzuführen.

#### 2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Verdachtsfallerfassung und Erstbewertung erfolgen nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT- UND LANDESENTWICKLUNG (1998) im Sächsischen Altlastenkataster (SALKA). Folgende Kriterien sind bei Holzimprägnierstandorten besonders zu beachten:

**(7) Art der Verdachtsfläche:** Holzimprägnierstandorte sind prinzipiell als Altstandorte mit den in Pkt. 1.3 genannten Teilbereichen zu bewerten.

**(14) Fläche:** Da meistens nicht die gesamte Betriebsfläche kontaminiert ist, sind die (wahrscheinlich) betroffenen Teilflächen zur Kontaminationsfläche zu addieren. Das sind insbesondere Produktionsbereiche (Tränkanlagen, Tanks) und Lagerflächen (Abtropfplätze), desweiteren Transport- und Wartungsbereiche. Die kontaminierte Fläche ist für den Einzelfall abzuschätzen.

**(15) Volumen:** Wenn die Eindringtiefe abgeschätzt werden kann, ist das Volumen anzugeben.

**(18) Sohllage zum Grundwasser:** Es ist der Abstand des tiefsten bekannten Schadstoffpunktes zur Grundwasseroberfläche anzugeben. Wenn keine begründeten Annahmen zur Eindringtiefe der Schadstoffe vorliegen, ist die Geländeoberfläche als Bezugspunkt zu nehmen. Mit unterirdischen Anlagen (Erdtanks) ist auf Holzimprägnierstandorten kaum zu rechnen.

**(20) Einordnung in Branchenschlüssel und Belastungsstufe:**

Holzimprägnierstandorte zählen zur Hauptgruppe I: Produzierendes und verarbeitendes Gewerbe.

**Tab. 5:** Einordnung der Holzimprägnierstandorte in Branchenschlüssel und Belastungsstufen

Branchenschlüssel	Branche	Gefährdungsklassen
0735	Bereich Holzbe- und -verarbeitung	25
0740	Holzverarbeitung / Rohholz	22
<b>0750</b>	<b>Holzimprägnierwerke</b>	<b>35</b>
0800	Holzverarbeitung / Großtischlerei	24

Nach obiger Tabelle wird bewertet, wenn keine konkreten Schadstoffe bekannt sind.

### 2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Die Historische Erkundung ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998 a) durchzuführen und nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b) für Boden, nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a) für Grundwasser und (nach Fertigstellung) entsprechend nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. a) für Oberflächenwasser sowie im Ausnahmefall nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorb. b) für Luft zu bewerten.

Zugehöriges EDV-Programm: GEFA V.3.0 nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 a und b).

#### Stoffgefährlichkeit - $r_0$ :

$r_0 = 0,5-6,0$  unter Berücksichtigung der Art der Aufnahme und der ökotoxikologischen Bedeutung nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung).

Der obere Wert  $r_0 = 6$  beruht auf der humantoxikologischen Bewertung von Pentachlorphenol (PCP) und Dioxinen / Furanen (PCDD / PCDF).

- Verwendung öliger HSM:  $r_0 = 5,2-5,4$  (entsprechend Werten für PAK allgemein)

- Wasserlösliche HSM:  $r_0 = 5,1-5,4$  (entspricht Wert für Arsen-Verbindungen).

#### Örtliche Bedingungen, m-Werte:

Im folgenden werden die schadstoffabhängigen Einflußfaktoren eingegrenzt. Die spezifischen Standortbedingungen sind einzelfallbezogen zu bewerten.

**Grundwasser -  $m_I$** 

- Lage zum Grundwasser:  $m_I = 1.2$ , Ausnahme: Erdtanks oder andere unterirdische Anlagen im Grundwasser oder im Grundwasserwechselbereich (in Holzimprägnierwerken kaum anzutreffen).
- Oberflächenabdeckung: Bei versiegelter oder bewachsener Oberfläche  $\Delta m = \pm 0$ , sonst  $\Delta m = -0.1$  (unbefestigte Abtropfplätze).
- Oberflächenabdichtung: Bei bebauten oder überdachten Bereichen  $\Delta m = -0.1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$  (unbefestigte Abtropfplätze).
- Löslichkeit / Aggregatzustand: Bei wasserlöslichen HSM:  $\Delta m = \pm 0$ . Bei öligen HSM: Biozid-Lösemittelgemische:  $\Delta m = \pm 0$ ; Teeröle (bei Normaltemperatur):  $\Delta m = -0.3$ .

**Grundwasser -  $m_{II}$** 

- Sorbierbarkeit: Bei Stoffgemischen wird der Stoff mit der niedrigsten Sorbierbarkeit herangezogen. Bei geringen bis mittlerem bzw. starkem Humus- oder Tonanteil ergibt sich:  
Biozid-Lösemittelgemische: Phenol;  $\Delta m = \pm 0$  bzw.  $-0.1$   
Teeröle: PAK-Gemisch;  $\Delta m = -0.1$  bzw.  $-0.2$  (Sorption an humosen Substanzen)  
Salze: Schwermetalle;  $\Delta m = -0.1$  bzw.  $-0.2$  (Sorption an Tonmineralen).
- Acidität: Bei saurem pH-Wert und Schwermetallen  $\Delta m = +0.1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$ .
- Lösungsvermittler: Bei Biozid-Lösemittelgemischen wirkt Phenol als Lösungsvermittler für PAK:  $\Delta m = +0.1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$ .
- Abbaubarkeit: PAK können biologisch schlecht abgebaut werden. Die Anwesenheit von Schwermetallen (bei Verwendung öliger **und** wasserlöslicher HSM) wirkt zusätzlich negativ:  $\Delta m = \pm 0$ .

**Grundwasser -  $m_{III}$** 

- Abstandsgeschwindigkeit: Allein abhängig von der konkreten hydrogeologischen Situation.
- Sorption: Bewertung analog  $m_{II}$ -Wert in Abhängigkeit vom Ton- und Humusgehalt des Grundwasserleiters.
- Abbaubarkeit: HSM-spezifische Schadstoffe werden in der gesättigten Bodenzone kaum abgebaut:  $\Delta m = \pm 0$ .

**Grundwasser -  $m_{IV}$** 

- Aufbereitungsmöglichkeiten: HSM-typische Schadstoffe werden in der normalen Trinkwasseraufbereitung nicht erfaßt:  $\Delta m = \pm 0$ .
- Verdünnung: Primär von der standortspezifischen Ergiebigkeit des Grundwasserleiters abhängig, sekundär von Konzentration, Löslichkeit und Dichte der Schadstoffe.

**Boden -  $m_I$** 

- Fallzuordnung: Prinzipiell können alle 4 lt. Methodik aufgeführten Fälle auftreten, hauptsächlich aber Fall 1: Der zu schützende Boden ist die Altlast selbst;  $m_I = 1.0$  sowie Fall 2: Der zu schützende Boden liegt in der Umgebung der Altlast;  $m_I = 0.6$ .

Je nach Fall sind die folgenden Schadstoffeigenschaften zu spezifizieren:

- Abdeckung: s. Grundwasser ( $m_I$ -Wert).
- Löslichkeit: Das Spektrum reicht von in Wasser leicht bis schwer löslichen Schadstoffen.  
Wasserlösliche HSM, Biozid-Lösemittelgemische: leicht lösliche Schadstoffe;  $\Delta m = \pm 0$   
Teeröle: löslich bis schwer löslich (bei Normaltemperatur);  $\Delta m = -0.2$  bis  $-0.4$ .
- Sorption: s. Grundwasser je nach Ton-/Humusgehalt und Schadstoffart;  $\Delta m = \pm 0$  bis  $-0.2$ .
- Lösungsvermittler: Phenol wirkt gegenüber PAK (und anderen Organika) als Lösungsvermittler - bei Biozid-Lösemittelgemischen  $\Delta m = +0.1$ , sonst  $\Delta m = \pm 0$ .

### **Boden - m<sub>II</sub>**

Der Schadstoffeintrag ist standortabhängig zu bewerten.

### **Boden - m<sub>III</sub>**

- Chemische und mikrobielle Abbaubarkeit:
  - PAK: Eingeschränkte biologische Abbaubarkeit;  $m_{III} = 0.9$
  - Schwermetalle: Nicht biologisch abbaubar;  $m_{III} = 1.0$
  - Chrom(VI): Chemisch umwandelbar in das geringer toxische Chrom(III).
- Toxische Abbauprodukte: Bei PAK möglich (z.B. bei Pyren), wegen der schlechten Abbaubarkeit aber nicht überbewerten;  $\Delta m = \pm 0$ .
- Verweilzeit im Boden: Bei PAK und Schwermetallen sehr lange;  $\Delta m = \pm 0$ .
- Sorption / Bindungsstärke:
  - a) Bewertung bezüglich oraler Schadstoffaufnahme: Der ungünstigste Fall muß angenommen werden. PAK werden an Humus gebunden, Schwermetalle an Tonminerale;  $\Delta m = +0.1$
  - b) Bewertung bezüglich Bioverfügbarkeit:
    - Teeröle: gering bioverfügbar;  $\Delta m = -0.1$
    - Phenole: gut bioverfügbar;  $\Delta m = +0.1$
    - Schwermetalle: in Abhängigkeit von der jeweiligen Bindungsstärke bewerten.
- Beobachtete Wirkung: Bei festgestellten Bodenveränderungen (Verfärbung, Geruch) oder Pflanzenschäden  $\Delta m = +0.1$  bis  $+0.2$ .

### **Boden - m<sub>IV</sub>**

Im Stadium der Historischen Erkundung liegen im allgemeinen keine Analysenwerte vor.

## **2.3.3 Orientierende Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 2)**

Wird weiterer Handlungsbedarf festgestellt, folgt die Stufe der Orientierenden Erkundung (Phase E<sub>1,2</sub>).

Die Orientierende Erkundung ist nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a und b) und SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a), im Ausnahmefall (in Vorbereitung b) durchzuführen und nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu bewerten.

Zur qualitativen Erfassung der Kontaminationsschwerpunkte sind (neben der Erfassung naturräumlicher Daten) chemisch-physikalische Untersuchungen erforderlich.

Die folgenden Tabellen 6 und 7 enthalten das - im konkreten Fall nach den Ergebnissen der Historischen Erkundung anzupassende - Analytikspektrum für Boden und Grundwasser (bzw. Eluat) sowie eine mögliche Parametererweiterung für die Detailerkundung (Beweisniveau 3). Spezielle Einzelsubstanzen werden im Stadium der Orientierenden Erkundung meist noch nicht untersucht. Auf BN 2 nachgewiesene Substanzen müssen selbstverständlich bei der Detailerkundung weiteruntersucht werden.

Bei der Analytik sind die jeweiligen DIN-Verfahren anzuwenden.

**Boden:** Mittels Bodenproben aus unterschiedlichen Teufenbereichen (zuerst oberflächennah) sind die Kontaminationsschwerpunkte gemäß Pkt. 1.3 zu untersuchen, um das relevante Schadstoffspektrum zu ermitteln und erste Angaben zur räumlichen Verteilung der Schadstoffe zu gewinnen. Die Probenahme ist nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998 b) durchzuführen.

**Grundwasser:** Die Entnahme von Grundwasserproben hat unter Beachtung der entsprechenden DVGW-Merkblätter im An- und Abstrom zu erfolgen. In der Regel sind zwei Meßstellen im Abstrom und eine Meßstelle im Anstrom erforderlich. Der wasserführende Bereich eines Grundwasserleiters ist vollständig zu verfiltern.

Angetroffenes Schichtenwasser ist nach Möglichkeit mit zu untersuchen.

**Bodenluft:** Bodenluftuntersuchungen sind aufgrund der vorherrschenden schwerflüchtigen Schadstoffe in der Regel nicht angezeigt.

**Tab. 6:** Physikalisch-chemische Grundparameter für die Orientierende Erkundung und die Detailerkundung.

Grundparameter	Boden	Eluat	Grundwasser
Geruch, Farbe, Aussehen	X	X	X
pH-Wert, El. Leitfähigkeit		X	X
Temperatur, O <sub>2</sub> -Gehalt			X
Trockensubstanz	X		X
Konsistenz	X		
TOC / DOC	X		X
Gesamthärte			X

**Tab. 7:** Analysenplan mit branchenspezifischen Parametern der beiden HSM-Hauptgruppen für die Orientierende Erkundung und die Detailerkundung.  
(Wasser: Grundwasser und Eluat)

Parameter	Ölige HSM		Wasserlösl. HSM		Beweis-niveau	Bemerkung
	Boden	Wasser	Boden	Wasser		
AOX / EOX	X	X	X	X	2	
PAK (EPA-16)	X	X			2	
Phenole	X	X			2	
IR-KW	X	X			2	
LHKW, BTEX	(X)	(X)			2	
Pentachlorphenol	X	(X)			3	
Organochlorpestizide	(X)	(X)			3	
Dioxine / Furane	(X)				3	Bei Brandverdacht
B, F			X	X	2-3	
As			X	X	2	
Cr <sub>ges</sub> , Cr(VI)			X	X	2	
Cu	X	X	X	X	2	
Hg			(X)	(X)	2-3	
Zn			X	X	2-3	
Sn	X				3	
Ammonium				X	2	Feuerschutzmittel
Phosphat				X	2	Feuerschutzmittel
Chlorid				X	2	
Nitrat / Nitrit				X	2	
Sulfat / Sulfid				X	2	
IR-KW	X	X	X	X	2	Lösungsmittel, Betriebsstoff

### FORMALE BEWERTUNG

Die formale Bewertung ist analog Pkt. 2.3.2 (Historische Erkundung), jedoch mit detaillierteren, analytisch unteretzten Werten durchzuführen. Nachfolgend werden nur die Besonderheiten in der Stufe der Orientierenden Erkundung herausgestellt.

#### Stoffgefährlichkeit - $r_0$ :

Die Stoffgefährlichkeit wird nicht mehr nach der Brancheneinstufung, sondern nach analytisch bestimmten relevanten Parametern festgelegt. Dabei ist der Schadstoff mit dem höchsten  $r_0$ -Wert in Ansatz zu bringen.

Ausnahme: Wenn sich aufgrund der spezifischen Standort- und Stoffeigenschaften sowie der Stoffmengen aus einem niedrigeren  $r_0$ -Wert ein höherer Risikowert ergibt, so ist dieser Stoff für die Bewertung auszuwählen.

### **Grundwasser - $m_I$ bis $m_{III}$**

Die Stoffeigenschaften (Löslichkeit, Sorption, Abbaubarkeit) sind entsprechend der ermittelten relevanten Stoffe zu spezifizieren.

- Löslichkeit: Für die nachgewiesenen Stoffe spezifizieren, z.B. Arsen;  $\Delta m = \pm 0$ .
- Sorption: Sind z.B. nur PAK relevant und der Boden ist stark humos, ist  $\Delta m = -0.2$ .
- Abbaubarkeit: Wurden z.B. PAK **und** Schwermetalle nachgewiesen, ist  $\Delta m = \pm 0$ .

### **Grundwasser - $m_{IV}$**

Die ermittelten Schadstoffkonzentrationen sind mit den Prüf- Maßnahmen- und Orientierungswerten nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu vergleichen und entsprechend zu bewerten.

### **Boden - $m_I$ bis $m_{III}$**

Die Stoffeigenschaften sind entsprechend der ermittelten relevanten Stoffe zu spezifizieren. Gegenseitige Stoffbeeinflussungen sind zu beachten.

- Löslichkeit: Für die nachgewiesenen Stoffe spezifizieren.
- Sorption: s. Pkt. 2.3.2.
- Abbaubarkeit: Spezifizierung anhand der Untersuchungsergebnisse, z.B.:

- Schwermetalle nachgewiesen:  $m_{III} = 1.0$
- PAK allein nachgewiesen:  $m_{III} = 0.9$ .

### **Boden - $m_{IV}$**

Die Analysenwerte sind mit den nutzungsabhängigen Prüf- Maßnahmen- und Orientierungswerten nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu vergleichen. Der weitere Handlungsbedarf ist anzugeben.

## **2.3.4 Detailerkundung und Bewertung (Beweisniveau 3)**

Ergibt die Bewertung auf Beweisniveau 2 weiteren Handlungsbedarf, folgt die Stufe der Detailerkundung (Phase E<sub>2,3</sub>) zur quantitativen Abgrenzung des Schadensherdes und ggf. der Schadstofffahne sowie zur abschließenden Gefährdungsabschätzung.

In der Phase der Detailerkundung ist das Untersuchungsspektrum bei entsprechenden Hinweisen aus der Orientierenden Erkundung gezielt auf spezielle Schadstoffe auszudehnen (z.B. Chlornaphthalin, Dinitrophenol, Organoquecksilberverbindungen, DDT, Barium). Zu empfehlen ist ein GC/MS-Screening (ölige HSM) bzw. eine Röntgenfluoreszenzanalyse (wasserlösliche HSM), um Einzelsubstanzen bzw. Einzelelemente zu identifizieren.

Für die Entscheidung zur Sanierung eines Holzimprägnierstandortes werden in der Regel die Gefährdung von Schutzgütern durch die PAK- und die Schwermetallgehalte im Boden und besonders im Grundwasser entscheidend sein.

Die Gefährdungsabschätzung erfolgt nutzungs- und schutzgutbezogen entsprechend SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung c).

Im Ergebnis können Sofortmaßnahmen (Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen wie z.B. eine Oberflächenabdeckung), Maßnahmen zur Sicherung / Sanierung, die fachtechnische Überwachung, der Verbleib im oder das Ausscheiden aus dem Altlastenkataster stehen.

Wird eine Sanierung empfohlen, sind vorläufige Sanierungszielwerte vorzuschlagen.

Sanierungszielwerte liegen im allgemeinen zwischen den Prüf- Maßnahme- und Orientierungswerten gemäß SALM, sind aber immer einzelfallspezifisch von der zuständigen Umweltbehörde festzulegen.

## 2.4 Sanierungsuntersuchung

Hat die Gefährdungsabschätzung die Notwendigkeit einer Sanierung ergeben, ist auf der Basis vorläufiger Sanierungszielwerte, der betroffenen Schutzgüter und der derzeitigen oder geplanten Flächennutzung eine Sanierungsuntersuchung durchzuführen. Ziel ist die Ermittlung der geeigneten und angemessenen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zur Gefahrenabwehr im Rahmen eines Variantenvergleichs.

Die Sanierungsuntersuchung umfaßt folgende wesentliche Arbeitsschritte:

- Grundlagenermittlung (Bestandsaufnahme, Vorauswahl, Untersuchungsprogramm)
- Ergänzende Standortuntersuchungen (z.B. zur Festlegung der Sanierungsbereiche)
- Prüfung von Sanierungsalternativen (Machbarkeitsstudie mit Feldversuchen)
- Verfahrensvorschlag (aus fachlicher, ökonomischer und rechtlicher Sicht)
- Anpassung / Festlegung von Schutz- und Sanierungszielen
- Abschließendes Planungskonzept.

Bei Holzimprägnierstandorten sind aus technischer Sicht z.B. Abbauversuche (Teeröle und Phenole), Waschversuche (besonders Schwermetalle), Immobilisierungs- und Pumpversuche denkbar.

Die Ergebnisse der Sanierungsuntersuchung dienen der Ordnungsbehörde als Entscheidungsgrundlage über Art und Umfang der im konkreten Einzelfall durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen. Der Sanierungsbescheid umfaßt die verbindliche Festlegung der Sanierungsziele und des (der) Sanierungsverfahren(s), auf dessen Grundlage die Sanierungsplanung (Sanierungskonzept) erarbeitet wird.

## 2.5 Sanierung

Im folgenden werden die Sicherungs-/Sanierungsverfahren diskutiert, die für die Spezifik von Holzschutzmittelkontaminationen als besonders geeignet erscheinen. Daneben sind weitere Gefahrenabwehrmaßnahmen wie Umlagerung oder Schutz- und Beschränkungsmaßnahmen denkbar.

Die Reihenfolge der Nennung entspricht der derzeitigen Bedeutung.

Verfahrenskombinationen sind möglich.

Schadstoffspezifische Verfahren wie **Oberflächenversiegelung** und **Einkapselung** (beide prinzipiell gut geeignet für Holzimprägnierstandorte) oder hydraulische Sperren werden hier **nicht** extra betrachtet.

Die für Holzimprägnierstandorte charakteristischen und sanierungsrelevanten Schadstoffe sind v.a. Schwermetalle und PAK, daneben Phenole, Pentachlorphenole, Fluoride, Borate etc. (s. Pkt. 1.4.2).

Oft wird eine Kombination von Dekontaminations- und Sicherungsverfahren die günstigste Lösung sein, z.B. Auskoffierung und thermische Behandlung der am stärksten kontaminierten Bodenbereiche, eine Oberflächenversiegelung der leicht belasteten Flächen sowie ggf. eine Grundwassersanierung.

Während für die Sanierung von PAK-kontaminierten Böden (Teerölschäden) die thermische Behandlung geeignet ist, sind für Schwermetallkontaminationen des Bodens Bodenwaschverfahren geeignet.

Generell schwerer und nur mit erhöhtem Aufwand zu sanieren sind Mischkontaminationen, insbesondere von organischen Schadstoffen und Schwermetallen. Hier kommen oft nur noch Sicherungsmaßnahmen in Frage.

### 2.5.1 Thermische Verfahren

#### Prinzip

Off-site-Dekontaminationsverfahren zur thermischen Phasentrennung zwischen verdampfbaren, zersetzbaren oder verbrennbaren Bodeninhaltsstoffen und Bodenmineralen.

- Prozeßführung: Entgasung (Pyrolyse), Vergasung oder Verbrennung
- Prozeßschritte: Konditionierung, Verdampfung / Verbrennung, Nachverbrennung, Abgasreinigung

- Temperaturbereiche: Hoch-, Mittel- und Niedertemperaturverfahren (>900 °C, 300-650 °C, <300 °C).

#### **Stand der Technik**

Stationäre Anlagen zur Direktbefeuerung, Indirektbefeuerung, Wirbelschichtbefeuerung.

#### **Eignung/Anwendung**

- Für alle Schadstoffe außer schwerflüchtigen Schwermetallen
- Methode der Wahl bei hochbelasteten Böden mit für Holzimprägnierwerke typischen Mischkontaminationen von PAK, Phenolen, organischen Pestiziden und IR-KW sowie Quecksilber
- Schwermetalle werden oxydiert.

#### **Wirkungsgrad und Kosten**

- Höchster Wirkungsgrad, aber auch höchste Kosten (200-500 DM/t)
- Hoher Energieverbrauch.

### **2.5.2 Extraktions- und Waschverfahren**

#### **Prinzip**

Off-site- und On-site-Dekontaminationsverfahren zur Ablösung anorganischer und organischer Schadstoffe vom Bodenkorn mittels zugeführter mechanischer Energie, Überführung in die flüssige oder gasförmige Phase oder Ausschleusung mit der Feinstkornfraktion.

- Prozessschritte: Vorbereitung, naßmechanischer Aufschluß, Dispergieren/Suspendieren, Sortieren/Klassieren, Feinststoffabtrennung, Prozeßwasserkreislauf, Wasseraufbereitung, Abluftreinigung
- Extraktionsmittel: Wasser mit oberflächenaktiven, organischen oder anorganischen Zusätzen
- Dekontamination: Aufkonzentrierte Schadstoffe werden nach Abscheiden, Strippen, Adsorbieren o.ä. entsorgt.

#### **Stand der Technik**

Stationäre und (semi-)mobile Anlagen mit chemisch-physikalischer und/oder biologischer Abwasseraufbereitung und Abluftreinigung.

#### **Eignung/Anwendung**

- Gut geeignet für mittel- bis grobkörnige Böden, schlecht geeignet für feinkörnige Böden
- Gut geeignet für einige Schwermetalle, eingeschränkt anwendbar für PAK
- Nur mit erhöhtem Aufwand bei Mischkontaminationen anwendbar.

#### **Wirkungsgrad und Kosten**

- Wirkungsgrad geringer, Entsorgung aufkonzentrierter Reststoffe erforderlich
- Mittlerer Energieverbrauch
- Mittlere Kosten (150-300 DM/t).

### **2.5.3 Immobilisierung**

#### **Prinzip**

Verhinderung oder Verringerung von Schadstoffemissionen durch Verfestigung, Fixierung oder Verglasung (Sicherungsverfahren).

- Wirkmechanismen: physikalische Fixierung, chemische Umwandlung, Agglomeration / Zementation der Feststoffe (Körner), Pelettierung
- Prozessschritte: Auskofferung, Behandlung, Wiedereinbau / Einbau in Landschaftsbauwerken und De-

ponien.

#### **Stand der Technik**

- On-site-Immobilisierung: Für immer mehr Schadstoffarten in der Praxis bewährt
- In-situ: prinzipiell möglich, aber geringe Bedeutung.

#### **Eignung/Anwendung**

- Für Mischkontaminationen geeignet (PAK, Schwermetalle)
- Feinkörnige Böden
- Nur für unsensible Nachnutzung.

#### **Wirkungsgrad und Kosten**

- Schadstoffpotential bleibt erhalten
- Geringer Energieverbrauch
- Günstige Kosten: 80-150 DM/t.

### **2.5.4 Hydraulische Verfahren zur Grundwassersanierung**

#### **Prinzip**

Gezielte Beeinflussung der geohydraulischen Verhältnisse durch Pump- und Versickerungsbrunnen. Oberirdische Wasserreinigung mit vielfältigen Verfahren (schadstoffabhängig).

#### **Stand der Technik**

Klassische Pumpverfahren mit oberirdischer Schadstoffentfernung.

- Für PAK und Phenole: Aktivkohlefilter, MPP-Filter, UV-Naßoxidation, katalytische Oxidation, Bioreaktor (nur Phenol) etc.
- Für Schwermetalle: Fällung, Flockung, Ionenaustauscher, Umkehrosmose etc.

#### **Eignung/Anwendung**

- Abhängig von den konkreten hydrogeologischen Verhältnissen
- Lange Laufzeiten, hoher Kontrollaufwand
- Z.T. hoher Energieaufwand, z.T. hoher Entsorgungsaufwand.

#### **Wirkungsgrad und Kosten**

Schwer zu verallgemeinern, abhängig von Schadensart und -umfang.

### **2.5.5 Biologische Verfahren**

#### **Prinzip**

Abbau oder Umwandlung organischer Schadstoffe durch Mikroorganismen.

- Technologien: Mietenverfahren, Beetverfahren, Bioreaktor.

#### **Stand der Technik**

Off-site und On-site-Dekontaminationsverfahren, in-situ Pilotprojekte

- Sanierung von PAK-Schäden problematisch, daher nicht Stand der Technik
- Einzelne Abbauersuche (einige Pilze) erfolgreich.

### **Eignung/Anwendung**

- Gut geeignet bei MKW, BTEX und Phenolen
- Für Schwermetalle nicht, für PAK (und Pestizide) nur eingeschränkt anwendbar (bis vierkernige Aromaten)
- Zeit- und platzaufwendig.

### **Wirkungsgrad und Kosten**

Bei reinen MKW-Schäden hoher Wirkungsgrad.  
On-site hoher Platzbedarf, geringer Energieverbrauch,  
Kosten ca. 100-180 DM/t.

## **2.5.6 Sanierungsüberwachung**

Aufgrund der meist komplexen Schadstoffsituation ist eine fachtechnische Überwachung der Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen unbedingt erforderlich. Dabei ist v.a. eine effiziente Projektstruktur, ein koordiniertes Vorgehen aller Beteiligten sowie die Einhaltung der technischen Vorgaben und der Arbeitsschutzbestimmungen wichtig.

Neben der Eigenüberwachung des Sanierers ist eine unabhängige analytische Überwachung zur Kontrolle der Sanierungsarbeiten und Dokumentation des Sanierungserfolgs zu installieren.

## **2.5.7 Technische Überwachung**

Insbesondere bei Grundwasserschäden und nach Sicherungsmaßnahmen ist eine regelmäßige Überwachung von Grundwassermeßstellen vorzusehen, die sich über mehrere Jahre erstrecken kann.

Relevante Untersuchungsparameter sind die in der Erkundungsphase festgestellten Schadstoffe bzw. Leitparameter.

## **2.5.8 Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung**

Auf dem Gebiet der Erkundung und Sanierung von Altlasten tätige Ingenieurbüros und Fachfirmen sind dem "Verzeichnis der Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen" zu entnehmen. Das letztmals im Oktober 1995 vom LfUG herausgegebene Verzeichnis ist ab sofort über die Industrie- und Handelskammern in Dresden, Leipzig und Chemnitz zu beziehen.

Bundesweite Angaben enthält das "Technologieregister zur Sanierung von Altlasten" (EDV-Programm TERESA, UMWELTBUNDESAMT, 1997). Aktuelle Informationen sind auch über den Ingenieurtechnischen Verband Altlasten (ITVA) erhältlich.

Abfalltechnische Behandlungsanlagen (thermische, biologische und chemisch-physikalische Bodenbehandlungszentren) sind im "Abfalltechnischen Anlagenkataster" (ANKA) des LfUG sowie in regelmäßigen Publikationen, wie z.B. der Zeitschrift TERRATECH, recherchierbar.

Anbieter von Immobilisierungsverfahren enthält u.a. die LfUG-Publikation "Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten", SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996).

**3 Literaturhinweise**

AMT FÜR STANDARDISIERUNG UND MEßWESEN DER DDR (1988): Holzschutzmittelverzeichnis 1989. - Mitt. ASMW-Außenstelle Eberswalde-Finow.

BILDUNGSZENTRUM FÜR DIE ENTSORGUNGS- UND WASSERWIRTSCHAFT GMBH (1997): Fernlehrgang Altlastenmanagement - Arbeitsmaterialien. - BEW Duisburg / Essen.

DAUNDERER, M. (1990): Handbuch der Umweltgifte - Klinische Umwelttoxikologie für die Praxis. - ecomed Verlag Landsberg.

DIN-TASCHENBUCH (1990): Holzschutz. - Beuth Verlag Berlin-Köln.

IHK DRESDEN (1997): Handbuch der Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Kammerbezirk Dresden. - Publikationen der IHK Dresden.

INFU (1990): Temporale Zusammenstellung branchenspezifischer Abfälle und Ermittlung ihrer Inhaltsstoffe. Band I. - Universität Dortmund i.A. LfU Baden-Württemberg.

INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, Hrsg. (1992): Holzschutzmittelverzeichnis. - Erich-Schmidt-Verlag, Schriften des IfBT, Reihe A, Heft 3, Berlin.

KOCH, R. (1991): Umweltchemikalien. - VCH-Verlagsgesellschaft Weinheim, 2. Aufl.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1990): Branchenkatlog zur historischen Erhebung von Altstandorten. - Materialien zur Altlastenbearbeitung, Bd. 3, Karlsruhe.

LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Vorgehensweise bei Verdacht auf Untergrundkontaminationen durch Holzschutzmittelanwendung. - Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, Texte und Berichte zur Altlastenbearbeitung, Berichtsnr. 21/95, Karlsruhe.

LÜHR H.-P. ET AL. (1995): Stoffgefährlichkeit  $r_0$  für die vergleichende Gefährdungsabschätzung von Altstandortverdachtsflächen. - Erich-Schmidt-Verlag Berlin, IWS-Schriftenreihe; Bd. 20.

KAMMER DER TECHNIK DER DDR (1987): Leitfaden für den Holzschutz-Fachmann. - Eigenverlag der KdT, Berlin.

KOETTER L. ET AL. (1989): Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altstandorten. - Kommunalverband Ruhrgebiet, Essen.

MÜLLER (1997): Holzschutzpraxis. - Bauverlag Walluf.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996): Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Bd. 1/1996, Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998 a): Historische Erkundung von Altlastverdachtsfällen. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998 b): Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Radebeul.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung): Handhabung von Orientierungswerten sowie Prüf- und Maßnahmenwerten zur Gefahrenverdachtsermittlung für die Altlastenbehandlung in Sachsen. - Materialien zur Altlastenbehandlung, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser. Anlage 7: Schadstoffpfad Grundwasser; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden. Anlage 7: Schadstoffpfad Boden; Merkmale, Tabellen und Regeln für die Gefährdungsabschätzung mit dem Programm GEFA. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998): Erfassung von Verdachtsfällen und Formale Erstbewertung. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Luft. - Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 6, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung c): Detailuntersuchung.- Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7, Dresden.