

Sächsisches Landesamt
für Umwelt und Geologie

Branchenbezogene Merkblätter
zur Altlastenbehandlung

Stand: 11/1999
Bearbeiter: IFG Ingenieur-
büro für Geotechnik GmbH
Seiten: 18

Referat Altlasten

8: Chemische Reinigungen

1 Branchentypisches Schadstoffpotential

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Folgende Vorschriften für den Betrieb von chemischen Reinigungen gab es in der DDR:

- Durchführungsbestimmung zum Giftgesetz vom 31. 05.1977. – DDR GBl. 1/21 (13.07.1977).
- 1. Durchführungsbestimmung zur 5. Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz - Reinhaltung der Luft – Begrenzung der Immission und Emission (Luftreinhaltung). – DDR GBl. I/18 (24.4.1973).
- 2. Durchführungsbestimmung zum Giftgesetz vom 31.05.1977. – DDR GBl. 1/21 (13.07.1977).
- 3. Durchführungsbestimmung zum Giftgesetz vom 31.05.1977. – DDR GBl. 1/21 (13.07.1977).
- 5. Durchführungsbestimmung zum Landeskulturgesetz – Reinhaltung der Luft. – DDR GBl. 1/18 : 157 (17.01.1973).
- Arbeitsschutzverordnung. – DDR GBl. 1/36 (1977).
- Erste Durchführungsbestimmung zur 6. Durchführungsverordnung zum Landeskulturgesetz. Reinhaltung der Luft – Begrenzung und Überwachung der Immissionen und Emissionen (Luftverunreinigung). – DDR GBl. Teil 1 Nr. 31 (1979).
- Gesetz über den Verkehr mit Giften - Giftgesetz - vom 07.04.1977. – DDR GBl. 1/10 (14.04.1977).
- Richtlinie über die Anwendung weiterer MIK-Werte bei der Festlegung von Maßnahmen zur Sicherung der Reinhaltung der Luft, vom 01.08.1975. – Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Gesundheitswesen, 16; 9 : 126 (03.11.1975; 03.10.197).
- TGL 22310. Zulässige Konzentration gesundheitsschädlicher Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz. – DDR Standard (1973).
- TGL 32600/01. Maximal zulässige Konzentration gesundheitsgefährdender Stoffe in der Luft der Arbeitszone. – DDR Standard (1977).
- TGL 34193/01. Chemischreinigungsmaschinen – maximale Emissions- und Arbeitsplatzkonzentrationswerte (MEK); (MAK). – DDR Standard (Dezember 1977).
- TGL 34193/01. Fachbereichsstandard Chemischreinigungsmaschine. – DDR Standard.
- TGL 37041/01...07. Fachbereichsstandard Textilreinigung. – DDR Standard.
- TGL 9280. Perchloräthylen rein - herausgegeben vom Kombinat VEB Chemische Werke Buna. – DDR Standard.

Folgende Gesetze und Empfehlungen sind aktuell:

- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen - Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) mit Verordnungen; 27. September 1994
- Sächsisches Abfallwirtschafts- und Bodenschutzgesetz (SächsABG); 20.Mai 1999
- Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen – 2. BImSchV) vom 10. Dezember 1990, zuletzt geändert am 5. Juni 1991
- Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenierter Lösemittel (HKW AbfV) vom 23. Oktober 1989
- Allgemeine Rahmen-Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Rahmen-Abwasser VwV) vom 8. September 1989
- ATV Regelwerk Abwasser – Abfall, Arbeitsblatt A 115, Einleiten von nicht häuslichem Abwasser in eine öffentliche Abwasseranlage, September 1992
- Chemikaliengesetz (ChemG); 12. März 1987
- Gefahrstoffverordnung (mit den entsprechenden technischen Regeln, z. B. TRGS 100, 400, 402, 900)

- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts - Wasserhaushaltsgesetz (WHG); in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. November 1996
- Sächsisches Wassergesetz (SächsWG); in der Fassung vom 21.07.1998

1.2 Einteilung

In chemischen Reinigungen erfolgt die Reinigung von verschmutzten Textilien in organischen Lösungsmitteln. Das betrifft vor allem nicht waschbare und besonders empfindliche Fasern, wie Wolltextilien, Seide, aber auch Ledererzeugnisse.

Die erste chemische Reinigungsanstalt wurde 1825 in Paris gegründet, wonach eine schnelle Verbreitung dieses Gewerbes in die Nachbarstaaten stattfand. Anfänglich setzte man als Lösungsmittel Terpentinöl und später das giftige Benzol ein. Diese wurden durch die ebenfalls brennbaren Leicht- und Schwerbenzine verdrängt. Erst in diesem Jahrhundert ging man zu den nicht brennbaren Halogenkohlenwasserstoffen (CKW, FCKW) über.

Mit Inkrafttreten der 2. BImSchV 1990 darf in chemischen Reinigungen als leichtflüchtiger Halogenkohlenwasserstoff nur noch Tetrachlorethen (Per) in technisch reiner Form verwendet werden. Auf krebserzeugende Zusätze (z. B. in Stabilisatoren) ist ebenfalls zu verzichten. Damit begann die Suche nach geeigneten Ersatzstoffen. Als Alternative haben sich bisher die Kohlenwasserstofflösemittel (KWL) erwiesen.

Die Einteilung der Reinigungsmaschinen erfolgt je nach Luftstromführung beim Warentrocknungsvorgang bzw. nach der Anordnung der Aktivkohlefilter zur Luftstromreinigung in offene (ausblasende) und geschlossene (nicht ausblasende) Anlagen.

Beim Trocknungsvorgang wird heiße Luft durch die Trommel geblasen und über einen Kühler geleitet. Dort kondensieren die lösungsmittelhaltigen Dämpfe. Das Kondensat wird dem Wasserabscheider zugeführt. Die erneut durch ein Heizregister erwärmte Luft wird wieder der Trommel zugeleitet, wo sie Lösungsmittel aufnimmt. Dieser Kreislauf wiederholt sich solange, bis die Textilien kein Lösungsmittel mehr abgeben.

Offene Anlagen

Bei offenen Anlagen befindet sich der Aktivkohlefilter zur Abluftreinigung außerhalb des Trocknungskreislaufes. Die nach der Kühlung (Wasserkühler) bzw. der Kondensation in der Gasphase verbleibenden Restmengen des Lösungsmittels werden erst nach Beendigung des Trocknungsvorganges durch Belüften der Trommel abgesaugt und über den Aktivkohlefilter ins Freie geleitet. Danach wird die Trommel geöffnet und die Ware entnommen.

Die Lösungsmittelverluste dieser Maschinen liegen bei ca. 0,1 – 0,2 kg/kg Reinigungsgut (10 – 20 %).

Benzinanlagen sind meist offene Anlagen. Die Reinigung erfolgt in rotierenden Trommeln durch den Kontakt der Ware mit dem Lösungsmittel und die mechanische Bewegung. Zum Abschleudern wurde das Reinigungsgut in eine separate Zentrifuge umgeladen und zur Trocknung aufgehängt bzw. in Rückgewinnungstumblern getrocknet. Modernere Maschinen haben keine gesonderte Schleudereinrichtung mehr. Die Destillation des Lösungsmittels erfolgt unter Vakuum in technisch aufwendigeren Anlagen, die oft in anderen Räumen untergebracht werden müssen.

Geschlossene Anlagen

Bei geschlossenen Anlagen wurde der Luftreinigungsfilter innerhalb des Trocknungskreislaufes angeordnet. Die Luft durchströmt während des gesamten Trocknungsvorganges - nach Kühlung (Kälteaggregat) und Kondensation - den Aktivkohlefilter. Die Lösungsmittelverluste dieser Bauart liegen mit 0,02 – 0,05 kg/kg Reinigungsgut niedriger - bei 2 – 5 %. Heute werden in Deutschland nur noch geschlossene Anlagen betrieben.

In modernen Maschinen liegen die Systeme der beschriebenen offenen und geschlossenen Anlagen als Kombination vor. Dadurch gelangt kein Abluftstrom mehr nach außen und die Lösungsmittelrestkonzentrationen der Trommelluft sind niedriger. Das ermöglicht eine Senkung der Lösungsmittelverluste auf

0,005 – 0,006 kg/kg Reinigungsgut (0,5 – 0,6 %), wobei ca. 94 % der Verluste durch Emissionen aus entstehenden Abfällen verursacht werden.

Bei den gasdicht geschlossenen Anlagen finden das Reinigen, Schleudern und Trocknen, einschließlich Lösungsmittelrückgewinnung und Destillation meist in einer halbautomatisch oder automatisch arbeitenden Maschine statt. Aber auch hier sind die Transferanlagen verbreitet, bei denen die Textilien nach der Reinigung und dem Abschleudern in einen Tumbler mit Lösungsmittelrückgewinnungsaggregaten umgeladen werden.

Der Durchsatz kann je nach Maschinengröße zwischen 4 und 25 kg Reinigungsgut pro Charge liegen. Als Großanlagen gelten Maschinen mit mehr als 25 kg Ladegewicht. Eine handelsübliche Maschine kann je nach Baugröße 200 – 800 kg Lösungsmittel beinhalten.

1.3 Technologie

Der Unterschied zwischen dem Waschen und dem chemischen Reinigen von Textilien besteht vorrangig in der Art des eingesetzten Lösungsmittels. Beim Waschen wird als Lösungsmittel Wasser unter Zusatz von Waschmitteln verwendet. Da einige Textilfasern den Einsatz von Wasser nicht erlauben und nicht jede Verschmutzung (Öl, Fett) auf diesem Weg entfernbar ist, werden bei der chemischen Reinigung organische Lösungsmittel verwendet. Der für organische Lösungsmittel unlösliche, aber wasserlösliche Schmutz kann durch einen minimalen Wasserzusatz in Verbindung mit Reinigungsverstärkungsmitteln beseitigt werden. In Wasser nur quellbarer und im Lösungsmittel unlöslicher Schmutz (Blut, Stärke) ist während der chemischen Reinigung am schlechtesten entfernbar. Solche Verunreinigungen sind meist nur durch eine gezielte Vor- oder Nachbehandlung (Detachur) zu beseitigen. Des Weiteren können die bei der chemischen Reinigung verlorengegangenen Ausrüstungseffekte (Appretur) durch eine Sonderbehandlung wieder aufgebracht werden. Textilien, die während der chemischen Reinigung nicht sauber geworden sind, oder eine Behandlung mit Lösungsmitteln nicht günstig ist, können einer Naßwäsche unterzogen werden. Sie wird in einer normalen Waschmaschine oder auf einer Platte durchgeführt. Der Naßwäsche-Warenanteil liegt meist unter 2 %. Nach dem Glätten der Textilien durch Bügeln, Dämpfen oder Pressen wird die Ware wieder an den Kunden abgegeben.

Die Technologie der chemischen Reinigungen ist trotz der Anwendung verschiedener Lösungsmittel ähnlich und soll im Folgenden beschrieben werden.

Nach einer eventuellen Vordetachur gelangt das Reinigungsgut in die Reinigungsmaschine. Die wichtigsten Bestandteile einer Reinigungsmaschine sind:

- die perforierte Trommel
- Vorratstanks für Lösungsmittel
- Filter
- Destilliereinrichtung
- Trocknungsvorrichtung.

Während sich die Trommel dreht, wird die Reinigungsflotte (Reinigungslösung) ständig über einen Nadelfänger und eine Filteranlage im Kreislauf gepumpt. Der Nadelfänger dient als Grobfilter zum Abfangen von Knöpfen und Flusen zum Schutz der Kreislaufpumpe. Die Filterelemente des Feinfilters werden vor Reinigungsbeginn meist mit Kieselgur als Filterkuchen angeschwemmt. Dadurch können ungelöste, feste Inhaltsstoffe der Reinigungsflotte zurückgehalten werden. Um Verfärbungen der Flotte durch ausblutende Textilien zu beseitigen, mischt man oft Aktivkohle zum Kieselgur. Das so gereinigte Lösungsmittel läuft wieder in die Reinigungstrommel zurück. Bei jeder Charge wird ein Teil der Flotte zur Destilliereinrichtung abgeleitet. Sie dient der Regenerierung und vollständigen Befreiung des Lösungsmittels von störenden Stoffen. Dabei wird das Lösungsmittel durch Wärmezufuhr in den gasförmigen Zustand überführt, danach in einem Kühler kondensiert. Anschließend wird das mitkondensierte Wasser in einem Wasserabscheider vom Lösungsmittel getrennt. Das Lösungsmittel kann über einen Vorratstank wieder dem Reinigungsprozeß zugeführt werden.

Nach Beendigung der Reinigung wird die Ware abgeschleudert und getrocknet. Das Umladen der Textilien in einen separaten Trockner ist nur bei Benzinanlagen erforderlich bzw. entfällt bei moderneren

CKW-Maschinen. Die lösungsmittelhaltige Abluft aus der Trocknung durchströmt nach der Kühlung einen Aktivkohlefilter. Das an der Aktivkohle adsorbierte Lösungsmittel kann durch Dämpfen mittels Wasserdampf und nachfolgender Kondensation zurückgewonnen werden.

Aus dieser Grundtechnologie entwickelten sich je nach Warenart und Maschinenkonstruktion verschiedene Verfahren, wie Einbad-, Zweibad-, Dreibad- und Spezialverfahren.

Diese Verfahren können wiederum in mehrere Stufen (Einstufenverfahren, Zweistufenverfahren, ...) unterteilt und modifiziert werden. Zu den Spezialverfahren zählen z. B. Emulsions- und Sprühverfahren. Eine weitere Unterscheidung der Verfahren ist nach der Dosierung des Reinigungsverstärkers zur Flotte möglich. Hier gibt es Normaldosierungsverfahren (1 – 10 g/l Flotte), Mitteldosierungsverfahren (11–20 g/l Flotte) und Hochdosierungsverfahren (21 – 40 g/l Flotte).

Desinfizierende chemische Reinigung

Der Einsatz von Desinfektionsmitteln im Reinigungsprozeß ist bei Reinigungsgut aus Krankenhäusern und Heimen notwendig. Hier arbeitet man im Mehrbadverfahren unter Zusatz von desinfizierenden Wirkstoffen.

Lederreinigung

Bei der Lederreinigung wird vorwiegend im Einbadverfahren gearbeitet. Als Lösungsmittel setzte man meist Perchlroethen, früher auch die milderen FCKW ein. Da die organischen Lösungsmittel zu einer starken Entfettung des Leders führen, werden dem Reinigungsbad zusätzlich Lederfettungsmittel (Lickeröle) zudosiert (ca. 15 – 30 g/l Flotte) oder ein separates Fettungsbad nachgeschaltet. Selten werden die Waren anschließend in einer Läutertrommel nachbehandelt. Bei stark ausgebluteten Teilen ist eine Nachfärbung durch Aufsprühen einer Farbstofflösung üblich.

1.4 Schadstoffe

In chemischen Reinigungen wird vorwiegend mit folgenden Stoffen umgegangen:

- organische Lösungsmittel
- Reinigungsverstärker
- Ausrüstungszusätze
- Detachiermittel
- teilweise Desinfektionsmittel.

Reinigungsverstärker und Ausrüstungszusätze werden oft in Additionsprodukten zu einem fertigen Mittel zusammengefaßt.

Organische Lösungsmittel dienen bei der chemischen Reinigung zum Auf- und Ablösen von Verschmutzungen vom Reinigungsgut.

Reinigungsverstärker werden der Flotte zugesetzt, um den Reinigungseffekt der organischen Lösungsmittel, besonders bezüglich der hydrophilen Verschmutzungen, zu verbessern. Außerdem vermindern sie die statische Aufladung der Textilien beim Reinigungsprozeß. Diese Nebenwirkung war in Benzinanlagen von besonderer Bedeutung, weil dadurch die Explosionsgefahr gesenkt werden konnte.

Durch **Ausrüstungszusätze** zur Reinigungsflotte oder durch eine separate Behandlung können der Ware verschiedene Eigenschaften verliehen werden. Mögliche Appreturen können z. B. wasserabweisende, flammhemmende, hygienische, griffverbessernde oder Mottenschutz-ausrüstungen sein.

Detachiermittel werden vor oder / und nach der Grundreinigung der Textilien zur gezielten Fleckenentfernung verwendet.

1.4.1 Charakterisierung der vorkommenden Stoffe und Stoffgruppen

Die von einer chemischen Reinigung ausgehenden Umweltgefährdungen werden vor allem durch die unsachgemäße Lagerung von schadstoffhaltigen Rohstoffen und Abfällen, aber auch durch den sorglosen Umgang mit diesen Chemikalien verursacht. Im Folgenden sollen die spezifisch vorkommenden Stoffe und Stoffgruppen vorgestellt werden.

LÖSUNGSMITTEL

Terpentinöl ist die Bezeichnung für eine farblose bis hellgelbe Flüssigkeit mit angenehmem Geruch. Sie ist nicht wasserlöslich und giftig.

Benzol (C₆H₆) ist eine ringförmige, aromatische Kohlenwasserstoffverbindung. Die farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch wirkt sowohl krebserzeugend als auch giftig. Benzol ist leichtentzündlich und von geringer Wasserlöslichkeit. Wasser-Benzol-Lösungen bilden giftige, explosive Gemische an Wasseroberflächen. Benzol gilt auf Grund seiner Flüchtigkeit sowie der leichten biologischen und abiotischen (Photolyse) Abbaubarkeit, als in der Umwelt wenig persistent.

Benzine:

Leichtbenzin ist ein Gemisch aus kettenförmigen Kohlenwasserstoffen zwischen Pentan (C₅H₁₂) und Nonan (C₉H₂₀) – deren Isomere eingeschlossen.

Schwerbenzin ist, wie Leichtbenzin, ein brennbares Gemisch aus verschiedenen Paraffinkohlenwasserstoffen (C₉H₂₀ bis C₁₁H₂₄), jedoch mit höherem spezifischen Gewicht und Siedepunkt. Es ist kaum in Wasser löslich.

Chlorkohlenwasserstoffe (CKW):

Die in chemischen Reinigungen verwendeten **CKW** sind i. a. durch Schwerentflammbarkeit und starke Flüchtigkeit gekennzeichnet. Meist sind sie schwerer als Wasser, lipophil, in Wasser löslich und chemisch-biologisch sehr stabil. Sie gelten als biologisch nicht leicht abbaubar. Zudem können einige Vertreter dieser Stoffgruppe Krebs auslösen. Um die Haltbarkeit der CKW-Lösungsmittel zu erhöhen, werden meist Stabilisatoren, wie Triethylamin, Phenole oder Terpene zugegeben.

Tetrachlormethan (Tetra, CCl₄) zählt zu den aliphatischen CKW. Die farblose, süßlich riechende, schwere Flüssigkeit ist giftig, nicht brennbar und von relativ hoher Persistenz in der Umwelt.

Perchlorethen/Tetrachlorethen (Per, C₂Cl₄) gehört zur Gruppe der chlorierten Alkene und ist eine farblose, klare Flüssigkeit von ätherischem Geruch. Die Substanz ist in Wasser weniger stabil. Als Transformationsprodukte können beispielsweise Trichloressigsäure und Chlorwasserstoff auftreten.

Trichlorethen (Tri, C₂HCl₃) wird den Chloralkenen zugeordnet. Es ist farblos, mindergiftig und relativ gut in Wasser löslich. In der Luft erfolgt ein rascher photochemischer Abbau. Als Abbauprodukte können Chlorwasserstoff, Kohlenmonoxid, Phosgen und Dichloracetylchlorid auftreten.

Dichlorethan (C₂H₄Cl₂) wurde in chemischen Reinigungen nur selten angewandt. Diese Chloralkylverbindung ist leicht entzündlich und giftig. Die farblose, klare, ölige Flüssigkeit mit chloroformartigem Geruch weist eine geringe Geo- und Bioakkumulationstendenz auf, wobei das Umweltverhalten vor allem durch die hohe Wasserlöslichkeit und Flüchtigkeit bestimmt wird. In der Atmosphäre erfolgt eine langsame Zersetzung.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW):

Monofluortrichlormethan (R 11, CFCl₃) / Trifluortrichlorethan (R 113, C₂F₃Cl₃) sind nicht brennbar und wurden seit den 60er Jahren in chemischen Reinigungen für besonders empfindliche Materialien eingesetzt. Diese Stoffgruppe ist durch geringe Wasserlöslichkeit und hohe Persistenz in der Umwelt auf Grund ihrer chemischen und thermischen Stabilität gekennzeichnet.

Kohlenwasserstofflösemittel (KWL):

Aus dieser Stoffgruppe haben sich geradkettige, verzweigte und cyclische Paraffine von C10 – C12 bewährt. Die farblosen, schwach nach Mineralöl riechenden Flüssigkeiten sind nicht mit Wasser mischbar. Sie gehören der Wassergefährdungsklasse 1 an und sind nicht akut toxisch. Sie können in Wasser und Boden biologisch abgebaut werden. KWL sind brennbar.

Unabhängig davon, mit welchen Lösungsmitteln gearbeitet wird, findet in den Destillationsrückständen eine Anreicherung von **polychlorierten Dibenzodioxinen und –furanen (PCDD/PCDF)** statt. Sie zählen zu den gefährlichsten Umweltgiften. Der bedeutendste Emissionspfad ist hier die Lagerung und Entsorgung der Destillationsrückstände. Für CKW-Anlagen schreibt die 2. BImSchV die geschlossene Rückstandsentsorgung vor.

REINIGUNGSVERSTÄRKER / AUSRÜSTUNGSZUSÄTZE

Reinigungsverstärker bestehen aus:

- Tensiden (15 – 100 %)
- Lösungsmitteln (0 - 60 %)
- Lösungsvermittlern (0 – 20 %)
- Wasser (0 – 15 %)
- Spezialzusätzen (0 – 25 %).

Tenside kommen meist als Mischung aus anionaktiven und nichtionogenen Tensiden bzw. Ampholyten in Reinigungsverstärkern vor. Gebräuchliche Tenside sind beispielsweise Petroleumsulfonate und Alkylbenzolsulfonate. Die Tenside liegen meist in **Lösungsmitteln** gelöst vor. Als Lösungsmittel werden hier häufig hochsiedende Mineralöle, Weißöle, Benzin oder Per verwendet. Fettalkohole, Cyclohexanol, Isopropylalkohol oder hochsiedende Glykole dienen als **Lösungsvermittler**. **Spezialzusätze** können Ausrüstungszusätze in Form von optischen Aufhellern, Appreturharzen (Kunstharze, Wachse), Weichmachern, desinfizierenden und desodorierenden Substanzen sein. Bei der desinfizierenden chemischen Reinigung arbeitet man u. a. mit Phenolen, chlorierten Phenolen, Formaldehyd und Hexachlorophen als Desinfektionsmittel. Sie sind meist durch einen „medizinischen“ oder stechenden Geruch gekennzeichnet.

SONSTIGE / DETACHIERMITTEL

Als Detachiermittel werden eine Vielzahl von Chemikalien mit spezifischen Eigenschaften je nach Art der Verschmutzung genutzt. Die Zusammensetzung der in großen Mengen versprühten Universaldetachiermittel gleicht häufig dem Aufbau von Reinigungsverstärkern. Einige wichtige Detachiermittel sind, neben den zur Grundreinigung verwendeten Lösungsmitteln (Per, ...), beispielsweise Alkohole (Spiritus), Diethylether, Propanon, Benzine, Natriumhypochlorit, Chlorwasserstoff und Enzyme.

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

Tab. 1: Altlastenrelevante Stoffe und Stoffgruppen bei chem. Reinigungen und deren chemische Analyseparameter (PUCHTA & GRÜNEWÄLDER, 1973; RICHTER & KNOFE, 1968; RORDORF, 1963)

Stoffgruppe	Inhaltsstoffe	Beispiele (Handelsnamen)	Analyseparameter
Lösungsmittel			
Benzol			BTEX
Benzine	Leichtbenzin		IR-KW, BTEX
	Schwerbenzin	Kristallöl 30, Stoddard Solvent, Essovarsol 145/200 und 155/185, Testbenzin	IR-KW, BTEX
CKW	Tetrachlormethan (Tetra)	Tetra, Asordin	LHKW
	Trichlorethen (Tri)	Tri, Dynatri, Trichlorethen Marke Wacker, Trielene, Drawinol, Westrosal	LHKW
	Tetrachlorethen (Per)	Per, Dynaper, Dow Per, Wacker-Per, Perawin, Phillsolv, Percosolv	LHKW
FCKW	Monofluortrichlormethan (R 11)	Dional, Kaltron DC 11, Freon 11, Fri-dohna F 11, Frigen 11 CR	LHKW
	Trifluortrichlorethan (R 113)	Valclene, Freon 113, Frigen 113 CR, Kaltron DC, Fri-dohna F 113	LHKW
Kohlenwasserstofflösemittel		n-Undekan, N 11, Halpaclean, Actrel Dry, Clean 56 und 63, Actrel 3356-D, Shellsol TK, Shellsol Reiniger DSC	LHKW
Reinigungsverstärker			
Tenside	anionaktive und nichtionogene Tenside	Benzapon KR, Benzapon WL, Leupurol S, Limpigen BN, Limpigen CBN	anionaktive, nichtionogene Tenside
Spezialzusätze, Desinfektionsmittel	Phenole, Chlorphenole, Formaldehyd, Hexachlorphen	Movin DC, Deo-Lanadol, Oxomethan	Phenolindex, Chlorphenole
Sonstige			
Detachiermittel			Sulfat
Destillationsrückstände	PCDD, PCDF	-	Dioxine, Furane

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

Bei der gewerblich durchgeführten chemischen Reinigung werden die Textilien mit organischen Lösungsmitteln behandelt. Diese sind als stark gesundheits- und umweltgefährdend einzustufen.

Maßgebend für das Gefährdungspotential sind dabei die Produktionszeiträume am Altstandort.

In der nachfolgenden Tab. 2 werden die Haupteinsatzstoffe, welche in den einzelnen Jahren verwendet wurden, aufgeführt.

Der frühere sorglose Umgang mit den betreffenden Chemikalien hat in der Vergangenheit zu Verunreinigungen der Schutzgüter geführt. Das Hauptkontaminationspotential wird durch mögliche Leckagen der Behälter und Maschinen sowie durch Handhabungs- und Abtropfverluste bestimmt.

An Altstandorten der chemischen Reinigung sind aufgrund der beschriebenen Technologien folgende Schadstoffherde bei einer Bewertung zu berücksichtigen:

- Bevorratungs- und Lagerungsräume für die zum Einsatz bestimmten Chemikalien
- Betankungs-Vor- bzw. Einrichtungen an den Reinigungsmaschinen
- Standorte des Auswechslens und Zwischenlagerns von Filtern sowie die Handhabung zur Beseitigung von Filterelementen (einschließlich Filterschlämme) und Adsorptionsmittelrückständen
- Standort des Entleerens der Destillierblase von Destillationsschlamm und Lagerungseinrichtung desselben sowie die Handhabung der Schlammbeseitigung
- Abwassereinleitung (Indirekt- oder Direkteinleitung).

Tab. 2: Verwendete Haupteinsatzstoffe im Jahresüberblick (u.a. nach HASENCLEVER & NAUMANN, 1986)

Jahre		Haupteinsatzstoffe	Stoffgruppe
von	bis		
1825	1840	Terpentinöl	
1830	1860	Benzol	BTEX
1850	1950	Leichtbenzin	Benzin
1900	1970	Tetrachlorkohlenstoff	CKW
1925		Schwerbenzin	Benzin
1925		Trichlorethylen	CKW
1930		Perchlorethylen*	CKW
1960		Trichlortrifluormethan (R 113)	FCKW
1970		Trichlortrifluormethan (R 11)	FCKW
1985		1.1.1 Trichlorethan	CKW
1993		Kohlenwasserstofflösemittel	KW

*Aus der Literatur ist ersichtlich, daß Perchlorethylen der am häufigsten verwendete Einsatzstoff in dieser Branche ist.

Im Betriebsgelände ist die Fläche des Hauptproduktionsbereiches i.d.R. versiegelt. Aufgrund der chemischen Eigenschaften der Lösungsmittel, speziell der niedrigen Viskosität, stellen jedoch „normale“ Flächenversiegelungen mit Beton keine bzw. kaum ein Hindernis gegen das Eindringen der Lösungsmittel in das Schutzgut **Boden** dar.

Im Schutzgut **Boden** wird Benzol im humusreichen Oberboden adsorbiert. Erst bei Überschreiten der Adsorptionskapazität gelangt es in tiefere Bodenschichten und ist dort, wie auch alle anderen Einsatzstoffe,

sehr mobil. Insbesondere bei der Verwendung von CKW ist mit einer guten Migration zu rechnen. Diese versickern aufgrund ihrer niedrigen Viskosität und gegenüber Wasser höheren Dichte etwa doppelt so schnell wie Wasser. Wegen ihrer Persistenz erfolgt kaum ein mikrobieller Abbau.

Aufgrund der großen Mobilität und der löslichen Anteile im Niederschlagswasser wird das Schutzgut **Grundwasser** relativ schnell erreicht. Einige Vertreter der Stoffgruppen, z.B. Tetra und Per, werden als stark wassergefährdend eingestuft (WGK 3). Bei gegebenen geologischen und hydrogeologischen Standortbedingungen und dem entsprechenden Schadstoffpotential kann das Schutzgut massiv beeinträchtigt werden. Besonders CKW können, sobald sie ins Grundwasser gelangen, dort über Jahre erhalten bleiben. Dagegen weisen die in moderneren Anlagen eingesetzten KWL nur eine geringe Wassergefährdung auf (WGK 1) und sind im Schutzgut auch biologisch abbaubar. Ein Überblick zu Wasserlöslichkeiten und dem Verhalten in Wasser wird in Tab. 4 gegeben.

Das Schutzgut **Oberflächenwasser** kann vorwiegend über das verunreinigte Grundwasser bzw. über die Einleitung von Abwässern beeinträchtigt sein. Beim Übertreten ins Oberflächenwasser ist mit einer Schädigung von Wasserorganismen zu rechnen. Die hohe Flüchtigkeit (geringe Verweilzeit) in Kombination mit der gegebenen Verdünnung bedingt nur eine kurzzeitige Gefährdung des Schutzgutes.

Aufgrund der relativ hohen Flüchtigkeit von CKW und FCKW ist mit einer Beeinträchtigung des Schutzgutes **Luft** zu rechnen. Unterschieden werden muß dabei zwischen Atmosphäre und Bodenluft.

In der Atmosphäre ist nach der Stilllegung von Anlagen, bedingt durch die relativ geringe Halbwertszeit einiger CKW-Vertreter, von keiner langzeitigen Schädigung auszugehen. Dagegen besitzen FCKW und einige andere Vertreter der CKW, z.B. Tetra, ein ozonschädigendes Potential.

Die Bodenluft kann aufgrund der Eigenschaften der jeweils verwandten Stoffgruppen stark beeinträchtigt sein. Insbesondere ist beim unkontrollierten Abtragen von Flächenversiegelungen ein Entweichen der flüchtigen Gase möglich und somit die Gefährdung der atmosphärischen Luft gegeben. Die in die Gasphase übergehenden CKW sind schwerer als die Bodenluft und sammeln sich somit auf schwer durchlässigen Bodenschichten bzw. auf der Grundwasseroberfläche als Gaskörper.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Folgende Medien/Schutzgüter können je nach verwendeter Stoffgruppe gefährdet sein:

- Boden
- Grundwasser
- Luft
- Oberflächenwasser.

Menschen, Tiere und Pflanzen unterliegen durch die Nutzung der o.g. Medien/Schutzgüter sowie durch den direkten Kontakt mit diesen einer Gefährdung.

2.3 Gefährdungsabschätzung nach der Sächsischen Altlastenmethodik

Auf Standorten von Chemischreinigungen ist durch die Art der Einsatzstoffe grundsätzlich und uneingeschränkt Altlastenrelevanz gegeben. Diese werden somit stets als altlastverdächtige Flächen, im speziellen als Altstandorte erfaßt.

2.3.1 Verdachtsfallerfassung und formale Erstbewertung

Verdachtsfallerfassung und Erstbewertung erfolgen nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT- UND LANDESENTWICKLUNG (1997 a). Folgende Kriterien sind bei chemischen Reinigungen besonders zu beachten:

(7) Art der Verdachtsflächen: Chemische Reinigungen sind grundsätzlich als Altstandorte zu bewerten.

(20) Einordnung in Branchenschlüssel und Belastungsstufen: Chemische Reinigungen zählen zur Hauptgruppe II: Großhandel, Dienstleistungen, Versorgungseinrichtungen.

Tab. 3: Einordnung der chemischen Reinigungen in Branchenschlüssel, Branchen und Gefährdungsklassen

Branchenschlüssel	Branche	Gefährdungsklasse
2170	Chemische Reinigung	3,0-4,5

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Die Historische Erkundung ist nach den in Sachsen herausgegebenen Handbüchern zur Altlastenbehandlung durchzuführen und zu bewerten.

- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b) , Teil 3, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 c) , Teil 4, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998): Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Band 4/98, Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (in Vorbereitung) für Oberflächenwasser
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (in Vorbereitung) für Luft
- EDV-Programm: GEFA Version 3.0. - nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 a und b).

Ersatzweise gelten zur Zeit in Sachsen für die Bewertung der Schutzgüter Oberflächenwasser und Luft die Erfassungsbögen vom MINISTERIUM FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG mit den Ausfüllhinweisen des zugehörigen Altlastenhandbuches Teil 1.

Stoffgefährlichkeit – r_0 :

- Allgemein chemische Reinigungen: 3,0-4,5
- Chemische Reinigungen mit Benzin und Benzol: 3,6 (entspricht Wert für die eingesetzten Substanzen)
- Chemische Reinigungen mit Tri, Per und Tetra: 3,2; 3,1 und 4,3 (entspricht Wert für die eingesetzten Substanzen)
- Chemische Reinigungen mit FCKW: 6.0 (entspricht Wert für die eingesetzten Substanzen).

Örtliche Bedingungen, m-Werte:

Die spezifischen Standortbedingungen sind einzelfallbezogen zu bewerten. Damit werden die schadstoffabhängigen Einflußfaktoren abgegrenzt.

Grundwasser - m_f

- Löslichkeit oder Aggregatzustand: sollte in jedem Fall, soweit Einsatzstoffe bekannt sind, nach Tab. 4 eingegeben werden
- Flüchtigkeit: mittel bis leicht flüchtig (keine Bedeutung für das Schutzgut Grundwasser).

Tab. 4: Alllastenrelevante Stoffgruppen unter Berücksichtigung der Wasserlöslichkeit

Stoffgruppe	Inhaltstoffe	Löslichkeit in Wasser bei 20 ° C	Verhalten in Wasser	Quellenangabe für Wasserlöslichkeiten
	Terpentinöl	unlöslich		KOWALEWSKI, 1993
	Benzol	1780 mg/l		KOCH, 1995.
	Benzin	löslich		KOWALEWSKI, 1993
CKW	Tetrachlor-methan	785 mg/l	stark wassergefährdend; kaum bis kein biol. Abbau; schwerer als Wasser	KOCH, 1995
	Tetrachlor-ethen/Per-chlorethen	150 mg/l	stark wassergefährdend; große Mobilität; kaum bis kein biol. Abbau; schwerer als Wasser	KOCH, 1995
	Trichlorethen	1000 mg/l	stark flüchtig; schwerer als Wasser	KOCH, 1995
	Dichlorethan	gut löslich	stark flüchtig; Halbwertszeit ca. 1 – 6 Tage; schwerer als Wasser	KOWALEWSKI, 1993
FCKW	R 11,	1100	wassergefährdend	NAHOLD, 1996
	R 113	170	wassergefährdend	NAHOLD, 1996
KWL		20 mg/l	schwach wassergefährdend	LÄNDERAUSSCHUß FÜR IMMISSIONSSCHUTZ, 1994

Grundwasser – m_{II}

- Sorbierbarkeit: Bei Stoffgemischen wird der Stoff mit der niedrigsten Sorbierbarkeit herangezogen. Bei geringem bis mittlerem bzw. starkem Humus- oder Tonanteil ergibt sich für Benzol mittel, $\Delta m = \pm 0$, ansonsten gering, $\Delta m = \pm 0$
- Lösungsvermittler: Bei Kombination der Einsatzstoffen Benzol und CKW. - Vorhandensein von Lösungsvermittlern, $\Delta m = + 0,1$
- Abbaubarkeit: nicht leicht abbaubar, $\Delta m = \pm 0$.

Grundwasser - m_{III}

- Abbaubarkeit: kaum bzw. nicht abbaubar, $\Delta m = \pm 0$.

Grundwasser - m_{IV}

- Verdünnung: sehr gering, da meistens als Phase vorhanden, $\Delta m = \pm 0$
- Aufbereitungsmöglichkeiten: Die bei der chemischen Reinigung auftretenden typischen Schadstoffe (LHKW) werden in Trinkwasseraufbereitungsanlagen mit offenem Belüftungssystem bzw. mit Aktivkohlefiltern entfernt, $\Delta m = - 0,2$, ansonsten nicht vorhanden, $\Delta m = \pm 0$.

Boden – r₀

- r₀- Wert: analog r₀-Pfad Grundwasser (Stoffgefährlichkeit).

Boden - m_I

- Fallzuordnung: Prinzipiell können alle 4 in der Methodik beschriebenen Fälle auftreten. Diese sind standortgebunden und gemäß des Einzelfalles zu prüfen und zu bewerten.
- Abdeckung bzw. Abdichtung: wie m_I – Grundwasser
- Relevante Art der Schadstoffe: Falls der zu bewertende Altstandort schon abgerissen und neues Boden-substrat aufgebracht ist, muß aufgrund der hohen Flüchtigkeit der Einsatzstoffe der Fall 4 (der zu schützende Boden liegt über einer Altlast) bewertet werden.
- Seitliche unterirdische Ausbreitung: Diese Möglichkeit ist gegeben.
- Flüchtigkeit: Fast alle Einsatzstoffe sind leicht flüchtig, $\Delta m = \pm 0$
- Löslichkeit oder Aggregatzustand : siehe Grundwasser m_I – Wert.

Boden - m_{III}

- Abbau: kein relevanter Abbau möglich, $m = \pm 1,0$
- Toxische Abbauprodukte: möglich bei Einsatz von CKW, Abbauprodukt Vinylchlorid, $\Delta m = + 0,1$
- Verweilzeit im Boden: Verweilzeit ist gering, da überwiegend leicht flüchtige Schadstoffe, $\Delta m = - 0,1$.

2.3.3 Technische Erkundung (Beweisniveau 2 und 3)

Wird durch die Historische Erkundung der Verdacht einer Gefährdung bezüglich der Schutzgüter bestätigt, so ist die Orientierende Untersuchung nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995): Teil 1; 3 und 4 und die Probenahme nach SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998) durchzuführen und zu bewerten. Prüf- und Maßnahmen- sowie Orientierungswerte sind SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung) zu entnehmen.

Die formale Bewertung im Programm GEFA 3.0 ist analog der Bewertung der Historischen Erkundung durchzuführen. Der Erkenntniszuwachs der analytisch, geologisch und hydrogeologisch ermittelten Werte ist zu spezifizieren.

Ergibt sich nach der Orientierenden Untersuchung weiterer Handlungsbedarf, folgt nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung a) die Detailuntersuchung.

Die Tabellen 5 und 6 enthalten das chemische Analysenspektrum, welches im konkreten Fall und entsprechend des Untersuchungsmediums an die Ergebnisse der Historischen Erkundung anzupassen ist.

Boden

Oberflächennahe Schichten sind aufgrund der hohen Flüchtigkeit der Einsatzstoffe in der Regel nicht zu untersuchen (außer Verdacht auf Benzol). Leichtflüchtige Schadstoffe sind über den Pfad Grundwasser bzw. Bodenluft besser nachweisbar. Das durch die Historische Erkundung ermittelte bzw. vermutete Schadstoffspektrum ist qualitativ zu erfassen.

Bodenluft

Durch Kontamination des Bodens bzw. des Grundwassers kann es zu einer Anreicherung mit leichtflüchtigen Substanzen in der Bodenluft oberhalb des Grundwasserspiegels kommen.

Grundwasser

Da die CKW sich in Senken und Mulden der Grundwassersohle sammeln bzw. anreichern oder im Grundwasserstrom in Phase mitgeschleppt werden, ist ein analytischer Nachweis nicht in jedem Fall mög-

lich. Ein weiteres schwerwiegendes Problem ist die Ausbreitung der Kontamination in tieferliegende Grundwasserleiter, weil CKW durch Grundwasserstauer nicht auf Dauer zurückgehalten werden.

Tab. 5: Analysenplan mit Grundparametern der Orientierenden Untersuchung und Detailuntersuchung

Allgemeine Parameter	Boden	Grundwasser	Luft
Geruch	X	X	-
Trübung	-	X	-
pH-Wert	-	X	-
Farbe (qualitativ)	X	X	-
elektr. Leitfähigkeit	-	X	-

Tab. 6: Analysenplan mit branchenspezifischen Parametern der Orientierenden Untersuchung und Detailuntersuchung

Parameter	Boden	Grundwasser	Luft	Beweisniveau
Kohlenwasserstoffe (IR)	X	X	-	2 / 3
GC-MS Screening	X	X	-	2 / 3
BTEX				
Benzol	X	X	X	2 / 3
Ethylbenzol	X	X	X	2 / 3
Toluol	X	X	X	2 / 3
m,p-Xylol	X	X	X	2 / 3
o-Xylol	X	X	X	2 / 3
LHKW				
Dichlormethan	X	X	X	2 / 3
Tetrachlormethan	X	X	X	2 / 3
1,1,1-Trichlorethan	X	X	X	2 / 3
Trichlorethen	X	X	X	2 / 3
Tetrachlorethen	X	X	X	2 / 3
Vinylchlorid	X	X	X	2 / 3
1,1,2-Trichlortrifluorethan	X	X	X	2 / 3
Trichlorfluormethan	X	X	X	2 / 3
1,2-Dichlorethan	X	X	X	3*
1,1-Dichlorethen	X	X	X	3*
cis-1,2-Dichlorethen	X	X	X	3*
trans-1,2-Dichlorethen	X	X	X	3*
1,2-Dichlorpropan	X	X	-	3*
Trichlormethan	X	X	X	3*
Untersuchungsprogramm für seltenere Umgangsstoffe				
PCDD/PCDF	X	X	-	2 / 3
Cyanid (gesamt)	X	X	-	2 / 3

Fortsetzung Tab. 6: Analysenplan mit branchenspezifischen Parametern der Orientierenden Untersuchung und Detailuntersuchung

Parameter	Boden	Grundwasser	Luft	Beweisniveau
Cyanid (leicht freisetzbar)	X	X	-	3*
Borat	-	X	-	2 / 3
Zink	X	X	-	2 / 3
Aluminium		X		3*
Ammonium		X		3*
Mangan		X		3*
Zinn	X	X	-	3*
Zirkonium	X	X	-	3*
Fluorid	-	X	-	3*

* Diese Stoffe kommen nur in Ausnahmefällen vor. Eine analytische Überprüfung dieser Substanzen ist nur auf dem BN 3 und bei Verdacht ihres Auftretens notwendig.

2.4 Sanierung

Ist im Ergebnis der Gefährdungsabschätzung die Notwendigkeit einer Sanierung festgestellt worden, ist die **Sanierungsuntersuchung** gemäß SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999) sowie die **Sanierung** nach SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b) durchzuführen.

Den Schwerpunkt von Sanierungsmaßnahmen stellt die Dekontamination bzw. Sicherung der gefährdeten Schutzgüter vor hauptsächlich leichtflüchtigen Schadstoffen dar. Dabei werden vor allem spezifische Eigenschaften dieser Schadstoffe ausgenutzt; z. B. Leichtflüchtigkeit und Adsorbierbarkeit an Aktivkohle. Bewährt haben sich pneumatische- bzw. hydraulische Verfahren. Weitere Verfahren werden je nach den angetroffenen Verhältnissen eingesetzt.

Da jeder Sanierungsfall seine eigene Spezifik aufweist, sind Verfahrenskombinationen z.T. sehr vorteilhaft, werden jedoch aufgrund der Vielzahl hier nicht im einzelnen beschrieben.

Thermische Verfahren und Immobilisierungen von Schadstoffen spielen bei der Sanierung von Altstandorten chemischer Reinigungen keine Rolle.

2.4.1 Pneumatische Verfahren zur Bodensanierung

Pneumatische Verfahren dienen zur Erfassung der gasförmigen Bodenphase. Passive Verfahren werden als Sicherungsmaßnahmen bei der Deponiegasfassung eingesetzt. Dagegen wird beim aktiven pneumatischen Verfahren Bodenluft aus der durchlässigen ungesättigten Bodenzone abgesaugt. Somit ist es nur für leichtflüchtige organische Schadstoffe geeignet, wie z. B. LHKW, CKW und BTEX. Gegebenenfalls kann durch Hilfsmaßnahmen (Druckluft oder Dampfeinblasen) das aktive Verfahren auch für die gesättigte Bodenzone eingesetzt werden. Die Effektivität dieses Verfahrens kann durch eine Versiegelung der Bodenoberfläche erhöht werden. Bei geringen Grundwasserflurabständen ist eine Versiegelung unbedingt notwendig. Die Reinigung der abgesaugten Luft kann durch Adsorption/Absorption (Aktivkohle, Kieselgele, Tonerde, Biofilter) erfolgen.

Die Bodenluftabsaugung ist eines der effektivsten und kostengünstigsten Verfahren für die Entfernung von leichtflüchtigen Schadstoffen. Die Zeitdauer der Maßnahme kann entsprechend dem Kontaminationsgrad und den Durchlässigkeitsbeiwerten von Monaten bis zu Jahren betragen.

2.4.2 Hydraulische Verfahren zur Grundwassersanierung

Hydraulische Verfahren sind mit der Entnahme von Flüssigkeiten, z. B. CKW in Phase, und/oder mit Infiltration von Wasser verbunden. Dabei wird mittels dem passiven Verfahren eine gezielte Veränderung

der hydrodynamischen Verhältnisse im Untergrund bewirkt und somit die Ausbreitung der Grundwasserkontamination verhindert oder eingeschränkt. Dagegen wird bei dem aktiven Verfahren die Beseitigung des in Phase vorliegenden Schadstoffes durch Abpumpen und oberirdische Behandlung durchgeführt. Zur Grundwassersanierung können noch folgende zwei Verfahren zur Anwendung kommen: permeable reaktive Wände und das „Funnel and Gate“.

Hydraulische Verfahren sind, abhängig von geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnissen, für die Entfernung von leichtflüchtigen Schadstoffen sehr gut geeignet. Als Nachteile gelten: lange Sanierungszeiten, energieintensiv, entsorgungsintensiv (z.B. beim Gebrauch von Aktivkohle), hoher Überwachungsaufwand, Probleme durch zu hohe Gehalte an Fe, Mn und Härte im Grundwasser (Verockerung und Störung der Aufbereitung).

2.4.3 Biologische Verfahren

Wegen der teilweise toxischen Wirkung der CKW auf Mikroorganismen sind biologische Verfahren nur bei Konzentrationen unterhalb des toxischen Schwellenwertes sinnvoll.

- In-situ Sanierungen: bei tiefliegenden leichtflüchtigen Kontaminationen möglich, jedoch an Rahmenbedingungen gebunden, wie z.B. gut durchlässige Böden, gleichmäßige Durchströmbarkeit etc.
- On-site Sanierungen: technisch schwierig bei feinkörnigen inhomogenen Sedimenten und die Möglichkeit der Ausgasung bei leichtflüchtigen Komponenten.

Die Verfahren sind an hohe Anforderungen der Prozeßplanung, -optimierung und -steuerung geknüpft, daher nur vereinzelt erfolgreich eingesetzt.

Zum Teil hoher Platzbedarf bei der on-site Sanierung. Sehr langsame Abbauvorgänge, die nur bedingt kontrollierbar sind.

2.4.4 Extraktions- und Waschverfahren

Leichtflüchtige Schadstoffe (LCKW bzw. Benzol) werden in die Gasphase überführt und anschließend nach dem Stand der Technik, z.B. Adsorption an Aktivkohle, behandelt. Schadstoffe der flüssigen Phase können mittels einer chemisch/physikalischen Abwasseraufbereitung gereinigt werden.

Extraktions- und Waschverfahren sind für mittel- bis grobkörnige Böden mit leichtflüchtigen Schadstoffen geeignet.

Mittlerer Energieverbrauch bei guter Kontrollierbarkeit des Sanierungserfolges. Entsorgung der aufkonzentrierten Reststoffe (Aktivkohle etc.) notwendig. Kosten ca. 100 – 350 DM/t.

2.4.5 Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung

Firmen und Einrichtungen, die sich mit der Behandlung von Altlasten beschäftigen, sind dem Anbieterverzeichnis von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen zu entnehmen. Informationen aus diesem Verzeichnis sind über die IHK- Niederlassungen Sachsens bzw. deren Internet-Adressen erhältlich:

- <http://www.chemnitz.ihk.de>,
- <http://www.leipzig.ihk.de> und
- <http://www.dresden.ihk.de>.

Weiterhin sind in Fachzeitschriften (z.B. Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Wasser & Boden, Korrespondenz Abwasser, Umwelt News, Altlastenspektrum, Altlasten-Aktuell), Publikationen über innovative Altlastenbehandlungen und Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung recherchierbar.

In Arbeit ist eine Publikation mit Referenzobjekten zu den branchenbezogenen Altlasten, die im Rahmen des Sächsischen Altlastenfachinformationssystems "SALFA-WEB" im Internet (<http://www.lfug.de>) und auf CD-ROM veröffentlicht werden.

Bundesweite Angaben sind durch das „Technologieregister zur Sanierung von Altlasten“ (EDV-Programm TERESA, UMWELTBUNDESAMT, 1997) beziehbar.

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

- BEHR, D. & HANISCH, I. (1981): Grundlagen der Textilchemie. – 3. Aufl., VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- HASENCLEVER & NAUMANN (1986): Textilpflege. - Handbuch für das Textilreinigungsgewerbe – 2. Aufl., Deutscher Fachverlag, Frankfurt am Main.
- INGENIEURTECHNISCHER VERBAND ALTLASTEN (Oktober 96): Arbeitshilfe – H1 – 5 Sanierungsuntersuchungen, Berlin.
- KOCH, R. (1995): Umweltchemikalien. - Physikalisch-chemische Daten, Toxizitäten, Grenz- und Richtwerte, Umweltverhalten – 3. Aufl., VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- KOWALEWSKI, J. B. (1993): Altlastenlexikon, Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- KURZ, J. & KOCH, D. (1969): Die Praxis der Chemischreinigung. - Handbuch der Rationalisierung in der Chemischreinigung, Fachbuchverlag Kurz, Gemmrigheim.
- LÄNDERAUSSCHUß FÜR IMMISSIONSSCHUTZ (1994): Anforderungen beim Einsatz von Kohlenwasserstofflösemitteln (KWL) in Chemischreinigungen, LAI-Schriftenreihe 6. – 1. Aufl., Erich Schmidt-Verlag, Berlin.
- NAHOLD, M. E. (1996): Zur Sanierung von CKW- Kontaminationen in komplexen Grundwasserleitern. Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe 32, Karlsruhe.
- PUCHTA, R. & GRÜNEWÄLDER, W. (1973): Textilpflege, Waschen und Chemischreinigen. - Fachbuchreihe Modernes Fachwissen Textil und Bekleidung, Verlag Schiele und Schön, Berlin.
- RICHTER, M. & KNOFE, G. (1968): Chemischreinigung und Kleiderfärberei. - Besonderheiten der Textilien, Arbeitsmittel, Technologien, Gesundheits- und Arbeitsschutz, Fachbuchverlag, Leipzig.
- RORDORF, K. G. (1963): Der moderne Chemischreinigungsbetrieb. - Schnellreinigung, Kleiderreinigung, Expressdienst, Ladenreinigung, Verlag Busse, Herford/Westf.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1996): Materialien zur Altlastenbehandlung, 1/1996: Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten, Dresden.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998): Materialien zur Altlastenbehandlung, 3/1998: Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten, Dresden.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (in Vorbereitung): Empfehlungen zur Handhabung von Orientierungs-, Prüf- und Maßnahmenwerten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Dresden (erscheint 2000)
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 a): Handbuch zur Altlastenhandlung, Teil 1, Anlage 1: Grundsätze der Altlastenbehandlung in Sachsen. - Terminologie, Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3: Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser, Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 c): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4: Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden, Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 a): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Anlage 7: Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser - Anwenderhandbuch, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1996 b): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Anlage 7: Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997 a): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2: Verdachtsfallfassung und formale Erstbewertung, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1997 b): Materialien zur Altlastenbehandlung, 3/1997: Geowissenschaftliche Aufgaben im Rahmen der Altlastenbehandlung, Vortrag zum VIII. Sächsischen Altlastenkolloquium am 23./24.10.1997: Geologische-hydrogeologische Zielvorgaben von Boden- und Grundwassererkundungen bei CKW-Schadensfällen, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1998): Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Band 4/98, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG, STAATSMINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT UND FAMILIE (1995): Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 2: Empfehlung zur Handhabung von Prüf- und Maßnahmenwerten für die Gefährdungsabschätzung von Altlasten in Sachsen, Dresden.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8: Sanierungsuntersuchung, Dresden.

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

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (in Vorbereitung b): Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 9: Sanierung, Dresden (Veröffentlichung voraussichtlich Ende 1999).

UMLAUF, G., HORSTMANN, M., MCLACHLAN, M. S., KURZ, J., KLEIN, P. & TAGGE, J. (1993): Untersuchung zu Emissionspfaden von polychlorierten Dioxinen und Furanen in Chemischreinigungsanlagen. – Abschlußbericht, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Luftreinhalteung **UFOPLAN 104 08 326**, Umweltbundesamt, Berlin.

UMWELTBUNDESAMT MAGISTRAT DER STADT WIEN & BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT JUGEND UND FAMILIE (1993): Materialien zur Situation der Chemischreinigungen. - Umweltbundesamt Monographien, Umweltbundesamt, Wien.

WIRTZ, G. (1977): Handbuch der Textilhilfsmittel. – In: AUGUST CHWALA UND VINZENZ ANGER, in Zusammenarbeit mit CHRISTL CHWALA . – 1. Aufl., Verlag Chemie GmbH, Weinheim.