

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie	Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung	Stand: 09/2012 Bearbeiter: Prof. Burmeier Ing.gesellschaft mbH (BIG) Verena Enzner, Institut für Abfallwirtschaft u. Altlasten
Referat Boden, Altlasten	22: Transformatoren- und Umformerstationen	Seiten: 18

1 Branchentypisches Schadstoffpotenzial

1.1 Gesetzliche Grundlagen der ehemaligen DDR

Folgende Richtlinien und Normen, die im Zusammenhang mit der Altlastenproblematik für den Bereich Transformatoren- und Umformerstationen relevant sind, existierten in der DDR:

- RGW 1103 Leistungstransformatoren. Allgemeine technische Forderungen; Ausgabe 1980-04-00
- RGW 634 Leistungstransformatoren. Stufenschalter. Technische Forderungen; Ausgabe 1980-01-00
- TGL 17580/03 Mineralölerzeugnisse. Isolieröle. Transformatorenöle; Ausgabe 1986-11-00
- TGL 190-159/01 Elektroenergie-Verteilung. Instandhaltung. Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1987-09-00
- TGL 190-159/06 Elektroenergie-Verteilung. Instandhaltung. Transformatoren- und Schaltstationen bis 30 kV; Ausgabe 1985-08-00
- TGL 190-159/07 Elektroenergie-Verteilung. Instandhaltung. Umspann- und Schaltwerke bis 110 kV Oberspannung; Ausgabe 1981-01-00
- TGL 190-159/08 Elektroenergie-Verteilung. Instandhaltung. Zustandsabhängige Instandhaltung; Ausgabe 1987-09-00
- TGL 190-159/10 Elektroenergie-Verteilung. Instandhaltung. Schaltgeräte über 1 kV. Instandhaltungsstrategie; Ausgabe 1984-11-00
- TGL 190-167/02 Transformatoren und Drosseln. Inbetriebnahme; Ausgabe 1970-03-00
- TGL 190-167/03 Transformatoren und Drosseln. Bedienen von Drehstromtransformatoren mit Oberspannung über 1 kV; Ausgabe 1989-01-00
- TGL 190-167/04 Transformatoren und Drosseln. Erdschlussdrosseln. Betrieb; Ausgabe 1973-01-00
- TGL 190-202/04 Erstausrüstung von Umspannwerken. Umspannwerke 110 bis 380 kV. Arbeitsschutz; Ausgabe 1980-07-00
- TGL 190-202/06 Erstausrüstung von Umspannwerken. Unbesetzte Umspannwerke unter 110 kV Arbeitsschutz und Inventar; Ausgabe 1980-03-00
- TGL 190-209/01 Transformator-Kabelstationen. Plattenbauweise Cottbus. Typen, Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1986-05-00
- TGL 190-209/04 Transformator-Kabelstationen. Erfurt IV. Typen. Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1970-12-00
- TGL 190-209/07 Transformator-Kabelstationen. Streifenbauweise. Typen. Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1970-12-00
- TGL 190-209/10 Transformator-Kabelstationen. Ziegelbauweise Dresden. Typen, Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1989-03-00
- TGL 190-210/01 Transformator-Freileitungsstationen. Plattenbauweise Cottbus. Typen, Allgemeine Forderungen; Ausgabe 1983-07-00
- TGL 190-219 Transformator-Stationen für Abnehmer; Ausgabe 1969-07-00
- TGL 190-236/02 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformerwerke. Allgemeine bautechnische Forderungen für Außenanlagen; Ausgabe 1982-03-00
- TGL 190-236/03 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformerwerke. Allgemeine elektrotechnische Forderungen für luftisolierte Anlagen; Ausgabe 1983-12-00

- TGL 190-236/05 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformerwerke. Vereinfachtes Umspannwerk 110 kV als Außenanlage, 2 Leitungsanschlüsse, 2 Transformatoren; Ausgabe 1988-03-00
- TGL 190-236/06 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformerwerke. Schaltanlage 110 kV mit Sammelschiene als Außenanlage; Ausgabe 1989-02-00
- TGL 190-236/08 Errichtungsvorschriften für Umspannwerke, Schaltwerke und Umformerwerke. Schaltanlage 220 kV mit Sammelschiene als Außenanlage; Ausgabe 1975-09-00
- TGL 200-1570 Transformatoren. Ölablässe; Ausgabe 1979-09-00
- TGL 200-1620/01 Hochspannungsgeräte. Drehstrom-Trockentransformatoren über 1 kV bis 10 kV. Verteilungstransformatoren 63 bis 1000 kVA; Ausgabe 1980-01-00
- TGL 22213/01 Landeskultur und Umweltschutz. Schutz der Gewässer. Grundlegende Forderungen zum Schutz vor Mineralölen; Ausgabe 1976-09-00
- TGL 22213/02 Landeskultur und Umweltschutz. Schutz der Gewässer. Lagerung von Mineralölen; Ausgabe 1977-01-00
- TGL 22213/03 Landeskultur und Umweltschutz. Schutz der Gewässer. Umfüllung von Mineralöl; Ausgabe 1977-01-00
- TGL 28593/01 Innenraum-Schaltanlagen. Transformatorboxen für Schwerpunkt Laststationen. Nennspannung 6 bis 20 kV; Ausgabe 1984-07-00
- TGL 34718 Transformator-Kabelstationen in Kompaktbauweise. Nennspannung 10kV; Ausgabe 1986-10-00
- TGL 8788-01 Brandschutz für Elektroenergieanlagen. Transformatoren, Drosseln und Gleichspannungs-Erzeugungsanlagen für Elektroabscheider; Ausgabe 1969-04-00
- TGL 9520 Hochspannungsgeräte. Transformatoren. Drosselklappen; Ausgabe 1975-12-00
- TGL 9832/01 Hochspannungsgeräte. Drehstrom-Öltransformatoren. Nennleistung 100 bis 1600 kVA; Ausgabe 1989-08-00
- TGL 9832/03 Hochspannungsgeräte. Drehstrom-Öltransformatoren. Nennleistung über 1600 bis 10 000 kVA; Ausgabe 1984-06-00
- Richtlinie zum Schutz der Gewässer beim Verkehr mit Kraftstoffen und Ölen entsprechend Wasserrecht der DDR, 1984.

Aufgrund der im Nachfolgenden dargestellten Relevanz von Herbiziden wird bezüglich der Richtlinien und Normen auf die Inhalte des detaillierten branchenbezogenen Merkblattes Nr. 20 - „Gärtnerien“ [LFULG 2010] verwiesen.

1.2 Einteilung

Standorte von Trafo- und Umformerstationen können eingeteilt werden

- nach Stellung im Verteilungsnetz (regional/überregional)
- nach der Spannungsebene
- nach dem Verantwortungsbereich (territorial – zentrale/regionale Energieversorgungsunternehmen sowie betriebliche Standorte).

Es werden technologisch folgende Unterscheidungen für die jeweiligen Stationen getroffen.

Ein **Umspannwerk / eine Umspannstation** ist eine elektrische Anlage. Sie ist Teil des elektrischen Versorgungsnetzes eines Energieversorgungsunternehmens und dient zum Umspannen von elektrischem Strom und somit der Verbindung unterschiedlicher Spannungsebenen. Umspannwerke / -stationen setzen die hohe Übertragungsspannung in die Verbraucherspannung um. Somit wandeln sie die Wechselspannung von 380 kV bzw. 220 kV auf 110 kV um. Der Strom mit dieser Spannung wird dann weiter regional zu den Umspannwerken verteilt, welche die Spannung von 110 kV auf 20 kV umwandeln. Neben den Leistungstransformatoren bestehen Umspannwerke immer aus Schaltanlagen, die als Freiluftschaltanlage oder in gekapselter Form als gasisolierte Schaltanlage und weiteren Einrichtungen zur Mess- und Regeltechnik aufgebaut sind. Anlagen ohne Transformatoren werden auch als Lastverteilerwerk (Lastverteiler oder Schaltwerk) bezeichnet.

In einer **Transformatorstation**, auch Umspannstation, Netzstation oder kurz Trafostation genannt, wird die elektrische Energie aus dem Mittelspannungsnetz mit einer elektrischen Spannung von 10 bis 36 kV auf die in Niederspannungsnetzen (Ortsnetzen) verwendeten 400/230 Volt zur Versorgung der Niederspannungskunden transformiert (umgewandelt). Eine Trafostation besteht im Wesentlichen aus dem Gebäude, mindestens einem Transformator, einer Mittelspannungsschaltanlage und mindestens einer Niederspannungsverteilung. Bei einfachen Trafostationen können die Mittelspannungsschaltanlage auch nur aus einem Mittelspannungsschalter mit Trafosicherungen und die Niederspannungsverteilung aus nur einem niederspannungsseitigen Trafoschalter bestehen.

Umformer bzw. **Umformerstationen** dienen der Wandlung von Stromarten, z. B. Gleichstrom in Wechselstrom bzw. Wechsel der Frequenz bei Wechselstrom.

Transformatoren- und Umformerstationen können darüber hinaus **Leistungskondensatoren** zur Blindstrom- bzw. Phasenkompensation enthalten.

1.3 Technologische Grundlagen

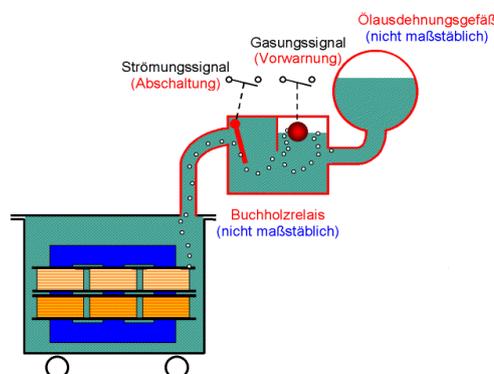
Die Umformstationen bzw. Transformatorenanlagen, welche bei Hoch- und Mittelspannungsspeisung die für die Elektroenergieversorgung der betreffenden Einrichtungen notwendige Niederspannung zur Verfügung stellen, werden in sog. Transformatorenstationen (Trafohäuser oder Freiluftanlagen) untergebracht.

In den Stationen werden hauptsächlich drei **Transformatorarten** verwendet:

- luftgekühlte Transformatoren
- Gießharztransformatoren
- flüssigkeitsgekühlte Transformatoren.

Von diesen Transformatoren haben nur die flüssigkeitsgekühlten eine altlastenrelevante Bedeutung, da hier der Kern und die Wicklung in Öl eingeschlossen sind.

Bei den ölgefüllten Transformatoren ist der Einbau eines sog. Buchholzrelais zwischen Trafogehäuse und Ölausdehnungsgefäß möglich. Es dient der Vorwarnung bzw. Abschaltung bei Überlastung, Kurzschluss oder Isolationsfehlern.



Oftmals dienen Sammelleitungen für ölhaltige Abwässer sowie **Ölabscheider und Ölsammelgruben und -auffangtassen** zum Auffangen der verwendeten Öle bei Leckagen und bei Handhabungsverlusten. Die Sicherungs- und Auffangsysteme (Trafotassen) müssen jedoch nicht immer vorhanden gewesen sein. So lassen sich bei Freiluftschaltanlagen zum Beispiel folgende Arten der Installation unterscheiden:

- in einer Ölwanne und Ölabscheidesystem,
- auf einem Schotterbett mit und ohne Ölauffangtasse,
- auf Schienen ohne Ölauffangtasse.

E-Spulen (Drosseln) wurden zumeist mit Ölsammelgruben gesichert.

Von den flüssigkeitsgekühlten Transformatoren existieren zwei Arten, die sich durch ihre Kühl- und Isolierflüssigkeiten (Transformatorenöle) unterscheiden:

- mineralölgefüllte Transformatoren
- PCB-gefüllte Transformatoren

Die in **mineralölgefüllten Transformatoren** verwendeten Öle werden aus Erdöldestillaten gewonnen (leichtes Spindelöl, Gasöl). Um die erforderlichen Eigenschaften zu erhalten, werden diese noch unter besonderen Bedingungen verändert. Grundsätzlich ist bei Transformatorenölen auf Mineralölbasis von hochreinen Mineralölen auszugehen.

Die Mineralöle finden neben den Transformatoren auch in Kondensatoren, Wandlern, Drosseln, Leistungsschaltern sowie in ölgefüllten Kabeln Verwendung.

PCB-gefüllten Transformatoren enthalten Mischungen verschiedener PCB (Monochlorbiphenyle bis Nonachlorbiphenyle) sowie Tri- und Tetrachlorbenzole. Die höher chlorierten Biphenyle sind bioakkumulierbar und biologisch kaum abbaubar. PCB-basierte Trafoöle fanden im Bereich der ehem. DDR nach einschlägigen Recherchen und Zeitzugbefragungen sehr wahrscheinlich keine Verbreitung. PCB dürfen wegen ihrer hohen Toxizität seit 1983 nicht mehr hergestellt werden. Seit 1989 darf in Deutschland keine Verwendung mehr stattfinden.

Umformer enthalten keine Isolieröle. Ihre Umweltrelevanz besteht wenn überhaupt, im Einsatz von Schmiermitteln für mechanisch bewegte Teile bzw. bei vorhandenem Anschluss von ölgefüllten Kabeln.

Neben Transformatoren können anlagenspezifisch **Leistungskondensatoren** eingesetzt worden sein. Diese konnten auf Grund der günstigen dielektrischen Eigenschaften ebenfalls mit PCB-haltigen Ölen als Isolierflüssigkeit gefüllt sein. Hier ist jedoch auch für den Bereich der ehem. DDR von einer Verbreitung bis zu o. g. Verbotszeitraum auszugehen.

1.3.1 Charakterisierung der vorkommenden Stoffgruppen

Nachfolgend sind die typischen Stoffgruppen aufgeführt, die branchentypisch relevant sein können. Daneben sind aufgrund der häufigen Verbindung von Trafostandorten mit sonstigen industriellen Nutzungen ggf. weitere Schadstoffe bei der Altlastenbearbeitung nutzungsspezifisch abzuleiten.

- 1.) Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)
- 2.) Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- 3.) Polychlorierte Biphenyle (PCB)
- 4.) Polychlorierte Terphenyle (PCT)
- 5.) Dioxine
- 6.) Herbizide (zur Bewuchsbekämpfung)

Zu 1.) Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)

Bedeutung

Unter dem Begriff MKW werden im allgemeinen die unter Normalbedingungen flüssigen Verarbeitungsprodukte der Rohöle wie Ottokraftstoffe, Mitteldestillate (leichtes Heizöl, Dieselmotorenöl) und schweres Heizöl sowie Produkte weiterer Verarbeitung wie z. B. Motorenöle, Scheideöle, emulgierte Produkte, Trafoöle etc. zusammengefasst (überwiegend gesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe mit einer Kettenlänge bis C40). Kohlenwasserstoffe sind wesentlicher Bestandteil des Erdöls und werden durch Raffination als Fraktionen unterschiedlicher Siedebereiche daraus isoliert.

Chemisch-physikalische Eigenschaften

Im reinen Zustand sind Kohlenwasserstoffe farblos. Sie sind mit Wasser nicht mischbar, jedoch in geringem Umfang darin löslich. Ihre Dichte liegt deutlich unter der des Wassers. Sie sind hydrophob und flüchtig. Die flüssigen Kohlenwasserstoffe sind brennbar oder sogar leicht entzündlich.

Verhalten im Untergrund

Die Mobilität der MKW hängt stark von der Kettenlänge der Komponenten ab. Mit zunehmender Kettenlänge nehmen die Wasserlöslichkeit und Flüchtigkeit ab und die Viskosität zu. Die Ausbreitung der MKW im Untergrund erfolgt i. d. R. als Ölphase. Wenn der Druck der Ölphase groß genug ist, können MKW in das Grundwasser eindringen. Wegen der geringen Dichte reichern sich die MKW i. d. R. im Kapillarraum an („aufschwimmende Phase“).

MKW entwickeln im Grundwasser stationäre Kontaminationsfahnen (Länge 10 – max. 100 m) mit relativ stabilem Charakter. Höhere aliphatische MKW sind nur sehr gering wasserlöslich und werden nur sehr langsam transportiert.

Abbaubarkeit

Alkane und Alkene sind aerob gut bis mäßig abbaubar. Am besten abbaubar sind n-Alkane. Bereits deutlich weniger abbaubar sind Isoalkane und Cycloalkane. Unter aeroben Bedingungen werden Alkane und Alkene zu gut abbaubaren Fettsäuren oxidiert. Der Abbaugrad von MKW kann mittels GC-Chromatogrammen beurteilt werden.

Die Länge von Schadstoffbahnen im Grundwasser ist bei Diesel- und Heizölschäden i. d. R. kleiner als 100 m, da sich rasch ein Gleichgewicht zwischen Nachlieferung und biologischem Abbau durch Mikroorganismen einstellt.

Bewertung der Mobilität

hohe Mobilität: Ottokraftstoffe
 mittlere bis hohe Mobilität: Kerosin
 mittlere Mobilität: Diesel, Heizöl EL, Trafoöl
 geringe Mobilität: Schmieröl, Heizöl S

Toxikologie

Die inhibitorische Wirkung von Aliphaten auf Mikroorganismen hängt von der Konzentration und der Kettenlänge ab. Kurzkettige Aliphate sind Fettlöser und können daher die Lipidmembranen der Mikroorganismen schädigen. Wichtig sind auch toxisch wirkende Additive, die in verschiedenen Mineralölprodukten enthalten sein können. Daneben können einige der beim Teilabbau gebildeten Fettsäuren auf Mikroorganismen inhibitorisch wirken.

Hauptaufnahmeweg

Der Hauptaufnahmeweg für Mineralöl als Aerosol verläuft über den Atemtrakt. Mit einer Aufnahme als Dampf oder Flüssigkeit ist unter normalen Arbeitsbedingungen kaum zu rechnen.

Hauptwirkungsweisen

akut: Lungenfunktionsveränderung nach sehr hohen Aerosolkonzentrationen
 chronisch: Hautveränderungen (besonders bei empfindlichen Personen)

Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit

gering

Wassergefährdung

- schwach wassergefährdend sind Mineralöl-Halbfertigprodukte (Stoff-Nr.: 771, WGK 1, nicht krebs-erzeugend) und Schmieröle,
- wassergefährdend sind Mineralöl-Halbfertigprodukte (Stoff-Nr.: 442, WGK 2, nicht krebs-erzeugend), Diesel und Heizöl
- stark wassergefährdende Mineralöl-Halbfertigprodukte (Stoff-Nr.: 441, WGK 3, krebs-erzeugend) und Ottokraftstoff
- starke geschmackliche Beeinträchtigung, die zur Unbrauchbarkeit des Wassers führt

Zu 2.) Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**Bedeutung**

Die Stoffgruppe der PAK umfasst eine Vielzahl von individuellen Verbindungen mit mehreren Ring-systemen und Alkylseitenketten. PAK werden großtechnisch aus Steinkohlenteer durch Destillation und Kristallisation gewonnen. Besonders relevant sind aufgrund ihrer weiten Verbreitung in der Umwelt (Boden) und ihres Gefährdungspotentials die einfachen mehrkernigen Aromaten, die in der sogenannten EPA-Liste zusammengefasst sind. Es handelt sich um 16 Einzelverbindungen, die nach Vorkommen, Bedeutung, Umwelrelevanz und toxikologischen Gesichtspunkten als Leitsubstanzen angesehen werden können (siehe Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit).

PAK kommen als Nebenprodukt natürlicher als auch industrieller Verbrennungsprozesse sowohl in Gewässern gelöst, aber auch in Bodenhorizonten, Auffüllungshorizonten u. a. ungelöst an den Fest-stoffen adsorbiert vor. Sie entstehen dabei überwiegend bei unvollkommener Verbrennung. Einige PAK weisen eine hohe Toxizität und Persistenz auf, z. B. Benzo(a)pyren. Benzo(a)pyren (BaP) wird häufig als Leitkomponente für die Bewertung von PAK - Belastungen herangezogen.

Chemisch-physikalische Eigenschaften

PAK sind feste Substanzen. Einige PAK sind im Wasser löslich (Naphthalin, Acenaphthylen, Ace-naphthen, Fluoren, Phenanthren, Pyren). Alle anderen PAK sind im Wasser schwer bis nicht löslich.

PAK besitzen eine nur geringe bis keine Flüchtigkeit.

Für relativ leicht wasserlösliche PAK wird ein aerober mikrobieller Abbau beobachtet. Als Abbauprodukte entstehen Säuren, Wasser und Kohlendioxid. PAK mit mehr als 5 Ringen werden nicht mehr von Mikroben angegriffen.

Benzo(a)pyren ist eine aus gelblichen Nadeln (Dichte 1,351 g/cm³) oder Plättchen (Dichte 1,282 g/cm³) bestehende Substanz. Es besitzt einen Schmelzpunkt von 173 °C und einen Siedepunkt von 496 °C und ist damit als gering flüchtig einzustufen. Benzo(a)pyren ist in Wasser unlöslich, in Alkohol wenig und in aromatischen Kohlenwasserstoffen gut löslich.

Naphthalin bildet farblose, charakteristisch riechende Blättchen (Dichte 1,15 g/cm³) mit einem Schmelzpunkt von 80,2 °C und einem Siedepunkt von 218 °C. Die Flüchtigkeit der niedrig molekularen Verbindung Naphthalin ist deutlich höher als bei Benzo(a)pyren. Naphthalin ist in Alkohol, Ether, Chloroform, Schwefelkohlenstoff und Benzol leicht und in Wasser schwer löslich.

Verhalten im Untergrund

PAK weisen lipophile bzw. hydrophobe Eigenschaften auf. Sie adsorbieren leicht an Bodenpartikeln. Die Wasserlöslichkeit und Flüchtigkeit der PAK ist gering. Naphthalin nimmt unter den PAK eine Sonderstellung ein, da es wesentlich wasserlöslicher als andere PAK ist. Die Mobilität der PAK nimmt mit steigender Ringzahl ab. PAK können in das Grundwasser gelangen, wenn sie adsorbiert an Kolloiden mit dem Sickerwasser verfrachtet werden oder wenn Tenside bzw. Lösungsvermittler im Boden vorliegen. Dann können auch 4er- und 5er-Ringe im Grundwasser nachgewiesen werden. Die Grundwassergefährdung ist jedoch i. d. R. gering. Aufgrund ihrer äußerst geringen Wasserlöslichkeit sind sie i. d. R. nur in sehr niedrigen Konzentrationen im Grundwasser nachweisbar.

Die höher kondensierten Aromaten bleiben in der ungesättigten Phase zurück, da sie praktisch nicht mobil sind. Die Adsorption an mineralische bzw. organische Bodenbestandteile spielt hierbei eine entscheidende Rolle. PAK können innerhalb von sehr langen Zeiträumen bis in die Kapillarzonen des Bodens eindringen und dadurch auch praktisch dichte Bodenschichten wie z. B. Tone durchdringen.

Abbaubarkeit

Naphthalin ist unter aeroben Bedingungen mäßig abbaubar. 3er- und 4er-Ringe sind nur sehr eingeschränkt abbaubar. Die Abbaubarkeit der höher kondensierten Ringe kann i. d. R. vernachlässigt werden. Der PAK - Abbau erfolgt über eine Transformation zu Phenolen, wie z. B. Brenzcatechin, dann Ringöffnung, dann Mineralisierung.

Bewertung der Mobilität

mittlere Mobilität: Naphthalin (*2er-Ring*),
Acenaphthen, Acenaphthylen,
Anthracen, Fluoren, Phenanthren (*3er-Ringe*)
geringe Mobilität: sonstige PAK

Toxikologie

Die PAK sind eine Stoffgruppe mit humantoxikologisch bedenklichen Vertretern. Einige PAK sind karzinogen, andere können die Wirkung der karzinogenen Stoffe verstärken. Bei PAK mit bis zu 3 Ringen wurde kein mutagenes Potential gefunden. Fluoranthen verstärkt die Wirkung des Benzo(a)pyrens.

Die karzinogenen PAK bewirken die Bildung von Tumoren auf der Haut und in den inneren Organen.

Hauptwirkungsweisen

akut: Reizwirkungen von Stäuben, basierend auf einer schwachen Hautreaktion. PAK ist als kanzerogen für den Menschen anzusehen.

chronisch: Beim Menschen wird die niedrigste toxische Dosis bei inhalativer Aufnahme von BaP mit 70 ng/m³ angegeben. In Tierversuchen wurde eine erhebliche Tumorbildungsrate nachgewiesen.

Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit

∑ PAK	hoch
Acenaphthen	sehr gering – mittel
Acenaphthylen	mittel
Anthracen	sehr gering – mittel
Benz(a)anthracen	hoch

Benzo(a)pyren	hoch – hochgefährlich
Benzo(b)fluoranthren	hoch
Benzo(ghi)perylen	mittel
Benzo(k)fluoranthren	hoch
Chrysen	hoch - mittel
Dibenz(ah)anthracen	hoch
Fluoranthren	sehr gering – mittel
Fluoren	sehr gering – mittel
Indeno(1,2,3-cd)pyren	hoch
Naphthalin	sehr gering
Phenanthren	gering - mittel
Pyren	gering - mittel

Wassergefährdung

- stark wassergefährdend, WGK 3, Benzo(a)pyren
- wassergefährdend, WGK 2, Naphthalin

Zu 3.) Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Bedeutung

Die PCB sind aromatische, kernchlorierte Verbindungen mit unterschiedlichen Anteilen an Chlor (z. B. Clophen A 60 = 60 % Chlor), die in der Natur nicht vorkommen. PCB stellen eine Substanzgruppe von 209 möglichen Einzelverbindungen (Kongeneren) dar. Es handelt sich je nach Chlorierungsgrad um flüssige oder feste Gemische. Die höher chlorierten PCB wurden wegen ihrer guten elektrischen Eigenschaften und ihrer Nichtbrennbarkeit im Transformatoren- und Kondensatorenbau benötigt, ferner als Kühllöle und unter Tage als Hydrauliköl. Aus Gründen des Umweltschutzes war nur die Verwendung in geschlossenen Systemen erlaubt gewesen.

Die Verwendung von PCB ist in Deutschland seit 1989 durch die Chemikalien-Verbotsverordnung untersagt.

Chemisch-physikalische Eigenschaften

PCB sind farblose Flüssigkeiten mäßiger bis hoher Viskosität, die in den meisten organischen Lösungsmitteln gut, in Wasser, Glycerin und Glycolen kaum löslich sind.

Allgemeines

Technisches PCB ist ein Gemisch unterschiedlicher Kongeneren. Bei gleichem Grundgerüst (Biphenyl) unterscheiden sich die Kongeneren durch Anzahl und Stellung der Chloratome. Technische PCB-Gemische sind mittel- bis hochviskose Flüssigkeiten. Sie enthalten hauptsächlich Tri-, Tetra-, Penta- und Hexachlorbiphenyle. Transformatorenöle können zur Verringerung der Viskosität 10 bis 20 % Trichlorbenzol enthalten.

Handelsnamen: z. B. Arochlor 1242 (USA, Chloranteil 42 %, Siedebereich 325-366 °C), Clophen (BRD), Askarel (Mischung PCB mit Chlorbenzolen).

Verhalten im Untergrund

Die Mobilität der PCB im Boden ist sehr gering: PCB besitzen eine hohe Viskosität, die mehrfach chlorierten PCB sind sehr wenig wasserlöslich. An Huminsäuren und Eisenoxide werden PCB leicht sorbiert. Über die Adsorbierbarkeit an Tonpartikel liegen widersprüchliche Angaben vor. Die Flüchtigkeit ist sehr gering. Mit zunehmendem Chlorierungsgrad nimmt die Mobilität ab.

Abbaubarkeit

PCB sind chemisch sehr stabile Verbindungen. In der Natur werden PCB nicht biochemisch synthetisiert. Daher verläuft der Abbau im Boden extrem langsam. Mit zunehmendem Chlorierungsgrad nimmt die Abbaubarkeit ab. Aufgrund der geringen Abbaubarkeit und der lipophilen Eigenschaften können sich PCB in der Nahrungskette anreichern.

Bewertung der Mobilität

geringe Mobilität

Toxikologie

PCB sind toxisch und als gesundheitsschädlich sowie umweltgefährlich (kumulative Wirkung, persistent) eingestuft. 12 Verbindungen (non-ortho PCB und mono-ortho PCB) zeigen molekularbiologisch ein ähnliches Verhalten wie die Dioxine/Furane und sind daher besonders toxikologisch bedeutsam.

Diese werden als dioxinähnliche PCB bezeichnet. Aufgrund der Zuordnung von Toxizitätsäquivalenzfaktoren durch die Weltgesundheitsorganisation ist für diese dioxinähnlichen PCB auch die Bezeichnung WHO-PCB gebräuchlich.

Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit

hoch

Wassergefährdung

stark wassergefährdend, WGK 3

4.) Polychlorierte Terphenyle (PCT)

Bedeutung

Bei PCT handelt sich um chemische Substanzen mit drei Kohlenstoff-Ringen und angelagerten Chloratomen.

Die PCT sind Verwandte der PCB und ähneln sich in ihren Eigenschaften. Die erforderlichen Daten zum Verhalten in der Umwelt und zur Toxikologie sind den vg. PCB zu entnehmen.

Zu 5.) Dioxine

Bedeutung

Dioxine kommen meist als Gemisch verschiedener halogener Dibenzodioxine und Dibenzofurane vor. Die Mitglieder der beiden Stoffgruppen besitzen entweder ein Dibenzodioxin - (zwei Benzolringe, die über zwei Sauerstoffbrücken verknüpft sind) oder ein Dibenzofuran - Grundgerüst (zwei Benzolringe sind über ein Sauerstoffatom sowie direkt verbunden).

Neben den polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) gibt es Dioxine, an deren Benzolringe andere Halogenatome gebunden sind. Dies können insgesamt 75 (PCDD) bzw. 135 (PCDF) verschiedener Einzelverbindungen sein. Dioxine werden, außer für die Forschung und Analytik, nicht gezielt hergestellt. Sie entstehen als Nebenprodukte bei einer Vielzahl von thermischen Prozessen. Einzelne Vertreter dieser Stoffgruppe sind hochtoxisch und schwer abbaubar. Es gibt keinerlei technische Verwendung von Dioxinen.

Durch Zersetzung von PCB unter Hitze und Sauerstoff können polychlorierte Dibenzodioxine und -furane PCDD/PCDF entstehen. So ist bekannt, dass bei Bränden von PCB-haltigen Transformatoren Dioxine in die Umwelt gelangen können. Die überraschend leichte Bildung der PCDD/PCDF bei Reaktionen rührt von der Tatsache her, dass sie durch ihre sechs- und fünfgliedrige Ringstruktur sehr stabile Atomanordnungen darstellen und zugleich durch die Chlorierung eine zusätzliche Absicherung gegenüber einer Reaktion mit Sauerstoff erhalten. PCDD/PCDF können u. a. in Verbrennungsanlagen gebildet werden, wobei Chlorphenole, Chlorbenzole und auch PCB als Vorläufer anzusehen sind.

Chemisch-physikalische Daten

Bei Raumtemperatur sind Dioxine farblose, kristalline Feststoffe. Sie sind schwerflüchtig, wobei der Sättigungsdampfdruck noch weiter zurückgeht, je mehr Halogenatome im Molekül enthalten sind. Ihre Löslichkeit in Wasser ist äußerst gering, sie nimmt mit zunehmendem Halogenierungsgrad ab und steigt mit zunehmender Temperatur an. Dioxine lösen sich einigermaßen gut in organischen Lösungsmitteln wie Benzol, Anisol und Xylol. Sie sind lipophile Substanzen und reichern sich aufgrund ihres hohen Oktanol - Wasser - Verteilungskoeffizienten im Fettgewebe, aber auch in Sedimenten und Böden an.

Verhalten im Grundwasser und Boden

Dioxine und Furane sind im Wasser praktisch unlöslich. Die fehlende Löslichkeit in Wasser und die extrem hohe Affinität zu anorganischen und organischen Bodenbestandteilen schließen einen Transport mit dem Grundwasser aus. Dagegen können in ölhaltigen Sickerwasser- und Drainagewasserproben von Deponien, auf denen dioxinhaltige und furanhaltige Abfälle gelagert wurden, die entsprechenden Verbindungen in z. T. erheblichen Konzentrationen nachgewiesen werden. Die hohen Anteile an organischen Lösemitteln in solchen „Wässern“ wirken für die Dioxine und Furane als Lösungsvermittler. Beim Versickern derartig hoch belasteter „Wässer“ werden insbesondere die oberen Bodenschichten erheblich kontaminiert. Ein vertikaler Transport in der ungesättigten Zone wird durch die hohe Affinität zum Bodenmaterial weitgehend verhindert. Aufgrund der niedrigen bis sehr niedrigen Dampfdrücke ist auch eine Ausbreitung im Untergrund als Gasphase auszuschließen. Dioxine und Furane verhalten sich im Untergrund äußerst immobil, d. h. sie können weder durch Niederschläge noch durch sonstige Spülmaßnahmen ausgewaschen werden.

Abbaubarkeit

PCDD/PCDF sind praktisch wasserunlöslich und werden sehr stark adsorptiv festgelegt. Zusätzlich sind die Stoffe aufgrund ihrer Struktur kaum angreifbar. Für das Sevesogift 2,3,7,8-TCDD wurden in den Böden Halbwertszeiten zwischen mehr als einem bis zehn Jahren gefunden.

Für 2,3,7,8-TCDD und -TCDF wurden trotz intensiver Suche bisher noch keine Mikroorganismen gefunden, die diese Verbindungen abbauen können.

Bewertung der Mobilität

geringe Mobilität

Toxikologie

Die giftigste Einzelverbindung unter den Dioxinen ist das sogenannte „Sevesodioxin“ (kurz 2,3,7,8-TCDD). Es ist im Tierversuch karzinogen. Subakut hat es verschiedene chronische Wirkungen, u. a. die sogenannte Chlorakne. Polychlorierte Dioxine und Furane können bereits in geringen Mengen die Entstehung von Krebs aus vorgeschädigten Zellen fördern. Über die Toxikologie von 2,3,7,8-TCDF ist wenig bekannt.

Ökotoxikologische Stoffgefährlichkeit

hoch

Zu 6.) Herbizide (zur Bewuchsbekämpfung)

Die erforderlichen Daten zum Verhalten von Herbiziden in der Umwelt und zur Toxikologie sowie weitere Informationen sind dem branchenbezogenen Merkblatt Nr. 20 – „Gärtnereien“ [LFULG 2010] zu entnehmen.

1.3.2 Geeignete Analysenparameter zur Identifizierung der potentiellen Schadstoffe und Stoffgruppen

Zur Feststellung des Vorkommens der in Abschnitt 1.3.1 aufgeführten Stoffe und Stoffgruppen in Boden, Sicker-, Grund- und Oberflächenwasser werden die aufgeführten Analysenparameter empfohlen.

Tabelle 1: Analysenparameter

Einsatzstoff	Stoffgruppe	Analysenparameter
Transformatoröl	Mineralölkohlenwasserstoffe	MKW, PAK
Öl aus Ölkabeln	Mineralölkohlenwasserstoffe	MKW, PAK
Öl aus Leistungskondensatoren	Mineralölkohlenwasserstoffe Polychlorierte Biphenyle	MKW, PAK, PCB ₆ /PCT, (Dioxine, ggf. WHO-PCB)
Herbizide	siehe branchenbezogenes Merkblatt Nr. 20 - „Gärtnereien“	

Anmerkung: Das direkte Umfeld von Trafo- und Umformerstationen war ggf. aus Brandschutzgründen bewuchsfrei zu halten. Legt die konkrete örtliche Situation die Notwendigkeit solcher Brandschutzmaßnahmen nahe, ist der Standort in diesem Bereich auch auf das Vorkommen von (Total-) Herbiziden bzw. deren Abbauprodukten zu untersuchen.

Für eine Indikation des Vorliegens von PCB werden von den insgesamt 209 PCB- Kongeneren in der Regel die sechs (DIN 51527)-PCB (Nr.28/52/101/138/153/180) herangezogen (PCB₆), für welche entsprechende Eichstandards vorliegen. Aus diesen wird dann ein entsprechender Summenwert der PCB (PCB₆ * 5) abgeleitet. Bei einem Positivnachweis sind Untersuchungen auf die 12 WHO-PCB (Nr. 77/81/105/114/118/123/126/156/157/167/169/189) durchzuführen.

Ein hilfswises Heranziehen der Parameter EOX und AOX (organisch gebundener Halogene) zum Nachweis des Vorliegens von Herbiziden und / oder PCB wird aufgrund der zu hohen Nachweisgrenze und des eingeschränkten Parameterumfangs (nur halogenorganische Herbizide) nicht empfohlen. Darüber hinaus können diese Untersuchungen den direkten Nachweis der Herbizide und / oder PCB nicht ersetzen.

1.4 Zusammenfassung der altlastenrelevanten Stoffe/ Stoffgruppen nach der Zuordnung zu Verdachtsort und Analysenparameter

In Tabelle 2 sind den möglichen Verdachtsorten/-flächen in Trafo- und Umformerstationen die dort zu erwartenden Schadstoffgruppen und die möglicherweise gefährdeten Schutzgüter zugeordnet. In der Spalte „Analysenparameter“ wurden die für diese Verdachtsorte sinnvollen Analyseparameter zusammengestellt.

Tabelle 2: Zuordnung von Analyseparametern altlastrelevanter Stoffgruppen zu Verdachtsorten

Verdachtsort	Stoff/ Stoffgruppe	Analysenparameter	Schutzgut ¹⁾
Transformatorstandort im Innenraum	Mineralöle	MKW, PAK, (PCB ₆ /PCT) ^{2,4}	Mensch
Schaltanlagen	Mineralöle	MKW, PAK	Mensch
Freilufttransformatorstandort	Mineralöle, Herbizide	MKW, PAK, (PCB ₆ /PCT) ^{2,4} , Herbizide	Mensch, Boden, Grundwasser (Oberflächenwasser)
Umformerstandort	Mineralöle	MKW, PAK	Mensch
Kondensatorraum	Mineralöle Polychlorierte Biphenyle	MKW, PAK, PCB ₆ /PCT ⁴ , (PCDD/ PCDF) ³	Mensch

¹⁾ Wenn organoleptische Auffälligkeiten auf erhebliche Schadstoffeinträge hinweisen, können auch weitere Schutzgüter betroffen sein.

²⁾ Wenn im Einzelfall explizite Hinweise vorliegen.

³⁾ Nur wenn PCB/PCT festgestellt wird, ist bei bekannten Brandhavarien eine Überprüfung zielführend.

⁴⁾ Bei Nachweis von PCB₆ sind Untersuchungen ggf. auf dioxinähnlichen PCB (WHO-PCB) durchzuführen.

2 Hinweise zur Altlastenbehandlung

2.1 Altlastenrelevanz

Die im Sächsischen Altlastenkataster SALKA befindlichen Transformatoren – und Umformstationen waren zum Teil seit über 80 Jahren in Betrieb. Oftmals wurden diese Standorte im Zeitraum nach 1990 außer Betrieb gesetzt, wobei nur ein Teil dieser Standorte auch demontiert wurde. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass bei der Demontage dieser Standorte, insbesondere wenn diese nicht in der Verantwortung der Energieversorger/ Netzbetreiber erfolgte, auch unqualifiziertes Personal für Demontagearbeiten zum Einsatz gekommen ist. Weiterhin ist bei stillgelegten Anlagen Vandalismus und daraus resultierender Schadstoffeintrag nicht auszuschließen.

Die spezifische Altlastenrelevanz der Standorte von Transformatoren- und Umformerstationen beruht auf dem Einsatz von Mineralölen, welche als Isolieröle in Transformatoren, Kondensatoren, Wandlern, Schaltgehäusen, Leistungsschaltern sowie in ölgefüllten Kabeln Verwendung fanden.

Eines der Hauptprobleme beim Betrieb der mineralölgefüllten Transformatoren ist der Verlust der isolierenden Eigenschaften der Öle durch die Aufnahme von Feuchtigkeit. Die Sicherung des Betriebes der Transformatoren erfordert einen regelmäßigen Austausch der Betriebsflüssigkeiten, wobei bei unsachgemäßer Handhabung Kontaminationen vor Ort auftreten können. Im Rahmen des normalen Betriebes der Trafoanlagen konnte es durch Leckagen und Handhabungsverluste zum Austritt von Isolierölen kommen, was im Allgemeinen nur zu geringfügigen Bodenkontaminationen führte.

Umladevorgänge und Lagerung von Trafoöl, Altöl und ölgefüllten Anlagenteilen, die häufig auf unbefestigten Flächen stattfanden, bilden ein zusätzliches Kontaminationspotential. Für den Bereich der ehem. DDR ist anhand von Zeitzeugenbefragungen wahrscheinlich, dass Ölwechsel bzw. Ölentleerung nur bei Großtrafos vor Ort stattgefunden haben. Transportfähige kleinere Trafoeinheiten wurden in der Regel in externen Reparaturwerken gewartet bzw. instandgesetzt.

Eine weitere Kontaminationsquelle entstand häufig erst bei einer Demontage von Trafos. Insbesondere am Standort nach der Demontage der Trafos und Wandler noch verbliebene Ölkabelabschnitte können durch Ausbluten von Ölresten noch deutlich erkennbare, aber geringe Kontaminationen verursachen.

Daneben sind auch im Bereich der Sammelleitungen für ölhaltige Abwässer sowie der nachgeschalteten Ölabscheider und Ölsammelgruben Ölverluste möglich.

Bei Kenntnissen von Leckagen und Havarien sind Bereiche mit fehlenden Sicherungs- und Auffangsystemen (Trafowanne) besonders relevant. Hierbei ist zu beachten, dass diese Sicherungssysteme oft erst später ergänzt worden sind.

Zeitzeugenbefragungen bestärken die Einschätzung, dass im Bereich der ehem. DDR keine PCB-haltigen Trafoöle zum Einsatz gelangten. Eine altlastenrelevante PCB-Kontamination an Transformatoren- und Umformerstationen aus diesem Zeitraum durch PCB-haltige Trafoöle ist somit unwahrscheinlich. Allerdings waren in Transformatoren- und Umformerstationen häufig Leistungskondensatoren installiert, welche auch im Gebiet der ehem. DDR häufig PCB-haltige Isoliermittel enthielten. Diese PCB-haltigen Kondensatoren mussten in den 1980er Jahren durch PCB-freie Leistungskondensatoren ersetzt werden. In Ermangelung geeigneter zentraler Entsorgungs- bzw. Lagerkapazitäten für die demontierten PCB-haltigen Kondensatoren wurden diese häufig unmittelbar am Demontageort „zwischenlagert“. An solchen Standorten können deshalb geringfügige PCB-Kontaminationen aus dem Betrieb bzw. der nachfolgenden Lagerung (ggf. defekter bzw. bei der Demontage beschädigter) PCB-haltiger Kondensatoren nicht ausgeschlossen werden.

Eine weitere Kontaminationsmöglichkeit besteht bei Freilufttransformatoren im Einsatz von Herbiziden zur Bewuchsbeseitigung in Schotterbetten, Pflasterbereichen etc. Dies erfolgte aus Brandschutzgründen. Eine vergleichbare Problematik wird im diesbezüglichen branchenbezogenen Merkblatt Nr. 20 - Gärtnereien [LFULG 2010] betrachtet. Dort wird festgestellt, dass in der Regel davon auszugehen ist, dass durch bauliche Sperren bzw. durch Abbau oder Verdünnung nach mehr als 10 Jahren Stilllegung solch niedrige Schadstoffkonzentrationen erreicht werden, dass bodenschutzrechtliche Gefährdungen unwahrscheinlich sind. Hier sollten an Standorten von Transformatoren- und Umformerstationen dem Einzelfall entsprechende Betrachtungen und ggf. Untersuchungen durchgeführt werden.

Insbesondere folgende Flächen werden für Untersuchungen vorgeschlagen (wenn vorhanden):

- (1) Standflächen von Transformatoren in Gebäuden,
- (2) Standflächen von Freilufttransformatoren und deren Umfeld,
- (3) Schotterbetten von Transformatoren,
- (4) Ölauffangtassen,
- (5) Ölabscheidesystem,
- (6) Kondensatorenraum,
- (7) Schaltraum,
- (8) Leistungsschalter,
- (9) Ölhaltige Kabelstümpfe,
- (10) Havarieflächen,
- (11) Sonstige Flächen mit organoleptischen Auffälligkeiten.

Ggf. sind in Abhängigkeit vom Einzelfall auch weitere Verdachtsflächen möglich.

Boden

Bodenkontaminationen sind vor allem in Bereichen möglich, wo ölgefüllte Geräte und Einrichtungen ohne schützende Auffangeinrichtungen im Freien betrieben worden sind. Darüber hinaus kann auch bei massiven Schadensfällen in Gebäuden eine Bodenkontamination in Folge von Durchdringungen der Gebäudesohle möglich sein.

Bei Anwendung von Herbiziden zur Bewuchsbeseitigung im Außenbereich können oberflächennahe Bodenhorizonte in der weiteren Umgebung von Freilufttransformatoren spezifische Belastungen aufweisen.

Grundwasser

In Abhängigkeit vom Umfang des Schadstoffeintrages in den Boden und den generellen Standortbedingungen (u. a. Grundwasserflurabstand, Rückhaltevermögen der ungesättigten Bodenzone, Vorhandensein und Wirksamkeit einer Flächenversiegelung) können sich Schadstoffverlagerungen bis ins Grundwasser ergeben, welche ggf. zu Gefährdungen führen können.

Luft

Belastungen der Luft sind aufgrund der Schadstoffspezifität nicht zu erwarten.

2.2 Gefährdete Schutzgüter und relevante Pfade

Gefährdete Schutzgüter können sein:

- Mensch
- Boden
- Grundwasser
- Oberflächenwasser

Die zu berücksichtigten Wirkungspfade sind neben dem Direktkontakt mit den Schadstoffen je nach Nutzung, planungsrechtlich zulässiger Nutzung bzw. Umgebungsnutzung:

- Boden-Mensch
- Boden-Nutzpflanze (Mensch)
- Boden-Grundwasser(-Trinkwasser-Mensch)
- Boden(-Grundwasser)-Oberflächenwasser

2.3 Gefährdungsabschätzung

Aufgrund des Umgangs und der Lagerung von umweltgefährdenden Trafoölen und ggf. weiteren schadstoffhaltigen Betriebsmitteln ist entsprechend [SMUL Anlage 2a, 1997] und BBodSchG für Altstandorte mit Transformatoren- und Umformerstationen eine Prüfung und Bewertung des Altlastenverdachts erforderlich.

2.3.1 Verdachtsfallerfassung und Formale Erstbewertung

Die Erfassung und Formale Erstbewertung der Altstandorte erfolgt durch die zuständigen Bodenschutzbehörden im Sächsischen Altlastenkataster SALKA.

Im Zusammenhang mit der SALKA - Erfassung sind folgende Empfehlungen für Trafo- und Umformerstationen zu beachten:

- Aufgrund der häufigen Verbindung mit anderen betrieblichen Einrichtungen sind Nutzungen als Trafo- und Umformerstationen als eigenständige Altlastenverdachtsflächen auszuweisen.

Einordnung in Branchenschlüssel und Belastungsstufe:

Branchennummer	Branchenbezeichnung	Gefährdungsklasse
2060	Trafo-, Umformerstation	35

2.3.2 Historische Erkundung und Bewertung (Beweisniveau 1)

Für die HE sind folgende Handbücher/ Materialien zur Altlastenbehandlung heranzuziehen:

- Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen,
- Handbuch Teil 3, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser,
- Handbuch Teil 4, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden,
- Handbuch Teil 5, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser,
- bei Vorhandensein von Altuntersuchungen ggf. Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung.

Zur DV-gestützten Auswertung ist das Programm GEFA in der aktuellen Version zu nutzen.

Neben der Recherche zu Unterlagen und Informationen bei der Kommune und den aktuellen sowie historischen Energieversorgern ist die multitemporale Luftbildauswertung eine gute Informationsquelle für die historische Entwicklung des Standortes: z. B. Nutzung von Teilflächen, Zeitraum Errichtung/Betrieb von Transformatoren- und Umformerstationen. Wesentlich sind weiterhin Informationen aus Befragungen von Zeitzeugen (ehemalige Mitarbeiter, Anwohner) und aus einer ersten Ortsbegehung.

Die Ortsbegehung sollte eine Identifizierung von Verdachtsbereichen entsprechend der im Punkt 2.1 beschriebenen Schwerpunkte sowie besonders auffälliger Bereich vornehmen. Wichtig ist hierbei, anhand ggf. noch vorhandener technologischer Beschriftungen Verdachtsbereiche zuordnen zu können. Des Weiteren ist ggf. zu prüfen, ob andere Standortnutzungen mit ähnlichem Schadstoffspektrum Relevanz für spätere Bewertungen eines Altlastenverdacht haben können.

Für die Stoffgefährlichkeit r_0 von Trafoölen und PCB-haltigen Betriebsmitteln sind entsprechend dem Branchen-Schlüsselverzeichnis zur Altstandortbewertung [SMUL 1998B], die folgenden Werte anzusetzen:

Schlüssel - Nr.	Bezeichnung	r_0
54106	Trafoöle, Wärmetr. Öle, frei v. polychl. Biph. u. polychl. Terph.	4,0
54107	Trafoöle, Wärmetr. Öle, polychl. Biph. u. polychl. Terph.	6,0
54198	PCB-haltige elektrische Betriebsmittel	5,0-6,0

Auf der Grundlage der o. g. Stoffgefährlichkeitsfaktoren kann mit dem Programm GEFA auf der Grundlage der konkreten Standortbedingungen eine standortkonkrete Gefährdungsabschätzung erstellt werden.

Aufgrund des unterschiedlichen Umweltverhaltens der branchenspezifischen Hauptkontaminanten ist eine Bewertung der schadstoffabhängigen Faktoren schwierig. Hierbei ist neben dem tatsächlichen Schadstoffspektrum auch das Alter des Schadstoffeintrages zu berücksichtigen. Grundsätzlich handelt es sich bei den folgenden Angaben nur um überschlägige Empfehlungen, welche dem Einzelfall anzupassen sind:

Grundwasser m_I :

Für die

- Lage zum Grundwasser,
- Oberflächenabdeckung und
- Oberflächenabdichtung

sind standortspezifische Eingaben erforderlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei Kontaminationen, die im Grundwasserbereich liegen, eine höhere Bewertung anzusetzen ist ($m_I = 1,4$). Als Vergleichslage für Altstandorte wird folgender Kompromiss als Normalfall festgelegt: Lage im ungesättigten Bereich, keine Sohlabdichtung, keine Sohlentwässerung: $m_I = 1,2$.

Ist ein Schutz gegen einen Austrag durch Niederschlagswasser gegeben, kann bei der Oberflächenabdichtung $\Delta m = -0,1$ angesetzt werden. Durch Undichtigkeiten der Betonunterbauten oder Auffangbecken sowie auftretende Risse in der ggf. vorhandenen Versiegelung können Schadstoffe über den Boden in das Schutzgut Grundwasser eingetragen werden. Deshalb erfolgt bei vorhandenen Undichtigkeiten und somit keiner wirksamen Oberflächenabdichtung eine Bewertung von $\Delta m = \pm 0$.

- Löslichkeit:

Der Schadstoffaustrag in das Grundwasser wird stark von der Löslichkeit der vorhandenen Schadstoffe und den Sorptionseigenschaften an Böden und Materialien der ungesättigten Zone bestimmt. An Trafostandorten sind sowohl gut (MKW) als auch schwer lösliche organische Stoffen und Stoffverbindungen (PAK, PCB) Hauptkontaminanten. Aufgrund dieser Spanne erfolgt die Bewertung im Programm GEFA mit dem Mittelwert zwischen schwer und leicht löslich von $\Delta m = -0,3$ für „löslich“ ($0,1 < 100 \text{ mg/l}$).

Grundwasser m_{II} :

- Abbaubarkeit in der ungesättigten Zone:

Die Abbaubarkeit ist von den eingesetzten Wirkstoffen abhängig. Im Fall von Transformatoren- und Umformerstationen sind die Hauptkontaminanten gut (MKW) bis nicht abbaubar (PCB). Die Abbaubarkeit sollte in GEFA mit „nicht leicht abbaubar“ ($\Delta m = \pm 0$) angegeben werden.

Grundwasser m_{III} :

Abbaubarkeit in der gesättigten Zone:

Die Hauptkontaminanten bei Transformatoren- und Umformerstationen weisen unterschiedliche Ab-

baubarkeiten auf. Die PAK sind schwer oder eingeschränkt abbaubar. PCB sind chemisch sehr stabile Verbindungen. In der Natur werden PCB nicht biochemisch synthetisiert. Daher verläuft der Abbau im Boden extrem langsam und nimmt mit zunehmendem Chlorierungsgrad ab. Die Alkane und Alkene der MKW sind aerob gut bis mäßig abbaubar. Bereits deutlich weniger abbaubar sind Isoalkane und Cycloalkane. Insofern erfolgt die Bewertung im Programm GEFA mit „nicht leicht abbaubar“ ($\Delta m = \pm 0$).

Bedeutung Schutzgut Grundwasser m_{IV} :

Nutzungskriterien:

Besteht eine Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser oder ist eine solche vorgesehen, ist die potentielle Gegenwart von MKW, PAK und PCB als besonders sensibel einzuschätzen und erfolgt je nach Trinkwasserschutzzone mit $m_{IV} = 1,1 - 2,0$.

- Aufbereitungsmöglichkeit:

Bei einer vorhandenen oder geplanten Wasseraufbereitung ist zu berücksichtigen, dass aufgrund des toxischen Potenzials der bei Transformatoren- und Umformerstationen vorliegenden Schadstoffe an die Wasseraufbereitung hohe Anforderungen gestellt werden ($\Delta m = -0,2$). Sind keine Aufbereitungsmöglichkeiten vorhanden, dann erfolgt eine Bewertung mit $\Delta m = \pm 0$.

Boden m_I :

- Fallzuordnung:

Von den 4 vorgegebenen Fällen werden überwiegend die Fälle 3 (zu schützender Boden liegt unter einer Altlast $m_I = 0,7$) und Fall 1 (zu schützender Boden ist die Altlast selbst $m_I = 1,0$) zutreffen.

Der Schadstoffaustrag der Kontaminanten ist je nach Fall zu spezifizieren.

Boden m_{II} :

Bei der Abschätzung des Schadstoffeintrages in den zu schützenden Boden wird der m_{II} -Wert durch die Entfernung Altlastenverdachtsfläche - Schutzobjekt bestimmt. Die Widerstände auf dem Ausbreitungspfad sind fallabhängig zu definieren. Dabei ist die Bewertung mit den Angaben zum Schadstoffeintrag Grundwasser (Oberflächenabdeckung, Oberflächenabdichtung, Zustand der Bausubstanz, Versiegelungsgrad und Zustand der Versiegelungen) abzugleichen.

Boden m_{III} :

- Abbau:

Die Abbaubarkeit der branchentypischen Hauptkontaminanten ist sowohl gut als auch schwer. Aufgrund dieser Spanne wird bei der Bewertung im Programm GEFA ein möglicher Abbau mit Abbauraten kleiner 75 % innerhalb eines Jahres $m_{III} = 0,9$ gesetzt.

- Verweilzeit im Boden:

Die branchentypischen Hauptkontaminanten sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften (Löslichkeit, Aggregatzustand) sowohl gut als auch schwer mobilisierbar. Die Verweilzeit ist daher mit „sonst“ $\Delta m = \pm 0$ anzugeben.

Boden m_{IV} :

Für Transformatoren- und Umformerstationen liegen auf der Bearbeitungsstufe Historischen Erkundung selten analytische Ergebnisse zu relevanten Schadstoffen aus den recherchierten Unterlagen vor. Hierbei erfolgt die formale Bewertung der Bedeutung des Bodens auf der Grundlage der aktuellen und geplanten Nutzung des Standortes. Als Vergleichslage ($m_{IV} = 0,8$) gilt Gewerbe und Industrie. Sensiblere Nutzungen sind mit Aufschlägen zu berücksichtigen.

Sollten bereits aus Altuntersuchungen Analysenwerte vorhanden sein, so ist im Verfahrensschritt r_0 bei Repräsentanz einzugeben, dass konkrete Schadstoffe durch repräsentative Messungen ermittelt sind. Danach stellt GEFA im Verfahrensschritt m_{IV} ein Feld zur Eingabe der „Analysenwerte Boden“ zur Verfügung.

2.3.3 Orientierende Untersuchung (Beweisniveau 2)

Für die OU sind neben der BBodSchV die folgenden Handbücher und Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen heranzuziehen:

- Handbuch Teil 3, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser,
- Handbuch Teil 4, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden,
- Handbuch Teil 5, Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser,
- Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung.

Die Orientierende Untersuchung muss anhand erster technischer Standortuntersuchungen und analytischer Nachweise konkrete Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Altlast ermitteln oder ausschließen. In die Untersuchungen sind sämtliche bei der Historischen Erkundung ermittelten Altlastenverdachtsflächen einzubeziehen.

Kernpunkt der Bewertung der einzelnen Schutzgüter und Schutzobjekte ist der Vergleich von gemessenen oder geschätzten Konzentrationen (meist im Kontaktmedium des Schutzgutes) mit den wirkungspfad- und nutzungsbezogenen Prüf- und Maßnahmewerten der BBodSchV. Zusätzlich sind die hilfsweise in Sachsen veröffentlichten Orientierungswerte der Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung [LFULG 2011] heranzuziehen. Werden diese Werte überschritten, ist in der Regel eine Detailuntersuchung erforderlich. Bei Unterschreitung der Vergleichswerte gilt insoweit der Verdacht des Vorliegens einer Altlast als ausgeräumt. Mittels GEFA erfolgt auf der Stufe der OU nochmals eine formale Bewertung auf der Grundlage der konkreten analytischen Befunde.

Beispielhaft ist in der Tabelle 3 ein typischer Probenahme- und Analysenplan enthalten, welcher als Grundlage für die OU genutzt werden kann. Dieser ist jedoch an den konkreten Einzelfall anzupassen.

Tabelle 3: Beispiel eines standortspezifischen Probenahme- und Analysenplanes

Ort der Probenahme	zu untersuchende Medien	Analysenparameter
Innenraumtrafos	Fußbodenbeton und unterlagernder Boden	MKW, PAK, PCB ₆ /PCT ^{1,2)} im Feststoff und ggf. im Eluat
Kabelstümpfe (ölgefüllt)	Fußbodenbeton und unterlagernder Boden	MKW, PAK im Feststoff und ggf. im Eluat
Kondensatorraum	Fußbodenbeton und unterlagernder Boden	MKW, PAK, PCB ₆ /PCT ²⁾ im Feststoff und ggf. im Eluat
Schaltraum	Fußbodenbeton und unterlagernder Boden	MKW, PAK im Feststoff und ggf. im Eluat
Ölauffangtassen und Ölabscheidesystem	Boden im unmittelbaren Umfeld, ggf. Aufstandswasser	MKW, PAK im Feststoff und im Eluat, ggf. im Wasser
Schotterbetten unterhalb von Transformatoren oder Leistungsschaltern	Schottermischprobe	MKW, PAK im Trogeluat
	Separiertes Feinkorn unterlagernder Boden	MKW, PAK im Feststoff und ggf. im Eluat
Umgebung von Freilandtrafos	Oberflächennahe Bodenmischprobe	pH-Wert, Leitfähigkeit, MKW, PAK im Feststoff und ggf. im Eluat, PSM ³⁾ im Eluat
Umfeld bei Brandhavarrien	Oberflächennahe Bodenmischprobe	pH-Wert, Leitfähigkeit, PAK, PCDD/PCDT im Feststoff

¹⁾ Bei Hinweisen auf Anwesenheit/ Lagerung von Kondensatoren

²⁾ Ggf. Untersuchung der dioxinähnlichen PCB bei Positivbefund der PCB₆

³⁾ Genauer Parameterumfang siehe Branchenbezogenes Merkblatt Nr. 20: „Gärtnereien“ [LfULG 2010]

Boden: Für die Bodenuntersuchungen werden wirkungspfadbezogene Proben entsprechend den Vorgaben der BBodSchV, Anhang 1 Tabelle 2 entnommen und analytisch untersucht.

Die Aufschlusstiefen sollten möglichst bis zum Anschnitt des Grundwassers bzw. Schichtenwassers reichen. Proben sind bei organoleptischen Auffälligkeiten, bei geologischem Schichtenwechsel und im GW- Anschnittbereich, jedoch mindestens eine Probe pro Meter zu entnehmen, DIN 4022 (1993), DIN 4023 (2006). Aufgrund der Mobilisierungs- und Verteilungsmechanismen der Schadstoffe ist von einer Akkumulation der Schadstoffe bei geologischem Schichtenwechsel zur kleineren vertikalen Durchlässigkeit und im GW-Anschnittbereich auszugehen.

Grundwasser: Sofern möglich, sind bei der Orientierende Untersuchung bereits am Standort oder dessen unmittelbarem Umfeld befindliche Grundwassermessstellen in die Probenahme einzubeziehen. Der Analysenumfang ist entsprechend den Gegebenheiten (siehe Tabelle 3) aufzustellen. Sofern keine Grundwasseraufschlüsse existieren, sind Anhaltspunkte für eine Verunreinigung des Grundwassers anhand einer Sickerwasserprognose abzuleiten.

2.3.4 Detailuntersuchung (Beweisniveau 3)

Besteht aufgrund der Untersuchungsergebnisse aus der OU ein hinreichender Verdacht für das Vorliegen einer Altlast, sind die Untersuchungen zur Gefährdungsabschätzung auf der Stufe einer Detailuntersuchung (DU) fortzusetzen. Für die DU sind neben der BBodSchV die folgenden Handbücher und Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen heranzuziehen:

- Handbuch Teil 7, Detailuntersuchung,
- Bewertungshilfen zur Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung.

Für die DU ist die Untersuchungsstrategie danach auszurichten, dass die ermittelten Schadstoffeintragsbereiche hinreichend räumlich abgegrenzt werden. Ausgehend von der räumlichen Schadensausbreitung hat eine Prognose der zeitlichen Entwicklung des Ausbreitungsverhaltens der Schadstoffe einschließlich einer Expositionsabschätzung der Schutzgüter / Schutzobjekte zu erfolgen. Im Ergebnis sind das Erfordernis von Gefahrenabwehrmaßnahmen und ggf. vorläufige Sanierungsziele gutachterlich abzuleiten.

2.3.5 Sanierungsuntersuchung

Wurden bei der Gefahrenerkundung nur kleinräumigen Kontaminationen (z. B. bei Trafostationen) angetroffen, kann unter Umständen eine Sanierung mit einfachen Mitteln (z. B. geringfügiger Bodenaustausch) zweckmäßig sein. Hierfür kann dann in Abstimmung mit der zuständigen Ordnungsbehörde über den Verzicht einer Sanierungsuntersuchung entschieden werden.

Bei komplexeren Schadensfällen ist generell für eine Entscheidung über Verhältnismäßigkeit, Art und Umfang einer Sanierung eine Sanierungsuntersuchung erforderlich. Grundlage bildet § 13 BBodSchG und § 16 BBodSchV.

Prinzipiell stehen geeignete Sanierungsverfahren für die Schadstoffe dieser Branche zur Verfügung. Eine Eignungsbeurteilung bezüglich Schadstoffen, Bodenarten und Umweltauswirkungen sowie Aussagen zum Genehmigungsaufwand sind in der Datenbank ARTRIUM des LfULG enthalten.

2.4 Sanierung

2.4.1 Sanierung von Böden

Aufgrund der spezifischen Standortbedingungen von Transformatoren- und Umformerstationen (begrenzt Spektrum an Kontaminanten, räumlich begrenzter Einsatz) sind eher kleinflächige Bodenkontaminationen zu erwarten. Aus den vorliegenden Erfahrungen bei der Sanierung von Altlasten hat sich in solchen Fällen Bodenaustausch mit anschließender off-site Behandlung des kontaminierten Bodens als wirksames und effizientes Sanierungsverfahren bewährt. Für die Bodenreinigung stehen chemisch-physikalische, bzw. biologische Aufbereitungsverfahren in Bodenwaschanlagen oder thermische Aufbereitungsverfahren bereit.

Versiegelung und Einkapselung ist insbesondere dort geeignet, wo diese Verfahren in die Standortnutzung eingebunden werden können (Parkflächen), ggf. eine Versiegelung/Teilversiegelung durch die vorhandene Bausubstanz bereits gegeben ist bzw. der Schutz der vorhandenen Bausubstanz einen Bodenaustausch erschwert bzw. verbietet.

2.4.2 Grundwassersanierung

Die Entstehung von Grundwasserkontaminationen ist zu befürchten, wenn ungünstige Standortfaktoren (langfristig) zusammentreffen. Das betrifft insbesondere höhere Eintragsraten bei geringen Grundwasserabständen, wobei die Schadstoffeinträge an Standorten von Transformatoren- und Umformerstationen in der Regel räumlich und zeitlich begrenzt stattfanden. Für eine effektive Sanierung sollte deshalb zunächst der Einsatz von MNA - Verfahren, ggf. nach Quellensanierung (Bodenaustausch) betrachtet werden. Darüber hinaus stehen praxiserprobte, allerdings in der Regel auch aufwändigere Sanierungsverfahren zur Verfügung, welche entsprechend der konkreten Standortbedingungen eingesetzt werden können (ATRIDIUM – Datenbank des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie zur Verfügung [LFULG 2010]).

2.4.3 Sanierungsüberwachung und –kontrolle

Die Überwachung der Sanierung erfolgt u. a. durch messtechnische Begleitung und Überwachung des Sanierungsfortschrittes. Während der Arbeiten ist die Einhaltung des Arbeitsschutzes unter den besonderen Bedingungen der Arbeiten in kontaminierten Bereichen nach TRGS 524 und BGR 128 zu beachten.

Nach der Sanierung hat eine Kontrolle der Einhaltung der in der Sanierungsplanung festgelegten Sanierungsziele zu erfolgen. Die Kontrolle kann sich auch entsprechend den Festlegungen der Genehmigungen in Form eines Standortmonitorings über einen längeren Zeitraum erstrecken. Das wird insbesondere bei der Ausführung der Sanierung als Sicherungsmaßnahme der Fall sein.

3 Quellen

- BUNDES-BODENSCHUTZ- UND ALTLASTENVERORDNUNG (BBodSchV, 1999): BGBl. IS. 1554
- BUND-LÄNDER ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO, 2008): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchung, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft, Bodenschutz (LABO), Altlastenausschuss (ALA), Unterausschuss Sickerwasserprognose
- BUND-LÄNDER ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO, 2003): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen, Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft, Bodenschutz (LABO), Altlastenausschuss (ALA), Unterausschuss Sickerwasserprognose
- BUND-LÄNDER ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (LABO, 2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden, 3. überarbeitete und ergänzte Auflage
- DIN 4022 (1993): Baugrund und Grundwasser, Teil 1 bis 3, DIN - Taschenbuch 113, Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln
- DIN 4023 (2006): Baugrund und Wasserbohrungen, DIN- Taschenbuch, Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln
- INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMER: Verzeichnis der Anbieter von Leistungen zur Altlastenbehandlung im Freistaat Sachsen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen
- PROF. BURMEIER INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2012): Abschlussbericht zur Überschlägigen Bewertung des Gefährdungspotentials von Trafo- und Umformerstationen.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (1998): Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Band 3/98, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2010): Branchenbezogene Merkblätter zur Altlastenbehandlung , Nr. 20: Gärtnereien
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (2011): Bewertungshilfen bei der Gefahrenverdachtsermittlung in der Altlastenbehandlung
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995): Altlastenerkundung mit biologischen Methoden, Materialien zur Altlastenbehandlung, Band 7/95, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (2007): Detailuntersuchung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 7, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 b): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Grundwasser, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 3, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 c): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Boden, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 4, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG (1995 d): Gefährdungsabschätzung, Pfad und Schutzgut Oberflächenwasser, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 5, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1996): Immobilisierung von Schadstoffen in Altlasten, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Bd. 1/1996, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Radebeul

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1997): Verdachtsfallerfassung und formale Erstbewertung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 2, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1998b): Historische Erkundung von altlastenverdächtigen Flächen, Materialien zur Altlastenbehandlung in Sachsen, Band 4/98, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (1999a): Sanierungsuntersuchung, Handbuch zur Altlastenbehandlung, Teil 8, Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung, Dresden

SMUL UND LFULG (1996): Computergestützte Gefährdungsabschätzung von Altlasten mit dem Programm GEFA.- Materialien zur Altlastenbehandlung 2/1996, Dresden