



CKW-kontaminierte Standorte

Erkundung, Beurteilung und Sanierung

Technische Arbeitshilfe



# ARBEITSHILFE

## CKW-KONTAMINIERTE STANDORTE

Methoden der Erkundung, Beurteilung und  
Sanierung von CKW-kontaminierten Standorten

Martin Weisgram  
Philippe Brandner  
Sabine Foditsch  
Timo Dörrie  
Dietmar Müller



## **Projektleitung**

Martin Weisgram, Umweltbundesamt

## **AutorInnen**

Martin Weisgram, Umweltbundesamt

Philippe Brandner, blp GeoServices GmbH

Sabine Foditsch, Umweltbundesamt

Timo Dörrie, Umweltbundesamt

Dietmar Müller, Umweltbundesamt

## **Mitarbeit**

Manfred Nahold, GUT GRUPPE UMWELT + TECHNIK GMBH

Georg Hofmann, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung

## **Umschlaggestaltung**

Martin Weisgram, Umweltbundesamt

Für schriftliche Stellungnahmen möchten wir uns bei folgenden KollegInnen bedanken:

Hans-Georg Edel, Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart

Michael Kiel, ACOS Altlasten Controlling und Servicegesellschaft mbH

Hans-Peter Koschitzky, Universität Stuttgart, VEGAS - Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung

Andreas P. Loibner, Universität für Bodenkultur Wien

Kerstin Scherr, Universität für Bodenkultur Wien

Andreas Straka, Magistrat der Stadt Wien

Dank für die Unterstützung durch die Überlassung von Abbildungen gilt folgenden Institutionen und KollegInnen:

Christiane Wermeille & Christoph Reusser (Bundesamt für Umwelt der Schweizerischen Eidgenossenschaft)

Andreas Dahmke & Sibylle Grandel (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften)

Volker Birke (Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Fakultät Bau-Wasser-Boden)

Hans-Peter Koschitzky (Universität Stuttgart, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung)

Weitere Informationen zu ÖVA-Publikationen unter: <http://www.altlastenmanagement.at/>

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

## **Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Österreichischer Verein für Altlastenmanagement (ÖVA)

c/o Institut für Bodenforschung

Gregor Mendel Straße 33, 1190 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Österreichischer Verein für Altlastenmanagement (ÖVA), Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten

# INHALT

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>7</b>
1.1	Anwendungsbereich.....	7
1.2	Begriffsbestimmungen.....	7
1.3	Einsatzbereich von CKW.....	8
1.4	Eigenschaften von CKW.....	8
1.5	Verhalten von CKW im Untergrund.....	9
1.6	Auslöser für Erhebungs- und Erkundungsmaßnahmen.....	13
<b>2</b>	<b>ERHEBUNG.....</b>	<b>14</b>
2.1	Historische Recherche.....	14
2.2	Erhebung der Untergrundverhältnisse.....	16
2.3	Erhebung der hydrologischen Verhältnisse.....	16
2.4	Erhebung der baulichen Gegebenheiten.....	17
2.5	Erhebung von Nutzungen und potentiell gefährdeten Schutzgütern.....	17
<b>3</b>	<b>STANDORTMODELL.....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>ERKUNDUNG.....</b>	<b>20</b>
4.1	Planung der Erkundung.....	20
4.2	Arbeitsschutz.....	20
4.3	Allgemeine Aspekte der Untergrunderkundung.....	21
4.4	Erkundung der wasserungesättigten Zone.....	22
4.4.1	Bodenluftuntersuchungen an temporären Bodenluftmessstellen.....	22
4.4.2	Bodenluftuntersuchungen an stationären Bodenluftmessstellen, Absaugversuche.....	26
4.4.3	Feststoffuntersuchungen.....	27
4.5	Erkundung der wassergesättigten Zone.....	29
4.5.1	Grundwasseruntersuchungen, Pumpversuche, Redoxzonierung.....	29
4.5.2	Immissionspumpversuche.....	32
4.6	Kombinierte Erkundung von wassergesättigter und wasserungesättigter Zone – Direct Push-Sondierungen.....	33
4.7	Raumluftuntersuchungen.....	34
<b>5</b>	<b>PROBENAHME UND ANALYTIK.....</b>	<b>36</b>
5.1	Bodenluft.....	36
5.2	Feststoff.....	38
5.3	Grundwasser.....	39
5.4	Raumluft.....	41
<b>6</b>	<b>DOKUMENTATION UND AUSWERTUNG.....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>BEURTEILUNG.....</b>	<b>44</b>

<b>8</b>	<b>VARIANTENUNTERSUCHUNG .....</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>SANIERUNGSMABNAHMEN UND SANIERUNGSTECHNOLOGIEN.....</b>	<b>47</b>
<b>9.1</b>	<b>Sicherungsmaßnahmen .....</b>	<b>49</b>
9.1.1	Aktive Sicherungsmaßnahmen.....	49
9.1.2	Passive Sicherungsmaßnahmen.....	50
<b>9.2</b>	<b><i>Ex-situ</i>-Dekontaminationsmaßnahmen .....</b>	<b>51</b>
9.2.1	Dekontaminationsmaßnahmen Off-Site .....	52
9.2.2	Dekontaminationsmaßnahmen On-Site .....	52
<b>9.3</b>	<b>Physikalische <i>In-situ</i>-Dekontaminationsmaßnahmen .....</b>	<b>53</b>
9.3.1	Thermische Verfahren .....	54
9.3.2	Hydraulische Verfahren .....	56
9.3.3	Pneumatische Verfahren .....	57
<b>9.4</b>	<b>Biologische Verfahren .....</b>	<b>58</b>
<b>9.5</b>	<b>Chemische Verfahren.....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>DOKUMENTATION UND ÜBERPRÜFUNG VON SANIERUNGSMABNAHMEN .....</b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>QUELENNACHWEIS.....</b>	<b>60</b>
11.1	Literatur .....	60
11.2	Gesetze, Normen und Verfahrensvorschriften.....	63
	<b>ANHANG .....</b>	<b>65</b>
Anhang 1	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>65</b>
Anhang 2	<b>Chemisch-physikalische Stoffdaten .....</b>	<b>66</b>
Anhang 3	<b>Übersicht möglicher CKW-Anwendung.....</b>	<b>69</b>
Anhang 4	<b>Beispiel Standortmodell.....</b>	<b>73</b>
Anhang 5	<b>Sanierungsverfahren mit Einbringung von wassergefährdenden Stoffen .....</b>	<b>76</b>
	Hydraulische <i>In-situ</i> -Dekontaminationsmaßnahmen – Spülungen .....	76
	Biologische <i>In-situ</i> -Dekontaminationsmaßnahmen .....	77
	Chemische <i>In-situ</i> -Dekontaminationsmaßnahmen.....	78
Anhang 6	<b>Orientierungswerte und Grenzwerte.....</b>	<b>80</b>
Anhang 7	<b>Glossar.....</b>	<b>82</b>

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Anwendungsbereich

Diese Arbeitshilfe gibt einen Überblick über Methoden und Verfahren zur Erkundung, Beurteilung und Sanierung von Standorten, die mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) kontaminiert sind. Die Arbeitshilfe stellt eine Überarbeitung der „Technischen Grundlagen für die Methoden der Erkundung, Bewertung und Sanierung von mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen belasteten Böden“ aus dem Jahr 1995 dar und richtet sich primär an Behörden, Ingenieurbüros, Sachverständige und Gutachter, welche im Bereich der Bearbeitung von CKW-kontaminierten Standorten tätig sind.

Die beschriebenen Verfahren und Methoden sind speziell auf CKW (chlorierte, gesättigte und ungesättigte C1- und C2-Kohlenwasserstoffe, zur Begriffsbestimmung siehe Kapitel 1.2) zugeschnitten, da dieser Schadstoffgruppe aufgrund ihrer breiten Verwendung und der stoffspezifischen Eigenschaften bzw. ihres Verhaltens in der Umwelt besondere Bedeutung zukommt.

Grundsätzlich sind die Verfahren und Methoden auch auf andere leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (z.B. aromatische Chlorkohlenwasserstoffe, bromierte Kohlenwasserstoffe, FCKW) anwendbar bzw. mit Einschränkungen auch auf andere leichtflüchtige Schadstoffgruppen (z.B. BTEX) im Rahmen vergleichbarer physikalisch-chemischer Eigenschaften. Die Anwendbarkeit der Verfahren und Methoden oder von Teilaspekten daraus auf andere Schadstoffgruppen als CKW ist im Einzelfall vor dem Hintergrund der relevanten physikalisch-chemischen Eigenschaften der Schadstoffe zu prüfen.

## 1.2 Begriffsbestimmungen

### **Eintragsstellen<sup>1</sup>**

Ehemalige oder bestehende Anlagen, Anlagenteile, Installationen oder Unfallstellen, deren Lage bekannt ist und in deren Bereich ein Eintrag von Schadstoffen in den Untergrund erfolgt sowie durch Untersuchungen nachgewiesen ist.

### **Kontaminationsherd (Schadensherd)**

Räumlich abgrenzbarer Bereich des Untergrundes, der den Ergebnissen von Untersuchungen entsprechend stark verunreinigt ist.

### **Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)**

CKW sind chlorierte, gesättigte und ungesättigte C1- und C2-Kohlenwasserstoffe, die auf Grund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften insbesondere zur Reinigung, Entfettung, Trocknung und sonstigen Behandlung von Oberflächen eingesetzt werden. Als Lösungsmittel wurden vor allem Dichlormethan, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethen (TCE) und Tetrachlorethen (PCE) in großen Mengen verwendet.

### **Schadensbild**

Beschreibung der räumlichen Verteilung der Schadstoffe in Boden, Untergrund und Grundwasser an einem kontaminierten Standort zu einem bestimmten Zeitpunkt. Diese Beschreibung umfasst im Allgemeinen eine Abgrenzung bestehender Kontaminationsherde sowie die Darstellung der Schadstoffausbreitung (z.B. Schadstoffbahnen).

---

<sup>1</sup> Häufige Eintragsstellen bei der Anwendung von CKW sind z.B. Reinigungs- und Entfettungsanlagen, Chemikalienlager, Abwasser- und Sickerschächte, Kondensation bei Abluftableitungen ins Freie.

### 1.3 Einsatzbereich von CKW

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe sind aufgrund ihrer besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften in einem breitgefächerten Einsatzbereich verwendbar. Die vier gebräuchlichsten CKW (Trichlorethen, Tetrachlorethen, 1,1,1-Trichlorethan und Dichlormethan) werden vor allem in folgenden Bereichen angewendet (LFU 1985):

- Oberflächenreinigung (Metalle)
- Reinigung von Textilien
- Mischlösungsmittel für organische Verbindungen
- Kaltreiniger, Abbeizmittel
- Extraktion
- Kältemittelherstellung

Im Anhang 3 sind überblicksweise die Anwendungsbereiche von CKW, nach Branchen und Prozessen geordnet, dargestellt.

### 1.4 Eigenschaften von CKW

Das Verhalten der CKW in der Umwelt wird durch ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften bestimmt. Im Anhang 2 sind ausgewählte Stoffdaten für CKW zusammengestellt. Zur Beurteilung des Ausbreitungsverhaltens im Untergrund sind insbesondere folgende Eigenschaften von Bedeutung (LFU 1985, GRANDEL & DAHMKE 2008, MUNZ & HÄNER 2009):

- Dichte: CKW besitzen generell eine höhere Dichte als Wasser (Ausnahmen: Vinylchlorid, Chlorethan, Chlormethan). Je nach Substanz schwankt die Dichte zwischen 1.200 und 1.600 kg/m<sup>3</sup>.
- Viskosität: CKW zeigen eine geringe Viskosität und haben damit gute Fließfähigkeiten, die ein „leichtes“ Eindringen in den Untergrund ermöglichen. Im Vergleich mit Wasser durchströmen CKW ein trockenes, poröses Medium etwa doppelt so schnell. Ihre kinematische Viskosität liegt im Bereich von rd. 0,3-0,7 cSt (bzw. rd.  $3 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s bis  $7 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s).
- Löslichkeit: CKW weisen eine Wasserlöslichkeit im Milligramm- bis niedrigen Grammbereich auf, die sich im Temperaturbereich von 10-25 °C nicht signifikant ändert. Sie sind daher schlecht bis sehr schlecht mit Wasser mischbar. Im Allgemeinen gilt: je mehr Chloratome enthalten sind desto geringer ist die Löslichkeit, die Löslichkeit der Chlorethene ist geringer als die Löslichkeit der Chlorethane, und mit zunehmender Löslichkeit steigt auch die Mobilität der CKW.
- Dampfdruck: im Vergleich mit Wasser besitzen CKW einen weitaus höheren Dampfdruck (Ausnahme: PCE). Diese (relativ stark temperaturabhängige) Eigenschaft begünstigt den Übertritt dieser Substanzen in die Bodenluft und Atmosphäre.
- Luft-Wasser-Verteilungskoeffizient: die Verteilung von Stoffen zwischen der Luft- und der Wasserphase wird über die (relativ stark temperaturabhängige) Henry-Konstante beschrieben. Je höher die Henry-Konstante ist, umso „flüchtiger“ ist diese Substanz und umso leichter kann diese Substanz aus dem Wasser ausgetrieben oder aus dem wasserungesättigten, feuchten Untergrund entfernt werden.
- Grenzflächenspannung: zwischen einer CKW-Phase und Wasser ist die Grenzflächenspannung gering, sodass CKW-Phasen relativ leicht in mit Wasser benetzte Poren und Spalten im Untergrund eindringen können.



Aus den Eigenschaften folgt beispielsweise, dass es bei entsprechend großer Eintragsmenge zum Absinken einer zusammenhängenden, nicht-wässrigen, organischen Phase von CKW (als „dense non-aqueous phase liquid“ – DNAPL, in Tröpfchenform oder als große Phasenkörper) im Untergrund kommt, bis sie entweder Residualsättigung oder schlechter durchlässige Schichten erreichen und dort sog. Pools ausbilden. Dabei können die CKW aufgrund der geringen Grenzflächenspannung und Viskosität sowie der höheren Dichte tief ins Grundwasser absinken und auch vergleichsweise dichte Schichten (z.B. Zwischenstauer) durchdringen. Zum Verhalten der CKW im Untergrund siehe auch Kapitel 1.5.

In toxikologischer Hinsicht wirken sich CKW auf den Menschen in Form von Narkotisierung, Reizung von Augen, Haut, Schleimhäuten und der Atemwege, Leber- und Nierenschädigung sowie Schädigung des zentralen Nervensystems aus (GRANDEL & DAHMKE 2008, UMWELTBUNDESAMT 2011B). Einzelne CKW besitzen eine karzinogene Wirkung (Vinylchlorid) bzw. wird eine karzinogene Wirkung als wahrscheinlich (Trichlorethen, Tetrachlorethen) oder zumindest möglich (1,2-Dichlorethan, Dichlormethan, Trichlormethan und Tetrachlormethan) angesehen (MUNZ & HÄNER 2009). Für nähere Informationen zu den toxikologischen und kanzerogenen Eigenschaften wird auf die vorgenannte sowie die weiterführende Fachliteratur<sup>2</sup> verwiesen.

Eine Akkumulation von CKW in der Nahrungskette, wie es für andere Chlorkohlenwasserstoffen (z.B. Pestizide, polychlorierte Biphenyle) bekannt ist, findet nicht statt (GRANDEL & DAHMKE 2008).

## 1.5 Verhalten von CKW im Untergrund

Das Verhalten der CKW in der Umwelt bzw. im Untergrund ist an eine Vielzahl von Prozessen gebunden. Es handelt sich hier um Verteilungsprozesse zwischen Phasen (Wasser, Luft, Feststoff, CKW-Phase) und um Transport- sowie Abbauprozesse (MUNZ & HÄNER 2009). Diese Prozesse hängen wiederum von den stoffspezifischen Eigenschaften, wie sie im Kapitel 1.4 beschrieben sind, und von gesteinspezifischen Parametern (z.B. Porosität, Residualsättigung, Benetzbarkeit, Eintrittskapillardruck) ab. Daneben spielen die durch Stoff-, Gesteins- und Umgebungseigenschaften bedingten Prozesse in Form von Diffusion und Sorption/Desorption eine wichtige Rolle (STUPP 2001).

Die Ausbreitung der CKW oberhalb des Grundwassers hängt stark von der Größe der Eintragsfläche, der Eintragsmenge und dem geologischen Aufbau des Untergrundes ab. Transporthemmend wirken vor allem feinkörnige Horizonte mit entsprechend kleinen Poren, die ein sogenanntes „Pooling“ der CKW-Phase erzeugen. Im Gegensatz dazu stellen Sedimentstrukturen mit höherer Permeabilität bevorzugte Migrationswege für organische Flüssigphasen dar. Nach Überschreitung des Rückhaltevermögens der wasserungesättigten Zone kommt es zu „Pooling-Effekten“ im Kapillarsaum bzw. auf dem Grundwasserspiegel. Bei entsprechendem CKW-Nachschub kommt es zum Eindringen der CKW in die wassergesättigte Zone. Typisch für CKW-Phasenkörper sind Ausbreitungsformen sehr unregelmäßiger Struktur und das starke Auftreten von „Fingering“-Effekten sowohl in der wassergesättigten als auch wasserungesättigten Zone. Mit der starken Strukturierung der Phasenkörper sind sehr große Oberflächen verbunden, die zu hohen Schadstoffausträgen mit dem Sickerwasser und dem Grundwasser führen. Folgen dieser Prozesse sind hohe Quellstärken und daraus resultierend lange und hochbelastete Schadstoffbahnen (STUPP 2001).

Zusammenfassend können bei der Migration von CKW (bzw. DNAPL) in Lockersedimenten die Ausbreitungsstadien „Versickerung in die wasserungesättigte Zone“, „Transport durch die wasserungesät-

---

<sup>2</sup> Die toxikologischen und karzinogenen Wirkungen von Schadstoffen sind Gegenstand steter Forschung. Neue Erkenntnisse und aktuelle Einstufungen können den einschlägigen Datenbanken, z.B. ITER (International Toxicity Estimates for Risk), US-EPA (United States Environmental Protection Agency), ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) oder RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) entnommen werden.

tigte und gesättigte Zone“ sowie die „Stagnation der Verteilung“ unterschieden werden. Die einzelnen Ausbreitungsstadien und die sich dabei ausbildenden Quellarchitekturelemente „Blobs“, „Ganglia“ und „Pools“ sind in der *Abbildung 1* veranschaulicht (GRANDEL & DAHMKE 2008).

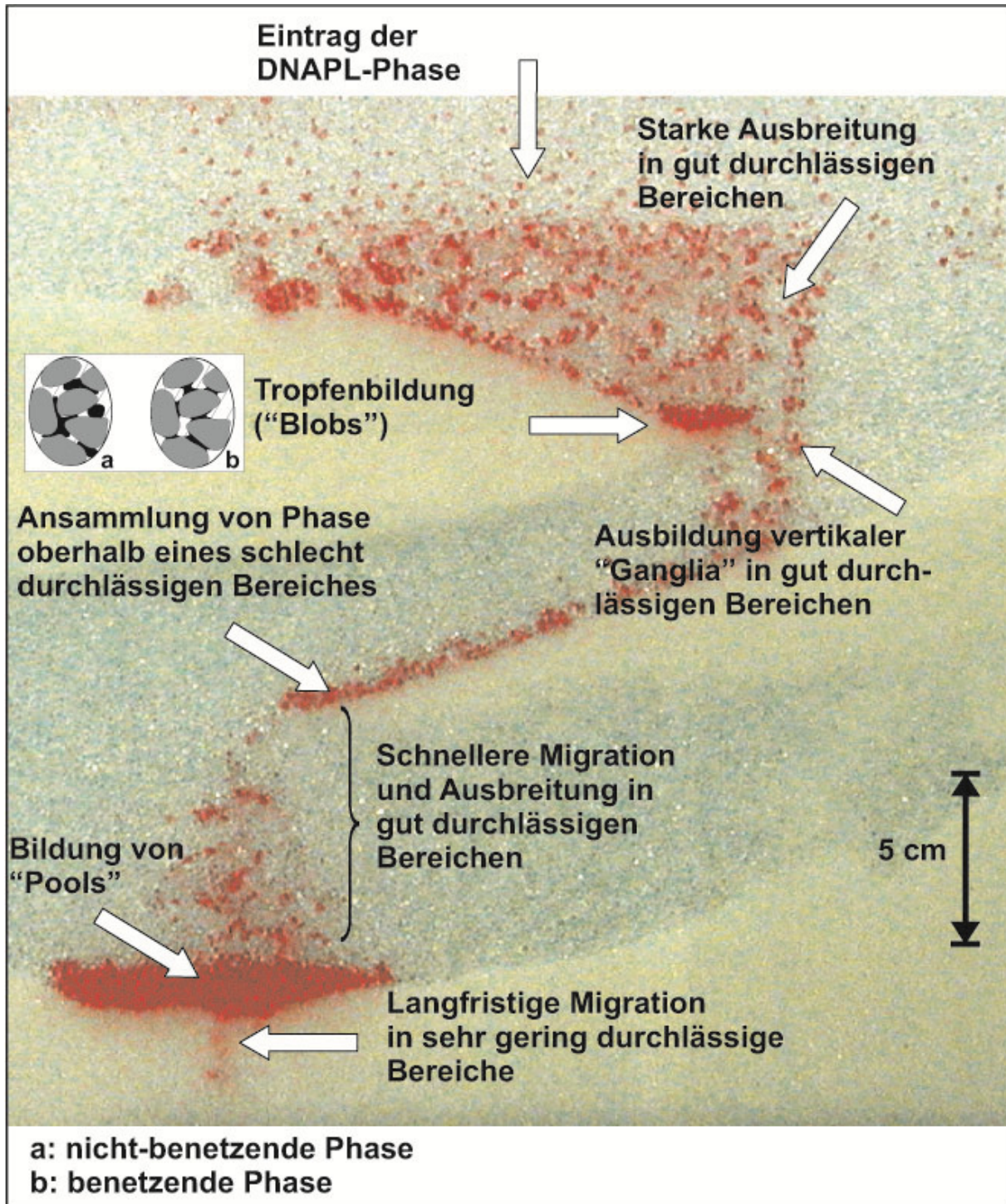


Abbildung 1: Labor-Gerinneversuch zur DNAPL-Migration, durchgeführt bei VEGAS, Univ. Stuttgart; Quelle: Grandel & Dahmke 2008

CKW unterliegen in der wasserungesättigten Zone und im Grundwasser natürlichen Schadstoffminderungsprozessen („Natural Attenuation“, NA): biologischer Abbau, chemische Transformation, Sorption, Transportprozesse, Verdampfung und Volatilisierung.

Im Grundwasser werden die gelösten CKW durch Advektion und hydrodynamische Dispersion (Diffusion und mechanische Dispersion) entlang der Grundwasserfließrichtung verteilt, wodurch sich eine Schadstofffahne ausbildet. Je nach Heterogenitätsgrad und Fließgeschwindigkeit haben die genannten Transportprozesse unterschiedlichen Anteil an der Schadstoffausbreitung. In „homogenen“, gut durchlässigen Aquiferen dominiert die Advektion, je heterogener der Aquifer ist, desto stärker ist der Einfluss der mechanischen Dispersion. Bei langsamen Fließgeschwindigkeiten dominiert die Diffusion (GRANDEL & DAHMKE 2008).

Durch Volatilisierung und Verdampfung erfolgt eine Verminderung der Schadstoffmasse im Grundwasser bzw. in der CKW-Phase. Dabei wird der Übergang des Schadstoffes aus der wässrigen Phase in die Gasphase als Volatilisierung und der Übergang aus der CKW-Phase in die Gasphase als Verdampfung bezeichnet. Nach dem Übergang in die Gasphase findet eine diffuse Verteilung der Schadstoffe in der wasserungesättigten Zone statt, die vom luftgefüllten Porenraum bzw. dem Wassergehalt abhängig ist (GRANDEL & DAHMKE 2008).

Die Sorption von CKW an Feststoffen basiert auf physikalischen Wechselwirkungen (Van-der-Waals-Kräften, Dipol-Wechselwirkungen) und ist in der Regel reversibel. Daher werden die CKW nach Ausschöpfung der Rückhaltekapazität der Matrix oder nach Umkehrung der Konzentrationsverhältnisse wieder freigesetzt. Dies äußert sich z.B. im sogenannten „Rebound-Effekt“ bei dem es sich um einen Konzentrationsanstieg in der Fahne nach der Beendigung von „pump & treat“-Maßnahmen handelt. Die Sorption von CKW im Untergrund erfolgt vorwiegend am organischen Material ( $C_{org}$  bzw. „soil/sediment organic matter“ SOM), dem Sorbent. Das Ausmaß und die Dauer des Schadstoffrückhalts hängen vom wirksamen Sorptionsmechanismus (lineare und nicht lineare Sorption, Sorptions-Desorptions-Hysterese), der Sorptionskapazität und der Sorptionsrate ab (GRANDEL & DAHMKE 2008). Die Sorptionskapazität von sog. „soft SOM“ – v. a. amorphe Huminstoffe – wird um einen Faktor 10-100 geringer eingestuft als jene von sog. „hard SOM“ – „kohlehaltige Geosorbentien“, z.B. Russpartikel, Holzkohle (CORNELISSEN ET AL. zitiert in GRANDEL & DAHMKE 2008).

Grundsätzlich sind alle CKW unter idealen Randbedingungen biologisch abbaubar. Der Abbau kann unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerob) oder in Gegenwart von Sauerstoff (aerob) stattfinden. Einzelne CKW (z.B. cis-1,2-Dichlorethen) sind unter beiden Bedingungen abbaubar. Beim reduktiven biologischen Abbau fungieren CKW als Elektronenakzeptoren („Chloratmung“), beim oxidativen biologischen Abbau als Elektronendonatoren (Kohlenstoff- und Energiequelle). Unter Co-Metabolismus versteht man den Abbau von CKW durch Enzyme, die durch den bakteriellen Abbau von anderen organischen Verbindungen, z.B. Toluol, entstehen. Der co-metabolische Abbau erfolgt eher zufällig und ohne Energiegewinn für die Bakterien. Allgemein gilt, dass hochchlorierte Verbindungen fast ausschließlich unter anaeroben Bedingungen abbaubar sind. Demgegenüber sind die niedrigchlorierten Verbindungen primär aerob abbaubar (MUNZ & HÄNER 2009).

Der Abbau von CKW läuft in mehreren hintereinander folgenden Schritten ab, wie es in der Abbildung 3 anhand des Beispiels von PCE ersichtlich ist.

Hinweise auf die in Abbildung 2 dargestellte anaerobe Oxidation wurden in zahlreichen Mikrokosmenstudien im Labor gefunden (z.B. SCHERR ET AL. 2011A). Die Frage, inwieweit anaerobe Oxidation unter natürlichen Bedingungen erfolgt, ist Gegenstand der Forschung.

Liegen keine optimalen Bedingungen für einen vollständigen mikrobiellen Abbau vor kann es zur Anreicherung von Abbauprodukten kommen, z.B. Vinylchlorid im reduzierenden Milieu.

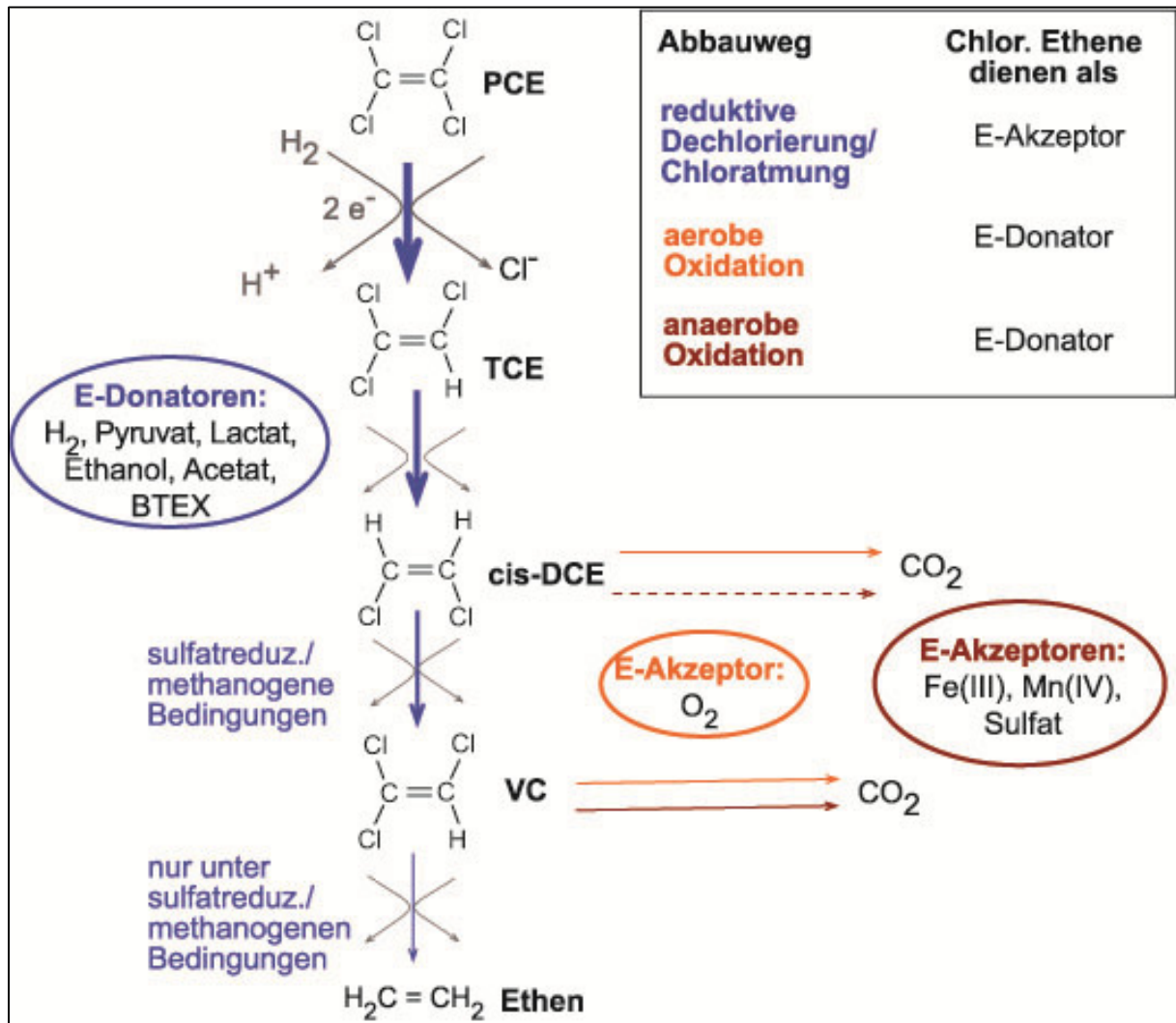


Abbildung 2: Schematische Übersicht zu den biotischen Abbaupfaden von PCE, TCE, cis-DCE und VC. Die Pfeilstärken verdeutlichen die Wahrscheinlichkeit, dass der Abbau über diesen Pfad abläuft; Quelle: GRANDEL & DAHMKE 2008

Neben dem biotischen Abbau unterliegen CKW auch abiotischen Abbaumechanismen: Hydrolyse, Dehydrohalogenierung und Reduktive Dehalogenierung (Hydrogenolyse und Dihaloelimitation). Die Hydrogenolyse und die Dihaloelimitation (siehe Abbildung 3) sind dabei die wesentlichen abiotischen Mechanismen (GRANDEL & DAHMKE 2008).



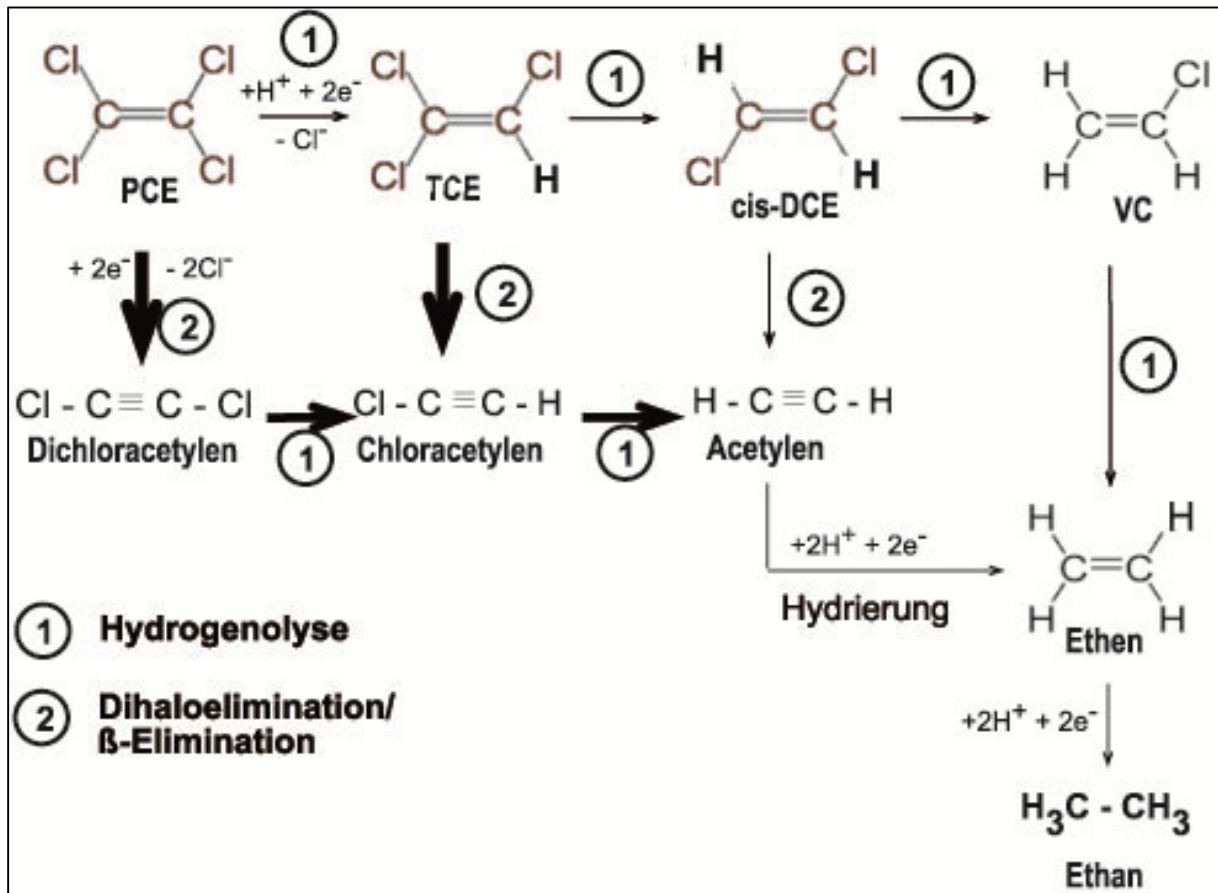


Abbildung 3: Abiotische reduktive Dehalogenierung von PCE, TCE, cis-DCE und VC über die Abbaupfade Hydrogenolyse und Dihaloelimination ( $\beta$ -Elimination). Die Pfeilstärken verdeutlichen die Wahrscheinlichkeit, dass der Abbau über diesen Pfad abläuft; Quelle: GRANDEL & DAHMKE 2008

## 1.6 Auslöser für Erhebungs- und Erkundungsmaßnahmen

Aufgrund der Stoffeigenschaften der CKW können bereits vergleichsweise geringe und/oder kleinräumige Einträge in den Untergrund weitreichende Kontaminationen von Umweltmedien, insbesondere des Grundwassers, verursachen.

Es besteht daher ein begründeter Verdacht einer Untergrundkontamination bereits, wenn auf einem Standort in der Vergangenheit (vermutlich) mehr als geringfügige Mengen von CKW eingesetzt, gelagert, umgeschlagen oder abgelagert wurden. In diesem Fall sollten zumindest Erhebungen gemäß Kapitel 2 durchgeführt werden.

Bei Vorliegen konkreter Hinweise auf mehr als geringfügige Belastungen von Umweltkompartimenten, insbesondere des Untergrunds, sind in der Regel Erhebungen gemäß Kapitel 2 und nachfolgend Erkundungsmaßnahmen gemäß Kapitel 4 erforderlich. Als konkrete Hinweise können festgestellte Überschreitungen von Grenzwerten oder von Prüfwerten der ÖNORM S 2088-1 (vgl. Anhang 6) gewertet werden, aber auch organoleptische Auffälligkeiten, welche z.B. im Rahmen von Baumaßnahmen festgestellt werden.

## 2 ERHEBUNG

Im Zuge der Erhebung sind alle verfügbaren Unterlagen und Informationen zu einem kontaminierten Standort zu sammeln, zusammenzufassen und zu dokumentieren. Die umfassende Beschreibung der historischen Entwicklung und der zu erwartenden Standortverhältnisse stellt eine wesentliche Grundlage für die Planung von Erkundungsmaßnahmen dar. Bei der Erhebung ist die ÖNORM S 2087 grundsätzlich zu berücksichtigen.

### 2.1 Historische Recherche

Die wichtigsten Branchen, in denen CKW eingesetzt wurden (werden) und die potentiell als Verursacher von CKW-Schadensfällen in Frage kommen, sind im Anhang 3 dargestellt. Hervorzuheben sind folgende Branchen (LFU, 1985):

- Oberflächenbehandlung von Metallen
- Metallindustrie, Maschinenbau
- Metallschleifereien, -drehereien
- Chemische Betriebe
- Chemische Reinigungen

Zusammenfassend können die Ursachen der Schadensfälle den folgenden Kategorien zugeordnet werden (LFU, 1985):

- Überfüllen von Lagerbehältern bei gleichzeitig ungeeigneten Schutzvorkehrungen (Überfüllsicherung, Auffangraum)
- "Tropfverluste" durch Restmengen in den Füllschläuchen vor und nach dem Befüllen
- Unsachgemäße Umfüllvorgänge bei der Abfüllung in kleinere Gebinde
- Unzureichende Schutzvorkehrungen beim Umgang mit Lösemitteln im Produktionsgang
- Ungesicherte Lagerung von verunreinigten Lösemitteln (Restmengen in Leergebinden, Fassleckagen durch Beschädigung oder aggressive Stoffgemische)
- undichte Abwasserkanäle
- Unfälle beim Transport

Als weitere Eintragsstellen bzw. Schadensherde kommen auch Ablagerungen von CKW-haltigen Abfällen (z.B. Schlämme, kaputte oder mit der Zeit korrodierte Fässer) in ehemaligen Mülldeponien oder auch Betriebsdeponien, sowie nicht registrierte, beschädigte oder zerstörte ehemalige Tankanlagen in Betracht.

CKW können Betonböden problemlos durchdringen. Auch die meisten Bodenversiegelungen (ausgenommen Edelstahlwannen) bzw. Schutzanstriche bieten keinen ausreichenden Schutz gegen das Eindringen von CKW. In Gebäuden können CKW auch über mehrere Geschoße, z.B. entlang von Rohrleitungen in der Wand, in den Untergrund gelangen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass auch in Bereichen, in denen bevorzugte Kondensation von CKW stattfindet (z.B. durch die Außenwand oder übers Dach geführte Abluftrohre ins Freie), oft beträchtliche Einträge in den Untergrund vorliegen (BÜRING ET AL. 2011).

Daher sind folgende Unterlagen in der historischen Recherche zu erheben:

- Nutzungsgeschichte des Betriebsstandortes
- Lagepläne, Lage von Gebäuden und Anlagen seit Bestehen des Betriebsstandortes (inkl. Abwasser- und Abluftrohre)
- Unterlagen betreffend Stilllegung, Abbruch oder Verlegung von Anlagen

- Art und Menge der eingesetzten und gelagerten Stoffe
- Art des Einsatzes (Prozess, offenes/geschlossenes System)
- Art der Bodenversiegelung im Bereich der Anlagen und Lager
- Beschreibung der Entsorgung von Abfällen und Produktionsrückständen
- Hinweise auf Betriebs- oder Transportunfälle mit CKW
- Eventuell bereits vorhandene Untersuchungsergebnisse zu Grundwasser, Untergrund, Bodenluft, etc. sowie zusätzlich durchgeführte Untersuchungen oder Sanierungsmaßnahmen
- Lage und Ausbau von bestehenden Bodenluftmessstellen
- Luftbildauswertungen
- Lage und Beschreibung anderer Altstandorte und Altablagerungen in der Umgebung
- Lage und Art von unterirdischen Leitungen und Objekten (insbesondere Oberflächen- und Abwasser)
- Hinweise und Dokumente zu Kriegseinwirkungen und potentiell vorliegenden Kampfmitteln im Untersuchungsgebiet

Folgende Tabelle 1 gibt auch zu einigen dieser erforderlichen Informationen die entsprechenden Quellen wieder:

Tabelle 1: Ausgewählte Informationsquellen zur historischen Recherche

Information	Mögliche Quellen
Produktionsorte, Standorte von Maschinen (im Besonderen Reinigungsmaschinen, Entfettungseinheiten,...)	Betriebsanlagenakten (Gewerbebehörde), Bauakten (Gemeinde), Zeitzeugenbefragung
Lagerorte, Umschlagplätze, Verladeplätze	Betriebsanlagenakten (Gewerbebehörde), Bauakten (Gemeinde), Zeitzeugenbefragung
Abwasserkanäle, Drainageanlagen	Betriebsanlagenakten (Gewerbebehörde), Bauakten (Gemeinde), Zeitzeugenbefragung, Kanalbetreiber
„Unregelmäßige/Unerlaubte Betriebsweisen“ (z.B. Entleerung von Waschwässern im Hinterhof)	Gewerbeakten; Strafakten, Zeitzeugenbefragung
Art und Menge der eingesetzten Stoffe	Betriebsaufzeichnungen oder Abschätzung aus Produktionsmengen, Betriebsdauer, Betriebsgröße
Luftbildauswertungen	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Kriegseinwirkungen, Kampfmittel	Liegenschaftseigentümer, Gemeindeamt, Zeitzeugen, ggf. Infrastrukturbetriebe (z.B. ÖBB, Flughäfen) und Industriebetriebe

Grundsätzlich weisen Aktenbestände einen umfangreicheren und glaubwürdigeren Informationsgehalt auf als Zeitzeugenbefragungen. Bei Zeitzeugen bestehen sehr häufig durch die große zeitliche Distanz Erinnerungslücken. Allerdings sind Zeitzeugenbefragungen aufgrund der Möglichkeit, tatsächliche Betriebsabläufe erfassen zu können, als Informationsquelle unerlässlich und sollten nach Möglichkeit immer ausgeführt werden. Bewährt haben sich hier Befragungen anhand von historischen Fotografien oder Luftbildern.

Die erhaltenen Informationen sind wechselseitig auf Plausibilität sowie auf Relevanz und Glaubwürdigkeit zu prüfen.

## 2.2 Erhebung der Untergrundverhältnisse

Da durch die Untergrundbedingungen die Ausbreitungsmöglichkeit der CKW wesentlich beeinflusst wird, ist ein geologisch-hydrogeologisches Standortmodell mit Darstellung der geologischen Schichtabfolge, der strukturellen Eigenschaften der Schichten, deren räumlicher Verteilung und der Grundwasserverhältnisse essentieller Bestandteil eines Standortmodells (vgl. Kap. 3).

Der Aufwand (Erkundungsdichte) für die Untersuchungen und für die Untergrunddarstellung wird von den Untergrundbedingungen (Inhomogenitätsverhältnisse) und von der Größenordnung des Gefährdungspotentials (Größenordnung des Schadensherdes, Schadstoffkonzentration in der Imprägnationszone, Schadstoff-Ausbreitungspfade, Schutzgüter, z.B. Trinkwassernutzung im Nahbereich) bestimmt.

Durch die physikalisch-chemischen Eigenschaften der CKW ist im Besonderen auf die Erfassung von geringleitenden oder stauenden Schichten zu achten. Hier sollte eine möglichst hohe räumliche Auflösung des geologischen Modells gewählt werden.

Die Grundlage für das geologische Standortmodell bilden Oberflächenkartierung, Untergrundaufschlüsse (Rammkernsondierung, Kernbohrung, Schürfe) und geophysikalische Untersuchungen (Seismik, Geoelektrik) sowie indirektmessende Verfahren wie Cone Penetration Test (CPT) oder elektrische Leitfähigkeitssondierung. Geologisches Kartenmaterial und alte Tiefenaufschlüsse (z.B. Landesgeologische Dienste, Baugrundkataster) bieten Möglichkeiten zur ersten, grundsätzlichen Abschätzung über Ausbreitungsmöglichkeiten von Schadstoffen und liefern wesentliche Hinweise für den Ansatz des Untersuchungsprogrammes.

Für das hydrogeologische Standortmodell sind die relativen oder absoluten Grundwasserspiegelhöhen, die Grundwasserflurabstände, die Grundwassermächtigkeit, das Grundwasserstauerrelief und die Grundwasserströmungsrichtung (Grundwasserisohypsenkarte) – sowie gegebenenfalls die jeweiligen Daten zu den unterschiedlichen Grundwasserstockwerken – zu ermitteln und darzustellen.

Hydraulische Parameter wie Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert), Transmissivität, Druckverhältnisse und Grundwassergefälle sind zu erheben und darzustellen. Kleinräumige Unterschiede in diesen Parametern sind idealerweise räumlich hochaufgelöst zu erfassen und darzustellen.

Anhand von Unterlagen über bestehende Grundwassermessstellen (z.B. hydrographische Dienste der Bundesländer) und Grundwassernutzungen (z.B. Landesdienststellen für Wasserwirtschaft – Wasserbuch, wasserwirtschaftliches Planungsorgan, Wasserinformationssysteme) im Untersuchungsgebiet (siehe Kapitel 2.5) können erste Anhaltspunkte zu den hydrogeologischen Bedingungen am Standort abgeleitet werden.

## 2.3 Erhebung der hydrologischen Verhältnisse

Aufgrund der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser sind auch die Oberflächenentwässerung in Verbindung mit der Geländetopographie und -morphologie sowie Oberflächengewässer (Fließgewässer, Seen, Teiche, etc.) zu erfassen und darzustellen. Die klimatischen und hydrologischen Standortparameter wie Temperatur, jährlicher Niederschlag, Niederschlagshöhe im Sommerhalbjahr (1. April-30. September) und potenzielle Evapotranspiration sind zu erheben (z.B. ZAMG, Hydrologischer Atlas Österreich des BMLFUW) und entsprechend zu berücksichtigen. Auf dem Betriebsstandort sowie in der näheren Umgebung sind Grundwasserentnahmen und Versickerungen (Grundwasser, Nutzwasser), die sich auf die Grundwasserfließverhältnisse auswirken können, zu erheben und entsprechend zu berücksichtigen.



Im Hinblick auf die Verlagerung von CKW mit dem Sickerwasser sind die Abfluss- und Versickerungsmöglichkeiten von Oberflächenwasser bzw. Niederschlagswasser (z.B. Anlagen zur Ableitung, Kanalisation, Art und Zustand von Oberflächenbefestigungen, Geländeneigung, unbefestigte Bereiche und Art der Vegetation in diesen Bereichen) zu erheben.

## 2.4 Erhebung der baulichen Gegebenheiten

Bei der Planung von Untersuchungen und bei der Beurteilung der Ausbreitungspfade der CKW im Untergrund ist die bautechnisch bedingte Untergründinhomogenität (Fundamente, Verrohrungen, Drainagen, Filterschichten, Hohlräume, Verfüllungen, Bombenschäden, u. ä.) zu berücksichtigen. Der Erhebung und planlichen Darstellung der baulichen Anlagenverhältnisse (sowohl Ist-Zustand als auch historische Entwicklung) kommt daher bei den Untersuchungen und in der Beurteilung entsprechende Bedeutung zu.

## 2.5 Erhebung von Nutzungen und potentiell gefährdeten Schutzgütern

Erfahrungsgemäß ist in erster Linie das Schutzgut Grundwasser durch CKW-kontaminierte Standorte gefährdet. Im Einzelfall sind auch die Schutzgüter Luft (Raumlufte) und Oberflächengewässer<sup>3</sup> betroffen. Das Schutzgut Boden<sup>4</sup> ist aufgrund der Flüchtigkeit der CKW im Allgemeinen nicht relevant (UMWELTBUNDESAMT 2011B).

Demgemäß sind zu erheben:

- die aktuelle Nutzung der Grundstücke auf und in der unmittelbaren Umgebung der Schadensherde (insbesondere Bebauung mit Kellern)
- die Lage von Oberflächengewässern
- die Lage wasserrechtlich bewilligter Grundwassernutzungen
- Grundwassermessstellen (Lage, Baujahr, Tiefe, Lage und Länge der Filterstrecke, Bohrprofil, Ausbauplan, Ausbaumaterial)
- ggf. Haus- und Feldbrunnen

Im Hinblick auf die potentiellen Reichweiten von CKW-Schadstofffahnen (Fahnen von mehreren Kilometern Länge sind möglich) sollten die Erhebungen bezüglich Grundwassernutzungen zumindest bis 500 m in den Abstrombereich (Untersuchungsgebiet naher Abstrom) erfolgen. Bei Hinweisen auf weiterreichende Grundwasserverunreinigungen (z.B. bei Vorliegen entsprechend hoher CKW-Frachten im Grundwasser) ist das Untersuchungsgebiet auszuweiten.

Soweit absehbar, ist bei den Erhebungen auch auf die zukünftige Entwicklung des Standorts bzw. veränderte Nutzungen des Standorts und seiner Umgebung (z.B. geplante Trinkwasserversorgung) Bedacht zu nehmen.

---

<sup>3</sup> Beispielsweise Standorte, die direkt an Oberflächengewässer grenzen und/oder kontaminiertes Drainage- oder Abwasser in ein Oberflächengewässer einleiten, oder von denen ausgehend kontaminiertes Grundwasser in ein Oberflächengewässer exfiltriert.

<sup>4</sup> Beispielsweise Standorte mit relevantem Schadstoffeintrag in humosen Boden über den Luftpfad (z.B. Nahbereich von Entlüftungsröhren)

### 3 STANDORTMODELL

Die Erkundung, Beurteilung und Sanierung von kontaminierten Standorten ist in der Regel ein iterativer Prozess, bei dem in abgestufter Weise wiederholt Informationen gesammelt und als Grundlage für eine Entscheidung zur weiteren Vorgangsweise genutzt werden (sh. Abbildung 4). Das Standortmodell ist in diesem Zusammenhang ein wichtiges Instrument, um wesentliche Informationen zusammenzufassen, Entscheidungen vorzubereiten und die Planung weiterer Maßnahmen zu unterstützen. Über die Abgrenzung von Kontaminationen hinaus ist dabei jeweils eine Beschreibung des naturwissenschaftlich-technischen Prozess- und Systemverständnisses für einen konkreten Standort von besonderer Bedeutung. Das zusammengefasste „Verständnis“ eines Schadensfalles sollte nachvollziehbar abgeleitet, allgemein verständlich und schlüssig sein, damit es als Grundlage für die Kommunikation von ExpertInnen mit allen maßgeblichen Beteiligten herangezogen werden kann.

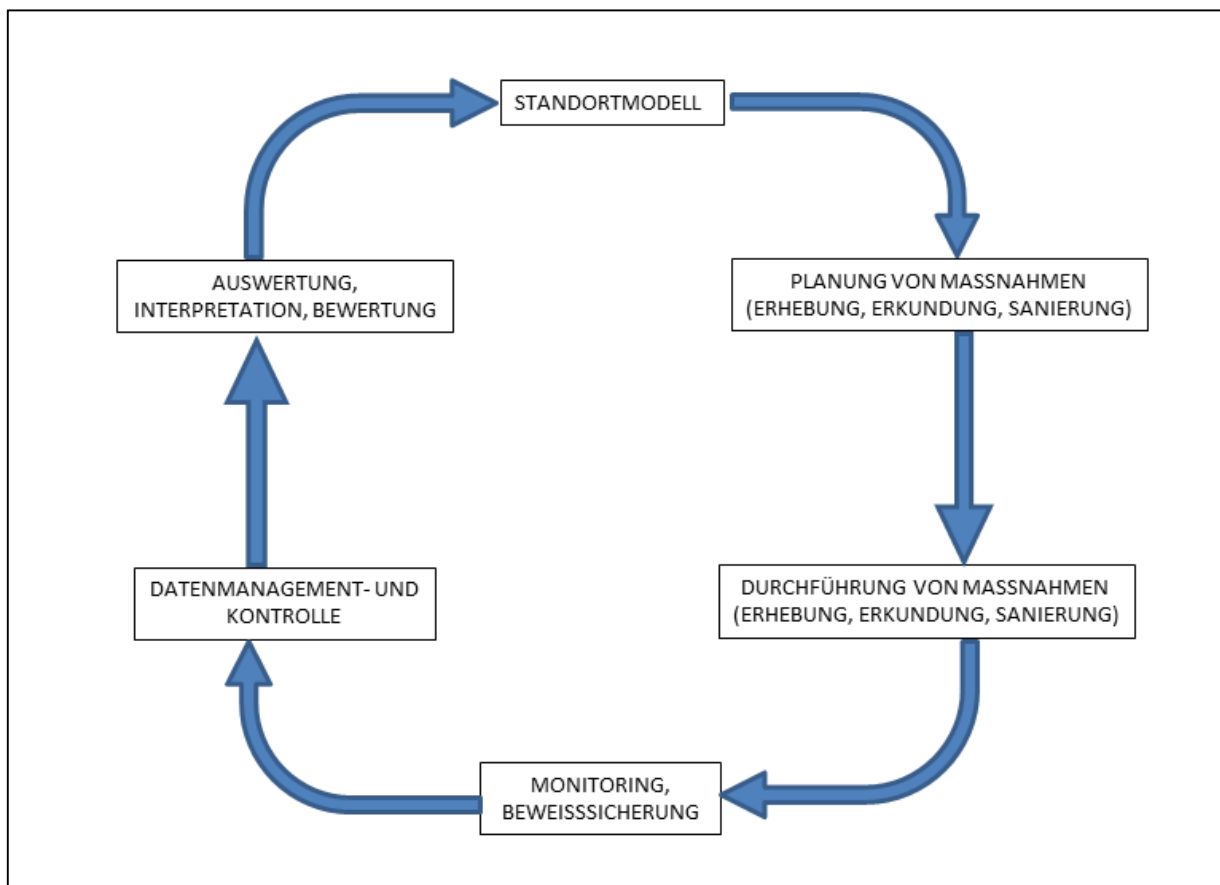


Abbildung 4: Management kontaminierter Standorte - Prozess der Erkundung, Beurteilung und Sanierung (nach ÖNORM S 2085)

In Abhängigkeit der Komplexität der Gegebenheiten sowie des Umfangs der an einem konkreten Standort durchgeführten Erkundung können sich Unsicherheiten ergeben, die für die Beurteilung eines kontaminierten Standortes sowie zur Entscheidung und Planung weiterer Maßnahmen maßgeblich sind. Dementsprechend ist es wesentlich, dass durch das Standortmodell Unsicherheiten in Zusammenhang mit Erkundungsdaten qualifiziert und wichtige offene Fragen explizit festgehalten werden.

Inhaltlich sollte ein Standortmodell für einen konkreten kontaminierten Standort zu folgenden Punkten einen Überblick geben:

- Beschreibung der Standortverhältnisse und der Standortumgebung
  - betriebliche Anlagen und Tätigkeiten
  - Untergrundverhältnisse
  - Schutzgüter und Nutzungen
- aktuelles Schadensbild und zukünftige Entwicklung
  - Ursachen von Verunreinigungen – Ausgangspunkt(e) der Verunreinigung des Untergrundes (Eintragsstellen)
  - Schadensherde und festgestellte Schadstoffe – Art, Eigenschaften, Lage, Intensität und Ausmaß (Größe) der Verunreinigungen des Untergrundes, die langfristig als Ausgangspunkt der Mobilisierung von Schadstoffen wirksam sind (Schadstoffquellen)
  - Schadstoffausbreitung – bestehende Boden- und Gewässer- bzw. Grundwasserverunreinigungen sowie Abschätzung mittel- bis langfristiger Verunreinigungen
  - mögliche und maßgebliche Transfer- und Expositionswege in Zusammenhang mit aktuellen Nutzungen
- Unsicherheiten bei Erkundungsdaten und wichtige offene Fragen

Dabei handelt es sich jeweils um eine Beschreibung, die sich auf einen bestimmten Zeitpunkt (z.B. historische Erhebung, Vor- oder Detailuntersuchung; zu Beginn, bei Überprüfung oder bei Abschluss von Sanierungsmaßnahmen) und Informationsstand bezieht. Dementsprechend stellt die konsequente Fortschreibung, Überprüfung und Aktualisierung des Standortmodells eine wesentliche Voraussetzung für die Optimierung von Entscheidungen und Maßnahmen dar.

Neben der verbalen Beschreibung sollte ein Standortmodell für einen konkreten kontaminierten Standort zumindest einen Lageplan und einen geologischen Schnitt umfassen. Die Abbildungen sollten korrespondierend wichtige Gesichtspunkte zur Beschreibung der Standort- und Nutzungsverhältnisse sowie zum aktuellen Schadensbild darstellen.

Ein Beispiel für die Darstellung und Entwicklung eines Standortmodells bei CKW-Schäden ist in Anhang 4 enthalten.

## 4 ERKUNDUNG

### 4.1 Planung der Erkundung

Auf der Grundlage der Erhebung bzw. des Standortmodells erfolgt die Planung der (nächsten) Erkundungsschritte bzw. Sanierungsmaßnahmen. Bei der Planung sollten folgende Aspekte berücksichtigt und schriftlich festgehalten werden:

- Ausgangslage: Anlass der Untersuchung, Dringlichkeit, Standorthistorie, aktuelle Gegebenheiten am Standort, Untergrundverhältnisse, Schutzgüter, bereits vorliegende Erkundungsergebnisse, Kenntnislücken, Rahmenbedingungen (Untersuchungsgebiet, Zeitplan, ggf. Fristen)
- Untersuchungsziele: Hauptziele (fachlich, rechtlich), ggf. weitere Ziele (z.B. abfallwirtschaftliche oder geotechnische Fragestellungen)
- Beschreibung der vermuteten Kontaminationen: Wo werden Warum Welche Schadstoffe vermutet („Belastungshypothese“, vorläufiges Standortmodell)
- Untersuchungsprogramm: Sondier- bzw. Bohrprogramm (z.B. Art, Anzahl, Lage und technische Spezifikationen der Aufschlüsse), Probenahmeprogramm (z.B. Zweck, Ort, Art und Häufigkeit der Probenahmen, Probentransport), Analysenprogramm (z.B. Mess- und Analysenparameter, Probenvorbereitung, Mess- und Analysemethoden, Bestimmungsgrenzen), qualitätssichernde Maßnahmen, Arbeitsschutz

Orientierend kann für die umfassende Darstellung der geplanten Erkundungsschritte bzw. Sanierungsmaßnahmen die Vollzugshilfe „Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten“ des BUWAL (BUWAL 2000) herangezogen werden. Bei der Planung ist die ÖNORM S 2087 grundsätzlich zu berücksichtigen. Die geplanten Maßnahmen sind detailliert in einer Leistungsbeschreibung darzustellen. In vielen Fällen wird es zweckmäßig sein, die geplanten Maßnahmen mit den zuständigen öffentlichen Dienststellen (z.B. Bezirksverwaltung, Ämter der Landesregierungen, Umweltbundesamt) abzustimmen.

### 4.2 Arbeitsschutz

Die Belange des Arbeitsschutzes werden generell im ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG, BGBl. Nr. 450/1994 i. d. g. F.) und in den dazu ergangenen Verordnungen geregelt. Im Zusammenhang mit kontaminierten Standorten sind insbesondere die Regelungen des § 4 relevant, wonach Arbeitgeber verpflichtet sind, die für die Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer bestehenden Gefahren zu ermitteln und zu beurteilen sowie auf Grundlage der Ermittlung und Beurteilung der Gefahren die durchzuführenden Maßnahmen zur Gefahrenverhütung festzulegen, zu überprüfen und an sich ändernde Gegebenheiten anzupassen. Informativ können die Technischen Regeln für Gefahrstoffe – Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen (TRGS 524) des Ausschusses für Gefahrstoffe in Deutschland herangezogen werden.

Generell gilt: nur ein umfassender Ansatz, der die bekannten Substanzen und die vorgesehenen Arbeitsabläufe gleichermaßen berücksichtigt, erlaubt es, ein „Gefahreninventar“ zu erstellen, die Risiken zu beurteilen und Maßnahmen zur Gefahrenverhütung umzusetzen (PARRAT 2011).

Bei CKW-kontaminierten Standorten sind standortspezifisch beispielsweise folgende Aspekte besonders zu beachten:

- Art und Konzentration der CKW und ihrer Abbauprodukte
- ggf. weitere Schad- bzw. Gefahrstoffe (z.B. Begleitschadstoffe, Einsatzchemikalien und Reaktionsprodukte bei Sanierungsmaßnahmen) am Standort

- Toxikologische (akut und chronisch) und kanzerogene Eigenschaften der Schadstoffe (vgl. auch Kap. 1.4 und UMWELTBUNDESAMT 2011B)
- Form des Vorliegens der Schadstoffe im Untergrund (z.B. gasförmig, adsorptiv gebunden, gelöst, in Phase)
- mögliche Aufnahmepfade (oral, dermal, inhalativ)
- geplante Arbeitsabläufe und Tätigkeiten in zeitlicher (z.B. klimatische Bedingungen) und räumlicher Hinsicht (z.B. Arbeiten in Innenräumen, Baugruben)

Sofern auf einer Baustelle gleichzeitig oder aufeinanderfolgend Arbeitnehmer mehrerer Arbeitgeber tätig werden, hat gemäß § 3 des Bauarbeitenkoordinationsgesetzes (BauKG, BGBl. I Nr. 37/1999 i. d. g. F.) der Bauherr einen Planungs Koordinator für die Vorbereitungsphase und einen Baustellenkoordinator für die Ausführungsphase zu bestellen, In den Aufgabenbereich von Planungs- und Baustellenkoordinator fällt unter anderem die Ausarbeitung bzw. die Umsetzung eines Sicherheits- und Gesundheitsschutzplanes (SiGE-Plan).

### 4.3 Allgemeine Aspekte der Untergrunderkundung

Die Planung von Untersuchungen der CKW-Kontamination, die auf einem Betriebsstandort gegeben ist, sowie die Auswirkungen der CKW-Kontamination auf die relevanten Schutzgüter erfolgt auf Basis des Standortmodells.

Grundsätzlich ist sowohl eine Untersuchung der Schadensherde als auch eine Untersuchung abseits der Schadensherde durchzuführen, wobei die potentiellen Ausbreitungswege und die gefährdeten Schutzgüter zu berücksichtigen sind. Eine Untersuchung des Untergrunds abseits der Schadensherde ist dann erforderlich, wenn aufgrund der örtlichen Verhältnisse und des zeitlichen Abstands zum erstmaligen CKW-Eintrag in den Untergrund eine Ausbreitung des Schadstoffes von den Eintragsstellen anzunehmen ist.

Im Regelfall kommen zur Erkundung der Untergrundverhältnisse und zur Durchführung von Probenahmen (aus temporären oder stationären Messstellen) Rammkernsondierungen und Rammkernbohrungen zum Einsatz. Nähere Details zum Anwendungsbereich sind den nachfolgenden Kapiteln zu entnehmen.

Die eingesetzten Aufschluss- und Erkundungsverfahren sind anhand des Untersuchungsziels, der erforderlichen Erkundungstiefe, den zu erwartenden Untergrundverhältnissen, der örtlichen Platzverhältnisse und daraus resultierenden Behinderungen (z.B. Raumhöhe, Breite und Höhe von Zufahrtstoren, Bewuchs, Einbauten) auszurichten. Eine Übersicht über Untergrundaufschlussverfahren und deren generelle Einsatzbereiche gibt die ÖNORM S 2091.

Sondierungen und Rammkernbohrungen sind im verbauten Gelände jedenfalls unter Beachtung der erforderlichen technischen Sicherheitsvorkehrungen vorzunehmen. Bei entsprechend begründetem Verdacht auf Kriegsrelikte (Fliegerbomben, Granaten, etc.) im Untergrund kann eine Kampfmittelfreimessung und Kampfmittelfreigabe der Aufschlussstellen erforderlich sein.

Bei der Planung und Situierung von Untergrundaufschlüssen sind die Art und der Zustand von Oberflächenbefestigungen und Bebauungen sowie unterirdische Einbauten (z.B. Schächte, Leitungen) zu berücksichtigen.

Als Alternative zu konventionellen Aufschlussmethoden eignen sich indirekt aufschließende Verfahren, wie CPT oder die Messung der elektrischen Leitfähigkeit, in Abhängigkeit des Untergrundaufbaus. Diese Verfahren können auch mit einer semiquantitativen Schadstoffmessung kombiniert werden (vgl. auch Kapitel 4.6).

Beim einzelfallweisen Einsatz geophysikalischer Methoden sind vor allem im verbauten Gebiet die Störeinflüsse durch die Bausubstanz als Inhomogenität zu berücksichtigen. Daher können diese Methoden oft nur eine ergänzende Information zum Standortmodell liefern.

## 4.4 Erkundung der wasserungesättigten Zone

Durch die physikalischen Eigenschaften der CKW (Flüchtigkeit) kommt der Erkundung der wasserungesättigten Zone durch Bodenluftuntersuchungen besondere Bedeutung zu.

### 4.4.1 Bodenluftuntersuchungen an temporären Bodenluftmessstellen

Bei temporären Bodenluftmessstellen wird eine Messsonde gesetzt, die Probenahme durchgeführt und anschließend die Sonde wieder entfernt. Bodenluft-Untersuchungen mit temporären Messstellen werden häufig durchgeführt, um sich eine erste Orientierung über die Situation zu verschaffen (schnell, einfach, kostengünstig).

Die Hauptziele von Bodenluftuntersuchungen an temporären Bodenluftmessstellen sind (VDI 3865 Blatt 2):

- qualitative Bestimmung der in der wasserungesättigten Bodenschicht vorhandenen Stoffe (Bestandsaufnahme)
- Bestimmung des Ausmaßes der örtlichen Schadstoff-Konzentrationen und von Konzentrationsunterschieden
- Ortung der Eintragsstellen und der Lage der Kontaminationszentren (= Bereiche mit der höchsten gemessenen Konzentration)
- Bestimmung der horizontalen und vertikalen Schadstoffverteilung
- im Einzelfall Möglichkeit der Kartierung der Grundwasserkontaminationen (Schadstofffahne)

Vor der Durchführung von temporären Bodenluftmessungen hat eine ausführliche Probenahmeplanung zu erfolgen. Diese muss die Standortinformationen, die Standortumgebung (z.B. umgebende Nutzungen), die Untergrundverhältnisse, die Hydrogeologie, das Stoffinventar, welches erwartet wird, und die geeignete Mess- und Probenahmetechnik berücksichtigen.

Der Probenahmeplan hat Angaben zum Probenahmeverfahren, zur Abstimmung zwischen Probenahme und Analytik, zur Festlegung der Messpunkte in der Fläche und den Entnahmetiefen (Messraster horizontal /optional vertikal) zu enthalten. Weiters sind Vorgaben für die Entnahme von Referenzproben zur Beurteilung der Hintergrundbelastung (im Einzelfall), zur Zeitplanung und für Qualitätssicherungsmaßnahmen, wie z.B. Blindproben, zu erarbeiten.

Die horizontale Rasterdistanz beträgt im Bereich eines vermuteten Schadensherdes meist 3-5 m, und wird bei positivem Befund entsprechend verdichtet (BÜRING ET AL. 2011).

Bei temporären Bodenluftmessstellen wird grundsätzlich zwischen Probenahmetechniken mit oder ohne Vorbohrung unterschieden.

#### Verfahren 1: Probenahmeverfahren mit Vorbohrung

Es wird eine Rammkernsondierung mit einem an den Untergrund angepassten Durchmesser bis zur Probenahmetiefe durchgeführt. Nach Entfernen der Rammkernsonde wird die Messsonde in das Bohrloch bis in die vorgesehene Probenahmetiefe eingebracht und der Ringraum zwischen Messsonde und Bohrlochwand oberhalb des Probenahmebereiches auf einer Länge von mindestens 50 cm abgedichtet.

## Verfahren 2: Probenahmeverfahren ohne Vorbohrung

Die Messsonde wird direkt in den Untergrund bis in die gewünschte Tiefe gerammt oder gedrückt. Anschließend ist zu überprüfen, ob die Messsonde fest im Untergrund eingebunden ist und atmosphärische Luft angesaugt wird. Nach der Entnahme von Bodenluftproben ist in einer Entfernung von max. 1 m eine Rammkernsondierung zur Bestimmung der Untergrundverhältnisse durchzuführen.

Um das Ansaugen von atmosphärischer Luft zu verhindern, hat die Probenahmetiefe mindestens 1 m zu betragen. Die maximale Probenahmetiefe wird durch die Zugänglichkeit, durch die Verfügbarkeit von Verfahren zur Sicherstellung der Gasdichtheit des Sondensystems und eines begrenzten Totvolumens sowie die Tiefenlage der wassergesättigten Zone begrenzt. Hinsichtlich des Kapillaranstieges des Grundwassers empfiehlt es sich, dass die Probenahmestelle einen Abstand von mindestens 1 m zur Grundwasseroberfläche hat.

Die tatsächliche Probenahmetiefe hängt von den benötigten Informationen und den Bedingungen am Standort, wie z. B. dem Bodengefüge, der Lage des Grundwasserspiegels, den Migrationspfaden, usw. ab und liegt oft zwischen 2 und 5 m. Es ist auch die Probenahme in mehreren Tiefenstufen (z.B. 2, 5, 7 m) möglich. Diese Anforderungen müssen bei der Planung der Entnahme der Bodenluftproben festgelegt werden, bzw. ist ein Verfahren mit Vorbohrung vorzuziehen, weil es vor der Bodenluftprobenahme bereits Informationen über den lokalen Untergrundaufbau liefert.

Bodenluftproben aus Ausgleichsschichten unter Bodenplatten liefern in der Regel nur qualitative Hinweise auf CKW im Untergrund, da über Hohlräume und sehr durchlässige Bereiche Bodenluftmigration und Verdünnungseffekte auftreten. Eine Zuordnung der Analyseergebnisse zu einem definierten Untergrundbereich ist nicht möglich (BÜRING ET AL. 2011).

Die Durchführung von Bodenluftuntersuchungen wird in der ÖNORM S 2090 sowie in den Richtlinien VDI 3865 Blatt 1 und VDI 3865 Blatt 2 beschrieben. Wesentliche Schritte der Durchführung der Bodenluftuntersuchung sind:

**Evakuierung:** Das Tot- und Falschluftvolumen in der Messsonde bzw. Messstelle ist zu entfernen. Hierzu wird vor der Entnahme der Bodenluftprobe(n) die Bodenluft mit einem Volumenstrom von 1,0 l/min abgesaugt. Die Bodenluftproben dürfen erst genommen werden, wenn die Konzentrationen für Kohlendioxid und Sauerstoff konstant sind ( $\pm 0,2$  Vol.-%/min). Wird auch nach Austausch des 3-fachen Tot- und Falschluftvolumens keine Konstanz der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentrationen erreicht, können die Bodenluftproben nach einer Absaugdauer von 15 Minuten genommen werden.

**Probenahme:** Die Probenahme kann entweder durch Adsorption auf ein geeignetes Adsorbens oder durch direkte Entnahme in ein gasdichtes Behältnis erfolgen. In Österreich werden die Bodenluftproben meist auf geeigneten Adsorbentien gesammelt. Bei Proben, die auf Stoffe untersucht werden, die nicht oder nur schwer auf Adsorbentien gesammelt werden können, sind gesonderte Vorgehensweisen zu planen (z.B. Vinylchlorid).

**Analytik:** Es bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten für die Analyse:

- Analytik vor Ort: Es gibt eine große Bandbreite in der Art und Genauigkeit der Analysemethoden vor Ort. Diese reichen von semiquantitativen direktanzeigenden Prüfröhrchen, über semiquantitative physikalische Methoden, wie Photoionisationsdetektoren (PID) bis zur Bestimmung von Einzelsubstanzen mit Feld-Gaschromatographen.
- Externe Analytik durch die Analyse von adsorbierter Bodenluft oder aus gasdichten Behältnissen (siehe Kapitel 5.1)

Während der Messung und Probenahme sind wesentliche Feldparameter zu bestimmen und zu dokumentieren. Folgende Tabelle 2 gibt diese Parameter sowie Anmerkungen zu ihrer Interpretation wieder:

Tabelle 2: Feldparameter Bodenluftuntersuchung

Untersuchungsparameter	Anmerkung
Kohlendioxid	Der CO <sub>2</sub> -Gehalt in der Bodenluft beträgt im Allgemeinen > 0,3 Vol.-%. Einzelne niedrigere Werte sind aber möglich. Der CO <sub>2</sub> -Gehalt und sein zeitlicher Verlauf zeigen an, ob tatsächlich Bodenluft oder atmosphärische Luft angesaugt wird.
Sauerstoff	Der O <sub>2</sub> -Gehalt in der Bodenluft beträgt im Allgemeinen < 20,6 Vol.-% und zeigt an, ob tatsächlich Bodenluft oder atmosphärische Luft angesaugt wird. Bei Sauerstoffmangel ist von sauerstoffzehrenden mikrobiologischen Prozessen auszugehen.
Unterdruck	Der Unterdruck sollte relativ zum atmosphärischen Druck 50 mbar nicht übersteigen. Größerer Unterdruck zeigt stark bindige Schichten an bzw. verändert den natürlichen Gleichgewichtszustand im 3-Phasensystem.
Volumenstrom	Max. 1,0 l/min; Ein höherer Volumenstrom bedeutet einen größeren Einflussbereich der Probenahme und stellt damit nicht mehr eine Punktmessung dar (s. Bodenluftabsaugversuch)
Absaugleistung vor der Probenahme	Für die Evakuierung ist ein Volumenstrom von 1,0 l/min anzustreben
Absaugdauer vor der Probenahme	Mind. 10 min, damit das Falschluf/Totluftvolumen evakuiert wird.
Abgesaugtes Luftvolumen pro Zeiteinheit während der Probenahme	Ebenfalls max. 1,0 l/min (s. Volumenstrom)
Zeitpunkt der Probenahme	Bei Messserien soll darauf geachtet werden, dass zwischen dem Anlegen des Bohrlochs bzw. dem Einbringen der Sonde und der eigentlichen Probenentnahme stets das gleiche Zeitintervall eingehalten wird.
Dauer der Probenahme	Ergibt sich aus dem erforderlichen Probenahmenvolumen und dem Volumenstrom
Abgesaugtes Probenvolumen	Abhängig von der Gassammlung (Adsorbens oder Gassammelbehältnis) und abhängig von den analytischen Bestimmungsgrenzen  Je größer das Probenvolumen ist, umso wahrscheinlicher ist das Eindringen von Außenluft, insbesondere bei einer Probenahme dicht an der (unbefestigten) Geländeoberfläche. In diesen Fällen besteht kein ausreichender Schutz gegen den Einfluss der Außenluft, insbesondere bei gut durchlässigem Boden. Da das Probenvolumen einen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse haben kann, werden im Allgemeinen Verfahren empfohlen, bei denen kleine Probenvolumen verwendet werden.
Abgesaugtes Gesamtvolumen	Ergibt sich aus abgesaugtem Luftvolumen pro Zeiteinheit und Absaugdauer
Wetter	Sickerwasser durch Niederschläge oder ansteigendes Grundwasser kann den Porenraum auswaschen und so einen Teil der CKW entfernen.
Luftdruck	Beeinflusst die Konzentration der CKW in der Bodenluft. Es sollten daher ähnliche Luftdruckbedingungen bei Messserien herrschen.



Untersuchungsparameter	Anmerkung
Lufttemperatur	Soll größer sein als die Bodenlufttemperatur; Richtwert: >10°C  Die Entnahme von Bodenluftproben bei Außenluft-Temperaturen, die wesentlich unter der des Bodens liegen, kann zu Kondensation an kalten Stellen im Probenahmesystem führen. Die Lufttemperatur beeinflusst die Konzentration der CKW in der Bodenluft; Es sollten daher ähnliche Temperaturbedingungen bei Messserien herrschen bzw. sind Unterschiede bei der Bewertung zu berücksichtigen.
Bodenfeuchte im Messbereich	Die Bodenfeuchte kann die Adsorption der CKW an die Adsorbentien stören. Bei Nässe im Messbereich ist die Bodenluftprobenahme nicht möglich! Eine Beeinträchtigung der Messtechnik ist möglich!
Bodenlufttemperatur	s. Lufttemperatur
Bodenluftfeuchte	Die Bodenluftfeuchte beeinflusst die Konzentration der CKW in der Bodenluft
Hinweise auf Schwierigkeiten bei der Messung und Probenahme	Können für die Beurteilung von Ergebnissen von entscheidender Bedeutung sein
Probenkonservierung	Transport und Lagerung muss im Allgemeinen gekühlt erfolgen, bei Adsorbentien sind die Herstellerangaben zu Lagertemperatur und Lagerungszeit zu beachten.
qualitätssichernde Maßnahmen	Neben der Kalibrierung der Messgeräte ist im Besonderen die Art und Durchführung der Dichtheitsprüfung des Mess- und Probenahmesystems wichtig

Bei Bodenluftuntersuchungen handelt es sich um standortbezogene, relative Messungen: Messergebnisse von Bodenluftuntersuchungen sind u. a. von der Probenahmetechnik, den Standortbedingungen (Geologie, Bodenfeuchte, SOM<sup>5</sup>) und den meteorologischen Bedingungen (Niederschläge, Luftdruck, Lufttemperatur) abhängig. Ergebnisse von Untersuchungen, die unter verschiedenen Rahmenbedingungen erhalten werden, sind daher nur bedingt vergleichbar.

Allerdings können anhand von Bodenluftuntersuchungen, die unter vergleichbaren Rahmenbedingungen erhalten wurden, Zonen mit unterschiedlicher CKW-Belastung und nach Größenordnung der Konzentrationen differenziert werden. Anhand der Ergebnisse der Bodenluftuntersuchungen kann über die Phasengleichgewichte (Henry-Konstante) die Größenordnung einer möglichen Belastung des Sickerwassers abgeschätzt werden. Über die Phasengleichgewichte (Verteilungskoeffizienten  $K_{oc}$ ,  $K_d$ ) kann anhand des Anteils an organischem Kohlenstoff im Feststoff eine Abschätzung der CKW-Verteilung im 3-Phasen-System Feststoff-Sickerwasser-Bodenluft erfolgen (UMWELTBUNDESAMT 2011A).

Einschränkend ist dazu jedoch festzustellen, dass die Umrechnung über Phasengleichgewichte nur anwendbar ist, wenn die CKW ausschließlich in verdampfter, gelöster oder sorbierter Form vorhanden sind bzw. solange sie nicht als CKW-Phasen vorliegen. Auch die Art und Menge des organischen Anteils spielt eine bedeutende Rolle bei der Verteilung der CKW im Untergrund, die jedoch bei den Berechnungsmodellen in der Regel nicht berücksichtigt werden kann. Die Bodenluftkonzentrationen und die Größe des gasförmig belasteten Untergrundbereiches können nicht mit der Menge der in Phase vorliegenden CKW in Bezug gesetzt werden (BÜRING ET AL. 2011).

Jedoch ist eine Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Vorliegens von CKW in Phase über die Phasengleichgewichte möglich (MUNZ & HÄNER 2009).

<sup>5</sup> die Ergebnisse von Bodenluftuntersuchungen können bei hohem organischem Anteil des Untergrunds massiv verfälscht werden (BÜRING et al. 2011)

Anhand der Parameter Gesamtporosität, volumetrischer Wassergehalt und Lagerungsdichte kann, unter Berücksichtigung der oben angeführten Einschränkungen, außerdem eine Abschätzung der Gesamtschadstoffmenge im Untergrund erfolgen (MUNZ & HÄNER 2009). Zur Plausibilitätsprüfung der Sickerwasserbelastung mit CKW ist die Rückrechnung der Schadstofffracht im Sickerwasser aus Grundwasserdaten (UMWELTBUNDESAMT 2011A) eine geeignete Methode, da diese Rückrechnung für leichtflüchtige Schadstoffe sehr schnell und einfach ausgeführt werden kann.

#### **4.4.2 Bodenluftuntersuchungen an stationären Bodenluftmessstellen, Absaugversuche**

Bei stationären Bodenluftmessstellen handelt es sich um Probenahmeeinrichtungen, die über einen längeren Zeitraum im Untergrund belassen werden. Die stationäre Messstelle wird in der Regel mit Vorbohrung hergestellt. In speziellen Fällen darf die stationäre Messstelle auch ohne Vorbohrung errichtet werden (ÖNORM S 2090).

Die stationäre Messstelle ist dauerhaft gegen die Beeinflussung von atmosphärischer Luft oder Raumluft abzudichten. Die Messstelle muss so ausgebaut werden, dass wiederholte Probenahmen über einen längeren Zeitraum sichergestellt sind. Bei Bedarf kann die Messstelle auch unterflur ausgebaut werden. Der Absaugbereich muss bekannt und der potentiellen Schadenssituation angepasst sein. In manchen Fällen kann es erforderlich sein, Entnahmeeinrichtungen in unterschiedlichen Tiefen zu errichten. In diesen Fällen sollte für jede Entnahmetiefe eine eigene Sonde hergestellt werden. Um eine ausreichend genaue Aussage über tiefengestaffelte Kontaminationen zu erhalten, sollte die Länge der Filterstrecke pro Sonde im Regelfall 3 m nicht überschreiten (ÖNORM S 2090).

Folgende Informationen werden bei der Beprobung von stationären Bodenluftmessstellen im Unterschied zu temporären Bodenluftmessstellen gewonnen:

- Entnahme von Bodenluftproben aus einem definierten Untergrundbereich zu mehreren Zeitpunkten im Jahreslauf
- Integrierende Bodenluftprobenahme über die gesamte Filterstrecke

Bei ausreichender Dimensionierung können stationäre Bodenluftmessstellen für Absaugversuche verwendet werden.

Bodenluftabsaugversuche dienen der weitergehenden Untersuchung eines Standorts oder der Planung von Sanierungsmaßnahmen. Sie können für die

- Beurteilung des Ausmaßes einer Untergrundverunreinigung,
- Ermittlung der standortspezifischen Absaugbarkeit von leichtflüchtigen Schadstoffen über Bodenluftabsaugung und/oder
- Dimensionierung von pneumatischen Sanierungsverfahren

herangezogen werden (ÖNORM S 2090). Der wesentliche Unterschied zu orientierenden Bodenluftuntersuchungen (s. Kapitel 4.4.1) und Bodenluftuntersuchungen an stationären Messstellen mit kurzer Absaugdauer (s. oben) liegt in der wesentlich größeren Entnahmemenge, womit ein größerer Untergrundbereich betrachtet werden kann.

Folgende Informationen werden bei Absaugversuchen ermittelt:

- Gasdurchlässigkeit des Untergrundes
- Reichweitenabschätzung (über Beobachtungssonden)
- Überprüfung des Zuzugs von nicht kontaminierter Bodenluft („Falschluff“) durch unterschiedliche Wegigkeiten im Untergrund (z.B. Einbauten, Künetten) über die Messung von Permeantgasen (Sauerstoff)

Während der Messung und Probenahme sind wesentliche Feldparameter zu bestimmen und zu dokumentieren, analog zu den Untersuchungen an temporären Bodenluftmessstellen (s. Kapitel 4.4.1).

Folgende Tabelle 3 gibt Besonderheiten bei der Messung und Dokumentation für Bodenluftabsaugversuche wieder:

Tabelle 3: Feldparameter Bodenluftabsaugversuche

Untersuchungsparameter	Anmerkung
Unterdruck	Der Unterdruck sollte relativ zum atmosphärischen Druck 200 mbar nicht übersteigen.
Volumenstrom	Im Allgemeinen 50-200 m <sup>3</sup> /h; Ein höherer Volumenstrom bedeutet einen größeren Einflussbereich der Probenahme. Durch die größere Bodenluftmenge, welche entnommen wird, steigt die Gefahr des Ansaugens atmosphärischer Luft an. Die laufende Kontrolle der Permanentgase (CO <sub>2</sub> und O <sub>2</sub> ) ist erforderlich.
Zeitpunkt der Probenahme	Die Probenahme erfolgt in exponentiellen Zeitabständen, wie z.B. 2 min, 30 min, 1h, 2h, 4h, 8h

Die Durchführung von Bodenluftuntersuchungen und Absaugversuchen wird in der ÖNORM S 2090 sowie in der Richtlinie Bodenluftabsaugversuch des ITVA (ITVA 2002) beschrieben.

#### 4.4.3 Feststoffuntersuchungen

Im Allgemeinen werden Untergrundverunreinigungen mit CKW in erster Linie mit Hilfe von Bodenluft- und Grundwasseruntersuchungen erkundet. Für folgende Untersuchungsziele und Fragestellungen sind Feststoffuntersuchungen als zweckmäßig anzusehen:

- laterale und vertikale Verteilung von CKW in feinkörnigem bzw. für Bodenluftuntersuchungen ungeeignetem Untergrund (z.B. auch bei oberflächennahem Grundwasserspiegel, Stauwasserhorizonten)
- CKW-Gehalte im Bereich feinkörniger Untergrundschichten (wasserungesättigte Zone, Stauer und Zwischenstauer im Aquifer)
- Erkundung des Untergrundaufbaus (z.B. Schichtungen, Homogenität)
- Bestimmung von Bodenkennzahlen, z.B. Gehalt an organischem Kohlenstoff, Korngrößenverteilung, Gesamtporosität, volumetrischer Wassergehalt, Lagerungsdichte

Generell können Untergrundaufschlüsse bzw. die entnommenen Feststoffproben nur punktuelle jedoch keine räumlichen Informationen liefern. Bei entsprechender Untersuchungsdichte kann zwar eine räumliche Interpretation der Untersuchungsergebnisse erfolgen, im ungünstigsten Fall kann jedoch ein Schadensherd oder ein hochbelasteter Untergrundbereich unerkannt bleiben.

Anwendungsgrenzen für Feststoffuntersuchungen ergeben sich in erster Linie aus dem Spannungsverhältnis von geeigneten Aufschlussverfahren und der Zugänglichkeit von Schadensherden (oftmals überbaut oder im Nahebereich von Kleingewerbebetrieben oder Wohngebäuden).

Insbesondere bei Feststoffuntersuchungen können sich Fehler bei der Planung und Durchführung der Probenahme schwerwiegender auf die Untersuchungsergebnisse und deren Aussagekraft auswirken als die anschließenden chemisch-physikalischen Untersuchungen. Generell ist auf eine fachgerechte, repräsentative und nachvollziehbare Durchführung der Probenahme zu achten. Den Rahmen für die Feststoffprobenahme gibt die ÖNORM S 2091 vor, deren Vorgaben prinzipiell zu beachten und hinsichtlich CKW-kontaminierter Standorte sinngemäß anzuwenden sind. In diesem Kapitel wird auf die

Planung und auf allgemeine Aspekte der Durchführung der Probenahme eingegangen. Die eigentliche Probengewinnung wird in Kapitel 5.2 behandelt.

Unter Verweis auf die entsprechenden Abschnitte der ÖNORM S 2091 sind bei der Untersuchung von CKW-Kontaminationen folgende Aspekte besonders zu beachten:

- Lage und Verteilung von Untergundaufschlüssen (Abschnitt 6.2 der ÖNORM S 2091): die Aufschlussstellen orientieren sich primär an den bekannten oder vermuteten CKW-Eintragsstellen und der Schadstoffverteilung. Zu beachten ist insbesondere auch das Ausbreitungsverhalten der CKW unter den im Einzelfall vorliegenden Untergrundverhältnissen, das im Bereich von Schadensherden ein dichtes Erkundungsraster (2-5 m) erfordert.
- Vertikale Abgrenzung von Untergrundschichten (Abschnitt 6.3 der ÖNORM S 2091): im Normalfall erfolgt die Probenahme für die CKW-Untersuchung aus Untergrundschichten mit Korngrößen von max. 2 mm. Aufgrund der Sorptionseigenschaften von CKW sind auch Untergrundschichten mit ähnlichen Gehalten an organischer Substanz (SOM) abzugrenzen. Eine Abgrenzung nach vordefinierter Tiefenlage ist im Normalfall nur bei homogenem Untergrund, der keine anderen Abgrenzungsmerkmale aufweist, zweckmäßig.
- Vertikale Abstände zwischen Proben (Abschnitt 6.4 der ÖNORM S 2091): aufgrund des Ausbreitungsverhaltens von CKW ist neben den gering durchlässigen Schichten auch der Bereich oberhalb von gering durchlässigen Schichten besonders zu beachten (Möglichkeit der Ansammlung von CKW-Phase bzw. der Bildung von CKW-„Pools“)
- Aufschlusstiefe (Abschnitt 6.5 der ÖNORM S 2091): in Abhängigkeit von der eingetragenen Phasenmenge pro Flächeneinheit und der verstrichenen Zeit können CKW aus der wasserungesättigten Zone durch den Kapillarsaum in die wassergesättigte Zone eindringen und dort gelöst im Grundwasser oder als Phase auf geringdurchlässigen Schichten (Zwischenstauer, Stauer) vorliegen
- Parameterumfang (Abschnitt 6.7 der ÖNORM S 2091): neben den CKW-Einzelsubstanzen ist jedenfalls auch die Trockensubstanz zu bestimmen.
- Mindestprobenmenge (Abschnitt 6.8 der ÖNORM S 2091): sofern neben CKW und Trockensubstanz keine weiteren Parameter zu untersuchen sind, kann die Probenmenge auch <1 kg betragen
- Allgemeines zur Durchführung der Probenahme (Abschnitt 7.1 der ÖNORM S 2091): mit der Herstellung von Untergundaufschlüssen im Schadensherd ist generell die Gefahr einer Phasenverschleppung oder der Schaffung neuer Migrationswege verbunden. Entsprechend ist bei der Wiederverfüllung von Aufschlüssen darauf zu achten, dass Dichtschichten (natürliche und anthropogene) in ihrer Wirksamkeit wiederhergestellt werden.
- Untergundaufschlüsse (Abschnitt 7.2 der ÖNORM S 2091): bei der Auswahl des Aufschlussverfahrens sind die Untersuchungsziele, die Untergrundbedingungen, die erforderliche Probenqualität (z.B. „im geotechnischen Sinn ungestörte Probe“, „im chemischen Sinn ungestörte Probe“), die Aufschlusstiefe und die räumlichen Möglichkeiten zu berücksichtigen. Rammkernbohrungen sind generell geeignet für die Gewinnung von im chemischen Sinne ungestörten Proben. Die Bohrdurchmesser liegen üblicherweise im Bereich 100-180 mm. Kleinrammbohrungen bzw. Rammkernsondierungen mit kleineren Bohrdurchmessern (50-80 mm) haben den Vorteil, dass die kleineren Bohrgeräte (ggf. Bohrhammer) auch bei beengten Platzverhältnissen noch einsetzbar sind. Als Nachteile sind die beschränkten Einsatz Tiefen (zumeist bis max. 8 m), mögliche Bohrgutverluste beim Bergen der Bohrkerne sowie die gegenüber großkalibrigen Bohrungen verstärkte Neigung zur Stauchung des feinkörnigen Untergrundmaterials und die damit eingeschränkte Möglichkeit der Tiefenzuordnung von Untergrundschichten zu nennen. Je nach Parameterumfang kann auch die verfügbare Probenmenge problematisch klein sein. Optimale Pro-

benqualität (ungestörte Proben im chemischen und geotechnischen Sinne) ist bei Durchführung von Schlauchkernbohrungen oder Liner-Bohrungen im Rammkernverfahren zu erwarten.

Rotationskernbohrungen sind aufgrund der gegenüber Rammkernbohrungen verstärkten Wärmeentwicklung und den damit verbundenen möglichen Schadstoffverlusten als nicht geeignet anzusehen. Ebenfalls ungeeignet sind Schneckenbohrungen, die lediglich gestörte Untergrundproben liefern und die Möglichkeit der Tiefenzuordnung von Untergrundschichten einschränken.

Schürfe und Greiferbohrungen sind in den meisten Fällen nicht geeignet (Ausnahme: sehr bindiges Material, begehbare Schürfe, ausreichendes Platzangebot).

Anhand der CKW-Gesamtgehalte in den Feststoffproben und dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC, Bestimmung nach ÖNORM EN 15936) kann unter bestimmten Voraussetzungen und mit gewissen Einschränkungen (siehe Kap. 4.4.1) über die Phasengleichgewichte (Henry-Konstante, Verteilungskoeffizienten  $K_{oc}$ ,  $K_d$ ) die Größenordnung einer möglichen Belastung des Sickerwassers bzw. die CKW-Verteilung im 3-Phasen-System Feststoff-Sickerwasser-Bodenluft abgeschätzt werden. Eluat- und Perkolatuntersuchungen sind hingegen als ungeeignet zur Abschätzung der Sickerwasserbelastung durch CKW anzusehen (UMWELTBUNDESAMT 2011A).

## 4.5 Erkundung der wassergesättigten Zone

### 4.5.1 Grundwasseruntersuchungen, Pumpversuche, Redoxzonierung

In der ÖNORM S 2092 werden die Anforderungen an die Entnahme von Grundwasserproben in Zusammenhang mit der Erkundung oder Sanierung von Altablagerungen und Altstandorten im Allgemeinen beschrieben. Die hier beschriebenen Untersuchungserfordernisse sind speziell auf CKW-Belastungen abgestimmt und können für andere Schadstoffe oder Zwecke der Wasserbeprobung anders sein.

Die Ergebnisse der Untersuchung von Grundwasserproben stellen eine wesentliche Grundlage für eine Abschätzung der Gefährdung für Mensch oder Umwelt nach ÖNORM S 2088-1 und für die Überwachung und Kontrolle von Sanierungsmaßnahmen dar (ÖNORM S 2092).

Ausgehend vom Standortmodell können folgende möglichen Untersuchungsziele bzw. Fragestellungen von Interesse sein:

- Bestimmung der Schadstoffkonzentration im Grundwasserabstrom des kontaminierten Standortes
- Bestimmung der Schadstoffkonzentration im Grundwasseranstrom zum kontaminierten Standort (Vorbelastung des Grundwassers)
- Bestimmung der vertikalen und horizontalen Schadstoffausbreitung (Fahnenkartierung/Phasendetektion, räumliches Schadensbild)
- Bestimmung von Schadstofffrachten, durch Immissionspumpversuche oder andere Verfahren

Für die Untersuchung von CKW-Grundwasserverunreinigungen können grundsätzlich Bohrlöcher, Brunnen, Grundwassermessstellen, Multilevel-Messstellen und Direct Push (DP-)Sondierungen beprobt werden. Die Untersuchung von Proben aus Bohrlöchern kann meist nur orientierend erfolgen, da aus Bohrlöchern in der Regel nur Schöpfproben entnommen werden können, und die Aussagekraft der Untersuchung daher eingeschränkt ist (Minderbefunde durch Verflüchtigung, Überbefunde durch ggf. hohen Feinkornanteil). Brunnen haben den Nachteil, dass sie üblicherweise unvollkommen aus-

gebaut sind. Auf die Ausführung von DP-Grundwasserentnahmen wird im folgenden Kapitel 4.6 eingegangen.

Für wiederholte Grundwasseruntersuchungen sind geeignete Grundwassermessstellen und Brunnen heranzuziehen. Im Regelfall ist der Bestand an Messstellen und Brunnen zur Erreichung der Untersuchungsziele nicht ausreichend und muss durch neu errichtete Messstellen ergänzt werden.

Zur Beurteilung des anströmenden Grundwassers ist zumindest eine Messstelle im Anstrom des Standortes erforderlich. Zur Erkundung des Abstroms sollte zumindest 1 Messstelle im Schadensherd sowie senkrecht zur Grundwasserströmungsrichtung eine Messstellenreihe im direkten Abstrom des Schadensherdes vorhanden sein (bei der Bemessung des Abstands zwischen den Messstellen sollte beachtet werden, dass sich CKW entlang wenige Meter schmaler und komplexer Fließwege ausbreiten können). Zur lateralen und longitudinalen Fahnenabgrenzung sind weitere Messstellenreihen im Abstrom erforderlich, wobei der Abstand zwischen den Reihen >100 m betragen kann (in Abhängigkeit von der bekannten oder vermuteten Ausdehnung der Fahne).

Die Art und der Ausbau von Grundwassermessstellen (d.h. Einzelmessstellen, Messstellenbündel, Messstellengruppen und Sondermessstellen, z.B. Multilevel-Messstellen) sind am Standortmodell und an den Untersuchungszielen auszurichten. Allgemeingültige Aspekte, die bei der Errichtung von Grundwassermessstellen zu beachten sind, werden im ÖWAV-Regelblatt 208, im DVGW-Merkblatt W 121 und in der ÖNORM B 2601 bzw. auch in weiter führender Literatur (z.B. BLFU 2010) beschrieben:

- Bohrdurchmesser und Ausbaudurchmesser
- Filterkieskörnung und Filterschlitzweite
- Ausbaumaterial
- Tagwasserdichte Oberflächenabschlüsse

Für Messstellen bei CKW-Schäden ist besonders zu bedenken (nach HLUG 2002):

- Nach Möglichkeit Ausbau der Messstellen bis zum Stauer. Das untere Ende der Filterstrecke muss bis unterhalb der Oberkante des Grundwasserstauers reichen. Die Verschlusskappe am Ende der Filterstrecke soll aus dem gleichen Material bestehen, wie das Filterrohr
- Erfassung nur eines einzigen Grundwasserhorizonts innerhalb einer Filterstrecke
- Sehr sorgfältige Verschließung erbohrter Dichtschichten (Zwischenstauer) unter Verwendung von Bentonit- oder Bentonit-Zement-Suspension oder Zementinjektionen anstelle von Tonkugel-Abdichtungen, wie Opalit oder Compactonit® (BÜRING et al. 2011).
- Sehr präzise Positionierung der Grundwassermessstellen, da CKW-Fahnen oft sehr lang und schmal ausgebildet sind
- Verwendung von Edelstahl oder HDPE als Rohrmaterial anstelle von Hart-PVC
- Errichtung der Messstellen ohne Sumpfrohr, da im Sumpfrohr Schadstoffe oder Biomasse selektiv angereichert werden können; im Besonderen gilt dies, wenn knapp über der Endteufe beprobt werden soll

Bei der Pumpprobenahme aus Grundwassermessstellen mit CKW-Verunreinigungen ist die hohe Flüchtigkeit der Schadstoffe zu bedenken. Aus diesem Grund sind alle Pumpen, die mit Unterdruck arbeiten (Saugpumpen, Peristaltikpumpen) nicht geeignet. Gut geeignet sind Unterwassertauchpumpen. Allerdings ist ein praktisch beobachtetes Problem, dass es bei geringer Wasserführung durch die Abwärme der Pumpe zu Temperaturerhöhungen im Grundwasser kommt, die zu Minderbefunden führen kann. Abhilfe schaffen kann hier entweder eine Verkürzung der Pumpdauer oder der Einsatz eines alternativen Pumpsystems mit geringeren Förderraten (siehe auch Kapitel 5.3).

Besondere Anforderungen werden an die Grundwasser-Pumpprobenahme gestellt, wenn eine tiefenorientierte Probenahme aus einer einzigen Messstelle erfolgen soll. Hinweise zur Ausführung finden

sich in der Literatur (z.B. MICHELS ET AL. 2008). Möglichkeiten sind hier die Verwendung von tiefenstaffelten Pumpsystemen und die Probenahme mit Mehrfachpackern.

Besondere Anforderungen bei CKW-Schäden werden an die Probenahme selbst gestellt (siehe Kapitel 5.3).

Während der Pumpprobenahme werden die Feldparameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, gelöster Sauerstoff und Redox-Spannung gemessen, welche auch zur Beschreibung des allgemeinen Grundwasserchemismus herangezogen werden. Die Konstanz der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit und des pH-Werts indiziert, dass unverfälschtes Grundwasser gepumpt wird und markiert damit den Probenahmezeitpunkt.

Anhand der Feldparameter können wesentliche Aussagen zum Chemismus und zu anthropogener Beeinflussung des Grundwasser gemacht werden: Die Wassertemperatur unterliegt jahreszeitlich nur geringen Schwankungen und liegt meist im Bereich von 8-15 °C. Eine erhöhte Temperatur kann ein Hinweis auf mikrobielle Aktivitäten im Grundwasser oder auf anthropogene Quellen (z.B. Brauchwasserversickerung) sein. Der pH-Wert von unbelastetem Grundwasser liegt meist um den Neutralpunkt (pH 6-8). Hinweise zur Menge der in einer Probe gelösten Ionen (Salze) gibt die elektrische Leitfähigkeit. Eine deutlich erhöhte Leitfähigkeit im Abstrom eines Standortes kann auf eine anthropogene Beeinflussung hinweisen. Der Sauerstoffgehalt kann im Einflussbereich eines kontaminierten Standortes je nach den chemischen und biochemischen Umsetzungsprozessen herabgesetzt sein. Bei Vorliegen von gelöstem Sauerstoff kann der mikrobiologische Abbau hochchlorierter Kohlenwasserstoffe nicht oder nur eingeschränkt ablaufen. In Verbindung mit der Wassertemperatur kann die Sauerstoffsättigung berechnet werden. Die Redox-Spannung beschreibt die elektrochemischen Bedingungen im Wasser (Maß für die oxidierenden und reduzierenden Eigenschaften eines Systems). Sie kann qualifiziert nur im Zusammenhang mit weiteren Parametern (pH-Wert, Temperatur) als rH-Wert ausgewertet werden (modifiziert nach HLOG 2002).

Für die Beurteilung der biochemischen Milieubedingungen kommt der Messung der Redoxspannung und des gelösten Sauerstoffs große Bedeutung zu. Eine einfache Kartierung der Redox-Zonen im Grundwasser kann mithilfe von Detektorbändern erfolgen (MICHELS ET AL. 2008).

Durch die Untersuchung von Grundwasserproben, die in zeitlichen Abständen vor und während der Entnahme von Grundwasser über einen längeren Zeitraum („Pumpversuch“) entnommen werden, können in der Regel die aussagekräftigsten Ergebnisse zur Beurteilung einer Grundwasserverunreinigung erzielt werden. Dabei wird Grundwasser über einen Zeitraum von üblicherweise 4 bis 24 Stunden entnommen und mehrere Grundwasserproben zu definierten Zeitpunkten entnommen (z.B. nach Austausch des einfachen Messstellenvolumens und nach 1, 2, 4, 8 und 24 Stunden). Pumpversuche werden mit deutlich höheren Förderströmen und über längere Zeiträume als die konventionelle Pumpprobenahme durchgeführt. Dadurch wird ein größerer Grundwassereinzugsbereich erfasst und es lässt sich die räumliche Stoffverteilung im Grundwasser beobachten. Die Förderleistung der Pumpe liegt meist zwischen 1 und 5 l/s. Die Förderleistung der Pumpe, die Dauer und die Probenahmezeitpunkte richten sich nach den hydrogeologischen Randbedingungen (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

## 4.5.2 Immissionspumpversuche

Aufgrund der oft großen Heterogenität der Schadensherde bei kontaminierten Standorten sowie der heterogenen Untergrundverhältnisse zeigen auch Schadstofffahnen im Grundwasser oft eine komplexe Verteilung, sodass eine zuverlässige Erfassung mit einzelnen Grundwassermessstellen schwierig ist. Durch Immissionspumpversuche (integrale Pumpversuche) kann der Grundwasserabstrom eines Schadenherdes (weitestgehend) vollständig erfasst werden und damit die Unsicherheit hinsichtlich der quantitativen Erfassung der Schadstofffahne deutlich reduziert werden. Dazu werden in der Regel mehrtägige Pumpversuche im Abstrom einer Schadstoffquelle an einer Messstellenreihe quer zur Grundwasserhauptströmungsrichtung durchgeführt. Bei einer ausgeprägten vertikalen Schadstoffverteilung ist es sinnvoll, die Pumpversuche tiefengestaffelt durchzuführen. Dazu sind entsprechend tiefenhorizontiert ausgebaute Messstellen oder spezielle Probenahmeeinrichtungen für die tiefenhorizontierte Beprobung notwendig. Bei der Ausführung von Immissionspumpversuchen kann in der instationären Phase während des Aufbaus des Entnahmetrichters durch eine gezielte, zeitlich gestaffelte Beprobung des abgepumpten Grundwassers eine Entwicklung der Belastung mit den relevanten Schadstoffen erfasst werden. Aufgrund dieser Konzentrationsganglinien kann dann eine Rückrechnung auf die Schadstoffverteilung für den Fließquerschnitt normal zur Grundwasserströmungsrichtung durchgeführt werden (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Mittels Immissionspumpversuchen können die Schadstofffrachten im Grundwasser (in der Regel im Abstrom kontaminierter Bereiche) wesentlich genauer abgeschätzt werden als über eine Hochrechnung aus Einzelproben. Bei einer Frachtabschätzung mittels konventioneller Grundwasserproben besteht die Gefahr, dass je nach Lage der Grundwassermessstellen in Bezug zur Schadstofffahne die Frachten deutlich überschätzt (Lage der Messstelle in der Fahnenmitte) oder unterschätzt (Lage der Messstelle im Randbereich der Fahne) werden. Die Ermittlung der Schadstofffrachten an zwei Kontrollebenen in einer Schadstofffahne kann auch zur Quantifizierung von natürlichen Rückhalte- und Abbauprozessen herangezogen werden (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Es kann mittels Immissionspumpversuchen eine Abschätzung der möglichen Schadstoffverteilung im Grundwasser quer zur Grundwasserströmungsrichtung, die mögliche Lage der Achse einer Schadstofffahne sowie die maximale Belastung des Grundwassers erfolgen. Mit der Erkundung der Lage von Schadstofffahnen können insbesondere bei räumlich ausgedehnten Standorten (z.B. mehrere potenzielle Verursacher in einem industriell genutzten Gebiet) oft Rückschlüsse auf die räumliche Lage von Schadstoffquellen (Eintragsstellen) gezogen werden. Bei komplex genutzten und/oder räumlich ausgedehnten Standorten kann mittels Immissionspumpversuchen der Bereich für weitergehende Untersuchungen der Schadstoffquelle(n) eingegrenzt werden (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Bei konventionellen Grundwasseruntersuchungen kann im ungünstigsten Fall eine Schadstofffahne zwischen zwei Messstellen nicht erkannt werden. Mittels Immissionspumpversuchen ist eine deutlich höhere Sicherheit gegeben, dass auch schmale Schadstofffahnen (wie oft bei lokalen CKW-Schäden vorhanden) erfasst werden (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse von CKW-Analysen (z.B. Änderung der Konzentrationsverteilung von CKW-Einzelsubstanzen, Abbauprodukte) sollten auch während der Immissionspumpversuche die Feldparameter Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, gelöster Sauerstoff und Redox-Spannung kontinuierlich gemessen werden.

Die Durchführung von Immissionspumpversuchen wird beispielsweise in Heft 8 der Schriftenreihe altlastenforum Baden-Württemberg (BEER ET AL 2003) beschrieben.



## 4.6 Kombinierte Erkundung von wassergesättigter und wasserungesättigter Zone – Direct Push-Sondierungen

Direct Push (DP) wird als Überbegriff für Technologieverfahren verwendet, bei denen Stahlrohre mit Durchmessern von 25-50 mm in den Boden gedrückt oder gehämmert werden. Die DP-Verfahren können in der wasserungesättigten und wassergesättigten Zone verwendet werden und eignen sich besonders für bindige, sandige und kiesige Sedimente bis zur Mittelkiesfraktion. DP-Verfahren bieten die Möglichkeit, während der Sondierung kontinuierlich bzw. semi-kontinuierlich erkundungsrelevante Parameter aufzuzeichnen, sowie Bodenluft-, Grundwasser- oder Untergrundproben zu nehmen. Dies sowie die in der Regel größere Sondiergeschwindigkeit (40-200 m/Tag), die oftmals höhere Einsatztiefe, die räumliche Beweglichkeit und die geringeren Kosten sind die Vorteile der DP-Verfahren gegenüber herkömmlichen Bohrverfahren (DIETRICH & LEVEN 2005 in MICHELS ET AL. 2008).

Als Nachteile der DP-Verfahren sind die Unsicherheiten bezüglich Schadstoffverschleppung bei Sondierungen mit direkter Schadstoffmessungen, die eingeschränkte Anwendbarkeit in grobkörnigen (steinigen) oder dicht gelagerten Lockergesteinen und in Festgesteinen, die nur bedingte Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse von entnommenen Proben (Stichproben) mit Proben aus konventionellen Aufschlüssen (z.B. Wasserproben aus herkömmlichen Grundwassermessstellen) und die vergleichsweise hohen Bestimmungsgrenzen bei direkter Schadstoffmessung zu nennen. Da eine Abdichtung der nichtverrohrten DP-Sondierungen kaum möglich ist, muss zur Vermeidung von hydraulischen Kurzschlüssen die Durchörterung von (Zwischen-)Stauern vermieden werden (BÜRING et al. 2011).

Details zu den nachfolgend beschriebenen und zu weiteren DP-Technologien und -verfahren können der einschlägigen Literatur entnommen werden (z.B. MICHELS ET AL. 2008, GRANDEL & DAHMKE 2008, KÄSTNER ET AL. 2012, LEVEN ET AL. 2010).

Die kontinuierliche oder semikontinuierliche Messung von Parametern kann sowohl direkte Schadstoffmessungen, wie zum Beispiel den Nachweis von chlorierten Kohlenwasserstoffen (MIP-System mit PID, FID, ECD, DELCD), als auch geologische Parameter, wie die Erfassung und Darstellung der petrographischen Heterogenität oder die Stratigraphie der durchörterten Gesteinsschichten entlang des Untersuchungsprofils (CPT, EC-Logging), umfassen. Weiters können hydrogeologische Parameter wie Porenwasserdruck, Leitfähigkeit,  $K_f$ -Wert und relative Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Tiefe („Injection Logging“, „Slug Test“) bestimmt werden.

Da es sich bei der direkten Schadstoffmessung mit MIP um ein semiquantitatives Verfahren handelt, ist zumindest ein stichprobenartiger Vergleich der Ergebnisse mit quantitativen Methoden erforderlich.

Neben der kontinuierlichen oder semikontinuierlichen Messung von Parametern besteht auch die Möglichkeit Bodenluft, Grundwasser und Feststoffproben mit DP-Systemen zu entnehmen.

Grundsätzlich gelten hier die Bestimmungen der vorangegangenen Kapitel 4.4 und 4.5. Im Weiteren werden die Besonderheiten speziell hinsichtlich einer tiefenorientierten Grundwasser-, Feststoff- und Bodenluftprobenahme beschrieben.

### **Tiefenorientierte Bodenluftprobenahme:**

Die DP-Technologie erlaubt eine tiefenorientierte Entnahme von Bodenluftproben sowohl punktuell als auch aus definierten Tiefenintervallen. Hierzu wird eine Standardverrohrung auf die gewünschte Zieltiefe gebracht und anschließend durch Ziehen des Rohrstranges das gewählte Tiefenintervall freigelegt. Die Öffnung am Probenahmepunkt erfolgt durch verlorene Spitzen oder durch spezielle Sonden zur punktuellen Entnahme. Für die Probenahme wird im Gegensatz zu konventionellen Verfahren ein inerte Probenahmeschlauch in den Rohrstrang eingeführt und mit der Sondenspitze verschraubt. Hierdurch können Minderbefunde durch Kondensation von Feuchtigkeit in der Bodenluft an der kalten Verrohrung ausgeschlossen werden. Die Bodenluft wird über Konstantstrompumpen gefördert und entweder auf Adsorptionsröhrchen angereichert oder in beliebige Probenahmegefäße gepumpt. Bei

geeignetem Grundwasserflurabstand sind mit der DP-Methode große Probenahmetiefen von bis zu 30 m erzielbar. Für eine dauerhafte Überwachung können über das Sondiergestänge im Untergrund verbleibende Probenahmefilter installiert werden, die über eine an die Erdoberfläche geführte Schlauchleitung beprobt werden können.

#### **Tiefenorientierte Grundwasserprobenahme:**

Zur tiefenorientierten Entnahme von Grundwasserproben werden Grundwassersonden mit Edelstahl-Wickeldrahtfilter verwendet, die mit Hilfe des DP-Gerätes in einer gedichteten Schutzverrohrung in den zu beprobenden Horizont des Aquifers vorangetrieben werden. In der Zieltiefe wird das Hüllrohr gezogen und der Filter freigelegt. Anschließend erfolgt die Entnahme der Grundwasserprobe durch langsame und turbulenzfreie Förderung des Grundwassers mit Hilfe einer Fußventilpumpe, die innerhalb der Filterstrecke der Grundwassersonde installiert ist.

Eine Besonderheit ist die Möglichkeit, das Gesamtsystem unter Verwendung von N<sub>2</sub> oder Druckluft als Treibgas unter Druck zu setzen. Die GW-Probenahme erfolgt über einen Bypass. Während der gesamten Beprobung befindet sich das Grundwasser in einem geschlossenen System, sodass ein Verlust von leichtflüchtigen Verbindungen auf ein Minimum reduziert und die Oxidation von z.B. Fe(II) verhindert wird. Für die Bestimmung von leichtflüchtigen Verbindungen (VOC: CKW, Ethen, Wasserstoff etc.) sollten GC-Headspace-Verfahren eingesetzt werden, da hierbei Probenahme und Analytik optimal aufeinander abgestimmt werden können (MICHELS ET AL. 2008).

#### **Tiefenorientierte Feststoffprobenahme:**

Zur tiefenorientierten Entnahme von Untergrundproben sind verschiedene Probenahmesysteme verfügbar. Zur Gewinnung von Untergrundproben für die Umweltanalytik ist der Einsatz von geschlossenen Liner-Systemen zu empfehlen, da hierdurch eine hohe Qualität der entnommenen Untergrundproben gewährleistet ist und eine Verschleppung von Schadstoffen vollständig ausgeschlossen werden kann. Die Liner werden in den zu beprobenden Zielhorizont vorangetrieben. Die Probenahme kann sowohl zielgerichtet tiefenorientiert als auch kontinuierlich in einem durchgehenden Untergrundprofil erfolgen. Es ist bei Bedarf eine Probenahme unter strikt anaeroben Verhältnissen möglich, wie sie z.B. für die Verwendung der Liner-Proben für anaerobe Abbauversuche notwendig ist.

## **4.7 Raumlufuntersuchungen**

Untersuchungen der Raumluf sollten durchgeführt werden, wenn aufgrund hoher CKW-Konzentrationen in der Bodenluft unter dem Gebäude oder in unmittelbarer Nähe zum Gebäude eine Gefährdung der Nutzer des Gebäudes durch Inhalation von CKW in der Raumluf nicht ausgeschlossen werden kann. Das Ausmaß der CKW-Belastung in der Raumluf hängt einerseits von der Konzentration in der Bodenluft und andererseits von der Gasdurchlässigkeit des Mauerwerks (z.B. „dichte Wanne“, Ziegelmauer, Mauerdurchbrüche, Erdkeller) ab. In der Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten (UMWELTBUNDESAMT 2011B) wird diesbezüglich eine Methode zur Ableitung von Orientierungswerten für CKW-Konzentrationen in der Bodenluft, deren Überschreitung die Notwendigkeit von Raumlufuntersuchungen anzeigt, bereitgestellt.

Raumlufuntersuchungen sollten auch durchgeführt werden, wenn aufgrund von sensorischen Hinweisen der begründete Verdacht auf CKW-Immissionen aus dem Untergrund besteht.

Das Ziel der Raumlufuntersuchungen ist der Nachweis und die Quantifizierung von CKW in der Raumluf. Auf Basis der Ergebnisse ist zu beurteilen, ob eine direkte Gefährdung von Personen in Innenräumen durch leichtflüchtige Schadstoffe ausgeschlossen werden kann oder ob z.B. eine anschließende Expositionsabschätzung und Risikoanalyse notwendig ist (UMWELTBUNDESAMT 2011B).

Die Planung und Durchführung von Raumlftprobenahmen wird in der Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten (UMWELTBUNDESAMT 2011B) bzw. in der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumlft (RL BMLFUW 2003) ausführlich beschrieben.

Die Probenahme (siehe auch Kap. 5.4) erfolgt im Allgemeinen mittels aktiver Probenahme auf geeigneten Sorbentien über einen Zeitraum von mehreren (bis zu acht) Stunden.

Zur Abschätzung der mittleren Exposition über einen längeren Zeitraum kann eine Probenahme mittels Passivsammler über einen Zeitraum von mehreren Tagen erfolgen.

## 5 PROBENAHE UND ANALYTIK

### 5.1 Bodenluft

Für die Probenahme von Bodenluftproben kommen in der Praxis verschiedene Probenahmetechniken zur Anwendung. Einen Überblick dazu gibt die ÖNORM S 2090. Die Ergebnisse der Analysen von Bodenluftproben werden maßgeblich durch die jeweils angewandte Probenahmetechnik sowie die unmittelbaren Bedingungen bei der Probenahme (z.B. Temperatur, Bodenfeuchte) beeinflusst. Dementsprechend ist die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse bei Anwendung unterschiedlicher Probenahmetechniken und über unterschiedliche Probenahmetermine eingeschränkt. Aufgrund der Abhängigkeit des Analysenergebnisses von den Randbedingungen bei der Probenahme (insbesondere Bodenfeuchte) stellt die Bodenluftanalytik kein absolutes Verfahren dar. Allerdings sind relative Vergleiche im Allgemeinen sehr gut möglich, d.h. Bereiche unterschiedlicher Belastung können differenziert werden.

Bei Außenlufttemperaturen unter der Bodenlufttemperatur (d.h. im Allgemeinen bei unter 10 °C) ist zu beachten, dass Kondensationseffekte von CKW an exponierten Teilen der Probenahmeausrüstung (z.B. Schläuche) auftreten können, die zu falschen Analysenergebnissen führen. Sollen auch unter diesen Bedingungen Probenahmen durchgeführt werden, so sind entsprechende Vorkehrungen (z.B. Thermoisolierung) zu treffen.

Im Vorfeld der Untersuchung sind die Art der Probensammlung und das Analysenverfahren (Detektor) hinsichtlich der relevanten CKWs zwischen Probenehmer und Labor abzustimmen<sup>6</sup>. Bei der Durchführung von Probenahme und Analytik ist die ÖNORM S 2090 zu berücksichtigen. Techniken zur aktiven Entnahme von Bodenluftproben werden in der VDI-Richtlinie Nr. 3865 (Blatt 2) beschrieben.

Die Probensammlung kann einerseits im Direktverfahren (Sammlung in gasdichten Behältnissen, z.B. Septumfläschchen) und andererseits im Anreicherungsverfahren (Sammlung auf geeigneten Adsorbentien, z.B. Aktivkohle, Amberlite<sup>®</sup>XAD4, Tenax<sup>®</sup>) erfolgen. Aufgrund von Vergleichsuntersuchungen kann bei fachgerechter Durchführung im Allgemeinen eine Gleichwertigkeit der angeführten Verfahren angenommen werden, die Ergebnisse aus Messungen nach dem Anreicherungsverfahren weisen etwas höhere Standardabweichungen auf (LFU 1993A). Die Verwendung von Gasbeuteln oder Gasmäusen ist erfahrungsgemäß nicht empfehlenswert aufgrund beschränkter Lagerzeit und möglicher Adsorptions- und Kondensationseffekte.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren sind in der VDI-Richtlinie Nr. 3865 (Blatt 2) und in der weiterführenden Literatur beschrieben (LFU 1993 B): Wesentliche Vorteile der Direktverfahren gegenüber den Anreicherungsverfahren sind der geringere apparative und messtechnische Aufwand bei der Probenahme, der geringere Aufwand bei der Probenaufarbeitung, die Vermeidung von Minderbefunden aus unvollständiger Adsorption (Selektivität, Kapazität, siehe unten) und unvollständiger Desorption im Labor (z.B. Thermodesorption, Lösungsmittelextraktion) und die Möglichkeit der Analyse von schlecht oder nicht adsorbierbaren Schadstoffen. Ein wesentlicher Vorteil der Anreicherungsverfahren gegenüber den Direktverfahren ist die geringere Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Schadstoffe aufgrund der Möglichkeit, größere Bodenluftvolumina (in der Regel 0,5-2 Liter, gegenüber wenigen Milliliter bei gasdichten Behältern) über das Adsorbens zu leiten. Eine Verfälschung der Messergebnisse durch Luftzutritt bzw. Schadstoffverluste über undichte Bördelkappen oder undichte (durchstochene) Septen während der Probenlagerung ist bei Adsorptionsröhrchen nicht möglich.

---

<sup>6</sup> Beispielsweise können Verbindungen mit kurzer Retentionszeit (z.B. Dichlormethan) häufig nicht bestimmt werden, wenn die Probenabfüllung im Direktverfahren und die Bestimmung mittels ECD erfolgt (weil der Detektor die Sauerstoff- und Wasserpeaks sehr empfindlich anzeigt).

Das optimale Verfahren ist im Einzelfall unter Berücksichtigung der Untersuchungsziele, der relevanten Schadstoffe, der Probenaufbereitungs- und Messmethode sowie der Vor- und Nachteile der Verfahren auszuwählen<sup>7</sup>. Die Eignung der gewählten Probenahme-Analysen-Verfahrenskombination ist über die Wiederfindungsraten der relevanten CKW und die Einhaltung der Mindestbestimmungsgrenzen (ÖNORM S 2090) nachzuweisen.

Beim Anreicherungsverfahren hängen die Selektivität (Art der festgehaltenen Stoffe) und die Beladungskapazität (Menge der Stoffe, die ohne Verluste adsorbiert werden) in erster Linie von der Art und der Menge des Adsorbens ab, aber auch von den Eigenschaften (z.B. Temperatur, Feuchte) bzw. der Zusammensetzung (Schadstoffspektrum) der Bodenluft.

Bei Wahl des Anreicherungsverfahrens sollten ausschließlich Gasadsorptionsröhrchen mit Kontrollschicht verwendet werden.

Bei der Beprobung größerer Bodenluftvolumina ist darauf zu achten, dass keine Überladung des Adsorbens (Sammelschicht) durch die relevanten Schadstoffe stattfindet. Dies ist anhand der Untersuchung der Kontrollschicht des Adsorbens zumindest bei den höchstbelasteten Proben zu überprüfen. Sind mehr als 10 % der Gesamtschadstoffmasse in der Kontrollschicht nachweisbar, so liegt ein Durchbruch vor und eine Quantifizierung der Schadstoffe ist nur eingeschränkt möglich bzw. nicht möglich.

Sofern die Größenordnung der Schadstoffkonzentration an der jeweiligen Probenahmestelle aus semiquantitativen Analysen oder aus Voruntersuchungen nicht bekannt ist bzw. wenn bereichsweise erhebliche Konzentrationsunterschiede nicht auszuschließen sind (z.B. Schadstoff in Phase), empfiehlt es sich beim Anreicherungsverfahren, unterschiedliche Bodenluftvolumina zu beproben, um bei Überladung des Adsorbens (eventuell auch bei Konzentrationen oberhalb des analytischen Arbeitsbereiches, wenn keine Verdünnung möglich ist) geringer beaufschlagte Probenröhrchen zur Verfügung zu haben.

Es empfiehlt sich außerdem grundsätzlich, an jeder Probenahmestelle mehrere (gleiche) Probengefäße abzufüllen (Mehrfachanalysen, Glasbruch). Dies sollte in Form einer Parallelbeprobung (vgl. Kap. 9.3.1 in ÖNORM S 2090) erfolgen. Bei Wiederholbeprobung (vgl. Kap. 9.3.2 in ÖNORM S 2090) können erfahrungsgemäß selbst bei unmittelbar aufeinander folgender Probenabfüllung erhebliche Konzentrationsunterschiede bzw. abweichende Analyseergebnisse (>1 Zehnerpotenz) auftreten.

Die Lagerungstemperatur der Proben sollte im Bereich der Entnahmetemperatur der Bodenluft (im Allgemeinen 10-15 °C) gewählt werden.

Die Laboranalyse auf CKW erfolgt generell gaschromatographisch unter Einsatz geeigneter Detektoren, üblicherweise entweder Elektroneneinfangdetektor (ECD) oder massenselektiver Detektor. Die Analytik wird in Grundzügen in der ÖNORM S 2090 beschrieben. Ein eigenes Norm-Verfahren für Bodenluftproben ist derzeit nicht bekannt. Beschreibungen von gaschromatographischen Analysemethoden einschließlich qualitätssichernder Maßnahmen finden sich in der VDI-Richtlinie Nr. 3865 (Blatt 3 und Blatt 4). Darüber hinaus liegen normierte Verfahren für Raumluft vor (s. Kapitel 5.4), die als Grundlage für Analyseverfahren verwendet werden können. Die Analyseergebnisse sind in der Einheit mg/m<sup>3</sup> anzugeben.

Für semiquantitative Analysen im Feld können direktanzeigende Prüfröhrchen eingesetzt werden. Aufgrund der möglichen Querempfindlichkeiten und der möglichen Beeinflussung der Analyseergebnisse durch Umweltfaktoren (z.B. Temperatur und Feuchtigkeit der Bodenluft) sind die Analyseergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Sofern im Vergleich mit Laboranalysen eine Überein-

---

<sup>7</sup> Dichlormethan wird nach Anreicherung auf XAD4 bereits bei geringen Konzentrationen mit < 60 % wiedergefunden (VDI 3865 Blatt 3); Vinylchlorid und andere Substanzen mit sehr geringen Siedepunkten werden auf Aktivkohle nur teilweise adsorbiert (VDI 3865 Blatt 2)

stimmung oder zumindest eine Korrelation der Analysenergebnisse festzustellen ist, kann der ergänzende Einsatz von Prüfröhrchen, z.B. für die Vorauswahl von Laborproben und zur Abgrenzung von Kontaminationen, zweckmäßig sein. Zumeist ist eine Umrechnung von ppm in mg/m<sup>3</sup> erforderlich.

Eine weitere Möglichkeit zur Direktmessung im Feld besteht im Einsatz von Photoionisationsdetektoren (PID) mit für CKW geeigneter Lampe, Flammenionisationsdetektoren (FID) oder Infrarot-Detektoren (IR). Ohne exakte Kenntnis des Schadstoffspektrums und entsprechende Kalibration des Detektors ist eine quantitative Auswertung des Summensignals nicht möglich. Das Summensignal kann jedoch grundsätzlich zur Vorauswahl von Laborproben und zur Kontaminationsabgrenzung dienen.

Ein vollständiger Ersatz der Laboranalytik durch Prüfröhrchen oder Direktmessung im Feld ist nicht empfehlenswert.

## 5.2 Feststoff

Im Allgemeinen werden Untergrundverunreinigungen mit CKW in erster Linie mit Hilfe von Bodenluftuntersuchungen erkundet. Die Gewinnung von Bodenluftproben kann jedoch in Abhängigkeit des Untergrundaufbaus z.B. bei feinkörnigen Böden auf Grund geringer Durchlässigkeit oder bei oberflächennahem Grundwasser nicht zweckmäßig oder nicht möglich sein. Im Einzelfall kann daher eine Untersuchung von Feststoffproben auf CKW zweckmäßig bzw. erforderlich sein.

Die Beurteilung von Untergrundverunreinigungen mit CKW auf Basis der Untersuchung von Feststoffproben ist mit großen Unsicherheiten behaftet, die vor allem auf die Möglichkeit von hohen Verlusten der flüchtigen Schadstoffe während der Sammlung von Feststoffproben zurückzuführen sind. Bei der Sammlung von Feststoffproben für eine Untersuchung auf CKW sind daher besondere Vorkehrungen zu treffen, um die Verluste durch Ausgasen während der Probenahme und bis zur Untersuchung im Labor zu minimieren.

Grundsätzlich sollte die Entnahme von Feststoffproben gemäß der ÖNORM S 2091, und dort unter besonderer Berücksichtigung des Kapitels 7.4, durchgeführt werden. Die nachstehend dargestellten Präzisierungen, die sich aus den Empfehlungen der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU 2002) und der ÖNORM S 2124 ergeben, dienen der Vereinheitlichung der Vorgangsweise und sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

Eine Feststoffprobenahme zur Bestimmung von CKW ist grundsätzlich nur bei feinkörnigen Bodenschichten in der wasserungesättigten Zone zielführend (max. Korndurchmesser 2 mm). Untergeordnet vorliegende Grobbestandteile wie Kies, Wurzeln und andere Fremdkörper sollen von der Probenahme nicht erfasst werden, jedoch sollte ihr Anteil abgeschätzt (oder ggf. per Siebanalyse bestimmt) und dokumentiert werden. Unter speziellen Fragestellungen können im Einzelfall auch grobkörnigere Feststoffproben oder/und Proben aus dem wassergesättigten Bereich (z.B. Stauer) gewonnen werden.

Es sind dicht verschließbare Probengefäße aus Glas zu verwenden (empfohlen werden 50 ml oder 100 ml Schraubglas-Weithalsflaschen mit PTFE-beschichtetem Schraubverschluss oder mit eingelegter PTFE-kaschierter Kunststoffdichtung). Zur Vorbereitung der Probenahme wird zweckmäßigerweise bereits im Labor das Lösungsmittel Methanol (blindwertfrei), das zur Konservierung und Extraktion verwendet wird, in den Probengefäßen vorgelegt. Bei Verwendung der oben angeführten Probengefäße sind 25 ml Methanol vorzulegen (das Lösungsmittelvolumen muss jedenfalls ausreichend zur vollständigen Überschichtung der Feststoffprobe sein). Diesem Lösungsmittel sollten zumindest 2 interne Standards (z.B. deuterierte CKW), die den Siedebereich der Analyten abdecken, in entsprechender Konzentration beigegeben werden. Das Gewicht des Probengefäßes und des Lösungsmittels müssen für die Auswertung der Analysenergebnisse bestimmt werden. Die Probengefäße sind bis zum Einsatz gekühlt aufzubewahren um Lösungsmittelverluste zu vermeiden.

Das aus den Untergundaufschlüssen entnommene Material muss unmittelbar nach der Ablage (z.B. in Kernkisten) beprobt werden. Bei längeren Wartezeiten kann es sonst durch Sonneneinstrahlung bzw. hohe Lufttemperaturen zu erheblichen Verlusten der leichtflüchtigen Analyten kommen.

Vor der Beprobung von Bohrkernen muss die äußere Schicht im Bereich der Entnahmestelle entfernt werden, da diese Bohrkernschicht nicht repräsentativ für den Untergrund sein könnte (Minderbefunde durch Verluste aufgrund einer möglicherweise stattfindenden Erwärmung der Bohrkern während des Bohrvorganges, Mehrbefunde aufgrund möglicher Verschleppung entlang des Kernrohres). Bei der Probenahme aus begehbaren Schürfen muss aus diesem Grund die Grubenwand im Entnahmebereich abgestochen werden. Bei ausgehobenem Material aus Schürfen oder Greiferbohrungen sollte die Probenahme aus dem Inneren ungestörter Zonen des bindigen Materials erfolgen.

Zur Gewinnung der Feststoffprobe (10-25 g) und sofortigen, sauberen Überführung in das Probengefäß ist der Einsatz von Stechzylindern (z.B. Edelstahl, Außendurchmesser passend zur Öffnung des Probengefäßes) mit Ausstoßstempel empfehlenswert. Zur Gewährleistung eines dichten Verschlusses des Probengefäßes sind Verunreinigungen der Kontaktflächen von Glas und Verschluss (Flaschenrand, Gewinde) unbedingt zu vermeiden bzw. durch entsprechende Reinigungsmaßnahmen zu entfernen. Die Proben müssen gekühlt (unter 10 °C) und lichtgeschützt gelagert und transportiert werden. Zur Bestimmung der Trockensubstanz (Angabe der Analysenergebnisse von CKW in mg/kg TS) und ggf. weiterer Parameter ist aus dem Probenahmebereich zusätzlich eine Feststoffprobe zu gewinnen und in geeigneten Gebinden abzufüllen.

Die Herstellung von Mischproben ist grundsätzlich nicht zweckmäßig. Für die Bestimmung des durchschnittlichen Gehaltes wird die Analyse mehrerer Stichproben empfohlen. Die Geräte zur Proben-sammlung müssen nach jeder Probe sorgfältig gereinigt werden.

Die Proben sollten grundsätzlich unverzüglich aufgearbeitet werden, bei fachgerechter Aufbewahrung (4 °C, dunkel) ist eine Lagerung bis zu maximal 7 Tagen zulässig.

Für die Analyse der Proben hinsichtlich CKW ist vorzugsweise die ÖNORM S 2124 heranzuziehen, in der die Analytik mittels statischer oder dynamischer Dampfphaseanalyse und GC-MS vorgesehen ist. Damit können Bestimmungsgrenzen im Bereich von 0,01-0,02 mg/kg erreicht werden. Die Analyse nach anderen Verfahren (z.B. SPME) und die Verwendung anderer Detektoren (z.B. ECD) sind grundsätzlich zulässig.

Neben den in der ÖNORM S 2124 genannten qualitätssichernden Maßnahmen wird die Untersuchung einer über den Tag der Probenahme mitgeführten Blindprobe des Lösungsmittels empfohlen.

### 5.3 Grundwasser

Grundsätzlich sollte die Entnahme von Grundwasserproben gemäß der ÖNORM S 2092, und dort unter besonderer Berücksichtigung des Kapitels 6.4.3, durchgeführt werden. Die nachstehend angeführten Ergänzungen und Präzisierungen, die sich aus der Literatur (BUWAL 2003) und der ÖNORM EN ISO 10301 ergeben, sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

- Veränderungen der CKW-Konzentrationen können bei der Gewinnung und Lagerung von Grundwasserproben im Wesentlichen aufgrund von Temperatur- und Druckunterschieden, den Kontakt mit Luft, Adsorptions- und Desorptionseffekten sowie mikrobiellem Abbau auftreten. Die Planung und Durchführung der Untersuchung von CKW in (Grund-)Wasserproben muss daher besonders sorgfältig erfolgen.
- Druckunterschiede, d.h. Unterdrücke, die zum Ausgasen der CKW führen, können in erster Linie durch geeignete Pumpen vermieden werden. Die überwiegend eingesetzten elektrischen Unterwasserdruckpumpen (Kreisel- oder Schneckenpumpen) sowie Trägheitspumpen sind als besonders geeignet anzusehen. Dagegen sind Lufthebe-, Saug- und Peristaltikpumpen we-

gen des entstehenden Unterdrucks bei der Wasserförderung für CKW-Untersuchungen ungeeignet.

- Temperaturunterschiede, i. S. eines Anstiegs der Proben temperatur über die Wassertemperatur des Grundwasserleiters, können zu CKW-Verlusten durch Ausgasung (v. a. bei Glasflaschen mit Schliffstopfen) und erhöhten mikrobiellen Metabolismus führen. In erster Linie betrifft dies den Zeitraum der Probenlagerung (im Feld und im Labor) und des Proben transports, in dem CKW-Verluste durch geeignete Maßnahmen (Kühlung, kurze Lagerzeiten) vermieden werden müssen. Bei hohen Außenlufttemperaturen und direkter Sonneneinstrahlung kann es bei geringen Förderströmen (z.B. gering ergiebiger Aquifer, Probenahme aus Direct Push-Sondierungen) auch während der Probenabfüllung zu deutlichen Temperaturanstiegen kommen, die entsprechende Maßnahmen (Beschattung, Abfüllung möglichst direkt an der Messstelle) erforderlich machen.
- Durch den Kontakt des Wassers mit der Umgebungsluft kann es zu Ausgasungen der CKW und zu Änderungen der Redox-Bedingungen in der Probe, die einen mikrobiellen Abbau mancher CKWs begünstigen, kommen. Daher sollten die Probengebinde unter laminaren Strömungsbedingungen vollständig und luftblasenfrei gefüllt werden (auch bei der Abfüllung in Headspace-Gefäße sollte im laminaren Strom abgefüllt werden und nicht mittels Spritze oder Pipette). Eine mögliche Vorgangsweise ist im Kapitel 6.4.3. der ÖNORM S 2092 beschrieben.
- CKW neigen wie andere organische Verbindungen auch zur Adsorption an Kunststoffe, woraus Minderbefunde bei der Analyse resultieren können. Durch Desorption der CKW können in weiterer Folge Verschleppungen der Schadstoffe zur nächsten Messstelle erfolgen und zu Überbefunden bei der Analyse führen. Grundsätzlich wäre daher die Verwendung von Stahlleitungen zu bevorzugen. Bei temporären Grundwasserentnahmen kommen aus praktischen Gründen jedoch zumeist Kunststoffschläuche zum Einsatz. Die geringsten Sorptionseffekte sind dabei vom Material PTFE und PP zu erwarten. HDPE, LDPE, Weich-PVC, Silikon und Kautschuk sind als ungeeignet anzusehen. Generell sollten Kunststoffe nur im unbedingt erforderlichen Ausmaß eingesetzt werden, bzw. die Schlauchlängen möglichst auf ein Minimum reduziert werden.
- Für Wiederholungsanalysen sollten mindestens 2 Probenbehälter abgefüllt werden. Die Anforderungen an u. a. die Probenbehälter und die Probenkonservierung sind in der ÖNORM EN ISO 5667-3 festgelegt.

Für die Analyse der Proben hinsichtlich CKW ist vorzugsweise die ÖNORM EN ISO 10301 heranzuziehen, in der 2 Verfahren (gaschromatographische Bestimmung nach Flüssig-Flüssig-Extraktion und gaschromatographische Bestimmung im statischen Headspace-Verfahren) beschrieben werden. Die in der Norm angegebenen „Quantifizierungsgrenzen“ liegen in der Praxis teilweise wesentlich niedriger, mit Bestimmungsgrenzen im Bereich  $<0,5 \mu\text{g/L}$ .

Die Grundwasserproben sind grundsätzlich binnen 48 h zu analysieren oder zu extrahieren (die Extrakte sind wesentlich stabiler als die Wasserproben) und bis dahin bei ca. 4 °C im Dunkeln zu lagern.

Die Angabe der Analyseergebnisse sollte für jede Einzelsubstanz sowie über Summenbildung gemäß den relevanten Beurteilungsgrundlagen (Normen, Verordnungen) in  $\mu\text{g/L}$  erfolgen.

Im Allgemeinen ist den GC-Analysen auf festgelegte CKW-Verbindungen gegenüber den früher häufig untersuchten Summenparametern „Adsorbierbare organisch gebundene Halogene“ (AOX, gemäß ÖNORM EN ISO 9562) und „Ausblasbare organisch gebundene Halogene“ (POX, gemäß DIN 38414-17) aufgrund der wesentlich höheren Aussagekraft und den niedrigeren Analysenkosten der Vorzug zu geben. Zur Prüfung, ob neben den analysierten CKW noch andere halogenierte Verbindungen in relevanten Konzentrationen vorliegen können jedoch im Einzelfall (z.B. bei ungewissem Schadstoffinventar) AOX- oder POX-Analysen zweckmäßig sein (zu beachten ist die Angabe des Ergebnisses als



Chlorid in µg/L). Eine Identifizierung dieser zusätzlichen Verbindungen kann anschließend über GC-MS-Screenings versucht werden.

Durch die Anwendung forensischer Verfahren ist die Ermittlung des Zeitpunktes der Entstehung und der Herkunft einer Verunreinigung (Verursacher) möglich. Die wichtigsten Methoden für derartige Untersuchungen – das GC-Fingerprinting, isotopengeochemische Methoden, Multi-Element-Verteilungsmuster, Bulk-Analysen, Spurenstoffe und Umwelt-Tracer – werden in der einschlägigen Literatur (z.B. ERTEL ET AL. 2009) beschrieben.

Mittels Isotopenuntersuchungen ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ,  $^{37}\text{Cl}/^{35}\text{Cl}$ ) kann der qualitative Nachweis von mikrobiellem CKW-Abbau erbracht und eine Abbau-Quantifizierung unabhängig von gleichzeitig stattfindenden Verdünnungs- und Sorptionsprozessen vorgenommen werden. Bei multiplen CKW-Kontaminationen kann anhand der Untersuchungen eine Schadensdifferenzierung erfolgen (GRANDEL & DAHMKE 2008, EISENMANN & FISCHER 2010). Die Vorgangsweise zur Probenahme unterscheidet sich grundsätzlich kaum von derjenigen für Konzentrationsmessungen (ggf. sind Konservierungsschritte vorzunehmen). Die Analyse erfolgt nach „Purge & Trap“-Anreicherung mittels GC-IRMS („Gas Chromatography Isotope Ratio Mass Spectrometry“) in spezialisierten Labors.

Zur Frachtermittlung im Grundwasser und auch zur tiefenorientierten Kartierung der Schadstofffahne können Passivsammler eingesetzt werden (MICHELS ET AL. 2008).

## 5.4 Raumluf

Die aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle mit anschließender Lösungsmittelextraktion wird in der ÖNORM M 5700-2 beschrieben. Auf die Probenahme wird weiters in der Richtlinie VDI 2100 Blatt 2 eingegangen (Untersuchung in Verbindung mit FID- oder ECD-Detektoren). Die Probenahme flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen in Verbindung mit thermischer Desorption und Kapillar-Gaschromatographie wird in der ÖNORM EN ISO 16017 Teil 1 und in der ÖNORM M 5700-3 sowie der Richtlinie VDI 2100 Blatt 3 beschrieben. Grundlagen zur gaschromatographischen Messung von Innenraumluf-Verunreinigungen finden sich in der ÖNORM M 5700-1.

Die aktive Probenahme auf geeigneten Adsorbentien sollte über einen Zeitraum von mehreren (bis zu acht) Stunden durchgeführt werden. Bezüglich der Eignung und Eigenschaften unterschiedlicher Adsorbentien wird auf Kap. 5.1 verwiesen.

Passivsammler sind entsprechend den Empfehlungen der Hersteller auszuwählen und anzuwenden.

Die Gesamtkonzentration der CKW in der Raumluf ist in Milligramm pro Kubikmeter (mg/m<sup>3</sup>) anzugeben. Für eine Plausibilitätsprüfung der erhaltenen Ergebnisse können Literaturdaten zu Hintergrundbelastungen von Innenräumen herangezogen werden (z.B. UMWELTBUNDESAMT 2011B).

## 6 DOKUMENTATION UND AUSWERTUNG

Die Durchführung und die Ergebnisse von Untersuchungen an CKW-kontaminierten Standorten sind in Berichtsform darzustellen und zu dokumentieren.

Der Bericht muss die Durchführung und die Ergebnisse von Untersuchungen schlüssig darstellen und eine lückenlose Nachvollziehbarkeit und Prüfbarkeit des Ablaufes und der Ergebnisse der Untersuchungen gewährleisten. Insofern muss der Bericht jedenfalls folgende allgemeine Inhalte aufweisen:

- Beschreibung der durchgeführten Erkundungsmaßnahmen (Zielsetzung der Untersuchungen, zeitlicher Ablauf, Art der Ausführung, besondere Vorkommnisse, etc.) und der jeweiligen Ergebnisse (z.B. geologische Verhältnisse, Grundwasserqualität, Bodenluftzusammensetzung)
- Zusammenschau und Erläuterung der Ergebnisse aller bisher durchgeführten Erkundungsmaßnahmen
- Dokumentation aller ermittelten Daten und Erkenntnisse durch entsprechende Belege (z.B. Analysenprotokolle, Probenahmeprotokolle, Bohrprotokolle, Bohrprofile, Ausbauprofile von Messstellen, Besprechungsvermerke, Fotos, Lagepläne von Betriebsanlagen und Probenahmestellen, eingeholte Gutachten, Angabe von Berechnungsgrundlagen)
- Darstellung ermittelter Daten in übersichtlicher Form (z.B. geologische Schnitte, Grundwasserschichtenpläne, Darstellung von zeitlich oder räumlich veränderlichen Daten wie Grundwasserspiegellagen und Schadstoffkonzentrationen durch Tabellen, Graphiken und Pläne).
- Dokumentation und Beschreibung notwendiger Hintergrunddaten zur Unterstützung der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Messdaten (Probenvorbehandlung, Probenaufbereitung, analytische Methoden, Bestimmungs- und Nachweisgrenzen, Messunsicherheit, etc.)

Bei sämtlichen Untergrundaufschlüssen (z.B. Sondierungen, Bohrungen) ist der Untergrundaufbau in Form von Bohrprofilen gemäß ÖNORM B 4401 Teil 3 und 4 zu protokollieren und zeichnerisch darzustellen.

Anhand von Pumpversuchsergebnissen ist mittels geeigneter Berechnungsmethoden die hydraulische Durchlässigkeit ( $k_F$ -Wert) der wassergesättigten Zone abzuschätzen und anhand des Untergrundaufbaus auf Plausibilität zu prüfen.

Für jede Stichtagsmessung der Grundwasserspiegellage ist ein Grundwasserschichtenplan zu erstellen, in dem zumindest die Grundwasserschichtenlinien, die Messstellen und die Messwerte (Absoluthöhen) dargestellt sind. Die Grundwasserschichtenpläne sind hinsichtlich zeitlicher Veränderungen der Wasserspiegellage (Schwankungsbereich), der Grundwasserfließrichtung und des Grundwassergefälles auszuwerten.

Die Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen sind für jede Grundwasser-Probenahmestelle (zeitliche Variabilität, vertikale Verteilung), für jeden Untersuchungstermin (räumliche, im Abstrombereich insbesondere laterale und longitudinale Verteilung), für Gruppen von Grundwasser-Probenahmestellen (z.B. Anstrom, naher und weiterer Abstrom) und über alle Messwerte eines Parameters hinweg (statistische Kennzahlen, Plausibilitätsprüfung) auszuwerten. Es sind die relevanten CKW und deren Abbauprodukte (z.B. cis-1,2-Dichlorethen, Vinylchlorid), die Parameter zur hydrochemischen Charakterisierung des Grundwassers (Redox-Potential, gelöster Sauerstoff, pH-Wert, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit), die sensorischen Parameter (Geruch, Färbung, Trübung, Bodensatz) sowie gegebenenfalls weitere charakteristische Begleit- und Indikatorparameter auszuwerten.

Anhand von Grundwasser-Probenahmestellen im Anstrom ist die lokale Grundwasserqualität (Chemismus, Vorbelastung) festzustellen. Eine signifikante Veränderung der Grundwasserqualität im Abstrom ist anhand der Auswertung der Differenzwerte gemäß ÖNORM S 2088-1 festzustellen.

Eine ausführlichere Darstellung der genannten Auswertungsmethoden findet sich in der Arbeitshilfe „Beurteilung und Sanierung von Schadstofffahnen bei kontaminierten Standorten“ (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Analog zur Auswertung von Grundwasseruntersuchungen sind die Ergebnisse von Bodenluft- und Feststoffuntersuchungen für jede Probenahmestelle (vertikale Verteilung, zeitliche Variabilität an stationären Messstellen), für jeden Untersuchungstermin (räumliche Verteilung, insbesondere bei temporären Messstellen zur Abgrenzung von Eintragsstellen und Schadensherden), für Gruppen von Probenahmestellen (z.B. verschiedene Bereiche des kontaminierten Standortes, Bereiche mit unterschiedlicher Oberflächengestaltung) und über alle Messwerte eines Parameters hinweg (statistische Kennzahlen, Plausibilitätsprüfung) auszuwerten.

Bei der Auswertung sind die Ergebnisse dem lokalen Untergroundaufbau (Schichtung) und den bekannten oder vermuteten Eintragsstellen und Schadensherden gegenüberzustellen.

Für den kontaminierten Standort ist anhand der Oberflächengestaltung in Verbindung mit meteorologischen und klimatologischen Standortdaten eine Abschätzung der Sickerwassermenge gemäß der Arbeitshilfe „Abschätzung von Sickerwasserbelastungen“ (UMWELTBUNDESAMT 2011A) durchzuführen.

Anhand der Ergebnisse von Bodenluft- und Feststoffuntersuchungen in Verbindung mit der abgeschätzten Sickerwassermenge kann unter bestimmten Voraussetzungen und mit gewissen Einschränkungen (vgl. Kap. 4.4.1 und 4.4.3) die Größenordnung einer möglichen Belastung des Sickerwassers gemäß der Arbeitshilfe „Abschätzung von Sickerwasserbelastungen“ (UMWELTBUNDESAMT 2011A) abgeschätzt werden. Gemäß dem Leitfaden „Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) – Stoffeigenschaften“ (MUNZ & HÄNER 2009) kann auch die Gesamtschadstoffmenge im Untergrund und die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von CKW-Phasen in der wasserungesättigten Zone abgeschätzt werden. Zur Plausibilitätsprüfung der Sickerwasserbelastung mit CKW ist die Rückrechnung der Schadstofffracht im Sickerwasser aus Grundwasserdaten (UMWELTBUNDESAMT 2011A) eine geeignete Methode, da diese Rückrechnung für leichtflüchtige Schadstoffe sehr schnell und einfach ausgeführt werden kann.

Die Untersuchungsergebnisse sind gemäß Kapitel 7 zu beurteilen und in einem Standortmodell gemäß Kapitel 3 abzubilden.

## 7 BEURTEILUNG

Die Beurteilung von Untergrundverunreinigungen sollte sowohl auf der Ebene der Messergebnisse als auch auf der Ebene des Standortmodells erfolgen.

Mögliche Beurteilungskriterien für Messergebnisse (Porenluft, Feststoff, Grundwasser, etc.) sind nachstehend angeführt:

- Höhe der Messwerte, klassifiziert nach Größenordnung und/oder im Verhältnis zu Hintergrundwerten, Referenzwerten, Orientierungs- und Grenzwerten, zur räumlichen Abgrenzung unbelasteter, belasteter und erheblich belasteter Bereiche (Eintragsstellen, Schadensherde, Länge und Breite der Schadstofffahne)
- Plausibilität der Messwerte, z.B. anhand chemisch-physikalischer Stoffeigenschaften, der räumlichen Verteilung der Messwerte im Verhältnis zu den lokalen Untergrundbedingungen (z.B. Korngrößenverteilung und Feuchtegrad des Untergrunds bei Bodenluftuntersuchungen) und der vermuteten Schadstoffverteilung (z.B. aus historischer Erhebung) sowie anhand von Sensorik und chemischen Standortverhältnissen (z.B. Redox-Verhältnisse im Grundwasser)
- Vorliegen von „Schadstoffmustern“, z.B. (molares) Verhältnis von CKW-Einzelsubstanzen zueinander, und deren Interpretation (z.B. Hinweis auf unterschiedliche Schadensherde, Schadstoffabbau)
- (Jahres-)zeitliche Variabilität von Messwerten, Trends (siehe Anhang zur Arbeitshilfe „Beurteilung und Sanierung von Schadstofffahnen bei kontaminierten Standorten“ (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG))
- Expositionsabschätzung im Einzel- bzw. Anlassfall (z.B. Belastung der Innenraumluft oder des Trinkwassers), siehe hierzu die Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten (UMWELTBUNDESAMT 2011B)

Einen Überblick über Orientierungs- und Grenzwerte für CKW in Bodenluft, Grundwasser und Oberflächenwasser gibt Anhang 6. In Anhang 1 der Grenzwertverordnung 2011 (BGBl. II Nr. 253/2001 i.d.g.F.) finden sich Grenzwerte (MAK- und TRK-Werte) für zahlreiche CKW-Einzelsubstanzen in Raumluft<sup>8</sup>. Bezüglich toxikologischer Vergleichswerte wird auf die Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten (UMWELTBUNDESAMT 2011B) verwiesen. Für das Medium Boden bzw. Feststoff existieren in Österreich für CKW keine geeigneten<sup>9</sup> Orientierungs- oder Grenzwerte, als Grundlage zur Beurteilung können die Orientierungswerte aus dem Merkblatt ALEX 02 (LFUG-LFW 1997) herangezogen werden.

Auf der Ebene des Standortmodells sind die Untersuchungsergebnisse zusammengefasst bzw. abstrahiert, im Sinne des System- und Prozessverständnisses und im Hinblick auf aktuelle und potentielle Gefährdungen von Schutzgütern und deren Nutzungen zu beurteilen. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte zu beurteilen:

---

<sup>8</sup> Die MAK- und TRK-Werte sind für die Beurteilung der Raumluft am Arbeitsplatz abgeleitet. Sie bzw. die Grenzwertverordnung sind auf Arbeitsstätten, Baustellen und auswärtige Arbeitsstellen im Sinne des ASchG anzuwenden. MAK- und TRK-Werte sind daher für die Beurteilung der (Wohn-)Raumluft bei CKW-kontaminierten Standorten nur eingeschränkt geeignet, können jedoch orientierend herangezogen werden.

<sup>9</sup> Die Grenzwerte der Deponieverordnung (BGBl. II Nr. 39/2008 i.d.g.F., CKW-Parameter: POX im Gesamtgehalt, EOX im Eluat) stellen maximal zulässige Konzentrationen dar, die jedoch im Zusammenhang mit der jeweiligen Deponietechnik zu sehen sind, und daher bei CKW-kontaminierten Standorten (in der Regel ohne entsprechende Einrichtungen) für die Beurteilung einer Gefährdung von Schutzgütern nicht geeignet sind. Bei Eluat-Untersuchungen auf EOX ist ferner zu berücksichtigen, dass aufgrund der Flüchtigkeit der CKW erhebliche Minderbefunde und nicht reproduzierbare Analysenergebnisse zu erwarten sind.

- Eigenschaften des Untergrunds (z.B. Korngrößenverteilung, Porosität, Schichtfolgen, Schichtverlauf, organischer Gehalt, Wassergehalt, hydraulische und pneumatische Durchlässigkeit, bevorzugte Wegigkeiten, Störungen des Untergrundgefüges)
- Hydrogeologischer Standorttyp, siehe hierzu die Arbeitshilfe „Beurteilung und Sanierung von Schadstofffahnen bei kontaminierten Standorten“ (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG)
- Eigenschaften der relevanten Schadstoffe
- Räumliche Verteilung der relevanten Schadstoffe im wasserungesättigten (Porenluft, Feststoff) und wassergesättigten (Grundwasser) Untergrundbereich
- Schadstoffmengen im Untergrund bzw. in dessen Kompartimenten Porenluft, Feststoff, Sickerwasser, Grundwasser
- (Kausaler) Zusammenhang zwischen den Eintragsstellen/Schadensherden und den festgestellten Kontaminationen im wasserungesättigten und wassergesättigten Untergrundbereich
- Aktuelles und zukünftiges Ausbreitungsverhalten der Schadstoffe in der wassergesättigten und wasserungesättigten Zone
- Schadstofffrachten im Sickerwasser und im Grundwasser (ggf. auch Oberflächenwasser)
- Auswirkungen auf bestehende Nutzungen (z.B. Wasserversorgungen, wasserrechtlich besonders geschützte Gebiete) und die ökologische Bedeutung der Schutzgüter sowie im Hinblick auf das Ressourcenmanagement
- Abschätzung der Unsicherheiten in den Untersuchungsergebnissen (z.B. historische Recherche, Erkundungs-, Probenahme- und Analysenmethoden)

Bei der Beurteilung der genannten Aspekte sind die Arbeitshilfen „Abschätzung von Sickerwasserbelastungen“ (UMWELTBUNDESAMT 2011A), „Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten“ (UMWELTBUNDESAMT 2011B) und „Beurteilung und Sanierung von Schadstofffahnen bei kontaminierten Standorten“ (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG) zu berücksichtigen.

Ergibt die Beurteilung, dass ein konkretes Risiko für die Gesundheit von Menschen oder die Umwelt besteht, sind weitere Maßnahmen (Dekontamination, Sicherung, Beobachtung, Nutzungsbeschränkung) notwendig und die zuständigen Behörden zu informieren.

## 8 VARIANTENUNTERSUCHUNG

Der Ablauf von Sanierungsprojekten ist in der ÖNORM S 2089 ausführlich dargestellt. Im Folgenden werden zur Überleitung auf Kapitel 9 einige wesentliche Aspekte herausgegriffen.

Ausgehend vom Standortmodell sowie unter Berücksichtigung von gegebenenfalls bestehenden Einschränkungen aus der Nutzungs- und Bebauungssituation des Standortes und/oder seiner Umgebung sind, in Abstimmung mit den zuständigen Behörden, vorläufige Sanierungsziele zu definieren. Diese werden aus übergeordneten Sanierungszielen abgeleitet und konkretisieren die Sanierungsziele standortspezifisch sowohl qualitativ als auch quantitativ (Sanierungszielwerte, Reinigungsanforderungen).

Zweck der Vorauswahl von Sanierungszielen ist, dass alle in weiterer Folge bewerteten Sanierungsvarianten nachvollziehbar einheitliche Kriterien erfüllen und damit vergleichbar sind. Wesentlichstes Kriterium für die Vorauswahl von Sanierungsverfahren ist die technische Eignung für eine standortspezifische Anwendung. Bei der Variantenstudie erfolgt eine Grobplanung für die einzelnen Sanierungsverfahren und zweckmäßige Kombinationen. Varianten, die geeignet sind, das vorläufige Sanierungsziel in einem klar definierten Zeitraum zu erreichen, werden im Hinblick auf ihre konkrete Ausführung beschrieben. Darauf aufbauend erfolgen Kostenschätzung sowie die Beurteilung von Aufwand (Kosten) und Nutzen (Wirksamkeit) anhand eines umweltökonomischen Bewertungsinstruments (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Im Einzelfall ist zu prüfen, ob und welche Detailuntersuchungen zur Verminderung von Unsicherheiten des Standortmodells notwendig sind. In Einzelfällen können auch Vorversuche zur Überprüfung der Eignung oder optimalen Auslegung von Sanierungsverfahren (insbesondere bei *in situ*-Sanierungstechnologien), bei Zweifel an der technischen Realisierbarkeit bzw. Wirksamkeit und zur Optimierung von Sanierungsverfahren bezogen auf die konkreten Standortverhältnisse zweckmäßig sein (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass für *in situ*-Sanierungsverfahren ein erhöhter Detaillierungsgrad des Standortmodells erforderlich ist, der mit höheren Erkundungskosten verbunden ist (z.B. Quellarchitektur der Schadstoffe, Ausbreitungsverhalten von Nährstoffen, Nachweis (potentiell) vorhandener Abbauaktivität), welche in der Regel durch diese Maßnahmen aber schnell wieder einspart werden.

## 9 SANIERUNGSMABNAHMEN UND SANIERUNGSTECHNOLOGIEN

Das Kapitel Sanierungsmaßnahmen und -technologien sowie der Anhang 5 geben einen kurzen Überblick über Sanierungstechnologien, die prinzipiell als geeignet anzusehen sind, um CKW-kontaminierte Standorte zu sanieren.

Die in Abbildung 5 dargestellten Technologien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, allerdings wurde versucht, eine fundierte Übersicht über gebräuchliche sowie über ausgewählte, in der fortgeschrittenen Entwicklung befindliche Technologien bzw. Prinzipien zu geben.

Die aufgeführten Verfahren gliedern sich grundlegend in Sicherungsverfahren, welche eine Unterbindung der Ausbreitung von leichtflüchtigen chlorierten Schadstoffe mit der Luft oder im Grundwasser zum Ziel haben sowie in Verfahren zur Dekontamination, welche primär die CKW-Quelle entfernen bzw. reduzieren sollen. Sicherungen lassen sich in aktive sowie in passive Technologien unterteilen. Dekontaminationsverfahren können je nach Ort der Behandlung in *ex situ* sowie *in situ* differenziert werden. Aufgrund der Fülle von *ex situ*-Behandlungsverfahren werden diese in weiterer Folge nur allgemein in On-Site und Off-Site Verfahren unterteilt. Der Betrachtungsfokus wurde auf *In-situ*-Verfahren gelegt. Diese Verfahren wurden nach Wirkungsmechanismen in biologische, chemische und physikalische Verfahren gegliedert.

Es wird darauf hingewiesen, dass diese Einteilung nicht absolut ist und sich eine Technologie weiters auch mehrfach eingliedern ließe (z.B. „pump & treat“ sowohl in die Sicherungs- als auch in die *In-situ*-Sanierungsverfahren). Weiters wird darauf hingewiesen, dass insbesondere bei *In-situ*-Sanierungen häufig Kombinationswirkungen von mehreren Wirkungsmechanismen (z.B. Bioventing – biologischer Abbau und Desorption) gegeben sind und diese auch gewünscht sind.

Generell werden in den folgenden Unterkapiteln und im Anhang die Verfahren in ihren Grundprinzipien dargestellt, und es wird auf wichtige Anwendungsvoraussetzungen hingewiesen. Betreffend einzelner Vor- und Nachteile zu den Technologien, mögliche Verfahrenskombinationen, welche nicht essentiell für die gesicherte Anwendung einer Technologie sind sowie eine vertiefende Beurteilung des Stands der Entwicklung wird auf weiterführende Literatur verwiesen (ÖVA 2010, ITVA 2010). Jene Verfahren (Spülungen mit Zusätzen, Mikrobiologische Verfahren mit Substratzugabe, Chemische Verfahren – ISCR und ISCO), für die aufgrund der Einbringung von grundwasserbelastenden bzw. grundwassergefährdenden Stoffen in Österreich besondere rechtliche Aspekte zu beachten sind, finden sich in Anhang 5.

Hinzuweisen ist darauf, dass die konkrete Beurteilung der Wirksamkeit und Effizienz einer Technologie für einen bestimmten Standort immer nur einzelfallspezifisch, z.B. im Rahmen von Variantenstudien möglich ist (vgl. Kap. 8). Für den erfolgreichen Einsatz einer Technologie, insbesondere der *In-situ*-Technologien, ist jedenfalls die fundierte Kenntnis des Standortmodells (vgl. Kap. 3) von elementarer Bedeutung. Im Bedarfsfall ist die Eignung vorab mittels Vorversuchen, Pilotierungen, usw. nachzuweisen. Neben den standortspezifischen Limitierungen sind weiters auch immer die festgelegten Sanierungsziele und -zielwerte, die Kosten und Ökoeffizienz aber auch arbeits- und genehmigungsrechtliche Anforderungen, usw. zu bewerten.

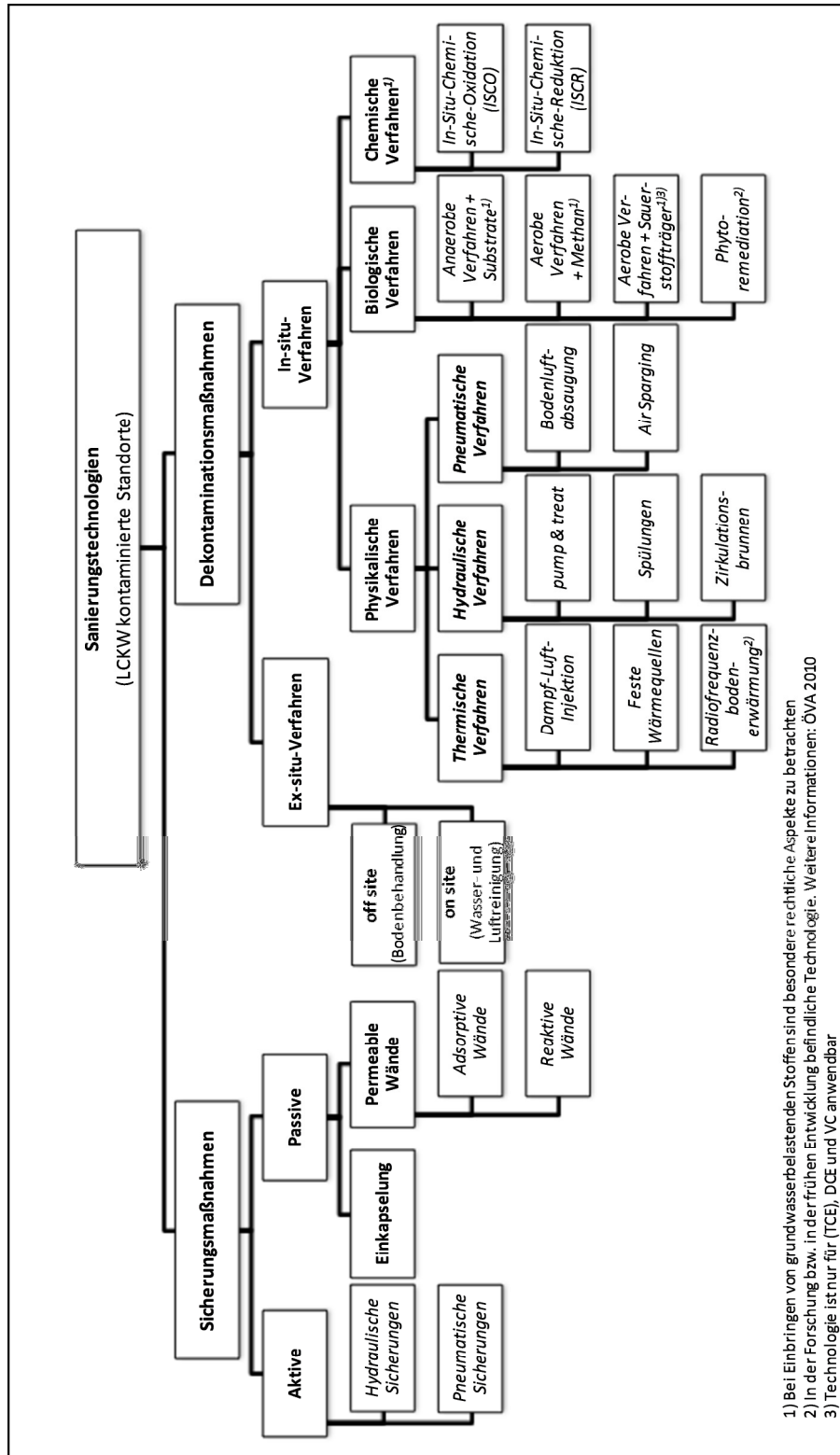


Abbildung 5: Ausgewählte Sanierungstechnologien (Dekontaminations- und Sicherungsverfahren) für CKW-kontaminierte Standorte



## 9.1 Sicherungsmaßnahmen

Zentrale Aufgabe der Sicherungsmaßnahmen ist es, die von einem Standort ausgehende Ausbreitung von CKW über das Wasser und/oder die Luft zu unterbinden, bzw. deutlich zu reduzieren. Hierzu lassen sich Sicherungen prinzipiell in aktive als auch passive Systeme einteilen.

Passive Sicherungsmaßnahmen an mit CKW kontaminierten Standorten sind z.B. die Errichtung von Barrieren durch (diffusionsdichte) Dichtungen im Rahmen des konstruktiven Bauwerksschutzes<sup>10</sup> (oftmals auch in Kombination mit aktiven Entlüftungen von Räumen und Drainagen, s.u.) sowie insbesondere vertikale Dichtungssysteme, wobei diese im Rahmen von CKW-Schäden primär als adsorptive oder reaktive Wände („funnel & gate“) ausgeführt werden. Oft sind passive Sicherungen die einzige Möglichkeit, eine Schadstoffausbreitung zu unterbinden, insbesondere dann, wenn eine Quellensanierung nicht möglich ist. Sicherungen mittels Sohlabdichtungen nehmen aufgrund ihrer im Nachhinein schweren Realisierbarkeit eine untergeordnete Stellung für CKW kontaminierte Standorte ein. Die ebenfalls zur Gruppe der Sicherungsmaßnahmen gehörenden Immobilisierungen sind zur Unterbindung der Freisetzung leicht flüchtiger oder gut löslicher Schadstoffe nicht geeignet.

Neben passiven Dichtungssystemen kommen zur Sicherung von CKW-Schäden weiters aktive Maßnahmen, d.h. Wasserhaltungen (z.B. Abstrombrunnen) oder Entlüftungssysteme und Bewetterungen zum Einsatz.

Zum Teil erfolgen Kombinationen von aktiven und passiven Sicherungen wie z.B. die Absenkung des Grundwasserspiegels innerhalb einer Umschließung. Noch häufiger aber sind Kombinationen von Sicherungsmaßnahmen mit Verfahren zur Sanierung von CKW-Schäden, wie zum Beispiel *In-situ*-Dekontaminationsverfahren im Schutz einer Grundwasserabstromsicherung oder innerhalb einer Umschließung.

### 9.1.1 Aktive Sicherungsmaßnahmen

#### 9.1.1.1 Hydraulische Sicherungsmaßnahmen

Zur Unterbindung der Ausbreitung von leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen mit dem Grundwasserstrom ist eine der am häufigsten angewandten Sicherungstechnologien eine hydraulische Sicherung des Abstroms mittels einzelner Absenkbrunnen oder Brunnengalerien.

Durch eine kontinuierliche Entnahme von Grundwasser aus den Brunnen wird ein hydraulisches Gefälle, und damit ein Grundwasserstrom zu den Brunnen, erzwungen. Ein Umströmen der Brunnen und ein Abströmen von CKW mit dem Grundwasser werden damit unterbunden. Die geförderten Wässer werden in der Regel einer Wasseraufbereitung On-Site (s. Kapitel 9.2.2) zugeführt und gereinigt. Je nach Zielstellung der Maßnahme werden die gereinigten Wässer oberstromig, am Standort oder unterstromig der Kontamination wieder versickert. Oftmals ist eine hydraulische Sicherung des Abstroms eines kontaminierten Standortes eine wesentliche Genehmigungsvoraussetzung für die Durchführung von *in situ*-Maßnahmen (vgl. Kapitel 9.3) bzw. wird in Kombination mit diesen *in situ*-Maßnahmen angewandt.

Ihre Anwendungsgrenzen findet das Verfahren bei schlecht durchlässigen Sedimenten (Tone, Schluffe) und bei Schadensfällen in klüftigen Festgesteinen. Weiters ist insbesondere bei Vorliegen von CKW in Phase darauf zu achten, dass diese eine höhere Dichte als Wasser besitzen, und dass daher die Brunnen so auszulegen sind, dass diese den gesamten Abstrom erfassen.

---

<sup>10</sup> auf diese Maßnahmen wie Diffusionssperren, Dichtanstriche, Foliendichtungen usw. wird im Folgenden nicht vertiefend eingegangen.

### 9.1.1.2 Pneumatische Sicherungsmaßnahmen

Als pneumatische Sicherungsmaßnahmen kommen an mit CKW belasteten Standorten in der Regel Schutz-Entgasungen bzw. Bewetterungen (aktive Belüftung) von unterirdischen Objekten sowie entlüfteten Gasdrainagen, welche an unterirdische Gebäudeteile angrenzen, vor. Ein aktives Absaugen über in kontaminierten Bereichen situierte Lanzen wird den *In-situ*-Dekontaminationsverfahren zugeordnet. Bei Tätigkeiten, welche kurzfristig eine erhöhte Mobilisierung von CKW befürchten lassen (z.B. Baumaßnahmen), werden weiters oftmals sogenannte Saugvorhänge, bestehend aus mehreren in Reihe geschalteten Entlüftungslanzen bzw. -brunnen, eingesetzt, welche den offenen Bereich oder unterirdische Objekte gegen ein Eintreten von leichtflüchtigen Schadstoffen aus dem kontaminierten Bereich abschirmen. Bei den absaugenden Verfahren erfolgt i.d.R. die Reinigung der mit CKW belasteten Abluft mittels einer On-Site Gasreinigung über Aktivkohlefilter (s. Kapitel 9.2.2).

Die Bewetterung oder die Entlüftung von Gasdrainagen oder unterirdischen Objekten wie z.B. Kellerräumen unterliegt primär baulichen Limitierungen und sind in der Regel relativ gut und einfach realisier- und beherrschbar, allerdings sind diese jedenfalls um weitere Sicherheitstechnologien zu ergänzen, um ein gefahrloses Betreten von z.B. Räumen zu gewährleisten. Eine direkte Entlüftung von Boden bzw. Untergrund findet seine Anwendungsgrenzen bei schlecht gasdurchlässigen Sedimenten (Tone, Schluffe) bzw. sehr hohen Wassergehalten. In diesen Fällen ist oftmals aber auch eine Gasmigration als eingeschränkt zu charakterisieren.

### 9.1.2 Passive Sicherungsmaßnahmen

Neben den klassischen Umschließungen mittels Dichtwänden, wie Schlitz- oder Schmalwänden, sowie mittels Spundwänden, welche alle ausschließlich ein Abströmen von Grundwasser von Schadensherd weg unterbinden, werden vermehrt passive hydraulische Verfahren zur Sicherung und Reinigung des Grundwasserabstroms von kontaminierten Standorten in Form sogenannter „Permeabler Reaktiver Reinigungswände“ oder „Permeabler Adsorptiver Reinigungswände“ eingesetzt. Diese permeablen Wände setzen sich zumeist aus einer klassischen Dichtwand („*funnel*“) als Leitwände und einem permeablen Bereich – in Form von Fenstern („*gate*“) bis hin zu vollflächig durchströmten Wänden – zusammen, wobei diese durchlässigen Reinigungsbereiche zumeist quer zur Grundwasserfließrichtung eingebaut werden, um eine möglichst geringe Beeinflussung des Grundwasserkörpers sowie die natürliche Grundwasserhydraulik *in situ* zur Durchströmung auszunutzen. Die Füllung der Reinigungswände und Reinigungsfenster besteht aus Material, an dem die im Grundwasser gelösten Schadstoffe abgebaut, gefällt oder adsorbiert werden. Betreffend den Abbau von CKW bietet sich als reaktive Füllung (reaktive Wände) insbesondere nullwertiges Eisen als Reduktionsmittel an. Steht der adsorptive Rückhalt von Schadstoffen im Vordergrund (adsorptive Wände) werden als Füllmaterialien organische Materialien mit großen Oberflächen wie Aktivkohle oder andere Kohlenarten (Braunkohle, Steinkohle, usw.) eingesetzt.

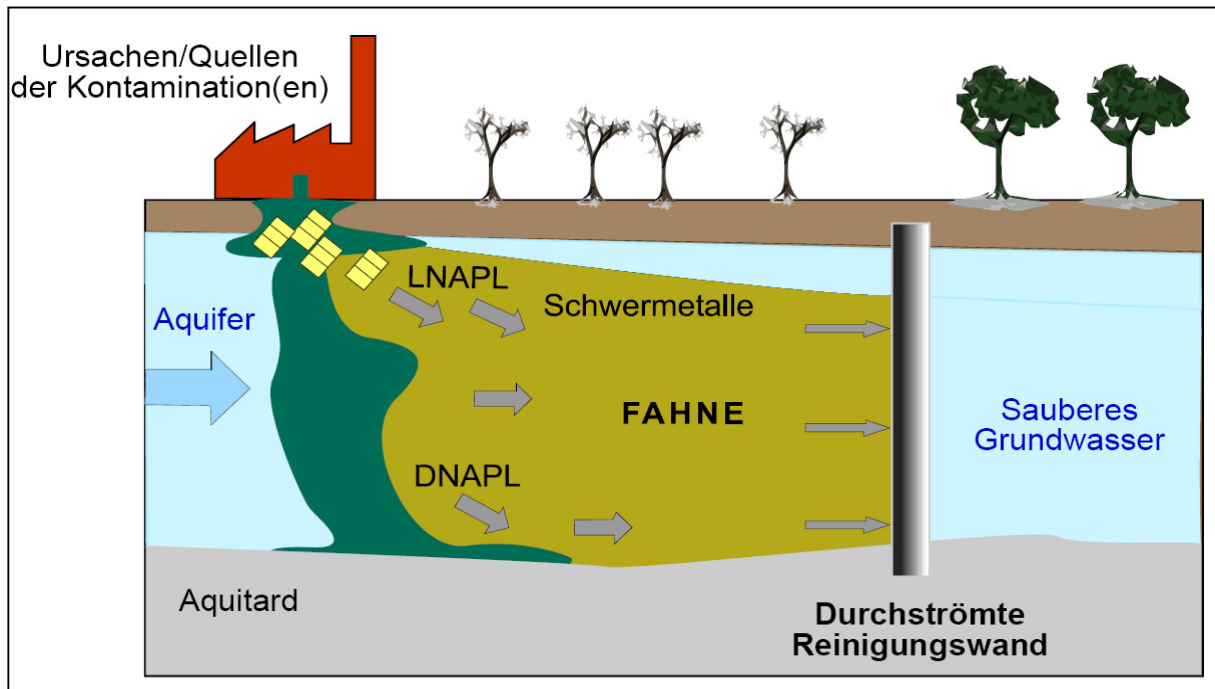


Abbildung 6: Prinzip einer reaktiven Wand; Quelle: RUBIN 2006

Betreffend die Anwendungsgrenzen von Dichtwänden ist es im Falle von CKW-Kontaminationen wichtig, den Grundwasserstauer in technisch erreichbaren Tiefen vorliegen zu haben, um in diese die Dichtwand einbinden zu können und somit ein Unterströmen zu verhindern. Weitere Einschränkungen für die Anwendung von permeablen Wänden können sich insbesondere bei ungleichförmiger Durchströmung des Grundwasserleiters und stark wechselnden Strömungsverhältnissen ergeben.

Um ein Um- und Unterströmen der Wand zu vermeiden, ist als wichtige Voraussetzung für die Auslegung einer permeablen Wand die Erstellung eines hydraulischen Grundwassermodells anzusehen.

## 9.2 Ex-situ-Dekontaminationsmaßnahmen

Grundcharakter aller Dekontaminationsverfahren *ex situ* ist es, dass eine Zerstörung leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe entweder in Anlagen, die temporär vor Ort (On-Site) errichtet werden oder aber in stationären Behandlungsanlagen, die sich vom Standort entfernt befinden (Off-Site), erfolgt. Prinzipiell sind hierzu die kontaminierten Medien auszuheben (Boden, Untergrund, Abfälle), abzupumpen (Wässer) oder abzusaugen (Gase). In der Regel erfolgt eine Dekontamination eines mit CKW belasteten Aushubs Off-Site. Die Behandlung von gefassten, mit CKW kontaminierten Wässern und Gasen hingegen erfolgt i.d.R. On-Site; diese werden dann aber oftmals den *in situ*-Verfahren zugeordnet (z.B. „pump & treat“-Verfahren).

Für den Aushub von CKW-kontaminierten Materialien kommen sowohl klassische Verfahren des Erdbaus (z.B. mittels Baggern, usw.) als auch ausgewählte Verfahren des Spezialtiefbaus (z.B. Aushübe mittels Wabenverfahren, überschnittene Bohrungen, usw.) zum Einsatz. Aufgrund der hohen human-toxikologischen Relevanz der CKW ist insbesondere bei Grabarbeiten an CKW-kontaminierten Standorten auf einen ausreichenden Arbeits- aber auch Anwohner- und Umweltschutz zu achten. Offene Baugrubenbereiche sollten möglichst klein gehalten werden. Insbesondere im Falle etwaig notwendiger Einhausungen zum Zweck des Anwohnerschutzes muss auf einen ausreichenden Schutz der innerhalb der Einhausung arbeitenden Personen geachtet werden. Hierbei sind technische (z.B. Bewet-

terungen, fremdbelüftete Arbeitsgeräte), vor organisatorischen (Minimierung des Arbeitseinsatzes) und diese vor persönlichen Schutzmaßnahmen (Arbeitsschutzmasken mit geeigneten Filtersystemen oder auch z.B. im Fall von VC unabhängiger Atemschutz) vorzuziehen. Ebenso sind bei Manipulation und Transport geeignete Technologien festzulegen (Behälter oder Tankwagen für CKW enthaltende Fässer, diffusionsdichte Transportbehälter oder Transportbehälter mit Aktivkohle-Filtern für stark kontaminierte Böden, usw.) und eine Gefährdung von Anwohnern und der Umwelt möglichst gering zu halten. Weiters ist jedenfalls zu prüfen, ob eine Grundwasserabstromsicherung (vgl. 9.1.1.1) zum Schutz vor etwaig durch die Grabmaßnahmen mobilisierte CKW im Grundwasser notwendig ist.

### 9.2.1 Dekontaminationsmaßnahmen Off-Site

Insbesondere die Behandlung von CKW-kontaminierten Abfällen oder Böden erfolgt in spezialisierten Dekontaminationsanlagen Off-Site. Ein weiterer Anwendungsfall für Off-Site-Anlagen ist die Behandlung von CKW-Schlamm. Prinzipiell existieren Off-Site-Anlagen für CKW-kontaminierte Wässer, im Allgemeinen erfolgt deren Behandlung aber aufgrund der hohen Transportvolumina gegenüber den vergleichsweise geringeren Schadstoffgehalten On-Site (vgl. 9.2.2). Etwaige Reinigungsrückstände der Wasseraufbereitungen wiederum werden in der Regel in externen stationären Anlagen dekontaminiert.

Es existieren diverse Off-Site-Anlagen für die Behandlung von CKW-kontaminierten Medien. Die aber mit Abstand relevanteste Technologie bei der CKW-Behandlung ist die Thermik. In thermischen Bodenbehandlungsanlagen sowie Sondermüllverbrennungsanlagen ist das Hauptprinzip immer die physikalische Zerstörung der CKW bei hohen Temperaturen. In Sondermüllverbrennungsanlagen wird das gesamte kontaminierte Material i.d.R. in Drehrohröfen auf 1.100–1.300 °C aufgeheizt. Eine Mindesttemperatur von 1.100 Grad Celsius ist einzuhalten, um die Entstehung von Dioxinen zu unterbinden. Der Vorteil der Sonderabfallverbrennung mittels Drehrohr liegt darin, dass Abfälle sehr unterschiedlicher Konsistenz und Stückigkeit verbrannt werden können. So können neben Feststoffen und Schlamm auch Fässer mit Lösungsmitteln aufgegeben werden. Heizwertreiche Lösemittelabfälle werden in der Regel gerne zur energieintensiven Befuerung der Öfen angenommen. Im Fall der thermischen Bodenbehandlung erfolgt in einer ersten Stufe die Aufheizung des Bodens bis auf maximal 550 °C. Leichtflüchtige organische Schadstoffe verdampfen in die Gasphase und werden in eine zweite thermische Stufe überführt. Hier erfolgt die Zerstörung der CKW in der Abluft bei zumindest 1.100 °C. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, dass die Struktur des Bodens erhalten bleibt.

### 9.2.2 Dekontaminationsmaßnahmen On-Site

On-Site-Dekontaminationsmaßnahmen für CKW-kontaminierte Medien umfassen i.d.R. kontaminierte Wässer sowie kontaminierte Abluft<sup>11</sup>. Die Zutage-Förderung von belasteten Wässern erfolgt mittels Pumpen mit anschließender Aufbereitung der Wässer über Strippanlagen oder mittels Nass-Aktivkohlefiltern. Die Absaugung von kontaminierter Luft erfolgt i.d.R. über explosionsgeschützte Seitenkanalverdichter (selten Wasserringpumpen) und die Behandlung mittels Luft-Aktivkohlefiltern.

Zum Strippen von CKW aus zutage-geführten Wässern wird das belastete Wasser zum Kopf einer Strippanlage gepumpt. Von dort rieselt es über Füllkörper nach unten, wobei zeitgleich von unten nach oben Luft in die Filter geblasen wird (Gegenstrom). Leichtflüchtige Stoffe gasen vom Wasser in die Luft aus, d.h. sie werden gestrippt. Die mit CKW kontaminierte Abluft verlässt am Kopf die

---

<sup>11</sup> Die Behandlung von CKW-kontaminierten Böden z.B. in mobilen thermischen Bodenbehandlungsanlagen On-Site (vgl. 9.2.1) sind möglich, werden aber wegen der erhöhten Anforderungen an die Genehmigung selten und nur für große Schadensfälle eingesetzt.

Strippanlage und wird durch Luft-Aktivkohlefilter geleitet. Ebenso wie bei der Reinigung direkt abgesaugter CKW-kontaminierter Bodenluft bei den klassischen Absaugverfahren werden die CKW an der Aktivkohle adsorbiert. Im Bedarfsfall wird die beladene Aktivkohle gegen neue Aktivkohle ausgetauscht, wobei die Standzeit im Wesentlichen von der Art und der Menge der organischen Stoffe, dem Schadstoffmix, der (Luft-)Feuchte sowie der Beladekapazität und Art der Kohle abhängt. Im Fall sehr großer Schadstoff-Belastungen werden i.d.R. mehrere Strippanlagen sowohl parallel als auch hintereinander geschaltet (zwei- oder mehrstufige Anlagen).

Im Fall der Aufbereitung von CKW-kontaminierten Wässern mittels Nass-Aktivkohlefiltern wird das gefasste Wasser direkt über Nass-Aktivkohle geleitet und so die CKW durch Adsorption direkt aus dem belasteten Wasser entfernt. Ebenso wie bei den Aktivkohlen, welche in der Luftreinigung eingesetzt werden, wird auch die beladene Nass-Aktivkohle anschließend ausgewechselt und behandelt. Hierbei ist anzumerken, dass Nass-Aktivkohle aufgrund seiner geringeren Beladekapazität gegenüber Luft-Aktivkohle eher zur Reinigung von kontaminiertem Grundwasser mit geringen CKW-Schadstofffrachten geeignet ist.

Einen großen Einsatzbereich finden diese Filtertechnologien oftmals im Bereich der *in situ*-Dekontamination, bei der eine ergänzende Behandlung von abgesaugten kontaminierten Gasen oder gefasster kontaminierter Wässer notwendig wird. Ihre Anwendungsgrenze hat die Reinigung mittel Aktivkohlefiltern insbesondere bei Vorliegen größerer Konzentrationen von Vinylchlorid, da sich dieses aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften nicht stabil an Aktivkohle anlagert und damit unzureichend zurückgehalten wird. In diesen Fällen ist der Einsatz von weiteren Spezialfiltern (z. B. beschichtete Aktivkohle) aber auch anderen Gasaufbereitungstechnologien (Hochtemperaturfackeln, katalytische und nicht katalytische Oxidationen, usw.) einzelfallspezifisch zu prüfen.

### 9.3 Physikalische *In-situ*-Dekontaminationsmaßnahmen

*In-situ*-Dekontaminationstechnologien nutzen den Untergrund als Reaktionsraum. Grundsätzlich benötigen damit alle *In-situ*-Verfahren, bei denen Gas oder Flüssigkeit entnommen oder injiziert wird (z.B. Grundwasser, Bodenluft, Heißdampf, Nährstoffe) eine ausreichende Durchlässigkeit für das eingesetzte Fluid, eine ausreichend hohe Porosität sowie eine hinreichend geringe Heterogenität. Dieses bedingt, dass das Verständnis des Untergrundes im Vergleich zu anderen Sanierungsverfahren sehr detailliert sein muss. Ohne das Verständnis des Standortmodells kann die Wirksamkeit der Maßnahmen stark eingeschränkt sein und es können unerwünschte, negative Auswirkungen auf die Umwelt eintreten. Neben den physikalischen Standortbedingungen ist oftmals zusätzlich die Kenntnis der hydrochemischen, geochemischen und mikrobiologischen Verhältnisse, sowie deren Veränderung und Beeinflussung durch die Sanierungsmethode notwendig. Neben der Erstellung eines Standortmodells kann es zweckmäßig sein, Vorversuche durchzuführen und ein Grundwasserströmungsmodell und ggf. ein Schadstoff-Transportmodell zu erstellen. Damit setzen *In-situ*-Sanierungsverfahren oftmals eine gegenüber anderen Sanierungsverfahren zunächst kostenintensivere (Detail-)Erkundung voraus. Aus dem guten Prozessverständnis heraus ergeben sich aber i.d.R. erhebliche Vorteile für eine effiziente, langfristig wirtschaftliche und nachhaltige Sanierung.

Beim Einsatz von *In-situ*-Verfahren sind generell gezielte Überwachungsmaßnahmen während der Sanierung als auch umfassende Beweissicherungsmaßnahmen zur Beurteilung von Fortschritt und Erfolg der Sanierung durchzuführen.

Je nach Verfahren ist zu beachten, dass zum Teil Gase, aggressive Chemikalien, toxische und reaktive Stoffe oder heiße Dämpfe eingesetzt werden bzw. entstehen. Auf einen ausreichenden Umwelt- und Arbeitnehmerschutz ist daher zu achten. Insbesondere bei Verfahren, bei deren Einsatz auch negative Veränderungen (z.B. Milieuänderungen durch Entstehung von Säuren) im Untergrund stattfinden oder bei denen eine Einbringung von wassergefährdenden Stoffen erfolgt, sind bereits bei der

Konzeption die wasserrechtlichen Vorgaben unbedingt zu prüfen und entsprechende Kontrollen unbedingt durchzuführen.

### 9.3.1 Thermische Verfahren

#### 9.3.1.1 Dampf-Luft-Injektion

Ziel einer Dampf-Luft-Injektion ist es, durch die Erwärmung der wasserungesättigten sowie wassergesättigten Zone CKW durch Verdampfung in die Gasphase zu überführen und mittels einer Bodenluftabsaugung abzusaugen.

Hierzu wird ein Dampf-Luft-Gemisch in die wasserungesättigte Zone injiziert. Der injizierte Dampf kondensiert an der kalten Feststoffmatrix und gibt seine Energie (Verdampfungsenthalpie) an diese ab. Es bildet sich eine räumlich mehr oder weniger ausgedehnte Wärmefront aus. Im erwärmten Bereich werden die CKW verdampft. Weiters wirkt die mit dem Dampf injizierte Luft als inertes Trägergas, durchdringt die Kondensationsfront und trägt die Kontaminanten gasförmig mit der Bodenluft aus. Die mobilisierten CKW können dann mittels Bodenluftabsaugung abgesaugt werden.

Befindet sich die Kontamination in der wassergesättigten Zone erfolgt die Injektion eines Dampf-Luft-Gemisches unterhalb des Schadenszentrums. Die Schadstoffe werden infolge der sich um die Injektionsbrunnen ausbreitenden Dampf- und Wärmefronten verdampft. Die mit dem Dampf injizierte Luft trägt als inertes Trägergas die Kontaminanten gasförmig in Richtung der wasserungesättigten Zone aus. Die Entfernung der Schadstoffe erfolgt dann ebenfalls in der wasserungesättigten Zone mittels einer Bodenluftabsaugung.

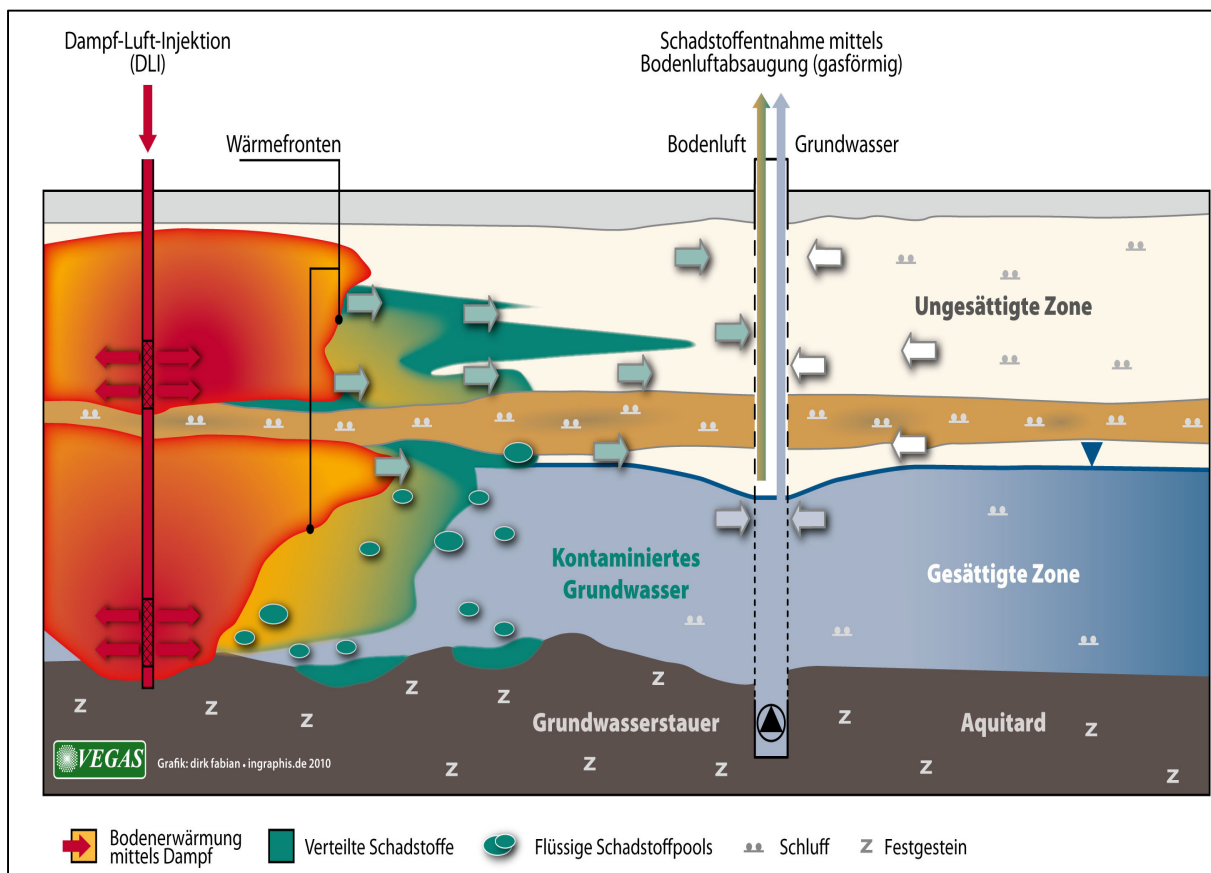


Abbildung 7: Prinzip einer Dampf-Luft-Injektion (© VEGAS, Stuttgart)

Die Reinigung der Abluft erfolgt in Filtern On-Site, i.d.R. über Aktivkohle. Weiters ist aufgrund der Erhöhung der Löslichkeit der CKW im Grundwasser – bzw. der Änderung der Gleichgewichtskonzentration – eine Grundwasserabstromsicherung durchzuführen. Die Dampf-Luft-Injektion kann noch in mittel durchlässigen Untergründen eingesetzt werden. Die Einbausituation vor Ort kann zu einem Ausschluss des Verfahrens führen.

### 9.3.1.2 Feste Wärmequellen

Ziel des Einsatzes von festen Wärmequellen ist es, durch konduktive Erwärmung, primär der wasserungesättigten Zone, Schadstoffe durch Verdampfung zu mobilisieren und diese anschließend mittels Bodenluftabsaugung zu fassen. Mittels elektrischen Heizelementen, die in der wasserungesättigten (teilweise auch in der wassergesättigten) Zone installiert werden, erfolgt eine kontinuierliche Aufheizung des Untergrunds, sodass das Bodenwasser verdampft wird (100 °C). CKW in der Umgebung der Wärmequellen werden in die Gasphase übergeführt (Prinzip Sieden und Verdampfen, s. 9.3.1.1). Die gaseitige Entfernung der Schadstoffe erfolgt über eine Bodenluftabsaugung aus der wasserungesättigten Zone.

Die Reinigung der Abluft erfolgt in Filtern On-Site, i.d.R. über Aktivkohle. Weiters ist aufgrund der Erhöhung der Löslichkeit, bzw. der Änderung der Gleichgewichtskonzentration der CKW eine Grundwasserabstromsicherung durchzuführen. Feste Wärmequellen können auch bei geringer durchlässigen, sandigen bis tonigen Böden eingesetzt werden, weil durch die stattfindende Austrocknung des Untergrunds die Permeabilität erhöht wird, sodass eine Rückgewinnung der gasförmigen Schadstoffe ermöglicht wird. Grundsätzlich sind Materialien zu verwenden, die einem aggressiven Milieu, wie sehr niedrige pH-Werte und hohe Temperaturen, im Untergrund standhalten.

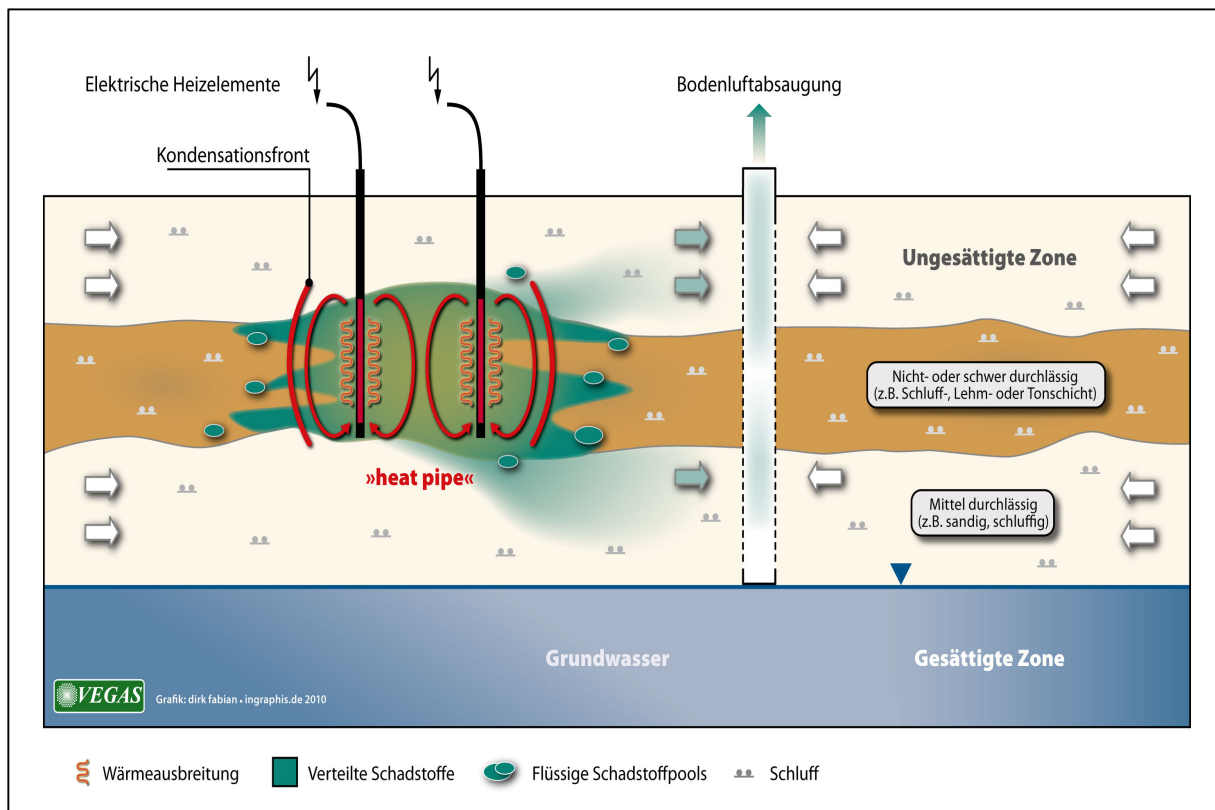


Abbildung 8: Prinzip einer Fester Wärmequelle (© VEGAS, Stuttgart)

## 9.3.2 Hydraulische Verfahren

### 9.3.2.1 Grundwasserzirkulationsbrunnen

Grundwasserzirkulationsbrunnen werden zur Strippung von CKW in der wassergesättigten Zone eingesetzt. Durch Einblasen von Luft in das Grundwasser wird eine Aufwärtsströmung im Brunnen erzeugt. Durch den sich einstellenden Mammutpumpeneffekt fließt im oberen Bereich des Brunnens Wasser in die Umgebung ab und im unteren Bereich, durch die entstehende Druckdifferenz ("Unterdruck"), zu. Dadurch entsteht eine walzenförmige Wasserbewegung rund um den Brunnen. Durch diese intensive Durchmischung der eingebrachten Luft mit dem Grundwasser innerhalb des Brunnens erfolgt ein Übergang der CKW vom Wasser in die Gasphase (Stripp-Effekt). Die somit ausgetriebenen CKW werden am Kopf des Brunnens abgesaugt und on site gereinigt.

Aufgrund möglicher Schadstoffmobilisierungen und der damit verbundenen Ausbreitung von CKW im Grundwasser sollten im Grundwasserabstrom Sicherungsbrunnen betrieben werden. Das Verfahren ist für mittel bis stark durchlässige Lockergesteine geeignet. Aufgrund möglicher Schadstoffverschleppungen sind Grundwasserzirkulationsbrunnen bei Vorliegen von gering durchlässigen Zwischenschichten sowie stark geschichteten Grundwasserleitern oder starkem Grundwassergefälle nicht geeignet. Bei gespannten Grundwasserverhältnissen ist das Verfahren ebenfalls nicht geeignet.

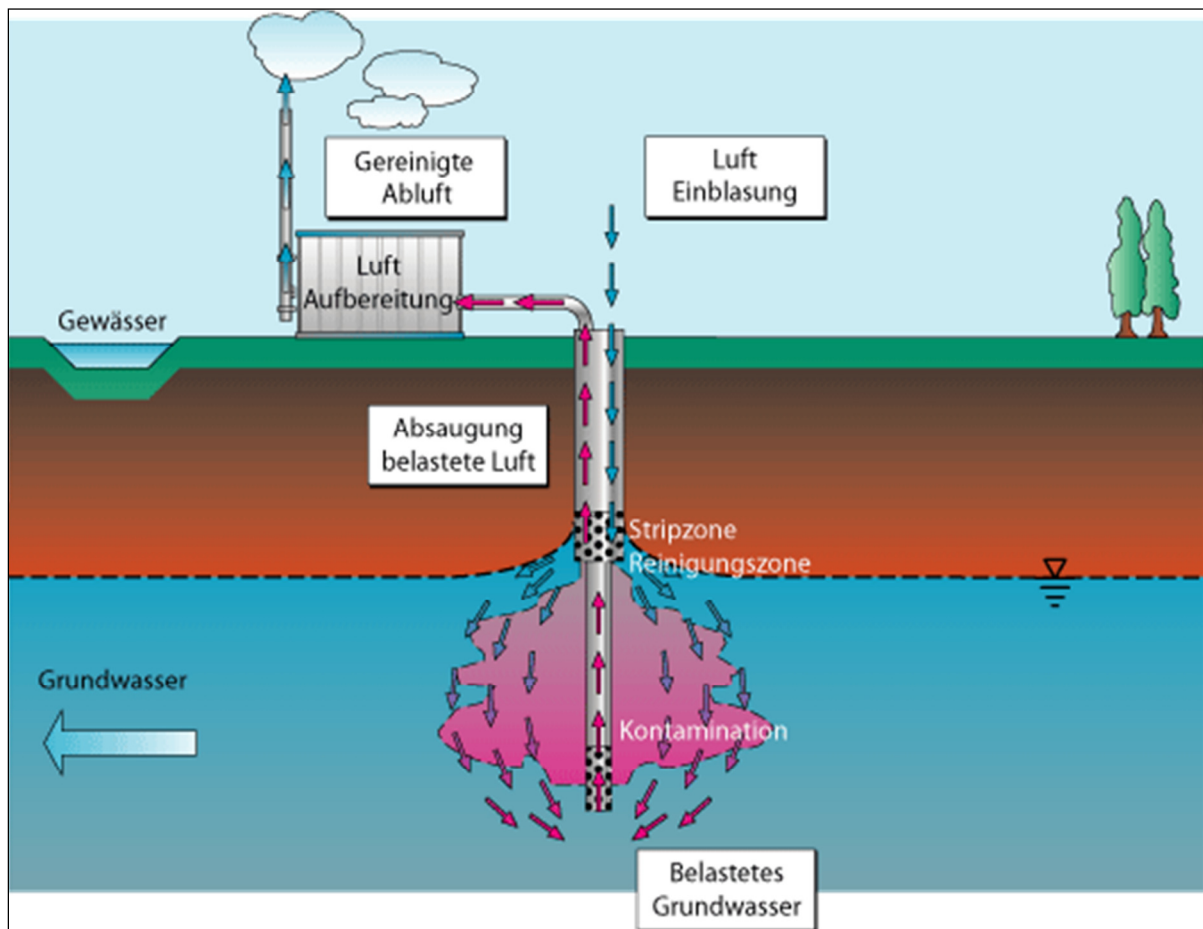


Abbildung 9: Prinzip Grundwasserzirkulationsbrunnen (© BAFU)



### 9.3.2.2 Spülungen

Für die Einbringung von Stoffen, wie Lösungsvermittler (z.B. Alkohole, Tenside), sind in Österreich besondere rechtliche Aspekte in Hinblick auf den Schutz und die Reinhaltung von Gewässern (Wasserrechtsgesetz 1959) sowie Verbote und Bewilligungsbeschränkungen (QZV Chemie GW - Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl. II Nr. 461/2010) zu beachten. Die Voraussetzungen für eine Bewilligung sind im Einzelfall zu prüfen.

Eine allgemeine Beschreibung des Verfahrens ist in Anhang 5 enthalten. Die technische Beschreibung im Einzelfall (sh. auch § 7 QZV Chemie GW) sollte insbesondere die zum Schutz des Grundwassers vorgesehenen begleitenden Maßnahmen sowie die Durchführung von Kontrolluntersuchungen umfassend darstellen.

### 9.3.3 Pneumatische Verfahren

#### 9.3.3.1 Bodenluftabsaugung

Bei der klassischen Bodenluftabsaugung handelt es sich um ein pneumatisches Verfahren, bei dem leichtflüchtige Schadstoffe direkt aus der wasserungesättigten Zone mittels Absaugsystemen entfernt werden. Der Schadstoffaustrag erfolgt über Absaugbrunnen oder -lanzen, welche wenn möglich direkt im Schadensherd eingebracht werden und an die über Seitenkanalverdichtern eine Druckdifferenz ("Unterdruck") angelegt wird. Durch Absaugen der Bodenluft aus der wasserungesättigten Zone wird der Gleichgewichtszustand zwischen der CKW-Konzentration in der Bodenluft und etwaig vorkommenden residualen Phasen oder adsorbierten oder gelöst im Porenwasser vorkommenden CKW durch das Nachströmen von unbelasteter Luft aus geringer oder nicht kontaminierten Bereichen gestört und es treten weitere CKW in die Gasphase über. Die gefasste, mit CKW belastete Bodenluft wird anschließend einer Luft-Aktivkohlefilter-Reinigung On-Site zugeführt und gereinigt (s. 9.2.2).

Insgesamt ist das Verfahren für mittel bis stark durchlässige Lockergesteine geeignet und ist relativ einfach beherrschbar. Bis zum Erreichen der Sanierungszielwerte werden allerdings häufig lange Zeiträume der Behandlung erforderlich.

#### 9.3.3.2 Air Sparging

Beim Air Sparging handelt sich um ein pneumatisches Verfahren, bei dem leichtflüchtige Schadstoffe aus der wassergesättigten Zone entfernt werden. Es wird sowohl zur Quellen- als auch zur Fahnenanierung eingesetzt. Zum Schadstoffaustrag wird Luft über Druckluftlanzen direkt in das Grundwasser eingeblasen. Die eingeblasene Luft steigt im Grundwasser auf und bildet einen Belüftungskegel aus. Durch die aufsteigenden Luftblasen werden die Gleichgewichtsbedingungen im Grundwasser so geändert, dass CKW vermehrt in die Gasphase übergehen und in die wasserungesättigte Zone ausgetragen werden (Strippung). Die eingeblasene und schadstoffbelastete Luft wird in der wasserungesättigten Zone durch klassische Absaugpegel erfasst und einer Abluftbehandlungsanlage zugeführt. Aufgrund erhöhter Schadstoffmobilisierung und der möglichen Ausbreitung im Grundwasser sollten im Allgemeinen im Grundwasserabstrom Sicherungsbrunnen betrieben werden.

Das Verfahren ist für mittel bis stark durchlässige Lockergesteine geeignet. Die Luft sollte in der Regel mindestens 2 bis 3 m unterhalb des Schadenherdes eingebracht werden können. Bei Kontaminationen, die bis bzw. bis nahe an den Grundwasserstauer heranreichen, ist das Verfahren nicht geeignet, da die tiefliegenden Kontaminationsbereiche nicht ausreichend erfasst werden können.

## 9.4 Biologische Verfahren

Für die Einbringung von Stoffen, wie Nährstoffe (z.B. Melasse, Lactat), sind in Österreich besondere rechtliche Aspekte in Hinblick auf den Schutz und die Reinhaltung von Gewässern (Wasserrechtsgesetz 1959) sowie Verbote und Bewilligungsbeschränkungen (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl. II Nr. 98/2010) zu beachten. Die Voraussetzungen für eine Bewilligung sind im Einzelfall zu prüfen.

Eine allgemeine Beschreibung der Verfahren ist in Anhang 5 enthalten. Die technische Beschreibung im Einzelfall (sh. auch § 7 QZV Chemie GW) sollte insbesondere die zum Schutz des Grundwassers vorgesehenen begleitenden Maßnahmen sowie die Durchführung von Kontrolluntersuchungen umfassend darstellen.

Die für die Sanierung von CKW-Schäden relevanten Technologien werden in Österreich aktuell als „in Entwicklung“ bzw. „fortgeschrittene Entwicklung“ (vgl. ÖVA 2010) eingestuft. In einigen europäischen Ländern wie z.B. auch Deutschland (SCHROERS 2011) wurden diese Verfahren in den letzten Jahren bereits wiederholt in der Praxis eingesetzt und gelten daher inzwischen allgemein als „Stand der Technik“.

## 9.5 Chemische Verfahren

Für die Einbringung von Stoffen, wie Oxidations- oder Reduktionsmittel (z.B. Permanganat, Peroxide, Persulfat, Nano-Eisenpartikel), sind in Österreich besondere rechtliche Aspekte in Hinblick auf den Schutz und die Reinhaltung von Gewässern (Wasserrechtsgesetz 1959) sowie Verbote und Bewilligungsbeschränkungen (Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl. II Nr. 98/2010) zu beachten. Die Voraussetzungen für eine Bewilligung sind im Einzelfall zu prüfen.

Eine allgemeine Beschreibung der Verfahren (*In-situ*-Chemische Oxidation und *In-situ*-Chemische Reduktion) ist in Anhang 5 enthalten. Die technische Beschreibung im Einzelfall (sh. auch § 7 QZV Chemie GW) sollte insbesondere die zum Schutz des Grundwassers vorgesehenen begleitenden Maßnahmen sowie die Durchführung von Kontrolluntersuchungen umfassend darstellen.

Die für die Sanierung von CKW-Schäden relevanten Technologien werden in Österreich aktuell als „in Entwicklung“ bzw. „fortgeschrittene Entwicklung“ eingestuft. stellen jedoch nicht den Stand der Technik dar (vgl. ÖVA 2010).

## 10 DOKUMENTATION UND ÜBERPRÜFUNG VON SANIERUNGSMAßNAHMEN

Die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ist im Hinblick auf die Überprüfung des Sanierungsfortschritts und Sanierungserfolgs lückenlos nachvollziehbar in Berichtsform (meist als Halbjahres- oder Jahresberichte) zu dokumentieren, wobei die Dokumentation zumindest folgendes beinhalten muss:

- technische Beschreibung und planliche Darstellung der Sanierungsanlage und allfälliger Veränderungen der Sanierungsanlage
- Beschreibung und Darstellung des Anlagenbetriebes (Regelbetrieb, Wartungen, Dichtheitsprüfungen, etc.)
- Beschreibung und Darstellung der Betriebsführung (z.B. Absaug- und Pumpmengen, Menge eingesetzter Chemikalien und Einsatzstoffe)
- Ergebnisse von Messungen und chemischen Analysen (Mess- und Probenahmeprotokolle, Analysenbefunde)
- statistische und graphische Auswertung der wesentlichen Mess- und Analysenergebnisse
- planliche Darstellung der wesentlichen Untersuchungsergebnisse (z.B. Ausbreitung der Schadstofffahne)
- Beschreibung von Veränderungen am Standort und in der Umgebung (z.B. baulich, betrieblich, hydraulisch, nutzungsbezogen)
- Beschreibung und Beurteilung der Sanierungsmaßnahmen im Hinblick auf eine Gesamtschadstoffbilanz (Verlagerung in andere Schutzgüter, ausgetragene Schadstoffmengen)
- Entsorgungsnachweise (z.B. Aushub, Abluftfiltermassen, Abwasser)

Auf Grundlage der Sanierungsberichte sollten der Sanierungsfortschritt und der Sanierungserfolg sowie Möglichkeiten zur Anpassung und Optimierung regelmäßig geprüft werden („Maßnahmenaudit“). Die zeitliche Staffelung der Kontrolle und Beurteilung des Sanierungsfortschritts sollte in Abhängigkeit der gesamten Dauer der Maßnahmen sowie der zeitlichen Abfolge spezifischer Teilmaßnahmen definiert werden, und zumindest einmal jährlich erfolgen. Bei der Überprüfung von Sanierungsmaßnahmen ist zwischen der Wirksamkeit (Effektivität) und dem Wirkungsgrad (Effizienz) von Sanierungsmaßnahmen zu unterscheiden. Während die Wirksamkeit ein Maß für die Zielerreichung ist, welches ein erreichtes Resultat (z.B. erzielte Verringerung der Schadstofffracht) mit definierten (Sanierungs-)Zielwerten vergleicht, stellt der Wirkungsgrad (z.B. spezifischer Energieaufwand, spezifischer Betriebskostenaufwand) bzw. auch dessen zeitliche Veränderung ein Maß für die Relation zwischen Aufwand und Nutzen dar. Während der Gesichtspunkt der Wirksamkeit für die Feststellung des Sanierungserfolges von zentraler Bedeutung ist, stellt der Wirkungsgrad von Maßnahmen eine zusätzliche wichtige Größe bei der Kontrolle und Beurteilung des Sanierungsfortschrittes dar. Die Beurteilung des Fortschrittes erfolgt aufgrund des Verlaufes der Sanierung, des Ist-Standes und von zukünftigen Entwicklungen, die mittels Gradienten- und Trendbetrachtungen prognostiziert werden können (UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG).

Nach Erreichen der Sanierungsziele – bzw. unter bestimmten Voraussetzungen auch bei Nichterreichen der Sanierungsziele und/oder Sanierungszielwerte (siehe UMWELTBUNDESAMT, VOR DRUCKLEGUNG) – werden die Sanierungsmaßnahmen eingestellt. Anschließend sind im Rahmen der Nachsorge Kontrolluntersuchungen durchzuführen zum Nachweis, dass die Sanierungszielwerte eingehalten werden und die Sanierungsziele dauerhaft erreicht sind (Dekontaminationsmaßnahmen) oder dass die Ausbreitung von Schadstoffen unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse im vorgesehenen Ausmaß begrenzt bleibt (Sicherungsmaßnahmen). Die Nachsorgemaßnahmen sind im Allgemeinen bei Sicherungen über wesentlich längere Zeiträume (in der Regel mehr als 20 Jahre) erforderlich als bei Dekontaminationen (in der Regel 6 bis 24 Monate).

## 11 QUELENNACHWEIS

### 11.1 Literatur

BEER, H.-P.; HOLDER, T.; KIEFER, R. & PTAK, T. (Hg.) (2003): Grundwasserabstromerkundung durch Immissionsmessung. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 8.

BLFU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2010): Merkblatt Nr. 3.8/6, Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Altlasten, schädlichen Bodenveränderungen und Gewässerverunreinigungen. <http://www.stmug.bayern.de/umwelt/boden/vollzug/altlasten.htm>

BÜRING, G.; EISENLOHR, T.; FLUM, M.; HAHN, B.; HUNKELER, D.; INDACO, A.; KREBS, J.; PHILIPP, R.; THEURER, T. & WERMEILLE, C. (2011): Untersuchung von CKW-Belastungen. Praxishilfe. ChloroNet. Zürich  
[http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/abfall\\_rohstoffe\\_altlasten/altlasten/untersuchen\\_ueberwachen\\_sanieren/chloronet.html](http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/altlasten/untersuchen_ueberwachen_sanieren/chloronet.html)

BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2000): Altlasten. Gefährdungsabschätzung. Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten. Bern  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00499/index.html?lang=de>

BUWAL – Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2003): Praxishilfe Grundwasserprobenahme. Bern  
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00376/index.html?lang=de>

CORNELISSEN, G.; GUSTAVSSON, Ö.; BUCHELI, T. D.; JONKER M. T. O. & VAN NOORT, P. C. M. (2005): Extensive sorption of organic compounds to black carbon, coal, and kerogen in sediments and soils: mechanisms and consequences for distribution, bioaccumulation, and biodegradation. Environmental Science & Technology, 39 (18): 6881-6895

DIETRICH, P. & LEVEN, C. (2005): Direct Push Technologies. In: Kirsch R. (Ed.), Groundwater Geophysics. Springer Verlag.

ERTEL, T.; DÖRR, H.; BLESSING, M.; HANSEL, H.; PHILIPPS, R. & REBEL, M. (Hg.) (2009): Forensische Verfahren in der Altlastenbearbeitung. altlastenforum Baden-Württemberg e.V., Schriftenreihe, Heft 14.

GRANDEL, S. & DAHMKE, A. (Hg.) (2008): Leitfaden Natürliche Schadstoffminderung bei LCKW-kontaminierten Standorten: Methoden, Empfehlungen und Hinweise zur Untersuchung und Beurteilung. KORA-Themenverbund 3. Chemische Industrie, Metallverarbeitung. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Abt. Angewandte Geologie. Kiel.  
[http://www.gpi.uni-kiel.de/Angewandte/angew\\_geo-Dateien/lftv3](http://www.gpi.uni-kiel.de/Angewandte/angew_geo-Dateien/lftv3)

HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hg.) (2002): Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 2. Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadensfällen. Wiesbaden  
[http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/hba3\\_2\\_web.pdf](http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/hba3_2_web.pdf)

ITVA – Ingenieurtechnischer Verband Altlasten e.V. (2002): Richtlinie Bodenluftabsaugversuch. Berlin  
<http://www.itv-altlasten.de/308.html>

ITVA – Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (2010): Innovative *In-situ*-Sanierungsverfahren. Arbeitshilfe – H1-13. Berlin

KÄSTNER, M.; BRACKEVELT, M.; DÖBERL G.; CASSIANI G.; PETRANGELI PAPINI M.; LEVEN-PFISTER C. & VAN REE D. (Ed.) (2012): Model-driven soil probing, site assessment and evaluation – Guidance on technologies. Sapienza Università Editrice, Rom. ISBN 978-88-95814-72-8

LFU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1985): Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. Schriftenreihe Wasserwirtschaftsverwaltung. Band-Nr. 13. Stuttgart

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10014/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=161&OBJECT=10014&MODE=METADATA>

LFU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993A): Validierung der Analysenergebnisse von Bodenluftproben – bei Anwendung unterschiedlicher Probenahme- und Analysetechniken. Karlsruhe.

<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16837/?shop=true&shopView=6641>

LFU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1993B): Verfahrensempfehlungen für die Probenahme bei Altlasten (Boden, Abfall, Grund-, Sickerwasser, Bodenluft). Karlsruhe.

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10029/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=161&OBJECT=10029&MODE=METADATA>

LFU – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2002): Empfehlungen zur Entnahme von Feststoffproben für die Analyse auf leichtflüchtige Verbindungen im Altlastenbereich. Karlsruhe.

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10103/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=161&OBJECT=10103&MODE=METADATA>

LFUG-LFW – Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz & Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (1997): Ablagerungen, Altstandorte und Grundwasserschäden. Merkblatt ALEX 02. Orientierungswerte für die abfall- und wasserwirtschaftliche Beurteilung. Oppenheim, Mainz.

[http://www.mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/boden/Alex\\_02\\_Stand\\_Juli\\_1997.pdf](http://www.mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/boden/Alex_02_Stand_Juli_1997.pdf)

MICHELS, J.; STUHRMANN, M.; FREY, C. & KOSCHITZKY, H.-P. (2008): Handlungsempfehlungen mit Methodensammlung: natürliche Schadstoffminderung bei der Sanierung von Altlasten. Bewertung und Anwendung, rechtliche Aspekte, Wirtschaftlichkeit, Akzeptanz. projektübergreifende Begleitung des BMBF-Förderschwerpunktes KORA. DECHEMA e.V., Forschungs- und Projektkoordination. Frankfurt am Main

[http://www.natural-attenuation.de/content.php?\\_document\[ID\]=6947&pageId=2647&lang=de](http://www.natural-attenuation.de/content.php?_document[ID]=6947&pageId=2647&lang=de)

MUNZ, C. & HÄNER, A. (2009): Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW). Stoffeigenschaften. ChloroNet. Zürich.

<http://www.bafu.admin.ch/chloronet/06273/index.html?lang=de>

ÖVA – Österreichischer Verein für Altlastenmanagement (2010): Technologiequicksan. *In-situ*-Sanierungstechnologien. Wien

[http://cms.altlastenmanagement.at/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72&Itemid=49](http://cms.altlastenmanagement.at/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=49)

PARRAT, J. (2011): Sanierung von CKW-belasteten Standorten. Arbeitnehmerschutz. 4. Fachtagung ChloroNet. Solothurn

<http://www.bafu.admin.ch/chloronet/05751/1.1537/index.html?lang=de>

RUBIN (2006): Anwendung von durchströmten Reinigungswänden zur Sanierung von Altlasten, bmbf-Vorhaben 0271241, Hrsg.: Universität Lüneburg, Dresden

<http://www.rubin-online.de/deutsch/bibliothek/downloads/index.html>

SCHERR, K. E.; NAHOLD, M. M.; LANTSCHBAUER, W. & LOIBNER, A. P. (2011a): Sequential application of electron donors and humic acids for the anaerobic bioremediation of chlorinated aliphatic hydrocarbons. *New Biotechnology*, 29 (1): 116-125

SCHERR, K. E.; NAHOLD, M. & LOIBNER, A. P. (2011b): Anaerobe Biologische *In Situ* Sanierung (ABIS) von LCKW-belastetem Grundwasser. Verfahrenstechnische Standortwahl – Projektentwicklung – Qualitätskriterien.

[http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/das\\_unternehmen/publikationen/studien\\_altlasten/](http://www.umweltfoerderung.at/kpc/de/home/das_unternehmen/publikationen/studien_altlasten/)

SCHROERS, S. & ODENSAB, M. (2011): *In-Situ*-Sanierungen in Deutschland – eine Fallauswertung. In: Symposium Strategien zur Boden- und Grundwassersanierung, Kurzfassungsband, DECHEMA e.V., Frankfurt.

STUPP H. D. (2001): DNAPL in Boden und Grundwasser - Verhalten von LCKW und PAK-Ölen. In: Franzius/Wolf/Brandt: *Handbuch der Altlastensanierung*. 27. Erg.-Lfg.12/2001.

UMWELTBUNDESAMT (2011A): Wimmer, B. & Döberl, G.: Abschätzung von Sickerwasserbelastungen. Altlastenmanagement 2010. Umweltbundesamt, Wien.

[http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub\\_id=1913](http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=1913)

UMWELTBUNDESAMT (2011B): Reichenauer, T. G.; Friesl-Hanl, W.; Edlmann, E.; Hofer, H.; Weisgram, M.; Müller, D. & Dörrie, T.: Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung und Risikoanalyse an kontaminierten Standorten. Umweltbundesamt, Wien.

[http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub\\_id=1935](http://www.umweltbundesamt.at/aktuell/publikationen/publikationssuche/publikationsdetail/?pub_id=1935)

UMWELTBUNDESAMT (VOR DRUCKLEGUNG): Müller, D.; Valtl, M.; Längert-Mühlegger, H.; Döberl, G.; Weisgram, M.; Ortmann, M. & Weihs, S.: Beurteilung und Sanierung von Verunreinigungen des Grundwassers bei kontaminierten Standorten. Umweltbundesamt, Wien.

## 11.2 Gesetze, Normen und Verfahrensvorschriften

Altlastensanierungsgesetz (ALSAG), BGBl. Nr. 299/1989

ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG), BGBl. Nr. 450/1994

Bauarbeitenkoordinationsgesetz (BauKG), BGBl. I Nr. 37/1999

Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006

Deponieverordnung 2008, BGBl. II Nr. 39/2008

DIN ISO 10381-7: Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 7: Entnahme von Bodenluftproben

DVGW-Merkblatt W 121: Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen

Grenzwerteverordnung 2011 (GKV 2011), BGBl. II Nr. 253/2001

HKW-Anlagen-Verordnung (HAV), BGBl. II Nr. 411/2005

ÖNORM B 2601: Wassererschließung - Brunnen - Planung, Bau und Betrieb

ÖNORM EN 15936: Schlamm, Boden, Abfall und behandelter Bioabfall – Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) durch trockene Verbrennung.

ÖNORM EN ISO 5667-3: Wasserbeschaffenheit – Probenahme. Teil 3: Anleitung zur Konservierung und Handhabung von Wasserproben.

ÖNORM EN ISO 10301: Wasserbeschaffenheit. Bestimmung leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe. Gaschromatographische Verfahren.

ÖNORM EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie

ÖNORM EN ISO 16000-5: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 5: Probenahmestrategie für flüchtige organische Verbindungen (VOC)

ÖNORM EN ISO 16017-1: Innenraumluft, Außenluft und Luft am Arbeitsplatz – Probenahme und Analyse flüchtiger organischer Verbindungen durch Sorptionsröhrchen/thermische Desorption/Kapillargaschromatographie – Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe

ÖNORM M 5700-1: Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen – Teil 1: Grundlagen

ÖNORM M 5700-2: Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen – Teil 2: Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle – Lösemittelextraktion

ÖNORM M 5700-3: Messen von Innenraumluft-Verunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen – Teil 3: Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Sorbentien – Thermodesorption

ÖNORM S 2085: Altlasten - Vorgehensweise bei der Erkundung, Beurteilung und Sanierung von Altablagerungen und Altstandorten

ÖNORM S 2086: Altlasten – Benennungen und Definitionen

ÖNORM S 2087: Erhebung und Untersuchung von Verdachtsflächen und Altlasten

ÖNORM S 2088-1: Altlasten – Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Grundwasser

ÖNORM S 2089: Altlastensanierung – Sicherungs- und Dekontaminationsverfahren

ÖNORM S 2090: Bodenluft-Untersuchungen.

ÖNORM S 2091: Altlasten – Feststoff-Probenahme. Entnahme von Feststoffproben von Altablagerungen und Altstandorten.

ÖNORM S 2092: Altlasten – Grundwasser-Probenahme.

ÖNORM S 2124: Bestimmung von BTEX/LHKW in Feststoffproben nach Lösungsmittlextraktion.

ÖWAV-RB 208: Bohrungen zur Grundwassererkundung

Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser (QZV Chemie GW), BGBl. II Nr. 98/2010

Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG), BGBl. II Nr. 96/2006

RL BMLFUW 2003: Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft. Österreichische Akademie der Wissenschaften und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

[http://www.lebensministerium.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie\\_innenraum.html](http://www.lebensministerium.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/luft/innenraumluft/richtlinie_innenraum.html)

TRGS 524: Technische Regeln für Gefahrstoffe – Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten in kontaminierten Bereichen. Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)

<http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/TRGS-524.html>

VDI 2100 Blatt 2: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft – Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Gaschromatografische Bestimmung organischer Verbindungen – Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Aktivkohle – Lösemittlextraktion

VDI 2100 Blatt 3: Messen gasförmiger Verbindungen in der Außenluft – Messen von Innenraumluftverunreinigungen – Gaschromatographische Bestimmung organischer Verbindungen – Aktive Probenahme durch Anreicherung auf Sorbentien – Thermodesorption

VDI 3865, Blatt 1: Messen organischer Bodenverunreinigungen; Messplanung für die Untersuchung der Bodenluft auf leichtflüchtige organische Verbindungen

VDI 3865, Blatt 2: Messen organischer Bodenverunreinigungen - Techniken für die aktive Entnahme von Bodenluftproben

VDI 3865, Blatt 3: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gas-chromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft nach Anreicherung an Aktivkohle oder XAD-4 und Desorption mit organischem Lösungsmittel.

VDI 3865, Blatt 4: Messen organischer Bodenverunreinigungen – Gas-chromatographische Bestimmung von niedrigsiedenden organischen Verbindungen in Bodenluft durch Direktmessung.

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG), BGBl. Nr. 215/1959



# ANHANG

## Anhang 1 Abkürzungen

### Technische Abkürzungen

AOX	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
DNAPL	dense non-aqueous phase liquid
CAS-Nr.	Chemical Abstracts Service Registry Number
cDCE	cis-1,2-Dichlorethen
CF	Trichlormethan = Chloroform
CKW	leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe
CPT	Cone Penetration Test (Drucksondierung)
CT	Tetrachlormethan
DELCD	Dry Electrolytic Conductivity Detector
DP	Direct Push
ECD	Electron Capture Detector (Elektroneneinfangdetektor)
EC-Logging	Electrical Conductivity Logging
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FID	Flammenionisationsdetektor
GC	Gas-Chromatographie
GC-IRMS	Gas Chromatography Isotope Ratio Mass Spectrometry
GC-MS	Gas-Chromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
HDPE	High Density Polyethylene
i. d. g. F.	in der geltenden Fassung
i.d.R.	in der Regel
ISCO	<i>In-situ</i> chemische Oxidation
ISCR	<i>In-situ</i> chemische Reduktion
IR	Infrarot
LDPE	Low Density Polyethylene
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MIP	Membran Interface Probe
NE	Nicht-Eisenmetall
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCE	Perchlorethylen = Tetrachlorethen
PID	Photoionisationsdetektor
POX	Ausblasbare organisch gebundene Halogene
PTFE	Polytetrafluorethylen = Teflon®
PVC	Polyvinylchlorid
SOM	soil/sediment organic matter (organischer Kohlenstoff C <sub>org</sub> im Boden bzw. Sediment)
SPME	Solid Phase Microextraction (Festphasenmikroextraktion)
TCE	Trichlorethen
TOC	total organic carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
TRK	Technische Richtkonzentration
VC	Vinylchlorid

### Abkürzungen von Institutionen

BAFU	Bundesamt für Umwelt (Schweiz)
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Österreich)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Schweiz, seit 2006 BAFU)
ITVA	Ingenieurtechnischer Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e.V. (Deutschland)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (Deutschland)
VEGAS	Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (Deutschland)
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Österreich)

## Anhang 2 Chemisch-physikalische Stoffdaten

Tabelle 4: Ausgewählte chemisch-physikalische Stoffdaten ausgewählter CKW

	Dichlormethan [Methylenchlorid, DCM]	Trichlormethan [Chloroform, CF]	Tetrachlormethan [Tetrachlorkohlenstoff, CT]	1,2- Dichlorethan	1,1,1- Trichlorethan	1,1,2,2- Tetrachlorethan
CAS-Nr. *	75-09-2	67-66-3	56-23-5	107-06-2	71-55-6	79-34-5
Molare Masse [g/mol] *	84,93	119,38	153,82	98,96	133,41	167,85
MAK-Wert oder TRK-Wert [ppm]/[mg/m <sup>3</sup> ] **	50/175 III B	2/10 III A2	10/65 III B	5/20 III A2	100/555	1/7 III B
Siedepunkt [°C] (bei 1 atm) <sup>a)</sup>	40,1	61,4	76,7	83,6	73,9	145,5
Dampfdruck [kPa] (bei 25°C) *	58,0	26,3	14,4 <sup>d)</sup>	10,5	16,5	616
Henry-Konstante [ - ] (25°C) *	0,133	0,15	1,128	0,048	0,703	0,015
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ] (20°C) *	1,33	1,48	1,59	1,23	1,34	1,59
Dynamische Viskosität [cP] (20°C) <sup>b)</sup>	0,44	0,56	0,97	0,84	0,84	---
Kinematische Viskosität [cSt] (20°C) <sup>b)</sup>	0,32	0,38	0,61	0,67	0,62	---
Grenzflächenspannung Phase/Wasser [dyn/cm] <sup>e)</sup>	28,3	32,8	---	30	45,0	---
Grenzflächenspannung Phase/Luft [dyn/cm] <sup>e)</sup>	30,4	29,9	---	35,4	28,3	---
Wasserlöslichkeit [mg/l] (25°C) *	13.000	7.950	793	8.600	1.290	2.830
Wasserlöslichkeit [mg/l] (20°C) <sup>c)</sup>	17.000	8.300	810	8.600	870	---
Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient Log K <sub>ow</sub> [ - ] *	1,25	1,97	2,83	1,48	2,49	2,39
Sorptionskoeffizient K <sub>oc</sub> [l/kg] *	27,54	39,81	70,79	33,11	89,13	79,43

Tabelle 5: Fortsetzung Ausgewählte chemisch-physikalische Stoffdaten ausgewählter CKW

	Chlorethen [Vinylchlorid, VC]	1,2-cis- Dichlorethen [cis-DCE]	1,2-trans- Dichlorethen [trans-DCE]	Trichlorethen [Tri, TCE]	Tetrachlorethen [Perchlorethen, Per, PCE]
CAS-Nr. *	75-01-4	156-59-2	156-60-5	79-01-6	127-18-4
Molare Masse [g/mol] *	62,5	96,94	96,94	131,39	165,8
MAK-Wert oder TRK-Wert [ppm]/[mg/m <sup>3</sup> ] **	2/5 III A1	200/790	200/790	6/33 III A2 0,6/3,3 ***	50/345 III B
Siedepunkt [°C] (bei 1 atm) <sup>a)</sup>	- 13,7	60	48	87	121,1
Dampfdruck [kPa] (bei 25°C) *	397,0	26,7	44,1	9,2	2,47
Henry-Konstante [ - ] (25°C) *	1,136	0,167	0,383	0,403	0,724
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ] (20°C) *	0,91	1,28	1,26	1,46	1,62
Dynamische Viskosität [cP] (20°C) <sup>b)</sup>	---	0,48	0,4	0,57	0,9
Kinematische Viskosität [cSt] (20°C) <sup>b)</sup>	---	0,38	0,32	0,39	0,54
Grenzflächenspannung Phase/Wasser [dyn/cm] <sup>e)</sup>	---	30	30	34,5	44,4
Grenzflächenspannung Phase/Luft [dyn/cm] <sup>e)</sup>	---	24	24	29,5	32,9
Wasserlöslichkeit [mg/l] (25°C) *	8.800	6.410	4.520	1.280	206
Wasserlöslichkeit [mg/l] (20°C) <sup>c)</sup>	1.600	800	600	1.100	140
Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient Log K <sub>OW</sub> [ - ] *	1,27 <sup>a)</sup>	1,86	2,09	2,42	2,88 <sup>a)</sup>
Sorptionskoeffizient K <sub>OC</sub> [l/kg] *	21,73	39,63	39,63	100	251,2

\* Estimation Program Interface (EPI) Suite (US-EPA), STARS - Stoffdatenbank für bodenschutz-/umweltrelevante Stoffe, Deutschland (in UMWELTBUNDESAMT 2011A)

a) Siedepunkt und Log  $K_{OW}$  nach SCHWARZENBACH ET AL. 2003 (in GRANDEL & DAHMKE 2008)

b) Viskosität nach PANKOW & CHERRY 1996 (in GRANDEL & DAHMKE 2008)

c) Wasserlöslichkeiten nach PANKOW & CHERRY 1996 bzw. WIEDEMEIER ET AL., 1999 (in GRANDEL & DAHMKE 2008)

d) Dampfdruck nach SCHWARZENBACH ET AL. 2003 (in GRANDEL & DAHMKE 2008)

e) Grenzflächenspannungen nach MERCER & COHEN 1990 (in GRANDEL & DAHMKE 2008)

\*\* MAK- bzw. TRK-Tagesmittelwerte (Grenzwerteverordnung 2011 i. d. F. BGBl. II Nr. 429/2011)

\*\*\* gilt ab 1.1.2013

III... Anhang III der Grenzwerteverordnung 2011 i. d. F. BGBl. II Nr. 429/2011

A1: Stoffe, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste zu verursachen vermögen

A2: Stoffe, die sich bislang nur im Tierversuch als krebserzeugend erwiesen haben und zwar unter Bedingungen, die der möglichen Exponierung des Menschen am Arbeitsplatz vergleichbar sind bzw. aus denen Vergleichbarkeit abgeleitet werden kann

B: Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potential

### Anhang 3 Übersicht möglicher CKW-Anwendung

Tabelle 6: Übersicht möglicher CKW-Anwendung nach Branchen (leicht modifiziert nach MUNZ & HÄNER 2009)

Branchen	1,1-Dichlorethan	1,2-Dichlorethan	1,1-Dichloethen	c-1,2-Dichloethen	t-1,2-Dichloethen	Dichlormethan	1,2-Dichlorpropan	1,1,2,2-Tetrachlorethan	Tetrachloethen	Tetrachlormethan	1,1,1-Trichloethen	Trichloethen	Trichlormethan	Vinylchlorid
Allgemeines Autogewerbe	+	+	+	-	-	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Einzel- und Detailhandel mit flüssigen Brenn- und Treibstoffen	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Großhandel mit flüssigen Mineralölerzeugnissen	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Mineralölindustrie	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	++	++	-	-
Herstellen von Textilien, Bekleidung und Wäsche	+	-	+	+	+	++	+	+	++	+	++	++	-	-
Wäschereien, Glättereien, chemische Reinigungen	-	-	-	+	+	+	+	-	++	+	+	+	-	-
Holzbearbeitungsindustrie	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	++	+	-	-
Herstellung und Verarbeitung von Kunststeinen, Tiefbau, Hochbau, allgemeines Bauhauptgewerbe, Werkhöfe	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++	+	-	-
Kachelofen- und Kaminbau	+	-	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Herstellung von keramischen Erzeugnissen, Herstellung und Verarbeitung von Glas	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Herstellung von Uhren, Herstellung von Maschinen und Präzisionswerkzeugen	+	-	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	-	-
NE-Metallerzeugung und -Verarbeitung, Gießereien und Umschmelzwerke	+	+	+	-	-	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Eisen- und Stahlwerke, Walzwerke	+	+	+	-	-	+	+	+	++	+	++	++	-	-

Tabelle 7: Fortsetzung Übersicht möglicher CKW-Anwendung nach Branchen (leicht modifiziert nach MUNZ & HÄNER 2009)

Branchen	1,1-Dichlorethan	1,2-Dichlorethan	1,1-Dichlorethen	c-1,2-Dichlorethen	t-1,2-Dichlorethen	Dichlormethan	1,2-Dichlorpropan	1,1,2,2-Tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachlormethan	1,1,1-Trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid
Großhandel/Detailhandel *), inkl. Tanklager, Verladestationen, Speditionen														
Reparatur von Gebrauchsgütern	+	-	+	+	+	+	-	+	++	+	++	++	-	-
Großhandel mit Stahl, NE-Metallen, Metallhalbfabrikaten, Metallwaren	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Elektrotechnik, Elektronik, Feinmechanik, Optik	+	-	+	+	+	++	+	+	++	+	++	++	+	-
Herstellung von Produktionsmaschinen, Herstellung von Büromaschinen, EDV-Geräten und -Einrichtungen	+	-	+	+	+	++	+	+	++	+	++	++	+	-
Handel mit Reststoffen *)														
Maschinen- und Fahrzeugbau, Herstellung von landwirtschaftlichen Maschinen und Baumaschinen	+	+	+	-	-	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Satz- und Produktionsbetriebe, Druckereibetriebe, Buchbindereien	+	-	+	+	+	++	+	+	++	++	++	++	-	-
Oberflächenveredelung, Härtung	+	+	+	-	-	+	+	+	++	+	++	++	-	-
Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Kunststoff und Kautschukwaren	+	++	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
Herstellung von Lederwaren und Schuhen	+	-	+	-	-	+	-	+	++	+	++	++	-	-
Herstellung von Papier und Papierwaren	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++	-	-

++ wahrscheinlich + möglich - unwahrscheinlich

\*) Beim „Großhandel/Detailhandel“ und „Handel mit Reststoffen“ ist die mögliche Anwendung von CKW sehr unterschiedlich, da diese direkt abhängig von den gehandelten Stoffen und Produkten ist. Allgemein gilt, die Relevanz der CKW-Anwendung ist analog der Branchen, mit denen das Unternehmen gehandelt hat. Z.B. Großhandel von Farben (Herstellung von chemischen Erzeugnissen), Druckereiprodukte (Druckerei) oder Handel mit Reststoffen aus dem Autogewerbe (Allgemeines Autogewerbe)

Tabelle 8: Übersicht möglicher CKW-Anwendung nach Prozessen (leicht modifiziert nach MUNZ & HÄNER 2009)

Prozesse	1,1-Dichlorethan	1,2-Dichlorethan	1,1-Dichlorethen	c-1,2-Dichlorethen	t-1,2-Dichlorethen	Dichlormethan	1,2-Dichlorpropan	1,1,2,2-Tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachlormethan	1,1,1-Trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid
Mechanisch Bearbeiten (Bohren, Drehen)	+	-	+	-	-	+	-	+	++	+	++	++	-	-
Malen, Lackieren, Spritzen, Tauchen, Coaten	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	++	++	-	-
Entfetten, Reinigen, Waschen	+	-	+	-	-	+	-	+	++	+	++	++	-	-
Herstellung und Bestückung von Leiterplatten	-	-	-	-	-	++	-	-	+	-	++	-	+	-
Druckplatten, Clichees, Filme herstellen	-	-	-	-	-	++	-	+	++	-	+	-	-	-
Relais und Schalter herstellen	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-
Tankanlagen, Umfüllstationen, Rohrleitungen	-	++	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Kälte erzeugen	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-
Altöle aufbereiten	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-
Färben (Textilien, Papier, Leder)	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	++	++	-	-
Bedrucken (Papier, Textilien)	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	++	++	-	-
Chem. Ausrüsten, Konservieren, Imprägnieren	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Außenanlagen von Bewuchs freihalten	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Film- und Bildverarbeitung	-	-	-	-	-	++	-	+	-	-	-	-	-	-
Umgang mit verbleitem Benzin	-	++	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Bekämpfung von Schädlingen mit gasförmigen Insektiziden	+	-	-	-	-	+	+	-	-	+	-	+	+	-
Chemische Produktion	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabelle 9: Fortsetzung Übersicht möglicher CKW-Anwendung nach Prozessen (leicht modifiziert nach MUNZ & HÄNER 2009)

Prozesse	1,1-Dichlorethan	1,2-Dichlorethan	1,1-Dichlorethen	c-1,2-Dichlorethen	t-1,2-Dichlorethen	Dichlormethan	1,2-Dichlorpropan	1,1,2,2-Tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachlormethan	1,1,1-Trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid
Abbeizen von Farben	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Herstellung von PVC und PVDC	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Extraktion von wärmeempfindlichen Stoffen, z.B. Koffein	-	-	-	+	+	++	-	-	+	-	-	+	+	-
Fette und Öle aufbereiten	-	-	-	+	+	+	-	+	++	-	-	++	-	-

++ wahrscheinlich (bzw. wurde primär bei diesen Prozessen eingesetzt)

+ möglich

- unwahrscheinlich



## Anhang 4 Beispiel Standortmodell

Am Altstandort „PCE“ wurde mehr als 15 Jahre Tetrachlorethen als Reinigungsmittel eingesetzt. Durch Manipulationsverluste und unzureichende Schutzvorkehrungen beim Betrieb der Reinigungsmaschinen konnte Tetrachlorethen in den Untergrund gelangen. Die Ergebnisse der Bodenluftuntersuchungen zeigten eine massive Verunreinigung der wasserungesättigten Zone durch Tetrachlorethen. Als Hauptschadensherd konnte der frühere Standort der Reinigungsanlage identifiziert werden. Eine Bodenluftprobe aus 5 m Tiefe zeigte einen Tetrachlorethengehalt von 15.200 mg/m<sup>3</sup>. Ein weiterer Schadensherd ist im Bereich des Abwasserschachtes gegeben (sh. Abbildung 10). Die Ergebnisse der Probenahmen an zwei in weiterer Folge errichteten stationären Bodenluftmessstellen (CKW max. 2.500 mg/m<sup>3</sup>) und die Ergebnisse des Bodenluftabsaugversuches bestätigen, dass massive Verunreinigungen des Untergrundes gegeben sind. Der Vergleich der Messergebnisse für die Bodenluftproben aus dem Bereich der gut durchlässigen, sandigen Kiese zeigte generell einen mit der Tiefe abnehmenden Trend der CKW-Belastung.

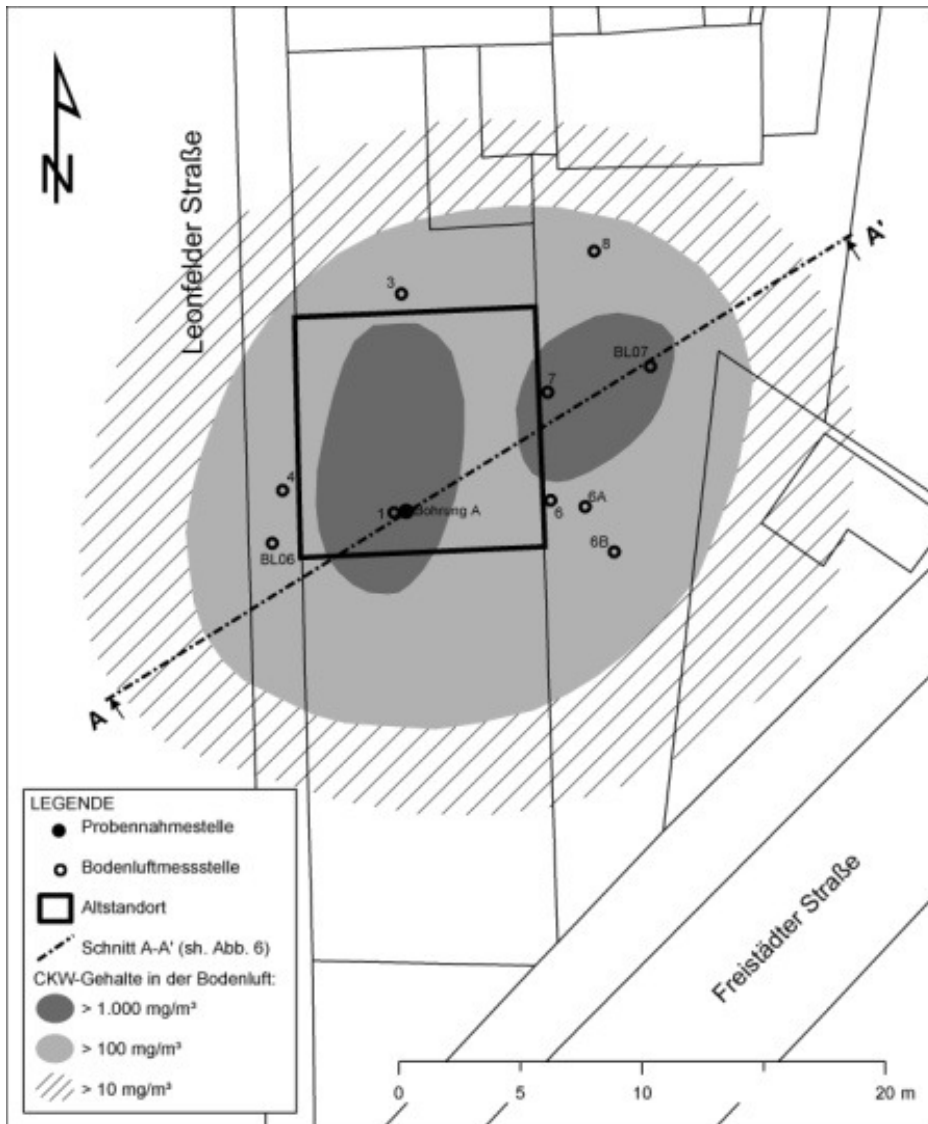


Abbildung 10: Altstandort „PCE“ – Schadensherde und CKW-Belastungen des Untergrundes

Aufgrund aller Untersuchungsergebnisse für die wasserungesättigte Zone ergibt sich zusammenfassend, dass im Bereich der beiden Schadensherde jeweils insbesondere die feinkörnige Deckschicht massiv durch Tetrachlorethen verunreinigt ist (sh. Abbildung 11). Die in mehr als 5 m Tiefe anstehenden gut durchlässigen sandig-kiesigen Sedimente zeigen ebenfalls deutliche Belastungen. Diese Verunreinigungen sind auf die gasförmige Ausbreitung von Schadstoffen auf Grund von Diffusion sowie auch den Austrag aus der Deckschicht zurückzuführen. Mit zunehmender Entfernung von den Schadenszentren ist sowohl vertikal als auch lateral eine Abnahme der Tetrachlorethenbelastungen zu beobachten. Die Ausdehnung des kontaminierten Bereiches kann mit einer Größenordnung von mehr als 700 m<sup>2</sup> abgeschätzt werden.

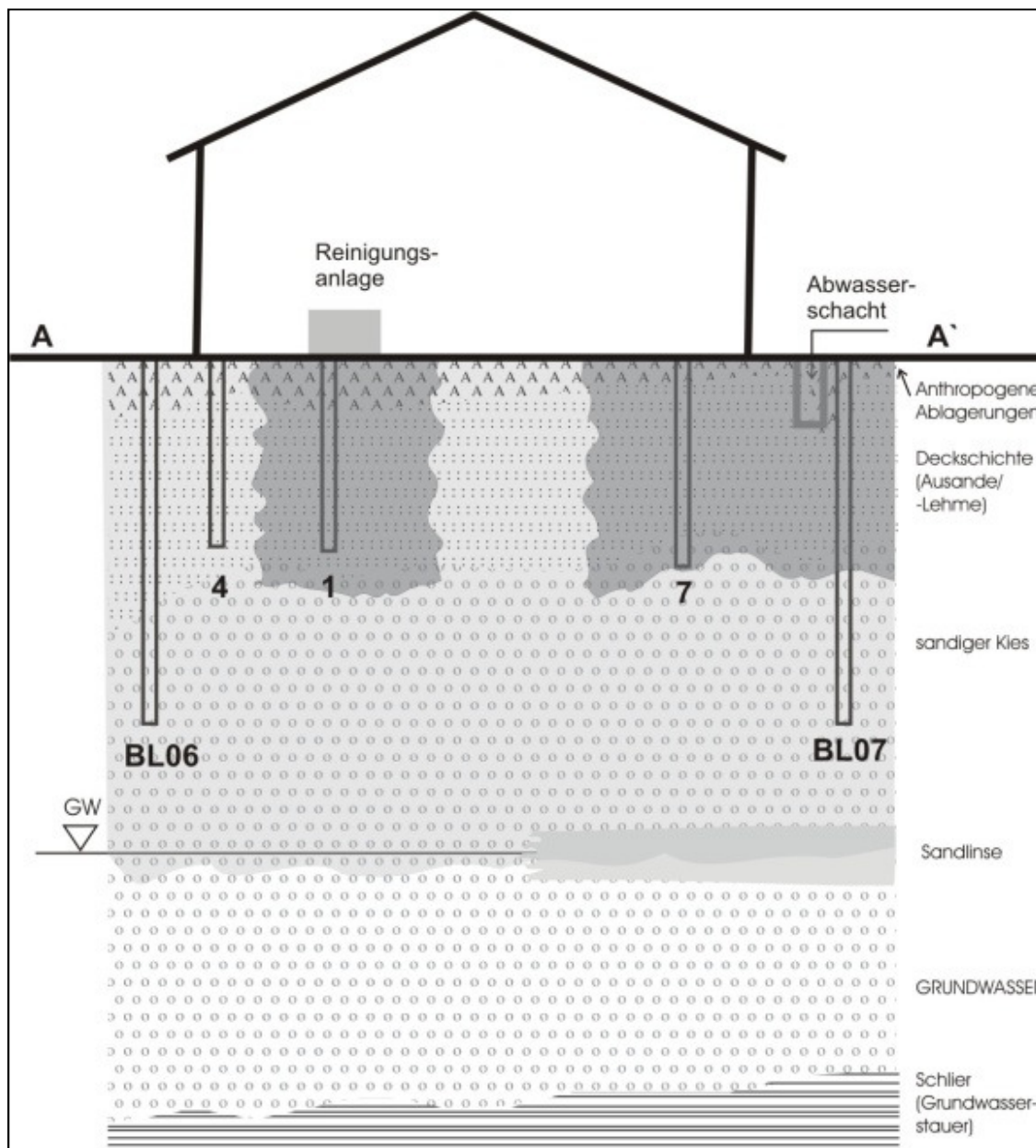


Abbildung 11: Altstandort „PCE“ – Geologischer Schnitt und Verteilung der CKW-Kontamination in der wasserungesättigten Zone

Die Ergebnisse von Grundwasseruntersuchungen zeigen, dass es durch den Altstandort zu einem Eintrag von CKW bzw. insbesondere Tetrachlorethen ins Grundwasser im Bereich eines Grundwasserschongebietes kommt. Im unmittelbaren Anstrom sind keine relevanten Hintergrundbelastungen (CKW max. 2,6 µg/l) gegeben. Im Vergleich dazu wurden im Grundwasserabstrom bei Tetrachlorethen Belastungen zwischen 32 und 120 µg/l nachgewiesen. Aufgrund der Ergebnisse der Immissionspumpversuche kann abgeschätzt werden, dass die Schadstofffracht im Abstrom bei Tetrachlorethen in der Größenordnung von 10 g/d liegt. Die Schadstofffahne reicht mehr als 500 m weit bis in das engere Schutzgebiet eines Wasserwerkes.

Im Vergleich der vorliegenden Untersuchungsergebnisse kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass insbesondere die Kontamination der feinkörnigen Deckschicht im Bereich der beiden beschriebenen Schadensherde die Schadstoffquellen für die kontinuierliche Nachlieferung und den Eintrag von CKW ins Grundwasser darstellen. Unsicherheiten beschränken sich im Wesentlichen auf die flächenmäßige Abgrenzung der Schadensherde, und dass kleinräumig begrenzt tieferreichende Kontaminationen der wasserungesättigten Zone gegeben sein können. Es ist jedoch auszuschließen, dass CKW in Phase bis in die wassergesättigte Zone gelangt sind. Es sind damit aktuell keine wichtigen offenen Fragen zum Schadensbild am Standort gegeben. Aus den verbleibenden Unsicherheiten ergibt sich keine Notwendigkeit für eine weitere Erkundung und auch keine Einschränkung für die Planung von Sanierungsmaßnahmen.

## **Anhang 5 Sanierungsverfahren unter Einbringung von wasserrechtlich bewilligungspflichtigen Stoffen**

Für die Einbringung von Stoffen wie z.B. Nährstoffe (z.B. Melasse, Lactat), Lösungsvermittler (Tenside, Alkohole) oder Oxidationsmittel (Permanganat, Ozon), sind in Österreich besondere rechtliche Aspekte in Hinblick auf den Schutz und die Reinhaltung von Gewässern (Wasserrechtsgesetz 1959) sowie Verbote und Bewilligungsbeschränkungen (QZV Chemie GW - Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser, BGBl. II Nr. 461/2010) zu beachten.

Einige der im Folgenden kurz beschriebenen Verfahren wurden bereits an einzelnen Standorten in Österreich sowie mehrfach in Europa angewandt, gelten in Österreich jedoch aktuell noch nicht als allgemein anerkannter Stand der Technik. Nähere Informationen, eine Einstufung zum Stand der Entwicklung und mögliche Anwendungspotentiale sind im „Technologiequicksan In-situ-Sanierungstechnologien“ (ÖVA 2010) enthalten.

### **Hydraulische *In-situ*-Dekontaminationsmaßnahmen – Spülungen**

Mittels Spülungen werden CKW in der wassergesättigten Zone mobilisiert, mittels entsprechenden Sanierungs- und Sicherungsbrunnen gefasst und die abgepumpten verunreinigten Wässer mittels On-Site-Behandlung gereinigt. Als Spülmittel werden im Allgemeinen Lösungsvermittler<sup>12</sup>, wie Tenside oder Alkohole verwendet, die über Drainageleitungen oder Spüllanzen in der wassergesättigten Zone im Bereich der Kontamination versickert werden.

Durch die Spülung mit Tensiden werden flüssige Schadstoffphasen durch die Herabsetzung der Oberflächenspannung fließfähiger, durch die Spülung mit Alkohol erfolgt die Erhöhung der Löslichkeit organischer Schadstoffe und die Mobilisierung von freien Schadstoffphasen. Mit spezifisch auf die Zusammensetzung der Kontamination abgestimmten Alkoholmischungen kann die Dichte in CKW-Phasen (und anderen DNAPL-Mischphasen) so weit herabgesetzt werden, dass zudem ein Absinken der Schadstoffe verhindert wird und ein Alkohol-Wasser-Schadstoffgemisch erzeugt wird, das hydraulisch kontrolliert werden kann.

Die gelösten CKW sowie die lösungsvermittelnde Substanz müssen über den Betrieb von Brunnen erfasst werden. Nach entsprechender Behandlung wird das gereinigte Wasser im Allgemeinen wieder zur Spülung verwendet.

Spülungen werden in der Regel nur in der wassergesättigten Zone eingesetzt. Essentiell für eine erfolgreiche Sanierung ist die gleichmäßige Verteilung des Spülmittels im kontaminierten Untergrund. Der Untergrund sollte deshalb mittel- bis stark durchlässig und möglichst homogen sein. Bei Spülung von CKW ist zu berücksichtigen, dass es zu einer Schadstoffverlagerung in größere Tiefen und zu einer unkontrollierten Ausbreitung kommen kann. Wenn sich DNAPL-Phasenkörper bereits am Grundwasserstauer ausgebildet haben, ist die Kontrolle der Mobilisierung der Phase schwierig und nur in Einzelfällen möglich.

---

<sup>12</sup> Auch Spülungen mit reinem Wasser können aufgrund einer verstärkten Durchströmung eine Dekontamination bewirken.

## Biologische *In-situ*-Dekontaminationsmaßnahmen

Ziel der mikrobiologischen *In-situ*-Sanierungsverfahren ist der CKW-Abbau von organischen Schadstoffen durch Mikroorganismen im Untergrund. Zum forcierten Abbau von Schadstoffen erfolgt eine Veränderung der Milieubedingungen für die Mikroorganismen, die bereits am Standort vorhanden sind (bei CKW insbesondere durch Einbringung von Elektronendonatoren zur Optimierung der reduktiven Dechlorierung). Hochchlorierte Substanzen (z.B. PCE, TCE, CT, CF) unterliegen keinem aerob oder anaerob oxidativen Abbau. Hingegen ist eine Dechlorierung niederchlorierter Substanzen wie cis-Dichlorethen (cDCE) und Vinylchlorid (VC) grundsätzlich unter Zugabe von Elektronenakzeptoren, wie O<sub>2</sub>, Mn(IV), Fe(III) oder Sulfat möglich.

Für die vollständige Dechlorierung von CKW stehen derzeit folgende mikrobiologische Verfahren zur Auswahl:

- Anaerobe Verfahren mit Zugabe von Co-Substraten
- Aerobe Verfahren mit Zugabe von Methan

Für den Abbau niederchlorierter Substanzen stehen weiters aerobe Verfahren mit Zugabe von weiteren Sauerstoffträgern zur Verfügung, für diese Verfahren wird allerdings auf die Literatur verwiesen.

### Anaerobe Verfahren unter Einbringung von Substraten

Ziel der Zugabe von organischen Kohlenstoffverbindungen ist es, den anaeroben Abbau von CKW in der wassergesättigten Zone zu forcieren. Als gut abbaubare Co-Substrate werden lösliche Stoffe (z.B. Melasse, Lactat, Ethanol) oder unlösliche, langsam hydrolysierende Produkte verwendet. Mit dem Abbau der Co-Substrate entsteht Wasserstoff, der im anaeroben Milieu als Reduktionsmittel (= Elektronendonator) wirkt. Es erfolgt eine stufenweise Reduktion der CKW, wobei schrittweise Chlorchlor durch Wasserstoffatome ersetzt werden (reduktive Dechlorierung).

Die Einbringung der Co-Substrate erfolgt über konventionelle Brunnen bzw. Hochdruckinjektionsbrunnen direkt in die wassergesättigte Zone. Die Verteilung der Substrate im Aquifer erfolgt konvektiv über die natürliche Grundwasserströmung. Lösliche Stoffe werden direkt, schwerlösliche Stoffe, wie Pflanzenöle, werden entweder direkt oder als tensid-stabilisierte Emulsionen infiltriert. Während der Maßnahmen sollte im Grundwasserabstrom eine Sicherung betrieben werden. Eine stabile Aufrechterhaltung zumindest sulfatreduzierender Bedingungen ist zwingend erforderlich. Das Verfahren ist für gut bis mitteldurchlässige, homogene Grundwasserleiter geeignet. Das Vorliegen von Begleit-schadstoffen (z.B. PAK, Chromat), die in für Mikroorganismen toxisch relevanten Konzentrationen vorliegen, kann zu einer Hemmung des Abbaus führen<sup>13</sup>. Von der Anwendung bei residual gesättigten Kontaminationsbereichen ist abzuraten.

Die anaeroben Verfahren mit Substratzugabe befinden sich im Stand der (fortgeschrittenen) Entwicklung. In Österreich wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens „InnoSan“ ein mehrstufiges mikrobiologisches Verfahren zur Förderung des CKW-Abbaus im Grundwasser entwickelt und an CKW-kontaminierten Standorten in Österreich demonstriert. Im Zuge des Forschungsvorhabens wurde die Technische Arbeitshilfe „Anaerobe Biologische In Situ Sanierung (ABIS) von LCKW-belastetem Grundwasser“ (SCHERR ET AL. 2011B) erstellt, der nähere Informationen und Verfahrensgrundlagen entnommen werden können.

---

<sup>13</sup> Andererseits können reduzierte Schadstoffe (PAK, MKW) unter Umständen die reduktive Dechlorierung fördern, da sie als Elektronendonatoren wirken können.

### Aerobe Verfahren unter Einbringung von Methan

Bei diesem Verfahren wird im Rahmen einer konventionellen Bodenbelüftung Luft, welche mit 0,5 bis 2,2 Vol.-% Methan angereichert ist, in den Untergrund eingebracht. Ziel dabei ist es, das selektive Wachstum der ubiquitär verbreiteten methanotrophen Mikroorganismen zu forcieren, wobei der Einsatzbereich in der Regel von der Schadstofffahne bis in die Randbereiche der Schadstoffquelle reicht. Die methanotrophen Mikroorganismen produzieren zur Verwertung des eingebrachten Methans das Enzym Methan-Monooxygenase, das als Nebenreaktion die Oxidation von  $C_2$ -CKW katalysiert. Dabei wird in einem ersten Schritt aus den  $C_2$ -CKW ein Epoxid gebildet, das in weiterer Folge in  $CO_2$  und  $Cl^-$  zerfällt. Die Einbringung des Methan-Luftgemisches erfolgt mittels konventioneller Belüftungstechnologie über Belüftungsanlagen, in die wassergesättigte oder wasserungesättigte Zone. Zur weiteren Erhöhung des Nährstoffangebotes können in Ergänzung auch geringe Mengen Lachgas ( $N_2O$ ) als Stickstoff-Quelle und Triethylphosphat als Phosphat-Quelle zugesetzt werden.

Die Verfahren werden i.d.R. mit einer Sicherung des Grundwasserabstroms angewandt. Die Anwendung des Verfahrens setzt eine ausreichende Möglichkeit zur Gasdiffusion im Untergrund voraus. Mitteldurchlässiger, möglichst homogen aufgebauter Untergrund kann mit dem Verfahren noch behandelt werden. Das Vorliegen von Begleitschadstoffen, die in für Mikroorganismen toxisch relevanten Konzentrationen vorliegen, kann zu einer Hemmung des biologischen Abbaus führen. Bei stark inhomogenem Aufbau des Untergrundes ist das Verfahren nicht einsetzbar.

## **Chemische *In-situ*-Dekontaminationsmaßnahmen**

### *In-situ*-Chemische Oxidation (ISCO)

Durch die Einbringung eines aggressiven Oxidationsmittels wird im Rahmen einer *In-situ*-Chemischen-Oxidation die rasche und möglichst weitgehende chemische Umwandlung von CKW erzwungen. Die am häufigsten eingesetzten Reagenzien dafür sind Permanganate, Ozon, und Peroxide sowie untergeordnet auch Persulfate.

Ozon wird im Gegensatz zu den meisten Oxidationsmitteln mittels Lanzen direkt als Gas in den Kontaminationsherd in die wasserungesättigte als auch die wassergesättigte Zone eingeblasen. Die Oxidation der organischen Schadstoffe erfolgt direkt oder durch die Bildung freier Radikale, wobei diese als nicht-selektive Oxidationsmittel alle organischen Verbindungen angreifen und ihre Kohlenstoffbindungen aufbrechen.

Im Gegensatz zur gasförmigen Einbringung werden Permanganate, Peroxide und Persulfate in Lösung über Grundwasserbrunnen oder Injektionslanzen in den Grundwasserleiter, bzw. in die in der wassergesättigten Zone liegende Schadstoffquelle infiltriert.

Die Reaktions-Stöchiometrie für Kaliumpermanganat und Natriumpermanganat ist sehr komplex; aufgrund der verschiedenen Wertigkeitsstufen und Mineralformen von Mangan sind verschiedenste Reaktionen möglich. In Abhängigkeit vom pH-Wert kann die Reaktion durch z.B. direkten Elektronentransfer oder durch freie Radikal-Oxidation ablaufen. Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) bildet unter Anwesenheit eines Metallkatalysators (meist Eisen, welches entweder separat oder als klassisches „Fenton's Reagenz“ (=  $H_2O_2$  + Eisen(II)) eingebracht wird) freie Hydroxyl-Radikale ( $\bullet OH$ ), welche als sehr starke, nicht-spezifische Oxidationsmittel dienen. Weiters setzen diese Radikale eine Kettenreaktion in Gang, in der Superoxid-Anionen ( $\bullet O_2^-$ ), Hydroperoxid-Radikale ( $HO_2\bullet$ ) und organische Radikale ( $R\bullet$ ) gebildet werden, welche wiederum mit dem Schadstoff reagieren. In wässriger Lösung vorliegende Persulfat-Anionen ( $S_2O_8^{2-}$ ) hingegen stellen selbst ein starkes Oxidationsmittel dar, welches direkt mit organischen Schadstoffen reagiert. Unter Katalyse (z.B. durch Eisen(II)-Salze) oder durch Erwärmen reagiert das Anion weiter zu Sulfat-Radikalen, welche ein noch stärkeres Oxidationsmittel darstellen. Diese Sulfat-Radikale sind stabiler als Hydroxyl-Radikale und erzielen dadurch

größere Wirkungsradien als z.B. das „Fenton's Reagenz“. Die weiteren Abbaureaktionen führen je nach pH-Wert und Persulfatkonzentration zu Sauerstoff, Wasserstoffperoxid und Peroxomonosulfat.

Beim Einsatz von Verfahren zur *In-situ*-chemischen-Oxidation ist jedenfalls eine Abstomsicherung vorzusehen. Bei hohen Schadstoffkonzentrationen kann aufgrund der exothermen Reaktion eine Überführung von flüchtigen Schadstoffen in die Bodenluft erfolgen, sodass eine begleitende Absaugung der Bodenluft erforderlich werden kann. Für eine erfolgreiche Sanierung sind eine gleichmäßige und flächendeckende Verteilung der Oxidationsmittel sowie die Sicherstellung einer möglichst guten Vermischung von Oxidationsmittel und Schadstoff im kontaminierten Aquifer entscheidend. Der Untergrund sollte mittel- bis stark durchlässig und möglichst homogen sein. Auf einen erhöhten Arbeitsschutz ist bei allen Verfahren zu achten (Ozon ist giftig, es treten stark exotherme Reaktion auf, etc.). Ein hoher Gehalt natürlich vorkommender, oxidierbarer Stoffe kann aufgrund des resultierenden hohen Oxidationsmittelbedarfs zu massiven Einsatzeinschränkungen führen.

### *In-situ*-Chemische Reduktion (ISCR)

Die *In-situ*-Chemische-Reduktion von chlorierten Kohlenwasserstoffen in der Schadstoffquelle sowie in der Schadstofffahne basiert auf der chemischen Reduktion der CKW mittels nullwertigem Eisen. Unter neutralen pH-Bedingungen ist elementares Eisen nicht stabil, sodass sich beim Kontakt mit Wasser Wasserstoff bildet. Diese als anaerobe Korrosion bezeichnete Reaktion führt zur Bildung von  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen und zu einem Anstieg des pH-Wertes. Gleichzeitig reagieren sowohl elementares Eisen als auch gelöste  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen mit im Wasser gelöstem Sauerstoff oder anderen Oxidationsmitteln. Hierbei entstehen bevorzugt  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen, welche aufgrund ihrer schlechten Löslichkeit in Form von Hydroxiden ausgefällt werden. Der Schadstoffabbau selbst erfolgt unter den sich einstellenden anaeroben Bedingungen für chlorierte organische Schadstoffe durch Reduktion, wobei hier die Halogenatome am Schadstoff abgespalten werden und nullwertiges Eisen zu zweiwertigem Eisen oxidiert wird. Weiters trägt auch der bei der Reaktion von Eisen mit Wasser entstandene Wasserstoff zur reduktiven Dechlorierung bei.

Bezüglich der Einbringung des Eisens werden generell zwei Methoden eingesetzt. Entweder wird das Eisen in Bauwerken in den Untergrund eingebracht (s. Kapitel 9.1.2) oder es wird als Nano-Eisenpartikel in den Untergrund injiziert. Bei der Injektion von Eisenpartikeln unterscheidet man zwischen der Einbringung von bimetallischem Nano-Eisen (Dotierung mit anderen Metallen) und emulgiertem Nano-Eisen. Erfolgt die Einbringung des Reduktionsmittels über eine Injektion, ist eine Abstomsicherung in Form einer Grundwasserentnahme umzusetzen (s. Kapitel 9.1.1.1). Es ist darauf hinzuweisen, dass die Reaktivität von Nano-Eisenpartikeln sehr spezifisch ist. Beispielsweise können nicht alle CKW-Kontaminanten gleich gut behandelt werden. So ist 1,2-Dichlorethan nur mit bimetallischem Nano-Eisen behandelbar.

Bei der Injektion des Reduktionsmittels ist dessen gleichmäßige und flächendeckende Verteilung im Untergrund entscheidend, womit dieser mittel- bis stark durchlässig und möglichst homogen sein sollte. Für stark inhomogene oder gering durchlässige Böden ist das Verfahren ungeeignet. Durch die Reaktion mit Wasser entsteht Wasserstoff, der bei Anreicherung in geschlossenen Bereichen explosionsfähige Atmosphären (Knallgas) bilden kann. Die Suspension hat basische Eigenschaften (pH 11) und kann Augen und Haut reizen. Auf ausreichenden Arbeitsschutz bei der Manipulation ist zu achten.

## Anhang 6 Orientierungswerte und Grenzwerte

Tabelle 10: Orientierungswerte und Grenzwerte für CKW

Parameter/Medium	Einheit	Wert	Kategorie <sup>1)</sup>	Quelle <sup>2)</sup>	Bemerkung
<b>Bodenluft</b>					
ΣCKW <sup>4)</sup>	mg/m <sup>3</sup>	5	PW	ÖNORM S 2088-1	gilt für wasserrechtlich besonders geschützte oder wasserwirtschaftlich bedeutende Gebiete sowie Standorte mit geringem Schadstoffrückhaltevermögen der wasserungesättigten Zone
	mg/m <sup>3</sup>	10	MSW	ÖNORM S 2088-1	
	mg/m <sup>3</sup>	10	PW	ÖNORM S 2088-1	Standorte, an denen aufgrund der hydrologischen, geologischen und hydrogeologischen Standortverhältnisse die Möglichkeit eines Eintrages von Schadstoffen in das Grundwasser deutlich reduziert wird
	mg/m <sup>3</sup>	- <sup>3)</sup>	MSW	ÖNORM S 2088-1	
	<b>mg/m<sup>3</sup></b>	<b>10</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 411/2005	HKW-Anlagenverordnung
<b>Grundwasser</b>					
ΣCKW	µg/l	18	PW	ÖNORM S 2088-1	
	µg/l	30	MSW	ÖNORM S 2088-1	
ΣTetra- und Trichlorethen	µg/l	6	PW	ÖNORM S 2088-1	
	µg/l	10	MSW	ÖNORM S 2088-1	
	<b>µg/l</b>	<b>10</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 304/2001	Trinkwasserverordnung
	<b>µg/l</b>	<b>9</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 98/2010	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
Σ Trihalomethane <sup>5)</sup>	<b>µg/l</b>	<b>30</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 304/2001	Trinkwasserverordnung
	<b>µg/l</b>	<b>27</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 98/2010	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
1,2-Dichlorethan	<b>µg/l</b>	<b>3</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 304/2001	Trinkwasserverordnung
	<b>µg/l</b>	<b>2,7</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 98/2010	Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser
Vinylchlorid	µg/l	0,3	PW	ÖNORM S 2088-1	
	µg/l	0,5	MSW	ÖNORM S 2088-1	
	<b>µg/l</b>	<b>0,5</b>	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 304/2001	Trinkwasserverordnung
AOX (als Cl)	µg/l	10	PW	ÖNORM S 2088-1	



Tabelle 11: Fortsetzung Orientierungswerte und Grenzwerte für CKW

Parameter/Medium	Einheit	Wert	Kategorie <sup>1)</sup>	Quelle <sup>2)</sup>	Bemerkung
<b>Oberflächenwasser</b>					
Dichlormethan	µg/l	20	<b>GW</b>	BGBI. II Nr. 96/2006	Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer
Trichlormethan	µg/l	12	<b>GW</b>		
Tetrachlormethan	µg/l	12	<b>GW</b>		
1,2-Dichlorethen (cis+trans)	µg/l	10	<b>GW</b>		
Trichlorethen	µg/l	10	<b>GW</b>		
Tetrachlorethen	µg/l	10	<b>GW</b>		
1,2-Dichlorethan	µg/l	10	<b>GW</b>		
AOX (als Cl)	µg/l	50	<b>GW</b>		

1) Orientierungswerte: PW...Prüfwert, MSW...Maßnahmschwellenwert; GW...Grenzwert

2) jeweils in der gültigen Fassung (Stand Sept. 2012)

3) im Einzelfall festzulegen

4) Summe der leichtflüchtigen halogenierten C<sub>1</sub>- und C<sub>2</sub>-Kohlenwasserstoffe

5) Chloroform, Bromoform, Dibromchlormethan, Bromdichlormethan

## Anhang 7 Glossar

### **Ablagerung (s. ÖNORM S 2086)**

anthropogene Anschüttungen von Feststoffen im oder auf dem Untergrund

### **Altablagerung (s. ÖNORM S 2086)**

Ablagerung von Abfällen, die befugt oder unbefugt durchgeführt wurde

### **Altstandort (s. ÖNORM S 2086)**

Standort einer aufgelassenen Anlage einschließlich allfällig darauf befindlicher Bauteile, auf dem mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde

### **Boden (s. ÖNORM S 2086)**

oberster Bereich des Untergrundes, der durch Verwitterung, Um- und Neubildung (natürlich oder anthropogen verändert) entstanden ist und aufgrund der jeweiligen aktuellen Nutzung weiter verändert wird. Er besteht aus festen anorganischen (Mineralanteil) und organischen Teilen (Humus und Lebewesen) sowie aus mit Wasser samt den darin gelösten Stoffen oder mit Luft gefüllten Hohlräumen. Er steht in Wechselwirkung mit der belebten Umwelt.

### **Bodenluft (s. ÖNORM S 2086)**

gasförmige Phase im Porenraum des Lockergesteins und im Klufthohlraum des Festgesteins

### **Beobachtung (s. ÖNORM S 2086)**

fallbezogene, fachliche Kontrolle durch regelmäßige Überwachung bzw. Untersuchung

### **Dekontamination (s. ÖNORM S 2086)**

Beseitigung der Ursache der Gefährdung sowie Beseitigung der Auswirkungen der Gefährdung im kontaminierten Umfeld. Bei Dekontaminationsmaßnahmen werden die Schadstoffe entweder entfernt oder in eine unschädliche Form übergeführt.

### **Detailuntersuchung (s. ÖNORM S 2086)**

Untersuchung einer Altlast und ihrer Umgebung als Grundlage für die Planung der Sanierungsmaßnahmen

### **Erhebung (s. ÖNORM S 2086)**

systematische Zusammenführung der zu einer Altablagerung oder einem Altstandort vorhandenen Informationen. Die Informationsgewinnung erfolgt ohne unmittelbare Untersuchungen am Standort.

### **Ex situ (s. ÖNORM S 2086)**

Behandlung von Materialien aus Altlasten nach Aushub; vgl. auch „in situ“

### **Feststoff (s. ÖNORM S 2086)**

Überbegriff für alle festen Stoffe, von denen im Rahmen der Untersuchung einer Altablagerung oder eines Altstandortes eine Probe genommen werden kann. Die Probenahme kann z.B. aus dem Boden, dem Untergrund oder der Ablagerung erfolgen.

### **Feststoffprobe (s. ÖNORM S 2086)**

Probe, die durch Entnahme von Feststoffen aus mehreren Bereichen einer Untergrundsicht in einem Untergrundaufschluss gesammelt wird.

### **Gefahr (allgemein)**

Situation, die bei ungehindertem Ablauf des Geschehens in absehbarer Zeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden, also einer Verletzung eines schützenswerten Gutes, führt.

**Gefährdung (s. ÖNORM S 2086)**

mögliche Beeinträchtigung eines Schutzgutes durch Auswirkungen einer Altablagerung oder eines Altstandortes

**Gefährdungsabschätzung (s. ÖNORM S 2086)**

zusammenfassende Darstellung und Bewertung der Gefahrenlage im einzelnen Fall, die auf den Erkenntnissen vorausgegangener Untersuchungen und deren fachlicher Beurteilung beruht

**Grenzwert (angepasst nach ÖNORM S 2086)**

rechtlich bindend festgelegte Toleranzgrenze (z.B. über Verordnung oder Bescheid definierter größter oder kleinster zulässiger Wert) eines Parameters.

**Grundwasser (s. ÖNORM S 2086)**

unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde (Poren, Klüfte u. dgl.) zusammenhängend ausfüllt, unter gleichem oder größerem Druck steht, als er in der Atmosphäre herrscht, und dessen Bewegung durch Schwerkraft und Reibungskräfte bestimmt wird.

**Grundwasser-Probenahmestelle (s. ÖNORM S 2086)**

Überbegriff für alle Stellen oder Einrichtungen, an denen Grundwasserproben entnommen werden können z.B. Grundwassermessstellen, Brunnen, Untergrundaufschlüsse.

**Hintergrundwert (angepasst nach QZV Chemie Grundwasser, BGBl. II Nr. 98/2010)**

Konzentration eines Stoffes oder Wert eines Indikators für Kontaminationen, der keinen oder nur sehr geringen anthropogenen Veränderungen gegenüber einem unbeeinflussten Zustand entspricht.

**Imprägnationszone**

Bereich des Kontaminationsherdes, in dem im Untergrund die CKW als flüssige Phase vorkommen.

**In situ (s. ÖNORM S 2086)**

Behandlung von Materialien in Altlasten ohne deren räumliche Lageveränderung; vgl. auch „ex situ“

**Kontamination; Verunreinigung (s. ÖNORM S 2086)**

anthropogene Veränderung der natürlichen Zusammensetzung des Untergrundes oder von Bauwerken/Baulichkeiten, des Wassers oder der Luft durch Materialien oder Stoffe, die mittelbar oder unmittelbar schädliche Auswirkungen auf den Menschen oder die Umwelt haben können und zu erhöhten Aufwendungen, Haftungen oder Risiken des Eigentümers oder Nutzers führen. Die anthropogenen Veränderungen können z.B. durch chemische Stoffe mit gefährlichen Eigenschaften im Sinne des ChemG 1996, §2 (1) und §3 (1) oder durch radioaktive Stoffe bedingt sein. Unter Kontamination sind nicht zu verstehen: Lagerungen von Stoffen in Gebinden, Tanks und Ablagerungen, die noch keine untrennbare Verbindung mit dem Boden eingegangen sind, sowie Blindgänger bzw. Kriegsmaterialien.

**Kontrolluntersuchung (s. ÖNORM S 2086)**

Untersuchung einer Altlast als Grundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen

**Maßnahmschwellenwert (angepasst s. ÖNORM S 2086)**

Wert, bei dessen Überschreitung in der Regel Maßnahmen (Dekontamination, Sicherung, Beobachtung, Nutzungseinschränkung) notwendig sind

**Nutzungseinschränkung (s. ÖNORM S 2086)**

Verminderung des Nutzungsumfanges eines Grundstückes bzw. Schutzgutes, die als begleitende Maßnahme notwendig sein kann

**Off-Site (s. ÖNORM S 2086)**

Behandlung von Materialien aus Altlasten nach Aushub an einem anderen Ort; vgl. auch „On-Site“

**On-Site (s. ÖNORM S 2086)**

Behandlung von Materialien aus Altlasten am Standort (vor Ort) im unmittelbaren Bereich der Altlast; vgl. auch „Off-Site“

**Orientierungswert (s. ÖNORM S 2086)**

Stoffkonzentration, die als Vergleichsgröße eine Hilfe bei der Gefährdungsabschätzung darstellt. Orientierungswerte sind Ausgangspunkt für eine standortbezogene Bewertung des Einzelfalles.

**Prüfwert (s. ÖNORM S 2086)**

Wert, bei dessen Überschreitung weitere Erhebungen und Untersuchungen zur Sachverhaltsklärung notwendig sind. Bei Unterschreitung ist in der Regel keine Gefährdung gegeben.

**Probenahmeplan (s. ÖNORM S 2086)**

Festlegung eines Ablaufschemas sämtlicher für die Durchführung der Probenahme relevanten Randbedingungen

**Referenzwert**

Konzentration eines Stoffes oder Wert eines Indikators, der sich aus der Summe von Hintergrundwert und anthropogener Belastung ergibt und der in der Umgebung eines Altstandortes oder einer Altablagerung gemessen wird.

**Sanierung (s. ÖNORM S 2086)**

Überbegriff für Dekontamination bzw. Sicherung

**Schutzgut**

Objekte, die eines Schutzes bedürfen, sind insbesondere die Gesundheit des Menschen, weiters die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft sowie pflanzliche und tierische Lebewesen mit ihren Ökosystemen.

**Sicherung (s. ÖNORM S 2086)**

Verhinderung der Ausbreitung möglicher Emissionen von gesundheits- und/oder umweltgefährdenden Schadstoffen. Sicherungsmaßnahmen beseitigen die Kontaminationsquelle nicht.

**Sickerwasser (s. ÖNORM S 2086)**

aus Altablagerungen bzw. Altstandorten austretendes Wasser

**Untergrund (s. ÖNORM S 2086)**

oberste Schicht der Erdkruste, die unterhalb der natürlichen, geschütteten oder befestigten Geländeoberkante ansteht. Der Untergrund umfasst sowohl den Boden als auch Locker- und Festgesteine.

**Untergrundschicht (s. ÖNORM S 2086)**

augenscheinlich abgrenzbare oder definierte Schicht des Untergrundes, die aufgrund ihrer Eigenschaften im Feld als homogen zu bewerten ist. Aus dieser Schicht wird eine Feststoffprobe gewonnen.

**Untergrundaufschluss (s. ÖNORM S 2086)**

Überbegriff für Bohrungen und Schürfe

**Untersuchung (s. ÖNORM S 2086)**

Anwendung geeigneter Verfahren zur Gewinnung von Informationen über den Standort oder vorhandene Schadstoffe

**Voruntersuchung (s. ÖNORM S 2086)**

Untersuchung einer Altablagerung oder eines Altstandortes, und deren Umgebung, zur Erkennung und Charakterisierung des Schadstoffpotentials und der daraus resultierenden Beeinträchtigung der Schutzgüter. Die Voruntersuchung stellt die Grundlage für die Gefährdungsabschätzung dar.

**Wasserungesättigte Zone**

Bereich des Untergrundes, dessen Hohlräume nicht zusammenhängend mit Wasser gefüllt sind.

**Wassergesättigte Zone**

Bereich des Untergrundes, dessen Hohlräume zusammenhängend mit Wasser gefüllt sind.