

Untersuchung von CKW-Belastungen

Expertenbericht

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Oktober 2016



Verfasser:
Arbeitsgruppe Expertenbericht für die Untersuchung von CKW-Belastungen:

▶ Gabriele Büring	AWEL ZH, ChloroNet, Projektleitung	Zürich
▶ Thomas Eisenlohr	Dr. Heinrich Jäckli AG	Winterthur
▶ Manfred Flum	Villiger-Systemtechnik AG	Küngoldingen
▶ Bernhold Hahn	Peter Link AG	Ebnat-Kappel
▶ Daniel Hunkeler	Université de Neuchâtel, CHYN	Neuchâtel
▶ Antoine Indaco	CSD Ingénieurs Conseils SA	Lausanne
▶ Jürg Krebs	Amt für Wasser und Abfall	Bern
▶ Reto Philipp	magma AG	Zürich (Leitung)
▶ Tilman Theurer	magma AG	Zürich (Redaktion)

Begleitung BAFU:

▶ Christiane Wermeille	BAFU, Altlasten	Bern
------------------------	-----------------	------

Dieser Expertenbericht wurde 2011 im Auftrag des BAFU von einer Expertengruppe im Rahmen des Projekts ChloroNet erarbeitet und stellt die Meinung dieser Expertengruppe dar. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich. 2016 erfolgte eine Anpassung des Berichtes hinsichtlich der Bedeutung von Feststoffbeprobungen bei CKW-Belastungen. Diese sind aufgrund der CKW-Stoffeigenschaften einerseits problematisch, andererseits jedoch eine praxistaugliche und für die CKW-Standortabgrenzung unverzichtbare Beprobungsmethode. Das Factsheet über die Massnahmen zur Verminderung von Fehlerquellen bei Probenahme und Messung von CKW-Feststoffproben (Beilage 9) verweist auf die Punkte, welche einzuhalten sind, um aussagekräftige Feststoffanalysen zu erhalten.

Inhalt

Begriffsdefinitionen	4
1 Ausgangslage/Zielsetzung.....	6
1.1 Ausgangslage.....	6
1.2 Zielpublikum.....	7
1.3 Zielsetzungen	7
2 Grundlagen	9
2.1 Gesetzliche Grundlagen	9
2.2 Praxishilfen und Vollzugshilfen für die Untersuchung.....	9
3 Schadstoffverhalten von CKW im Untergrund.....	11
3.1 Einführung.....	11
3.2 Verhalten von CKW-Phase	12
3.3 Ausbreitung von gasförmigen CKW	14
3.4 Ausbreitung von wassergelösten CKW	15
3.5 Sorption von Schadstoffen an der Feststoffphase.....	18
3.6 Größenordnungen der Massenverteilung von CKW im Untergrund	19
3.7 Biologischer Abbau im Untergrund.....	19
3.8 Folgerungen für die Probenahme an belasteten Standorten	19
3.9 Einsatz von Berechnungsmodellen	20
4 Geologische und hydrogeologische Beschreibung.....	21
4.1 Einführung.....	21
4.2 Zweck des hydrogeologischen Modells	21
4.3 Elemente des hydrogeologischen Modells	21
4.4 Schadstoffeintrag.....	23
4.5 Bewertung des hydrogeologischen Modells.....	23
5 Historische Untersuchung	24
5.1 Standortgeschichte	24
5.2 Standortbeschreibung (heutiger Zustand).....	30
5.3 Plan der Untersuchungsflächen und Untersuchungsmatrix	31
6 Pflichtenheft für die Technische Untersuchung.....	34
6.1 Generelle Bemerkungen	34
6.2 Untersuchungsstrategie.....	34
6.3 Ablauf und Grundlagen für die Erstellung des Pflichtenhefts.....	36
6.4 Umfang des Pflichtenhefts.....	37
6.5 Genehmigung Pflichtenheft	39
7 Technische Untersuchung	40
7.1 Planung der Probenahme	40
7.2 Porenluftuntersuchung.....	41
7.3 Untersuchung von Boden- und Feststoffproben	44
7.4 Direct-Push Sondierungen und MIP-Messungen.....	47

7.5	Eluatuntersuchungen.....	49
7.6	Untersuchung von Grundwasserproben.....	50
7.7	Analytikverfahren.....	58
7.8	Unsicherheiten bei CKW-Probenahmen und CKW-Analysen	58
7.9	Probenahmeprotokolle.....	59
7.10	Anforderungen an das Analytiklabor	60
8	Dokumentation der Untersuchung.....	62
8.1	Anforderungen an den Untersuchungsbericht	62
8.2	Berichtsraster.....	64
	Literaturverzeichnis	65

Beilagen

Beilage 1:	Checkliste geologische Beschreibung des Untergrunds
Beilage 2:	Branchenliste mit branchenüblichen Prozessen, bei denen CKW eingesetzt wurden
Beilage 3:	Checkliste Archive
Beilage 4:	Checkliste betriebsspezifische Informationsquellen
Beilage 5:	Leitfaden Historische Untersuchung
Beilage 6:	CKW-spezifische Fragestellungen
Beilage 7a:	Berichtsraster HU
Beilage 7b:	Berichtsraster TU
Beilage 8a:	Probenahmeprotokoll Grundwasser
Beilage 8b:	Probenahmeprotokoll Feststoffproben
Beilage 9 :	Factsheet über die Massnahmen zur Verminderung von Fehlerquellen bei Probenahme und Messung von CKW-Feststoffproben (Version November 2015)

Begriffsdefinitionen

Abkürzung	Definition d	Abbréviation	Définition f
1,1-DCA	1,1-Dichlorethan	1,1-DCA	1,1-Dichloréthane, Dichlorure d'éthylidène
1,2-DCA	1,2-Dichlorethan, Ethylendichlorid	DCE, 1,2-DCA	1,2-Dichloréthane, Dichlorure d'éthylène
1,1-DCE	1,1-Dichlorethen, 1,1-Dichlorethylen, Vinylidendichlorid	1,1-DCE	1,1-Dichloréthène, Chlorure de vinylidène
1,1,1 1,1,1-TCA	1,1,1-Trichlorethan, Ethyltrichlorid, Methylchloroform	1,1,1 1,1,1-TCA	1,1,1-Trichloréthane, Méthylchloroforme, Chlorothène
1,1,2,2-TCA	1,1,2,2-Tetrachlorethan, Acetylentetrachlorid	1,1,2,2-TCA	1,1,2,2-tétrachloréthane, Tétrachlorure d'acétylène
1,2-DCP	1,2-Dichloropropan, Propylenchlorid	1,2-DCP	1,2-Dichloropropane, Dichlorure de propylène
CCl ₄ (R10)	Tetrachlormethan, Tetrachlorkohlenstoff, Kohlenstofftetrachlorid	CCl ₄ (R10)	Tétrachlorométhane, Tétrachlorure de carbone
cDCE cis-1,2-DCE	cis-1,2-Dichlorethen, cis-1,2-Dichlorethylen	cDCE cis-1,2-DCE	cis-1,2-dichloréthène, cis-dichloréthylène
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe	HCC	Hydrocarbures chlorés
DCM	Dichlormethan, Methylendichlorid	DCM	Dichlorométhane, Dichlorure de méthylène
DNAPL	Dense non aqueous phase liquid: Dichte lipophile Flüssigphase, Dichte > 1 g/cm ³ .	DNAPL	Dense non aqueous phase liquid: Phase liquide non aqueuse dense, densité > 1 g/cm ³ .
FCKW	Fluorierte chlorierte Kohlenwasserstoffe, speziell in Kühlgeräten und in Feuerlöschanlagen eingesetzt (FCKW werden im vorliegenden Expertenbericht nicht behandelt).	HCFC	Hydrochlorofluorocarbones, utilisés dans les appareils de réfrigération et dans les installations d'extinction d'incendie (les HCFC ne sont pas traités dans ce guide pratique).
HU	Historische Untersuchung	IH	Investigation historique
LCKW	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (Synonym zu CKW, im vorliegenden Kontext wird nur der Begriff CKW verwendet)	HCCV	Hydrocarbures chlorés volatils (synonyme de HCC, dans le cas présent seulement le terme HCC sera utilisé)
LHKW, HKW	(Leichtflüchtige) halogenierte Kohlenwasserstoffe: Überbegriff, umfassen neben den chlorierten Kohlenwasserstoffen zusätzlich fluorierte und bromierte Kohlenwasserstoffe	HCHV, HH	Hydrocarbures halogénés (volatils): Terme, qui comprend en plus des hydrocarbures chlorés, les hydrocarbures fluorés et bromés
LNAPL	Light non aqueous phase liquid: Leichte lipophile Flüssigphase, Dichte < 1 g/cm ³ .	LNAPL	Light non aqueous phase liquid: Phase liquide non aqueuse légère, densité > 1 g/cm ³ .
PER, PCE	Perchlorethen, Perchlorethylen, Tetrachlorethen, Tetrachlorethylen	PER, PCE	Perchloroéthène, Perchloroéthylène, Tétrachloréthène, Tétrachloroéthylène
trans-DCE	trans-1,2-Dichlorethen, Acetylendichlorid,	trans-DCE	Trans-1,2-dichloréthène, Trans-dichloroéthylène
CKW-Fahne	Zone mit vom Schadenherd abströmendem, CKW-belastetem Grundwasser (Schadstoffe gelöst und Konzentration je Einzelstoff > 1 µg/l)	Panache de HCC	Zone où de l'eau souterraine polluée avec des HCC s'écoule depuis le foyer de pollution (polluants dissous et concentration par type de substance > 1 µg/l)
TRI, TCE	Trichlorethen, Trichlorethylen	TRI, TCE	Trichloréthène, Trichloréthylène, Ethylène trichloré, Trichlorure d'éthylène, Trichlorure d'acétylène
TU	Technische Untersuchung	IT	Investigation technique
VOC	Volatile organic compound. Flüchtige organische Verbindungen: Überbegriff für organische Stoffe, die leicht verdampfen.	COV	Composés organiques volatiles: sont des hydrocarbures pouvant facilement se trouver sous forme gazeuse.

Abkürzung	Definition d	Abbréviation	Définition f
VC	Vinylchlorid	CV	Chlorure de vinyle, Chloroéthylène
Phase	Bereich, in dem Schadstoff als flüssiger Reinstoff vorhanden ist. Sie tritt entweder als zusammenhängender Phasenkörper auf einem Stauer (DNAPL) oder in Form isolierter Phasentröpfchen in Porenräumen auf.	Phase	Domaine dans lequel un polluant existe à l'état pur sous forme liquide. On la trouve soit sous la forme d'un corps continu sur un plancher imperméable (DNAPL), soit sous forme dispersée (en gouttelettes de phase isolées) dans la zone poreuse.

Mit chlorierten Kohlenwasserstoffen sind in diesem Expertenbericht die aliphatischen chlorierten Kohlenwasserstoffe des Anhangs 1 der Altlasten-Verordnung gemeint, d.h. die „klassischen“, meist leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW), inkl. 1,2-Dibromethan. Im nachfolgenden Text werden diese der Einfachheit halber als CKW bezeichnet. Nicht behandelt werden chlorierte aromatische Verbindungen (z.B. Chlorbenzole, PCB) sowie mit anderen funktionellen Gruppen (z.B. Amine) substituierte aliphatische chlorierte Verbindungen.

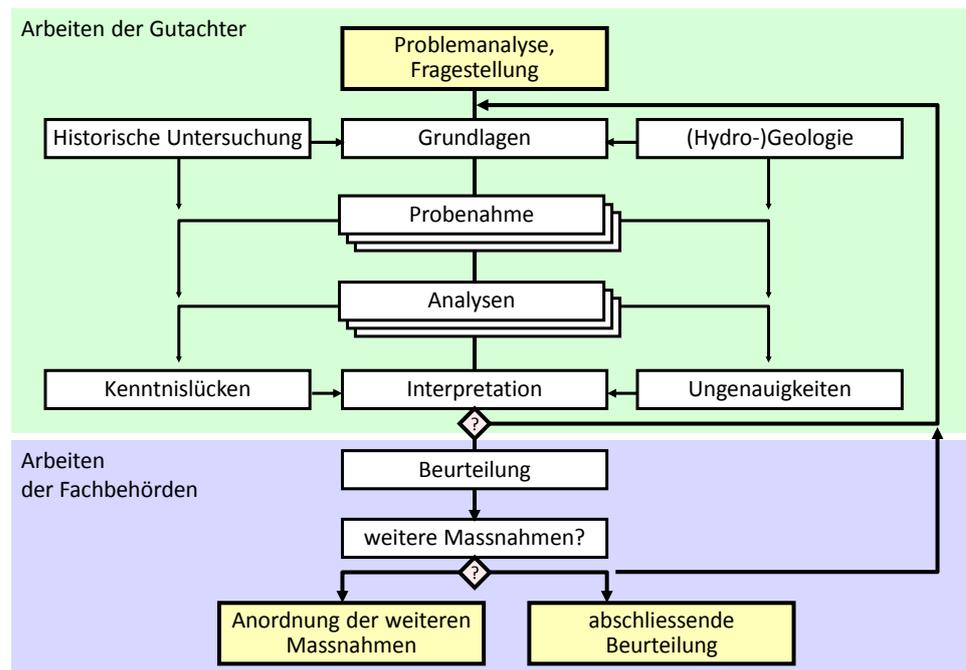
1 Ausgangslage/Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe sind vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts als Lösungs- und Reinigungsmittel in zahlreichen gewerblichen und industriellen Prozessen eingesetzt worden. Die Freisetzungsmöglichkeiten der CKW in die Umwelt und deren Gefährdungspotential sind erst spät erkannt worden. Belastungen und Altlasten mit CKW als Hauptschadstoffen stellen daher sowohl hinsichtlich Anzahl der Fälle wie auch hinsichtlich der Einwirkungen auf die Umwelt einen bedeutenden Teil der aktuellen Altlastenbearbeitung in der Schweiz dar.

Bei den technischen Untersuchungen von Standorten mit CKW-Belastungen (Vor-, Detail- und Sanierungsuntersuchungen), bei welchen meist Porenluft-, Grundwasser- und Feststoffanalysen durchgeführt werden, muss der Gutachter stets die unvermeidbaren Ungenauigkeiten der Probenahme- und Analysenmethoden beachten. Bei Untersuchungen von CKW-Belastungen trifft dies in vermehrtem Ausmass zu, weil die Verluste an leichtflüchtigen Schadstoffen bei den gängigen Probenahme- und Analysetechniken unvermeidbar sind und nur minimiert werden können.

Abb. 1:
Ablauf einer
Technischen Unter-
suchung.



Der Gutachter muss

- ▶ die gewerblichen und industriellen Prozesse kennen, bei welchen CKW eingesetzt werden oder in der Vergangenheit eingesetzt worden sind, um Schadstoffquellen in der Historischen Untersuchung im räumlich-zeitlichen Kontext identifizieren zu können,
- ▶ die sich aus den Stoffeigenschaften und aus dem Verhalten der CKW im Untergrund ergebenden Besonderheiten bei der Planung von Untersuchungen beachten,

- ▶ die aus der Historischen Untersuchung und aus den verschiedenen Probenahme- und Messmethoden der Technischen Untersuchung resultierenden Unsicherheiten abschätzen,
- ▶ die hydrogeologischen Verhältnisse des Standorts kennen, insbesondere auch den Grundwasserstauer im Bereich des Standorts und
- ▶ die verbleibenden Kenntnislücken bei seinen Interpretationen und ggf. beim Vorschlag von weiteren Massnahmen berücksichtigen.

Die Fachbehörden entscheiden gestützt auf die vom Gutachter erarbeiteten und dokumentierten Resultate über den weiteren Untersuchungs- oder Sanierungsbedarf. Falls die Datengrundlagen dafür nicht ausreichen, stellen sie den weiteren Untersuchungsbedarf fest. Entsprechend sind die Fachbehörden bei der Beurteilung der Ergebnisse von Untersuchungen darauf angewiesen, dass die Interpretationen und Vorschläge des Gutachters nachvollziehbar dokumentiert sind, den Unsicherheiten angemessen Rechnung tragen und die Kenntnislücken benennen.

1.2 Zielpublikum

Der vorliegende Expertenbericht richtet sich daher in erster Linie

- ▶ an Gutachterbüros, welche mit der Untersuchung von CKW-Belastungen beauftragt sind und
- ▶ an Fachbehörden, welche gestützt auf Untersuchungsergebnisse CKW-Belastungen beurteilen und falls erforderlich weitere Massnahmen anordnen.

Zum weiteren Zielpublikum gehören auch

- ▶ Institutionen, welche sich mit den wissenschaftlichen Grundlagen der Umwelteinwirkungen von CKW befassen,
- ▶ Analytiklabors, welche mit CKW belastete Feststoff- und Wasserproben analysieren,
- ▶ Sanierungsunternehmungen, welche Verfahren zur Sanierung von CKW-Belastungen anbieten und entwickeln, sowie
- ▶ Inhaber von Standorten mit CKW-Belastungen (Grundeigentümer, Bauherren).

1.3 Zielsetzungen

Der vorliegende Expertenbericht für die Planung und Durchführung von Untersuchungen auf Standorten mit CKW-Belastungen soll

- ▶ aufzeigen, welche Kenntnisse hinsichtlich Einsatz von CKW aus einer Historischen Untersuchung gewonnen werden können/sollen,
- ▶ aufzeigen, welche Kenntnisse zur (Hydro-)Geologie eines Standorts erforderlich sind, um technische Untersuchungsmassnahmen zielgerichtet planen zu können,
- ▶ einen kurzen Überblick über die in der Praxis bei der Untersuchung von leichtflüchtigen Schadstoffen in der Porenluft, im Grundwasser und in Feststoffen einsetzbaren Probenahmetechniken und Analytikmethoden geben,
- ▶ die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Probenahmetechniken und Analytikmethoden aufzeigen,

- ▶ Standards für die Durchführung von Messungen definieren, damit diese zielgerichtet geplant und optimal durchgeführt werden können und einen grösstmöglichen Nutzen für die Standortbeurteilung bringen,
- ▶ die minimalen Anforderungen an die Dokumentation der Probenahme und der Analytik mittels Standard-Probenahmeprotokollen und Laborberichten festhalten,
- ▶ aufzeigen, wie die mit den Messungen einhergehenden Unsicherheiten abgeschätzt und bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden können,
- ▶ praxistaugliche Arbeitshilfen für die Erstellung von Berichten zur Verfügung stellen (Checklisten für die Historische Untersuchung, Vorlagen für Messprotokolle, Berichtsvorlagen).

Im Expertenbericht sollen nicht primär (mess-) technische Beschreibungen von Probenahme- und Untersuchungsmethoden von CKW-Belastungen erstellt werden, da hierfür bereits eine Reihe von Praxishilfen vorliegen. Vielmehr sollen strategische Aspekte im Vordergrund stehen, welche bei der Planung und Ausrichtung von Untersuchungen zu beachten sind.

Der Fokus der Arbeitshilfe wird auf die Voruntersuchung von CKW-Belastungen gelegt (Historische Untersuchung / Pflichtenheft und Technische Untersuchung).

2 Grundlagen

2.1 Gesetzliche Grundlagen

Die gesetzliche Grundlage zur Sanierung von Deponien und anderen durch Abfälle belasteten Standorten ist das Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 (USG; RS 814.0). Dieses regelt die Pflicht zur Sanierung (Art. 32c USG), die Tragung der Kosten (Art. 32d USG) und die Abgabe zur Finanzierung der Massnahmen (Art. 32e USG).

Konkretisiert wird dieses Gesetz durch die Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV; RS 814.680) vom 26. August 1998 und die Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA; RS 814.681) vom 26. September 2008.

2.2 Praxishilfen und Vollzugshilfen für die Untersuchung

Vom BAFU sind bereits verschiedene Vollzugs- und Arbeitshilfen zur Altlastenbearbeitung, insbesondere zur Gefährdungsabschätzung veröffentlicht worden. Hier sind die wichtigsten:

► [Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich \(Stand 2013\).](#)

Diese Vollzugshilfe beschreibt die Verfahrensschritte vom Abfüllen der Probe vor Ort bis zur Analyse und zu deren Auswertung und definiert den Stand der Technik bei der Qualitätssicherung [1].

► [Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten. Altlasten - Gefährdungsabschätzung. 2003.](#)

Grundlagen für die Entnahme repräsentativer Grundwasserproben. CKW-Altlasten sind sehr spezifisch, diese Praxishilfe kann daher nur eine ergänzende Hilfe sein [4].

► [Simulationsmodell zur Gefährdungsabschätzung: TransSim. Version 2.0. Download 2012. Altlasten – Gefährdungsabschätzung.](#)

Mathematisches Simulationsmodell zur Abschätzung des Schadstofftransportes in der ungesättigten Zone bis zum Eintritt in das Grundwasser. Für die Beurteilung von CKW-Belastungen eignet sich TransSim nur bedingt, da die für eine aussagekräftige Modellierung erforderlichen Parameter in der Regel nicht bekannt sind.

► [Altlasten: erfassen, bewerten, sanieren. 2001.](#)

Diese Arbeitshilfe zeigt die wichtigsten Schritte zur Erfassung und Sanierung der belasteten Standorte auf.

► [Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten. Altlasten Gefährdungsabschätzung. 2000. \[3\]](#)

► [Vollzugshilfe Probenahme und Analyse von Porenluft. 2015. \[2\]](#)

Im Rahmen des Projektes ChloroNet sind Praxishilfen und Merkblätter publiziert worden:

Vgl. Abschnitt 3.9,
Seite 20

- ▶ [Factsheet über die Massnahmen zur Verminderung von Fehlerquellen bei Probenahme und Messung von CKW-Feststoffproben \(Version November 2015\)](#)
- ▶ [Merkblatt "Kriterien für die Abgrenzung bzw. Löschung von CKW-belasteten Standorten". Stand Oktober 2016.](#)

Verschiedene Kantone haben auch Arbeitshilfen oder Vorlagen publiziert. Es ist nicht möglich, hier alle aufzuführen; je nach Bedarf kann man sich direkt bei den Kantonen informieren.

3 Schadstoffverhalten von CKW im Untergrund

3.1 Einführung

An Standorten, die heute noch eine CKW-Belastung aufweisen, ist mit grosser Wahrscheinlichkeit in der Vergangenheit CKW

DNAPL = Dense non aqueous phase liquid: dichte lipophile Flüssigphase, Dichte > 1 g/cm³. Vgl. [Leitfaden CKW](#) [5]

- ▶ als nicht-wässrige organische Phase, auch DNAPL genannt, hier als CKW-Phase bezeichnet,
- ▶ in gelöster Form, z.B. als in Wasser gelöste CKW, oder
- ▶ gasförmig

freigesetzt worden. Die Zonen, in denen CKW flüssig oder dampfförmig in den Untergrund eingedrungen sind, stellen dabei den eigentlichen Schadenherd dar, von dem aus über lange Zeit Schadstoffe in gelöster Form oder gasförmig verfrachtet werden können. Deshalb sind die Faktoren, die die Verteilung von CKW-Phase kontrollieren, von besonderem Interesse bei der Ausarbeitung der Untersuchungsstrategie und werden hier als erstes diskutiert. Danach wird darauf eingegangen, wie die Stoffe von CKW-Phase aus weiter verfrachtet und abgebaut werden.

Tab. 1:

Ausgewählte physikalische und chemische Parameter von diversen CKW, den Lösungsmitteln Benzol und Toluol, einem technischen Öl, sowie Wasser bei 20° bzw. 25°C. Angaben für weitere chlorierte Substanzen liegen im ChloroNet-Teilprojekt 1 (TP1) [5] vor.

Stoffname	Dichte [g/cm ³]	Dynamische Viskosität [mPa s]	Siedetemperatur T _s [°C]	Oberflächen- spannung [mN/m]	Löslichkeit in Wasser S [g/l]	Dampfdruck [Pa]	Henry-Konstante [-]	Flammpunkt T _F [°C]	Molekularer Diffusionskoeffizient D _m [m ² /s]	
Wasser	0.9982	1	100	72.75	-	3'170	-	-	-	
CKW	Trichlorethen (TRI)	1.465	0.566	86.6	29.3	1.1	10'000	0.49	keiner	7.66×10 ⁻¹⁰
	Tetrachlorethen (PER)	1.62	0.9	121	32.3	0.16	2'500	0.730	keiner	8.37×10 ⁻¹⁰
	cis 1,2-DCE	1.27	*	60	*	5.09**	28'100	0.219	6	*
	Tetrachlormethan	1.59	*	76.7	*	0.826	14'500	1.1	keiner	*
	1,1,2,2-Tetrachlorethan	1.60	*	146	*	3.27	794	0.0166	keiner	*
	1,1,1-Trichlorethan	1.34	*	74	*	1.3	16'600	0.663	keiner	*
	Vinylchlorid	0.91	*	-13.4	*	2.8	4×10 ⁵	1.1	-78	*
	Dichlormethan	1.33	*	40	28.1	16.9	57'500	0.117	keiner	*
	Trichlormethan	1.48	*	61	*	8.45	25'100	0.144	keiner	*
Toluol	0.870	0.6	111	27.75	0.47×10 ⁻³	4'000	0.23	6	7.95×10 ⁻¹⁰	
Benzol	0.88	0.601	80	28.9	1.8	13'000	0.2	-11	8.59×10 ⁻⁶	
Technisches Öl	0.882	88.7	220	20-25***	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹	1-10	*	223	*	

*: Daten nicht erhoben. **: Stark unterschiedliche Angaben in der Literatur. ***: Für n-Oktan bis n-Dekan.

In diesem Kapitel stehen die CKW-Eigenschaften, die das Verhalten im Untergrund beeinflussen, im Vordergrund. Allgemeine Stoffeigenschaften von CKW können dem „Leitfaden Chlorierte Lösungsmittel“ [5] entnommen werden.

An dieser Stelle soll anhand einer Gegenüberstellung ausgewählter Parameter einiger Flüssigkeiten versucht werden, den Altlastenbearbeiter für die Charakteristika der Stoffgruppe CKW zu sensibilisieren (Tab. 1).

Factbox:

- ▶ CKW sind gut fettlösende, aber nicht brennbare Substanzen.
- ▶ Bei den Ausbreitungseigenschaften unterscheiden sie sich von anderen Lösungsmitteln vor allem hinsichtlich Viskosität, Dichte und Wasserlöslichkeit.
- ▶ Kenntnisse der physikalischen und chemischen Eigenschaften der CKW sind bei der Prozessbeschreibung notwendig.

3.2 Verhalten von CKW-Phase

Aufgrund der hohen Dichte und dem dünnflüssigen Charakter (geringe Viskosität) kann sich CKW-Phase durch die Wirkung der Schwerkraft sehr rasch in die Tiefe bewegen, sowohl durch feine Spalten in Bodenplatten und den Beton selbst, wie auch durch den Porenraum des Untergrundes. Wie sich die Stoffe im Untergrund verteilen, hängt

- ▶ vom Eintragsort,
- ▶ von der Eintragsmenge und
- ▶ vom heterogenen geologischen Aufbau des Untergrundes in allen Massstabsbereichen, mit breit verteilten Durchlässigkeits-Beiwerten

ab. In Lockergesteinen spielt dabei insbesondere die Geometrie von Zonen mit unterschiedlicher Korn- und entsprechend unterschiedlicher Porengrösse eine zentrale Rolle.

CKW-Phase migriert bevorzugt durch grobkörnige Zonen mit grossen Porenöffnungen in die Tiefe (Abb. 2). Selbst bei geringfügigen Unterschieden in den verfügbaren Porengrössen tendiert CKW-Phase dazu, sich auf feinkörnigeren Sedimenten aufzustauen. Diese Tendenz wird durch einen zunehmenden Wassergehalt verstärkt, da Wasser in feinkörnigem Material durch Kapillarkräfte festgehalten wird und dem Eindringen von CKW-Phase einen Widerstand entgegensetzt. Staut sich genügend CKW-Phase auf geringmächtigen, feinkörnigeren Schichten auf, können diese durchbrochen werden. Haben die feinkörnigeren Schichten eine begrenzte seitliche Ausdehnung, können sie auch umflossen werden.

Factbox:

- ▶ CKW-Phase sickert bedingt durch die Schwerkraft primär vertikal in den Untergrund.
- ▶ An Schichtgrenzen können einsickernde CKW rückgestaut resp. seitlich abgelenkt werden.
- ▶ Die Ablenkung von versickernder CKW-Phase durch anströmendes Grundwasser kann vernachlässigt werden.

Aufgrund der transporthemmenden Wirkung von feinkörnigeren Sedimenten breiten sich CKW-Phasen in heterogenem Untergrund oft kaskadenartig in die Tiefe aus. Dabei bleibt jeweils an Stellen, an denen sich die CKW-Phase aufstaut und seitlich bewegt, eine grössere Menge an teils zusammenhängender CKW-Phase zurück (häufig als CKW-Pools bezeichnet), während in besser durchlässigen Zonen mit vertikaler Migration nur isolierte Tröpfchen im Porenraum hängen bleiben (häufig als Residualsättigung bezeichnet). Der Anteil der CKW-Phase, der noch in Bewegung ist, nimmt während des Versickerungsvorgangs laufend ab. Unter speziellen Randbedingungen (Stoffeintrag relativ gering, feinkörnige Zonen, grosser Flurabstand) kann es vorkommen, dass die Bewegung der CKW-Phase vollständig zum Erliegen kommt, bevor der Grundwasserspiegel von der CKW-Phase erreicht wird (Abb. 3a und Abb. 3 b).

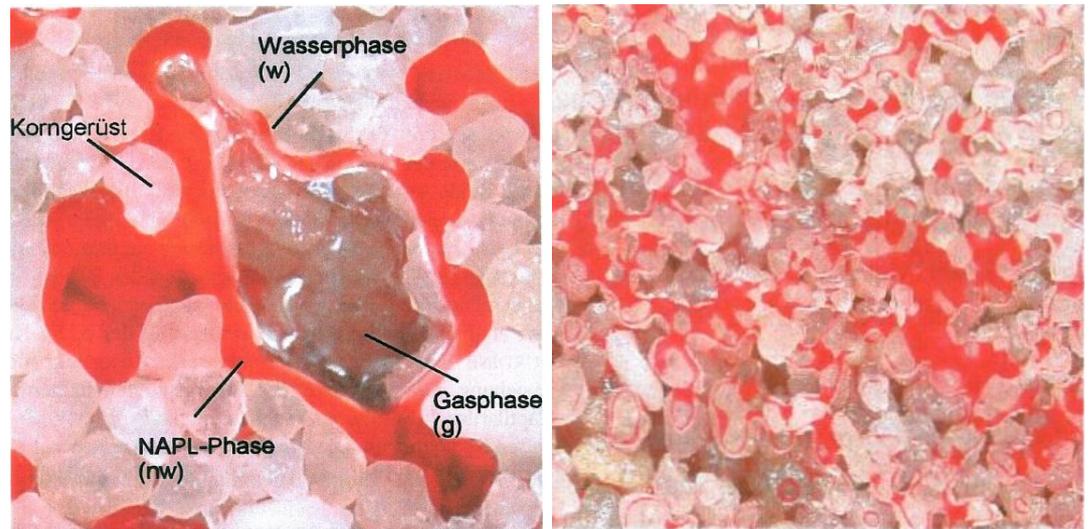
Unterhalb des Grundwasserspiegels spielt die Verteilung von feinkörnigeren Schichten weiterhin eine zentrale Rolle. Je nach Neigung der Schichtflächen kann die CKW-Phase aufgrund ihrer grossen Dichte auch gegen die Grundwasserströmung fließen (Abb. 3c). Trifft eine CKW-Phase auf geklüfteten Fels, breitet sie sich wiederum bevorzugt durch grössere Öffnungen aus, während feine wassergefüllte Ritzen der Fortbewegung einen Widerstand entgegensetzen, der durch einen Aufstau von CKW-Phase durchbrochen werden kann.

Konsequenzen für die Untersuchung von belasteten Standorten:

- ▶ Eine erhöhte Menge an CKW ist vor allem auf und in feinkörnigeren Schichten zu finden.
- ▶ Bei einer relativ mächtigen ungesättigten Zone mit einer Wechsellagerung von fein- und grobkörnigen Sedimenten kann die gesamte CKW-Phase in der ungesättigten Zone vorliegen. Eine Beeinträchtigung von Grundwasser kann aber durch Verfrachtung der Stoffe mit infiltrierendem Wasser und durch Austausch zwischen Porenluft und Grundwasser trotzdem auftreten.
- ▶ In grobkörnigem Untergrundmaterial bleibt ein prozentual geringerer Anteil an versickernden CKW als in feinkörnigem Material zurück. Im grobkörnigen Untergrund wird daher, da zusätzlich eine stärkere Grundwasserströmung möglich ist, CKW relativ rasch gelöst und abtransportiert. Es kann vorkommen, dass tiefere (feinkörnigere) Schichten belastet sind, in der ungesättigten Zone und der obersten Grundwasserschicht aber praktisch keine chlorierten Stoffe mehr nachgewiesen werden können.

Vgl. Abb. 3a) und b),
Seiten 15 und 16

Abb. 2: Stoffverteilung im ungesättigten Porenraum nach der Leverett-Annahme (Schadstoff rot gefärbt). Der Schadstoff (hier: NAPL-Phase) liegt als Reinstoff vor und füllt zusammenhängend einige grössere Poren aus. (Fotos Winkler und Färber 2001, unveröffentlicht, und [17]).



3.3 Ausbreitung von gasförmigen CKW

Die Eigenschaft einer Flüssigkeit zu verdampfen, wird mit dem Parameter Dampfdruck ausgedrückt. Die meisten CKW weisen einen hohen Dampfdruck auf. Der Dampfdruck ist eine stoffspezifische Konstante und hängt nicht von der Schadstoffmenge ab.

Aufgrund des hohen Dampfdrucks liegen in der unmittelbaren Nähe zu CKW-Phase in der ungesättigten Zone hohe Konzentrationen an gasförmigen CKW vor. Die Stoffe breiten sich vom Schadensherd in alle Richtungen durch Diffusion aus und bilden ein „Halo“ um den Schadensherd herum. Wie weit die gasförmige Belastung reicht, hängt davon ab, wie offen der Porenraum ist und ob zusätzlich ein aktiver Transport und Durchmischung durch Luftströmungen im Untergrund auftreten.

In tonigem Material ist der Porenraum häufig auch in der ungesättigten Zone zu einem grossen Teil mit Wasser gefüllt, das nicht abfließt und Luftströmungen behindert. Tonige Zonen hindern deshalb die Ausbreitung von Schadstoffen durch Diffusion und aktiven Transport. Auch der Grad der Bodenversiegelung spielt eine Rolle, insbesondere für oberflächennahe Schadensherde. Bei versiegelten Flächen können die Stoffe nicht in die Atmosphäre entweichen und breiten sich entsprechend stärker seitlich aus. Für eine vergleichbare Menge CKW-Phase können deshalb sehr unterschiedliche Grössen und Formen von „Halos“ entstehen.

Konsequenzen für die Untersuchung von belasteten Standorten:

Die Porenluft unterliegt eigenen Gegebenheiten. Das als „Porenwind“ bezeichnet Phänomen beschreibt, dass Fliessrichtung und Fliessgeschwindigkeit der Bodenluft aufgrund Temperatur- und Druckschwankungen unter Umständen mehrmals täglich wechseln kann.

- ▶ Die gasförmig belastete Zone kann beträchtlich grösser als der Bereich sein, in dem CKW-Phase vorliegt. Es ist deshalb oft einfacher, mittels Porenluftmessungen einen Schadensherd nachzuweisen, als mittels Feststoffproben aus dem Untergrund.

- Die gemessenen Porenluftkonzentrationen und die Grösse der gasförmig belasteten Zone können nicht mit der Menge der in Phase vorhandenen CKW in Bezug gesetzt werden.

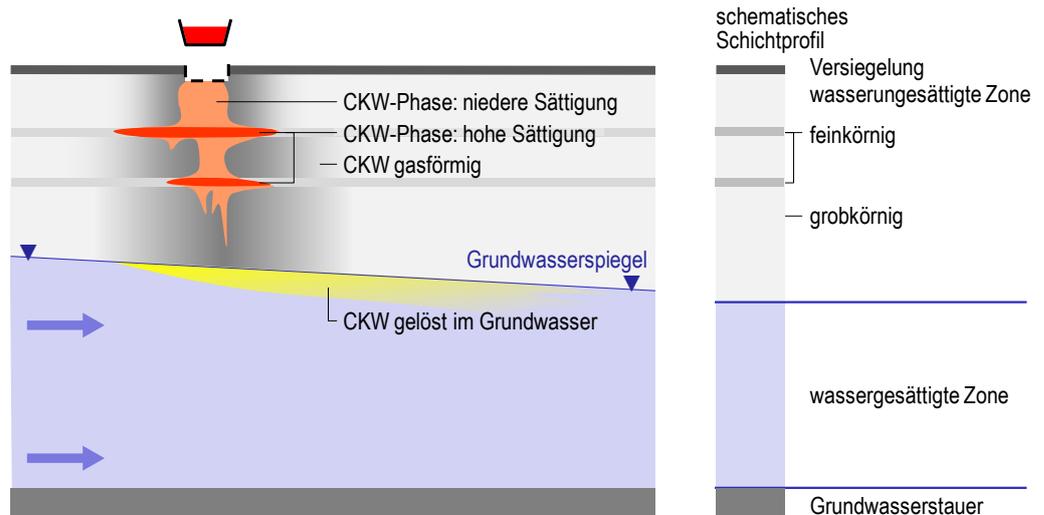
3.4 Ausbreitung von wassergelösten CKW

Die meisten CKW weisen eine Wasserlöslichkeit auf, die um mehrere Größenordnungen höher ist als die Konzentrationsrichtwerte der Altlasten-Verordnung (AltIV) (vgl. Tab. 1). Die maximale Löslichkeit wird aber nur sehr lokal in Zonen, in denen ein direkter Kontakt zwischen Wasserphase und CKW-Phase vorliegt, erreicht und lediglich dann, wenn die Kontaktzeit genügend lang ist.

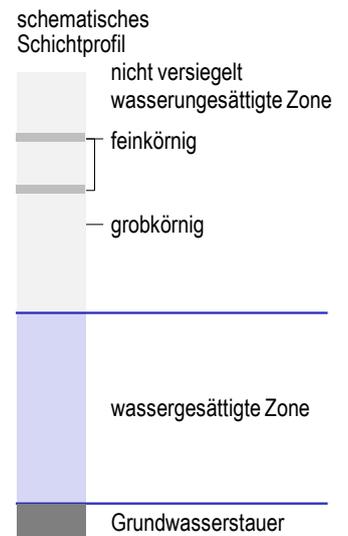
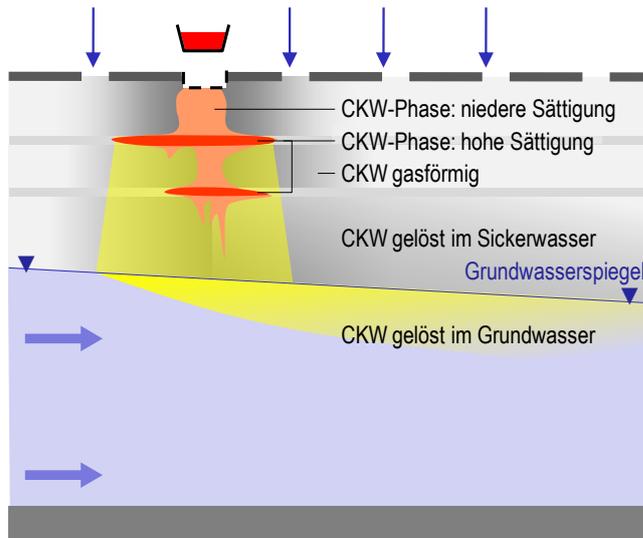
Im Abstrombereich des Schadensherdes findet eine Verdünnung durch Mischung mit unbelastetem Grundwasser statt. Eine zusätzliche Verdünnung, die stark von der Länge der Filterstrecke abhängt, tritt bei der Probenahme auf. Aufgrund dieser beiden Faktoren liegt die Konzentration in Grundwassermessstellen meist weit unter der maximalen Löslichkeit (Sättigungskonzentration), selbst wenn CKW-Phase in der gesättigten Zone vorliegt.

Abb. 3:
Typische Stoffverteilung im Untergrund, welche bei der Versickerung von CKW-Phase entsteht. Nicht dargestellt sind durch Lösungstransport und Sorption verschleppte Feststoffbelastungen.
Nach [12]

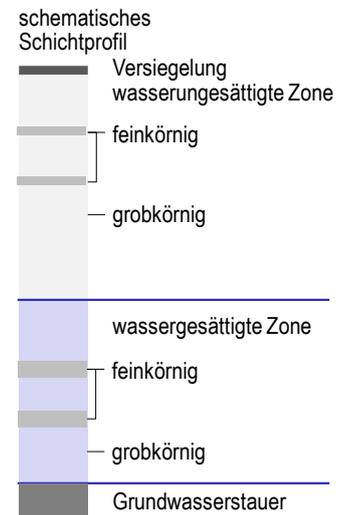
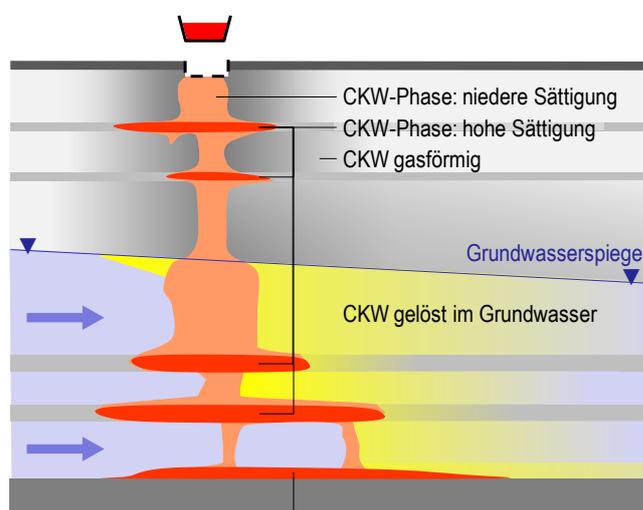
a) CKW-Phase konnte nicht bis zum Grundwasserspiegel versickern.



b) In Wasser gelöste CKW konnten den Grundwasserspiegel erreichen.



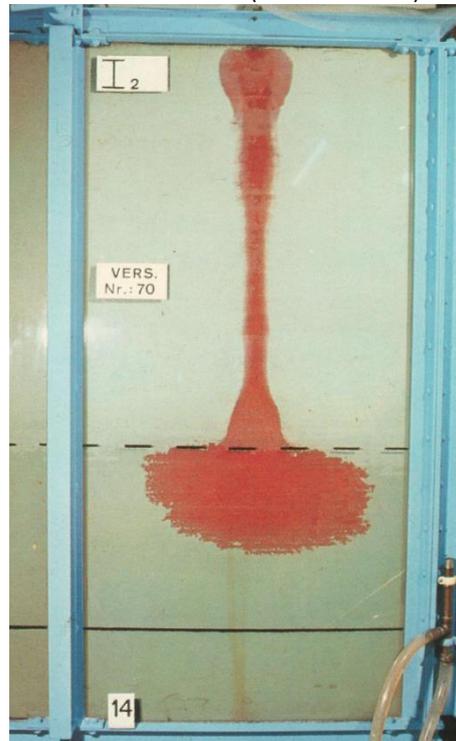
c) CKW-Phase konnte bis auf den Grundwasserstauer versickern.



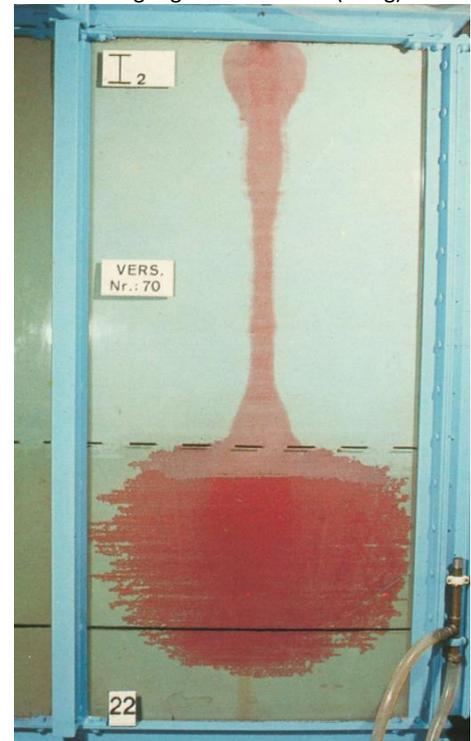
CKW als zusammenhängender Phasenkörper auf dem Stauer

Abb. 4: Modellversuch zur Einsickerung von Tetrachlorethen (PER)
 Versickerung von je 10 Litern CKW in gleichkörnigem Sand, Grundwasser ohne Gefälle, Höhe der Apparatur 1.7 m. Aus [12]

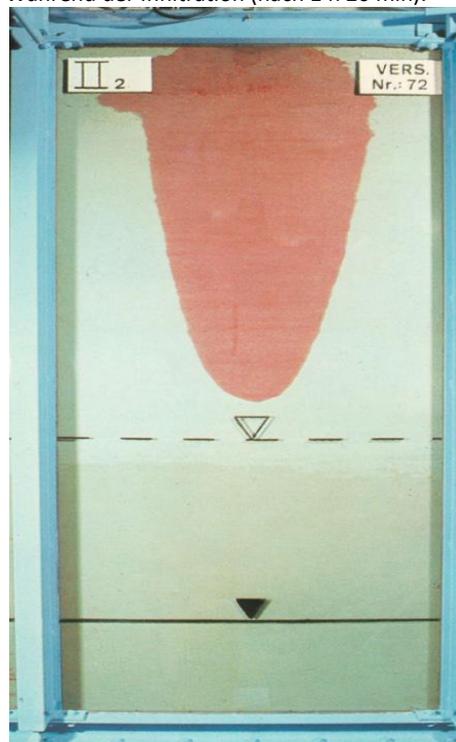
Zu beachten: unterschiedliches Verhalten von Tetrachlorethen (PER) und Dichlormethan, unterschiedliche Ausbreitung in der wasserungesättigten und in der wassergesättigten Zone.



Nach Beendigung der Infiltration (1 Tag):



Modellversuch zur Einsickerung von Dichlormethan
 Während der Infiltration (nach 1 h 20 min):



Nach Beendigung der Infiltration (1 Tag):



Durch die Grundwasserströmung werden Zonen mit CKW-Phase allmählich aufgelöst. In grobkörnigeren Zonen, in denen – relativ gesehen – weniger CKW-Phase hängen bleibt und eine höhere Grundwasserströmung auftritt, kann die CKW-Phase im Verlauf von Jahren vollständig aufgelöst werden. Hingegen werden die grösseren Mengen im Bereich von feinkörnigen Schichten aufgrund der geringeren Grundwasserströmung nur langsam aufgelöst. Aus diesen Zonen kann über Jahre oder Jahrzehnte gelöstes CKW entweichen.

Konsequenzen für die Untersuchung von belasteten Standorten:

- ▶ Die Resultate einer Grundwasserprobenahme hängen auch vom Ausbau der Messstelle (Länge der Filterstrecke, Durchmesser des Piezometerrohrs) ab.
- ▶ Konzentrationen, die beträchtlich tiefer sind als die maximale Wasserlöslichkeit der CKW, bedeuten nicht, dass keine CKW-Phase vorliegt.

3.5 Sorption von Schadstoffen an der Feststoffphase

Die Sorption von CKW findet im Wesentlichen am natürlichen organischen Material in der Feststoffphase statt. Die Anlagerung an die Feststoffphase ist reversibel. Die CKW-Phase, die wassergelösten CKW und die gasförmigen CKW bilden ein Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht kann

- ▶ durch das Abfliessen von CKW-Phase, von im Grundwasser gelösten CKW oder von gasförmigen CKW,
- ▶ durch den biologischen Abbau der CKW oder
- ▶ durch andere Prozesse

gestört werden. Durch diese Prozesse können am Untergrundmaterial sorbierte CKW wieder freigesetzt werden.

Das Schadstoffreservoir an sorbierten Schadstoffen ist meist viel kleiner als das Schadstoffreservoir in Form von CKW-Phase. Durch die Sorption von gasförmigen und gelösten Stoffen wird die Ausbreitung lediglich gebremst, aber nicht verhindert. In alten Schadensfällen und bei geringer Menge kann die CKW-Phase ganz verdampft sein bzw. sich gelöst haben. Die Belastung besteht dann hauptsächlich aus sorbierten, gelösten und gasförmigen Stoffen, die sich diffus um die ehemalige Zone mit CKW-Phase verteilt haben.

Insbesondere bei Standorten mit grossem CKW-Eintrag ist aufgrund Lösungs- und Sorptionsprozessen häufig eine laterale Verschleppung der CKW-Belastung mit dem abströmenden Grundwasser zu beobachten. Die z.T. über mehrere hundert Meter festzustellenden Feststoffbelastungen konzentrierten sich oft auf den Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels resp. die vom abströmenden Grundwasser bevorzugt durchflossenen Zonen. Es ist davon auszugehen, dass bei diesen Standorten vor dem Quellenstopp grosse CKW-Mengen in hohen Konzentrationen gelöst im Grundwasser abgeströmt sind, welche dabei teilweise im durchströmten Untergrundmaterial sorbiert wurden. Wenn die CKW-Konzentrationen im Grundwasser abnimmt, können diese verschleppten Belastungen wieder CKW ins Grundwasser abgeben und damit zu sekundären Schadenherden werden.

3.6 Grössenordnungen der Massenverteilung von CKW im Untergrund

Wenn CKW-Phase im Untergrund vorhanden ist (als zusammenhängender DNAPL-Phasenkörper oder in Form kleiner, isolierter Phasentröpfchen), kann aufgrund von thermodynamischen Gleichgewichten festgestellt werden, dass die Anteile der CKW, die im Wasser gelöst, verdampft oder sorbiert sind, um viele Grössenordnungen (Faktor 10^{-4} bis 10^{-6}) unter dem Schadstoffanteil liegen, der als CKW-Phase vorhanden ist. Bereits bei Residualsättigung liegen über 99 Gewichts-% des Schadstoffs als CKW-Phase vor.

Factbox:

- ▶ Ein direkter Nachweis von CKW-Phase ist nur bei visuell erkennbaren CKW-Pfützen möglich.
- ▶ Wenn im Feststoff CKW in Konzentrationen $>$ U-Wert nachgewiesen werden, ist in der Regel davon auszugehen, dass am Ort der Probenahme CKW-Phase vorkommt (meist in Form kleiner Phasentröpfchen).
- ▶ Wenn hingegen im Feststoff CKW in Konzentrationen $<$ U-Wert gemessen werden, kann daraus nicht zwingend auf das Fehlen von CKW-Phase geschlossen werden. Grund dafür sind die nur teilweise vermeidbaren und nicht quantifizierbaren Verluste bei der Probenahme von Feststoffproben.

Vgl. Abschnitt 7.3.2,
Seite 45

3.7 Biologischer Abbau im Untergrund

Vgl. [Leitfaden CKW](#)
[5], Abschnitt 3.3

Eine ausführliche Beschreibung der biologischen Abbauprozesse findet sich im Leitfaden chlorierte Lösungsmittel [5] und im KORA-Leitfaden [8].

Stark chlorierte Verbindungen wie TRI und PER können unter anoxischen Bedingungen durch einen reduktiven Prozess abgebaut werden. Dabei wird schrittweise ein Cl-Atom durch ein H-Atom unter der Aufnahme von zwei Elektronen ersetzt. Die Elektronen stammen dabei meist von natürlichem organischem Material oder Mineralölkohlenwasserstoffen. Der weitere reduktive Abbau der Zwischenprodukte cis-1,2-Dichlorethen und Vinylchlorid verläuft aus thermodynamischen Gründen langsamer und benötigt stark reduzierende Bedingungen (sulfatreduzierend oder methanogen). Deshalb kann es zu einer Akkumulation von cis-1,2-DCE und VC kommen, wenn die Bedingungen nicht genügend reduzierend sind, d. h. nicht genügend organisches Material vorhanden ist und die geeigneten Bakterien (Dehalococcoides) fehlen. Tritt im Abstrombereich durch Mischung mit unbelastetem Grundwasser wieder Sauerstoff auf, können cis-1,2-DCE, VC und auch TRI (cometabolisch) zu CO_2 , Cl^- und H_2O abgebaut werden ([15]).

3.8 Folgerungen für die Probenahme an belasteten Standorten

Bei grobkörnigen Sedimenten sind in der Regel keine signifikanten Kapillarkräfte wirksam. Bei feinkörnigen Sedimenten ist demgegenüber die Störung des Korngerüstes viel kleiner (Kern bleibt +/- intakt). Bei einer Feststoffprobenahme erfolgt insbesondere bei grobkörnigen Sedimenten meist eine starke Verformung bzw. Entspannung

des Korngerüsts. Bereits geringe Verformungen der Untergrundmatrix können zu Änderungen an der Porengrössenverteilung und damit zu Verlust allfälliger Kapillarkräfte führen. Phasentröpfchen in Residualsättigung können dann zusammenfliessen und wieder mobil werden, d.h. gravitativ abfliessen. Je nach Aufbau des Untergrunds ist mit mehr oder weniger Verlusten zu rechnen.

Factbox:

Vgl. Abschnitt 7.3,
Seite 44

► Bei der Entnahme von Feststoffproben muss damit gerechnet werden, dass ein Teil der CKW bei der Probenahme als Phase abfliesst oder entgast. Das entnommene Probenmaterial weist daher in der Regel weniger CKW auf als ursprünglich im Untergrund vorhanden war.

Vgl. Abschnitt 7.5
Seite 49

► Das verlustfreie Befüllen von Säulen für Eluattests gemäss BAFU-Richtlinie [1] ist praktisch nicht möglich. Eluattests führen daher hinsichtlich CKW-Belastungen höchstens zu qualitativen Aussagen.

3.9 Einsatz von Berechnungsmodellen

Der Gutachter wird bei der Bearbeitung von CKW-Schäden selten den Bedarf haben, konkrete Werte aus Tabellen in eine Gleichung zur Beschreibung des Problems einzusetzen, da die analytischen Ansätze zu komplex sind. Werden dennoch analytische Berechnungsverfahren benötigt, muss in Betracht gezogen werden, dass alle tabellarischen Werte mit Reinsubstanzen im Labor ermittelt wurden. In der Praxis liegen jedoch praktisch immer Stoffgemische mit zeitlich und räumlich stark variabler Zusammensetzung vor. Unter Umständen ist nicht einmal die Aussage möglich, ob es sich bei dem Schadstoffgemisch (chlorierte und nicht chlorierte Kohlenwasserstoffe) um einen DNAPL oder LNAPL handelt, d.h. ob seine Dichte grösser oder kleiner als die des Wassers ist.

Vgl. Abschnitt 3.5,
Seite 18

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass Umrechnungsmodelle, wie sie z.B. im ChloroNet-Teilprojekt 1 [5] oder in der Wegleitung Porenluft des BAFU [2] angegeben werden, nur für den Fall anwendbar sind, dass CKW ausschliesslich in verdampfter, gelöster oder sorbierter Form vorhanden sind. Es ist zu beachten, dass in einem grossen Massstab, z. B. bei einem CKW-Schadensfall, das Stoffgleichgewicht in der Regel nicht gegeben ist. Die Art und die Menge des organischen Anteils im Untergrund spielt zudem eine bedeutende Rolle, welche bei Berechnungsmodellen in der Regel nicht berücksichtigt werden kann ([6], [8]).

Vgl. Abb. 2, Seite 14
Vgl. Abschnitte 3.3, Seite 14,
und 3.4, Seite 15

Der Fall, dass CKW-Phase vorhanden ist, wird durch die an den genannten Stellen präsentierten Gleichungen nicht abgedeckt. Im Prinzip muss aber bei jedem Nachweis von CKW in der Porenluft oder im Grundwasser davon ausgegangen werden, dass CKW in (wenn auch fein verteilter und daher nicht fliessfähiger) Phase vorhanden sind oder waren.

4 Geologische und hydrogeologische Beschreibung

4.1 Einführung

- ▶ Der Aufbau des Untergrundes hat bei CKW-Fällen eine deutlich grössere Bedeutung als bei anderen Schadstoffen. Er beeinflusst stark das Ausbreitungsmuster, die Ausbreitungsgeschwindigkeit, Depotbildungen, Abbau- resp. Umwandlungsprozesse usw.
- ▶ Ein heterogener Untergrund ist in der Schweiz der Normalfall, nicht der Ausnahmefall. Erkenntnisse aus dem Ausland (oft homogener feinkörniger Untergrund) lassen sich nur beschränkt auf die Schweiz übertragen. Regionale Informationen (geologische Karten usw.) sind in der Regel bzw. generell zu unvollständig für die Ableitung eines hydrogeologischen Modells bei CKW-Fällen. Es sind unbedingt lokale hydrogeologische Kenntnisse und viel Erfahrung erforderlich.
- ▶ Bei Untersuchungen ohne fundierte Kenntnisse über den lokalen Untergrund besteht ein grosses Fehlerrisiko (Anwendung falsche Untersuchungsmethode, Messstellen am falschen Ort, Schäden durch Kurzschlüsse von zwei Grundwasservorkommen unterschiedlicher Druckhöhe und/oder unterschiedlicher Beschaffenheit beim Bohren, usw.).
- ▶ Bei CKW-Fällen ist ein iteratives Vorgehen erforderlich: Hydrogeologisches Modell → Untersuchung → Verifizierung Modell, ev. Anpassung Modell → ev. ergänzende Untersuchung. Dies gilt unter Umständen bereits für die Voruntersuchung.

4.2 Zweck des hydrogeologischen Modells

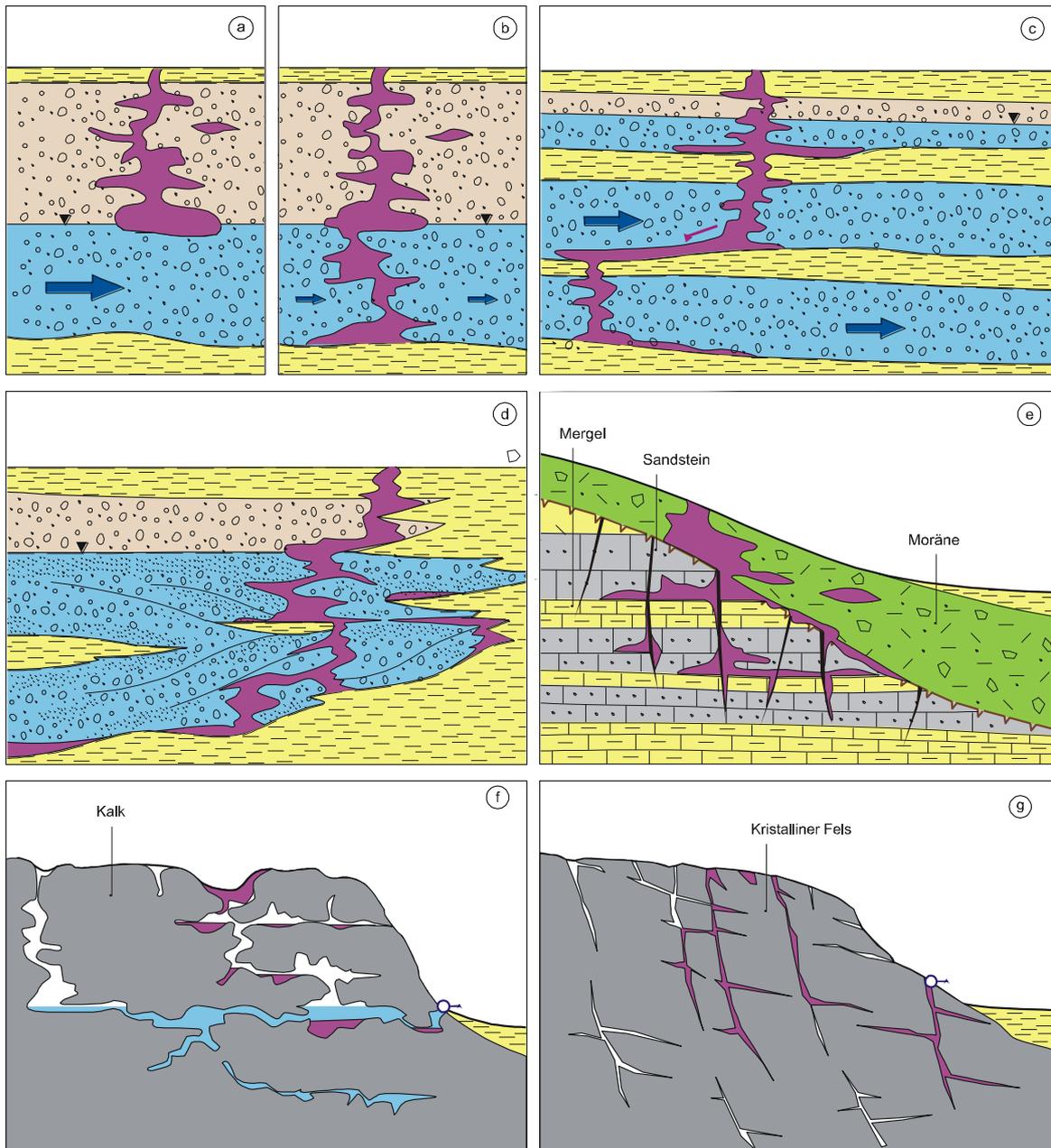
- ▶ Ableitung eines mutmasslichen CKW-Ausbreitungsmodells
- ▶ Grundlage für die Wahl der richtigen Sondiermethode
- ▶ Grundlage für die Wahl der richtigen Sondierdichte
- ▶ Grundlage für die Wahl der richtigen Sondierstandorte
- ▶ Erstbeurteilung Vulnerabilität Grundwasser
- ▶ Grundlage für die Wahl der richtigen Sanierungsmethode

4.3 Elemente des hydrogeologischen Modells

Das vom Gutachter beschriebene hydrogeologische Modell muss zu den folgenden (hydro-)geologischen Elementen Auskunft geben:

- ▶ Anthropogene Störungen des Untergrundes (Einbauten, Auffüllungen, Drainagen),
- ▶ Natürliche Deckschichten,
- ▶ Grundwasserleiter,
- ▶ Grundwasserstauer,
- ▶ Grundwasserstände,
- ▶ Grundwasserfliessrichtung,
- ▶ Grundwasserpotentiale,
- ▶ Durchlässigkeit.

Eine Checkliste zur Erstellung des hydrogeologischen Modells ist in Beilage 1 enthalten.

**Abb. 5:**

Stark vereinfachte Darstellung der Versickerung von CKW in unterschiedlichen geologischen Formationen (nur Bereiche mit CKW-Phasenausbreitung dargestellt):

- Schottergrundwasser in Alluvionen, geringe Einsickerungsrate, grosse Grundwasserfliessgeschwindigkeit;
- Schottergrundwasser in Alluvionen, grosse Einsickerungsrate, kleine Fliessgeschwindigkeit;
- Mehrschichtfall, CKW können sich auf Stauerfläche entgegen Grundwasserfliessrichtung ausbreiten, dünne Stauer können an Schwachstellen durchbrochen werden;
- Randbereiche Schottergrundwasser mit heterogenen Verhältnissen, Schichtaufbau im Klein- und Grossmassstab haben grossen Einfluss auf das Ausbreitungsmuster;
- Moräne über Molassefels, Eindringen in Molassefels entlang von Klüften, Verwitterungszonen und Schichten erhöhter Porosität (z.B. Sandstein) möglich;
- Karstwasser, Ausbreitung entlang von Karstkanälen, sehr komplexes und schwierig prognostizierbares Ausbreitungsmuster;
- Kluftwasser, Ausbreitung entlang von Bruch- und Kluftzonen, Ausbreitungsmuster komplex und schwierig prognostizierbar.

4.4 Schadstoffeintrag

Neben den hydrogeologischen Faktoren beeinflusst die Art und die Lage des Schadstoffeintrages massgeblich die Schadstoffausbreitung. Es sind dabei folgende Faktoren wesentlich:

- ▶ Lage oberflächlich (z.B. Tropfverluste), unterirdisch (z.B. Kanalisation)
- ▶ Art konzentriert (z.B. Sickerschacht), diffus (z.B. Eintrag Gasphase)
- ▶ Zeitfaktor einmalig (z.B. Unfall), mehrmalig, anhaltend (z.B. Leckstellen)
- ▶ Fracht geringe oder grosse Einsickerungsrate

Vgl. Abb. 5, Seite 22 Typische Figuren von CKW-Versickerungen in verschiedenen (hydro-)geologischen Verhältnissen sind in Abb. 5 zusammengestellt.

4.5 Bewertung des hydrogeologischen Modells

Als hydrogeologisches Modell werden in diesem Zusammenhang konzeptionelle Überlegungen zur hydrogeologischen Situation bezeichnet, nicht numerische Modellierungen. Vgl. [6].

Die Bewertung des hydrogeologischen Modells ist in der Regel nicht eindeutig, weil selten alle Faktoren bekannt sind und weil diese sich z. T. gegenseitig beeinflussen. Klar abgrenzbare Standardtypen können deshalb nicht unterschieden werden. Folgende generelle Schlüsse lassen sich jedoch ziehen:

- ▶ Die Vulnerabilität (Verletzbarkeit) des Grundwassers ist umso kleiner je mächtiger, tonreicher und homogener die Boden- und feinkörnigen Deckschichten sind. Die Anwesenheit von organischem Material und ein grosser Flurabstand vermindern die Vulnerabilität ebenfalls.
- ▶ Boden und feinkörnige Deckschichten sind in überbauten Gebieten meistens entfernt oder von Leitungen und Bauteilen «durchbrochen» worden.
- ▶ Bei generell feinkörnigem und heterogenem Untergrund ist das Ausbreitungsmuster der CKW häufig extrem komplex und schwierig prognostizierbar, was eine grössere Sondierdichte erfordert.
- ▶ Bei geringmächtigen und generell eher schlecht durchlässigen Grundwasserleitern ist die Gefahr einer Depotbildung erhöht. Dies gilt insbesondere bei grossen Eintragsraten und einem Stauer mit einer gewissen CKW-Durchlässigkeit (z. B. Klüfte, poröser Sandstein, Sandzonen in Moränen usw.).
- ▶ Geringe Unterschiede in der Durchlässigkeit (z.B. Schotter mit unterschiedlichem Sand- und Siltgehalt) reichen aus, um kleinere Mengen an CKW-Phase zurückzuhalten. Deshalb ist es möglich, dass bei geringer Eintragsrate der Stauer nicht erreicht wird, selbst wenn es sich um einen gut durchlässigen Grundwasserleiter handelt.
- ▶ Geringere Mengen an CKW-Phase, die sich im Grundwasserleiter in Tiefenzonen mit hoher Grundwassergeschwindigkeit angesammelt haben, werden relativ rasch (innerhalb von wenigen Jahren) im Grundwasser aufgelöst. Im Gegensatz dazu können CKW auf oder in schlechter durchlässigen Zonen über Jahrzehnte zurückbleiben und langsam gelöste CKW freisetzen.

5 Historische Untersuchung

5.1 Standortgeschichte

Die Historische Untersuchung (HU) des Standorts ist eine wesentliche Voraussetzung für eine zielgerichtete Technische Untersuchung.

Generelle Aspekte zur Vorbereitung und Durchführung einer HU finden sich in der Vollzugshilfe [3] sowie in Merkblättern, Leitfäden und Checklisten von kantonalen Fachbehörden. Daher wird an dieser Stelle auf allgemeine Aspekte nicht mehr eingegangen.

Die im Kataster der belasteten Standorte erfassten Informationen sind lediglich als Vorstufe für die Informationsbeschaffung anzusehen. Sie erfüllen die Anforderungen an eine HU in der Regel noch nicht.

5.1.1 Wo ist mit der Verwendung von CKW zu rechnen?

Eine Übersicht der möglichen CKW-Anwendungen bei verschiedenen Branchen oder bei einzelnen Prozessen, findet sich im „Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), Stoffeigenschaften“ unter Ziff. 1.2 [5].

In der Schweiz wurden CKW ab den 1930er Jahren in industriellen Masstäben eingesetzt. Die drei wesentlichen Eigenschaften dieser Stoffgruppe – sehr hohes Lösungsvermögen für Schmiermittel-KW, geringe Flammpunkt sowie hohe Flüchtigkeit – erklären die hauptsächliche Verwendung in der Industrie: als Reinigungs- und Entfettungsmittel sowie als gut flüchtiger Lösungsmittelzusatz. Die lange andauernde Unkenntnis über Gesundheits- und Umweltgefährdung führten dazu, dass teilweise sehr verschwenderisch mit diesen Lösungsmitteln umgegangen wurde. Noch bis in die 1970er Jahre war man im Glauben, gut verdichteter Qualitätsbeton bilde eine unüberwindbare Barriere für CKW und aus Anlagen abtropfende Lösungsmittel würden vollständig verdunsten.

Eine ausführliche Beschreibung von branchentypischen Kontaminationspotenzialen findet sich z.B. in [10].

Eine Übersicht der in der Schweiz bereits bekannten Fälle belasteter Betriebsstandorte zeigt, dass sich die Standorte im Wesentlichen in folgende Gruppen einteilen lassen:

- ▶ chemische Reinigungen (inkl. Lager und Peripherieanlagen),
- ▶ industrielle Entfettungen (inkl. Lager und Peripherieanlagen),
- ▶ Prozesse mit Verwendung als Lösungsmittelzusatz: in Farben, in der chemischen Industrie, bei weiteren Reinigungsprozessen,
- ▶ Konfektionierung, Aufbereitung und Lagerung von CKW.

Es kommen auch Abfallablagerungen mit CKW-haltigen Abfällen vor. Im Rahmen dieses Expertenberichtes werden diese jedoch nicht weiter behandelt.

5.1.2 Allgemeine Informationsgrundlagen

Von wesentlicher Bedeutung für die HU ist die umfassende und nachvollziehbar dokumentierte Informationsbeschaffung. Als erster Schritt erfolgt in der Regel eine Archivrecherche. Anschliessend wird eine Standortbegehung durchgeführt.

Die Erfahrung zeigt, dass das den Gutachtern zur Verfügung stehende Budget für die Historische Untersuchung verglichen mit dem möglichen Informationsgewinn meist eher gering ist. Die Ergebnisse der Historischen Untersuchung sind sowohl für die zielgerichtete Planung der nachfolgenden, wesentlich aufwändigeren Technischen Untersuchung wie auch für eine eventuelle Aufteilung von Untersuchungs- und Sanierungskosten von zentraler Bedeutung. Die zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Nutzungen bzw. der verschiedenen Grundeigentümer eines Standorts müssen im Rahmen der Historischen Untersuchung möglichst umfassend erhoben werden. Ebenso ist die zeitliche und räumliche Entwicklung der verschiedenen belastungsrelevanten Prozesse auf dem Standort ausführlich darzustellen. Falls die Recherchen der Historischen Untersuchung aus Kostengründen zu stark auf die aktuellen Nutzungen fokussiert werden, besteht das Risiko, dass vergangene Tätigkeiten und damit wesentliche Schadstoffquellen nicht beachtet werden, obwohl die entsprechenden Informationen meist zugänglich wären.

Informationsquellen und Befragung von relevanten Zeitzeugen

Die in Beilage 3 angeführte Checkliste umfasst Informationsquellen (Archive) bei Behörden und anderen öffentlichen Stellen. Weiter sind je nach Fall weitere Unterlagen des Betriebs zur Standortgeschichte und zu den Betriebsabläufen zu konsultieren. Die konstruktive Mitarbeit des Standortinhabers bzw. Betroffenen trägt dabei wesentlich zu einer umfassenden und nachvollziehbaren Darstellung des CKW-Einsatzes in der Vergangenheit bei.

Nach abgeschlossener Informationsbeschaffung soll eine kurze Bewertung vorgenommen werden: Der Gutachter beurteilt, ob die vorhandenen / verwendeten Informationsquellen der Fragestellung angemessen sind und ob sie für spätere Interpretationen ausreichen. Gegebenenfalls soll begründet werden, ob bzw. warum auf weitere, ev. aufwändige Nachforschungen verzichtet werden kann. Kenntnislücken aus der Historischen Untersuchung sollen explizit benannt werden. Es kann vorkommen, dass die Historische Untersuchung aufgrund von Erkenntnissen späterer Untersuchungsstapen ergänzt werden muss (iteratives Vorgehen).

Vgl. Abb. 1, Seite 6

Allgemeiner Leitfaden Historische Untersuchung

Eine Liste mit spezifischen Fragestellungen findet sich in Beilage 5. Die Aufzählung ist nicht abschliessend, auf detaillierte Aspekte zu einzelnen CKW-relevanten Branchen (z.B. Textilbetriebe, Gaswerke etc.) kann hier nicht eingegangen werden.

5.1.3 CKW-spezifische Fragestellungen

Schadstoffpotenzial: Verwendung von CKW im früheren / im heutigen Betrieb

Sind CKW in der Vergangenheit / bis in die Gegenwart eingesetzt worden?

Der erste und wesentliche Hinweis auf die Verwendung von CKW ergibt sich aus der Zuordnung des Standortes zu einer Branche bzw. detaillierter zu einem oder mehreren Prozessen. Es wurden bereits die zwei grossen Bereiche

- ▶ chemische Reinigung und
- ▶ industrielle Entfettung

genannt, bei welchen nahezu immer CKW eingesetzt wurden. Unsicherheiten bestehen oft bei denjenigen Prozessen, deren eingesetzte Stoffe CKW-haltig sein können, aber nicht müssen. Beispiele hier sind Malereien oder auch Färbereien und Druckereien. Heute und auch früher schon war ein Teil der verwendeten Farben, Pasten etc. nicht CKW-haltig. Die im Betrieb bzw. im Prozess eingesetzten Substanzen sind daher im Rahmen der HU zu benennen. Der Gutachter klärt im Rahmen der HU ab, ob die Substanzen CKW enthalten.

Beispiele im
[Leitfaden CKW](#) [5]:
Stoffdokumentation
(Kapitel 6),
Stoffdatenblätter.

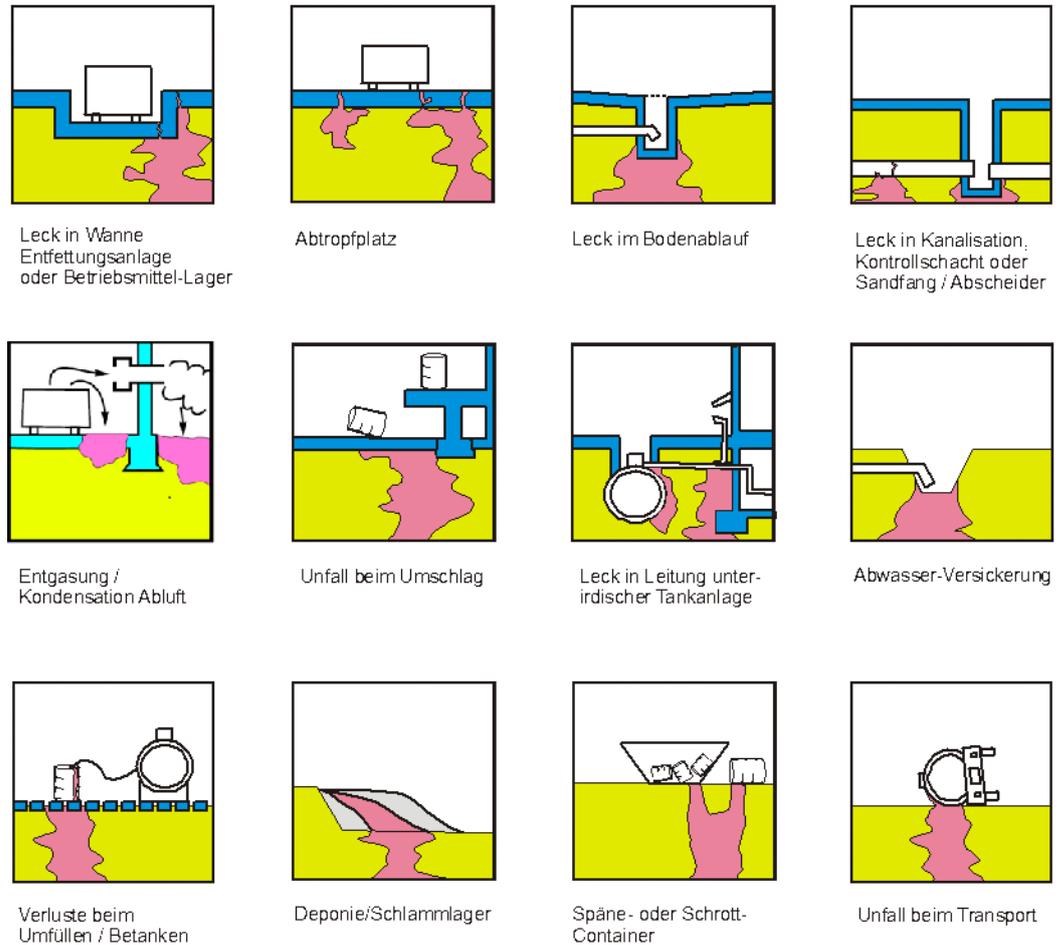
Eine grosse Problematik stellt ausserdem die Diskrepanz zwischen der wissenschaftlichen Benennung der CKW (chemische Namen), Handelsnamen und umgangssprachlichen Bezeichnungen dar. Oftmals können bei der Informationsbeschaffung nur Trivialnamen gefunden werden.

Um das Schadstoffpotenzial beurteilen zu können, sind im Rahmen der HU folgende Angaben zu einem CKW-verarbeitenden Betrieb zu erheben und zu dokumentieren:

Detaillierte
Fragestellungen
finden sich in
Beilage 5.

- ▶ Eingesetzte Substanzen im räumlichen und zeitlichen Kontext (chemische Bezeichnung),
- ▶ Dauer des Einsatzes,
- ▶ Ort des Einsatzes,
- ▶ Art des Einsatzes (Prozess, offenes / geschlossenes System),
- ▶ Umsatzmengen und Lagermengen der einzelnen Substanzen,
- ▶ Vorratshaltung, Lagerung,
- ▶ Entsorgung von Abfällen und verbrauchten Substanzen,
- ▶ Betriebs- oder Transportunfälle mit CKW.

Abb. 6:
Mögliche
Freisetzungspfade
von CKW in den
Untergrund nach
Gegebenheiten am
Standort.



Mögliche Freisetzungspfade der eingesetzten CKW

Können oder konnten CKW in den Untergrund eindringen?

Da CKW Betonböden problemlos durchdringen können, spielt die Versiegelung eine sehr grosse Rolle. Die eigentliche Fragestellung lautet deshalb:

War die Versiegelung während der gesamten Dauer des Einsatzes der CKW ausreichend?

Als ausreichende Versiegelung kann auf Grund zahlreicher Erfahrungen nur eine Wanne aus Edelstahl gelten. Die grosse Mehrheit der Schutzanstriche ist dagegen nachweislich nicht als ausreichende Versiegelung zu betrachten. Problemmindernd können Unterkellerungen wirken, bekanntermassen finden aber CKW auch ihre Wege über mehrere Geschosse in den Untergrund (z.B. entlang Verrohrungen in der Wand).

Sind alle Freisetzungspfade wie Abluft, Abwasser, Kontaktwasser, Peripherieanlagen, Abfälle, etc. berücksichtigt?

Diese Fragestellung ist auf alle Bereiche auszudehnen, bei welchen mit einem Vorkommen von CKW gerechnet werden muss. Je nach Grösse und Art des Betriebes variiert

Vgl. Abb. 6, Seite 27 die Anzahl der abzuklärenden Aspekte. Einen (nicht abschliessenden) Überblick über die möglichen Freisetzungspfade von CKW geben die Piktogramme in Abb. 6.

Vgl. Checkliste Beilage 6 Für die zwei relevantesten Standorttypen „chemische Reinigung“ und „industrielle Entfettung“ werden in Beilage 6 Fragestellungen im Sinn einer Checkliste aufgeführt. Für die Prozesse Drucken, Färben, Malen, Spritzen, Extrahieren, Imprägnieren u. v. a. ist die Checkliste in Beilage 6 ebenfalls zu berücksichtigen.

Spezifischer Fragenkatalog Chemische Reinigungen

Bei chemischen Reinigungen müssen neben den Waschmaschinen auch Art und Ort der Lagerung von Reinigungsmitteln berücksichtigt werden. Beispiel: PER-Fass neben der Maschine. Weiter sind der Abluftauslass an der Aussenwand oder über das Dach und die anschliessende Ausschwemmung durch Niederschlagswasser (Direkteinsickerung oder via Liegenschaftsentwässerung und allfällige weitere Leitungen) wichtige Freisetzungspfade.

Das vorschriftsmässige Ersetzen von verbrauchtem Adsorptionsmittel Aktivkohle wurde in der Vergangenheit nur selten durchgeführt.

Vgl. Checkliste Beilage 6 Kontaktwasser: Die in der Kleidung vorhandene Feuchtigkeit scheidet sich beim Waschen auf dem PER ab und wird nach dem Waschen entfernt (abdekantiert oder abdestilliert). Dieses Wasser ist mit CKW gesättigt. Es wurde früher ausnahmslos in die öffentliche Kanalisation abgelassen. Von Bedeutung sind nicht nur undichte Stellen in der Kanalisation, sondern insbesondere auch die Materialbeschaffenheit der Kanalisationsschächte und -rohre (falls aus Zement oder Beton). Undichte Stellen entstehen insbesondere durch Setzung von Leitungsrohren. Falls die Kanalisation undichte Stellen aufweist, muss damit gerechnet werden, dass auch die Umgebung der Kanalisation mit CKW verunreinigt ist.

Spezifischer Fragenkatalog Industrielle Entfettung

Die beim Entfettungsprozess eingesetzten Entfettungsbäder können die Grösse einer kleinen Wanne haben, aber auch mehrere hundert oder tausend Liter fassen. Es kann sich möglicherweise „lediglich“ um eine Handentfettung handeln, damit meint man z. B. das Kännchen oder die Spraydose mit einem Putzlappen, oder auch eine kleine Wanne in der Grösse einiger Liter, die auf dem Tisch steht.

Eigentliche Entfettungsanlagen fassen häufig mehrere hundert Liter („Badewanne“ oder grösser). Sie sind den Werkstücken angepasst und stehen direkt auf dem Boden oder sind im Boden versenkt. Die zu entfettenden Teile wurden früher in aller Regel in einem Korb oder an Haken in die Bäder eingetaucht, danach wieder herausgehoben. Sie tropften über dem Bad ab, danach oft noch weiter neben dem Bad.

Alte Maschinen waren offen, ohne Abzug, später kam ein Abzug bzw. eine Raumentlüftung dazu. Die Abluft wurde/wird entweder über das Dach oder direkt an der Wand am Standplatz der Anlage ausgeblasen. Heute sind die Anlagen *geschlossen* mit integriertem Abzug und mehrheitlich auch mit integrierter Destillation des Lösungsmittels ausgerüstet.

Abb. 7:

a) links:
Beispiel einer alten
Dampfentfettung

b) rechts:
Elektronisch
gesteuerte
Reinigungs-
maschine.



Typische Fassungsvermögen von PER-Entfettungsanlagen in den 1960er bis 1980er Jahren liegen bei 500 bis 750 l. Üblicherweise traten dabei Verluste (mehrheitlich durch Verdunstung) von ca. 25 kg/Tag auf. Bei mittleren Betrieben war ein wöchentlicher Verbrauch von 100 kg PER bzw. einem 200 l-Fass pro Monat üblich. Pro Jahr resultierten somit bei einem mittelgrossen Betrieb Zukäufe von 5 bis 15 Tonnen PER. Bei Grossbetrieben kann dieser Wert aber auch ein Mehrfaches betragen (bis zu 40 t/a). Diese Werte zeigen, dass konstante Verluste von wenigen Prozent oder sogar im Promillebereich im Vergleich zu den Verdunstungsverlusten nicht bemerkt bzw. nicht für relevant befunden wurden.

Vgl. Checkliste
Beilage 6

Aus diesem Vergleich sieht man, dass eine Entfettungsanlage ein viel grösseres Risiko darstellt als eine Handentfettung. Wenn es sich um eine Hand- oder Putzlappen-Entfettung handelt, kann in gut dokumentierten Fällen ohne besondere Vorkommnisse (z.B. Unfälle) auf weitere Abklärungen verzichtet werden. Wesentlich sind hier über die gesamte Betriebszeit verlässliche Angaben zu Menge und Art der eingesetzten Reinigungsmittel sowie dem Umgang mit Abfällen.

Bei grossen Anlagen ist nicht nur der begrenzte Standort der Anlage zu beurteilen, sondern auch der umliegende Bereich (Abtropfen), Abluftauslass an der Aussenwand, ggf. Wiederaufbereitungsanlagen, Umschlagsbereiche, CKW-Vorratslager etc.

Bestätigung der erhaltenen Informationen

Der Gutachter soll die Auskunftspersonen auf ihre Auskunftspflicht nach Art. 46 USG hinweisen. Als Empfehlung kann gelten, dass der Gutachter eher verlässliche und belastbare Aussagen erhält, wenn er sich die von den Auskunftspersonen erhaltenen Auskünfte – z. B. durch ein Unterschriftenfeld in der HU – schriftlich bestätigen lässt.

5.1.4 Bagatelldiskussionen

Nach bisherigen Erfahrungen steigen die Wahrscheinlichkeit und das Ausmass einer CKW-Belastung *nicht* mit der im Betrieb eingesetzten Menge CKW: Auch bei nur kurzzeitiger Verwendung von CKW sowie bei Kleinstbetrieben werden erfahrungsgemäss wesentliche CKW-Kontaminationen gefunden.

Factbox:

- ▶ Ein auf den eingesetzten Stoffmengen basierendes Bagatellkriterium kann daher bei CKW-Belastungen grundsätzlich nicht angegeben werden.

Hingegen kann die vollständig und nachvollziehbar dokumentierte Beschreibung der Art des CKW-Einsatzes die Grundlage einer Empfehlung darstellen, auf eine weitere Altlastenbearbeitung zu verzichten. Dies ist allerdings nur möglich, wenn bei den Recherchen alle wesentlichen Punkte berücksichtigt und dokumentiert werden und wenn nach der Historischen Untersuchung keine massgebenden Kenntnislücken verbleiben.

Beispielsweise kann durch den Nachweis, dass immer nur eine Handentfettung mit Reinigungsmittel-Zukauf von wenigen Litern pro Jahr betrieben worden ist, die Wahrscheinlichkeit für eine relevante Belastung herabgestuft werden. Ein solcher Nachweis genügt jedoch nicht als Grundlage für die Entlassung des Standorts aus dem Kataster der belasteten Standorte.

5.2 Standortbeschreibung (heutiger Zustand)

Während sich die Standortgeschichte vor allem mit den Stoffflüssen und Verhältnissen zu Zeiten des CKW-Einsatzes beschäftigt, geht die Standortbeschreibung auf den heutigen baulichen Zustand des Betriebsareals ein. Dies ist vor allem dann von Bedeutung, wenn zum Zeitpunkt der Begutachtung keine konkreten Auskünfte aus Archiven oder von Auskunftspersonen (mehr) zur Verfügung stehen.

Der Gutachter muss in diesem Fall versuchen, anhand der baulichen Gegebenheiten den möglichen Einsatz von CKW zu beurteilen und diese allenfalls in der Technischen Untersuchung berücksichtigen, auch wenn aus der HU keine konkreten Hinweise auf den Einsatz von CKW (primärer Einsatz/Prozess, Zwischenlager, Abfälle) vorliegen. In jedem Fall geben die baulichen Eigenschaften Hinweise über die potentiellen Migrationswege von CKW.

Als Hilfestellung für eine zielgerichtete bauliche Beschreibung des Standorts werden die folgenden Stichpunkte genannt. Der Gutachter muss sie bei seiner Standortbegehung gezielt beachten und in seinem Untersuchungsbericht dokumentieren.

- ▶ Weisen bauliche Gegebenheiten wie Wannen, Becken, geflieste Bereiche, Ventilatoren... auf den Einsatz von Flüssigkeiten hin? Wenn ja, welchen Zwecken haben diese Einrichtungen gedient? Im Zweifelsfall muss davon ausgegangen werden, dass Nassprozesse stattgefunden haben, bei denen auch CKW eingesetzt wurden.
- ▶ Weisen z. B. Leitungen darauf hin, dass Produkte innerhalb des Gebäudes/Areals transportiert wurden? Wenn ja, welche Produkte können dies – im Kontext der vorliegenden Ergebnisse – gewesen sein? Sind die Leitungen isoliert (Hinweis auf Transport heisser Substanzen oder Dampf)? Dann wurde vielleicht etwas „heiss“ gewaschen, also Entfettung könnte ein Thema sein.
- ▶ Im Rahmen der Standortbegehung sind vorhandene Schachtdeckel zu öffnen und die Schächte zu inspizieren. Zumindest visuelle und Geruchs-, nach Bedarf auch

analytische Kontrollen des Inhalts von Schächten und Schlammfassern sind vorzusehen.

- ▶ Gibt es Hinweise darauf, dass oben genannte Einrichtungen einmal vorhanden waren? Beispiele: Konsolen entlang der Wand unter der Decke, auf denen evtl. Leitungen oder Hochbehälter platziert waren, fehlender oder nachgebesserter Bodenbelag als Hinweis auf ein abgebrochenes Becken etc.
- ▶ Weisen Verfärbungen oder Gerüche an Boden oder Bausubstanz auf Nassprozesse hin? Wenn ja, was ist die mögliche Erklärung für die Verfärbungen oder Gerüche?
- ▶ Allgemeiner Zustand des Prozessstandortes heute (Art des Bodens o. ä., mögliche neue Schichten, Abdichtungen, Schutzanstriche etc.).
- ▶ Beschreibung allfälliger Undichtigkeiten (Risse, Setzungen, Bodenabläufe, Rinnen etc.), für (spätere) Rückschlüsse auf mögliche Freisetzungspfade.
- ▶ Infrastruktur im Untergrund wie Leitungen, Kanalisationen, erdverlegte Tanks. Dies bezieht sich nicht nur auf den engeren Prozessstandort, sondern auch weitere Bereiche des Betriebs.
- ▶ Versiegelung der Aussenbereiche, vor allem, wenn Abluft-Absaugungen vorhanden sind oder waren.

Zusammenfassung der Anforderungen an eine Standortbeschreibung: vgl. Berichtsraster HU in Beilage 7

(nicht abschliessende Auflistung)

5.3 Plan der Untersuchungsflächen und Untersuchungsmatrix

5.3.1 Auswertung und Visualisierungen

Als Ergebnis der HU ist eine Visualisierung der Standortinformationen in einem separaten Plan zu erstellen:

- ▶ Wo befand sich die Hauptverwendung von CKW (Prozessstandort)?
- ▶ Wo kamen CKW überall vor (Umschlag, Lager, Abfälle, Peripherieanlagen etc.)?
- ▶ Welche Ausbreitungswege fanden statt bzw. sind möglich (Tropfverluste, Leckagen, Abluft, Abwässer, Kanalisationen etc.)?
- ▶ Mögliche Ausschlusskriterien = davon ausgehende Gefährdung unwahrscheinlich, (z.B. ausreichende Sicherungen, moderne Anlagen, Unterkellerungen, zu geringe Stoffflüsse etc.).
- ▶ Zeitliche Entwicklungen, zeitlich-räumlicher Kontext.

5.3.2 Untersuchungsmatrix

Die genannten Visualisierungen und Zusammenfassungen der HU in Form einer Untersuchungsmatrix bilden die Grundlage für die Ausarbeitung der TU ([3]).

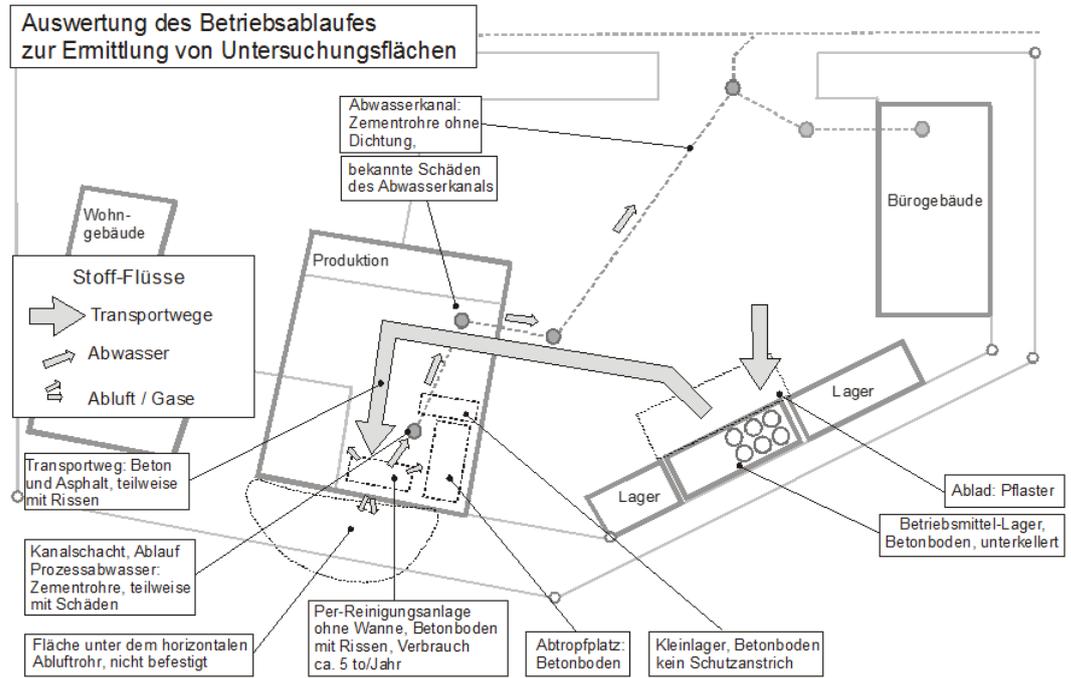
Tab. 2:

Beispiel einer Untersuchungsmatrix.

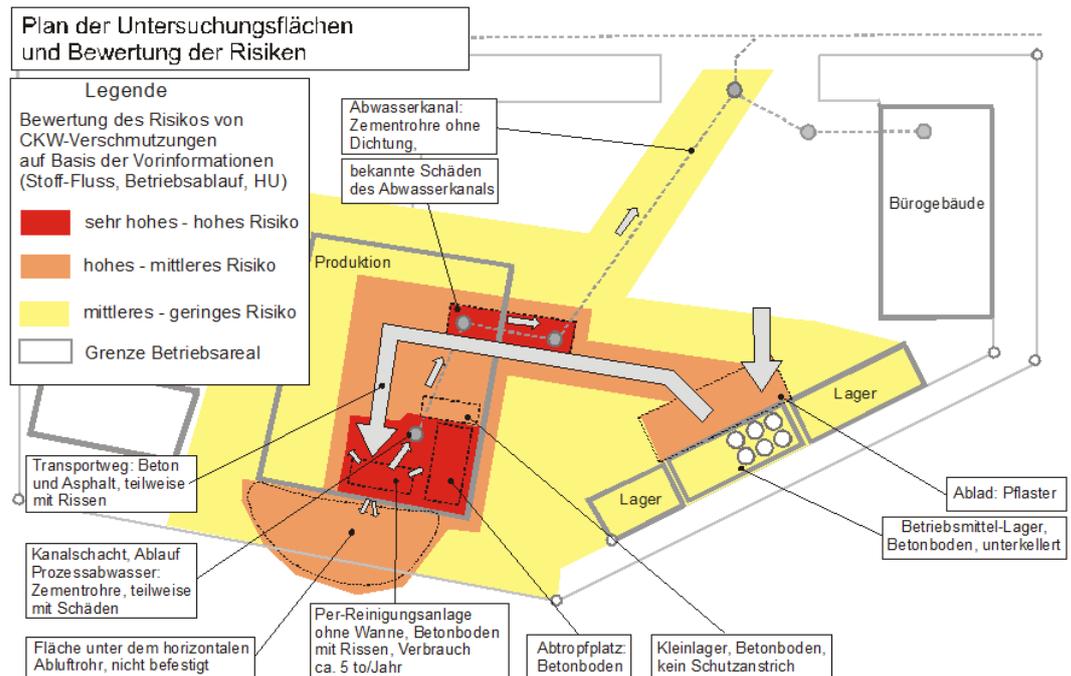
Teilbereich	Zeitraum (von-bis)	Tätigkeit	Eingesetzte belastungsrelevante Stoffe	Potenziell vorhandene Schadstoffe	Mögliche Lage der Kontamination	Relevante Ausbreitungspfade	Qualität der Angaben
Beispiel:							
A: PER-Reinigungsanlage (Beispiel)	1958 bis 1978	mechanische Werkstatt, Entfettung im offenen Reinigungsbad für Werkstücke	PER: Wanne à 50 l, Verbrauch 200 l/Jahr	PER, TRI, ev. Abbauprodukte bis VC	a) unter der Bodenplatte, b) vor der Außenwand (Auslass des Entlüftungsrohrs)	a) Porenluft, b) Abluft, nach Kondensation Porenluft und Sickerwasser	gesichert: vgl. Abschnitt ... der HU
B: ...							
C: ...							
...							
übriges Areal							

Abb. 8: Beispiel für die Darstellung eines Plans der Untersuchungsflächen. Visualisierung der CKW-Stoffflüsse eines Betriebes:

a) Grafische Auswertung des Betriebsablaufs mit Stoffflüssen.



b) Grafische Auswertung der baulichen Gegebenheiten.



Je nach Standortgeschichte kann es zweckmässig sein, für jede Produktionsphase separate Pläne und eine zusammenfassende Auswertung zu erstellen.

6 Pflichtenheft für die Technische Untersuchung

6.1 Generelle Bemerkungen

Für die Erarbeitung eines Pflichtenheftes wird auf die BAFU-Vollzugshilfe „Pflichtenheft für die Technische Untersuchung von belasteten Standorten“ [3] verwiesen. Darin wird das generelle Vorgehen gut beschrieben. CKW-Fälle stellen jedoch erhöhte Ansprüche, so dass einzelne Arbeitsschritte detaillierter und bezüglich Untersuchungsstrategie „bewusster“ ausgeführt werden müssen. Es ist an dieser Stelle nochmals zu erwähnen, dass gerade beim sehr wichtigen Arbeitsschritt der Erstellung des Pflichtenheftes der Gutachter über ein hohes Mass an Erfahrung und Wissen verfügen muss. Die Praxis zeigt, dass bei Untersuchungen mit falschem Befund die massgebenden Fehler häufig bei diesem Arbeitsschritt bedingt durch Unkenntnis oder aus Kostengründen (Konkurrenzdruck) entstanden sind.

Art. 7 Abs. 4 AltIV:
Mit der Technischen
Untersuchung werden Art
und Menge der Stoffe am
Standort, deren
Freisetzungsmöglichkeiten
und die Bedeutung der
betroffenen
Umweltbereiche ermittelt.

Der Umfang der Technischen Untersuchung auf dem Niveau einer Altlasten-Voruntersuchung ist nicht genau definiert und wird oft unterschiedlich interpretiert. Die Formulierung in Art. 7 Abs. 4 AltIV geht relativ weit. Die von der AltIV geforderte Kenntnis der Art und der Menge der Stoffe am Standort ist bei CKW-Fällen essentiell. Die für die Standortklassierung relevanten Grundwassermessstellen „im Abstrombereich unmittelbar beim Standort“ können nur richtig platziert werden, wenn der Standortperimeter mindestens in seinen groben Zügen bekannt ist. Dies ist vor allem dadurch begründet, dass CKW sich aufgrund ihrer Stoffeigenschaften im Untergrund entlang sehr schmaler und komplexer Fliesspfade ausbreiten können. Das Ausbreitungsmuster von CKW ist in der Regel deutlich komplexer als dasjenige von anderen Schadstoffen. Ohne Kenntnisse über die Lage des oder der Schadensherde müssten rasterförmig eine grosse Anzahl von Messstellen erstellt werden, was selten wirtschaftlich ist. Es kommt hinzu, dass für die gemäss AltIV geforderte Beurteilung der Freisetzungsmöglichkeit Informationen über die Schadstoffverteilung am Standort selbst unerlässlich sind.

Der Unterschied zur Detailuntersuchung gemäss Art. 14 AltIV liegt vor allem im Detaillierungsgrad. Bei CKW-Fällen stellt die Detailuntersuchung häufig einen weiteren iterativen Untersuchungsschritt zur Schliessung von Wissenslücken und Überprüfung von Modellannahmen dar.

6.2 Untersuchungsstrategie

Bei der Planung einer Technischen Altlasten-Voruntersuchung sind folgende grundsätzlichen Fragen zu klären:

1. Sind Feststoffe und/oder Porenluft und/oder Grundwasser zu untersuchen?
2. Wie können repräsentative Messpunkte ermittelt werden?
3. Welche Beprobungstechnik eignet sich?
4. Welches Analysenprogramm ist erforderlich?

Wenn diese Punkte nicht an die örtlichen Verhältnisse angepasst sind oder fehlerhaft ausgeführt werden, kann das Ergebnis einer Beprobung um mehrere Zehnerpotenzen verfälscht werden.

Zur Erkundung stehen verschiedene Untersuchungsmethoden zur Verfügung, die alle Vor- und Nachteile aufweisen. In Tab. 3 sind die Einsatzmöglichkeiten der häufigsten Untersuchungsmethoden zusammengestellt.

Tab. 3:
Einsatzmöglichkeit von Untersuchungsmethoden bei CKW-Fällen.

Untersuchungsart	Eingrenzung Schadstoffquelle	Standortbeurteilung nach AltIV	Quantifizierung Kostenprognose ¹⁾
Historische Untersuchung	Voraussetzung	Voraussetzung	Voraussetzung
Porenluftuntersuchung	++ ²⁾	- ³⁾	+
Feststoffbeprobung	+ ⁴⁾	-	+ ⁴⁾
Direct-Push-Sondierung, MIP-Messung	++ ⁵⁾	-	+
Eluat-Untersuchung	-	-	--
Grundwasser-Untersuchung ⁶⁾	+	+++	-

+++ : unverzichtbar, mit Ausnahme von gut begründeten Fällen

++ : wichtig

+ : bedingt anwendbar

- : ungeeignet, mit Ausnahme von gut begründeten Fällen

-- : nicht anwendbar

¹⁾ Bei der Kostenprognose handelt es sich in der Regel nicht um eine behördliche Forderung, sondern um Angaben, welche ggf. für den Auftraggeber zu machen sind.

²⁾ Bei gasdurchlässigen Schichten geeignet.

³⁾ Bei stark erhöhten Werten in überbauten Bereichen kann sich ein Untersuchungsbedarf der Raumluft ergeben, welche gemäss Art. 11 AltIV für die Standortbeurteilung relevant ist.

Falls keine Grundwasser- oder Sickerwasserbeprobung möglich ist, kann gemäss Anhang 1 Abs. 4 AltIV eine Standortklassierung über die Porenluft vorgenommen werden.

⁴⁾ Nur bei gering flüchtigen CKW und fachgerechter Probenahme geeignet. Oft nur indikative Aussagen möglich, insbesondere bei grobkörnigen Sedimenten.

⁵⁾ In locker gelagerten Schichten anwendbar.

⁶⁾ Falls in (seltene Ausnahmefällen) Oberflächenwasser direkt betroffen ist, kann auch die Untersuchung von Drainage- oder Oberflächenwasser erforderlich sein.

Aus Tab. 3 ergeben sich folgende Grundsätze für CKW-Untersuchungen auf der Stufe Voruntersuchung:

Factbox:

- ▶ Eine fundierte Historische Untersuchung ist Grundvoraussetzung für eine aussagekräftige Technische Untersuchung.
- ▶ Die Porenluftuntersuchung, Feststoffproben und MIP sind bei richtiger Anwendung gute, indikative Eingrenzungsverfahren des Standorts und der Schadstoffherde.
- ▶ Eine fundierte Standortklassierung gemäss Altlastenverordnung ist nur über eine Grundwasserbeprobung möglich.

In Bezug auf den Ablauf der Untersuchung ist in den meisten Fällen folgender Ablauf zweckmässig:

1. Konzeptionelles Modell (Untersuchungsmatrix),
2. Eingrenzung der Schadstoffeinträge
3. Untersuchung Schadstoffemission.

Häufig sind bei CKW-Fällen mehrere Untersuchungsschritte erforderlich. In einem iterativen Prozess muss das konzeptionelle Modell aufgrund des aktuellen Befundes überprüft, angepasst und durch ergänzende Untersuchungen (z.B. ergänzende HU oder ergänzende Porenluft-Untersuchungen) schrittweise verifiziert werden. Abgesehen von dieser generellen Untersuchungsstrategie besteht eine Vielzahl von Probenahmestrategien, welche spezifisch für einzelne Untersuchungsarten gelten. Eine Diskussion derselben erfolgt im Abschnitt 7.

Vgl. Abschnitt 7, Seite 40ff

6.3 Ablauf und Grundlagen für die Erstellung des Pflichtenhefts

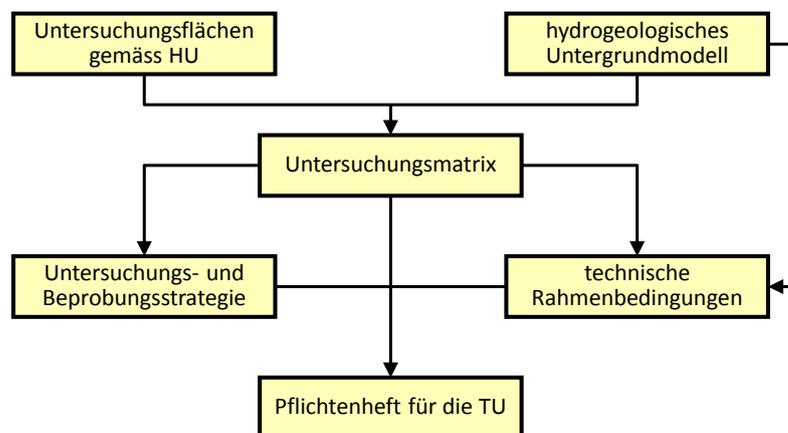
Für die Erarbeitung des Pflichtenhefts müssen folgende Grundlagen zur Verfügung stehen (Tab. 4):

Tab. 4:
Grundlagen für das Pflichtenheft.

Instrument	massgebliche Informationen
Plan der Untersuchungsflächen aus HU (vgl. Abschnitt 5.3.1, Seite 31)	<ul style="list-style-type: none"> • Lage mutmassliche Schadensherde • mutmassliche Emissionsart (flüssige Phase, gelöst, gasförmig) • mutmassliches Schadstoffspektrum • Grössenordnung Schadstoffmenge • qualitative Angabe Einsickerungsrate
Geologisches Untergundmodell (vgl. Abschnitt 4.5, Seite 23)	<ul style="list-style-type: none"> • qualitative Angaben über Rückhaltevermögen • mutmassliche Ausbreitungspfade • mutmasslich betroffene Medien (Feststoff, Porenluft, Grundwasser, ...) • technische Rahmenbedingungen für Untersuchungsmethoden

Aus diesen Informationen ist in einem 1. Schritt die Untersuchungsmatrix zu erstellen (vgl. Abb. 9). Im Gegensatz zum Plan der Untersuchungsflächen umfasst diese zusätzlich die angenommene Stoffausbreitung im Untergrund (betroffene Medien bzw. Schutzgüter). Eine Darstellung der mutmasslichen Abstrombereiche gemäss Vollzugshilfe [4] im Plan der Untersuchungsflächen ist zu empfehlen.

Abb. 9:
Genereller Ablauf bei der Erstellung des Pflichtenhefts.



In einem zweiten Schritt ist mit einer Untersuchungsstrategie und unter Berücksichtigung der technischen Rahmenbedingungen (Einschränkungen Untersuchungsmethoden) das eigentliche Pflichtenheft resp. das Untersuchungsprogramm zu erarbeiten.

6.4 Umfang des Pflichtenhefts

Das Pflichtenheft muss gemäss den Vorgaben der BAFU-Vollzugshilfe [3] erstellt werden. Es muss folgende Elemente umfassen:

1. Darstellung der Ausgangslage

- ▶ Anlass und zeitlicher Rahmen der Untersuchungen
- ▶ Beschreibung des Standorts (z.B. Schadensherd),
- ▶ Gefährdete Schutzgüter,
- ▶ Schadstoffhypothese,
- ▶ unmittelbarer Grundwasserabstrom.

Vgl. Vollzugshilfe [4]

2. Ziele der TU

3. Untersuchungsprogramm (tabellarisch, gemäss [3])

Vgl. Beispiel in Tab. 5, Seite 38

Im Untersuchungsprogramm müssen die folgenden Punkte aufgrund der vorhandenen Angaben definiert und tabellarisch dargestellt werden:

- ▶ Sondierprogramm Lage, Methode und Tiefe der Sondierungen, Beschrieb Messstellenausbau soweit aufgrund der vorliegenden Informationen möglich (Art und Ø Filterrohr, Filter- und Vollrohrstrecken, Abdichtungen, ...)
- ▶ Beprobungsprogramm je Sondierstelle, Beprobungsart, voraussichtliche Entnahmetiefe, Probenmenge, Probenbehälter, Lager- und Transportart (z.B. gekühlt), Vorgabe Lieferzeit
- ▶ Analysenprogramm Vorgabe Bearbeitungszeit nach Probeneingang, Analysenparameter, Bestimmungsgrenzen

4. Möglichkeiten zur Etappierung der Technischen Untersuchung

Die einzelnen Angaben des Untersuchungsprogramms sind möglichst detailliert aufzulisten. Wo definitive Angaben vom Sondierbefund abhängig sind (iterative Untersuchung) oder wo grundlegende Angaben fehlen (z.B. Grundwasserverhältnisse, Aufbau des Untergrunds), müssen das Vorgehen und die jeweiligen Entscheidungskriterien nachvollziehbar beschrieben werden. Dies gilt insbesondere für die Festlegung der Sondiertiefen und den Ausbau von Grundwassermessstellen. Hierbei ist konzeptuell darzulegen, mit welchem Vorgehen die Gefahr von hydraulischen Kurzschlüssen minimiert werden soll.

Vgl. Abb. 8, Seite 33

Das Sondierprogramm muss in einem „Plan der Sondierungen“ visualisiert werden. Am besten wird dieser mit dem Plan der Untersuchungsflächen kombiniert.

In Bezug auf die Sondiermethode ist eine genaue Bezeichnung resp. Beschreibung erforderlich. Eine Rotationskernbohrung ist z.B. in Bezug auf die Aufschlussqualität sowie die Ausbaubarkeit zu einer Grundwassermessstelle nicht vergleichbar mit einer

Vgl. Abschnitt 7, Seite 40ff Rammkernsondierung. Bei der Wahl der Sondiermethode sind die Zugänglichkeit sowie die in Abschnitt 7 beschriebenen Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden zu berücksichtigen.

Bei der Festlegung des Analysenprogramms ist zu berücksichtigen, dass bei der ersten Beprobung der Fokus nicht zu stark auf den vermuteten Schadstoff gerichtet wird. Screening- und Fingerprint-Analysen sowie die Analyse von Summenparametern erlauben mit bescheidenen Mitteln die Überprüfung resp. den Ausschluss von allfälligen anderen relevanten Belastungen.

Tab. 5:
Beispiel eines Untersuchungsprogramms (modifiziert aus [3]).

Untersuchungsprogramm										
Sondierprogramm		Probenahmeprogramm			Analyseprogramm				Ziel	
(Teil)-Bereich	Sondierstelle	Sondiermethode	Probe	Methode, Anzahl Proben, Mengen	Probenahme	Analysenparameter	Bestimmungsgrenze	Bestimmungsunsicherheit ¹⁾	Methode	
Beispiel:										
A	A1	Kernbohrung bis Grundwasserstauer, Ausbau als 4.5"-Piezometer	Grundwasserproben	Unterwasserpumpe in 4 m Tiefe, 2 Proben à 1 l ²⁾	Rohrinhalt 1x austauschen, T und Leitf. konstant ³⁾	Purge and Trap: 61 leichtflüchtige Verbindungen	0.05 µg/l ⁵⁾	±25%	GC/MS nach Purge and Trap ⁵⁾	Repräsentative Wasserprobe zur Beurteilung
			Feststoffproben	3 Proben à 5 kg Transport gekühlt, luftdicht	je 1 Probe aus Bohrgut pro Schicht	TRI PER	0.5 µg/kg 0.5 µg/kg 0.5 µg/kg ³⁾	±40% ±40% ±40%	SPME GC/MS ⁶⁾	Indikativ zur Bestimmung der Tiefenlage
			5 Sondierungen Hohlsonde, ca. 2 m tief	Porenluftproben	5 Proben à 10 l Luft über Aktivkohleröhrchen ⁴⁾	Totvolumen Sonde 3x absaugen, dann absaugen mit 0.5 l/min ⁴⁾	TRI PER VC	0.1 mg/m ³ 0.1 mg/m ³ 0.1 mg/m ³ ⁷⁾	±40% ±40% ±40%	Adsorption auf Aktivkohleröhrchen ⁷⁾
	A2	Kernbohrung bis Grundwasserstauer, Ausbau als 4.5"-Piezometer	Grundwasserproben	Unterwasserpumpe in 4 m Tiefe, 2 Proben à 1 l ²⁾	Rohrinhalt 1x austauschen, T und Leitf. konstant ³⁾	Purge and Trap: 61 leichtflüchtige Verbindungen	0.05 µg/l ⁵⁾	±25%	GC/MS nach Purge and Trap ⁵⁾	Repräsentative Wasserprobe zur Beurteilung
			Grundwasserproben	Unterwasserpumpe, 10 Proben à 1 l ²⁾	je 1 Probe pro Meter Bohrfortschritt	Purge and Trap: 61 leichtflüchtige Verbindungen	0.05 µg/l ⁵⁾	±25%	GC/MS nach Purge and Trap ⁵⁾	Indikativ zur Bestimmung der Tiefenlage
	B	...								
...	...									
übriges Areal	...	Stichproben: 3 Bagger-schächte ca. 2 m tief	Indikativ

- | | |
|---|---|
| <p>¹⁾ Erweiterte kombinierte Bestimmungsunsicherheit.</p> <p>²⁾ Volumen Wasserproben: von Vorgaben des Labors abhängig.</p> <p>³⁾ Vorgaben gemäss [4], Rohrinhalt mindestens 1x austauschen, Probenahme bei konstanter Temperatur und Leitfähigkeit.</p> | <p>⁴⁾ Vorgaben gemäss [2].</p> <p>⁵⁾ Vorgaben gemäss [1]: Methode W8 für Wasserproben.</p> <p>⁶⁾ Vorgaben gemäss [1]: Methode F8 für Feststoffproben.</p> <p>⁷⁾ Vorgaben gemäss [1]: Methode F20 für Adsorptionsröhrchen.</p> |
|---|---|

Vgl. Abschnitt 7.6.5, Seite 56

Es empfiehlt es sich, anhand der Analyse allgemeiner Wasserparameter die Qualität der Messstelle resp. das hydrogeologische Modell zu überprüfen. Eindringendes Oberflächenwasser oder Leckagen von Kanalisationen können z.B. anhand dieser Parameter gut erkannt werden. Zusätzlich können aus allgemeinen Wasserparametern Informationen über das Wassermilieu und über Redoxbedingungen gewonnen werden, was bei der Interpretation des gefundenen Schadstoffspektrums hilfreich ist.

6.5 Genehmigung Pflichtenheft

Eine Prüfung des Pflichtenheftes durch die zuständige Behörde wird von der AltIV gefordert (Art. 7 Abs. 3 AltIV). In Hinblick auf eine Kostentragung durch Dritte (Kostenteilungsverfahren oder VASA-Abgeltung) ist diese Prüfung eine Voraussetzung.

7 Technische Untersuchung

7.1 Planung der Probenahme

Die Durchführung der Untersuchung erfolgt grundsätzlich gemäss dem genehmigten Pflichtenheft (Kapitel 6.5). Die generellen Überlegungen zur Untersuchungsstrategie wurden im Abschnitt 6.2 dargelegt. Nachfolgend werden die technischen Aspekte der häufigsten Untersuchungsmethoden diskutiert.

Abb. 10 visualisiert schematisch die Anwendungsbereiche der häufigsten Untersuchungsmethoden (Porenluft, Feststoff und Grundwasser). Sie zeigt, dass je nach Lage der CKW-Quelle und hydrogeologischem Modell eine Methode nicht oder nur bedingt anwendbar ist. Die Überprüfung des hydrogeologischen Modells und das Auffinden resp. die Eingrenzung des Schadenherdes haben deshalb erste Priorität. Häufig muss das weitere Untersuchungsprogramm basierend darauf überarbeitet und angepasst werden.

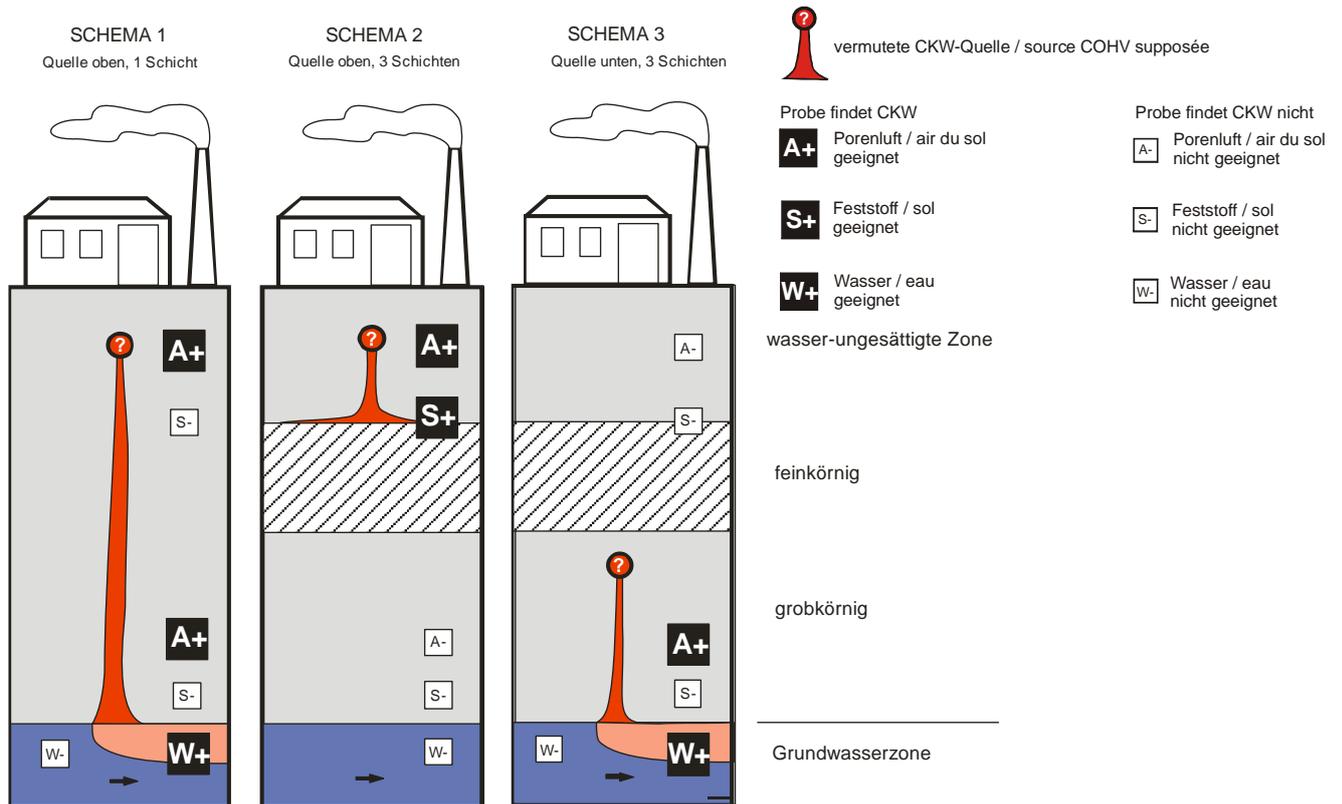


Abb. 10: Erkundungsstrategie in Abhängigkeit vom Aufbau des Untergrundes und der Hydrogeologie (vereinfachtes, nicht-massstäbliches Prinzipschema).

7.2 Porenluftuntersuchung

7.2.1 Konzeption und Anforderungen für den Einsatz

Eines der bekanntesten Verfahren zur Eingrenzung von CKW im Untergrund ist die Porenluftuntersuchung. Die Grundlagen des Einsatzes dieser Technik sind in der Vollzugshilfe Probenahme und Analyse von Porenluft [2] beschrieben.

Die Porenluftuntersuchung ist als Eingrenzungsverfahren geeignet, Hinweise auf CKW zu ermitteln, sofern einige grundsätzliche Anforderungen beachtet werden:

- ▶ Geeignete Probenahme: Durch Dichtstrecken oder Packer muss sichergestellt werden, dass keine atmosphärische Luft ("Fremdluft") angesaugt wird. Dies kann mittels CO₂ oder Radon (häufig erhöhte Begleitparameter in Porenluft) oder Druckmessung erfolgen.
- ▶ Geeignete Analytik: In der ersten Phase der (orientierenden) Technischen Untersuchung sollte die Porenluft in jedem Fall mittels Gas-Chromatografie (GC) untersucht werden, da zunächst das Stoffspektrum und dessen Verteilungsmuster ermittelt werden muss.
- ▶ Informationen zum Untergrund: Zur Planung und Bewertung einer Porenluftuntersuchung ist immer eine Beschreibung des Untergrunds, allenfalls auf der Basis von Erkundungsbohrungen, Sondierschächten oder Rammkernsondierungen, erforderlich. Die Porenluftmessung muss immer den örtlichen Verhältnissen angepasst werden (Abb. 10).
- ▶ Summarische Porenluft-Messverfahren: Summarische oder halbquantitative Messverfahren (z. B. Prüfröhrchen, PID-Summenmessgeräte) können bei höheren Konzentrationen die Eingrenzung von Schadensherden erleichtern. Die Ergebnisse sollten jedoch immer durch parallel entnommene Laboranalysen verifiziert werden.
- ▶ Eine tiefenzonierte Beprobung der Porenluft kann sinnvoll sein.
- ▶ Die Sondierstrategie muss den örtlichen Verhältnissen angepasst werden (rasterförmig, kreuzweise Profillinien). Durch vor Ort-Analytik mit mobilem Labor wird die Eingrenzung erheblich beschleunigt.
- ▶ Die Rasterdistanzen im mutmasslichen Herdbereich betragen meist 3 bis 5 m, bei positivem Befund werden die Messpunkte verdichtet. Pro Schadensherd sind im Allgemeinen ca. 5 bis 15 Messstellen erforderlich.
- ▶ Rammkernsondierungen können mit Porenluftmessungen kombiniert werden. Hierzu werden bspw. Sondierungen durch angepasste Filter und Dichtungsstrecken zu permanenten oder temporären Porenluft-Messstellen ausgebaut. Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die Art der Probenahme und das beprobte Volumen die gemessene Konzentration der Porenluft beeinflusst.

7.2.2 Zonierte Probenahme von Porenluftproben

Vgl. Abb. 10, Seite 40

Beim Vorhandensein von Schichten mit unterschiedlicher Durchlässigkeit oder bei undurchlässigen Trennschichten und StauhORIZONTEN ist eine zonierte Beprobung der Porenluft erforderlich. Eine tiefenzonierte Beprobung kann auch bei homogenem Untergrund, aber inhomogener Schadstoffverteilung wichtige Informationen über die vertikale Schadstoffverteilung liefern. Die folgenden Vorgehensweisen sind möglich:

- ▶ Beprobung der Porenluft in dem unverrohrten Abschnitt einer Kernbohrung beim Bohrvortrieb. Hierbei ist zu beachten, dass der unverrohrte Abschnitt gegenüber dem Zuströmen von Umgebungsluft abgedichtet werden muss. Die Resultate sind nicht reproduzierbar, können aber während der Erstellung der Messstelle als Indikator für den Messstellenausbau dienen.
- ▶ Beprobung der Porenluft in fest ausgebauten Mehrfachmessstellen. Beim Ausbau der Messstellen ist zu beachten, dass die verschiedenen Messebenen wie bei den Grundwassermessstellen gegeneinander abgedichtet werden. Neben der unmittelbaren Auskunft zur Lage der Schadstoffe können auch zeitliche Änderungen, z. B. ob Phase weiter absinkt oder tiefer liegende CKW-Phase abfließt, erfasst werden.

7.2.3 Einschränkungen des Einsatzes

Wenig oder nicht geeignet sind Porenluftmessungen in folgenden Fällen: Verfahren mit sehr kleinen Probemengen sind sehr störungsempfindlich.

- ▶ Nicht geeignet sind Untersuchungsmethoden, bei denen bei der ersten Untersuchungsstufe keine GC-Analysen, sondern ausschliesslich summarische oder indirekte Verfahren (zum Beispiel Prüfröhrchen, PID, CO₂-Messung) eingesetzt werden. (vergleiche auch VH Porenluft [2]) Die Messungen mit sog. Passivsammlern (im Untergrund eingebaute passive Adsorber) erwiesen sich bislang bei der Untersuchung von industriell genutzten Grundstücken oft als nicht geeignet, da sie sehr häufig keine Korrelation der gemessenen Relativwerte mit den für das Grundwasser relevanten Schadenszentren zeigten.
- ▶ Bei bindigem Untergrund ist evtl. keine Probenahme möglich, da keine Porenluft gezogen werden kann.
- ▶ Die Resultate von Porenluftuntersuchungen können bei hohem organischem Anteil des Untergrundes massiv verfälscht werden.
- ▶ Wegen zahlreicher, nicht erfassbarer Einflussfaktoren wie z.B. kleinmasstäblich heterogenen Durchlässigkeitsverteilungen oder Störeinflüssen durch organisches Material, hochdurchlässige Kofferungen resp. Leitungsgräben fehlt die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Probenahmen. Eine Standortbeurteilung nach Altlastenverordnung aufgrund der Porenluftkonzentration ist daher nicht möglich.

Factbox:

- ▶ Es sind nur diejenigen Porenluftproben direkt vergleichbar, welche mit dem gleichen Sondier- und Messverfahren entnommen worden sind.
- ▶ Nicht bewertbar sind die Ergebnisse von Porenluftmessungen, bei denen der Aufbau des Untergrunds nicht bekannt ist und bei denen die Beprobungstechnik nicht beschrieben ist.

7.2.4 Hinweise zur Technik und Ausführung

Erläuterungen zu den verschiedenen Porenluft-Messverfahren und weiterführende Literatur finden sich in der Arbeitshilfe [2] sowie in der Literatur im Anhang. Ergänzend hierzu sind im Folgenden einige Hinweise zur Technik und Ausführung zusammengestellt.

- ▶ Porenluftproben aus der Kofferung unter Bodenplatten: Porenluftproben, welche direkt unter einer durchbohrten Bodenplatte entnommen werden, führen in der Regel nur zu qualitativen Hinweisen auf CKW-Belastungen, da nicht klar ist, von welchem Bereich unter der Bodenplatte das entnommene Gas stammt und in der Regel eine signifikante Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen zu erwarten ist. Direkt unter der Bodenplatte befinden sich oft Hohlräume und besser durchlässige Bereiche, in welchen das Gas migrieren kann. Verdünnte Proben aus der Kofferung unter einer Bodenplatte sind daher nur bedingt aussagekräftig. Müssen Bodenplatten durchbohrt werden, soll für die Probenahme deshalb trotzdem eine Lanze in den Untergrund gerammt werden. Damit lässt sich die gemessene Belastung einem definierten Bereich zuordnen.
- ▶ Vinylchlorid-Problematik: Ein in der älteren Literatur wenig beachtetes Problem bestimmter CKW-Verunreinigungen ist das Auftreten von Vinylchlorid (VC). Dieser extrem flüchtige und als kanzerogen eingestufte Stoff kann zu einer potentiellen Beeinträchtigung bestehender oder geplanter Bebauung im Umfeld von CKW-Verunreinigungen führen. Der VC-Anteil in CKW-Schadensfällen entsteht meist durch den biologischen Abbau von CKW (in Einzelfällen kann das VC auch aus der PVC-Produktion stammen). Aufgrund des häufigen Auftretens von VC sollte dieses in Porenluftproben standardmässig analysiert werden.
- ▶ Probenahme für VC-Analysen: Bei der Probenahme sind in Abstimmung mit dem Analysenlabor besondere Massnahmen zu treffen, da Vinylchlorid vergleichsweise schlecht adsorbierbar und extrem flüchtig ist.
- ▶ Absaugversuche: Diese meist in weitergehenden Untersuchungsphasen (Detailuntersuchung, Sanierungsuntersuchung) eingesetzte Technik, bei der die Schadstoffkonzentration als Funktion der Zeit während eines Pumpversuchs ausgewertet wird, kann zur Erkundung eingesetzt werden. Der Absaugversuch gibt Hinweise, ob der Messpunkt in der Nähe eines Schadensherdes liegt. Er ermöglicht auch Aussagen zum Schadstoffpotenzial. Die Ausführung setzt jedoch viel Erfahrung und aufwändige Messtechnik voraus.
- ▶ Sekundäre Belastung durch Entgasung aus Grundwasser: Durch das in der Untersuchungsfläche vorhandene oder von aussen zuströmende Grundwasser kann eine

Vgl. Abschnitt 3.6,
Seite 19

deutlich erhöhte Hintergrundbelastung der Porenluft entstehen (theoretische Gleichgewichtskonzentration z. B. für PER: 30 µg/l PER im Wasser stehen im Gleichgewicht mit rund 1.4 ml/m³ in der Porenluft im unmittelbaren Wasserkontakt). Aus diesem Grund sollten parallel zur Porenluftmessung Wasserproben in den Bereichen entnommen werden, in denen die Grundwasserkonzentration die Porenluft beeinflussen kann.

7.3 Untersuchung von Boden- und Feststoffproben

7.3.1 Konzeption und Anforderungen für den Einsatz

Vgl. Abschnitt 3.8, Seite 19

Feststoffproben sind zur Quantifizierung von flüchtigen CKW nur bedingt geeignet. Dies gilt insbesondere für die sehr flüchtigen CKW-Substanzen wie z.B. Trichlorethen (TRI, Dampfdruck ca. 3 x so hoch wie Wasser), cis 1,2-DCE (Dampfdruck ca. 9 x so hoch wie Wasser) oder Vinylchlorid (Dampfdruck ca. 126 x so hoch wie Wasser). Im Gegensatz dazu ist die mit Abstand am häufigsten auftretende CKW-Substanz Tetra-chlorethen (PER) rund 40% weniger flüchtig als Wasser und daher in Bezug auf ein Verdampfen vergleichsweise wenig problematisch.

Die verschiedenen Vorgehensweisen sowie deren Vor- und Nachteile werden in [5] beschrieben.

Insbesondere bei leichtflüchtigen CKW und grobkörnigem, kiesigem Untergrundmaterial (unvermeidbare Strukturstörung bei Probenahme am grössten) ergeben CKW-Analysen lediglich Minimalwerte, weil sich während der Probenahme und ggf. im Labor ein Teil der CKW verflüchtigen.

Vgl. [Leitfaden CKW](#) [5], vgl. Abschnitt 3.1

Da die Proben im Labor nicht getrocknet werden dürfen, wird bei Feststoffanalysen immer die erdfeuchte Probe gemessen. Das Resultat wird in der Regel als Konzentration pro kg Trockensubstanz angegeben und direkt mit den Grenzwerten der Abfallverordnung (VVEA) verglichen, obwohl noch ein gewisser CKW-Anteil gelöst im Haftwasser mitgemessen wird. Dies ist vertretbar, da der im Haftwasser mitgemessene gelöste CKW-Massenanteil in der Regel vernachlässigbar klein ist. Bei einem typischen Wasseranteil von 15–20% von erdfeuchten Proben und einer üblichen Untergrundzusammensetzung ist der im Haftwasser gelöste CKW-Massenanteil gemäss Phasengleichgewicht bei den meisten CKW-Substanzen < 1 % (vgl. auch Kapitel 3.6). Allfällige CKW-Phase (z.B. Phasentröpfchen) ist analog zu "Öl in Phase" dem Feststoff zuzurechnen.

Vgl. Abschnitt 3.2, Seite 12, und Abb. 3, Seite 15

In feinkörnigen, gering durchlässigen Schichten wird die CKW-Phase bevorzugt festgehalten. Eine aus einer Kernbohrung in feinkörnigem Material (Feinsand, Silt, Ton) aus dem Kern fachgerecht entnommene Probe, gilt als repräsentativ.

Bei der Probenahme und Bewertung von Feststoffproben sind die besonderen physikalisch-chemischen Eigenschaften der CKW zu berücksichtigen. Diese sind u. a.:

- ▶ CKW sind im Gegensatz zu vielen anderen Schadstoffen im Untergrund nicht durch Verfärbungen der Feststoffmatrix und teilweise auch nicht durch einen auffälligen Geruch zu erkennen.

- Vgl. Abb. 3, Seite 15 ▶ CKW-Phase kann Grundwasserleiter und Grundwasserstauer durchdringen, in Zonen mit geringer Sorptionskapazität können auf relativ kleiner Fläche grosse Mengen an CKW versickern.
- Vgl. Abb. 3, Seite 15 ▶ CKW werden durch Wasser gelöst und umgelagert (Sorptions im Untergrund) oder über die Gasphase verfrachtet.

Da bei der Technischen Untersuchung die Ermittlung der Risiken und der räumlichen Verteilung der CKW im Vordergrund steht, wird für die Feststoffbeprobung Folgendes empfohlen:

- ▶ Die Beprobungspunkte sollten in den vermuteten Schadenherden liegen.
- ▶ Die Beprobung von Feststoff sollte sich in jedem Fall an dem ermittelten geologischen Schichtaufbau orientieren, Schichten mit hoher Sorptionskapazität und feinkörnige, stauende Schichten sollten bevorzugt beprobt werden.
- ▶ Die Proben sollten immer nur einen definierten Horizont erfassen, der Tiefenbereich und die Korngrösse der Probe sollte genau beschrieben werden.
- ▶ Mischproben sind im Rahmen der Technischen Untersuchung nicht sinnvoll.
- ▶ Es wird empfohlen, innerhalb eines Bohrprofils mehrere Abschnitte zu beproben, um ein Konzentrationsprofil erstellen zu können.

Als Eingrenzungsverfahren zur Ermittlung repräsentativer Zonen zur Beprobung des Feststoffs können, je nach örtlichen Verhältnissen, zum Beispiel zonierte Bodenluftproben oder Headspace-Analysen aus Feststoffproben eingesetzt werden. Eingrenzungsverfahren sollten in jedem Fall durch eine ausreichende Zahl von Erkundungsbohrungen mit Beschreibung des geologischen Profilaufbaus ergänzt werden.

7.3.2 Hinweise zur Ausführung der Beprobung

- Vgl. Abschnitt 3.8, Seite 19 Bei der Feststoffbeprobung ist eine gewisse Störung des Korngefüges praktisch unumgänglich. Bei der Probenahme resultieren daher Entgasungen bzw., falls vorhanden, allenfalls ein Wegfliessen von flüssiger CKW-Phase.

Factbox:

Eine gestörte Feststoffprobe ergibt in den meisten Fällen nur einen Minimalwert für den CKW-Gehalt.

Eine Feststoffbeprobung mit bedingter Aussagekraft ist bei mehrheitlich feinkörnigem und bindigem Untergrund mit folgenden Massnahmen möglich:

- ▶ „Ungestörte“ Probenahme (siehe unten),
- ▶ sofortige luftdichte Probenabpackung (in der Regel in Glasgefässe, zur Minimierung des Gasraums Gefässe randvoll füllen),
- ▶ durchwegs gekühlter und lichtgeschützter Transport (Kühltasche mit Kühlelementen),
- ▶ sofortige Lieferung ins Labor (= am gleichen Tag),
- ▶ Probenlagerung und Homogenisierung durch das Labor bis zur Analyse im möglichst tief gekühlten, aber nicht gefroren Zustand, anschliessend Analyse möglichst innerhalb von 24 Stunden.

Post- und Flugversand ans Analytiklabor sind aus den genannten Gründen für CKW-haltige Feststoffproben ungeeignet.

Alternativ könnten Feststoffproben grundsätzlich durch ein Fixiermittel (z.B. Methanol) „fixiert“ werden, um die Verluste durch Ausgasung zu verringern. Diese Fixierung bedingt aber einen grossen Koordinationsaufwand mit dem Labor, erfordert den problematischen Umgang mit dem umweltgefährdenden Methanol und ist nur bei sehr kleinen Probenmengen (z.B. 20-30 g) möglich. Beim Einsatz von Lösungsmitteln ist zudem zu beachten, dass dieses nicht durch Stoffe in der Umgebungsluft kontaminiert wird. Die kleinen Probenmengen erfüllen die korngrossenabhängigen Qualitätsvorgaben in Bezug auf die minimale Probenmenge in der Regel nicht. Da zudem die Koordinations- und Probenahmeanforderungen sehr hoch sind, ist eine breite Anwendung dieser Methode in der Praxis nur selten möglich. Stichprobenartig durchgeführte Vergleichsmessungen haben ausserdem gezeigt, dass beim Tetrachlorethen (PER) die Differenz zur konventionellen Probenahme (gekühlter Transport) kleiner als der zu erwartende Analysenfehler ist.

In Bezug auf die „ungestörte“ Probenahme ist eine Veränderung des Korngefüges bei grosskalibrigen Rotationskernbohrungen (z. B. Innen- $\varnothing \geq 4\frac{1}{2}$ “, Aussen- $\varnothing \geq 168$ mm) kleiner als bei kleinkalibrigen Rammkernsondierungen resp. Direct-Push-Verfahren ($\varnothing \leq 2$ “ bzw. ≤ 50 mm, z.T. ≤ 40 mm). Generell ist die Störung zudem bei feinkörnigem und bindigem Untergrund deutlich kleiner als bei grobkörnigem. Bei sehr grobkörnigem Untergrund (z.B. mit Steinen oder Blöcken) ist die unvermeidbare Erwärmung des Bohrgutes durch den Bohrvorgang nachteilig. Bessere Resultate liefern „ungestörte Kernentnahmen“ beispielsweise bei Kernbohrungen mit Probenhülse (Doppelkernrohr). Bei feinkörnigem Untergrund gilt dies auch für Liner-Proben, welche mit Direct-Push-Verfahren entnommen werden. Generell sollte bei allen Verfahren nur das Kerninnere für die Probe verwendet werden.

Bei untiefen Beprobungen und mehrheitlich bindigen Böden sind bei sorgfältiger Ausführung auch Probenahmen aus Baggerschächten (sofort gestochene Proben aus „Schollen ab Bagger-Schaufel“) denkbar. Dabei sind unbedingt die Aspekte der Arbeitssicherheit zu berücksichtigen (kein Einstieg in den ungesicherten Sondierschacht!).

Bei Sohlenbeprobungen in Baugruben ist mit zunehmender Dauer nach der Sohlenfreilegung insbesondere bei grobkörnigem Untergrund und stark flüchtigen CKW-Substanzen rasch eine starke Entgasung zu erwarten. Eine Beprobung mit der Schaufel liefert daher nur selten repräsentative Resultate. Die Beprobung muss daher unmittelbar nach der Sohlenfreilegung (Einstiche mind. 0.2 m) oder mittels Bagger-Sondierschlitz ab Baugrubensohle durchgeführt werden.

Factbox:

Die Aussagekraft von Feststoffbeprobungen ist sehr stark von der vorhandenen CKW-Substanz, der Zusammensetzung und Lagerungsdichte des Untergrundes und der Sondier- resp. Beprobungsmethode abhängig. Sofern eine dem Untergrund entsprechende Sondiermethode gewählt wird und bei der Probenahme die genannten Vorgaben berücksichtigt werden, resultieren insbesondere bezüglich Tretrachlorethen (PER) in der Regel brauchbare Resultate.

7.4 Direct-Push Sondierungen und MIP-Messungen

7.4.1 Allgemeine Beschreibung

Die Direct-Push Sondierungen (DP) stammen ursprünglich aus der Geotechnik. Sie liefern Vertikalprofile verschiedener Parameter und sind unter günstigen Verhältnissen im Tiefenbereich bis maximal 20 bis 30 m einsetzbar. Bei der Sondierung wird ein Gestänge mit Messkopf mechanisch in den Untergrund eingepresst oder geschlagen. Der Schichtaufbau wird indirekt aus der elektrischen Leitfähigkeit und aus dem Eindringwiderstand abgeleitet.

Durch das MIP-Messverfahren (Membrane Interface Probe) können zusätzlich leichtflüchtige Stoffe oder Stoffgruppen tiefenbezogen als Vertikalprofil ausgewertet werden. Nachbeprobungen und Wiederholungsmessungen in derselben Bohrung sind verfahrensbedingt nicht möglich. Hierzu sind Neusondierungen erforderlich.

Parameter

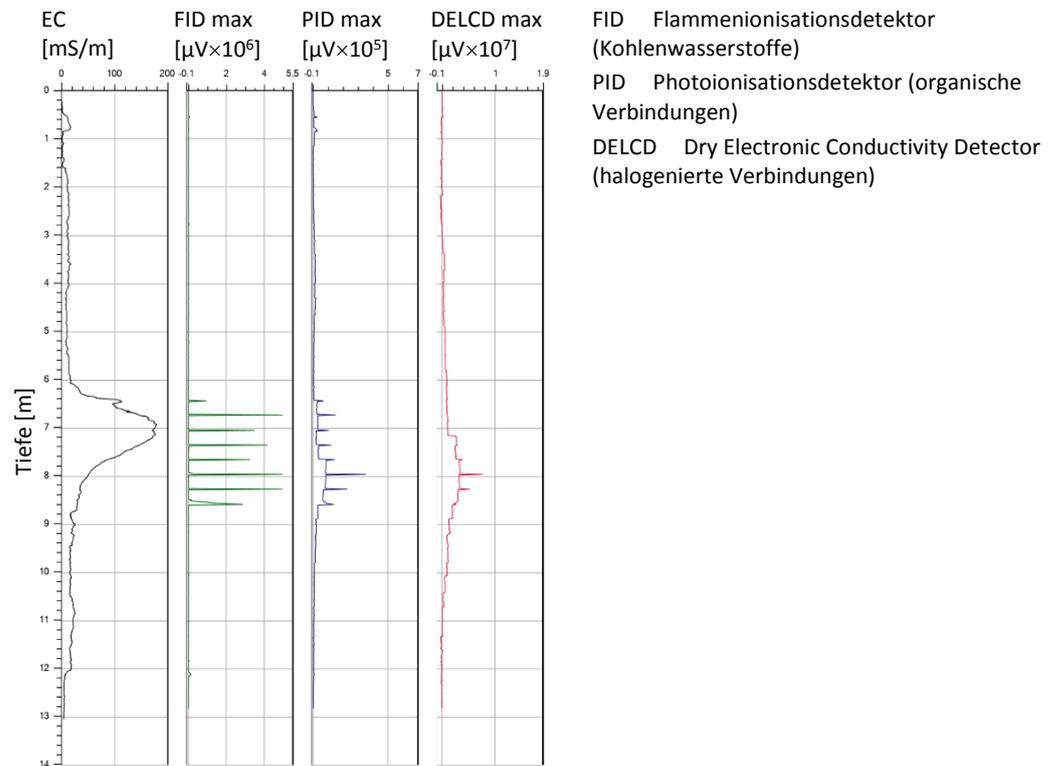
Die für die Erkundung der CKW-Schadensfälle wichtigsten Parameter, die bei einer DP-Sondierung gemessen werden können, sind:

- ▶ MIP-Messung: qualitative bis halbquantitative Bestimmung von leichtflüchtigen Stoffen in einem kontinuierlichen Tiefenprofil,
- ▶ Leitfähigkeitsmessung: Vertikalprofile der elektrischen Leitfähigkeit, die im Wesentlichen vom Tongehalt der Sedimente bestimmt wird, sofern keine Störungen vorliegen (z. B. durch Salze oder andere Elektrolyte).
- ▶ Weitere Parameter: Wenn bei bestimmten Fragestellungen die Messung von Porenwasserdruck, Gasdruck, Temperatur oder Lagerungsdichte im Vertikalprofil von Interesse sind, kann die Sonde nach Bedarf für diese Messgrößen ausgestattet werden.
- ▶ Probennahme: In einem separaten Sondiervorgang können, bei entsprechender Ausstattung der Sondenspitze, kleinvolumige Feststoff- oder Wasserproben entnommen werden.

Bei der MIP-Messung erfolgt die Probenentnahme von leichtflüchtigen Stoffen, indem die Sonde diese an der Spitze durch Erwärmung verdampft und über eine Kapillare mit Hilfe eines Trägergases über das Gestänge abtransportiert. Die summarische Untersuchung der dabei abgesaugten Gase erfolgt direkt im Messfahrzeug zum Beispiel mittels verschiedener Detektoren (FID, PID, DELCD). GC-Analysen der CKW-Einzelstoffe werden bei MIP-Sondierungen in der Regel nicht vor Ort durchgeführt.

Beim Einsatz des MIP-Verfahrens gelangen sowohl gelöste und gasförmige CKW als auch CKW-Phase in die Analyse. Bei den Resultaten handelt es sich um Totalgehalte der jeweiligen Substanz an der Sondierstelle. Eine Differenzierung, in welcher Form die CKW an der Probenahmestelle vorliegen, ist nicht möglich.

Abb. 11:
Beispiel einer MIP-
Auswertung



7.4.2 Vorteile des Verfahrens

Das Verfahren ermöglicht die räumliche Kartierung der Sedimentstrukturen und die qualitative Eingrenzung von CKW-Schadensherd. Insbesondere in feinkörnigen Sedimenten, z.B. in feinen Wechsellagerungen bei Seeablagerungen, ist eine hochauflösende Messung der Schichtung und der Konzentrationsprofile möglich. Es bietet bei fachgerechter Anwendung eine gute Grundlage für ein gezieltes Beprobungs- und Analysenkonzept.

7.4.3 Nachteile und Grenzen des Einsatzes

Die Aussagekraft der MIP- und DP-Sondierungen ist auf die direkte Umgebung der Sonde begrenzt. Trotz der zentimetergenauen Auflösung muss zudem mit Unsicherheiten, z.B. durch Verschleppung, gerechnet werden.

Das Verfahren ist bei Sedimenten mit grösserem Gehalt an Kies, Steinen oder Blöcken oder grosser Lagerungsdichte nur bedingt einsetzbar, da diese mit der Sonde nicht durchhörert werden können.

Die gewonnenen Boden- und Wasserproben sind aufgrund ihres geringen Volumens als punktuelle Einzelproben zu werten, die nicht direkt mit den Ergebnissen von sachgerecht entnommenen Feststoffproben oder mittels Vorpumpen entnommenen Wasserproben verglichen werden können.

Die vergleichsweise hohe Bestimmungsgrenze des Verfahrens ist zu beachten. Dies gilt insbesondere für Tetrachlorethen (PER), wo Feststoffgehalte $< 1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ nicht zuverlässig detektierbar sind.

Mit den üblicherweise durchgeführten DP-Sondierungen MIP- resp. DP-Sondierungen ist im Gegensatz zu Rotationskernbohrungen kein kontrolliertes Verpressen resp. Abdichten des Sondierloches möglich. Dies kann zu hydraulischen Kurzschlüssen und zu einer ungewollten Verschleppung von CKW-Belastungen in die Tiefe führen. Es existieren jedoch neuerdings Spezial-Verfahren, mit welchen auch bei DP-Sondierungen ein Verpressen des Sondierloches möglich ist («Grouting»).

7.4.4 Empfehlungen zum Einsatz der MIP-Sondierungen

Da es sich bei MIP-Sondierungen um ein halbquantitatives Verfahren für Erkundungen und Eingrenzungen von Schadensherden handelt, müssen die Resultate durch quantitative Methoden verifiziert werden.

In Gebieten mit hydrogeologischem Stockwerkbau oder ausgeprägten Stauerschichten (z.B. "abgedichtete" Deponiesohlen) sollten tiefreichende MIP-Sondierungen aufgrund des Kurzschlussrisikos vermieden werden.

7.5 Eluatuntersuchungen

Bei der altlastenrechtlichen Untersuchung von CKW-Belastungen ist das Säulen-Eluat nach AltIV ([1]) nicht sinnvoll anwendbar, da bei der Säulenpackung eine starke Störung des Korngefüges mit nachfolgender Mobilisierung der enthaltenen CKW und eine starke Ausgasung der CKW unumgänglich ist.

Vgl. Abschnitt 3.8,
Seite 19

Qualitative Hinweise auf die Eluierbarkeit der CKW können allenfalls mit einem wässrigen Eluat an einer unbehandelten Probe (Anlieferungszustand) gewonnen werden. Bei den gemessenen Gehalten handelt es sich aber ebenfalls um Minimalwerte.

Factbox:

Da generell davon ausgegangen werden muss, dass vorhandene CKW stark eluierbar sind, erübrigt sich in den meisten Fällen eine Eluat-Untersuchung.

7.6 Untersuchung von Grundwasserproben

7.6.1 Konzeption / Anforderungen für den Einsatz

Die Untersuchung des Grundwassers ist die wichtigste Grundlage der Bewertung von CKW-Schadensfällen. Die Grundsätze der Strategie zur Probenahme sind in den Vollzugshilfen des BUWAL „Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten“ [4] erläutert.

7.6.2 Ergänzende Empfehlungen

Rahmenbedingungen,
Untersuchungsstrategie:
vgl. Abschnitt 6.2, Seite 34

- ▶ Für die richtige Platzierung der Grundwassermessstelle unmittelbar beim Standort muss der belastete Standort inklusive Schadenherd in Bezug auf seine Lage, Ausdehnung und Eindringtiefe sowie das hydrogeologische Modell im Wesentlichen bekannt sein. Für die Abgrenzung von CKW-Standorten wird auf das entsprechende [ChloroNet-Merkblatt](#) verwiesen. Eine ausschliessliche Grundwasserbeprobung im mutmasslichen Abstrombereich potenzieller Schadenherde ist zur Bewertung eines Standortes in der Regel nicht ausreichend.
- ▶ Um die Fliessverhältnisse des Grundwassers zu erkunden und Schadenherde im Grundwasser einzugrenzen, können kleinkalibrige Grundwasser-Piezometer oder Rammpezometer eingesetzt werden. Auf Grundlage dieser Vorerkundung können dann grosskalibrige Grundwasser-Messstellen an repräsentativen Punkten errichtet werden.
- ▶ Bei der Erstellung von Messstellen zur Grundwasserbeprobung sind hydrogeologische Besonderheiten zu berücksichtigen, welche die Analyse und Bewertung entscheidend beeinflussen können.

7.6.3 Planung und Errichtung von Grundwasser-Messstellen

Die Techniken zum Bau von Grundwassermessstellen und zur Grundwasserbeprobung sind in vielen Publikationen ausführlich beschrieben. Im Folgenden werden einige wichtige Hinweise für die praktische Arbeit bei der Untersuchung von CKW-Belastungen zusammengefasst und erläutert.

Weitere Hinweise
siehe [11]

Anzahl und Anordnung der Messstellen

Um die Grundwasserfliessrichtung am Standort zu ermitteln, müssen mindestens drei „Erkundungsmessstellen“ vorhanden sein (hydrogeologisches Dreieck). Mindestens zwei Messstellen sollten im Abstrombereich und eine Messstelle im Zustrombereich des Schadenherdes liegen. Als Erkundungsmessstellen können auch ältere Grundwassermessstellen, Filterbrunnen oder kleinkalibrige Piezometer verwendet werden. In Gebieten mit homogenen Untergrundverhältnissen, in denen die Fliessverhältnisse bereits gut bekannt sind, kann davon abgewichen werden, sofern dies nachvollziehbar begründet werden kann.

Die Anordnung und Anzahl der für die Klassierung relevanten Messstellen im Abstrombereich unmittelbar beim Standort ist abhängig von der Grösse des Standorts sowie von der Komplexität der hydrogeologischen Verhältnisse. Das Vorgehen für die Festlegung muss gemäss [4] erfolgen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Breite

der Abstromfahne bei CKW oft wenige Meter schmal ist und dass höhere Anforderungen an die Probenahme als bei anderen Schadstoffen gelten.

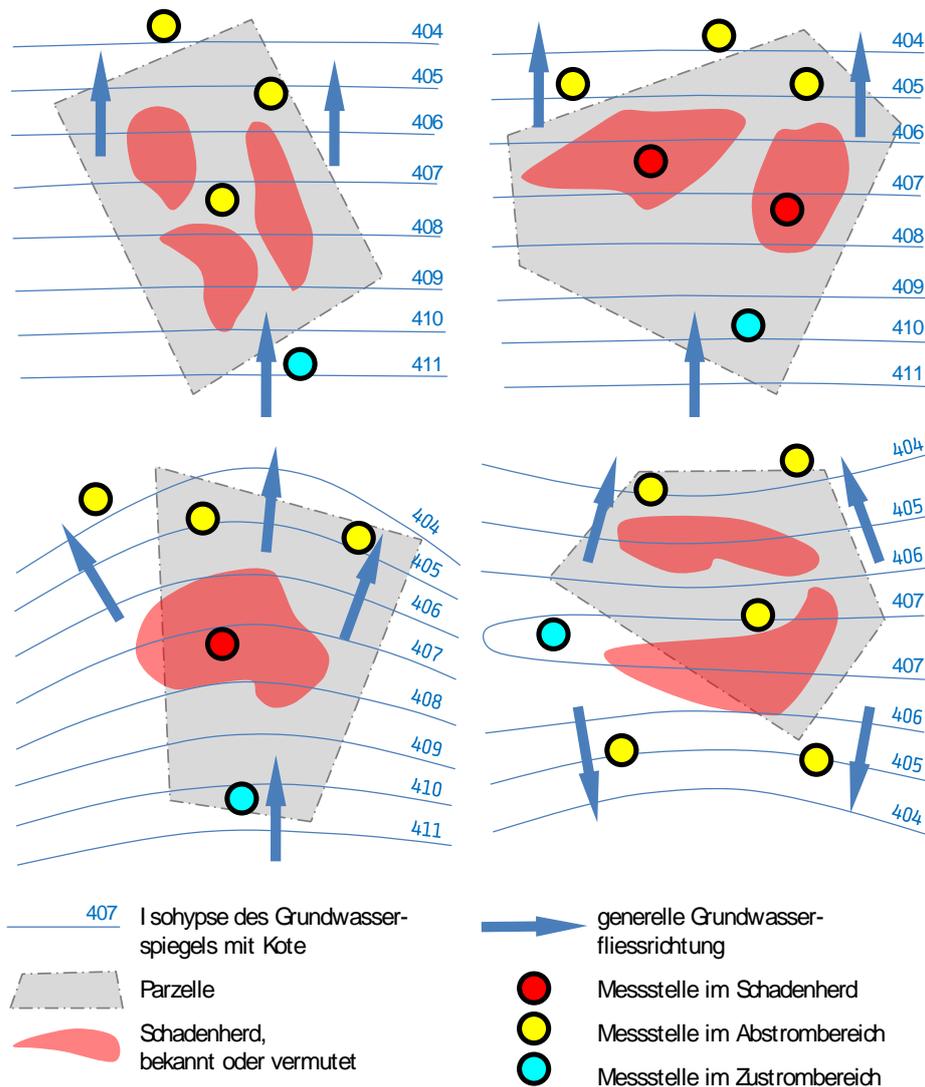
Bei CKW-Fällen sind deshalb in der Regel im Abstrombereich 2 bis 3 klassierungsrelevante Messstellen erforderlich. Bei Fällen mit Hintergrundbelastungen werden zudem Oberstrommessstellen klassierungsrelevant, da diese dann für eine Differenzbetrachtung herangezogen werden. Sie müssen natürlich entsprechend der Anforderungen an eine Abstrommessstelle ausgebaut sein (siehe unten). Abb. 12 gibt schematisch mögliche Anordnungen von Grundwassermessstellen wieder.

Ausbau und Lage der Messstellen

Der Ausbau von Grundwassermessstellen ist bei CKW-Fällen sehr anspruchsvoll und bedingt ein hohes Mass an Erfahrung. Das Bohrgut ist laufend geologisch aufzunehmen und in Bezug auf die Kompatibilität mit dem hydrogeologischen Modell zu überprüfen. Zur Verifizierung der Standortabgrenzung resp. als Nachweis, dass sich die Messstelle tatsächlich ausserhalb des Standortes befindet, sind bei der Messstellen-Errichtung aus dem gesättigten Bereich fachgerecht Feststoffproben zu entnehmen und auf CKW zu analysieren. Damit können allenfalls vorhandene mit dem Grundwasser verschleppte Belastungen erkannt werden (Kapitel 3.5).

Stimmen Befund und Modell nicht überein, ist die Weiterführung der Bohrung bzw. der Bohrlochausbau an die tatsächlich vorhandenen Verhältnisse anzupassen. Allenfalls ist in diesem Fall sogar eine Rücksprache mit der zuständigen Behörde angezeigt. Die definitive Bohrlochtiefe und der Bohrlochausbau müssen dem revidierten hydrogeologischen Modell Rechnung tragen.

Abb. 12:
Anzahl und
Anordnung von
Grundwasser-
messstellen
(schematisierte
Modellfälle in
Anlehnung an [9]).



Der Ausbau der Messstellen ist auf die hydrogeologischen Verhältnisse resp. die hydraulische Durchlässigkeit der einzelnen Schichten abzustimmen. Die klassierungsrelevanten Messstellen sollten einen Innendurchmesser von mindestens 4.5" aufweisen, da dadurch ein genügend grosser Entnahmebereich sichergestellt werden kann und da dadurch die Spiegelabsenkung bei der Probenahme minimiert wird (Gefahr der Entgasung beim Nachsickern im Filterkies). In begründeten Fällen, wie z.B. in feinkörnigen Seeablagerungen oder Verlandungssedimenten, sind auch kleinkalibrige Bohrlochbauten möglich (z.B. Messstellengalerie mit geringeren Abständen). Diese Fälle sind mit der Behörde vorgängig abzustimmen.

Wenn hohe CKW-Konzentrationen zu erwarten sind, ist ein Ausbau des Piezometers in Polyethylen (PE) oder Edelstahl zu empfehlen, da diese in Bezug auf CKW eine grössere Beständigkeit und geringere Adsorptionseffekte aufweisen. Bei CKW-Fällen sollten die Messstellen möglichst nicht mit einem "Schlammstapel" ausgerüstet werden, da sich darin ein Phasen-Depot bilden kann, welches die Analysenergebnisse verfälscht.

Grundwassermessstellen sind so zu verfiltern, dass

- ▶ pro Messstelle nur eine grundwasserführende Schicht erfasst wird (Ausschluss hydraulischer Kurzschlüsse),
- ▶ bei geringmächtigen Grundwasserleitern die grundwasserführende Schicht möglichst in ihrer vollen Mächtigkeit erfasst wird (vollkommene Brunnen, um auszuschliessen, dass Schadstoffansammlungen an der Grundwassersohle, z. B. CKW, Phenole und PAK unerkannt bleiben),
- ▶ bei mächtigen Grundwasserleitern unterschiedliche Tiefenbereiche getrennt erfasst werden (primärer Beprobungsfokus bei gut durchlässigen Grundwasserleitern liegt auf den obersten ca. 5 m Mächtigkeit). Ein durchgehendes Verfiltern von 10m, 20m oder sogar noch mächtigeren Grundwasserleitern führt zwangsläufig zu vertikalen Durchmischungen resp. Verdünnungen im Bohrloch, da in derartigen Grundwasserleitern in der Schweiz sehr häufig vertikale Fließ- und Schadstoff-Zonierungen vorhanden sind. (S.a. empfohlene Maximallänge des Filters auf der nächsten Seite).
- ▶ der Grundwasserschwankungsbereich in vollem Umfang miterfasst wird (+1 m Sicherheitszuschlag über anzunehmendem Höchstwasserstand), wegen aufschwimmender Schadstoffe und oxidisch gebundener bzw. adsorbierter Schadstoffe).

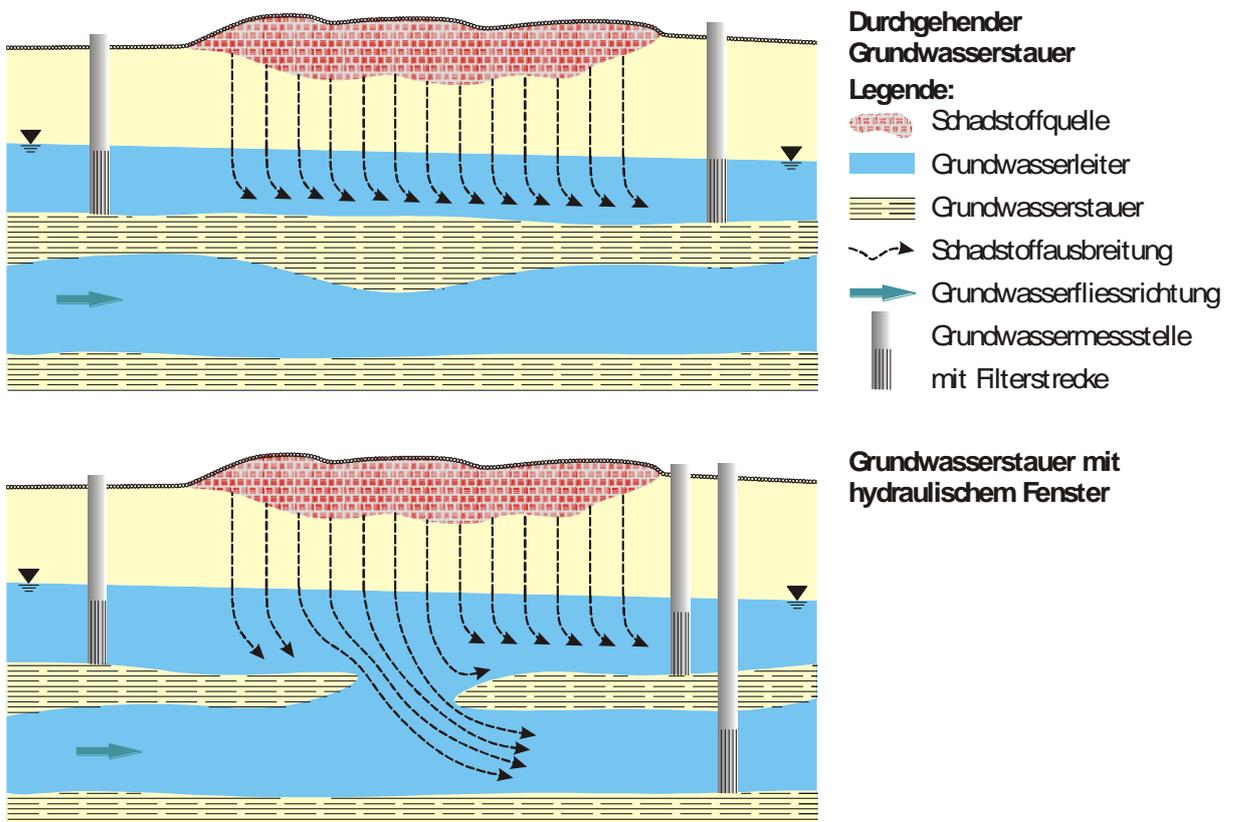


Abb. 13:

Lage von Grundwassermessstellen bei mehreren Grundwasserstockwerken im Lockergestein (schematisierte Modellfälle in Anlehnung an [9]).

Bei gespanntem Grundwasser wird die Länge der Filterstrecke maximal auf die Mächtigkeit des Grundwasserleiters eingeschränkt. Bei grösserer Grundwassermächtigkeit und dem Fehlen von eindeutigen Trennhorizonten im Untergrund kann möglicherweise über eine zonierte Grundwasserbeprobung während des Bohrvorgangs eine Information über die vertikale Schadstoffverteilung erhalten werden.

Ohne Kenntnis der vertikalen Schadstoffverteilung im Grundwasser sowie allfälliger vertikaler Grundwasserzonierungen sollte die Länge der Filterstrecke im gesättigten Bereich 5 m nicht überschreiten.

Die Entscheidung, ob eine allfällige DNAPL-Problematik vorliegt und eine Bohrung bis auf die Staueroberfläche abgeteuft werden muss, ist sehr schwierig. Eine zonierte Wasserbeprobung während dem Bohrvortrieb (Kapitel 7.6.4) kann möglicherweise dabei helfen. Sehr nützlich sind auch Flowmeter-Messungen. Weitere Rückschlüsse lassen sich aus der Historischen Untersuchung (mutmassliche CKW-Menge und Versickerungsrate), aus den Gehalten im Schadensherd (Porenluft, Feststoff) sowie aus der Fliessgeschwindigkeit des Grundwassers ziehen. Bei geringer Einsickerungsrate und hoher Fliessgeschwindigkeit werden CKW laufend in gelöster Form abführt, so dass diese nicht bis zum Stauer gelangen können. Wenn bei der Planung oder der Erstellung der Messstellen nicht entschieden werden kann, wie sie zu Verfiltern sind, dass die allenfalls vorhandenen CKW in jedem Fall erfasst werden, können Mehrfach- oder Clustermessstellen erstellt werden.

Vgl. Abschnitt 7.6.4,
Seite 55

Zu jeder Erstellung einer Grundwassermessstelle gehören ein fachgerechtes Entsanden sowie ein Kurzpumpversuch. Letzterer gibt Hinweise, ob das hydrogeologische Modell richtig ist, und stellt eine massgebliche Grundlage für jede Frachtabschätzung dar. Beim oder unmittelbar nach dem Entsanden können hingegen keine repräsentativen Grundwasserproben entnommen werden.

Vermeidung von Kurzschlüssen

Jede Bohrung ins Grundwasser ist eine Störung, die bei unsachgemässer Ausführung eine Veränderung der Fliessverhältnisse zur Folge haben kann. Dies ist grundsätzlich nicht nur in Gebieten mit verschiedenen Grundwasserstockwerken der Fall, sondern kann auch in „homogenen“ Aquiferen auftreten. So weisen z.B. die schweizerischen Lockergesteinsaquifere häufig horizontal viel grössere hydraulische Durchlässigkeiten auf als vertikal, was zu einer vertikalen Grundwasserzonierung führt.

Eine Vermeidung von Kurzschlüssen bei Bohrungen in CKW-Schadensfällen kann mit folgenden Strategien bestmöglich verhindert werden (siehe auch vorangehende Ausführungen):

- ▶ Planung und Begleitung nur durch erfahrene Altlastenberater mit fundierten hydrogeologischen Kenntnissen,
- ▶ Ausführung nur durch qualifizierte Bohrfirmen bzw. durch erfahrenen Bohrmeister,
- ▶ Auswertung und Interpretation geologische Aufnahme Bohrgut und zonierte Beprobung vor Entscheid über Bohrlochausbau,

- ▶ Verwendung von Bentonit- oder Bentonit-Zement-Suspension oder Zement-Injektionen statt Tonkugel-Abdichtung (Opalit, Compactonit) für Bohrlochabdichtungen,
- ▶ Mehrfachmessstellen in kleinkalibrigen Bohrungen vermeiden, da eine Abdichtung kaum vollständig realisierbar ist (besser Clusterbohrungen). Mehrfachmessstellen können bei grösserem Bohrdurchmesser durch eine qualifizierte Bohrfirma erstellt werden. Messstellen mit einem Durchmesser kleiner als 4.5" sind aber in der Regel schwieriger repräsentativ zu beproben (siehe oben).

7.6.4 Zonierte Probenahme von Grundwasserproben

Verlässliche Auskunft über die vertikale Schadstoffverteilung im Untergrund kann nur über eine zonierte Beprobung des Untergrunds erhalten werden. Dabei kann grundsätzlich zwischen zwei Vorgehensweisen unterschieden werden:

- ▶ Zonierte Beprobung während des Bohrfortschritts,
- ▶ Ausbau von Messstellen, die das dauerhafte Beprobieren in verschiedenen Tiefen bzw. Horizonten des Untergrunds ermöglichen.

Bei einer zonierten Beprobung während des Bohrfortschritts ist zu beachten, dass lediglich indikative Angaben erhalten werden, die aber bei der Entscheidung über den Ausbau einer Messstelle (Bohrtiefe, Lage von Filterstrecken) verwertet werden können.

Vgl. Abb. 13, Seite 53

Die hydrogeologischen Verhältnisse können es erforderlich machen, Grundwasser aus unterschiedlichen Horizonten zu analysieren. Auch im Falle grosser Aquifer-Mächtigkeiten, in denen keine eindeutigen Trennhorizonte im Grundwasserleiter vorliegen, kann eine zonierte Beprobung zur Identifikation der Lage der Schadstoffe hilfreich sein. Analog zur Porenluftbeprobung sind die folgenden Vorgehensweisen möglich:

Vgl. Abschnitt 7.2.2,
Seite 42

- ▶ Zonierte Grundwasserprobenahme und Analyse (vor Ort oder im Labor) während der Bohrarbeiten. Möglicherweise kann auf diesem Weg die optimale Lage der Filterstrecke für unterschiedlich belastete Zonen ermittelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass eine repräsentative Probenahme praktisch nicht möglich ist, da der Untergrund durch das Bohren gestört und möglicherweise in Phase vorhandene CKW mobilisiert wurden.
- ▶ Ausbau der Bohrung als Mehrfachmessstelle mit mehreren Piezometern oder Realisierung einer Clusterbohrung. Aus so einer Messstelle können auch repräsentative, „gerichts-feste“ Proben entnommen werden. Zusätzlich zu der momentanen Information zur Tiefenlage der Verschmutzung können auch zeitliche Änderungen beobachtet werden.

Clusterbohrung
= Mehrfachmess-
stelle:
mehrere bei einander
liegende Bohrungen mit
unterschiedlicher Tiefe
und unterschiedlichem
Ausbau.

Bei mehreren Grundwasserstockwerken besteht grundsätzlich immer die Gefahr eines hydraulischen Kurzschlusses durch die Bohrung bzw. den Messstellenausbau. Clusterbohrungen, d. h. einzelne, voneinander unabhängige Messstellen in unmittelbarer Nähe lassen sich zuverlässiger abdichten als Mehrfachpiezometer, bei denen mehrere Messrohre gebündelt in einer Bohrung stehen (Vermeidung von Kurzschlüssen).

Vgl. Abschnitt 7.6.3,
Seite 50

7.6.5 Grundwasserprobenahme

Die Probenahme selbst (Tiefe der Pumpe, Pumprate, Vorpumpvolumen...) erfolgt – mit Ausnahme von Spezialfällen – gemäss der BAFU-Vollzugshilfe [4]. Eine genaue Dokumentation der Grundwasserbeprobung ist Voraussetzung für die Qualitätssicherung und die Reproduzierbarkeit. Ein Muster eines Probenahmeprotokolls findet sich in Beilage 8.

Feldparameter:

Die Feldparameter pH, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt und Redox-Potential müssen vor Ort gemessen werden. Bei sauerstoffarmen Wässern liefern O₂- und Eh-Messungen vor Ort ungenaue Ergebnisse (O₂: Winkler-Titration, Eh: rechnen). Temperatur und Leitfähigkeit sind während dem Vorpumpen aufzuzeichnen, bis konstante Werte erreicht werden ([4]). Stärkere Abweichungen während des Pumpvorgangs deuten entweder auf eine ungenügende Messstellenqualität (z. B. Eindringen von Oberflächenwasser), auf Mischprozesse im Bohrloch (z. B. zu lange Filterstrecke) oder im Einzugsbereich der Messstelle hin.

Abfüllen der Grundwasserproben:

- ▶ Für alle Proben zur CKW-Analyse sind generell Glasgefässe zu verwenden.
- ▶ Das Umfüllen von Proben ist zu vermeiden: Headspace-Gefässe aus Glas sind vor Ort zu füllen.
- ▶ Es ist darauf zu achten, dass die Wasserproben keine Luftblasen enthalten. Das Befüllen der Probengefässe sollte über einen Schlauch mit geringerem Durchmesser (Bypass-Schlauch) erfolgen.
- ▶ Beim Abfüllen von Flaschen ohne vorgelegte Konservierungsstoffe soll der Schlauch in die Flasche bis zum Gefässboden eintauchen („Kontraktorverfahren“); das Wasser soll kurz überlaufen, bevor die Flasche verschlossen wird.

Qualitätssicherungs-Massnahmen bei der Grundwasserbeprobung sind sehr wichtig, regelmässige Nullproben mit der kompletten Probenahme-Ausrüstung sind zur Qualitätssicherung zu empfehlen.

Mögliche Fehlerquellen der Beprobung:

- ▶ Kontaminationen der Probe durch unzureichendes Reinigen der Geräte (z. B. Steigrohre und Halteseile),
- ▶ verunreinigte Konservierungskemikalien,
- ▶ Kontaminationen durch lösungsmittelhaltige Filzschreiber,
- ▶ Kontamination der Proben durch flüchtige Stoffe in der Umgebungsluft (an aktiven Industriestandorten) oder Abgase vom Stromaggregat,
- ▶ Verluste von Stoffen durch Ausgasung leichtflüchtiger Inhaltsstoffe durch Aufbewahrung in nicht gasdichten oder nicht vollständig gefüllten Behältnissen,
- ▶ Ausgasung von Stoffen durch ungeeignete Probenahmetechnik bei flüchtigen Stoffen (z. B. Saugtechnik),
- ▶ Veränderungen der Proben durch chemische und biochemische Reaktionen wie oxidierende oder reduzierende Inhaltsstoffe oder bakterielle Tätigkeit.

Beprobung bei geringer Wasserführung:

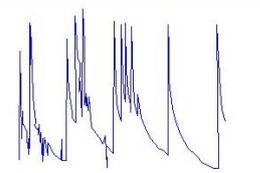
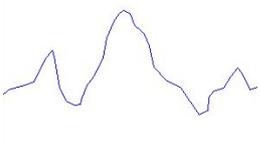
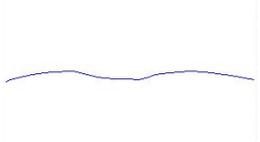
Ist die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters nur gering oder liegt eine geringe Grundwassermächtigkeit vor, so ist das Bohrloch mindestens ein- oder zweimal zu entleeren ([4]). Sofern keine repräsentative Pumpprobe gewonnen werden kann, ist dies im Probenahmeprotokoll zu erläutern und bei der Bewertung zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für Schöpfproben.

Da CKW-Phase schwerer als Wasser ist, kann sie sich bei ungünstigen Verhältnissen im untersten Teil des Bohrloches („Schlammstapel“) anreichern, so dass bei der oben beschriebenen Probenahme zu hohe Gehalte resultieren. Im Zweifelsfall kann die Qualität der Beprobung durch eine vorgängige Spülung des Schlammstapels verbessert werden.

Anzahl und Zeitpunkt der Beprobungen:

Die Anzahl der erforderlichen Grundwasserbeprobungen ist abhängig von der Art des Grundwasserleiters. Generell geht es darum alle relevanten Fließverhältnisse (Hochwasser-, Mittelwasser- und Niedrigwasserstand) zu erfassen, da diese einen sehr grossen Einfluss auf die CKW-Emission haben können. In der nachfolgenden Tab. 6 ist die Anzahl der empfohlenen Beprobungen für verschiedene Grundwassertypen zusammengestellt. Die Zeitabstände zwischen den Beprobungen sind abhängig vom Schwankungsverhalten des Grundwassers. Je nach saisonalen Schwankungen sind für eine repräsentative Erfassung des Schadstoffspektrums Messperioden von 1 Jahr oder mehr erforderlich.

Tab. 6:
Anzahl der Probenahmen für die Erhebung repräsentativer CKW-Konzentrationen.

Schematische Ganglinie des Grundwasserspiegels	Reaktion Grundwasserspiegel auf Niederschläge	Grundwassertyp (zusätzlich treten zahlreiche Mischformen auf)	Empfohlene Anzahl Beprobungen
	sehr schnell und ungedämpft	Karst- und Kluftwasser, Lockergesteinsgrundwasser mit geringem Flurabstand, fehlender Deckschicht und/ oder starker Oberflächenwasserinfiltration	3–4, davon 1–2 unmittelbar nach starken Niederschlägen
	leicht verzögert, leicht gedämpft	Typisches Lockergesteinsgrundwasser mit mittlerem Flurabstand und Deckschicht	2–3 bei möglichst unterschiedlichen Wasserständen
	stark verzögert und gedämpft	Lockergesteinsgrundwasser mit grossem Flurabstand, mächtigen Deckschichten und / oder Trennschichten (Stockwerkbau)	2

7.7 Analytikverfahren

Die Analyse der entnommenen Proben auf CKW im Labor erfolgt nach den Verfahren W-8 (Wasserproben) oder F-8 (Feststoffproben), die in der Vollzugshilfe [1] „Analysemethoden im Abfall- und Altlastenbereich“ beschrieben sind. Beide Verfahren, bei der die eigentliche Messung mit GC (Gaschromatograph) oder GC/MS (Gaschromatograph/Massenspektrometer) erfolgt, entsprechen der internationalen Norm. Bei der Wahl des Analytiklabors ist darauf zu achten, dass das Labor die Vorgaben gemäss der BAFU-Richtlinie [1] erfüllt und einhält.

Besondere Fragestellungen können Abweichungen von den Standardverfahren gemäss [1] bedingen. Abweichende Vorgehensweisen sind zu begründen und zu beschreiben.

Vgl. Abschnitt 7.10,
Seite 60

Das Analytiklabor protokolliert und dokumentiert die Probenvorbereitung, den Aufschluss der Probe und die Analyse nachvollziehbar im Laborbericht.

7.8 Unsicherheiten bei CKW-Probenahmen und CKW-Analysen

In den vorhergehenden Abschnitten wird mehrfach darauf hingewiesen, dass Messungen von CKW-Konzentrationen mit nicht zu vernachlässigenden Ungenauigkeiten verbunden sind. Diese lassen sich nie ganz vermeiden, höchstens minimieren. Die Interpretation von Messwerten muss daher im Licht dieser Ungenauigkeiten vorgenommen werden.

Die Ungenauigkeiten, welche im Labor durch Abweichungen von Messgeräten (Waage, Pipette, GC...) entstehen, sind von allen Fehlerquellen am besten abschätzbar. Bei der Probenahme, beim Transport und bei der Aufbereitung von CKW-haltigen Proben entstehen jedoch wesentlich grössere Fehler, welche nur grob abschätzbar sind.

7.8.1 Ungenauigkeiten bei der Probenahme

Abweichungen von den tatsächlichen Schadstoffkonzentrationen entstehen bei der Probenahme aufgrund der folgenden Faktoren:

Vgl. Abb. 10, Seite 40,
und Abschnitt 7.6.3, Seite 50

► Mangelnde Repräsentativität der Probenahmestelle hinsichtlich der Schadstoffquelle oder der Schadstofffahne,

Vgl. Abschnitte 3.8, Seite 19,
und 7.3.2, Seite 45

► Drainieren von CKW-Phase durch Verlust der Kapillarkräfte bei der Auflockerung von Feststoffproben,

Vgl. Abschnitt 7.6.5, Seite 56

► Verschleppung von CKW durch das Probenahmematerial,

Vgl. Abschnitte 3.8, Seite 19,
und 7.3.2, Seite 45

► Verdunstungsverluste aus dem Probenmaterial bei der Entnahme von Feststoffproben. Dies gilt insbesondere bei Erwärmung der Proben, wie dies z.B. bei Kernbohrungen in grobkörnigen Lockergesteinen unvermeidbar ist.

Vgl. Abschnitt 7.3.2, Seite 45

► Verdunstungsverluste bei Transport und Aufbewahrung der Probe, insbesondere bei mangelhafter Kühlung (Abschnitt 7.3.2).

Die möglichen Fehler aufgrund mangelnder Repräsentativität der Probenahme sind nur in der Grössenordnung abschätzbar.

Vgl. Abschnitt 7.3.2, Seite 45

Bei der Interpretation der Resultate ist zu beachten, dass die CKW im Untergrund in aller Regel sehr ungleichmässig verteilt sind, da sie bei ihrer Ausbreitung präferentiellen Fließwegen folgen. Dies kann dazu führen, dass zwischen Feststoffproben, die in relativ geringen Abständen (z. B. 0.5 m) entnommen wurden, bedeutende Konzentrationsunterschiede vorhanden sind. Im Grundwasser und in der Porenluft verhalten sich die gelösten bzw. verdampften CKW aber nach etwas einfacheren Gesetzmässigkeiten, weswegen Probenahmestellen in geringer Entfernung häufig kleinere Unterschiede aufweisen, wenn sie in der gleichen lithologischen Schicht entnommen werden.

Für die Beurteilung der Ungenauigkeiten ist zu beachten, dass bei der Probenahme, beim Transport und bei der Probenvorbereitung von CKW-Proben ausschliesslich Verluste von CKW, hingegen keine Anreicherungen erfolgten.

Vgl. Abschnitte 3.8, Seite 19,
und 7.3.2, Seite 45

- ▶ Bei Feststoffproben können insbesondere bei den leicht flüchtigen CKW-Substanzen und bei unsachgemässer Probenahme bis zu 100% der CKW verloren gehen.
- ▶ Bei Wasserproben ergeben sich durch die Probenahme und den Probentransport in der Regel geringere Fehler. Die Wasserprobe wird in vorgekühlte, diffusionsdichte Gefässe (Glas) unter minimaler Exposition mit der Umgebungsluft abgefüllt. Die ununterbrochene Kühlkette zwischen Probenahme und Analyse muss jedoch auch bei Wasserproben sichergestellt werden. Bei Wasserproben kann daher davon ausgegangen werden, dass der Probenahmefehler im Bereich von ca. 20% liegt, wenn die Probenahme dem Stand der Technik entsprechend durchgeführt worden ist und wenn anschliessend eine lückenlose Kühlung der Proben erfolgt ist. Einen wesentlich grösseren Einfluss auf das Resultat können aber bei geschichteten Grundwasserleitern der Messstellenausbau und die Pumpentiefe bei der Beprobung haben.

7.8.2 Ungenauigkeiten bei der Analyse

Im Labor ist mit den folgenden Quellen für Ungenauigkeiten zu rechnen:

- ▶ Probenverarbeitung (Verluste),
- ▶ Messfehler / Kalibrierung.

Bei der Probenverarbeitung ist mit grösseren Verlusten zu rechnen, wenn Feststoffproben gebrochen oder geteilt werden müssen. Wasserproben hingegen gelangen in aller Regel ohne Kontakt mit der Umgebungsluft zur Analyse. Die durch Ringanalysen ermittelte Bestimmungsunsicherheit ([13], [16]) liegt bei CKW-haltigen Wasser- oder Feststoffproben in der Grössenordnung von $\pm 25\%$ bis $\pm 40\%$.

7.9 Probenahmeprotokolle

Die grundlegenden Anforderungen an das Probenahmeprotokoll finden sich in der Wegleitung [1] „Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich (Stand 2016)“. Verschiedene Kantone haben zudem eigene Empfehlungen geschaffen, welche weitere Hinweise auf ein möglichst vollständiges Probenahmeprotokoll liefern.

Wesentlich ist die eindeutige Identifikation der Probe über mehrere Kriterien. Folgende Mindestanforderungen sind bei Probenahmeprotokollen zu beachten:

- ▶ Projektname bzw. -bezeichnung,
- ▶ Probennehmer mit Unterschrift,
- ▶ Ort, Datum, Uhrzeit,
- ▶ Bezeichnung der Proben,
- ▶ Beschreibung der Probenahmegeräte (z. B. Pumpe, Schlauch, Bohrgerät etc.),
- ▶ Hinweise über die Probenahme (Dauer, Vorpumpmenge, gefördertes Volumen, Konservierung, Filtration etc.),
- ▶ Wetterbedingungen (Temperatur, Niederschläge etc.),
- ▶ Probenahmetiefe,
- ▶ Beschreibung der Proben (Geruch, Färbung, Trübung [Wasser]), Materialart (Feststoff), etc.),
- ▶ Feldparameter und Beschreibung der Umgebung bei Auffälligkeiten,
- ▶ evtl. Hinweise auf Fotos.

Einige Beispiele für Probenahmeprotokolle (Wasser und Feststoff/Boden) befinden sich in den Beilagen 8a und b.

7.10 Anforderungen an das Analytiklabor

Die Analytiklabors stellen durch die vorschriftsmässige Ausführung der Analysemethoden gemäss Richtlinie [1] sicher, dass die Probenvorbereitung und die Analyse nur zu minimalen, unvermeidbaren Abweichungen der Probenresultate führen. Eine Akkreditierung nach ISO/IEC 17025 ist für Arbeiten im Zusammenhang mit CKW-Untersuchungen zwingend ([1]).

Die Analytiklabors arbeiten nach dem Qualitätssicherungssystem SN EN ISO/IEC 17025 ([14]) und führen gemäss internen und externen Qualitätsstandards Blindwertbestimmungen, Kalibrierungen und Mehrfachmessungen durch.

7.10.1 Dialog zwischen Gutachter und Analytiklabor

Der Gutachter informiert das Analytiklabor bei der Auftragserteilung über die vermuteten Schadstoffe und über die erwarteten Konzentrationen. Das Labor kann mit diesen Angaben bereits durch entsprechende Einwaagen, Verdünnungen oder auch Variationen der Methode auf mögliche Störungen reagieren und schneller ein zuverlässiges Analysenresultat erzielen.

Das Labor teilt dem Gutachter Abweichungen von den standardisierten Vorgehensweisen sowie aussergewöhnliche Feststellungen mit. Insbesondere teilt es dem Gutachter mit, wenn Proben an andere Labors weitergegeben werden und wenn die Zeitspanne zwischen Probenahme und Analyse durch aussergewöhnliche Ereignisse (z.B. Gerätedefekte) verlängert wird.

Wenn bereits Erfahrungen aus orientierenden Messungen vorliegen, sind sowohl vom Analytiklabor als auch vom Gutachter Plausibilitätsüberlegungen anzustellen, falls deutliche Abweichungen von den Erwartungswerten auftreten.

7.10.2 Angaben im Prüfbericht

Der Prüfbericht des Analytiklabors enthält mindestens die in [1] aufgelisteten Informationen gemäss Norm SN EN ISO/IEC 17025 ([14]). Bei CKW-Analysen sind zusätzlich die folgenden Angaben des Analytiklabors wichtig, damit Gutachter und Behörden die Messresultate ausgehend von den Gegebenheiten des Standorts, der Sondierungen und der Probenahme korrekt interpretieren können:

- ▶ Datum und Uhrzeit des Probeneingangs beim Labor.
- ▶ Angaben zu den eingesetzten Methoden zur Probenaufbereitung,
- ▶ kurze, präzise Beschreibung der Untersuchungsmethode oder ein Hinweis auf eine offizielle Methode gemäss [1],
- ▶ analytische Bestimmungsgrenze,
- ▶ Bestimmungsunsicherheit ([13], [16]).

Die Rohdaten der Analyse müssen vom Labor archiviert werden, um in Zweifelsfällen nicht plausible Resultate nachvollziehen zu können. Auf Anfrage machen die Labors detaillierte Angaben über Untersuchungsmethode, Bestimmungsunsicherheit sowie Durchführung der analytischen Bestimmung.

8 Dokumentation der Untersuchung

Die Behörde benötigt für eine Standortbeurteilung nach Art. 9 bis 12 AltIV einen Untersuchungsbericht, in welchem die gewonnenen Erkenntnisse und die Gefährdungsabschätzung des Gutachters nachvollziehbar und plausibel mit Quellenangaben dokumentiert werden. Die nachfolgenden Anforderungen an einen Untersuchungsbericht gelten im Grundsatz für die Altlastenbearbeitung generell. Bei komplexen und aufwändigen CKW-Untersuchungen, sind sie für den Dialog zwischen Standortinhaber, Gutachter und Behörde von besonderer Bedeutung.

8.1 Anforderungen an den Untersuchungsbericht

8.1.1 Zielformulierung

Zu Beginn des Berichts formuliert der Gutachter die Zielsetzungen, welche er bei der Standortuntersuchung verfolgt. Bei einer Voruntersuchung sind folgende Untersuchungsziele formuliert (Art. 7 und 8 AltIV):

Historische Untersuchung mit Pflichtenheft für die Technische Untersuchung:

- ▶ Erhebung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung der belastungsrelevanten Tätigkeiten am Standort,
- ▶ Beschreibung der Verfahren, bei welchen am Standort CKW eingesetzt worden sind,
- ▶ Erarbeitung eines Pflichtenhefts zum Umfang und zu den Methoden der technischen Untersuchung zur Messung von Einwirkungen der CKW auf die relevanten Schutzgüter.

Technische Untersuchung:

- ▶ Art und Menge der Stoffe am Standort (Erfassung des Schadensherdes und rudimentäre Standortabgrenzung gemäss [Merkblatt ChloroNet](#)).
- ▶ Untergrund- und Grundwasserfliessverhältnisse beim Standort
- ▶ Beurteilung des Überwachungs- und Sanierungsbedarfs des Standorts gemäss Art. 9 bis 12 AltIV.

Zum Vergleich: Bei einer Detailuntersuchung, d.h. nachdem ein Sanierungsbedarf festgestellt worden ist, werden folgende Ziele verfolgt (Art. 14 AltIV):

- ▶ Detaillierte Angaben zu Art, Lage, Menge und Konzentration der am belasteten Standort vorhandenen CKW,
- ▶ Art, Fracht und zeitlicher Verlauf der tatsächlichen und möglichen Einwirkungen der Schadstoffherde auf die Umwelt,
- ▶ Lage und Bedeutung der gefährdeten Umweltbereiche,
- ▶ Beurteilung der Ziele und der Dringlichkeit von Sanierungsmassnahmen.

8.1.2 Probenahmeprotokolle

Alle Probenahmeprotokolle (Porenluft-, Grundwasser- und Feststoffproben) müssen dem Untersuchungsbericht beigelegt werden. Eine tabellarische Zusammenfassung

im Bericht genügt nicht. In der Beilage 8a-c finden sich Muster-Protokolle für die Probenahme von Grundwasser- und Feststoffproben.

8.1.3 Laborberichte

Kopien der Original-Laborberichte müssen dem Untersuchungsbericht beigelegt werden. Zusammenfassende Tabellen der Laborresultate im Bericht genügen nicht.

Vgl. Abschnitt 7.10.2,
Seite 61

Es ist mit dem Analytiklabor zu vereinbaren, dass der dem Untersuchungsbericht beiliegende Laborbericht die Angaben gemäss Abschnitt 7.10.2 enthält.

8.1.4 Visualisierung der Untersuchungsergebnisse und Plandarstellung

Vgl. Abschnitt 8.2,
Seite 64

Die grafische Darstellung von Untersuchungsergebnissen unterstützt die Lesbarkeit und das Verständnis von Untersuchungsberichten massgeblich. Folgende grafische Darstellungen werden empfohlen:

- ▶ geologische Profile mit Lagen der Schadstoffherde,
- ▶ Isohypsenpläne: Grundwasserspiegel auf dem Untersuchungsareal,
- ▶ Pläne mit Probenahme- und Piezometersituation und Standortabgrenzung,
- ▶ Schadstoffpläne: Schadstoffkonzentrationen Grundwasser, Porenluft und Feststoff, sowohl mit Rohdaten als auch mit Interpretation der Rohdaten in Form von Linien gleicher Konzentration (wenn möglich).
- ▶ Grundwasser-Ganglinien (bei Messreihen von Grundwassermessstellen: Wasserspiegel, Schadstoffkonzentrationen, etc.).

Für die Darstellung von Schadstoffkonzentrationen in der Porenluft machen Ganglinien in der Regel keinen Sinn. Einflüsse des Luftdrucks sind kaum quantifizierbar. Porenluftströmungen sind daher selten (in Grösse und Richtung) über einen repräsentativen Zeitraum konstant.

Vgl. Abschnitt 5.3, Seite 31,
und Abb. 8, Seite 33

Auf die Visualisierung der Erkenntnisse der Historischen Untersuchung als Plan der Untersuchungsflächen ist in Abschnitt 5.3 hingewiesen worden. Auf allen Plandarstellungen müssen Massstab und beschriftete Koordinaten-Passkreuze angegeben werden.

8.1.5 Eindeutige Schlussfolgerungen

Am Schluss des Untersuchungsberichts führt der Gutachter die Standortbeurteilung durch und schlägt der Behörde die abschliessende Beurteilung gemäss Art. 9 bis 12 AltIV und das weitere Vorgehen vor. Die Schlussfolgerungen des Gutachters sind eindeutig.

Die Behörde benötigt als Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung des Überwachungs- oder Sanierungsbedarfs oder ggf. für die Entlassung aus dem Kataster der belasteten Standorte insbesondere

Vgl. Abschnitt 5.1,
Seite 24

- ▶ eine lückenlose und umfassend recherchierte Standortgeschichte (Historische Untersuchung), welche Art und Umfang des Einsatzes von CKW in der Vergangenheit dokumentiert,

Vgl. Abschnitt 5.3,
Seite 31

- ▶ eine umfassende Beschreibung der Freisetzungsmöglichkeiten aus Anlagen und Gebäuden,

Vgl. Abschnitt 4.4,
Seite 23

- ▶ eine gut dokumentierte Beschreibung der Ausbreitungsmöglichkeiten im ungesättigten und im gesättigten Untergrund,
- ▶ eine nachvollziehbare Beschreibung und Dokumentation der durchgeführten Sondierungen und Probenahmen,
- ▶ Analysenresultate, welche die Schadstoffimmissionen repräsentativ und nachvollziehbar belegen,
- ▶ eine Diskussion der Messunsicherheiten, welche bei der Wahl der Sondierstandorte, der Sondiermethode, der Probenahme und der Analyse zwangsläufig entstehen,
- ▶ einen Plan mit Standortperimeter,
- ▶ eine schutzgutbezogene Gefährdungsabschätzung und
- ▶ einen plausibel begründeten Vorschlag des Gutachters zur Beurteilung des Standorts und ggf. zum weiteren Vorgehen.

Aus diesen Vorgaben ergeben sich Anforderungen an die Berichterstattung des Gutachters, welche nachfolgend zusammengefasst werden.

8.2 Berichtsraster

Der Gutachter kann seinen Bericht zur Voruntersuchung anhand Berichtsrastern gliedern. Die Verwendung eines Berichtsrasters schafft Verbindlichkeit gegenüber der Behörde, da alle zur Beurteilung notwendigen Aussagen getroffen werden, wenn der Gliederung vollständig gefolgt wird.

Einige Institutionen (SBB, diverse Kantone) geben eigene Berichtsraster für Voruntersuchungen ab. Wenn kein spezifisches Raster gefordert wird, können vom Gutachter die Beispiele in Beilage 7 verwendet werden. Es handelt sich um „Mustergliederungen“ für die HU und die TU des Amts für Umweltschutz (AfU) des Kantons Uri.

Präzisierungen, wie bei der Erstellung der einzelnen Abschnitte im Berichtsraster vorgegangen werden muss, können den einzelnen Abschnitten in diesem Expertenbericht entnommen werden.

Literaturverzeichnis

Gesetzliche Grundlagen

- AltIV: Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung; AltIV). - SR 814.680.
- GSchG: Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG). - SR 814.20.
- GSchV: Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV). - SR 814.201.
- TVA: Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA). - SR 814.600.
- USG: Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG). - SR 814.01.
- VASA: Verordnung vom 5. April 2000 über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA). - SR 814.681.
- VBBö: Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBö). - SR 814.12.

Zitierte Verweise

- [1] BAFU (2011): Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich (Stand 2016). – Vollzug Umwelt, Altlasten / Abfall, 1027, 72 S.
- [2] BAFU (2015): Probenahme und Analyse von Porenluft. – Vollzug Umwelt.
- [3] BUWAL (2000): Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten. – Vollzug Umwelt.
- [4] BUWAL (2003): Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten. – Vollzug Umwelt.
- [5] [ChloroNet \(Hrsg.\) \(2008\): Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe: Stoffeigenschaften. – Bundesamt für Umwelt, Kantone Zürich und St. Gallen, Mai 2008: Version September 2009.](#)
- [6] Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. DGFZ (Hrsg.) (2008): Synopse, Systemanalyse, Modellierung und Prognose der Wirkungen natürlicher Schadstoffminderungsprozesse – eine rezente Synopse. KORA-Themenverbund 7: Modellierung, Prognose. - Gemeinsame Mitteilungen des Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. und seiner Partner, Heft 05/2008, www.dgfz.de/publikationen, ISSN 1611-5627, www.natural-attenuation.de.
- [7] GS VBS / RU (1998): Historische Untersuchung, Pflichtenheft für die Technische Untersuchung von Parzellen mit Altlastenverdacht. – Wegleitung, 29.9.1998.

- [8] Grandel, S., Dahmke, A. (2008): "Natürliche Schadstoffminderung bei LCKW-kontaminierten Standorten". KORA-Leitfaden des Themenverbundes 3: Chemische Industrie, Metallverarbeitung. - Christian Albrechts Universität, Kiel (Hrsg.), www.natural-attenuation.de.
- [9] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie HLUG (2000) (Hrsg.): Untersuchung von altlastverdächtigen Flächen und Schadenfällen. Handbuch Altlasten, Band 3, Teil 2. – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie HLUG, Wiesbaden 2002.
- [10] Kötter, L. (1989): Erfassung möglicher Bodenverunreinigungen auf Altlaststandorten. – Kommunalverband Ruhrgebiet.
- [11] LABO Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2000): Arbeitshilfe Qualitätssicherung. – Juli 2000.
- [12] Schwille, F. (1984): Leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe in porösen und klüftigen Medien – Modellversuche. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 46, Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- [13] SECO/SAS Schweizerische Akkreditierungsstelle (2004): Leitfaden zur Validierung chemischphysikalischer Prüfverfahren und zur Abschätzung der Messunsicherheit. - Dokument Nr. 324.dw, Ausgabe Juli 2004, Rev. 00.
- [14] SN EN ISO/IEC 17025, Ausgabe: 2005–07; Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005).
- [15] Tiehm, A., Schmidt, K. R. (2011): Sequential anaerobic/aerobic biodegradation of chloroethenes. Aspects of field application – Current Opinion in Biotechnology 2011, 22:1–7, Elsevier Ltd.
- [16] UBA/BMU, Arbeitsgruppe Qualitätssicherung und Ergebnisunsicherheit für Bodenuntersuchungsverfahren (2008): Angabe der Messunsicherheit bei chemischen Bodenuntersuchungen für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. - Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, März 2008.
- [17] Winkler, A. (2003): Wärme- und Stofftransport in der ungesättigten Bodenzone bei der In-situ-Sanierung mit festen Wärmequellen. – Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, H. 115, Universität Stuttgart, 2003.

Allgemeine Literatur:

- [18] Betz, C. (1998): Wasserdampfdestillation von Schadstoffen im porösen Medium: Entwicklung einer thermischen in-situ Sanierungstechnologie. – Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, H. 97, Universität Stuttgart, 1998.
- [19] BUWAL (2004): Wegleitung Grundwasserschutz. – Vollzug Umwelt, 2004.

- [20] Landesamt für Umwelt und Geologie Sachsen (1998): Probenahme bei der Technischen Erkundung von Altlasten. – Materialien zur Altlastenbehandlung 3/1998. Unter http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/boden/mza3_98.pdf.
- [21] Leverett, M. C. (1941): Capillary behaviour in porous solids. – Trans. AIME Pet. Eng. Div., 142: 152–169, 1941.
- [22] Reid, R. C., Prausnitz, J. M. und Poling, B. E. (1987): The properties of liquids and gases. – McGraw Hill, New York, 4. Ausgabe, 1987.
- [23] Stephan, K. und Mayinger, F. (1992): Thermodynamik: 1. Einstoffsysteme. – Springer, 14. Ausgabe, 1992.
- [24] Yaws, C. L. (1999): Chemical properties handbook. – McGraw Hill, New York, 1999.

Beilage 1: Checkliste geologische Beschreibung des Untergrunds

Unvollständige Aufzählung wichtiger Informationen mit Angaben möglicher Beschreibungen:

Anthropogene Elemente (Einbauten und Störungen)

Versiegelungen	vgl. Historische Untersuchung
Auffüllungen	Terrainaufschüttungen, Kofferungen, Arbeitspisten, Stabilisationsschichten usw.
Wasserbau	Drainageleitungen, Versickerungsanlagen
Abwasser	Kanalisationsleitungen, Sickerschächte, erdverlegte Tankanlagen und sonstige Leitungen
Bohrungen	alte Grundwassermessstellen, Brunnenbohrungen

Natürliche Deckschichten

Boden (A- und B-Horizont gem. VBBo)

Mächtigkeit	fehlt, geringmächtig (< 0.3 m), vorhanden (> 0.3 m)
Ausbildung	wenig organische Aktivität, viel organische Aktivität

Feinkörnige Deckschichten

Mächtigkeit	fehlen, geringmächtig < 2 m, mächtig 2–5 m, sehr mächtig > 5 m
Art	Lockergesteine, verkarstungsfähiger Fels, übrige Felsarten
Korngrösse	tonig-siltig, siltig-sandig, (bei Fels Porosität, Verwitterungsgrad usw.)
Ausbildung	heterogen, homogen, horizontal geschichtet
Org. Material	kein, wenig, viel (z.B. torfig Ablagerungen)

Ungesättigte Zone des Grundwasserleiters

Mächtigkeit	fehlen, geringmächtig < 3 m, mittel 3–10 m, mächtig > 10 m
Art	Lockergesteine, verkarstungsfähiger Fels, übrige Felsarten
Korngrösse	vorwiegend siltig-sandig, sandig, sandig-kiesig, kiesig (bei Fels Porosität, Verwitterungsgrad usw.)
Ausbildung	heterogen, homogen, horizontal geschichtet, Schrägschichtung
Organisches Material	kein, wenig, viel (z.B. torfig Ablagerungen)
Grundwasser	kein, «schwebende» Grundwasserlinsen

Gesättigte Zone des Grundwasserleiters

Stockwerkbau	nicht vorhanden, zwei Stockwerke, mehrere Stockwerke
Grundwasserspiegel	frei, subartesisch gespannt, artesisch gespannt
Flurabstand	Mächtigkeit Boden + feink. Deckschichten + grobk. Deckschichten klein < 3 m, mittel 3–10 m, gross > 10 m
Mächtigkeit	klein < 2 m, mittel 2–10 m, gross 10-20 m, sehr gross > 20 m
Durchlässigkeit	sehr klein < 10E-6 m/s, klein 10E-6 bis 10E-5 m/s
(Durchlässigkeitsbeiwert kf)	mittel 10E-5 bis 10E-4 m/s, gross 10E-4 bis 10E-3 m/s sehr gross < 10E-3 m/s
Spiegelgefälle	klein < 1%, mittel 1–5%, gross > 5 %
Transmissivität	Transmissivität = Produkt aus Mächtigkeit und Durchlässigkeit
Ausbildung	heterogen, homogen, horizontal geschichtet, Schrägschichtung
Org. Material	kein, wenig, viel (z.B. torfige Ablagerungen)
Trennschichten	Stauer oberer Grundwasserleiter... Unterer Grundwasserleiter...

Grundwasserstauer

Art	Lockergesteine (LG), Fels
Korngrösse (bei LG)	tonig-siltig, siltig-sandig
Ausbildung (bei LG)	homogen, heterogen, horizontal geschichtet
Gesteinsart	Tonstein, Mergel, Sandstein, Nagelfluh, usw.
Verwitterungszone	nicht vorhanden, geringmächtig < 2 m, mächtig > 2 m
Klüftung	nicht vorhanden, vereinzelt, ausgeprägt

Grundwasser

Fliessrichtung, Fliessgeschwindigkeit*), Gefälle
Aufenthaltszeit im Untergrund*)
Chemische und bakteriologische Beschaffenheit des Grundwassers*)

*) Falls diese Angaben bekannt und verfügbar sind.

Beilage 2: Branchenliste mit branchenüblichen Prozessen, bei denen CKW eingesetzt wurden

CKW-Typ	1,2-dibrommethan	1,1-dichloroethan	1,2-dichlorethan	1,1-dichlorethen	cis-1,2-dichlorethen	trans-1,2-dichlorethen	Dichlormethan	1,2-dichloropropan	1,1,2,2-tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachlormethan	1,1,1-trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid	
Zeitraum der Anwendung	Ca. 1945 bis 2005	1970 bis ca. 1990	1975 bis ca. 1990	Ca. 1970 bis Ende 1990er Jahre			Ca. 1920 bis 2009	Ca. 1970 bis ca. 2000	Ca. 1910 bis ca. 2000	Ca. 1920 bis ca. 2000	Ca. 1960 bis 1996	Ca. 1920 bis 1996	Ca. 1920 bis 1996	Ca. 1920 bis Ende 1990er Jahre	Erste Produktion gegen 1910, bis ca. 2000	
Bemerkung	Als Zusatzstoffe für Treibstoffe (bis 1990). Verboten seit 2005 als Pestizid.	Quellen: Daten einer Produktion USA (1977)	Verboten seit 2005 als Pestizid.	Quellen: älteste Studie über diese Stoffe.	Abbau Produkt von TCE. Quellen: älteste Studie über diese Stoffe.		Verboten seit 2009. (Erste Synthese 1840)	Quellen: älteste Studie über diese Stoffe.	Quellen: eine der ersten Studie, die die Toxizität dieser Stoffe erwähnt hat.	Erste Synthese 1821. Benutzung verboten oder laufend verboten für chemische Reinigung.	Verboten in Europa seit 1996.	Verwendung seit 1996 stark begrenzt (Montreal-Protokoll), verboten seit 2000. Produktion verboten seit 1996.	Als wahrscheinlich kanzerogen 1995 von IARC klassiert. Quellen: Ziffer von weltweiter Produktion (1978-1980). Seit 1990, zunehmend ersetzt	Verwendung in Abnahme.	Abbauprodukt von TCE. Erste Synthese 1835. Verboten als Pestizid seit 2005.	
Allgemeines Autogewerbe	+	+	+	+			+	+	+	++	+	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Waschen / Reinigen von Fahrzeugen			Fahrzeug-Reinigung												
				Motor- / Chassiswäsche												
	Autowaschanlage			Autowaschanlage												
	Karosseriearbeiten			Lackierarbeiten												
Herstellung von Textilien, Bekleidung und Wäsche		+		+	+	+	++	+	+	++	+	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Vorbehandlung des Textilguts			Chemische Reinigungen												
	Bedrucken			Drucken, inkl. Herstellung von Druckpasten												
Wäschereien, Glättereien, chemische Reinigungen					+	+	+	+		++	+	+	+			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Chemische Reinigungen			Reinigen in der Reinigungstrommel												
				Filtration				Filtration des verunreinigten Lösungsmittels								
								Destillation des verunreinigten Lösungsmittels								
								Kondensation des Lösungsmittels aus Luft								
	Lösungsmittelrückgewinnung			Abluftreinigung				Entfernung des Lösungsmittels aus der Maschinenabluft durch Aktivkohle-Anlagen oder Tieftemperaturkondensation								
								Kühlwasser wird direkt in Lösungsmittel / Luftgemisch gespritzt								
				Regeneration der Aktivkohle				Rückgewinnung des Lösungsmittels aus der Aktivkohle mittels Wasserdampf								
	Lagerung von Lösungsmitteln			Lösungsmittel (neu und gebraucht sowie Rückstände aus der Aufbereitung)												
Holzbearbeitung industrie		+		+			+	+	+	+	+	++	+			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
				Reinigen												
				Entfetten												
				Beizen												
				Malen, Bedrucken												
	Imprägnieren, Konservieren			Imprägnieren												

CKW-Typ	1,2-dibromethan	1,1-dichlor-ethan	1,2-dichlorethan	1,1-dichlorethen	cis-1,2-dichlorethen	trans-1,2-dichlorethen	Dichlormethan	1,2-dichloropropan	1,1,2,2-tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachlor-methan	1,1,1-trichlor-ethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid	
	Lackieren			Spritzlackieren, Sprühlackieren, Tauchlackieren												
	Beschichten			Holzbeschichten				Furniere								
								Dekorfolien								
								Grundierfolien								
								PVC-Folien								
Polyolefinfolien																
Herstellung und Verarbeitung von Kunststeinen, Tiefbau, Hochbau, allgemeines Bauhauptgewerbe, Werkhöfe	+ + + + + + + + + ++ + ++ +															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Rostschutz / Korrosionsschutz von Stahl- und Eisenbauteilen				Entfetten											
					Grundieren											
	Imprägnieren von Holz				Imprägnieren von Holz											
					Lackieren von Holz											
Lagern von belastungsrelevanten Stoffen				Lagerung von separierten Abbruchmaterialien												
				Lagerung von Baustoffen und Bauschutzmaterialien												
Reinigen mit belastungsrelevanten Stoffen				Reinigen der Transportmittel und der Lagerbehälter												
Kachelhofen und Cheminéebau	+ + + + + + + + ++ + ++ ++															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
Herstellen von Kachelhofen und Cheminée				Oberflächenbehandlung				Reinigen, Entfetten								
Herstellung von Keramischen Erzeugnissen, Herstellung und Verarbeitung von Glas	+ + + + + + + + + + + + +															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Herstellen und Verarbeiten von Glas mit belastungsrelevanten Zuschlagstoffen				Beschichten				Farbauftrag (Siebdruck, Malen, Stempeln)							
					Versiegeln mit Lack											
Reinigen mit belastungsrelevanten Stoffen				Transportmittelreinigung												
				Reinigen der Lagerbehälter												
Herstellung von Uhren, Herstellung von Maschinen und Präzisionswerkzeuge	+ + + + + + + + ++ + ++ ++															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Metallbearbeitung				Entfettung von Metallteilen											
	Metallbehandlung				Entfettung von Metallteilen											
	Zusammenbau und Reparatur				Zusammenbau und Reparatur von Uhren und Maschinen											
	Lackieren				Zifferblätter und Uhren lackieren											
	Plastigiesserei				Giessen											
Bijouterie				Reinigen, Entfetten												
NE-Metallerzeugung und -Verarbeitung, Giesereien und Umschmelzwerke	+ + + + + + + + ++ + ++ ++															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
Oberflächenveredelung				Entfetten												
Eisen- und Stahlwerke, Walzwerke	+ + + + + + + + ++ + ++ ++															
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Metallbearbeitung				Entfetten von Metallteilen											
	Härten				Vorbereiten der Metallteile											
Walzen mit ölhaltigen Mitteln				Entfettung von Metallstücken												

CKW-Typ	1,2-dibro- methan	1,1-dichlor- ethan	1,2- dichlorethan	1,1- dichlorethen	cis-1,2- dichlorethen	trans-1,2- dichlorethen	Dichlormethan	1,2-dichloro- propan	1,1,2,2,-tetra- chlorethan	Tetrachlor- ethen	Tetrachlor- methan	1,1,1-trichlor- ethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid	
Herstellung von Produktions- maschinen, Herstellung von Büromaschinen, EDV-Geräten und - Einrichtungen		+		+	+	+	++	+	+	++	+	++	++	+		
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Maschinelle Fertigung															
	Metallbehandlung															
	Lackieren															
	Reinigen															
Holz- und Kunststoffbearbeitung																
Maschinen und Fahrzeugbau, Herstellung von landwirtschaftlic- hen Maschinen und Bau- maschinen		+	+	+			+	+	+	++	+	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Metallbearbeitung															
	Metallbehandlung															
	Lackieren, Malen															
	Reinigen von Einzelteilen															
	Holz- und Kunststoffbearbeitung															
Wartung und Reparatur von Motoren oder Maschinen mit Hydrauliköl																
Satz und Reproduktions- betriebe, Druckerei- betriebe, Buchbindereien		+		+	+	+	++	+	+	++	++	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Verwendung von Klisches und Druckplatten															
	Bildverarbeitung															
	Druck															
Oberflächenvere- delung, Härtung		+	+	+			+	+	+	++	+	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
Vorbehandlung																
Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Kunststoff und Kautschukwaren		+	+	++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können															
	Herstellen von chemischen Produkten															
	Herstellen von Haarpflegemitteln															
Herstellen von Kosmetika																

CKW-Typ	1,2-dibromethan	1,1-dichloroethan	1,2-dichlorethan	1,1-dichlorethen	cis-1,2-dichlorethen	trans-1,2-dichlorethen	Dichlormethan	1,2-dichloropropan	1,1,2,2-tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachloroethan	1,1,1-trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid		
Herstellung von Lederwaren und Schuhen	Herstellen von synthetischen Schädlingsbekämpfungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln				Herstellen von synthetischen Schädlingsbekämpfungsmitteln und Pflanzenschutzmitteln												
	Herstellen von Farben und Lacken				Herstellen von Farben und Lacken												
	Herstellen von Seifen				Herstellen von Seifen												
	Herstellen von Waschmitteln				Herstellen von Waschmitteln												
	Herstellen von einfachen Kunststoffen				Mischen von Granulaten												
					Formgeben				Formgeben								
					Pressen				Pressen								
	Verkleben von Kunststoffmaterialien																
	Herstellen von geschäumten, verstärkten, gefüllten, weichgemachten, gefärbten und speziellen Kunststoffen				Herstellen von geschäumten, verstärkten, gefüllten, weichgemachten, gefärbten und speziellen Kunststoffen												
Herstellen von Gummiartikeln				Lösen mit Lösungsmitteln													
Herstellen von Cellophanprodukten				Reinigen der Rohstoffe													
				Bearbeiten													
Herstellung von Lederwaren und Schuhen	+				+						+	++	++	++			
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können																
	Nachgerben				Lackieren												
	Verarbeiten von Gummi				Kleben												
	Oberflächenbehandlung				Mechanische Verarbeitung von Leder : Bügeln, Pressen												
					Imprägnieren, Färben				Lederbehandlung mit Schuhcreme								
Herstellen von Lackleder				Mischen der Lacke													
Herstellung von Papier und Papierwaren	+				+						+	++	++	++	++		
	Tätigkeiten, die CKW-Verunreinigungen hervorrufen können																
	Herstellen von Papier, Karton, Pappe auf Maschine				Siebpartie												
					Pressenpartie												
					Trockenpartie												
Glättwerk																	
Chemische Oberflächenveredelung				Maschinenreinigung													
				Mottenpapierbeschichten				Gummiertes Papierbeschichten									
Einzel- und Detailhandel mit flüssigen Brennstoffen, Tankstellen	+										+						
Großhandel mit flüssigen Mineralölerzeugnissen	+										+						
Mineralölindustrie	+				+						+	+	++	++			

CKW-Typ	1,2-dibromethan	1,1-dichloroethan	1,2-dichlorethan	1,1-dichlorethen	cis-1,2-dichlorethen	trans-1,2-dichlorethen	Dichlormethan	1,2-dichloropropan	1,1,2,2-tetrachlorethan	Tetrachlorethen	Tetrachloroethan	1,1,1-trichlorethan	Trichlorethen	Trichlormethan	Vinylchlorid
Grosshandel / Detailhandel	*														
Reparatur von Gebrauchsgütern		+		+	+	+	+		+	++	+	++	++		
Grosshandel mit Stahl, NE-Metallen, Metallhalbfabrikaten, Metallwaren	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	++	++		
Elektrotechnik, Elektronik, Feinmechanik, Optik		+		+	+	+	++	+	+	++	+	++	++	+	
Handel mit Reststoffen															

Legende:

++ wahrscheinlich

+ möglich

leer unwahrscheinlich

* Beim Gross-/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 die Firma handelt.

Beilage 3: Checkliste Archive

Quelle	Infoquelle verfügbar	Abgedeckter Zeitbereich	Mängel / Lücken	Bemerkungen
Kataster der belasteten Standorte (KbS)				
Altlastenverdachtsflächen-Kataster (VFK)				
Vorhandene Unterlagen (Stellungnahmen, Verfügungen, Beurteilungen...)				
Industrie- und Gewerbekataster (IGK)				
Grundbuchauszüge				
Gebäudeversicherung				
Je nach Kanton weitere relevante Archive wie z.B. Abwasser etc.				
Katasterpläne, topographische Daten				
Luftbilder				
Tankkataster				
Unfalldaten (Polizeirapporte etc.)				

Beilage 4: Checkliste betriebsspezifische Informationsquellen

Quelle	Infoquelle verfügbar	Abgedeckter Zeitbereich	Mängel / Lücken	Bemerkungen
Betriebsbegehung (wann, wo, mit wem...)				
Grundeigentümer und Betriebsinhaber (alt/neu)				
Betriebsleiter, Mitarbeiter, Abwart etc. (Stellung, Tätigkeit, wie lange)				
Anwohner				
Firmenarchiv, Festschriften, Medienberichte, alte Fotos etc.				
Betriebsmittel (Lagerlisten)				
Abfalldokumentation				
Leitungspläne				
Kanalisationspläne				
Baupläne, Lieferanten, Kunden				
Bau- und Betriebsbewilligungen				
Störfallbericht				
Betriebsinterne Unfallakten				

Beispiel: Checkliste betriebsspezifische Informationsquellen

Quelle	Infoquelle verfügbar	Abgedeckter Zeitbereich	Mängel / Lücken	Bemerkungen
VFK	ja	1973-1989	Vorgänger- und Nachfolgebetrieb nicht erfasst	Hinweise auf bekannte Belastungen.
KbS	nein	-	-	Noch nicht im KbS erfasst.
Betriebsbegehung	ja	Gesamter Zeitbereich	Keine Infos zum westlichen Arealbereich	Begehungen am 21. und 25.3. mit den folgenden Personen....
Mitarbeiter X	ja	1968-1998	-	30 Jahre Mitarbeiter im Bereich Oberflächenbehandlung.
.....				

Beilage 5: Leitfaden Historische Untersuchung

Die nachfolgend aufgeführten, abzuklärenden Aspekte erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sind je nach Art und Grösse des Betriebes mit weiteren spezifischen Aspekten zu ergänzen.

Betrieb:

- ▶ Besitzverhältnisse: Abfolge der versch. Grundeigentümer aller betroffenen Parzellen
- ▶ Branche
- ▶ Mitarbeiterzahl (früher, heute)
- ▶ Bauliche Entwicklung
- ▶ Ausgeführte Prozesse (Verfahrenstechnik)
- ▶ Beschreibung Produkte
- ▶ Alle Produktionsstandorte bekannt und beschreibbar?
- ▶ Edukte, Nebenprodukte etc.
- ▶ Reinigungstechniken (was wird aufbereitet, gereinigt)
- ▶ „trockener“, wässriger oder wasserfreier Betrieb (Lösungsmittel ja/nein?)
- ▶ Meilensteine: Einführung neuer Produkte, Reorganisationen, etc.

Areal:

- ▶ Erstbebauung
- ▶ Künstliche Auffüllungen
- ▶ Störfälle
- ▶ Bereits durchgeführte (Teil-)Sanierungen
- ▶ Angrenzendes Areal mit Besonderheiten

Gebäude:

- ▶ Baujahr
- ▶ Nutzung (inkl. Änderungen)
- ▶ Unterkellerungen
- ▶ Zuordnung zu Prozessen
- ▶ Art des Bodens (Beton...)
- ▶ Zustand des Bodens (Risse, Sauberkeit...)
- ▶ Schutzbeläge / Abdichtungen
- ▶ Entwässerung / Bodenabläufe

Störfälle:

- ▶ Typ (Brand, Überschwemmung...)
- ▶ Löschwasseranfall?
- ▶ Brandschutt?
- ▶ Betroffene Stoffe
- ▶ Rapporte
- ▶ Sanierungsmassnahmen

Abwässer:

- ▶ Art und Belastung der Abwässer
- ▶ Wohin werden sie abgeleitet?
- ▶ Trennung häuslich / betrieblich?
- ▶ Kanalisation
- ▶ Reinigungsanlagen inkl. Verfahren
- ▶ Absetzbecken, Schlammfall...

Abluft:

- ▶ Art und Belastung
- ▶ Wohin abgeleitet?
- ▶ Kumulationsgefahr im Aussenbereich

Abfälle:

- ▶ Art und Belastung der Abfälle
- ▶ Lagerung
- ▶ Aufbereitung
- ▶ Entsorgung

Maschinen:

- ▶ Beschreibung des Maschinenstandorts
- ▶ Kühlung (Kühlmittel, Art des Kreislaufs...)
- ▶ Unterhalt
- ▶ Befettung
- ▶ Tropfverluste und Sicherungsmassnahmen
- ▶ Werkstatt
- ▶ Peripherieanlagen (Kompressoren, Lifte, Trafos etc.)
- ▶ Hydraulische Einrichtungen (erdverlegte Komponenten)

Anlieferung / Umschlag:

- ▶ Art der Waren
- ▶ Umschlag t/a mit Erweiterungen und Verkleinerungen
- ▶ Umschlagswege
- ▶ Mögliche Tropfverluste

Lagerorte:

- ▶ Gelagerte Stoffe, speziell Flüssigstoffe
- ▶ Mengenangaben
- ▶ Schutzbauwerke
- ▶ Abläufe
- ▶ Überdachung / Versiegelung im Freien
- ▶ Speziallager

Tanks:

- ▶ Art und Grösse der Tanks
- ▶ Lageplan
- ▶ Leitungen / Verrohrungen
- ▶ Sicherungsmassnahmen
- ▶ Stilllegung / Reinigung

Peripherieanlagen:

- ▶ Heizung
- ▶ Trafos / Kondensatoren
- ▶ Kompressoren
- ▶ Kühlanlagen
- ▶ Kfz-Unterhalt
- ▶ Gleise

Aussenbereich:

- ▶ Versiegelung
- ▶ Lager
- ▶ Mögliche Tropfverluste
- ▶ Frühere Gruben, Auffüllungen etc.

Beilage 6: CKW-spezifische Fragestellungen

Spezifischer Fragenkatalog chemische Reinigungen

- ▶ Beschreibung der heute/früher am Standort betriebenen Maschinentypen. Wenn möglich, sind Datenblätter der Maschine anzufügen.
- ▶ Beschreibung der Versiegelung des Maschinenstandortes. Besonderes Augenmerk ist auf das Vorhandensein einer Stahlwanne zu richten (über den gesamten Produktionszeitraum).
- ▶ Beschreibung der Versiegelung des umliegenden Bereiches. Können Tropfverluste im unmittelbaren Bereich der Waschmaschine ausgeschlossen werden?
- ▶ Beschreibung des Handlings der Lösungs-/Reinigungsmittel (Lagern, Umfüllen, Ablassen etc.).
- ▶ Produktionsumsätze, Rohmaterialverbrauch.
- ▶ Aufzählung weiterer Lösungsmittellager ausserhalb des Waschmaschinenbereiches.
- ▶ Beschreibung und Beurteilung der Sicherung von Lagerbereichen, Umfüllstationen und Rohrleitungen (analog dem eigentlichen Maschinenstandort).
- ▶ Aufbereitung / Recyclierung des Lösungsmittels: Art, Standort und Versiegelung.
- ▶ Behandlung der Abluft und Ort der Abluft-Ausblasung (Dach oder Aussenwand) inkl. Beschreibung der Umgebung.
- ▶ Behandlung und Weg des Kontaktwassers.
- ▶ Verlauf von Kanalisationsleitungen (früher und heute).

Spezifischer Fragenkatalog Industrielle Entfettung

- ▶ Definition des Prozesstyps: umweltrelevante CKW-Bäder oder eher wenig umweltrelevante Handentfettung? Falls es sich um eine Handentfettung mit Kleinbädern handelte, sind Fassungsvermögen und Standort anzugeben.
- ▶ Beschreibung der heute/früher am Standort betriebenen Anlagen. Wenn möglich, sind Datenblätter der Anlage anzufügen.
- ▶ Fassungsvermögen des Entfettungsbades.
- ▶ Angabe des heute und früher verwendeten Maschinentyps: geschlossenes, halboffenes oder offenes System (Maschinengeneration).
- ▶ Beschreibung der Versiegelung des Maschinenstandortes. Besonderes Augenmerk ist auf das Vorhandensein einer Stahlwanne zu richten (über den gesamten Produktionszeitraum).
- ▶ Beschreibung der Versiegelung des umliegenden Bereiches. Können Tropfverluste im unmittelbaren Bereich des Entfettungsbades ausgeschlossen werden?
- ▶ Beschreibung des Handlings der Lösungs-/Reinigungsmittel (Lagern, Umfüllen, Ablassen etc.).
- ▶ Aufzählung weiterer Lösungsmittellager ausserhalb des Standortes Entfettungsbad.
- ▶ Beschreibung und Beurteilung der Sicherung von Lagerbereichen, Umfüllstationen und Rohrleitungen (analog dem eigentlichen Maschinenstandort).
- ▶ Aufbereitung / Recyclierung des Lösungsmittels: Art, Standort und Versiegelung.
- ▶ Behandlung der Abluft und Ort der Abluft-Ausblasung (Dach oder Aussenwand) inkl. Beschreibung der Umgebung
- ▶ Verlauf von Kanalisationsleitungen (früher und heute).

Beilage 7a: Berichtsraster HU

Die folgende Berichtsgliederung folgt weitgehend den Empfehlungen der Vollzugshilfen [3] und [7] sowie den Vorgaben der SBB AG (www.sbb-altlasten.ch).

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele	
0	Zusammenfassung	Kurzbeschreibung und -beurteilung des Standorts, weiteres Vorgehen	nur bei komplexeren Untersuchungen erforderlich, max. 1 Seite
1 Ausgangslage und Zielsetzung			
1.1	Auftrag	Auftraggeber, Auftragsdatum, Rahmenbedingungen	
1.2	Ausgangslage	Untersuchungsobjekt, Verweis auf den Gemeinde, Parz. Nr., KbS-Objekt-Nr. mit Zueintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) Anlass und Dringlichkeit der Untersuchung	Gemeinde, Parz. Nr., KbS-Objekt-Nr. mit Zusammenfassung des Datenblatts, Grundeigentümer Katasterauszug KbS (Anhang) mögliche Anlässe: Bauvorhaben, Handänderung, festgestellte Umwelteinwirkungen etc.
1.3	Zielsetzung	Hauptziel sind klare Aussagen im Sinne von AltIV Art. 6 Abs. 2a (ist Standort in KbS einzutragen?) und von Art. 7/8 (Voruntersuchung zur Beurteilung der Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit), ggf. spezifische Projektziele	Ist Standort unbelastet oder belastet? Ist Standort evtl. überwachungs- oder sanierungsbedürftig?
1.4	Bisherige Untersuchungen	Zusammenfassung bereits bestehender Untersuchungen	Altlastenuntersuchungen, geotechnische und (hydro)geologische Berichte etc. Korrekte Zitierung der Berichte (Autor, Jahr, Titel....)
2 Beschreibung des Standorts			
2.1	Beschreibung des Standorts	Arealsbeschreibung, Gebäude, Versiegelung (Art und Zustand), Entwässerung: Kanalisation, Ölabscheider (Alter!), Sickerschächte etc., Umgebung Zustand der Bodenplatten und der relevanten Einrichtungen aktuelle, ggf. geplante Nutzungen	Ortsunkundiger muss sich ein Bild der Situation vor Ort machen können. Risse, Fugen, lokale Undichtigkeiten
2.2	(Hydro)geologische Situation	geologische Verhältnisse Grundwasser resp. generell Wasserverhältnisse (Hangwasser etc.)	Aufbau Lockergesteine, Lage Felsoberfläche, Durchlässigkeiten etc. Grundwasserleiter, Grundwassermächtigkeit, Stauhorizont, Flurabstand, Fließrichtung
2.3	Schutzgüter	Lage, Exposition und Zustand der Schutzgüter Grundwasser, Oberflächengewässer, Boden und Luft Lage und Exposition von Schutzobjekten	Beurteilung aller vier Schutzgüter (auch wenn nicht alle relevant) z.B. Trink- und Brauchwasserfassungen; Ackerland, Raumluft

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele
3 Historische Untersuchung		
3.1	Vorgehen	Aktivitäten zur Datenerhebung
		Auflistung der ausgewerteten Quellen (Dokumente, Archive etc.) Benennung der befragten Wissensträger (inkl. Funktion, Adresse, überblickbarer Zeitraum)
3.2	Verwendete Unterlagen	Altlastenuntersuchungen, geologische und hydrogeologische Untersuchungen und Karten, geotechnische Gutachten, Ortschroniken etc.
		korrekte Zitierung der Berichte: Autor, Jahr, Titel, ggf. Auftraggeber etc.. Alternativ: Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts (in beiden Fällen mit Verweisen im Text)
3.3	Arealgeschichte	Baugeschichte, ggf. mit Ausbautappen
		heutige und ggf. heute nicht mehr bestehende Bauten
3.4	Nutzungsgeschichte	Beschreibung der heutigen und früheren Nutzungen
		Art der Nutzungen mit Zeiträumen
		Beschreibung und Lokalisation aller belastungsrelevanter Tätigkeiten
		genaue Beschreibung der Tätigkeit und der verwendeten Einrichtungen
3.5	Eingesetzte Stoffe und Produkte	umweltgefährdende Stoffe
		Mengen pro Jahr (ggf. Schätzungen), noch in Gebrauch oder nicht
		Lagerstandorte, Lagergüter
		Was, wo, wie (Versiegelung, Unterkellerung, Behälter, Tankausbau etc.), welche Mengen und wann (von...bis), umweltgefährdende Stoffe, Abfälle/ Sonderabfälle, weitere Lagergüter (auch nicht umweltgefährdend)
		im Betrieb heute und früher anfallende flüssige und feste Abfälle
		Mengen pro Jahr (ggf. Schätzungen), noch vorhanden oder nicht
3.6	Unfälle, Leckagen	Auflistung belastungsrelevanter Zwischenfälle
		vollständige Auflistung mit Kurzbeschreibung, Leckagen in bodennahen Stockwerken oder bei Abflüssen in solche (z.B. Kanalisation, Elektrokanäle)
3.7	Verbleibende Kenntnislücken	erkannte Kenntnislücken
		z.B. weit zurückliegende Produktionstätigkeiten, früher eingesetzte Stoffe
		Lücken, welche im Rahmen der Technischen Untersuchung geschlossen werden sollen
		zusammenfassende Wertung
		zusammenfassende Beurteilung der Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Daten
4 Untersuchungsmatrix		
	Untersuchungsmatrix	tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Erkenntnisse der HU
		Darstellung gemäss [3]. Alle in der Untersuchungsmatrix aufgeführten Schadstoffe müssen in der HU eingehend behandelt sein. Teilbereiche entsprechend Plan der Untersuchungsflächen im Anhang

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele
5	Untersuchungsprogramm1	
5.1	Untersuchungsprogramm auf den Resultaten der HU aufbauen- des Untersuchungsprogramm	Unterteilung in Teilbereiche analog Untersu- chungsmatrix
5.2	Sondierprogramm	Ziele, Anzahl, Art der Sondierung, Ort, Tiefe, Ausbau etc.
		Darstellung gemäss [3]. Baggerschacht, Rotationskernbohrung, Ramm- kernbohrung, Ausbau als Piezometer
5.3	Probenahmeprogramm	Ziele, Anzahl, Ort, Probentyp, Probe- menge, Entnahmetiefe, Probenahme- technik, Probenahmerhythmus
		Darstellung gemäss [3] bei Grundwasserprobenahmen grundsätzlich mindestens 2 Probenahmerunden
5.4	Analysenprogramm	detaillierte Parameterliste, Analysen- methoden
		Darstellung gemäss [3]
5.5	Arbeitsschutzmassnah- men	allenfalls erforderliche Arbeitsschutz- massnahmen bei Sondierungen, Probe- nahmen und Analytik
		Handschuhe, Atemschutz, Explosionsschutz etc.
5.6	Etappierung	Aufzeigen eines schrittweisen Vorge- hens: basierend auf den Resultaten vo- rangehender Etappen wird der Ent- scheid über die Durchführung weiterer Etappen gefällt
		z.B. Etappierung der Sondierungen bei Ölver- schmutzungen: 1. Etappe Baggerschächte, falls relevante Belastungen: Grundwasserbohrun- gen in 2. Etappe Etappierung der Analytik: zuerst oberste Schicht, bei relevanter Belastung nächst tie- fere Schicht
5.7	Repräsentativität der Re- sultate	Geltungsbereiche, Extrapolationsmög- lichkeiten, Zuverlässigkeit der Aussagen
		grundsätzlich muss die geplante TU zu aussa- gekräftigten und belastbaren Resultaten füh- ren, welche eine abschliessende Beurteilung des Standorts nach AltIV erlauben
6	Zusammenfassende Beurteilung	
	Zusammenfassende urteilung	Standortbeurteilung
		Ist eine abschliessende Standortbeurteilung möglich? Falls ja: Klassierung des Standorts nach AltIV. Falls nein: Was fehlt für die abschliessende Be- urteilung nach AltIV? Check: Werden die Ziele mit vorgeschlagenem Untersuchungspro- gramm erreicht?
7	Weiteres Vorgehen	
	Weiteres Vorgehen	Empfehlungen des Gutachters
		Empfehlungen zuhanden des Auftraggebers (z.B. Einreichen des Berichts beim AfU, nächste Schritte), Empfehlungen zu Handen der zuständigen Behörde (z.B. Prüfung und Genehmigung des Pflichtenhefts, Anpassun- gen des Kbs-Eintrags)

¹ Sofern ein Standort basierend auf den Resultaten der HU abschliessend nach AltIV klassiert werden kann und somit keine Technische Untersuchung erforderlich ist, entfällt Kapitel 5. Dafür ist ein Kapitel „Gefährdungsabschätzung“ zu verfassen (siehe dazu Berichtsvorlage TU).

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele
Anhänge / Beilagen		
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Übersichtsplan 1:25'000 oder 1:10'000 mit topographischen Verhältnissen ▶ Ausschnitt aus Gewässerschutzkarte 1:25'000 (falls vorhanden: zusätzlich Ausschnitt Grundwasserkarte 1:25'000) ▶ Situations- resp. Detailplan, i.d.R. 1:500 oder 1:1'000 (mit mind. einem angeschriebenen Koordinatenkreuz, Nordpfeil, Grundwasserfliessrichtung, klarer Umrandung der potentiell belasteten Flächen). Alle im Text erwähnten relevanten Örtlichkeiten und Einrichtungen müssen auf dem Plan ersichtlich sein. ▶ Plan der Untersuchungsflächen mit geplanten Sondierungen (ggf. kombiniert mit Situationsplan) ▶ Katasterauszug (Kataster der belasteten Standorte des Kantons...) ▶ Fotodokumentation (optional) ▶ ggf. weitere relevante Unterlagen wie Luftbilder, historische Pläne und Fotos, Kanalisationspläne, Produktionsschemata, Inventarlisten 	

Beilage 7b: Berichtsraster TU

Die folgende Berichtsgliederung folgt weitgehend den Vorgaben der SBB AG (www.sbb-altlasten.ch).

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele	
0	Zusammenfassung	Kurzbeschreibung und -beurteilung des Standorts, weiteres Vorgehen	nur bei komplexeren Untersuchungen erforderlich, max. 1 Seite
1 Ausgangslage und Zielsetzung			
1.1	Auftrag	Auftraggeber, Auftragsdatum, Rahmenbedingungen	
1.2	Ausgangslage	Untersuchungsobjekt Anlass und Dringlichkeit der Untersuchung	Gemeinde, Parz. Nr., KbS-Objekt-Nr., Grundeigentümer mögliche Anlässe: Bauvorhaben, Handänderung, festgestellte Umwelteinwirkungen etc.
1.3	Zielsetzung	Hauptziel sind klare Aussagen im Sinne von AltIV Art. 6 Abs. 2a (Katastereintrag?) und Art. 8 bis 12 (besteht Überwachungs- oder Sanierungsbedarf?) ggf. spezifische Projektziele	mit der TU muss Standort abschliessend beurteilt werden: <ul style="list-style-type: none"> • unbelasteter Standort? • belasteter Standort ohne Überwachungs- oder Sanierungsbedarf? • belasteter, überwachungsbedürftiger Standort? • belasteter, sanierungsbedürftiger Standort?
1.4	Bisherige Untersuchungen	Zusammenfassung bereits bestehender Untersuchungen	Zusammenstellung der relevanten Informationen, inkl. Zusammenfassung der Erkenntnisse aus HU
1.5	Verwendete Unterlagen	Altlastenuntersuchungen, geologische und hydrogeologische Untersuchungen, geotechnische Gutachten, Ortschroniken etc.	korrekte Zitierung der Berichte: Autor, Jahr, Titel, ggf. Auftraggeber etc.. Alternativ: Literaturverzeichnis am Schluss des Berichts (in beiden Fällen mit Verweisen im Text)
2 Ausgeführte Untersuchungen			
2.1	Sondierungen	Beschreibung der Sondierungen	Art der Sondierung (Kernbohrung, Bagger-schacht, Bodenprobe nach VBBo etc.), Technik, Tiefe, Ort, Situationsplan mit Sondierungen (Anhang) Sondierprofile, Bohrprotokolle (Anhang)
2.2	Probenahmen	Beschreibung der Probenahme	beprobte Materialien / Schichten, Tiefe, Technik, Probemenge, Probenvorbereitung, Konservierung, Rückstellproben, Dokumentation der Feldmessungen Probenahmeprotokolle (Anhang), allein Verweise auf Sondierprotokolle sind nicht ausreichend!
2.3	Analysen	Beschreibung des Analyseprogramms	Art der Analysen, Parameter

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele	
3 Ergebnisse der Untersuchungen			
3.1	Ergänzende Standortbeschreibung	zusätzliche Erkenntnisse aufgrund TU	Aufbau des Untergrunds, hydrogeologische Verhältnisse, neue Erkenntnisse zur Arealgeschichte etc.
3.2	Organoleptische Befunde	Beschreibung der organoleptischen Auffälligkeiten	auffällige Farben, Geruch, sichtbare Belastungen
3.3	Analysenergebnisse	Zusammenstellung und Interpretation der Resultate	tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Messresultate, Auswertung und Interpretation der Resultate, Beurteilung der Repräsentativität, Fehlerbetrachtung: Abschätzung des Fehlers bei der Probenahme, beim Transport ins Labor, bei der Aufbereitung und bei der Analyse, Kenntnislücken Laborberichte (Anhang), ggf. Analysemethoden (Anhang)
3.4	Schutzgüter	Lage, Exposition und Zustand der Schutzgüter	aufgrund der Erkenntnisse aus TU aktualisierte Bewertung der Schutzgüter
4 Gefährdungsabschätzung			
4.1	Schadstoffpotential	Art und Menge der Schadstoffe	qualitative und quantitative Aussagen zu den vorgefundenen Schadstoffen, Lage und Ausmass der Belastungen Kontaminationsplan (Anhang)
4.2	Freisetzungspotential	Beurteilung der Freisetzung von Schadstoffen	Beurteilung der Einwirkungen (resp. der konkreten Gefahr) auf die betroffenen Schutzgüter unter Berücksichtigung der Mobilität (Löslichkeit, Sorption), der Abbaubarkeit und dem Abbaugrad der Schadstoffe
5 Beurteilung des Standorts nach AltIV			
	Beurteilung nach AltIV	altlastenrechtliche Beurteilung	abschliessende Klassierung des Standorts nach AltIV, Vorschlag für Anpassung / Ergänzung des KbS-Eintrags
6 Weiteres Vorgehen			
	Weiteres Vorgehen	Empfehlungen des Gutachters	Bei Überwachungs- oder Sanierungsbedarf: Hinweise für die Ausarbeitung von: <ul style="list-style-type: none"> • Detailuntersuchungen • Überwachungsprojekt Empfehlungen zuhanden des Auftraggebers (z.B. Einreichen des Berichts beim AfU, nächste Schritte), Empfehlungen zu Handen der zuständigen Behörde Antrag für Klassierung des Standorts nach AltIV)

Kapitel / Abschnitt	Inhalt	Kommentar, Beispiele
Anhänge / Beilagen:		
	▶ Situations- resp. Detailplan, i.d.R. 1:500 oder 1:1'000 (mit mind. einem angeschriebenen Koordinatenkreuz, Nordpfeil, Grundwasserfliessrichtung und Grundwasserisohypsen)	
	▶ Plan mit Standortperimeter	
	▶ Plan der ausgeführten Sondierungen mit Darstellung der Belastungssituation inkl. der wichtigsten Messresultate (Kontaminationsplan)	
	▶ Sondierprofile: geologische Bohr- und Baggerschachtprofile mit Beschreibung der angetroffenen Schichten und Interpretation	
	▶ Probenahmeprotokolle (Grundwasser, Porenluft, Feststoffe)	
	▶ Laborberichte mit Angaben des Labors zu Fehlergrenzen (Aufbereitung, Messung)	
	▶ Analysenmethoden (sofern nicht gemäss BAFU-Vollzugshilfe [1])	
	▶ ggf. Bohrprotokolle, Pumpversuch-Protokolle, Fotodokumentation	

Beilage 8a: Probenahmeprotokoll Grundwasserproben

Untersuchung: <ul style="list-style-type: none"> • Auftrag Nr.: • Bezeichnung: Probenahme Nr.	Datum:
--	--------

Probenahmestelle: Name, Nummer: <input type="checkbox"/> Quelle <input type="checkbox"/> Piezometer <input type="checkbox"/> Brunnen, Fassung <input type="checkbox"/> Wasserleitung <input type="checkbox"/> Bezeichnung Aquifer: Ort, Gemeinde: Koordinaten: Kote Terrain: m ü.M. Kote Entnahme: m ü.M.

Probenahme: Datum, Zeit: Wetter: <input type="checkbox"/> schön <input type="checkbox"/> bedeckt <input type="checkbox"/> Regen <input type="checkbox"/> Schneefall <input type="checkbox"/> Sturm Lufttemperatur: °C <input type="checkbox"/> Bemerkungen, Skizze auf der Rückseite
--

Brunnen / Bohrung / Piezometer: Rohrdurchmesser: <input type="checkbox"/> Stahl <input type="checkbox"/> rostfreier Stahl <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/> PVC Referenzpunkt: m ü.M. Vollrohr: von bis ab Ref. Filterrohr: von bis ab Ref. Wasserspiegel (Abstich): ab Ref. Wasservolumen Rohr: Liter Vorspülen: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein falls ja: Datum, Dauer, Volumen:

Pumpe: Typ: Tiefe bei Entnahme: ab Ref. Rohr/Schlauch: <input type="checkbox"/> Stahl <input type="checkbox"/> rostfreier Stahl <input type="checkbox"/> PE <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Teflon <input type="checkbox"/> Durchmesser: innen: mm , aussen: mm

Probenahmematerial: Art des verwendeten Materials: Rohr, Schlauch: Reinigung zwischen Probenahmen: <input type="checkbox"/> Bemerkungen, Skizze auf der Rückseite

Messungen während der Probenahme:									
Beginn: Datum:		Zeit:		Absrtich ab Referenzpunkt: [m]					
Zeit	Abstich [m]	Leistung [l/min]	Menge [l]	T [°C]	Leitf. [µS/cm]	pH	eH [mV]	O ₂ [mg/l]	Bemerkungen: (Trübe, Farbe, Geruch, ...)
									← Probenahme

Wasserproben:						
Herkunft der Probenahmegefäße:				Reinigung durch:		
Nr.	Menge [l]	Gefäß, Material	Filtration	Stabilisierung	blasenfrei abgefüllt	Analysenparameter

Messungen nach der Probenahme:	
Gesamte Pumpdauer: [h, min]	Absrtich ab Referenzpunkt: [m]

Probenahme durch: <ul style="list-style-type: none"> • Name: • Datum, Visum:

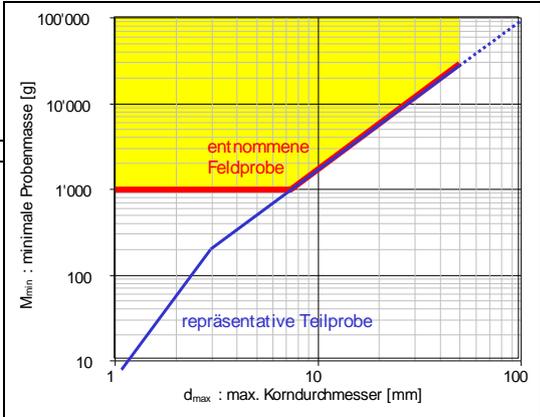
Transport: <input type="checkbox"/> gekühlt: T °C Lagerung: Ort, Dauer, T: °C Ablieferung beim Labor: (Datum, Zeit, Visum)
--

Beilage 8b: Probenahmeprotokoll Feststoffproben

Untersuchung: <ul style="list-style-type: none"> • Auftrag Nr.: • Bezeichnung: 	
Probe Nr.	Datum, Uhrzeit:

Art der Probe: <input type="checkbox"/> Einzelprobe <input type="checkbox"/> Vertikale Mischprobe	Lageskizze:
Probenahmeort: <input type="checkbox"/> GPS <ul style="list-style-type: none"> • Bezeichnung: • Koordinaten: • Tiefe ab OKT / Ref.: von bis [cm] 	

Probenmaterial: <ul style="list-style-type: none"> • Feuchtezustand: <input type="checkbox"/> nass <input type="checkbox"/> sehr feucht <input type="checkbox"/> mässig feucht <input type="checkbox"/> schwach feucht <input type="checkbox"/> trocken • Beschreibung (USCS): • Korngrösse: von bis [cm] • entnommene Probenmasse [kg]: Entnahme, Transport: <ul style="list-style-type: none"> • Probenahmegefäss: • benutztes Werkzeug: 	<ul style="list-style-type: none"> • sichtbares Fremdmaterial: • aussortierte Anteile (Beschreibung, Masse [kg]):
---	---



Weitere Bodenkennwerte (falls erforderlich):	
<ul style="list-style-type: none"> • pH: • Humusgehalt [%]: • Tongehalt [%]: 	

Vorgesehene Analytik: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Analytiklabor: Ablieferung: • Datum, Uhrzeit:	

Probenahme durch: <ul style="list-style-type: none"> • Name: • Datum, Visum: 	
--	--

Beilage 9

Factsheet über die Massnahmen zur Verminderung von Fehlerquellen bei Probenahme und Messung von CKW-Feststoffproben

(Version Nov 2015)

Untersuchungen von belasteten Standorten auf flüchtige Schadstoffe wie chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) sind eine grosse Herausforderung. Manipulationen an der Probe bei Entnahme, Transport und Messung können zu Stoffverlusten und somit zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Mit den zurzeit vorhandenen technischen Hilfsmitteln muss bei der Analyse von Feststoffen auf flüchtige Stoffe immer mit einer relativ grossen Messunsicherheit, bedingt durch die Probenahme, Probenvorbereitung und Inhomogenität des zu untersuchenden Materials, gerechnet werden.

Sowohl Probenehmer als auch Labor können durch Einhalten einiger Grundregeln dazu beitragen, mögliche Fehlerquellen zu vermeiden und Unsicherheiten zu minimieren.

In diesem Factsheet werden die kritischen Punkte bei der Probenahme und Messung aufgezeigt und Massnahmen zur Verminderung von Unsicherheiten vorgeschlagen.

Das Factsheet wurde von der Firma Bachema im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) erstellt.

Berater / Probenehmer		
Aktion	Kritischer Punkt / Problem	Massnahme
Entnahme aus Bohrungen oder Rammkernsondierungen	Beim Bohren und Rammen kann die Grenzschicht Probe-Bohrer/Sonde durch mechanische Reibung stark erwärmt werden.	Nur den inneren Kern des Bohrgutes ins Probengefäss abfüllen und zur weiteren Analyse verwenden.
Entnahme aus Bagger-schlitzten	Die Beprobung erfolgt aus der Schlitzwand (nicht aus dem ausgehobenen Material). Dabei sind Arbeitssicherheitsmassnahmen einzuhalten.	Alternative: Beprobung direkt aus der Bagger-schaufel; lange Kontaktzeiten der Probe mit der Umgebungsluft sind dabei zu vermeiden. Diese Probenahmetechniken entsprechen eher einer Hot-Spot-Beprobung und sind nicht unbedingt für eine grössere Probenahme-fläche repräsentativ.
Minimale Probemenge	Die entnommene Probe muss für das zu untersuchende Material repräsentativ sein. Dazu muss eine genügend grosse Probemenge beprobt und analysiert werden. Minimale Probemengen im Verhältnis zur maximalen Korngrösse der Probe sind in der BAFU Vollzugshilfe „Analysenmethoden im Abfall- und Altlastenbereich“ [1] beschrieben. Bei flüchtigen Stoffen ist diese Vorgabe meist nicht umsetzbar, da die Probe anschliessend im Labor (durch mechanische Behandlung) homogenisiert und auf eine repräsentative Teilprobe reduziert werden muss, was zu einem erheblichen Verlust an flüchtigen Stoffen führen kann.	Alternative zur Verringerung der Probenmenge: Beprobung des Feinanteils. Durch Abschätzung des Grobanteils in der Probe kann anschliessend auf den Gesamtgehalt umgerechnet werden, wenn keine Hinweise auf eine Belastung des Grobanteils gegeben sind.

Berater / Probenehmer		
Aktion	Kritischer Punkt / Problem	Massnahme
Qualitätssicherung bei Probenahme und Transport Protokollierung	Schwierigkeiten bei der Interpretation / Nachvollziehbarkeit der Messwerte	Alle Beobachtungen bei der Probenahme (inkl. Beschreibung der Probenmatrix, Wetterbedingungen, organoleptische Befunde, Probengefässe etc.) sind für die spätere Interpretation der Befunde wichtig. Die Probenahme ist detailliert zu protokollieren. Weiter: <ul style="list-style-type: none"> • Checklisten bereitstellen • Schulung/Instruktion der Probenehmer • Kommunikation mit Labor (z.B. Absprache über Probenanlieferungen) • Auswahl eines geeigneten Labors; folgende Kriterien müssen erfüllt sein: • das Labor ist gemäss ISO 17025 akkreditiert • das verwendete Messverfahren liegt im Geltungsbereich der Akkreditierung (akkreditierte Stellen mit Geltungsbereich unter: http://www.seco.admin.ch/sas/)
Berücksichtigung Untergrund / verschiedene Probenmatrix	Material mit grossem Kohlenstoffanteil (z.B. stark humushaltiges Material) vermag organische Stoffe besser zu adsorbieren (binden). Material mit wenig organischem Kohlenstoff (z.B. kiesiges Material) adsorbieren organische Stoffe schlecht. Entsprechend können bei kiesigen Stoffen schnell Stoffverluste bei der Entnahme resultieren.	Die Proben sind unmittelbar nach Entnahme in luftdicht verschliessbare Behälter abzufüllen und bis zur Analyse kühl zu lagern (4°C).
Probenahme in ungesättigter oder gesättigter Zone	Der gesättigte oder ungesättigte Untergrund ist in der Regel ein 3-Phasen System. Die drei Phasen sind: Feststoff, Porenwasser, Porenluft. Im ungesättigten Bereich ist die Schadstoffverteilung in der Regel im Gleichgewicht zwischen diesen drei Phasen. Im gesättigten Bereich kann, je nach Dynamik, das Gleichgewicht möglicherweise (noch) nicht eingestellt sein.	Bei der Messung im Labor wird die gesamte Menge des in der Probe vorhandenen Stoffes bestimmt und auf den Gehalt im Feststoffanteil, bezogen auf das Trockengewicht der Probe, hochgerechnet. Es erfolgt keine Unterscheidung, ob der Stoff an den Feststoff gebunden (adsorbiert) oder im Porenwasser gelöst ist.
Vermeiden von Stoffverlusten beim Transport	Die Probe darf von der Entnahme bis zur Messung im Labor nicht verändert werden. Insbesondere ist darauf zu achten, dass kein Verlust an flüchtigen Stoffen durch Ausgasung erfolgt.	Zur Vermeidung resp. zur Minimierung von Ausgasungen sind folgende Vorkehrungen zu treffen: <ul style="list-style-type: none"> • Abfüllen in luftdicht verschliessbare Gefässe (in der Regel Glasgefässe) • Möglichst wenig Gasraum; die Gefässe randvoll befüllen. • Sofortige Kühlung auf 4°C • Sicherstellung der Einhaltung der Kühlkette von der Probenahme bis zur Anlieferung im Labor • Schnellstmöglicher Transport im gekühlten Zustand

Berater / Probenehmer		
Aktion	Kritischer Punkt / Problem	Massnahme
		Alternative: <ul style="list-style-type: none"> • Überschichten der Probe unmittelbar nach Entnahme im Feld mit einem organischen Lösungsmittel (in der Regel: Methanol) • Transport des gekühlten Probe/Lösungsmittelgemischs ins Labor Eine enge Zusammenarbeit mit dem Altlasten-Bearbeiter / Probenehmer ist wichtig (vor allem beim Verfahren der vor-Ort-Überschichtung mit einem Lösungsmittel:

Labor		
Aktion	Kritischer Punkt / Problem	Massnahme
Probenvorbereitung	Die Probenvorbereitung (zur Gewinnung einer homogenen, repräsentativen Laborprobe) ist mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet. Probenvorbereitung: Proben können schlecht homogenisiert werden, da durch mechanisches Bearbeiten Stoffverluste in unbekanntem Ausmass verursacht werden können.	Manuelle Homogenisierung im Labor im so tief wie möglich gekühlten, aber nicht gefrorenen Zustand. Allfälliges grobkörniges Material kann im Labor vom Feinanteil abgetrennt, grob gebrochen und anschliessend wieder mit dem Feinanteil vermischt werden Keine Feinmahlung der Probe im Labor! Es soll eine möglichst grosse Probemenge zur Messung eingesetzt werden. So kann ein repräsentativer Anteil des Probematerials erfasst werden Unter der Voraussetzung, dass Schadstoffe an die Matrix-Oberfläche adsorbiert sind, kann nur der Feinanteil beprobt und analysiert werden. Durch Bestimmung der Korngrössenverteilung kann anschliessend auf den Gesamtgehalt in der gesamten Matrix hochgerechnet werden (siehe oben; minimale Probemenge).
Validierung des Messverfahrens	Die Schadstoffe müssen mittels geeigneter Messmethode zweifelsfrei identifiziert und quantifiziert werden. Jedes Messverfahren ist zu validieren. Die Validierungsdaten erlauben Rückschlüsse auf die Eignung einer Methode für die entsprechende Fragestellung. Aber bei flüchtigen Stoffen stellen sich folgende Probleme: <ul style="list-style-type: none"> • schwierige Validierung des Gesamtverfahrens (inkl. Aufbereitung/Extraktion), da keine Referenzmaterialien vorhanden sind (das Messverfahren kann mit Wasserproben überprüft werden; das Gesamtverfahren inkl. Probenvorbereitung basiert auf diesen Messungen) • Ringversuche werden kaum angeboten 	Zur Gewährleistung repräsentativer, nachvollziehbarer und vergleichbarer Resultate sind die Laboranalysen gemäss der BAFU Vollzugshilfe „Analysemethoden im Abfall- und Altlastenbereich1 durchzuführen. Das beauftragte Labor muss gemäss SN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein und das verwendete Messverfahren muss im Geltungsbereich der Akkreditierung liegen.

Labor		
Aktion	Kritischer Punkt / Problem	Massnahme
	<ul style="list-style-type: none"> wenig Vergleichsmöglichkeiten mit Drittlabors, da keine homogenen Referenzproben zur Verfügung stehen Fazit: Die Messung im Labor ist mit einer relativ grossen Unsicherheit behaftet, da ein wesentlicher Teil des Messverfahrens (die Homogenisierung) stark von der einzelnen Probe abhängig ist und nur ungenügend validiert werden kann.	
Qualitätssicherung im Routinebetrieb	Es ist zu gewährleisten, dass das verwendete Messverfahren zum Zeitpunkt der Messung alle Anforderungen aus der Validierung erfüllt und für die zu untersuchende Probe geeignet ist.	Die laborinternen Abläufe sind regelmässig zu überprüfen. Kontrollproben, Referenzstandards und Blindwertproben sind ebenfalls zu messen.