

Umgang mit CKW-Standorten

Ein Modul der Vollzugshilfe «Allgemeine Altlastenbearbeitung»



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Umgang mit CKW-Standorten

Ein Modul der Vollzugshilfe «Allgemeine Altlastenbearbeitung»

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe *Allgemeine Altlastenbearbeitung* des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

AutorInnen

Satenig Chadoian, Abteilung Recht; Thomas Eisenlohr, Dr. Heinrich Jäckli AG; Monika Schwab, Abteilung Boden und Biotechnologie

Organisation ChloroNet

Trägerschaft von ChloroNet ist das BAFU sowie der Kanton Zürich.

Die Projektoberleitung liegt beim Bund (Christiane Wermeille), den Kantonen Bern (Olivier Kissling), Genf (Alain Davit), St. Gallen (Heinrich Adler) und Zürich (Jean-Claude Hofstetter).

Die operative Projektleitung teilen sich das AWEL (Gabriele Büring-Stucki) und das BAFU (Monika Schwab).

ChloroNet-Arbeitsgruppen

Jürgen Abrecht, GEOTEST AG; Mathieu Boéchat, RWB Neuchâtel SA; Daniel Bürgi, Friedli Partner AG; Gabriele Büring, AWEL; Marc-André Dubath, GEOTEST AG; Thomas Eisenlohr, Dr. Heinrich Jäckli AG; Manfred Flum, Villiger-Systemtechnik AG; Bettina Flury, AWEL; Bernhold Hahn, Peter Link AG und später AWEL; Siegfried Hartnagel, Amt für Umwelt und Energie Kt. BS; Daniel Hunkeler, Université de Neuchâtel, Centre d'Hydrogéologie CHYN; Antoine Indaco, CSD Ingénieurs Conseils SA; Walter Labhart, Dr. Heinrich Jäckli AG; Lorenz Lehmann, Ecosens AG; Sébastien Meylan, CIMO; Reto Philipp, magma AG; Peter Polack, Geotechnisches Institut AG; Yvan Rossier, Hydrogeap;

Thomas Schmid, AfU Aargau; Winfried Stehle, ABB; Tilman Theurer, magma AG.

BAFU-Begleitung der Arbeitsgruppen

Rolf Kettler, Abteilung Boden und Biotechnologie; Sybille Kilchmann, Abteilung Wasser; Siegfried Lager, Abteilung Recht; Reto Muralt, Abteilung Wasser; Reto Tietz, Abteilung Boden und Biotechnologie

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2018: Umgang mit CKW-Standorten. Ein Modul der Vollzugshilfe «Allgemeine Altlastenbearbeitung». Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1833: 48 S.

Layout

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Sanierung einer PER-Belastung
© FRIEDLIPARTNER AG

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1833-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2018

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5	5	Sanierung	29
		5.1	Rechtliche Grundlagen	29
Vorwort	6	5.2	Variantenstudie	29
		5.3	Sanierungsunterbruch	29
1 Einleitung	7	5.4	Sanierungsaufschub für Vinylchlorid-Standorte	31
1.1 Ausgangslage	7	5.5	Erreichung der Sanierungsziele bezüglich Grundwasserfassung	32
1.2 Rechtliche Grundlagen	7			
1.3 Ziele und Geltungsbereich des Vollzugshilfemoduls	7			
1.4 Aufbau des Vollzugshilfemoduls	8	Anhang A Zusatzinformationen zu Vinylchlorid		35
2 Kataster der belasteten Standorte (KbS)	10	Anhang B Sanierungsunterbruch		38
2.1 Rechtliche Grundlagen	10			
2.2 Grundsätzliches bei der Standortabgrenzung von CKW-Standorten	10	Verzeichnisse		45
2.3 Vorgehen für die Standortabgrenzung im Hinblick auf den Katastereintrag	12			
2.3.1 Kriterien für die Standortabgrenzung	12			
2.3.2 Anwendung der Kriterien	12			
2.4 Restbelastung ausserhalb des Standorts	13			
2.5 Entlassung aus dem Kataster der belasteten Standorte (KbS)	13			
2.5.1 Kriterien für die KbS-Entlassung	14			
2.5.2 Kriterien für die KbS-Entlassung nach der Durchführung von Sanierungsmassnahmen	15			
3 Voruntersuchung	17			
3.1 Rechtliche Grundlagen	17			
3.2 Historische Untersuchung	17			
3.3 Technische Untersuchung	18			
4 Detailuntersuchung	20			
4.1 Rechtliche Grundlagen	20			
4.2 Frachtbetrachtungen	21			
4.3 Anwendung von Immissionspumpversuchen	23			
4.4 Isotopenuntersuchungen	24			
4.5 Abweichung vom Sanierungsziel gemäss Art. 15 AltIV	25			

Abstracts

The investigation and remediation of sites contaminated with chlorinated hydrocarbons (CHCs) is often complex, long and costly. This is due to the high mobility of CHCs, their often complex underground distribution patterns, and the fact that this frequently leads to difficulty in localising the contamination. The ChloroNet project was set up in 2007 to focus on the specific properties of this substance group. In working groups made up of actors from the field of CHC contamination, ChloroNet has developed practical solutions for environmentally and economically optimised management of sites contaminated with CHCs. These solutions are grouped together in this enforcement aid module "Management of CHC-contaminated sites".

Aufgrund der hohen Mobilität, der oft komplexen Verteilungsmustern von CKW im Untergrund sowie der dadurch häufig schwierigen Lokalisierung der Verschmutzung erweisen sich Untersuchungen und Sanierungen von CKW-Belastungen oft als komplex, langwierig und finanziell aufwendig. Um den speziellen Eigenschaften dieser Stoffgruppe Rechnung zu tragen, werden im Rahmen des Projektes ChloroNet seit 2007 gemeinsam mit den Akteuren im Bereich der CKW-Belastungen, praxistaugliche Lösungen für einen ökologisch und wirtschaftlich optimierten Umgang mit CKW-Belastungen entwickelt, welche im vorliegenden Vollzugshilfemodul «Umgang mit CKW-Standorten» aggregiert sind.

L'investigation et l'assainissement des sites pollués par des HCC s'avèrent souvent complexes, laborieux et coûteux. Cela est surtout dû à la mobilité élevée et à la répartition irrégulière des polluants dans le sous-sol, ce qui rend souvent difficile la localisation de la contamination. Le projet ChloroNet a été lancé en 2007 afin de se pencher sur les propriétés particulières de ce groupe de substances. Dans le cadre de groupes de travail composés d'acteurs du domaine des sites pollués par des HCC, ChloroNet a développé des solutions pratiques pour un traitement écologique et économique optimisé de ces sites. Ces solutions sont rassemblées dans le présent module «Gestion des sites pollués par des hydrocarbures chlorés».

L'elevata mobilità, la sovente complessa modalità di ripartizione degli idrocarburi clorurati (CHC) nel sottosuolo e la conseguente difficile localizzazione dell'inquinamento da CHC rendono spesso complesse, lunghe e onerose le indagini e il risanamento dei siti inquinati. Per poter tenere conto delle proprietà di questo gruppo di sostanze, nel quadro del progetto ChloroNet e in collaborazione con gli specialisti del settore, dal 2007 sono state elaborate soluzioni pratiche per una gestione ecologica ed economica ottimale degli inquinamenti da CHC. Tali soluzioni sono riunite nel presente modulo dell'aiuto all'esecuzione «Gestione dei siti con CHC».

Keywords:

Chlorinated hydrocarbons (CHCs), ChloroNet, polluted sites, contaminated sites, CHC-contaminated sites

Stichwörter:

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), ChloroNet, belastete Standorte, Altlasten, CKW-Standorte

Mots-clés :

Hydrocarbures chlorés (HCC), ChloroNet, sites pollués, sites contaminés, sites pollués par des HCC

Parole chiave:

Idrocarburi clorurati (CHC), ChloroNet, siti inquinati, siti contaminati, siti con CHC

Vorwort

Seit etwa den 1920er Jahren sind chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) in der Schweiz in teilweise grossen Mengen kommerziell als Reinigungs- und Lösungsmittel verwendet worden. Das heutige Erbe dieses Einsatzes sind rund 12 300 Standorte, welche mit CKW verunreinigt sind. Diese CKW-Belastungen stellen eine ernst zu nehmende Gefährdung für als Trinkwasser genutztes oder zur Nutzung vorgesehenes Grundwasser dar. CKW gehören wie alle persistenten Fremdstoffe nicht ins Trinkwasser, da sie für Mensch und Tier toxisch sind.

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Allgemeine Altlastenbearbeitung» zeigt auf, welche Besonderheiten bei der Untersuchung, der Gefährdungsabschätzung, der Festlegung der Ziele und der Dringlichkeit sowie bei diversen Aspekten im Zusammenhang mit der Sanierung von CKW-Standorten zu beachten sind. Damit soll sichergestellt werden, dass die Altlasten-Verordnung (AltV) ihren Zweck erfüllen kann, nämlich, dass belastete Standorte saniert werden, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Umwelteinwirkungen führen.

Zahlreiche Publikationen, welche im Rahmen der Plattform ChloroNet erarbeitet worden sind, werden im vorliegenden Vollzugshilfemodul konsolidiert. Dies trägt zur Rechtsgleichheit und Rechtssicherheit bei. Ein Vorgehen nach den hier beschriebenen Grundsätzen ist zudem eine der Voraussetzungen, damit Abgeltungen gemäss Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA) gewährt werden können.

Franziska Schwarz
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Vielerorts bedrohen die mobilen, langlebigen und toxischen CKW die Qualität des Grundwassers. In den kommenden Jahrzehnten müssen schätzungsweise 1100 CKW-Altlasten saniert werden. Dabei handelt es sich insbesondere um Belastungen mit Tetrachlorethen¹ (Per) und Trichlorethen² (Tri) oder deren Abbauprodukte³.

Untersuchungen und Sanierungen von CKW-Belastungen erweisen sich oft als komplex, langwierig und finanziell aufwendig. Hauptgründe dafür sind die hohe Mobilität und Dichte, der hohe Dampfdruck und die unregelmässige Verteilung der Schadstoffe im Untergrund sowie die dadurch häufig schwierige Lokalisierung der Kontamination. Auch der langsame und selten vollständige Abbau, die Bildung von Abbauprodukten mit einer stärkeren Toxizität sowie Unsicherheiten bei der Probenahme erschweren den Umgang mit CKW-Belastungen.

Um den speziellen Eigenschaften dieser Stoffgruppe Rechnung zu tragen, wurde 2007 das Projekt ChloroNet gestartet. Die gemeinsame Trägerschaft und Finanzierung von ChloroNet teilen sich der Kanton Zürich und das BAFU. Mitgetragen und unterstützt wird das Projekt zudem durch die Kantone der Projektoberleitung: Bern, St. Gallen und Genf. ChloroNet hat im Rahmen von Arbeitsgruppen, gemeinsam mit den Akteuren im Bereich der CKW-Belastungen, praxistaugliche Lösungen für einen ökologisch und wirtschaftlich optimierten Umgang mit CKW-Belastungen entwickelt, welche in diesem Vollzugshilfemodul aggregiert werden.

1.2 Rechtliche Grundlagen

Die allgemeinen gesetzlichen Bestimmungen zur Sanierung von Deponien und anderen mit Abfällen belasteten Standorten sowie die Kostentragung und Finanzierung der Sanierung finden sich in Artikel 32c bis Artikel 32e des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01). Konkretisiert werden die Fragen zur Sanierung der belasteten Standorte in der Altlasten-Verordnung (AltIV; SR 814.680). Die Grundsätze rund um die Finanzierung der Sanierung von Altlasten mittels Abgabe (Art. 32e USG), einschliesslich der Voraussetzungen für die Gewährung der Abgeltung, werden in der Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA; SR 814.681) näher spezifiziert. Diese erwähnten rechtlichen Grundlagen gelten allesamt auch für die Sanierung von CKW-Standorten.

Da sich das vorliegende Vollzugshilfemodul auf Besonderheiten im Umgang mit CKW-belasteten Standorten beschränkt, ohne näher auf deren Kostentragung und Finanzierung einzugehen, sind nachfolgend vor allem Artikel 32c USG und die AltIV von Relevanz. Zudem sind in diesem Zusammenhang auch andere Bundesgesetze und Bundesverordnungen besonders zu berücksichtigen, allen voran das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz; GSchG; SR 814.20), die Gewässerschutzverordnung (GSchV; SR 814.201) und die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung; VVEA; SR 814.600).

1.3 Ziele und Geltungsbereich des Vollzugshilfemoduls

Im Rahmen des Projektes ChloroNet sind zahlreiche Expertenberichte und Merkblätter erarbeitet, an Tagungen vorgestellt und teilweise veröffentlicht worden. Die technischen Aspekte sind in externen Studien und anderen Berichten der jeweiligen ChloroNet-Arbeitsgruppen verfügbar. Das vorliegende Modul «Umgang mit CKW-Standorten» hat zum Ziel, diese Vielzahl von Grundlagen und das erarbeitete Wissen zu bündeln. Dabei werden

1 Auch Tetrachlorethylen, Perchlorethylen oder PCE genannt

2 Auch Trichlorethylen oder TCE genannt

3 Abbauprodukt von Per ist Tri, welches weiter zu cis- und trans-1,2-Dichlorethen (auch cis- und trans-1,2-Dichlorethylen oder cDCE und tDCE genannt) abgebaut wird. Diese werden weiter zu Vinylchlorid (VC, auch Chlorethen genannt) umgewandelt.

Verweise zu den technischen Berichten gemacht. Die hier vorgestellten Lösungen bieten beim Umgang mit CKW-Fällen eine Hilfestellung.

Damit unterstützt das Modul die Vereinheitlichung des Vollzuges im Bereich der CKW-Belastungen und trägt dazu bei, dass die altlastenrechtlichen Vorgaben im Umgang mit CKW-Standorten eingehalten werden.

Die hier beschriebenen Lösungen sind nur für die Stoffgruppe der CKW entwickelt worden und gelten somit ausschliesslich für Standorte, die mit CKW belastet sind.

Mit CKW sind im vorliegenden Vollzugshilfemodul die aliphatischen chlorierten Kohlenwasserstoffe des Anhangs 1 der Altlasten-Verordnung gemeint, d.h. die «klassischen», meist leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe (LHKW), inkl. 1,2-Dibromethan. Nicht behandelt werden chlorierte aromatische Verbindungen (z.B. Chlorbenzole, PCB) sowie mit anderen funktionellen Gruppen (z. B. Amine) substituierte aliphatische chlorierte Verbindungen.

1.4 Aufbau des Vollzugshilfemoduls

Das vorliegende Vollzugshilfemodul liefert Informationen zur Bearbeitung einer spezifischen Stoffgruppe über den gesamten Ablauf der Altlastenbearbeitung.

Die nachfolgenden Kapitel sind gemäss dem chronologischen Vorgehen der Altlasten-Verordnung (AltIV) aufgebaut. Zu den einzelnen Verfahrensschritten, resp. Abschnitten der AltIV werden die Besonderheiten geschildert, welche bei CKW-Belastungen zu beachten sind. Die Themen des Vollzugshilfemoduls sind:

- Abschnitt 2 AltIV: Kataster der belasteten Standorte (KbS)
 - **Kriterien für den Eintrag in den KbS (Standortabgrenzung):** Hier wird beschrieben, welche Werte betreffend Grundwasser, Porenluft und Feststoff überschritten sein müssen, damit ein Standort in den KbS eingetragen wird resp. dort eingetragen bleibt. Der pragmatische Ansatz für die Standortabgrenzung wird vorgestellt.
- **Entlassung aus dem KbS:** Hier wird beschrieben, welche Werte für Grundwasser-, Porenluft- und Feststoffanalysen eingehalten werden müssen, damit ein Standort aus dem KbS entlassen werden kann.
- **Restbelastung ausserhalb des Standorts:** Es wird aufgezeigt, wie damit umgegangen werden kann.
- Abschnitt 3 AltIV: Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit: Voruntersuchung
 - **Untersuchungen von CKW-Belastungen:** welche Besonderheiten sind bei Untersuchungen von CKW-Belastungen zu beachten? Hier wird auf den ausführlichen *Expertenbericht Untersuchungen von CKW-Belastungen* verwiesen. Eine wesentliche Voraussetzung für das Definieren des Abstrombereichs ist dabei die Standortabgrenzung (Kriterien für den Eintrag in den KbS, vgl. Abschnitt 2).
- Abschnitt 4 AltIV: Ziele und Dringlichkeit der Sanierung: Detailuntersuchung
 - **Fracht:** In diesem Kapitel wird erläutert, wie die Fracht im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung in die Beurteilung der Ziele und der Dringlichkeit einfließen kann.
 - **Immissionspumpversuche (IPV):** IPV sind eine Untersuchungsmethode zur genauen Charakterisierung der Belastungsherde und der Berechnung der Fracht. Es wird aufgezeigt, inwiefern IPV sinnvoll sein können.
 - **Isotopen-Untersuchungen:** Es wird kurz beschrieben, wann Untersuchung der Isotopenfraktionen von Kohlenstoff (C) und Chlor (Cl) sinnvoll sein können.
 - **Anpassung der Sanierungsziele:** es wird aufgezeigt, wann und wie vom Sanierungsziel abgewichen wird.
- Abschnitt 5 AltIV: Sanierung
 - **Variantenstudie:** Hinweise zum Einsatz des Werkzeugs der moderierten Expertenbeteiligung.
 - **Sanierungsunterbruch:** Das Kapitel zeigt auf, welche Faktoren berücksichtigt werden müssen, damit ein Sanierungsunterbruch in Betracht gezogen werden kann.
 - **Sanierungsaufschub für Vinylchlorid-Standorte:** Der Lösungsansatz für Vinylchlorid-Standorte wird erklärt.
 - **Erreichen des Sanierungsziels bezüglich Fassung:** Wann ist das Sanierungsziel «keine Stoffe in der Fassung festgestellt» erfüllt?

Es werden nicht alle Themen und Aspekte der jeweiligen Abschnitte der AltIV aufgegriffen, sondern diejenigen Themen, welche in der Praxis oft Fragen aufwerfen und deshalb praxistaugliche Lösungen erfordern. Zu Beginn jedes Kapitels werden die rechtlichen Grundlagen aufgezeigt und die bereits bestehenden und auch für CKW geltenden Vollzugshilfen erwähnt.

2 Kataster der belasteten Standorte (KbS)

2.1 Rechtliche Grundlagen

Artikel 32c Absatz 2 USG verpflichtet die Kantone zur Führung eines öffentlich zugänglichen Katasters der belasteten Standorte (KbS), d.h. eines zentralen amtlichen Verzeichnisses der Deponien und der anderen durch Abfälle belasteten Standorte. Die allgemeinen Grundsätze betreffend die Erstellung sowie die laufende Aktualisierung des Katasters und die Löschung eines Standorteintrags im Kataster sind in den Artikeln 5 bis 6 AltIV geregelt. Es wird diesbezüglich auf die BAFU-Vollzugshilfe «Erstellung des Katasters der belasteten Standorte», 2001, verwiesen. Für CKW-Standorte ergeben sich spezifische Besonderheiten erstens bei der Standortabgrenzung und zweitens bei der Löschung des Eintrags des Standorts im Kataster, weshalb sich die nachfolgenden Ausführungen ausschliesslich auf diese Aspekte beschränken.

Für die Aufnahme eines mit CKW belasteten Standorts im KbS ist eine möglichst genaue Abgrenzung des betroffenen Standortes anzustreben (vgl. Art. 5 Abs. 3 Bst. a AltIV). Diese Eingrenzung der genauen Lage erweist sich jedoch bei CKW-Standorten nicht selten als Herausforderung: Belastete Standorte sind gemäss Artikel 2 Absatz 1 AltIV Orte, deren Belastungen von Abfällen stammen und die eine *beschränkte Ausdehnung* aufweisen. Die Ausdehnung ist in der Praxis aufgrund der speziellen Stoffeigenschaften von CKW (z.B. Leichtflüchtigkeit, vgl. *Leitfaden CKW*) schwierig zu erfassen (vgl. dazu nachfolgend Kapitel 2.2).

Artikel 6 Absatz 2 AltIV regelt die *Löschung* des Eintrages im KbS: Ein Standort ist von der zuständigen Behörde dann zu löschen, wenn entweder die Untersuchungen ergeben, dass der Standort nicht mit (altlastenrechtlich relevanten) umweltgefährdenden Stoffen belastet ist oder diese Stoffe beseitigt worden sind. Hingegen müssen belastete Standorte im Sinne von Art. 2 AltIV im KbS eingetragen bleiben, auch wenn weder Überwachungs- noch Sanierungsbedarf besteht (vgl. zu den Besonder-

heiten der Entlassung von CKW-Standorten aus dem KbS Kapitel 2.5.).

2.2 Grundsätzliches bei der Standortabgrenzung von CKW-Standorten

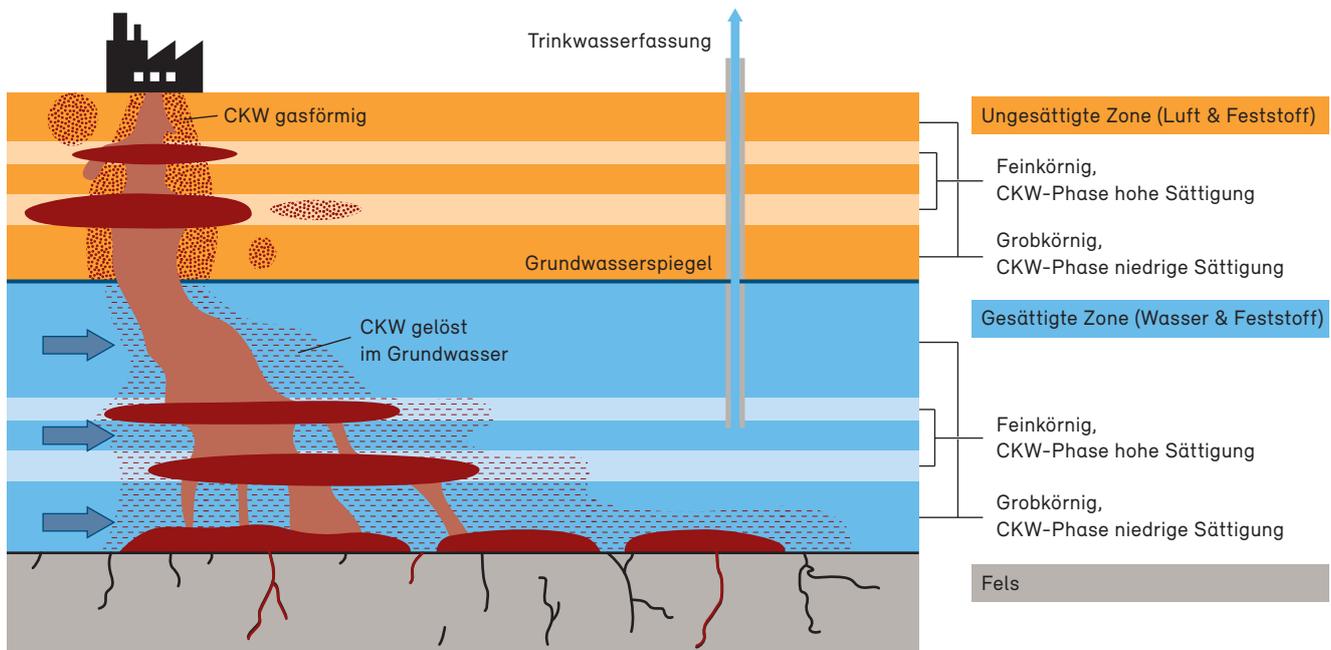
Die Abgrenzung von belasteten Standorten erfolgt bei der Altlastenbearbeitung meist iterativ. Bei der KbS-Erhebung wird in erster Annäherung basierend auf historischen Informationen und Branchenangaben der Anwendungsbereich von CKW oder bei fehlenden Lageinformationen die entsprechende Parzelle im KbS eingetragen. Der Eintrag basiert dabei auf der bei CKW erfahrungsgemäss hohen Wahrscheinlichkeit von Schadstoffbelastungen bei der Anwendung dieser Stoffe. Im Rahmen einer historischen Untersuchung (Kapitel 3.2.) werden dann die Angaben über die Art und die Lage der CKW-Nutzungen anhand von Aktenrecherchen verifiziert resp. ergänzt. Im Rahmen der technischen Untersuchung (Kapitel 3.3.) wird das Vorhandensein resp. die Ausdehnung von Belastungen im Untergrund und deren Umweltrelevanz ermittelt. Die Standortklassierung erfolgt durch eine Grundwasserbeprobung im unmittelbaren Abstrombereich des Standortes^{4,5}. Für die richtige Platzierung der klassierungsrelevanten Abstrommessstelle(n) muss die Standortabgrenzung somit bekannt sein.

Aufgrund ihrer besonderen Stoffeigenschaften und dem in der Schweiz meist heterogenen Untergrundaufbau ist das Ausbreitungsmuster von CKW im Untergrund allerdings sehr komplex und daher schwierig zu eruieren. CKW können im Bereich des Schadenherdes flüssig (in Phase) oder gasförmig in den Untergrund eingedrungen sein. Die Einsickerung erfolgt primär vertikal, insbesondere im gesättigten Untergrund können sich CKW aber auch entlang komplexer Muster lateral ausbreiten. Dabei können sich Ansammlungen von CKW-Phase auch losgelöst vom

4 Vollzugshilfe Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten (BUWAL, 2003)

5 Vollzugshilfe Messmethoden im Abfall und Altlastenbereich (BAFU, 2017)

Abbildung 1
Mögliches Ausbreitungsmuster von CKW



Schadenherd (Einsickerungsstelle) bilden. In Abbildung 1 wird ein mögliches Ausbreitungsmuster von CKW im Untergrund schematisch veranschaulicht.

Zusammenhängende CKW-Phase sowie auch räumlich isolierte Phasen-Pools (DNAPL⁶) sind gemäss Vollzugshilfe zur Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten⁷ dem Standort zuzuordnen. Die räumliche Ermittlung derartiger Phasen-Pools ist aber technisch nur begrenzt möglich. Es kommt hinzu, dass der Begriff «Phase» nicht hinreichend definiert ist und im Porenraum des ungesättigten Untergrunds CKW häufig gleichzeitig als mikroskopische Phasen-Tröpfchen, gelöst in Haftwasser und gasförmig in der Porenluft auftreten. Die Übergänge zwischen einer derartigen Residualsättigung und einer zusammenhängenden Phase sind fließend. Es kommt hinzu, dass im Laufe der Jahre CKW-Belastungen durch Stofftransport und Diffusion mit dem Grundwasser über den Schadenherd hinaus verschleppt werden können und sich infolge von Sorptionsprozessen heute oft in diffuser Verteilung über grosse Flächen resp. zahlreiche Parzellen erstrecken.

Normalerweise wird die Standortabgrenzung in der Altlastenbearbeitung mithilfe der Feststoffgrenzwerte für unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 1 VVEA⁸ (hier wird dafür die Abkürzung U-Wert verwendet) vorgenommen. Würde dies auch bei CKW-Standorten so angewendet, resultierten daraus aber sehr grossflächige Standorte, welche kaum mehr handhabbar wären. Da der unmittelbare Abstrombereich dadurch weit vom Schadenherd entfernt zu liegen käme, würde auch bei hohen Schadstoffbelastungen im Schadenherd und erheblichen CKW-Emissionen infolge der Verdünnung im Grundwasser nur selten ein Sanierungsbedarf resultieren. Wenn hingegen anstelle der U-Werte etwas höhere Gehaltswerte, z.B. die B-Werte⁹, für die Standortabgrenzung im KbS herangezogen werden, resultieren kleinere Standorte, welche aber nicht mehr alle Belastungen umfassen. Bei einer Sanierung besteht zudem der Nachteil, dass diese nicht erfassten (schwachen) Belastungen nicht Gegenstand der Sanierung wären.

6 Engl.: Dense non aqueous phase liquid

7 Vollzugshilfe Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten (BUWAL, 2003)

8 Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA SR 814.600)

9 Der B-Wert entspricht den Anforderungen für auf Typ-B Deponien zugelassene Abfälle gemäss VVEA Anhang 5 Ziffer 2.

Aufgrund dieser Ausgangslage können bei CKW die normalerweise bei belasteten Standorten angewendeten Kriterien für die Standortabgrenzung nur teilweise herangezogen werden. Daher wurden für CKW-Standorte die in Kapitel 2.3.1. beschriebenen, teilweise abweichenden, Standortkriterien entwickelt. Einerseits wurde dabei darauf geachtet, dass die Kriterien auf etablierten Messverfahren basieren, für welche möglichst schon Referenzwerte vorliegen. Andererseits wurden die Kriterien so gewählt, dass dadurch eine Eingrenzung auf die altlastenrechtlich signifikanten Belastungen erfolgt. Dadurch ergeben sich aber unvermeidbare Konsequenzen: ausserhalb dieser Abgrenzung können schwache Belastungen auftreten, die nicht dem Standort zugeordnet werden. Wie damit umgegangen werden kann, wird im Kapitel 2.4. Restbelastungen erläutert.

2.3 Vorgehen für die Standortabgrenzung im Hinblick auf den Katastereintrag

2.3.1 Kriterien für die Standortabgrenzung

Die erarbeiteten Standortkriterien basieren auf den einfachen und etablierten Messverfahren Porenluft- und Feststoffanalyse. Diese tiefenbezogenen Messverfahren haben den Vorteil, dass sie vergleichsweise kostengünstig sind (v. a. Porenluftanalysen) und zumindest für Feststoffanalysen¹⁰ bereits Referenzwerte vorliegen (VVEA). Die Festlegung der Kriterienwerte (Tabelle 1) erfolgte pragmatisch basierend auf einer Auswertung von Praxisbeispielen. Sie stellen empirische Erfahrungswerte dar, die an zahlreichen Standorten validiert wurden. Eine wissenschaftliche Herleitung wurde nicht durchgeführt.

Tabelle 1

Kriterien zur Standortabgrenzung bei CKW-Belastungen

Untersuchtes Medium	Kriterien Standortabgrenzung
Feststoff (FS) (Σ 7 LCKW gem. Anhang 3 u. 5 VVEA)	
→ Ungesättigte Zone	> 0,1 mg/kg (U-Wert)*
→ Gesättigte Zone (inkl. Schwankungsbereich)	> 1 mg/kg (B-Wert)**
Porenluft (PL) (Halogenierte KW gem. Anhang 2 AltIV)	> 1 ml/m ³

* Der U-Wert (Wert für unverschmutzt) entspricht den Anforderungen für Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 1 der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)

** Der B-Wert entspricht den Anforderungen für auf Typ-B Deponien zugelassene Abfälle gemäss VVEA Anhang 5 Ziffer 2

Die Anwendung des B-Wertes beim Feststoffkriterium in der gesättigten Zone für die Standortabgrenzung ist pragmatisch begründet (siehe Kap. 2.2). Dass dabei im gesättigten Untergrund Belastungen zwischen dem U- und B-Wert auftreten können, welche nicht im KbS erfasst werden, wird in Kauf genommen.

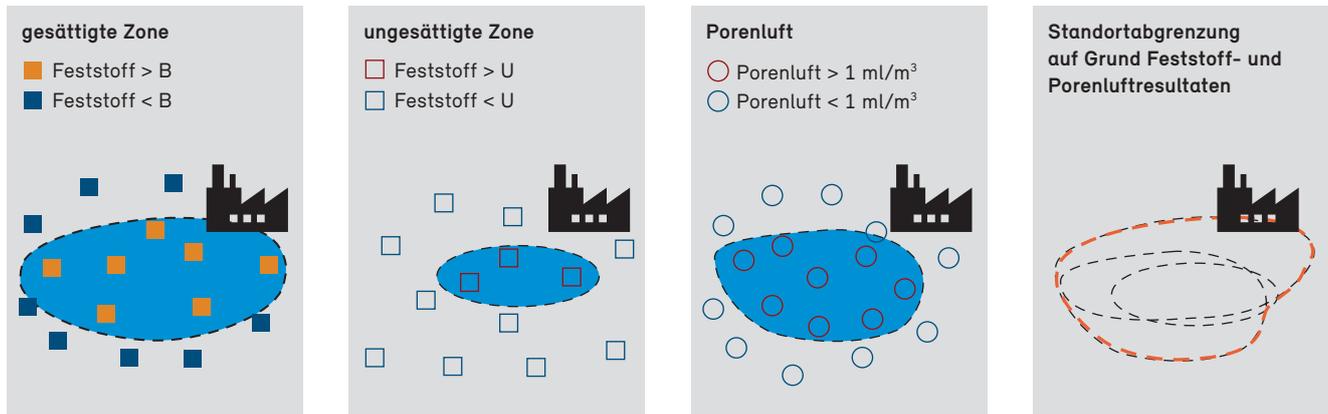
2.3.2 Anwendung der Kriterien

Wenn beim untersuchten Medium einer der angegebenen Werte in Tabelle 1 überschritten wird, liegt die entsprechende Messstelle innerhalb des Standorts. Je nach Untersuchungsart erhält man somit eine Abgrenzung für Feststoff (ungesättigt), für Feststoff (gesättigt) und/oder für Porenluft. Die Standortabgrenzung resultiert aus der Vereinigungsmenge der einzelnen Abgrenzungen (Abbildung 2).

¹⁰ Ausführungen zur Problematik von Feststoffanalysen bei CKW-Belastungen und entsprechende Empfehlungen sind im Kapitel 3.3.

Abbildung 2

Anwendung der Kriterien zur Standortabgrenzung



Bei der Anwendung der Werte ist stets eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- Sind die Untersuchungsergebnisse untereinander und mit den Erkenntnissen der historischen Untersuchung plausibel?
- Sind die Untersuchungen (Sondierdichte, Probenrepräsentativität, Analysenspektrum usw.) ausreichend oder besteht ein vertiefter Untersuchungsbedarf? Die Zahl der Messungen und die Art des untersuchten Mediums müssen plausibel begründet werden.

Bei der Plausibilitätsprüfung hat die Belastung des Grundwassers im Abstrombereich eine wichtige Bedeutung. Sofern z.B. weder in Porenluft- noch in Feststoffproben relevante CKW-Gehalte nachgewiesen werden aber trotzdem eine altlastenrechtlich relevante CKW-Emission ins Grundwasser vorliegt (Differenzbetrachtung Zu-/Abstrom), ist die Plausibilität der Untersuchungsergebnisse zu prüfen.

2.4 Restbelastung ausserhalb des Standorts

Durch die Anwendung der Kriterien zur Standortabgrenzung ergeben sich unvermeidbare Konsequenzen: ausserhalb des Standortes verbleiben gewisse Belastungen. Diese bestehen einerseits aus Feststoffbelastungen im gesättigten Bereich zwischen dem U- und B-Wert, und andererseits aus der Belastung in der abströmenden

Schadstofffahne. Obwohl diese Belastungen nicht katasterrelevant sind, können sie zu einem abfallrechtlichen oder gewässerschutzrechtlichen Handlungsbedarf führen. Dabei ist das übergeordnete Öffentlichkeitsprinzip zu beachten. Dieses beinhaltet zwar keine Pflicht zur Dokumentation, es muss aber jederzeit eine Kommunikation über allfällige Konsequenzen, Beschränkungen, Anforderungen etc. bezüglich eines bekannten Zustandes möglich sein. Deshalb ist eine Dokumentation an geeigneter Stelle empfohlen (z. B. Grundwasserkarte).

Weitergehende Informationen finden sich im *Expertenbericht Umgang mit CKW-Restbelastungen*.

2.5 Entlassung aus dem Kataster der belasteten Standorte (KbS)

Die Kriterien, welche zu erfüllen sind, damit ein Standort gemäss Artikel 6 Absatz 2 AltIV aus dem KbS entlassen werden kann, stehen in engem Zusammenhang mit den Kriterien zur Standortabgrenzung. Grundsätzlich sind die Abgrenzungskriterien auch für eine Entlassung aus dem KbS anzuwenden, sowohl für die Feststoff- wie die Porenluftkriterien (Tabelle 2). Zusätzlich ist jedoch für die Entlassung aus dem Kataster die Beprobung des Grundwassers (GW) im unmittelbaren Abstrombereich von zentraler Bedeutung. Dies insbesondere auch deshalb, weil sowohl die Feststoff- als auch die Porenluftbeprobung unvermeidbare Unsicherheiten beinhalten.

Die Frage, welche Kriterien für eine Entlassung aus dem KbS eingehalten werden müssen, kann sich sowohl nach der Voruntersuchung, als auch nach der Sanierung stellen.

2.5.1 Kriterien für die KbS-Entlassung

Kriterien für CKW ausser für Vinylchlorid

Die Feststoff- und Porenluftkriterien gelten in Anlehnung an die Standortabgrenzungskriterien (vgl. Tab. 1). Zusätzlich ist auch das Grundwasserkriterium (GW) zu erfüllen. Letzteres ist für eine Entlassung dann erfüllt, wenn die Konzentration der vom Standort stammenden CKW (Differenz Zu- und Abstrombereich) im Abstrombereich unmittelbar beim Standort je Einzelstoff kleiner als $1 \mu\text{g/l}$ ist (für Vinylchlorid: kleiner als $0,25 \mu\text{g/l}$). Ebenfalls muss das Kriterium «Grundwasserfassung» erfüllt sein, d. h. es dürfen keine Stoffe, die vom Standort stammen, in einer Grundwasserfassung, die im öffentlichen Interesse liegt (nachfolgend Grundwasserfassungen genannt), über der analytischen Bestimmungsgrenze feststellbar sein. Nur wenn alle Werte von Tabelle 2 kumulativ erfüllt sind, kann der Standort aus dem KbS entlassen werden.

Tabelle 2
Kriterien zur Entlassung von CKW-Standorten aus dem KbS

Untersuchtes Medium	Kriterien für die Entlassung aus dem KbS	
Feststoff (FS) (Σ 7 LCKW gem. Anhang 3 u. 5 VVEA)		
→ Ungesättigte Zone	< $0,1 \text{ mg/kg}$ (U-Wert)*	
→ Gesättigte Zone (inkl. Schwankungsbereich)	< 1 mg/kg (B-Wert)**	
Porenluft (PL) (Halogenierte KW gem. Anhang 2 AltIV)	< $0,1 \text{ ml/m}^3$ (wenn keine Grundwasser (GW)-Messung) < 1 ml/m^3 (wenn GW-Kriterium erfüllt)	
Grundwasser (GW) (Differenz Zu-/Abstrom, je Einzelstoff)	< $1 \mu\text{g/l}$ für CKW ausser Vinylchlorid	< $0,25 \mu\text{g/l}$ für Vinylchlorid
Grundwasserfassung (GWF)	Es liegt kein altlastenrechtlicher Handlungsbedarf vor: Keine vom Standort stammenden CKW mit Gehalten über der Bestimmungsgrenze.	

* Der U-Wert (Wert für unverschmutzt) entspricht den Anforderungen für Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 1 der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)

** Der B-Wert entspricht den Anforderungen für auf Typ-B Deponien zugelassene Abfälle gemäss VVEA Anhang 5 Ziffer 2

Falls das Kriterium für Grundwasser überschritten ist, verbleibt der Standort im KbS. In der Regel besteht in diesen Fällen ein weiterer Untersuchungsbedarf, da mit der Voruntersuchung unerkannte Schadstoffquellen nicht ausgeschlossen werden können.

Auf Grundwasserproben kann nur in Ausnahmefällen verzichtet werden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine Grundwasserprobenahme nicht möglich ist (auch nach längerer Wartezeit kein Grundwassernachfluss in der Messstelle) oder weil der Aufwand für die Grundwasserprobenahme im Vergleich zur Bedeutung des Verdachtsmoments unverhältnismässig gross wäre (z. B. bei einem Grundwasserleiter mit sehr grossem Flurabstand). In diesem Fall sind jedoch die Anforderungen an die Porenluft- und Feststoffproben und die anschliessende Plausibilisierung der Resultate mit Hilfe der historischen Untersuchung entsprechend strenger. Insbesondere gilt dann für die Porenluft der tiefere Wert von $0,1 \text{ ml/m}^3$ (anstelle von 1 ml/m^3 , wenn das Grundwasser beprobt werden kann).

Bei der beurteilungsrelevanten Grundwasserbeprobung muss plausibel nachgewiesen werden, dass sich die beprobte Messstelle im unmittelbaren Abstrombereich des zur Entlassung vorgesehenen Standortes befindet und diesen repräsentativ erfasst. Dazu sind ausreichende Kenntnisse über die Standortabgrenzung und über die hydrogeologischen Verhältnisse (Grundwasserflussrichtung, Mächtigkeit der gesättigten Zone etc.) erforderlich.

Vor einer Löschung eines Standorts sind alle Daten untereinander und mit den Ergebnissen der historischen Untersuchung zu plausibilisieren. Zudem ist aufzuzeigen, dass die Untersuchungen (Sondierdichte, Probenrepräsentativität, Analysenspektrum usw.) ausreichend waren oder ob ein vertiefter Untersuchungsbedarf besteht.

Spezialfall Vinylchlorid

In der Praxis nimmt Vinylchlorid (VC) unter den chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) aufgrund seiner besonderen Eigenschaften eine Sonderstellung ein. VC tritt nur sehr selten als primärer Schadstoff auf und kann unter anaeroben Bedingungen als Abbauprodukt aus anderen CKW entstehen¹¹. VC ist äusserst flüchtig und auf-

¹¹ Für weitere Informationen zu VC siehe Anhang A

grund seiner Toxizität ist der Konzentrationswert (K-Wert) gemäss Anhang 1 der AltIV mit 0,5 µg/l äusserst tief.

Da der Konzentrationswert von VC mit 0,5 µg/l kleiner ist als das Grundwasserkriterium in Tabelle 2 (1 µg/l je CKW-Einzelstoff) könnten bei der Anwendung der Entlassungskriterien bei VC-Belastungen sogar sanierungsbedürftige Standorte entlassen werden. Deshalb gelten für VC-Standorte bezüglich dem unmittelbaren Abstrom andere Kriterien.

Ein VC-Standort kann gelöscht werden, wenn folgende zwei Bedingungen kumulativ erfüllt sind:

- Die VC-Konzentration im unmittelbaren Abstrombereich liegt dauerhaft unter 0,25 µg/l (= ½-Konzentrationswert), und
- die anderen Kriterien bezüglich CKW für eine Löschung gemäss Tabelle 2 sind erfüllt (Feststoff gesättigt, Feststoff ungesättigt, Porenluft und Grundwasserfassungen).

2.5.2 Kriterien für die KbS-Entlassung nach der Durchführung von Sanierungsmassnahmen

Da nach der Durchführung von Sanierungsmassnahmen die Emissionen des Standortes i.d.R. relativ gut bekannt sind und oft auch Daten der Überwachung vorliegen, gelten für eine Entlassung von CKW-Standorten auf dieser Stufe etwas weniger strenge Kriterien als auf der Stufe Vor-/Detailuntersuchung.

Nach der Durchführung von Sanierungsmassnahmen kann deshalb nach individueller Beurteilung des Standorts vom Qualitätskriterium Grundwasser (Differenz Zu- und Abstrom < 1 µg/l je Einzelstoff) abgewichen werden, wenn folgende Bedingungen **kumulativ** erfüllt sind:

- Unmittelbarer Abstrom: Nach den Sanierungsmassnahmen liegt kein altlastenrechtlicher Handlungsbedarf mehr vor, d. h. die Konzentrationen im Grundwasser unterschreiten die Vorgaben gemäss Artikel 9 Absatz 1 Buchstabe b oder c und Artikel 10 Absatz 1 Buchstabe b AltIV (< Überwachungsbedarf) und weisen eine konstante oder sinkende Tendenz auf.
- In den allenfalls betroffenen Grundwasserfassungen muss die Nutzung gewährleistet sein, d. h. es liegen kei-

ne vom Standort stammenden CKW über der Bestimmungsgrenze bzw. nach Anwendung von Artikel 18 i. V. m. Artikel 15 Absatz 2 AltIV über einem Gehalt von 1 µg/l (angepasstes Sanierungsziel¹²) je Einzelstoff vor.

- Der Kenntnisstand über die Art, Lage und Menge der Schadstoffe vor der Sanierung war ausreichend genau und plausibel.
- Die durchgeführten Sanierungsmassnahmen gemäss AltIV waren geeignet (Methode, Einsatzort usw.) und deren Durchführung erfolgte nach dem Stand der Technik.
- Die anderen Kriterien von Tabelle 2 bezüglich Feststoff gesättigt, Feststoff ungesättigt und Porenluft sind eingehalten.

Bezüglich der Kriterien für den unmittelbaren Abstrom sowie für Grundwasserfassungen (siehe auch Kapitel 5.5) ist eine abschliessende Beurteilung in der Regel erst nach einer entsprechenden Überwachung im Rahmen der Erfolgskontrolle der Sanierung möglich.

Bei Dekontaminationsarbeiten gilt es zu berücksichtigen, dass aufgrund der speziellen Stoffeigenschaften von CKW das Grundwasserkriterium von < 1 µg/l je Einzelstoff (Differenzbetrachtung) unter Umständen auch bei tieferen Feststoffgehalten als dem für den gesättigten Bereich vorgegebenen Höchstwert von 1.0 mg/kg (B-Wert) überschritten wird. Bei einer freiwilligen Festlegung eines Zielwertes von < 0,1 mg/kg (U-Wert) auch im gesättigten Untergrund sind die Erfolgsaussichten für die Erreichung der grundwasserspezifischen Anforderungen wesentlich besser.

Spezialfall Vinylchlorid

Der einzige Unterschied bei den Entlassungskriterien bei VC-Standorten, im Vergleich zu anderen CKW-Standorten, liegt darin, dass die VC-Konzentration im unmittelbaren Abstrom dauerhaft unter 0,25 µg/l (½-Konzentrationswert AltIV) liegt (siehe erster Punkt unter 2.5.2.). Alle anderen Kriterien sind gleich wie bei anderen CKW und müssen kumulativ erfüllt sein.

Das Entlassungskriterium bezüglich des unmittelbaren Abstrombereichs bedeutet, dass auch überwachungs-

¹² Zum Thema Abweichung vom Sanierungsziel siehe Kap. 4.5.

bedürftige Standorte gelöscht werden können (falls die anderen Kriterien auch erfüllt sind). Dies stellt zwar einen Systembruch dar, denn bei anderen CKW kann erst gelöscht werden, wenn kein altlastenrechtlicher Handlungsbedarf mehr vorliegt. Die Abweichung bei VC ist sinnvoll und praxistauglich, da der Wert von $0,05 \mu\text{g/l}$, welcher 10% des Konzentrationswerts entspricht, äusserst klein und nahe der Bestimmungsgrenze ist.

3 Voruntersuchung

Im 3. Abschnitt der AltIV (Art. 7 – 13) werden in Bezug auf die verschiedenen Schutzgüter die Kriterien festgelegt, wann ein Standort überwachungs- oder sanierungsbedürftig ist.

Für die Untersuchung und Beurteilung von CKW-Standorten gelten auch die übrigen BAFU-Vollzugshilfen. Aufgrund der speziellen Stoffeigenschaften von CKW gibt es bei der Untersuchung von CKW-Standorten jedoch einige Besonderheiten zu beachten. Über die technischen Aspekte gibt der *Expertenbericht Untersuchung von CKW-Belastungen (Oktober 2016)* einen ausführlichen Überblick.

3.1 Rechtliche Grundlagen

Mittels der Voruntersuchung (VU) gemäss Artikel 7 ff. AltIV sollen jene Angaben ermittelt werden, welche die Behörde zur Beurteilung der Frage benötigt, ob ein Überwachungs- oder Sanierungsbedarf besteht. Diese Voruntersuchung besteht aus einer historischen und einer technischen Untersuchung:

Die historische Untersuchung (HU) dient der Ermittlung der möglichen Ursachen für die Belastung des Standorts. Vor allem sollen damit die Vorkommnisse und die zeitliche und räumliche Entwicklung der Tätigkeiten am Standort sowie die Verfahren, nach denen am Standort mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist, eruiert werden (Art. 7 Abs. 2 AltIV). Erst auf Grundlage der historischen Untersuchung ist ein Pflichtenheft über den Gegenstand, den Umfang und die Methoden der technischen Untersuchung (TU) zu erstellen, welches der Behörde zur Stellungnahme vorgelegt werden muss. Die anschliessende technische Untersuchung dient der Ermittlung von Art und Menge der Stoffe am Standort, deren Freisetzungsmöglichkeiten und der Bedeutung der betroffenen Umweltbereiche (Art. 7 Abs. 4 AltIV).

Nach Vorliegen der Ergebnisse der Voruntersuchung beurteilt die Behörde, ob der untersuchte belastete Standort überwachungsbedürftig, sanierungsbedürftig (und damit eine Altlast im Sinne der AltIV) oder weder

überwachungs- noch sanierungsbedürftig ist und passt dementsprechend den KbS-Eintrag an (Art. 8 AltIV). Auch belastete Standorte, die weder überwachungs- noch sanierungsbedürftig sind, verbleiben im Kataster (Art. 6 Abs. 2 Bst. a AltIV e contrario). Anderes gilt nur, wenn die Voruntersuchung ergibt, dass der Standort nicht mit (altlastenrechtlich relevanten) umweltgefährdenden Stoffen belastet ist: dann wird der Katastereintrag gelöscht (Art. 6 Abs. 2 Bst. a AltIV). Vergleiche dazu auch Kapitel 2.5.1.

3.2 Historische Untersuchung

Im weiter oben zitierten Expertenbericht sind die wichtigsten Grundlagen der historischen Untersuchung bei CKW-Standorten aufgeführt und im *Leitfaden CKW*, Ziff. 1.2. finden sich mögliche CKW-Anwendungen bei verschiedenen Branchen oder bei einzelnen Prozessen. Die zwei häufigsten Anwendungsbereiche von CKW sind chemische Reinigungen und industrielle Entfettungen.

Bei historischen Untersuchungen von CKW-Standorten ist insbesondere wichtig, dass CKW z.B. Betonböden problemlos durchdringen können. Eine zentrale Frage ist daher, ob die Versiegelung während der gesamten Dauer des CKW-Einsatzes ausreichend war. Als ausreichende Versiegelung gilt erfahrungsgemäss lediglich eine Wanne aus Edelstahl, wobei auch aus solchen dampfförmige CKW über den Wannenrand in relevanten Mengen austreten können. Die grosse Mehrheit von Schutzanstrichen ist nachweislich als nicht ausreichende Versiegelung zu betrachten.

Aus diesem Grund sind als mögliche Ausbreitungspfade bei CKW insbesondere Tropfverluste, Leckagen, Abluft, Abwässer, Kanalisation, etc. speziell zu berücksichtigen. Dabei sind auf einem Areal die gesamten Stoffflüsse einer CKW-Anwendung von Anlieferung, Umschlag, Lagerung, Einsatz und Entsorgung (z. B. via Kanalisation) zu betrachten und ein Plan mit Risikoflächen für mögliche Belastungen zu erstellen.

Erfahrungsgemäss korrelieren die Wahrscheinlichkeit und das Ausmass einer CKW-Belastung nicht zwingend mit der im Betrieb eingesetzten CKW-Menge. Ein auf den eingesetzten Stoffmengen basierendes Bagatellkriterium kann daher bei CKW-Belastungen nicht angegeben werden. Bei grösseren eingesetzten CKW-Mengen jedoch besteht durchaus ein Zusammenhang zwischen grossen Einsatzmengen und grossen Schadenfällen.

3.3 Technische Untersuchung

Aufgrund der historischen Untersuchung wird das Pflichtenheft erstellt, zu welchem die Behörde vor Inangriffnahme der technischen Untersuchung in der Regel Stellung nimmt. Die *Vollzugshilfe Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten*¹³ gibt dazu Auskunft und gilt auch für CKW. Speziell wichtig bei CKW ist wie bereits unter 3.2. erwähnt, dass das Pflichtenheft alle Flächen mit möglichen Schadstoffbelastungen erfasst (Anlieferungs-, Umschlag- und Lagerflächen, Einsatzbereiche und Entsorgungswege, z. B. via Kanalisation).

Das Ziel der technischen Untersuchung ist die Klassierung des Standortes gemäss Art. 8 AltIV, welche bei CKW in aller Regel nur über eine Grundwasserbeprobung fundiert möglich ist. Das heisst, die Untersuchung des Grundwassers stellt die wichtigste Grundlage zur Bewertung von CKW-Standorten dar. Die Grundsätze sind in verschiedenen Vollzugshilfen erläutert^{14, 5}. Da für die Klassierung eine Grundwasserbeprobung im unmittelbaren Abstrombereich des Standortes erforderlich ist, kommt der Ermittlung des Schadenherdes und der Standortabgrenzung eine sehr grosse Bedeutung zu (vgl. Kapitel 2.2. und 2.3.).

Für die Ermittlung des Schadenherdes und der Standortabgrenzung können verschiedene Untersuchungsmethoden zum Einsatz kommen. Am häufigsten werden Porenluftanalysen¹⁵ und Feststoffanalysen eingesetzt, da diese effizient einsetzbar sind und den Standortkriterien

(Kapitel 2.2. und 2.3.) entsprechende Werte liefern. Insbesondere bei komplexen Fällen und rambarem Untergrund liefern auch Untersuchungen mit MIP (Membran Interface Probing) wertvolle Informationen zur Schadstoffverteilung. Je nach Art und Lage der CKW-Quelle und hydrogeologischem Modell müssen standortspezifisch die geeigneten und möglichen Untersuchungsmethoden abgeleitet werden. Für die Probenahmestrategie wird auf den *Expertenbericht Untersuchung von CKW-Belastungen, Kapitel 7.1.* verwiesen.

Resultate von Feststoffanalysen sind aufgrund der Flüchtigkeit von CKW und den damit verbundenen möglichen Verlusten bei Probenahme, Transport und Analyse für die Quantifizierung von CKW mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Dies gilt insbesondere für sehr flüchtige CKW wie Tri (Dampfdruck ca. 3 × so hoch wie Wasser), Cis (Dampfdruck ca. 9 × so hoch wie Wasser) oder VC (Dampfdruck ca. 126 × so hoch wie Wasser). Im Gegensatz dazu ist der mit Abstand am häufigsten auftretende CKW Per rund 40 % weniger flüchtig als Wasser und daher in Bezug auf Verdampfen vergleichsweise wenig problematisch. Sofern die Empfehlungen von Beilage 9 und Kapitel 7.3. des Expertenberichts Untersuchung von CKW-Belastungen bezüglich Probenahme, Transport und Analyse von Feststoffproben beachtet werden, können die Verluste minimiert werden und es resultieren insbesondere für Per in der Regel brauchbare Resultate.

Das verlustfreie Befüllen von Säulen für Eluattests gemäss *BAFU-Richtlinie Messmethoden⁵ im Abfall- und Altlastenbereich* ist bei CKW-Belastungen praktisch nicht möglich. Eluattests führen daher bei CKW-Belastungen höchstens zu qualitativen Aussagen resp. zu Minimalwerten. Da generell davon ausgegangen werden muss, dass vorhandene CKW stark eluierbar sind, erübrigt sich in den meisten Fällen eine Eluat-Untersuchung ohnehin.

Die Analyselabors stellen durch die vorschriftsmässige Ausführung der Analysemethoden gemäss Richtlinie⁵ 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 Untersuchungen von CKW-Belastungen zwingend.

13 Vollzugshilfe Pflichtenheft für die technische Untersuchung von belasteten Standorten (BAFU, 2000)

14 Vollzugshilfe Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten (BUWAL, 2003)

15 Vollzugshilfemodul Probenahme und Analyse von Porenluft (BAFU, 2015)

Die Ungenauigkeiten bei der CKW-Probenahme und der -Analyse lassen sich nicht vermeiden, sondern nur minimieren. Die Interpretation von Messwerten muss daher im Lichte dieser Ungenauigkeiten vorgenommen werden. Eine Ungenauigkeit bei der Probenahme entsteht beispielsweise durch Verschleppung von CKW oder bei Erwärmung der Proben (Kernbohrung).

Während bei Feststoffproben bei unsachgemässer Probenahme Verluste bis zu 100 % möglich sind, liegt bei Wasserproben der geschätzte Probenahmefehler bei ca. 20 %, falls die Vorgaben der *Vollzugshilfe Messmethoden im Abfall und Altlastenbereich* eingehalten werden.

Die durch Ringanalysen ermittelte Bestimmungsunsicherheit liegt bei CKW-haltigen Wasser- oder Feststoffproben in der Grössenordnung von $\pm 25\%$ bis $\pm 40\%$.

Diese Ungenauigkeiten und Unsicherheiten lassen sich reduzieren und relativieren, wenn mehrere Analysen durchgeführt werden und so die Resultate validiert werden können und sich somit ein stimmiges Gesamtbild ergibt.

4 Detailuntersuchung

Wird ein Standort im Anschluss an die technische Untersuchung als sanierungsbedürftig klassiert, ist als nächster Schritt eine Detailuntersuchung nötig. Im Rahmen der Detailuntersuchung und im Hinblick auf eine nachfolgende Sanierung werden gemäss Art. 14 AltIV als Grundlage für eine Gefährdungsabschätzung folgende Daten erhoben:

- a) Art, Lage, Menge und Konzentration der am belasteten Standort vorhandenen umweltgefährdenden Stoffe;
- b) Art, Fracht und zeitlicher Verlauf der tatsächlichen und möglichen Einwirkungen auf die Umwelt; sowie
- c) Lage und Bedeutung der gefährdeten Umweltbereiche.

Diese bereits bei der Voruntersuchung zumindest rudimentär erhobenen Daten müssen in der Detailuntersuchung verifiziert und verfeinert werden. Die Schadstoffverteilung im Untergrund (insbesondere die genaue Lage des Schadensherds/der Schadensherde) ist relevant für die spätere Wahl der geeigneten Sanierungsmethode/n und für die Standortabgrenzung. Diese kann durch die zusätzlichen Informationen Veränderungen erfahren (iterative Anpassung der Standortabgrenzung), was wiederum einen Einfluss auf die Abstrommessstellen und damit auf die Standortklassierung haben kann (vgl. Art. 14 Abs. 2 AltIV).

In Bezug auf die betroffenen Schutzgüter und für die Beurteilung allfälliger betroffener Grundwasserfassungen kommt ausserdem der Ermittlung der vom Standort abströmenden Schadstofffahne (im Grundwasser gelöste CKW) eine grosse Bedeutung zu.

Zum Einsatz kommen dabei mehrheitlich die gleichen Untersuchungsmethoden wie bei der Voruntersuchung. Fallweise können aber auch Spezialuntersuchungen sinnvoll sein. Deshalb werden in diesem Vollzugshilfemodul die beiden anspruchsvollen Methoden Immissionspumpversuche und Isotopenuntersuchungen näher erläutert. Für die Erkundung des Ausbreitungsmusters von CKW (z.B. Fahnenlage) oder für die Zuordnung von

CKW-Belastungen im Grundwasser zu verschiedenen Schadensherden sind diese speziell geeignet.

4.1 Rechtliche Grundlagen

Die im Rahmen der Detailuntersuchung zu eruiierenden Daten, welche in Artikel 14 Absatz 1 Buchstaben a bis c AltIV ausdrücklich aufgelistet sind, bilden die notwendige Entscheidungsgrundlage, damit die Behörde in einem nächsten Schritt die Ziele und die Dringlichkeit der Sanierung beurteilen kann. Weichen die Ergebnisse der Detailuntersuchung wesentlich von denjenigen der Voruntersuchung ab, so beurteilt die Behörde erneut, ob der Standort nach den Artikeln 9 – 12 AltIV sanierungsbedürftig ist (Art. 14 Abs. 2 AltIV). Diese ermittelten Angaben über Ziele und Dringlichkeit der Sanierung sind anschliessend im Kataster der belasteten Standorte zu ergänzen (Art. 6 Abs. 1 Bst. b AltIV).

Ziel der Sanierung ist gemäss Artikel 15 Absatz 1 AltIV die Beseitigung der Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen, die zur Sanierungsbedürftigkeit geführt haben. Wann eine solche Sanierungsbedürftigkeit vorliegt, ist in den Artikeln 9 – 12 AltIV näher bestimmt.

Von diesem Sanierungsziel wird bei der Sanierung zum Schutz des Grundwassers sowie bei der Sanierung zum Schutz der oberirdischen Gewässer abgewichen werden, wenn die folgenden Voraussetzungen vorliegen (Art. 15 Abs. 2 und 3 AltIV):

- Zunächst wird durch die Abweichung vom ursprünglichen Sanierungsziel (Beseitigung der sanierungsrelevanten Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen) die Umwelt gesamthaft weniger belastet (Bst. a)
- Durch die Umsetzung des Sanierungsziels würden unverhältnismässige Kosten anfallen (Bst. b).
- Schliesslich ist die Nutzbarkeit von Grundwasser im Gewässerschutzbereich A_U gewährleistet oder das oberirdische Gewässer (welches allenfalls mit Grundwasser ausserhalb des Gewässerschutzbereichs A_U in

Verbindung steht) erfüllt die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung an die Wasserqualität (Bst. c).

Eine Beurteilung, ob die Voraussetzungen für eine Abweichung vom Sanierungsziel nach Artikel 15 Absatz 2 und 3 AltIV vorliegen, ist erst nach Abschluss der Variantenstudie und nach Vorliegen des Sanierungsprojektes möglich.

Für die Beurteilung der *Dringlichkeit* ist das Gefahrenpotenzial des belasteten Standorts ausschlaggebend, konkret sein Schadstoffpotenzial (Art, Lage, Menge und Konzentration der Schadstoffe), sein Freisetzungspotenzial (Art, Fracht und zeitlicher Verlauf der Schadstoffflüsse) und die Lage und Bedeutung der gefährdeten Umweltbereiche (Art. 14 Abs. 1 Bst. a – c AltIV). *Besonders dringlich* sind Sanierungen, wenn die umweltgefährdenden Stoffe eine bestehende Nutzung – so beispielsweise eine in Betrieb stehende Grundwasserfassung – beeinträchtigen oder unmittelbar gefährden (Art. 15 Abs. 4 AltIV).

4.2 Frachtbetrachtungen

Im Falle von CKW-Belastungen wird die Fracht im Rahmen der Detailuntersuchung als wichtiges Beurteilungskriterium erachtet (vgl. Art. 14 Abs. 1 Bst. b AltIV). Zudem können Frachtbetrachtungen neben anderen Kriterien eine Grundlage darstellen, um die Abweichung vom Sanierungsziel gemäss Art. 15 Abs. 2 und 3 Bst. a AltIV beurteilen zu können (vgl. dazu nachfolgend Kapitel 4.5).

Die Fracht ist eines der Charakterisierungsmerkmale im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung und sie liefert somit einen wichtigen Beitrag zur Beurteilung der Dringlichkeit einer Sanierung. Untergeordnet liefern Frachtbetrachtungen auch einen Beitrag:

- zum besseren Standortverständnis,
- zur Priorisierung bei mehreren Belastungsherden,
- zur Festlegung der erforderlichen Massnahmen,
- zur Bewertung des Sanierungserfolgs und
- zur Bewertung eines Sanierungsunterbruchs (siehe dazu auch Kapitel 5.3.).

Die Fracht dient also nicht der Standortklassierung. Hierzu sind einzig die Konzentrationswerte der AltIV massgebend.

Definition und Grundlagen

Die CKW-Fracht bei belasteten Standorten wird definiert als die mit dem Grundwasser vom Standort abströmende Menge CKW [g oder kg] pro Zeiteinheit [d oder a] und wie folgt ausgedrückt:

$$\text{Fracht} = K \times i \times A \times c$$

Mit:

K = *hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert oder hydraulische Leitfähigkeit [m/s]*

i = *Gefälle oder hydraulischer Gradient [–]*

A = *Querschnittsfläche der Schadstofffahne in der Kontrollebene [m²]*

c = *mittlere Konzentration [g/m³]*

Die zur Bestimmung der Fracht zentralen technischen Aspekte zu den Parametern, zur Lage des betrachteten Fahnenquerschnitts, sowie zur Beprobungsstrategie sind dem *Expertenbericht Fracht*¹⁶ zu entnehmen.

Lösungsansatz zur Bewertung der Fracht

Im Rahmen der Plattform ChloroNet wurde als Hilfsmittel ein pragmatisches Bewertungsmodell zur Beurteilung der Dringlichkeit einer Sanierung entwickelt, welches neben der Fracht auch den Einfluss der Schadstoffemission sowie die Bedeutung des betroffenen Schutzgutes berücksichtigt.

Das Bewertungsmodell besteht aus einer zweistufigen Bewertung:

Aus der Frachtabschätzung sowie einer Abschätzung ihres Einflusses auf das Schutzgut wird die sogenannte Frachtintensität ermittelt.

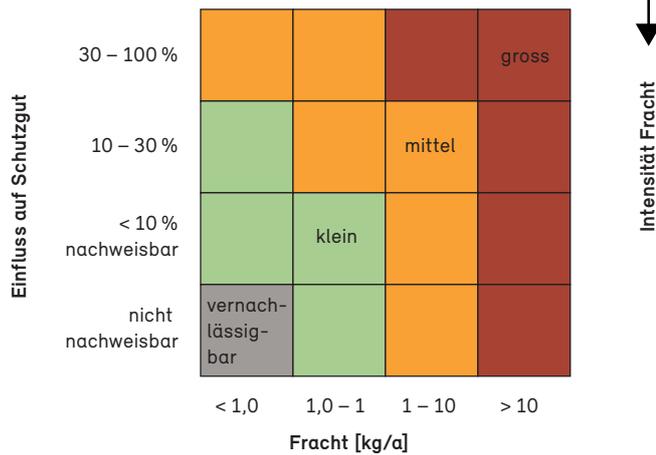
Aus der Kombination der Frachtintensität und der Bedeutung des Schutzgutes ergibt sich die Grobeinstufung für die Dringlichkeit einer Sanierung aufgrund der Fracht.

¹⁶ Anwendung von Frachtbetrachtungen bei mit chlorierten Kohlenwasserstoffen belasteten Standorten (im Auftrag des BAFU, Oktober 2014)

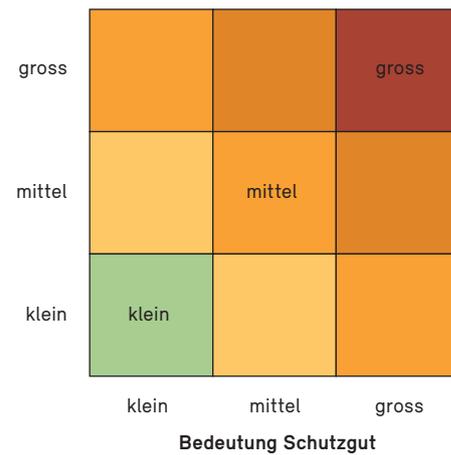
Abbildung 3

Darstellung des zweistufigen Bewertungsmodells für die Dringlichkeit einer Sanierung aufgrund der Fracht

1. Einstufung Intensität der Fracht



2. Einstufung Dringlichkeit aus Sicht Fracht



Der Lösungsansatz soll nicht zu einer strikten Einstufung führen, sondern eine Grobeinstufung aufgrund der Fracht erlauben. Der Ansatz soll weiterhin einen gewissen Spielraum für Einzelbeurteilungen unter Mitberücksichtigung von zusätzlichen Faktoren bieten.

Kriterium Fracht

Die Fracht für einen Fahnenquerschnitt ist im Abstrombereich unmittelbar beim Standort zu bestimmen.

Die Fracht wird in vier Grössenordnungen <0,1/0,1 – 1/1 – 10/> 10 kg/a eingeteilt. Diese Einteilung ist zweckdienlich für die Summe der typischen CKW-Einsatzstoffe Per und Tri und gilt für den Grossteil der CKW-Standorte. Bei anderen toxisch relevanten Stoffen (z. B. VC) ist eine andere Differenzierung gemäss der entsprechenden Schadstoffrelevanz erforderlich.

Die Grössenordnungen sollen auch der recht grossen Bestimmungsungenauigkeit der Fracht im Rahmen von Detailuntersuchungen Rechnung tragen. Wenn der abgeschätzte Fehler der Fracht über diese Grössenordnungen hinausgeht, ist die Datengrundlage nicht ausreichend für diesen Lösungsansatz.

Kriterium Einfluss auf das Schutzgut

Das Kriterium «Einfluss auf das Schutzgut» beschreibt den Anteil der vom Standort stammenden Belastung

bezogen auf die Gesamtbelastung (= auch von anderen Standorten oder Eintragsquellen stammende Belastung) im relevanten Schutzgut. Die Belastung kann dabei als Fracht und/oder Konzentration ausgedrückt werden.

Das zu betrachtende Schutzgut und der Betrachtungspunkt können dabei variabel sein. Dies kann beispielsweise ein definierter Kontrollquerschnitt innerhalb des betroffenen Grundwasserleiters oder eine Grundwasserfassung im weiteren Abstrombereich sein. Denkbar ist z. B. auch eine Betrachtung eines Oberflächengewässers, in welches das belastete Grundwasser exfiltriert. Bei verschiedenen Betrachtungspunkten ist der ungünstigste Fall für die Gesamtbewertung massgebend.

Das Kriterium «Einfluss auf das Schutzgut» ist eine schwierig bestimmbare Grösse. Eine detaillierte Ermittlung würde meist einen grossen Bohrdatensatz, Modellierungen, Färbeversuche und/oder Isotopenanalysen etc. erfordern. In der Regel erlauben aber grobe Abschätzungen, basierend auf den vorhandenen Kenntnissen, durchaus eine Einstufung in folgende Kategorien:

- Einfluss nicht nachweisbar
- < 10 % (noch nachweisbar aber sehr untergeordnet)
- 10 % – 30 % (untergeordnet)
- 30 % – 100 % (signifikant bis ausschliesslich)

Die Bewertung dieses Kriteriums basiert auf folgenden Überlegungen: Wenn der zu betrachtende Standort der einzige ist, welcher in das Schutzgut emittiert, ist sein Einfluss 100%. Er ist damit allein verantwortlich für die allenfalls vorhandene Gefährdung des Schutzguts. Eine Sanierung dieses Standortes würde somit zur vollständigen Problemlösung im Schutzgut führen.

Kriterium Bedeutung Schutzgut

Das Kriterium «Bedeutung Schutzgut» berücksichtigt verschiedene Eigenschaften eines Schutzgutes, welche fallbezogen zu definieren sind. Neben der Grösse und der Qualität des Grundwasserleiters können z. B. der Ertrag von Fassungen sowie deren Bedeutung für die lokale oder regionale Versorgungssicherheit zu betrachtende Eigenschaften sein. Da hierzu keine fixen Kenngrössen vorhanden sind, ist lediglich eine zu begründende Grobeinstufung in «klein/mittel/gross» möglich.

Abstufungen des Bewertungsmodells

Die Abstufungen, welche für das oben beschriebene Bewertungsmodell gewählt wurden, sind vor allem in der zweiten Stufe (2. Matrix) flussend. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass es sich bei den Kriterien «Einfluss auf das Schutzgut» und «Bedeutung Schutzgut» nur um Abschätzungen handelt.

Die etwas asymmetrische Abstufung bei der ersten Stufe ist auf folgende Überlegungen zurückzuführen: Einerseits wurde dabei berücksichtigt, dass eine kleine bis sehr kleine Fracht nicht zu einer hohen Intensität führt, nur weil es sich um den einzigen Standort-Emittenten handelt. Wenn die Intensität vernachlässigbar ist, besteht keine Dringlichkeit mehr. Andererseits wird eine Fracht von grösser als 10 kg CKW pro Jahr unabhängig von Einfluss auf das Schutzgut als grosse Intensität bewertet. Es handelt sich dabei natürlich um eine strategische Bewertung, welche sich ausschliesslich auf den Standort selbst fokussiert.

Anwendungsbeispiele für diesen Lösungsansatz sowie weiterführende Informationen sind im *Expertenbericht Fracht* zu finden.

Mindestanforderungen

Nur wenn folgende Bedingungen kumulativ erfüllt sind, soll der Lösungsansatz angewendet werden:

- Die Datengrundlage weist eine ausreichende Qualität auf:
 - Die Berechnungsgrundlagen (Rohdaten) sind vorhanden und plausibel.
 - Die zugehörige Fehlerbetrachtung ist plausibel und der Fehler überschreitet nicht das Raster der Grobeinstufung.
- Die Schadstofffahne expandiert nicht, d. h. sie ist stationär oder am Ausklingen.
- Der Lösungsansatz gilt für den Schadstoff aus der Schadstoffquelle (z. B. Per oder Tri). Abbauprodukte werden nicht betrachtet. Wenn diese in relevanter Menge vorkommen, muss für diese eine separate Betrachtung durchgeführt werden.
- Die Nutzbarkeit von Grundwasserfassungen im Abstrombereich (aktuell oder geplant) ist immer gewährleistet. Andernfalls sind weitere Massnahmen erforderlich.

4.3 Anwendung von Immissionspumpversuchen

Im Rahmen der Detailuntersuchung und insbesondere für die Frachtbestimmung können Immissionspumpversuche (IPV) eine hilfreiche Untersuchungsmethode sein. Aus diesem Grund wurden die Möglichkeiten der Anwendbarkeit von IPV im Rahmen einer ChloroNet-Arbeitsgruppe untersucht und beurteilt. Die ausführliche Darstellung dazu findet sich im *Expertenbericht IPV*¹⁷.

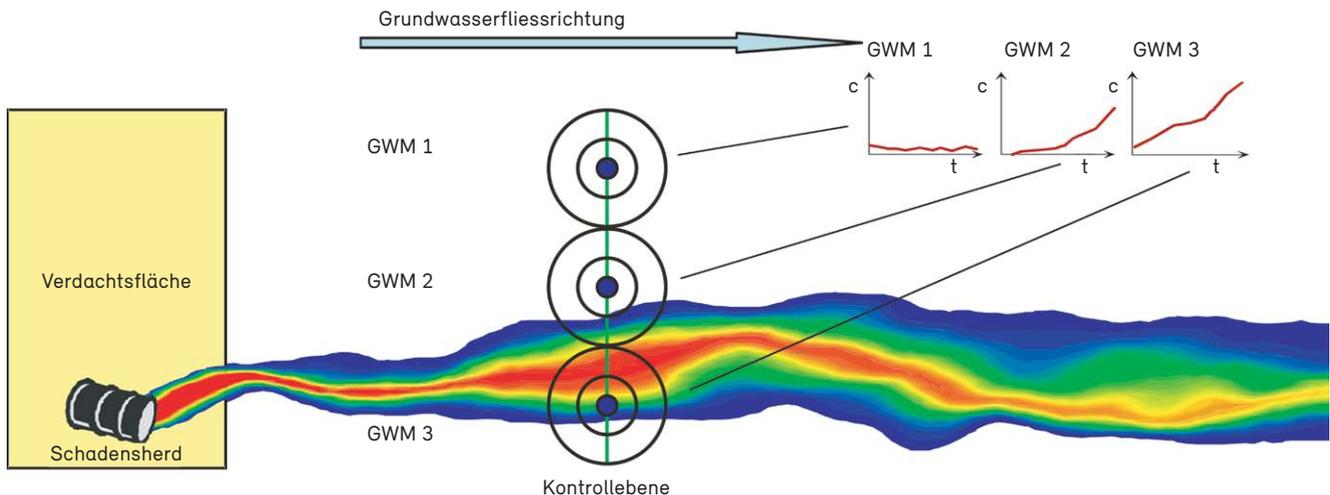
Definition

Ein IPV ist ein hydrogeologischer Feldversuch zur Bestimmung der Schadstofffracht über eine Kontrollebene (siehe Abb. 4) in einem Aquifer. Neben der Erfassung der Schadstofffracht ermöglichen IPV auch eine quantitative Bestimmung der Konzentrationsverteilung (Immission) entlang der Kontrollebene und damit Rückschlüsse auf Schadstofffahnen und Schadstoffherde.

¹⁷ Anwendung von Immissionspumpversuchen (IPV) in der Schweiz, Expertenbericht der ChloroNet-Projektgruppe IPV (im Auftrag des BAFU, November 2016)

Abbildung 4

Prinzip eines Immissionspumpversuches mit drei Grundwassermessstellen (GWM) entlang einer Kontrollebene (nach Teutsch et al., 2000)



Fazit und Empfehlungen

Die Pilotversuche im Rahmen von ChloroNet haben gezeigt, dass die Anwendung von IPV zwar relativ hohe fachliche Anforderungen stellt und einen beträchtlichen Aufwand erfordert, dafür aber belastbare Ergebnisse liefern kann. Mit den IPV konnten trotz gewisser Einschränkungen im Hinblick auf die Homogenität des Grundwasserleiters plausible Fahnenlagen, Konzentrationsverteilungen und Frachten berechnet werden. Im durchgeführten Beispiel standen die Resultate gut im Einklang mit den unabhängig ermittelten Ergebnissen aus früheren Untersuchungen.

4.4 Isotopenuntersuchungen

Bei komplexeren Fällen können Isotopenuntersuchungen spezifische Wissenslücken schliessen, welche mithilfe von anderen Methoden nicht eruiert werden können. Im Rahmen von ChloroNet wurde dieses Verfahren an Fallbeispielen geprüft.

Als Isotope bezeichnet man Atomarten, deren Atomkerne gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen enthalten. Sie haben die gleiche Ordnungszahl, stellen daher das gleiche Element dar, weisen aber verschiedene Massenzahlen auf. Die Isotopenanalysen basieren auf diesem Phänomen. Stabile Isotope sind nicht radioaktiv, d. h. sie zerfallen nicht oder sind zumin-

dest sehr langlebig. Beispielsweise Kohlenstoff (C) hat zwei stabile Isotope deren allgemeines Verhältnis in der Umwelt verschieden ist: ^{12}C (98,89 %) und ^{13}C (1,11 %).

Isotopenuntersuchungen ermitteln durch Massenspektrometrie den Anteil von Isotopen eines chemischen Elementes innerhalb einer Probe. Isotopen-Werte bzw. Isotopenverhältnisse werden auf einen internationalen Standard bezogen und als Abweichungen davon in Promille (‰) angegeben.

Die Isotopenfraktionierung ist die Verschiebung des Verhältnisses der stabilen Isotope durch chemische, physikalische und biologische Vorgänge.

Anwendungsgebiete

Zum Einsatz kommen Isotopenmethoden während der Detailuntersuchung. Aber auch im Rahmen der Sanierungsuntersuchung können Isotopenuntersuchungen wichtige Hinweise liefern.

CKW-haltige Produkte können herstellungsbedingt unterschiedliche Isotopensignaturen haben. Da beim biologischen Abbau zudem bevorzugt die Moleküle mit den leichteren Isotopen (z. B. ^{12}C) abgebaut werden, reichern sich die Moleküle mit den schwereren Isotopen (z. B. ^{13}C) mit der Zeit relativ an. Für die Charakterisierung und Untersuchung von CKW-Belastungen lassen sich isotopische Methoden für folgende Anwendungen einsetzen:

- Zuordnung von CKW-Belastungen im Grundwasser zu Schadensherd(en) aufgrund unterschiedlicher Signaturen (z. B. anhand von C-Cl-Signaturen)
- Herkunftsbestimmung der Raumluft-Schadstoffe (Ausgasung aus Boden/Grundwasser vs. interne Quelle)¹⁸
- Feststellen und Quantifizieren des biologischen Abbaus (insbesondere, ob auch VC weiter abgebaut wird oder nur Verdünnung/Sorption stattfindet)
- Abschätzung der Fahnenentwicklung – wenn diese Methode angewendet wird, um die Kenntnislücken über die hydrogeologischen Bedingungen zu schliessen.

Grenzen von Isotopenuntersuchungen

Fallweise können standortspezifische Faktoren wie z. B. zu tiefe CKW-Gehalte (Unterschreitung der Nachweisgrenze für Isotopen-Analyse) oder die mögliche Verwendung gleicher CKW-Produkte mit identischer Isotopensignatur auf verschiedenen Standorten die Anwendbarkeit resp. die Aussagekraft dieser Methoden einschränken. Wenn es darum geht, verschiedene Schadstoffquellen mittels Isotopenanalysen zu differenzieren, kann der biologische Abbau ein limitierender Faktor sein, da der biologische Abbau den Wert der Isotopensignatur des ursprünglich eingesetzten Schadstoffs verändert. Um den ursprünglichen Wert der Isotopensignatur zu bestimmen, ist es möglich, den biologischen Abbau mathematisch mit-einzubeziehen. Allerdings setzt dies voraus, dass die Isotopensignaturen der Abbauprodukte gemessen werden können und zusätzlich wird die Ungenauigkeit des Schlusswertes dadurch erhöht. Isotopenanalysen müssen aus diesen Gründen als ergänzendes Instrument angesehen werden, welches zu einem besseren Verständnis der Situation bezüglich des Ursprungs und der Entwicklung der CKW-Belastung beiträgt.

4.5 Abweichung vom Sanierungsziel gemäss Art. 15 AltIV

Die Voraussetzungen für eine Abweichung vom Sanierungsziel sind in Art. 15 Abs. 2 (für Grundwasser) und Abs. 3 (für oberirdische Gewässer) AltIV aufgeführt (vgl. rechtliche Grundlagen Ziff.4.1.). Da die CKW-Altlastproblematik in den meisten Fällen das Grundwasser

betrifft, wird an dieser Stelle lediglich auf Absatz 2 (Grundwasser) eingegangen.

Im Gewässerschutzbereich üB muss beim Abweichen vom Sanierungsziel gemäss Anhang 2 Ziffer 21 Absatz 1 GSchV in der Regel lediglich der Grundsatz, dass die Konzentration der Stoffe von Anhang 2 Ziffer 22 GSchV im zeitlichen Verlauf nicht stetig zunehmen darf, erfüllt sein.

Die nachfolgenden Ausführungen gelten für den Gewässerschutzbereich A_U.

Vom Sanierungsziel wird bei der Sanierung zum Schutz des Grundwassers abgewichen, wenn die folgenden Voraussetzungen vorliegen (Art. 15 Abs. 2 AltIV):

1. Zunächst wird durch die Abweichung vom ursprünglichen Sanierungsziel (Beseitigung der sanierungsrelevanten Einwirkungen oder der konkreten Gefahr solcher Einwirkungen) die Umwelt gesamthaft weniger belastet (Bst. a)
2. Durch die Umsetzung des Sanierungsziels würden unverhältnismässige Kosten anfallen (Bst. b).
3. Schliesslich ist die Nutzbarkeit von Grundwasser im Gewässerschutzbereich A_U gewährleistet oder das oberirdische Gewässer (welches allenfalls mit Grundwasser ausserhalb des Gewässerschutzbereichs A_U in Verbindung steht) erfüllt die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung an die Wasserqualität (Bst. c).

Im *Vollzugshilfemodul «Sanierungsbedarf sowie Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung»* werden die drei Voraussetzungen für eine Abweichung sowie die Fragen, an welchem Ort welche Anforderungen für Grundwasser gelten, genauer erläutert. Für CKW gelten diese Ausführungen ebenfalls und werden teilweise hier konkretisiert.

Auf der Stufe Detailuntersuchung können die Umweltbelastung, die Verhältnismässigkeit der Kosten sowie die Wasserqualität lediglich abgeschätzt werden. Die Datengrundlage für eine fundierte Beurteilung dieser drei Punkte ist in der Regel erst nach der Variantenstudie und der Ausarbeitung des Sanierungsprojektes für die optimale Sanierungsvariante vorhanden. Gemäss Artikel 18 Absatz

¹⁸ Siehe dazu ChloroForum Workshop 2017.

1 Buchstabe e AltIV prüft die Behörde im Rahmen ihrer Beurteilung des Sanierungsprojektes auch die Voraussetzungen für eine Abweichung vom Sanierungsziel.

In Abb. 5 sind das Vorgehen beim Abweichen vom Sanierungsziel bei CKW-Standorten, resp. die Fragen, welche zu beantworten sind, schematisch dargestellt.

Gesamthaft tiefere Umweltbelastung

In gewissen Fällen kommt es vor, dass die Sanierungsmethode, welche es erlaubt, das Sanierungsziel zu erreichen, einen zu beträchtlichen ökologischen Eingriff (z. B. Aushub in einem sensiblen Milieu und Entsorgung der Abfälle in einer entfernten Deponie) mit sich bringt. Dann kann eine sanftere Methode (z. B. in-situ-Sanierung) in Betracht gezogen werden, insofern sie eine erhebliche Verbesserung der Situation herbeiführt.

Unverhältnismässige Kosten

Bezüglich der Kosten von CKW-Sanierungen wurde eine nicht repräsentative Umfrage durchgeführt, welche die Kosten pro kg entferntes CKW angibt. Eine Zusammenstellung ist in Anhang B, Kriterium 17, aufgeführt. Die darin enthaltene Abstufung stellt jedoch keine absolute Skalierung dar, sondern dient lediglich als eine mögliche Vergleichsgrösse.

Nutzbarkeit von Grundwasser

Für Grundwasser im Gewässerschutzbereich A_U muss die Nutzbarkeit bei einer allfälligen Abweichung vom Sanierungsziel immer noch gewährleistet sein.

In denjenigen Teilen des Gewässerschutzbereichs A_U , welche tatsächlich genutzt sind oder zur Nutzung vorgesehen sind (siehe Abb. 5 blaue Bereiche), d. h. in der Grundwasserfassung selbst, in Grundwasserschutz-zonen, in den Einzugsgebieten (EZG) bestehender und zukünftiger Fassungen (d. h. von Grundwasserschutz-arealen) ist die Nutzbarkeit von Grundwasser gemäss Anh. 2 Ziff. 22 GSchV gewährleistet, wenn die Konzentration unter dem Anforderungswert von $1 \mu\text{g/l}$ je Einzelstoff CKW¹⁹ liegt.

Bei CKW-Standorten, die aufgrund der Überschreitung des halben Konzentrationswertes der AltIV sanierungsbedürftig sind, gibt es keinen Spielraum bei der Anpassung des Sanierungsziels da der Anforderungswert von $1 \mu\text{g/l}$ kleiner als der halbe Konzentrationswert ist. Anders sieht es bei CKW-Standorten aus, bei denen die vom Standort stammenden Stoffen in der Grundwasserfassung knapp oberhalb der Bestimmungsgrenze (BG) vorkommen. Bei diesen Standorten wird das Sanierungsziel von der Bestimmungsgrenze auf $1 \mu\text{g/l}$ angepasst (falls die anderen Voraussetzungen zum Abweichen gemäss Art. 15 ebenfalls erfüllt sind).

In der Praxis ist es nicht immer klar, ob der belastete Standort in einem Einzugsgebiet, also im blauen Bereich der Abb. 5 liegt oder nicht, da dieses nicht im Bundesrecht definiert ist und seine Ausdehnung auch von hydrogeologischen Faktoren und der effektiven Grundwassernutzung (Pumpmenge) abhängt. Aus diesem Grund wird anstelle des Einzugsgebietes der Zuströmbereich herangezogen. Dieser ist rechtlich definiert (Art. 29 Abs. 1 Bst. c GSchV). Er umfasst das Gebiet, aus welchem bei niedrigem Wasserstand etwa 90% des Wassers stammen, das in einer Grundwasserfassung höchstens entnommen werden darf (Anh. 4 Ziff. 113 GSchV). Für dessen Festlegung gibt es die *Praxishilfe zur Bemessung des Zuströmbereichs Z_U* (BAFU, 2005).

In denjenigen Teilen des Gewässerschutzbereichs A_U , welche zwar nutzbar sind, die aber weder tatsächlich genutzt, noch zur Nutzung vorgesehen sind (Abb. 5 gelbe Bereiche), sind gemäss Anhang 4 Ziff. 111 Abs. 2 Bst. b GSchV die Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung an Trinkwasser, nötigenfalls nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren, einzuhalten. Die Anforderungen an Trinkwasser sind in der Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV, SR 817.022.11) aufgeführt. Da der Wert der TBDV bei CKW oft kleiner als der halbe Konzentrationswert gemäss Anh. 1 der AltIV ist, gib es auch in den gelben Bereichen des A_U keinen oder wenig Spielraum bei der Anpassung der Sanierungsziele. Die Anpassung des Sanierungsziels erfolgt also in den gelben Bereichen bis zum Wert der TBDV. Zu berücksichtigen ist auch der Summenwert von maximal $10 \mu\text{g/l}$ für flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe mit einem Grund-

¹⁹ Gilt nicht für Vinylchlorid

gerüst von 1 bis 3 C-Atomen und keinen weiteren funktionalen Gruppen gemäss Anhang 2 TBDV.

Ein weiterer Fall sind Standorte, die zwar im A₀ liegen, wo aber eine Trinkwassergewinnung wegen der geringen Grundwassermächtigkeit technisch nicht möglich ist, bzw. wegen der dichten Besiedlung rechtlich nicht möglich wäre, da keine rechtskonformen Grundwasserschutz-zonen mehr ausgeschieden werden könnten (grüner Standort in Abb. 5). Hier besteht lediglich die konkrete Vorgabe gemäss Anh. 2 Ziff. 21 Abs. 1 GSchV, dass die Konzentration der Stoffe von Anhang 2 Ziffer 22 GSchV (im zeitlichen Verlauf) nicht stetig zunehmen darf. Die Sanierungsziele können nicht beliebig erhöht werden. Bei der Beurteilung, wie weit von den ursprünglichen Sanierungszielen abgewichen werden kann, ist nicht nur die Grundwassersituation direkt beim Standort massgebend, sondern es sind auch die Auswirkungen auf die Grundwasserqualität im weiteren Abstrombereich zu beachten. Wenn beispielsweise in einem Gewässerschutzbereich A₀ direkt beim belasteten Standort selbst zwar keine Grundwassernutzung möglich ist, diese aber im weiteren Abstrombereich grundsätzlich möglich wäre, muss sichergestellt werden, dass dort die Trinkwasserqualität trotz Anhebung des Sanierungsziels eingehalten bleibt.

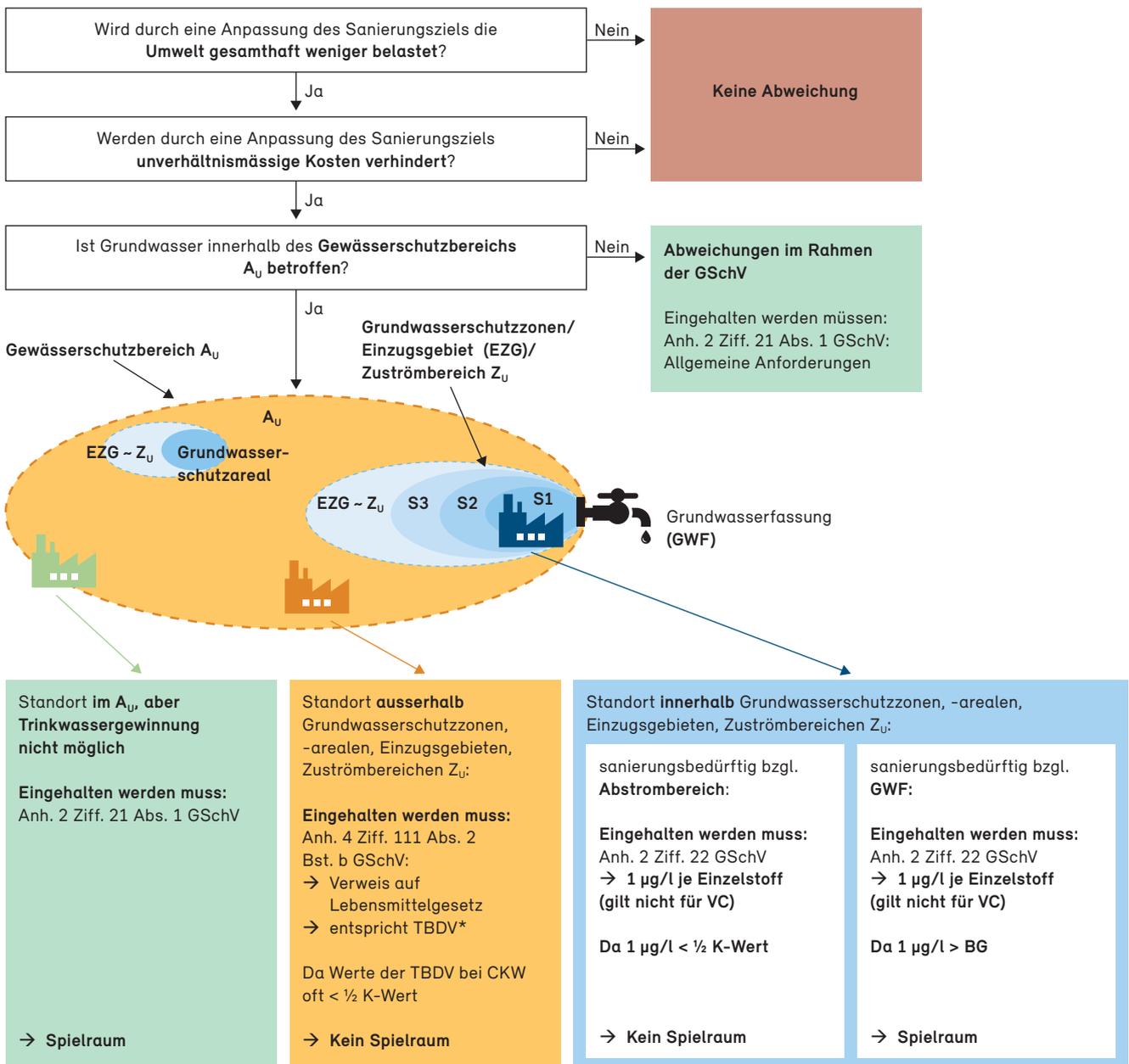
Achtung bitte beachten:

Die obigen Ausführungen und Abb. 5 zeigen auf, unter welchen Bedingungen und bis wie weit die ursprünglichen Sanierungsziele nötigenfalls anzupassen sind. In den weitaus meisten Fällen werden diese Bedingungen nicht erfüllt sein, so dass die nach der Detailuntersuchung festgelegten Sanierungsziele weiterhin Bestand haben. Ein Anpassen der ursprünglichen Sanierungsziele ist in gewissen Sinne ein «Notausgang» und nur in den wenigen Fällen zulässig, wo sonst unverhältnismässige Kosten entstehen und eine Verschlechterung der Umweltsituation zu gewärtigen wäre. Dabei müssen die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung stets eingehalten werden. Das Abweichen setzt einen Wissenstand voraus, der erst nach dem Sanierungsvariantenstudium vorliegt.

Abbildung 5
Spielraum für die Anpassung des Sanierungsziels beim Schutzgut Grundwasser

Abweichen vom Sanierungsziel beim Schutzgut Grundwasser

Die Behörde überprüft folgende Voraussetzungen im Rahmen der Beurteilung des Sanierungsprojektes:
(Art. 18 Abs. 1 Bst. e i. V. m. Art. 15 Abs. 2 AltIV)



* Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen (TBDV SR 817.022.11)

5 Sanierung

Sanierungen von CKW-Belastungen erweisen sich aufgrund der besonderen Stoffeigenschaften und vorhandener Untergrundheterogenitäten oft als komplex – nicht selten werden die Sanierungsziele deshalb nicht erreicht. Für folgende Themen wurden der CKW-Problematik angepasste Lösungen im Rahmen von ChloroNet-Arbeitsgruppen erarbeitet:

- Erreichung der Sanierungsziele bezüglich Trinkwasserfassung
- Sanierungsunterbruch
- Sanierungsaufschub für Vinylchlorid-Standorte

5.1 Rechtliche Grundlagen

Die Durchführung der Sanierung wird in den Artikeln 16 bis 19 AltIV näher geregelt: Als Sanierungsmassnahmen kommt einerseits die Dekontamination (z. B. In-Situ-Sanierung) des belasteten Standorts (Art. 16 Bst. a AltIV) in Betracht, d. h. Massnahmen, mit denen die umweltgefährdenden Stoffe beseitigt werden. Andererseits ist die Sicherung des belasteten Standorts (Art. 16 Bst. b AltIV) vorgesehen, d. h. Massnahmen, mit denen die Ausbreitung oder Freisetzung der umweltgefährdenden Stoffe langfristig verhindert wird (z. B. Versiegelung des Standorts). Die Sicherung ist für Sanierungen von CKW grundsätzlich nicht geeignet.

Die Behörde verlangt, dass unter Berücksichtigung der Ziele und der Dringlichkeit der Sanierung das Sanierungsprojekt auszuarbeiten ist (Artikel 17 AltIV). Das Projekt soll insbesondere Aufschluss geben über die Sanierungsmassnahmen und deren Wirksamkeit, die Erfolgskontrolle und den Zeitbedarf, die Auswirkungen dieser Massnahmen auf die Umwelt und die nach der Sanierung allenfalls verbleibende Umweltgefährdung.

Danach prüft die Behörde das ihr vorgelegte Sanierungsprojekt gemäss Artikel 18 Absatz 1 AltIV, wobei sie unter anderem die langfristige Wirksamkeit der Massnahme berücksichtigt und ob die Voraussetzungen zum Abweichen vom Sanierungsziel gemäss Artikel 15 Absätze 2 und 3 AltIV erfüllt sind (Buchstaben b und e). Die Behörde

erlässt im Anschluss eine Sanierungsverfügung. Das Ziel der Sanierung ist die Beseitigung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen (Quellenstopp). Als letzte Phase sind der Behörde die durchgeführten Massnahmen zu melden und es ist nachzuweisen, dass die Sanierungsziele erreicht worden sind (Artikel 18 Absatz 2 und Artikel 19 AltIV). Falls dies der Fall ist, wird der Katastereintrag entsprechend angepasst.

5.2 Variantenstudie

Zu Beginn der Erarbeitung des Sanierungsprojekts gilt es, aus den vielfältig möglichen Massnahmen die geeignete bzw. optimale Variante zu bestimmen, damit die Sanierung erfolversprechend, dem Stand der Technik gemäss, wirtschaftlich und umweltgerecht umgesetzt werden kann. Im Vollzugshilfemodul «*Evaluation von Sanierungsvarianten*» (BAFU, 2014) ist das Vorgehen zur Wahl der optimalen Sanierungsvariante anhand eines stufenweise strukturierten, kriteriengestützten Vorgehens erläutert.

Bei grösseren, komplexeren CKW-Standorten kann es sinnvoll sein, mindestens eine Zweitmeinung bei anderen Experten einzuholen. Ein Beispiel für die Zusammenarbeit mit Experten ist die moderierte Expertenbeteiligung, wo bis dahin externe, mit dem Fall nicht vertraute, Gutachter die Situation analysieren und ihre Meinung zu den bisherigen Untersuchungen sowie zu den durchgeführten oder geplanten Massnahmen abgeben.

5.3 Sanierungsunterbruch

Bei CKW-Sanierungen werden die Sanierungsziele trotz umfangreicher Massnahmen häufiger nicht erreicht als bei Sanierungen von anderen Schadstoffen. Wenn absehbar ist, dass auch beim Weiterführen der Sanierungsmassnahmen das Sanierungsziel nicht erreicht wird, kann ein Sanierungsunterbruch in Betracht gezogen werden.

Definition

Bei einem Sanierungsunterbruch wird trotz Vorliegens eines Sanierungsbedarfs nach Art. 9–12 AltIV auf die

Anordnung von weiteren Sanierungsmassnahmen verzichtet bis:

- wesentliche neue Erkenntnisse über den Standort vorliegen (Schadstoffverteilung etc.), oder
- die Ergebnisse der Überwachung darauf hinweisen, dass eine neue Gefährdungsabschätzung vorgenommen werden muss, oder
- eine Zustandsänderung (z. B. bauliche Veränderung) stattfindet, welche entweder einen Eingriff in die Belastung darstellt oder eine neue Zugänglichkeit zur Belastung ermöglicht, oder
- eine neue geeignete Sanierungstechnik zur Verfügung steht, oder
- aufgrund einer Veränderung der Marktbedingungen eine bisher als wirtschaftlich nicht tragbar eingestufte Sanierungstechnik zu günstigeren Konditionen verfügbar wird.

Solange keines der genannten Kriterien erfüllt ist, kann der Verzicht auf Sanierungsmassnahmen aus Gründen der Rechtssicherheit nicht widerrufen werden.

Während der Dauer des Sanierungsunterbruchs bleibt der Standort weiterhin als sanierungsbedürftig klassiert und es besteht ausserdem gemäss Artikel 13 Absatz 2 Buchstabe b AltIV ein Überwachungsbedarf.

Mindestanforderungen für einen Sanierungsunterbruch

Damit überhaupt über einen allfälligen Sanierungsunterbruch diskutiert werden kann, muss ein plausibles Gesamtbild über den Standort vorliegen. Dazu sind die Minimalanforderungen an den Informationsstand gemäss Tabelle 3 einzuhalten. Wenn diese Kenntnisse nicht in ausreichender Tiefe vorliegen, ist ein allfälliger Sanierungsunterbruch nicht zulässig.

Tabelle 3

Mindestanforderungen für einen Sanierungsunterbruch

Minimalanforderung Informationsstand

Art, Lage und Menge der Schadstoffe im Untergrund sowie deren Veränderung im zeitlichen Verlauf sind mit ausreichender Genauigkeit bekannt. Dies gilt auch für die relevanten Einsickerungsstellen/ Eintragsorte.

Die Ausbreitungspfade der Schadstoffe im Untergrund und im abströmenden Grundwasser sind mit ausreichender Genauigkeit bekannt.

Alle geeigneten Sanierungsvarianten sind gemäss Vollzugshilfemodul «Evaluation Sanierungsvarianten» identifiziert und ausreichend bewertet. Dabei sind insbesondere die Machbarkeit sowie die Wirksamkeit zu berücksichtigen. Für die einzelnen Sanierungsmethoden ist jeweils vom derzeitigen Stand der Technik auszugehen.

Die Informationen müssen umfassend sein und für eine Plausibilisierung genügen.

Mindestanforderung Schutzgut

Die Nutzung von Grundwasserfassungen oder Schutzareale, die von der vom Standort stammenden CKW-Emission betroffen sind, ist uneingeschränkt möglich.

Mindestanforderung Standort

Die Standortabgrenzung bleibt stabil, es handelt sich um ein stationäres System.

Der Standort bleibt in Zukunft für Sanierungsmassnahmen zugänglich (Art. 3 AltIV).

Kriterien für einen Sanierungsunterbruch

Die 19 Kriterien für einen Sanierungsunterbruch (vgl. Anhang B) dienen dem Gutachter/der Behörde zur Beurteilung der Frage, ob das Anordnen von weiteren Sanierungsmassnahmen verhältnismässig ist bzw. ob ein Sanierungsunterbruch in Betracht gezogen werden kann.

Wichtige Hinweise zur Anwendung der Kriterienliste:

- Beim Entscheid über einen Sanierungsunterbruch gilt es (ähnlich wie bei der Interessenabwägung im Raumplanungs- und Umweltrecht), eine Vielzahl von Pro- und Contra-Argumenten einander gegenüberzustellen, sie zu gewichten und abzuwägen, und gestützt darauf zu einem Ergebnis zu gelangen.
- Die 19 Kriterien dienen in erster Linie dazu, die beim

Entscheid zu berücksichtigenden Argumente in Form einer Checkliste vollständig zu erfassen. Zudem enthält Anhang B eine Anleitung, in welchen Fällen ein Argument eher pro Sanierungsunterbruch, und in welchen Fällen es eher contra Sanierungsunterbruch zu werten ist.

- Grundsätzlich sind alle aufgeführten Kriterien zu bewerten, unabhängig von der Relevanz für die vorliegende Situation.
- In einem ersten Schritt sind die Kriterien nur einzeln zu betrachten, d.h. separiert von der Betrachtung anderer, auch verwandter Kriterien.
- Die Bewertungen der Kriterien gehen vom jeweils aktuellen Zustand nach Abschluss bisheriger Massnahmen aus. d.h. es wurden die Sanierungsmassnahmen gemäss ursprünglichem Sanierungsprojekt ausgeführt.
- In einem zweiten Schritt sind die Kriterien und ihre Bewertung gegeneinander abzuwägen und einer Gesamtbetrachtung zu unterziehen. Dieser Entscheid muss die Besonderheiten des Einzelfalls berücksichtigen. Die Kriterienliste macht zu dieser Abwägung keine Aussagen. Es ist auch nicht Zweck der Kriterienliste, lediglich die Anzahl der pro-Kriterien der Anzahl der contra-Kriterien gegenüberzustellen. Vielmehr ist es Sache des Anwenders, die einzelnen Kriterien zu gewichten und seinen Entscheid pro oder contra Sanierungsunterbruch plausibel und nachvollziehbar zu begründen.

Spezialfall Vinylchlorid

Für Standorte, die mit VC belastet sind, müssen die 19 Kriterien für einen Sanierungsunterbruch überwiegend erfüllt sein. Das Kriterium 1 (Konzentration im unmittelbaren Abstrom – Abweichung vom Sanierungsziel in %) ist weniger stark zu gewichten. Ansonsten gilt für einen Sanierungsunterbruch bei Belastungen mit VC das gleiche, oben beschriebene Vorgehen wie bei anderen CKW.

5.4 Sanierungsaufschub für Vinylchlorid-Standorte

Standorte mit Vinylchlorid stellen aufgrund des Spannungsfeldes zwischen dem tiefen Konzentrationswert von 0,5 µg/L, der hohen Toxizität von VC sowie der Handhabung in der Praxis eine grosse Herausforderung dar.

Wie auch bei der Entlassung aus dem KbS (siehe Kapitel 2.5.1. und 2.5.2.) wurde für diese Standorte bezüglich der Sanierung eine Spezialregelung erarbeitet. Da bei VC-Standorten häufig schon vor der Sanierung davon ausgegangen werden muss, dass das Sanierungsziel nicht erreicht werden kann, gibt es einen entsprechenden Lösungsansatz für den Umgang mit VC-Belastungen vor der Sanierung: Den Sanierungsaufschub.

Der Sanierungsaufschub leitet sich aus der Beurteilung der Dringlichkeit durch eine verlängerte Frist zur Sanierung (Art. 18 Abs. 2 Bst. b AltIV) ab. Der VC-Standort bleibt im Falle eines Sanierungsaufschubes als sanierungsbedürftiger Standort im KbS eingetragen.

Der Zeitpunkt für den Entscheid über einen allfälligen Sanierungsaufschub ist nach der Evaluation von Sanierungsvarianten (erste Phase Sanierungsprojekt), da erst dann die Verhältnismässigkeit abgeschätzt werden kann und die Minimalanforderungen bezüglich des Informationsstandes erfüllt sind.

Für einen Sanierungsaufschub bei VC-Standorten müssen folgende Mindestanforderungen erfüllt sein:

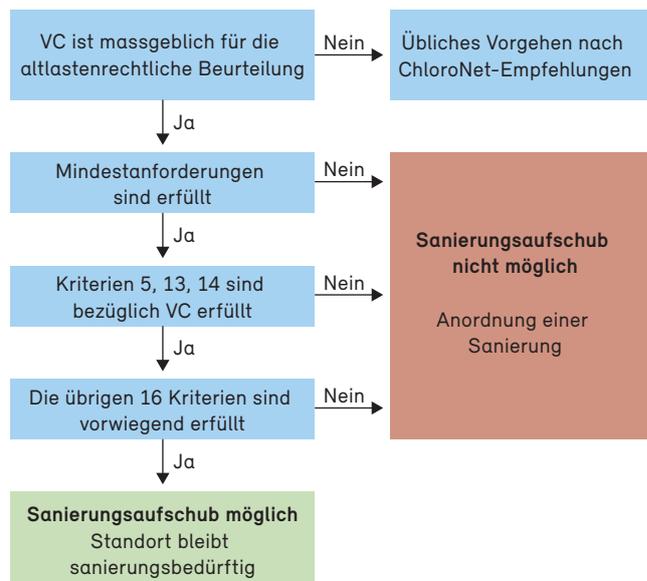
Tabelle 4
Mindestanforderungen für einen Sanierungsaufschub für VC-Standorte

<p>Minimalanforderung Informationsstand</p> <p>Art, Lage und Menge der Schadstoffe im Untergrund sowie deren Veränderung im zeitlichen Verlauf sind mit ausreichender Genauigkeit bekannt. Dies gilt auch für die relevanten Einsickerungsstellen/Eintragsorte.</p> <p>Die Ausbreitungspfade der Schadstoffe im Untergrund und im abströmenden Grundwasser sind mit ausreichender Genauigkeit bekannt.</p> <p>Die Informationen müssen umfassend sein und einer Plausibilisierung genügen.</p>
<p>Mindestanforderung Schutzgut</p> <p>Die Nutzung von Grundwasserfassungen oder Schutzarealen, die von der vom Standort stammenden CKW-Emission betroffen sind, ist ohne oder nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren uneingeschränkt möglich²⁰.</p>
<p>Mindestanforderung Standort</p> <p>Die Standortabgrenzung bleibt stabil, es handelt sich um ein stationäres System.</p> <p>Der Standort bleibt in Zukunft für Sanierungsmassnahmen zugänglich (Art. 3 AltIV).</p>

Falls diese Mindestanforderungen erfüllt sind, kann die Beurteilung gemäss Abb. 6 weitergehen. Grundsätzlich erfolgt die Beurteilung eines Sanierungsaufschubs analog zur Beurteilung eines Sanierungsunterbruchs bei den übrigen CKW. Aufgrund der besonders hohen Toxizität von VC müssen allerdings die Kriterien 5 (Bedingungen für natürlichen Abbau sind gegeben), 13 (Kein VC des Standortes oberhalb der Bestimmungsgrenze in einer bestehenden Grundwasserfassung) und 14 (keine anderen Schutzgüter betroffen) zwingend erfüllt sein. Die ausführliche Beschreibung der Kriterien ist im Anhang A aufgeführt. Weiter müssen die übrigen 16 Kriterien vorwiegend erfüllt sein. Wenn alle Fragen von Abb. 6 mit Ja beantwortet werden können, kann für den VC-Standort ein Sanierungsaufschub angeordnet werden.

²⁰ Eine (einfache) Aufbereitung kann nur zur Einhaltung des Höchstwerts der TBDV von 0,5 µg/l in Betracht gezogen werden. Die numerische Anforderung der GSchV von 1 µg/l, die für alle CKW-Einzelstoffe gilt, muss ohne Aufbereitung eingehalten werden.

Abbildung 6
Ablaufschema bei der Beurteilung der Anforderungen für einen Sanierungsaufschub



5.5 Erreichung der Sanierungsziele bezüglich Grundwasserfassung

Sanierungsauslöser bezüglich Grundwasserfassung

Gemäss Artikel 9 Absatz 2 Buchstabe a AltIV ist ein belasteter Standort hinsichtlich des Schutzes des Grundwassers sanierungsbedürftig, wenn bei Grundwasserfassungen, die im öffentlichen Interesse liegen, vom Standort stammende Stoffe, die Gewässer verunreinigen können, in Konzentrationen über der analytischen Bestimmungsgrenze festgestellt werden. D. h. sobald ein Stoff in einer Fassung nachgewiesen, quantifiziert und bezüglich Herkunft einem Standort zugeordnet werden kann, besteht ein altlastenrechtlicher Sanierungsbedarf für diesen Standort.

Konkretisierungshilfen zu den einzelnen Begriffen finden sich im Vollzugshilfemodul «Sanierungsbedarf sowie Ziele und Dringlichkeit einer Sanierung».

Die AltIV ist mit dem Sanierungsauslöser bezüglich der Konzentrationen in Grundwasserfassungen über der Bestimmungsgrenze strenger als die GSchV, welche einen Wert von weniger als 1 µg/l je Einzelstoff fordert (Anh. 2 Ziff. 22 Abs. 2 Nr. 9 GSchV). Die strenge Regelung ist

nicht toxikologisch sondern gesellschaftlich begründet. In der öffentlichen Wahrnehmung ist es inakzeptabel, dass eine Grundwasserfassung von einer klar benennbaren Quelle, d. h. einem belasteten Standort, mit Schadstoffen verunreinigt wird. In der AltIV gilt bezüglich Grundwasserfassungen deshalb das «Prinzip der Nulltoleranz».

Herausforderungen und Lösungsansatz

In der Schweiz werden in bis zu 50% der genutzten Fassungen in urbanen Gebieten CKW nachgewiesen. Gleichzeitig zeigt die Erfahrung, dass selbst wenn das Sanierungsziel im unmittelbaren Abstrom erreicht wurde, immer noch Fälle auftreten können, wo langfristig CKW in einer Fassung in Spurengehalten über der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden können. Es stellt sich deshalb die Frage, ob davon ausgegangen werden muss, dass viele Standorte trotz Sanierungsmassnahmen auch weiterhin sanierungsbedürftig bleiben.

Die Antwort auf diese Frage wird dadurch erleichtert, dass der Informationsstand auf der Stufe Sanierung eine hohe Qualität aufweist (z. B. Konzentrationen im unmittelbaren Abstrombereich, zeitlicher Verlauf, Fracht, etc. sind bekannt). Vom Standort stammende Belastungen in Grundwasserfassungen können daher in dieser Bearbeitungsphase differenziert betrachtet werden, was eine aussagekräftige Gefährdungsabschätzung ermöglicht.

Grundsätzlich muss in solchen Fällen geprüft werden, ob die in der Fassung festgestellten Schadstoffe noch immer vom Standort selber nachgeliefert werden (Standortdefinition gemäss Kap. 2.3.), von Restbelastungen ausserhalb des Standorts (vergl. Kap. 2.4.) oder lediglich noch aus der Schadstofffahne (im Grundwasser gelöst) stammen.

Wenn davon ausgegangen werden muss, dass die in der Fassung nachgewiesenen Stoffe immer noch vom Standort stammen und auch in Zukunft noch vom Standort nachgeliefert werden, sind weitere Abklärungen oder Massnahmen nötig. Unter Umständen war das Schadstoffpotential grösser als angenommen. Der Standort bleibt sanierungsbedürftig und die Sanierung muss ggf. weitergeführt werden.

Umgekehrt, wenn es darum geht, sicherzustellen, dass die Belastungen vom Standort so weit entfernt wurden, dass die in der Fassung nachgewiesenen Stoffe von Restbelastungen ausserhalb des Standorts oder aus der Fahne stammen, muss der Standort im Rahmen der Erfolgskontrolle als letzte Phase der Sanierung überwacht werden.

Liegen diese Daten der Überwachung vor und wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind, kann die zuständige Behörde einzelfallbezogen von der Klassierung Sanierungsbedarf bezogen auf die Grundwasserfassung abweichen:

- Im Rahmen der Überwachung wird eine sinkende Konzentration festgestellt wird (vergl. Abb. 7);
- Es ist absehbar, dass die Konzentration in den nächsten Jahren unter die Bestimmungsgrenze (Sanierungsziel) sinkt.
- Der Sanierungspflichtige kann nachweisen, dass keine substanzielle Verschmutzung mehr am Standort verbleibt, resp. die Schadstoffquelle(n) eliminiert worden ist (sind).
- Die Fahnenverzögerung, der Verlauf der Konzentrationsabnahme, das verbliebene Schadstoffpotenzial, die Exposition der Nutzer und andere Informationen wurden in der Evaluation berücksichtigt und es wurde eine Plausibilisierung der Daten durchgeführt.
- Die kantonale Gewässerschutzfachstelle ist (bei Konzentrationen $> 1 \mu\text{g}/\text{l}^{21}$ je Einzelstoff in der Fassung) aufgrund einer den Anforderungen genügenden Datengrundlage zum Schluss gekommen, dass auch mit einer Weiterführung der Sanierung die Verunreinigung des genutzten Grundwassers nicht mehr in relevantem Mass vermindert werden kann.

21 angepasstes Sanierungsziel, siehe dazu Kapitel 4.5. dieses Vollzugshilfemoduls und Expertenbericht Restbelastungen Kapitel 2

Abbildung 7

Überwachung als letzte Phase der Sanierung zeigt über die Zeit eine abnehmende Konzentration in der Fassung

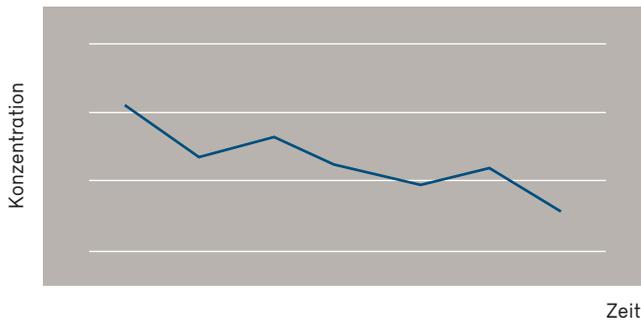
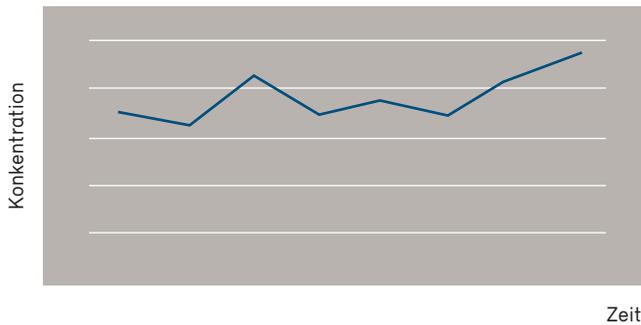


Abbildung 8

Die Überwachung als letzte Phase der Sanierung zeigt über die Zeit eine stagnierende oder zunehmende Konzentration in der Fassung



Falls im Rahmen der Überwachung hingegen festgestellt wird, dass die Konzentration in der Fassung stagniert oder sogar zunimmt (vgl. Abb.8), muss davon ausgegangen werden, dass es am Standort doch noch Verschmutzungen gibt, welche diese Verunreinigung in der Fassung verursachen, bzw. diese Frage muss weiter abgeklärt werden. Der Standort bleibt in diesem Fall sanierungsbedürftig.

Für eine bauliche Bewirtschaftung solcher Standorte ist Art. 3 AltIV zu prüfen.

Anhang A Zusatzinformationen zu Vinylchlorid

Hilfestellung für den Umgang mit Vinylchlorid-Belastungen

Anlass

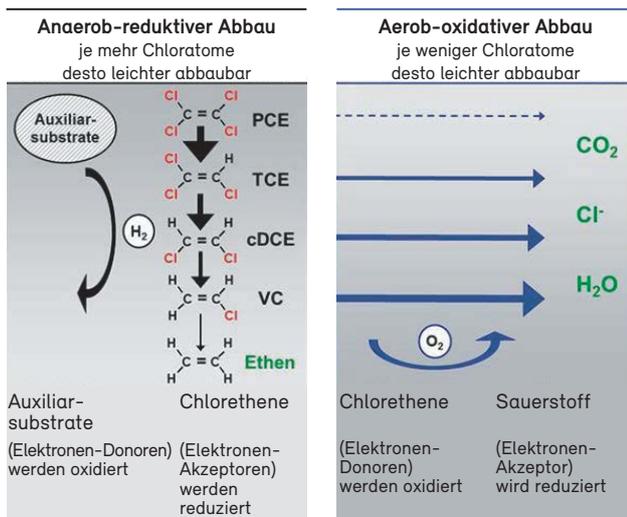
In der Praxis nimmt Vinylchlorid (VC) unter den chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) aufgrund seiner besonderen Eigenschaften häufig eine Sonderstellung ein. VC kann unter anaeroben Bedingungen als Abbauprodukt aus anderen CKW entstehen und wird unter günstigen Bedingungen weiter abgebaut. Gleichzeitig ist sein Konzentrationswert gemäss Anhang 1 AltIV aufgrund seiner Toxizität mit 0,5 µg/l äusserst tief.

Die Beurteilung von VC-Belastungen hat in den letzten Jahren viele Fragen aufgeworfen resp. führte in der Ver-

gangenheit häufig zur unbefriedigenden Situation, dass ein Sanierungserfolg bzgl. VC im Gewässerschutzbereich A_U als unwahrscheinlich eingeschätzt oder trotz Sanierungsmassnahmen der erforderliche halbe Konzentrationswert von VC im Grundwasser im Abstrombereich unmittelbar beim Standort nicht erreicht wurde.

In den verschiedenen ChloroNet-Merkblättern zum Umgang mit CKW-Belastungen wurde VC aufgrund seiner besonderen Eigenschaften bewusst ausgeklammert. Das vorliegende Vollzugshilfemodul (Kap. 2.5.1, 2.5.2, 5.3 und 5.4) und insbesondere dieser Anhang A bieten eine Hilfestellung für den Umgang mit VC-Belastungen.

Abbildung 9
Abbauwege von CKW



Quelle: TZW Karlsruhe

Eigenschaften von VC

Eine VC-Anwendung als primäres Produkt ist bei früheren Betriebstätigkeiten äusserst selten und wird nachfolgend nicht betrachtet. VC steht aber als Abbauprodukt vor Ethen am Ende der anaeroben Abbaukette von Per (= PCE, siehe Abb. 9) und kann daher unabhängig von der Ausgangsverunreinigung eine Rolle spielen. VC zeichnet sich im Besonderen durch folgende Eigenschaften aus:

- äusserst flüchtiger Stoff (im Feststoff kaum messbar)
- primär gelöst vorhanden
- der tiefe Konzentrationswert (0,5 µg/l) ist toxikologisch gerechtfertigt
- unter günstigen Bedingungen im Grundwasser aerob und anaerob abbaubar

Bei CKW können zwei verschiedene biologische Abbauprozesse greifen, die unterschiedliche Milieubedingungen erfordern. Beim anaerob-reduktiven Abbau entsteht VC als Zwischenprodukt.

1. anaerob-reduktive Dechlorierung von CKW:

Unter ausreichend anaeroben Bedingungen kann die anaerob-reduktive Dechlorierung vollständig bis zum Ethen ablaufen; d. h. VC wird unter Abspaltung eines Chlor-Atoms zu Ethen reduziert. Dazu sind nur Bakterien der Gattung Dehalococcoides in der Lage. Generell läuft die anaerob-reduktive Dechlorierung umso leichter ab, je mehr Chlor-Atome das Chlorethen enthält. Anaerob-reduktive dechlorierende Bakterien können mit PCR (Polymerase Chain Reaction) und Abbauprobversuchen nachgewiesen werden.

2. aerob-oxidativer Abbau von CKW:

Mit Sauerstoff können CKW und auch VC aerob oxidiert und mineralisiert, d. h. zu Kohlenstoffdioxid, Chlorid und Wasser umgesetzt, werden. Generell läuft der aerob-oxidative Abbau umso leichter ab, je weniger Chlor-Atome das Chlorethen enthält. Aerob-oxidativ abbaubare Bakterien können mit MPN (Most Probable Number) und Abbauprobversuchen nachgewiesen werden. Die Anwendung einiger Sanierungsverfahren kann zu einer signifikanten VC-Bildung führen (z. B. anaerobe biologische Sanierungsverfahren, vgl. Kasten unten). Bei solchen Verfahren muss darauf geachtet werden, dass daraus keine grössere Umweltgefährdung resultiert.

Biologische Sanierungsverfahren

- Die Wirkung von biologischen Verfahren beruht auf der Abbaubarkeit der Schadstoffe vor allem durch mikrobiologische Organismen.
- CKW wie Per, Tri und Cis werden dabei vielfach nicht vollständig, sondern in anaerobem reduzierendem Milieu nur bis zum VC abgebaut. Ausserdem gibt es auch aerobe Abbauprozesse.
- Bei CKW-Verunreinigungen muss daher der Einsatz von anaeroben biologischen und chemischen Verfahren, die das Grundwassermilieu verändern vorgängig gut überprüft werden, um die Generierung eines allfälligen VC-Problems zu vermeiden.

Für den Sanierungsaufschub zwingend zu erfüllende Kriterien (siehe dazu Anhang B):

Kriterien Nr. 5, Nr. 13 und Nr.14

Grundsätzlich erfolgt die Beurteilung eines Sanierungsaufschubs analog zur Beurteilung eines Sanierungsunterbruchs bei den übrigen CKW-Substanzen. Aufgrund der besonders hohen Toxizität werden allerdings die nachfolgenden Kriterien 5, 13 und 14 als *zwingend* vorausgesetzt (siehe Tabelle auf nächster Seite).

Tabelle 5

Zwingend zu erfüllende Kriterien für einen Sanierungsaufschub für VC-Standorte

Kriterium 5 Natürlicher Abbau	Die Bedingungen für einen vollständigen Abbau müssen gegeben sein. Für den aeroben Abbau ²² sind innerhalb von rund 100 m im Abstrom ab Standortgrenze ²³ folgende Nachweise zu erbringen: <ul style="list-style-type: none"> • Vorhandensein eines sauerstoffreichen Grundwasser-Milieus²⁴ und • VC liegt im Grundwasser unter der Bestimmungsgrenze vor. • Der vollständige Abbau muss ausserhalb von Schutzzone oder Schutzareal erfolgen
Kriterium 13 Einfluss des Standortes auf bestehende Fassungen	Kein VC in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze in der Fassung feststellbar
Kriterium 14 Andere Schutzgüter in relevantem Mass betroffen?	Gefährdungsabschätzung für die Luft (Raumluft): <ul style="list-style-type: none"> • Können die vom Standort ausgehenden VC-Emissionen an Orte gelangen, wo sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten (z. B. in Gebäuden) und dort zu einer Gefährdung führen? Gefährdungsabschätzung für das oberirdische Gewässer: <ul style="list-style-type: none"> • Gelangt belastetes Grundwasser direkt oder via Leitungen (z. B. Drainagen) in ein oberirdisches Gewässer und führt der VC-Eintrag dort zu einer Gefährdung?

22 Bei einem anaeroben Abbau in einem sauerstoffarmen Milieu hingegen, sind höhere Anforderungen notwendig (z. B. Nachweis eines Abbaus zu Ethen oder Nachweis der Anwesenheit von Dehalococoides, vgl. Anhang)

23 Im Einzelfall abzuwägen, bei grösserer Distanz zu begründen.

24 d. h. O₂-Sättigung in etwa > 60%

Anhang B Sanierungsunterbruch

Die 19 Kriterien für die Beurteilung der Angemessenheit eines Sanierungsunterbruchs sind in folgende Gruppen eingeteilt:

- a) Aspekt «Schadstoff am Standort»
- b) Aspekt «Schutzgutsituation»/Schutzobjekt
- c) Aspekt «Sanierung/Technik»

a) Aspekt «Schadstoff am Standort»

		PRO Sanierungsunterbruch	CONTRA Sanierungsunterbruch
1	Konzentration im unmittelbaren Abstrom – Abweichung vom Sanierungsziel in %	Die Abweichung ist klein.	Die Abweichung ist gross.
2	Zeitlicher Verlauf der Konzentration im direkten Abstrombereich	Konstante Werte oder Abnahme nachweisbar.	Keine klare Tendenz oder Zunahme.
3	Schadstoffpotenzial (Menge CKW) innerhalb des Standorts	Schadstoffpotential innerhalb Standort ist klein.	Schadstoffpotential innerhalb Standort ist gross.
4	Bereits erzielte Verringerung des Schadstoffpotenzials (Vollständigkeit des Quellenstopps)	Der primäre Schadstoffherd wurde komplett oder zum überwiegenden Teil entfernt.	Es wurde erst eine untergeordnete Menge des Schadstoffherdes entfernt.
5	Natürlicher Abbau	Es erfolgt ein natürlicher Abbau zu weniger problematischen Stoffen.	Es erfolgt kein Abbau oder ein Abbau zu problematischen Stoffen.
6	Frachtemissionen	Die Fracht ist gering.	Die Fracht ist mittel bis hoch.
7	Freisetzbarkeit	Klein	Gross

b) Aspekt «Schutzgutsituation»/Schutzobjekt

		PRO Sanierungsunterbruch	CONTRA Sanierungsunterbruch
8	Nutzbarkeit des Grundwassers: Qualitativ sowie quantitativ, aus hydrogeologischer, -chemischer und bakteriologischer Sicht	Grundwasser ist in Bezug auf Menge und Qualität im natürlichen Zustand auch bei Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren nicht nutzbar.	Grundwassers ist in Bezug auf Menge und Qualität im natürlichen Zustand, unter Umständen nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren nutzbar.
9	Nutzbarkeit des Grundwassers aus Sicht des planerischen Gewässerschutzes	Grundwasser ist aufgrund von bestehenden Nutzungskonflikten auch im weiteren Abstrombereich planerisch nicht so schützenswert, dass eine Trinkwassernutzung möglich ist.	Es bestehen keine relevanten Nutzungskonflikte.
10	Nutzbarkeit des Grundwassers aus Sicht Hintergrundbelastungen	Grundwasser aufgrund von Hintergrundbelastungen nicht oder nur eingeschränkt nutzbar.	Keine relevanten Hintergrundbelastungen vorhanden.
11	Bestehende oder geplante Nutzungen des Grundwassers	Keine aktuelle oder geplante Nutzung im Abstrombereich in einer Distanz vorhanden, in welcher mit einer relevanten Schadstoffverfrachtung gerechnet werden muss.	Aktuelle oder geplante Nutzung im Abstrombereich in einer Distanz vorhanden, in welcher mit einer relevanten Schadstoffverfrachtung gerechnet werden muss.

		PRO Sanierungsunterbruch	CONTRA Sanierungsunterbruch
12	Bedeutung der bestehenden Nutzungen	Untergeordnete Bedeutung für die Trinkwasserversorgung	Mittlere oder grosse Bedeutung für die Trinkwasserversorgung
13	Einfluss des Standortes auf bestehende Fassungen	Die Anforderungen an das Grundwasser zur Nutzbarkeit als Trinkwasser sind erfüllt (vgl. GSchV).	Die Anforderungen an das Grundwasser zur Nutzbarkeit als Trinkwasser sind nicht erfüllt (vgl. GSchV).
		CKW-Gehalte in der Fassung nehmen ab.	CKW-Gehalte in der Fassung bleiben unverändert oder nehmen zu.
		Messungen oder Modellierung zeigen, dass mittel- bis langfristig eine relevante Abnahme der CKW-Gehalte in der Fassung zu erwarten ist.	Messungen oder Modellierung zeigen, dass mittel- bis langfristig keine relevante Abnahme der CKW-Gehalte in der Fassung zu erwarten ist.
14	Andere Schutzgüter (Oberflächengewässer, Boden, Luft) sind in relevantem Mass betroffen	Nein	Ja

c) Aspekt «Sanierung/Technik»

		PRO Sanierungsunterbruch	CONTRA Sanierungsunterbruch
15	Erfolgswahrscheinlichkeit	Bei keiner der geprüften Sanierungsvarianten ist der angestrebte Sanierungserfolg mit ausreichender Wahrscheinlichkeit zu erwarten.	Bei mindestens einer der möglichen geprüften Sanierungsvarianten ist ein Sanierungserfolg mit ausreichender Wahrscheinlichkeit zu erwarten.
16	Bauliche Tätigkeiten	Es sind kurzfristig Bautätigkeiten zu erwarten, welche mit Sanierungsmassnahmen gekoppelt werden bzw. solche erforderlich machen, oder den Zugriff auf die Belastung erleichtern.	Es sind mittel- bis langfristig keine Bautätigkeiten zu erwarten. Die Anwendung von Art. 3 AltIV verunmöglicht eine Bebauung.
17	Kosten/Nutzen	Noch zu entfernende CKW: CHF/kg CKW → hoch	Noch zu entfernende CKW: CHF/kg CKW → tief
18	Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	Die Durchführung von Sanierungsmassnahmen führt zu einer deutlich schlechteren Ökoeffizienz als der Verzicht auf Massnahmen.	Die Durchführung von Sanierungsmassnahmen führt zu einer deutlich besseren Ökoeffizienz als der Verzicht auf Massnahmen.
19	Erforderliche Sicherungsmassnahmen	Eine Sicherung (als erforderliche Massnahme bei einem Unterbruch) ist technisch einfach möglich.	Eine Sicherung (als erforderliche Massnahme bei einem Unterbruch) ist technisch nicht einfach durchführbar.

Erläuterungen zu den Kriterien

Kriterium 1

Konzentration im unmittelbaren Abstrom – Abweichung vom Sanierungsziel in %

Die Beurteilung der Abweichung bezieht sich auf das standortbezogene festgelegte Sanierungsziel. In der Regel entspricht dies den geltenden Konzentrationswerten gemäss AltIV.

Beispiel: Das für Per festgelegte Sanierungsziel im unmittelbaren Abstrom ist gemäss Anhang 1 AltIV 20 µg/l (Gewässerschutzbereich A_U). Vor den Sanierungsmassnahmen wurde ein Wert von 220 µg/l gemessen. Nach Durchführung erster Sanierungsmassnahmen wird derzeit ein Wert von 100 µg/l gemessen. Damit fand bereits eine Halbierung der Belastung im Abstrom statt, das angestrebte Sanierungsziel ist aber immer noch um 400 % überschritten. Diese Abweichung wäre immer noch als gross zu bewerten.

Spezialfall VC: Hier ist bereits der Konzentrationswert gemäss Anhang 1 AltIV mit 0,5 µg/l so tief, dass auch bei Anwesenheit von tiefen VC-Konzentrationen eine hohe bis sehr hohe Abweichung vom Sanierungsziel vorliegt. Für VC ist dieses Kriterium daher nicht geeignet. Dagegen ist bei VC eher die vorliegende absolute Konzentration von Bedeutung.

Kriterium 2

Zeitlicher Verlauf der Konzentration im direkten Abstrombereich

Dieses Kriterium bezieht sich auf Kenntnisse über einen Rückgang der Konzentrationswerte im direkten Abstrom (gleicher Ort, wo auch Kriterium 1 ansetzt). Die Höhe des Konzentrationswertes ist unter Kriterium 1 abgehandelt und hier nicht zu berücksichtigen. Nur wenn eindeutig eine Abnahme der Konzentrationswerte nachgewiesen ist, oder ebenfalls eindeutig konstante Werte über einen gesicherten Zeitraum nachgewiesen wurden, kann das Kriterium als Pro Sanierungsunterbruch gewertet werden. Prognosen, welche auf Erwartungen oder Abschätzungen basieren, sind nicht zu berücksichtigen, es gilt der derzeitige Wissensstand (vgl. hierzu Kriterium 13). Auch bei wechselnden Konzentrationswerten (Sprünge hoch-

tief) kann nur in seltenen Fällen eine klare Tendenz zur Abnahme erkannt werden.

Kriterium 3

Schadstoffpotenzial (Menge CKW) innerhalb des Standortes

Kenntnisse über das Schadstoffpotenzial gehören zu den Mindestanforderungen (siehe Kap. 5.3) und sind daher Voraussetzung für die Diskussion eines Sanierungsunterbruchs. Grundsätzlich sollten Kenntnisse über das Schadstoffpotenzial innerhalb des Standortes in ausreichendem Mass vorliegen, sofern eine seriöse Standortabgrenzung vorgenommen wurde. Beim Schadstoffpotenzial handelt es sich jedoch um eine Grösse, welche häufig nur sehr schwierig abzuschätzen ist. Eine Diskussion der Varianz bzw. eine Fehlerbetrachtung ist deshalb erforderlich.

Kriterium 4

Bereits erzielte Verringerung des Schadstoffpotenzials (Vollständigkeit des Quellenstopps)

Die Verringerung des Schadstoffpotenzials ist ein Mass für die bereits erzielte Umweltleistung. Die Entfernung des Schadstoffherdes entspricht dem Quellenstopp. Ein überwiegender Quellenstopp kann zu einem Verzicht auf weitere Sanierungsmassnahmen führen. Wenn erst ein geringer Prozentsatz der gesamten Schadstoffmenge vom Standort entfernt wurde, spricht dies eher für weitere Sanierungsmassnahmen.

Kriterium 5

Natürlicher Abbau

Grundsätzlich können CKW abgebaut werden. Der Abbau hängt von der hydrogeologischen und hydrochemischen Situation ab. Zur Bewertung dieses Kriteriums sind der Standort sowie dessen unmittelbarer Abstrombereich zu betrachten.

Der natürliche Abbau von CKW erfolgt in der Regel über verschiedene Zwischenstufen hin zu Vinylchlorid und dann weiter zu Ethen und den finalen Folgeprodukten. Vinylchlorid gilt als problematischer Stoff. Ein «Abbau zu weniger problematischen Stoffen» liegt bei CKW also nur vor, wenn auf Grund der geologischen/hydrogeologischen und hydrochemischen Situation das Vinylchlorid in

relevantem Ausmass weiter abgebaut wird, so dass keine Akkumulation von Vinylchlorid erfolgt.

Kriterium 6

Frachtemissionen

Bei Standorten mit einer kleinen oder vernachlässigbaren Fracht ist ein Sanierungsunterbruch eher möglich als bei Standorten mit einer mittleren bis grossen Fracht.

Die Fracht wurde als ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung der Dringlichkeit einer Sanierung diskutiert. Dazu wurde ein Lösungsansatz entwickelt (vgl. Kap. 4.2), bei welchem die Fracht mit Wertebereichen für gering/mittel/hoch bezeichnet wurde. Diese im *Expertenbericht der Arbeitsgruppe Fracht* aufgeführten Wertebereiche können auch hier herangezogen werden.

Je mehr Aufwand für die Bestimmung der Fracht betrieben wird, desto kleinere Unsicherheiten sind mit dem Frachtwert verbunden und umgekehrt. Der ermittelte Wert ist daher immer einer Fehlerbetrachtung zu unterziehen (vgl. Expertenbericht Arbeitsgruppe Fracht).

Kriterium 7

Freisetzbarkeit

Falls ein relevantes Schadstoffpotenzial am Standort verbleibt (vgl. Anmerkung zu Kriterien 3 und 4), hängt die Umweltgefährdung von der Freisetzbarkeit und Mobilität der Schadstoffe ab. Die Mobilität kann bei den leichtflüchtigen CKW grundsätzlich als hoch bezeichnet werden, daher konzentriert sich dieses Kriterium auf die Freisetzbarkeit.

Bei Schadstoffen in der ungesättigten Zone erfolgt die Freisetzung in das Grundwasser meist via Sickerwasser, welches bei vollständig versiegelter Standortoberfläche nur in geringen Mengen anfällt. Hier ist zu beachten, dass eine spätere Entsiegelung die Beurteilung der Gefährdung komplett ändern kann. Zu beachten ist zudem, dass CKW auch ohne Sickerwasser tiefer in den Untergrund, d. h. ins Grundwasser, migrieren können; der Vorgang findet aber langsamer statt. Die Grundwassergefährdung ist zudem abhängig von der Sensibilität (Vulnerabilität) des Grundwassers, welche Flurabstand, Durchlässigkeit etc. beinhaltet.

Kriterium 8

Nutzbarkeit des Grundwassers im natürlichen Zustand: Qualitativ sowie quantitativ, aus hydrogeologischer und chemischer Sicht

Die Formulierung «natürlicher Zustand» bezieht sich auf den Zustand ohne anthropogene Belastung.

Die Nutzbarkeit eines Grundwassers, d. h. die Voraussetzung für die Zuordnung eines Grundwasservorkommens zu den besonders gefährdeten Bereichen A_U, ist von hydrogeologischen Aspekten wie der für eine Nutzung in Betracht kommenden Menge, sowie der chemischen Qualität im natürlichen oder angereicherten Zustand abhängig («wenn es die Anforderungen der Lebensmittelgesetzgebung an Trinkwasser, nötigenfalls nach Anwendung einfacher Aufbereitungsverfahren, einhält» GSchV Anhang 2 Ziff 22). Der Gewässerschutzbereich A_U umfasst die nutzbaren Grundwasservorkommen sowie deren zum Schutz notwendigen Randgebiete.

Zum Bereich üB: Die Lage des Standorts in den nicht besonders gefährdeten Bereichen üB ist ein klares Pro-Argument in der Diskussion über einen Sanierungsunterbruch. Im üB ist eine Anpassung des Sanierungszieles gemäss Art. 15 Abs. 2 AltIV zu prüfen. Auf Grund der weniger restriktiven Anforderungen ist eine Erhöhung der durch die Sanierungsmassnahmen angestrebten Konzentration ohne Einschränkungen in Bezug auf die Nutzbarkeit des Grundwassers möglich. (Es verbleibt die Einschränkung, dass das Grundwasser bei der Exfiltration ein Oberflächengewässer nicht verunreinigen darf, so dass dieses die Anforderungen an die Wasserqualität nicht mehr erfüllen würde.) Nach solch einer Anpassung (Erhöhung des Konzentrationswertes) kann das Sanierungsziel meist erreicht werden. Die Sanierung wird dann faktisch auch «unterbrochen», aber das angepasste Sanierungsziel gilt als erreicht und die Sanierung ist abgeschlossen (kein Sanierungsbedarf mehr). Insofern stellt sich die Frage nach einem Sanierungsunterbruch im üB eher selten.

Bezüglich der Nutzbarkeit von Grundwasser siehe auch Kapitel 4.5.

Kriterium 9**Nutzbarkeit des Grundwassers aus Sicht des planerischen Gewässerschutzes**

Der planerische Schutz des Grundwassers zur Sicherstellung einer effektiven Trinkwassernutzung (Schutzzone-ausscheidung) ist in vielen Gebieten durch vorhandene Anlagen nicht mehr möglich. In entsprechenden Gebieten ist ein Sanierungsunterbruch eher möglich als in Gebieten ohne Schutzzone-relevante Nutzungskonflikte.

Kriterium 10**Nutzbarkeit des Grundwassers aus Sicht von Hintergrundbelastungen**

Für dieses Kriterium ist das gleiche System zu betrachten, wie bei Kriterium 8 und 9: nicht nur der unmittelbare Abstrom, sondern das gesamte betroffene Grundwassersystem.

Wenn keine relevanten Hintergrundbelastungen vorliegen bzw. wenn die Belastung im Grundwasser vor allem aus der hier zu betrachtenden CKW-Schadstoffquelle stammt, ist es sinnvoll, diese zu sanieren, weil damit ein hoher Umweltnutzen erhalten wird.

In verschiedenen Gebieten der dicht besiedelten Schweiz liegen aber erhebliche anthropogene Hintergrundbelastungen vor, welche unabhängig von der vom Standort abströmenden Schadstoffbelastung im heutigen Zustand eine Trinkwassernutzung erschweren oder gar verunmöglichen. Wenn die Hintergrundbelastung bereits sehr hoch ist (unabhängig ob CKW oder andere Schadstoffe) und mittel- bis langfristig keine Verminderung der Hintergrundbelastung zu erwarten ist, kann eher über einen Sanierungsunterbruch diskutiert werden, vor allem, wenn die zu betrachtende CKW-Schadstoffquelle nur einen unwesentlichen Beitrag liefert.

Kriterium 11**Bestehende oder geplante Nutzungen des Grundwassers**

Unter Nutzung versteht man hier Grundwasserfassungen, die im öffentlichen Interesse liegen. Zur Planung einer Nutzung sollten konkrete Projekte oder ein ausgeschiedenes Grundwasserschutzareal vorliegen. Das Argument, dass der Gewässerschutzbereich A_U grundsätzlich

immer zu einer Nutzung herangezogen werden kann, soll dagegen nicht als Contra-Argument verwendet werden.

Kriterium 12**Bedeutung der bestehenden Nutzungen**

Mit diesem Kriterium wird die Bedeutung von bestehenden Nutzungen (Fassungen) im Abstrombereich des Standortes für die lokale und regionale Trinkwasserversorgung berücksichtigt. Diese Frage beschränkt sich nicht auf die Anzahl versorgter Einwohnerinnen und Einwohner, sondern umfasst auch weitere Fragen, wie z. B. ob und mit welchem Aufwand das aus einer betroffenen Fassung gewonnene Trinkwasser durch andere Bezugsquellen ersetzt werden kann oder welche Bedeutung die Fassung für die Absicherung der lokalen bzw. regionalen Trinkwasserversorgung hat (mehrere unabhängige Bezugsquellen für die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung bei Ausfall einer der Bezugsquellen).

Kriterium 13**Einfluss des Standortes auf bestehende Fassungen**

Bei diesem Kriterium werden die Fassungen, welche gemäss GSchV in öffentlichem Interesse liegen, betrachtet. Das Grundwasservorkommen, in welchem die Fassungen sich befinden, ist hingegen mit den Kriterien 8 – 11 berücksichtigt.

Bei diesem Kriterium sind ausserdem nach Möglichkeit alle 3 Unterkriterien zu betrachten.

Grundsätzlich verbietet das Gewässerschutzgesetz jede Verschmutzung der Gewässer (Art. 3 und 6 GSchG). Aus Sicht des Schutzgutes Trinkwasser sind gemäss GSchV Anhang 2 Ziff. 22 die Anforderungen an Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt wird bzw. dafür vorgesehen ist, erfüllt, wenn die CKW-Konzentration in einer Grundwasserfassung unter $1 \mu\text{g/L}$ (je Einzelstoff) liegt. In diesem Fall sind von gewässerschutzrechtlicher Seite keine weiteren Massnahmen erforderlich (Ausnahme: Vinylchlorid; hier gilt zusätzlich der tiefere Höchstwert von $0,5 \mu\text{g/l}$ aus der TBDV als Anforderung).

Gleichzeitig ist ein Standort im Gewässerschutzbereich A_U gemäss Art. 9 Abs. 2 Bst. a AltIV sanierungsbedürftig, wenn Stoffe vom Standort in einer Grundwasserfassung vorliegen. Sanierungsziel ist die Eliminierung des

Sanierungsauslösers. Sofern also nach Durchführung von Sanierungsmassnahmen nach wie vor Stoffe vom Standort in die Fassung gelangen, verbleibt der Standort sanierungsbedürftig. Falls die (nach Durchführung von Sanierungsmassnahmen) in der Fassung nachgewiesenen Stoffe aber nicht mehr vom Standort nachgeliefert werden, sondern nur noch aus der Fahne stammen, kann auf weitere Massnahmen verzichtet werden. Der Standort muss dann im Rahmen der Erfolgskontrolle als letzte Phase der Sanierung überwacht werden.

Wenn man während dieser Überwachung feststellt, dass die Konzentration in der Fassung tendenziell steigt, dann ist dies ein Hinweis, dass am Standort doch noch bis zu diesem Zeitpunkt unbekannt verschmutzungen vorhanden sind, d. h. die Sanierung muss weitergehen. Sinkt hingegen die Konzentration in der Fassung nach mehreren Jahren tendenziell, dann kann davon ausgegangen werden, dass die Quelle am Standort eliminiert worden ist. Der Standort gilt dann als saniert und wird im KbS als belasteter Standort ohne Überwachungs- oder Sanierungsbedarf eingetragen (siehe Kapitel 5.5).

Messungen oder hydrogeologische Modellierungen, welche plausibel mittel- oder langfristig eine Schadstoffabnahme in der Fassung prognostizieren, können ebenfalls ein Argument für einen Sanierungsunterbruch sein.

Kriterium 14

Andere Schutzgüter (Oberflächengewässer, Boden, Luft) sind in relevantem Mass betroffen

Falls andere Schutzgüter in relevantem Mass betroffen sind, müssen zur Beurteilung eines Sanierungsunterbruchs andere, dem jeweiligen Schutzgut zugehörige Kriterien diskutiert werden.

Kriterium 15

Erfolgswahrscheinlichkeit

Dieses Kriterium beschäftigt sich mit der Frage: Ist – nach Durchführung erster Sanierungsmassnahmen – mit einer anderen Sanierungsmethode ein besserer Sanierungserfolg möglich?

Voraussetzung für die Anwendung dieses Kriteriums ist ein umfangreiches Variantenstudium der Sanierungsmethoden (üblicherweise bereits Voraussetzung für die

Durchführung erster Sanierungsmassnahmen). In einigen Fällen kann es auf Grund veränderter Situationen erforderlich sein, das bereits vorhandene Variantenstudium zu aktualisieren.

Kriterium 16

Bauliche Tätigkeiten

Dieses Kriterium kann nur zu einer Pro-Sanierungsunterbruch-Bewertung führen, wenn ein konkretes Bauprojekt vorliegt. Dabei muss der Informationsstand über das Bauvorhaben bereits so detailliert sein, dass eine Beurteilung über allfällige Vereinfachungen späterer Sanierungsmassnahmen möglich ist. Mittel- bis langfristige Bauvorhaben bzw. Vermutungen über allfällige Bauprojekte können dagegen nicht zu einer Pro-Sanierungsunterbruch-Bewertung führen.

Beispielsweise kann bei einem kurz- bis mittelfristig erwarteten Bauvorhaben, welches mit weiteren Sanierungsmassnahmen gekoppelt ist (z. B. Aushub), die zu einer wesentlichen Verbesserung der Situation führen, ein Sanierungsunterbruch bis zum erwarteten Zeitpunkt des Bauvorhabens diskutiert werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass durch ein Bauvorhaben eine bessere Zugänglichkeit für Sanierungsmassnahmen resultiert. Auch hier kann ein Sanierungsunterbruch bis zur Durchführung dieses Bauvorhabens sinnvoll sein.

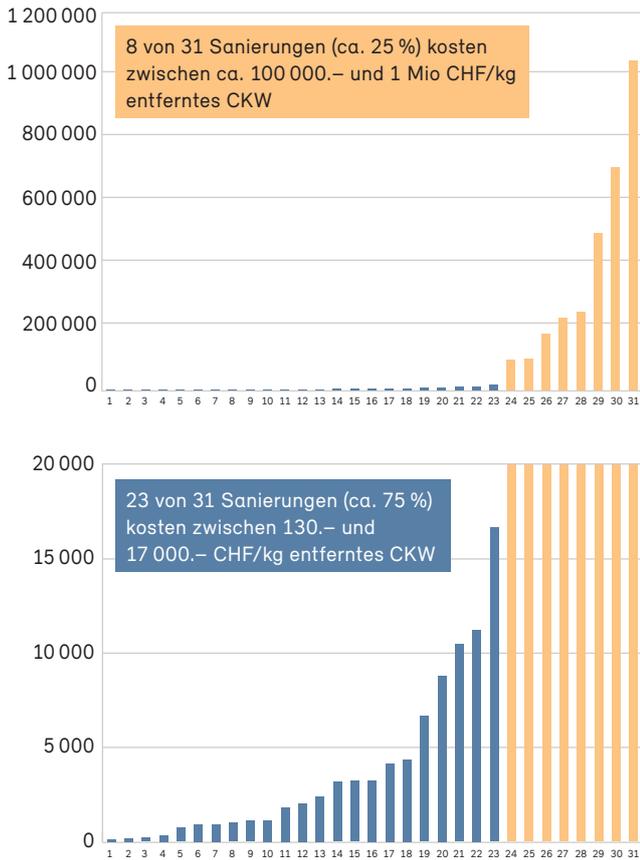
Grundsätzlich ist bei allen Entscheiden bzgl. Bauvorhaben immer die Einhaltung von Art. 3 AltIV zu berücksichtigen.

Kriterium 17

Kosten/Nutzen

Eine (nicht repräsentative) Auswertung der Sanierungskosten von 31 abgeschlossenen und z. T. noch laufenden CKW-Sanierungen in der Schweiz zeigt das Kostenspektrum pro entfernten kg CKW (vgl. Diagramm unten, im oberen Teil mit y-Achse bis 1.2 Mio CHF/kg entferntes CKW und im unteren Teil zur besseren Lesbarkeit mit angepasster Skala bis 20 000 CHF/kg. Auf der x-Achse sind die Fälle nach aufsteigenden Kosten geordnet).

Abbildung 10
Spektrum der Kosten pro kg entfernte CKW von 31 CKW-Sanierungen in der Schweiz



Obige Daten können als Anhaltspunkt für die Beurteilung des Einzelfalls dienen. Daraus können jedoch keine «Grenzwerte» für die Verhältnismässigkeit abgeleitet werden. Die Daten geben aber einen Hinweis, in welchen Bereichen die Verhältnismässigkeit näher geprüft werden sollte.

Wesentlich ist, dass sich das Kriterium ausschliesslich auf die Kosten für die **zukünftigen** Massnahmen bezieht. Dabei hängt es von der Evaluation der Sanierungsvarianten (vgl. Kriterium 15) ab, welche «neue» Sanierungsmethode bzgl. Kosten zu bewerten ist. In aller Regel kann es sich nur um eine grobe Abschätzung handeln. Dies ist aber vertretbar, da die obige Auswertung auch nur Bereiche möglicher Kosten verdeutlichen soll.

Kriterium 18

Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen

Die Bestimmung und Beurteilung der Umweltverträglichkeit bzw. des ökologischen Nutzens zusätzlicher Sanierungsmassnahmen ist in der Regel mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Falls dies nicht in ausreichender Form möglich ist, muss auf die Bewertung dieses Kriterium verzichtet werden.

Kriterium 19

Erforderliche Sicherungsmassnahmen

Es ist zu unterscheiden, ob eine Sicherungsmassnahme während eines Unterbruchs erforderlich ist und damit angewendet werden muss, oder ob eine Sicherung als Sanierungsmassnahme durchgeführt wird (als Ergebnis des Variantenstudiums).

Die Bewertung des Kriteriums bezieht sich auf die Sicherung als erforderliche Massnahme bei einem Unterbruch. Wenn diese notwendige Sicherung technisch schwierig bzw. nur mit hohem Aufwand durchgeführt werden kann, spricht dies eher gegen einen Sanierungsunterbruch.

Verzeichnisse

Abkürzungen

AltIV

Altlastenverordnung; SR 814.680

A_u

Der Gewässerschutzbereich Au umfasst die nutzbaren unterirdischen Gewässer sowie die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete.

BG

Bestimmungsgrenze

B-Wert

Der B-Wert entspricht den Anforderungen für auf Typ-B Deponien zugelassene Abfälle gemäss VVEA Anhang 5 Ziffer 2.

C

Kohlenstoff

cDCE

Siehe Cis

Cis

1,2-Dichlorethen, 1,2-Dichlorethylen oder cDCE

CKW

Chlorierte Kohlenwasserstoffe

Cl

Chlor

EZG

Einzugsgebiet

FS

Feststoff

GSchG

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer; SR 814.20

GSchV

Gewässerschutzverordnung; SR 814.201

GW

Grundwasser

GWF

Grundwasserfassung

GWM

Grundwassermessstellen

IPV

Immissionspumpversuche

KbS

Kataster der belasteten Standorte

K-Wert

Konzentrationswert gemäss Anh. 1 der AltIV

LCKW

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe

LHKW

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe

PCE

siehe Per

Per

Tetrachlorethen, Tetrachlorethylen, Perchlorethylen oder PCE

PL

Porenluft

S₁₋₃

Grundwasserschutzzonen

TBDV

Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen; SR 817.022.11

TCE

siehe Tri

Tri

Trichlorethen, Trichlorethylen oder TCE

üB

Gewässerschutzbereich «übriger Bereich»

USG

Umweltschutzgesetz

U-Wert

Der U-Wert (Wert für unverschmutzt) entspricht den Anforderungen für Aushub- und Ausbruchmaterial gemäss Anhang 3 Ziffer 1 der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA).

VASA

Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten; SR 814.681

VC

Vinylchlorid

VVEA

Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen; SR 814.600

Z_u

Der Zuströmbereich Z_u umfasst das Gebiet, aus dem bei niedrigem Wasserstand etwa 90 Prozent des Grundwassers, das bei einer Grundwasserfassung höchstens entnommen werden darf, stammt.

Abbildungen**Abbildung 1**

Mögliches Ausbreitungsmuster von CKW Seite 11

Abbildung 2

Anwendung der Kriterien zur Standortabgrenzung Seite 13

Abbildung 3

Darstellung des zweistufigen Bewertungsmodells für die Dringlichkeit einer Sanierung aufgrund der Fracht Seite 22

Abbildung 4

Prinzip eines Immissionspumpversuches mit drei Grundwassermessstellen (GWM) entlang einer Kontrollebene (nach Teutsch et al., 2000) Seite 24

Abbildung 5

Spielraum für die Anpassung des Sanierungsziels beim Schutzgut Grundwasser Seite 28

Abbildung 6

Ablaufschema bei der Beurteilung der Anforderungen für einen Sanierungsaufschub Seite 32

Abbildung 7

Überwachung als letzte Phase der Sanierung zeigt über die Zeit eine abnehmende Konzentration in der Fassung Seite 34

Abbildung 8

Die Überwachung als letzte Phase der Sanierung zeigt über die Zeit eine stagnierende oder zunehmende Konzentration in der Fassung Seite 34

Abbildung 9

Abbauwege von CKW (Abbildungsnachweis: TZW Karlsruhe) Seite 36

Abbildung 10

Spektrum der Kosten pro kg entfernte CKW von 31 CKW-Sanierungen in der Schweiz Seite 44

Tabellen

Tabelle 1

Kriterien zur Standortabgrenzung bei CKW-Belastungen
Seite 12

Tabelle 2

Kriterien zur Entlassung von CKW-Standorten aus dem
KbS Seite 14

Tabelle 3

Mindestanforderungen für einen Sanierungsunterbruch
Seite 30

Tabelle 4

Mindestanforderungen für einen Sanierungsaufschub für
VC-Standorte Seite 32

Tabelle 5

Zwingend zu erfüllende Kriterien für einen Sanierungs-
aufschub für VC-Standorte Seite 37

Literatur

Pierre TSCHANNEN, in: Vereinigung für Umweltrecht
(Hrsg.), Kommentar zum Umweltschutzgesetz, Kommen-
tierung zu Art. 32c USG, 2. Auflage 2004

Untersuchungen von CKW-Belastungen, ChloroNet-Ex-
pertenbericht im Auftrag des BAFU, Oktober 2016

BUWAL (Hrsg.) 2001: Erstellung des Katasters der belas-
teten Standorte. Umwelt-Vollzug Nr. 3411, 129 S.

Leitfaden Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW) Stoff-
eigenschaften, ChloroNet, 2008

BUWAL (Hrsg.) 2003: Probenahme von Grundwasser bei
belasteten Standorten. Umwelt Vollzug Nr. 3413, 28 S.

BAFU (Hrsg.) 2017: Messmethoden im Abfall- und Alt-
lastenbereich. Stand 2017. Bundesamt für Umwelt, Bern.
Umwelt-Vollzug Nr. 1715, 82 S.

Umgang mit CKW-Restbelastungen: Kriterien, Mög-
lichkeiten und Grenzen. Expertenbericht der ChloroNet
Arbeitsgruppe Restbelastungen im Auftrag des BAFU,
23. August 2017

BUWAL (Hrsg.) 2000: Pflichtenheft für die technische
Untersuchung von belasteten Standorten. Umwelt Voll-
zug Nr. 3406, 24 S.

Anwendung von Frachtbetrachtungen bei mit chlorierten
Kohlenwasserstoffen belasteten Standorten, Experten-
bericht der ChloroNet Arbeitsgruppe Fracht im Auftrag
des BAFU, Oktober 2014

Anwendung von Immissionspumpversuchen (IPV) in der
Schweiz, Expertenbericht der ChloroNet-Projektgruppe
IPV im Auftrag des BAFU, November 2016

Teutsch, G., Ptak, T., Schwarz, R., Holder, T., 2000;
Ein neues integrales Verfahren zur Quantifizierung der
Grundwasserimmission, Teil 1: Beschreibung der Grund-
lagen. Grundwasser-Zeitschrift der Fachsektion Hydro-
logie, Band 5, Heft 4, S. 170 – 175.

BAFU (Hrsg.) 2018: Sanierungsbedarf sowie Ziele und
Dringlichkeit einer Sanierung. Bundesamt für Umwelt,
Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1828; 26 S.

BAFU (Hrsg.) 2014: Evaluation von Sanierungsvarianten.
Ein Modul der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten».
Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1401:
34 S.

