

# > Evaluation von Sanierungsvarianten

*Ein Modul der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten»*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



# > Evaluation von Sanierungsvarianten

*Ein Modul der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten»*

### **Rechtlicher Stellenwert**

Diese Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten» des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfen, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

### **Impressum**

#### **Herausgeber**

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

#### **Autoren**

Lukas Gasser, Christoph Munz,  
BMG Engineering AG, 8952 Schlieren

#### **Begleitung BAFU**

Reto Tietz, Abteilung Boden und Biotechnologie  
Bernhard Hammer, Abteilung Abfälle und Rohstoffe

#### **Zitierung**

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

#### **Gestaltung**

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

#### **Titelbild**

Schiessanlagen Allmend Luzern, Schenker Korner & Partner  
BAFU/©iStock.com/r.kettler

#### **PDF-Download**

[www.bafu.admin.ch/uv-1401-d](http://www.bafu.admin.ch/uv-1401-d)  
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

# > Inhalt

---

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>8</b>
<b>Einleitung</b>	<b>9</b>

---

<b>1 Ziel</b>	<b>10</b>
1.1 Ziel des Moduls	10
1.2 Struktur des Moduls	10

---

<b>2 Grundlagen</b>	<b>12</b>
2.1 Rechtliche Grundlagen	12
2.2 Grundsätze der Altlastensanierung	12
2.3 Grundsätze bei der Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes	13

---

<b>3 Generelles Vorgehen – Ablaufschema</b>	<b>15</b>
---	-----------

---

<b>4 Identifikation technisch realisierbarer Sanierungsvarianten</b>	<b>17</b>
4.1 Zusammenstellung der Grundlagen	17
4.2 Mögliche Sanierungsmassnahmen (Schritt 1)	17
4.2.1 Zielsetzung	17
4.2.2 Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer Massnahme	18
4.3 Technisch realisierbare Sanierungsverfahren (Schritt 2)	19
4.3.1 Zielsetzung	19
4.3.2 Relevante Faktoren	20
4.3.3 Dekontaminationsverfahren	20
4.3.4 Sicherungsverfahren	22
4.3.5 Monitored Natural Attenuation	23
4.4 Identifikation von Sanierungsvarianten (Schritt 3)	24
4.4.1 Zielsetzung	24
4.4.2 Dokumentation der technisch realisierbaren Varianten	24

---

<b>5 Bewertung der technisch realisierbaren Varianten</b>	<b>25</b>
5.1 Zielsetzung	25
5.2 Bewertung Machbarkeit und Wirksamkeit	25
5.3 Bewertung Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	27
5.4 Bewertung Kosten	28
5.5 Ermittlung der optimalen Variante und Dokumentation	30

---

<b>6 Planung und Beschreibung der optimalen Variante im Sanierungsprojekt</b>	<b>31</b>
---	-----------

---

<b>Verzeichnisse</b>	<b>32</b>
<b>Anhang</b>	<b>34</b>



---

## > Abstracts

The module «Evaluation of remediation alternatives» of the implementation guide «Remediation of Contaminated Sites» provides instructions on determining the optimal remediation alternative based on the study on the alternatives for the remediation project. The selection of the evaluation criteria, the weighting of each criterion and the evaluation must be determined and defined based on the site conditions and environment

**Keywords:**

contaminated sites, remediation procedures, study on the alternatives, remediation project

Das Modul «Evaluation von Sanierungsvarianten» der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten» enthält eine Anleitung zur Ermittlung der optimalen Sanierungsvariante mittels einer Variantenstudie im Rahmen des Sanierungsprojektes. Die Auswahl der Beurteilungskriterien, die Gewichtung der einzelnen Kriterien und die Bewertung sind standortweise festzulegen und müssen aufgrund der Standortgegebenheiten bzw. des Standortumfelds definiert werden.

**Stichwörter:**

Altlasten,  
Sanierungsverfahren,  
Variantenstudie,  
Sanierungsprojekt

Le module «Evaluation des variantes d'assainissement» fait partie de l'aide à l'exécution «Assainissement des sites contaminés». Il indique comment choisir la variante optimale en matière d'assainissement, en réalisant une étude des variantes possibles dans le cadre du projet d'assainissement. Pour choisir, pondérer et évaluer les différents critères d'appréciation des variantes, il s'agit de tenir compte du site considéré, de ses caractéristiques et de son environnement immédiat.

**Mots-clés:**

sites contaminés, procédés d'assainissement, étude des variantes, projet d'assainissement

Il modulo «Valutazione delle varianti di risanamento» dell'aiuto all'esecuzione «Risanamento di siti contaminati» contiene le istruzioni per determinare la variante di risanamento ottimale mediante uno studio di varianti nell'ambito del progetto di risanamento. La scelta dei criteri di selezione, la ponderazione dei singoli criteri e la valutazione devono essere stabilite sito per sito e definite in base alle caratteristiche del sito e dell'ambiente circostante.

**Parole chiave:**

siti contaminati,  
metodi di risanamento, studio di varianti, progetto di risanamento



---

## > Vorwort

Zur Sanierung von belasteten Standorten stehen heute verschiedene Sanierungsverfahren zur Auswahl, welche von einer Dekontamination mittels Aushubarbeiten und externer Entsorgung bis zu Sicherungsmassnahmen mittels Oberflächenabdeckung reichen. Da jede Altlast hinsichtlich Schadstoffpotential, Freisetzungspotential und betroffenen Schutzgütern, sowie Standortumfeld einen Einzelfall darstellt, müssen auch die Sanierungsmassnahmen im Einzelfall bestimmt werden.

Dies geschieht mittels einer Variantenstudie, damit anschliessend das konkrete Sanierungsprojekt ausgearbeitet werden kann. Das vorliegende Modul beinhaltet eine Anleitung für die Bewertungssystematik und soll zur Harmonisierung und Qualitätssicherung der Variantenstudien beitragen. Die im Modul vorgeschlagene Systematik erlaubt, die jeweils für den Einzelfall optimale Sanierungsvariante auf transparente und objektive Weise zu ermitteln.

Damit wird eine der Zielsetzungen der Altlasten-Verordnung (AltIV) erfüllt, nämlich die Sanierung von Altlasten durch fallangepasste Sanierungsvarianten. Umweltverträgliche, wirtschaftliche und dem Stand der Technik entsprechende Massnahmen sind nicht zuletzt auch Voraussetzungen, damit Abgeltungen gemäss Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA) gewährt werden können.

Gérard Poffet  
Vizedirektor  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

## > Zusammenfassung

Zur Sanierung von Altlasten sind fallangepasste Massnahmen notwendig. Zu Beginn der Erarbeitung des Sanierungsprojekts gilt es, aus den vielfältig möglichen Massnahmen die geeignetste bzw. optimale daraus zu bestimmen, damit die Sanierung erfolgversprechend, dem Stand der Technik entsprechend, wirtschaftlich und umweltgerecht umgesetzt werden kann.

Dieser Variantenwahl kommt eine besondere Bedeutung zu, bei der Festlegung der Sanierungsmassnahmen im Rahmen der Sanierungsverfügung und bei den Kostenverteilungs- und Abgeltungsverfahren gemäss der Verordnung über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA). Dies weil die öffentliche Hand und allfällige Verursacher Gewähr haben wollen, dass ihre finanziellen Mittel auf eine zweckvolle, wirtschaftliche und umweltverträgliche Art und Weise eingesetzt werden.

Zur Evaluation der optimalen Sanierungsvariante (d. h. derjenigen Variante mit dem besten Kosten/Nutzen-Verhältnis, welche erlaubt, die Sanierungsziele zu erreichen), ist es notwendig, nach klar definierten Abläufen und Kriterien vorzugehen und die Variantenwahl transparent zu dokumentieren.

Der Umfang und Detaillierungsgrad beim Vorgehen zur Identifikation und Bewertung von Sanierungsvarianten orientiert sich an der Komplexität der Altlast. So sind insbesondere Vereinfachungen oder Abweichungen beim Vorgehen in dringenden oder bei kleinen Sanierungsfällen sowie bei Fällen mit nahe liegenden Lösungen möglich.

In einem stufengerechten Prozess wird nach der Beschaffung der erforderlichen Grundlagen aus der Vor- und Detailuntersuchung wie folgt vorgegangen:

- > Schritt 1: Grobe Beurteilung, welche der möglichen Massnahmen grundsätzlich zur Sanierung der Altlast geeignet sind.
- > Schritt 2: Identifizierung der technisch realisierbaren Sanierungsverfahren.
- > Schritt 3: Kombination zu Sanierungsvarianten aus den technisch realisierbaren Verfahren.
- > Schritt 4: Bewertung der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit, Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen sowie bezüglich Kosten und Wahl der optimalen Sanierungsvariante.

Dieses strukturierte und schrittweise Vorgehen bildet die Basis für die Bestimmung und Beschreibung der optimalen Sanierungsvariante im Rahmen der Variantenstudie als erster Teil des Sanierungsprojekts. Das Evaluations- und Bewertungsprozedere muss für jeden Teilschritt nachvollziehbar begründet, sowie transparent dargestellt und beschrieben werden. All dies ist nicht zuletzt auch eine Voraussetzung, damit Abgeltungen aus dem Bundesfonds gemäss VASA entrichtet werden können.

---

## > Einleitung

Gemäss Artikel 32c des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) sind Deponien und andere durch Abfälle belastete Standorte zu sanieren, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen oder die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen. Es wird davon ausgegangen, dass in der Schweiz rund 4000 Standorte sanierungsbedürftig sind und somit eine Altlast darstellen.

Die altlastenrechtlichen Massnahmen müssen gemäss Artikel 4 der Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) dem Stand der Technik<sup>1</sup> entsprechen. Diese Vorgabe setzt in der Praxis die Durchführung einer Variantenstudie voraus, um die auf die Altlast angepasste optimale Sanierungsvariante zu ermitteln. Die Wahl einer Sanierungsvariante hat zudem meist ökologisch weit reichende und finanziell aufwendige Konsequenzen. Es ist deshalb auch in dieser Hinsicht ein Bedürfnis sowohl der Vollzugsbehörden als auch der Wirtschaft, die Anforderungen an die Durchführung und Dokumentation einer Variantenstudie zu definieren und zu harmonisieren. Im Übrigen legt Artikel 32e Absatz 4 USG fest, dass Abgeltungen des Bundes nur geleistet werden, wenn die Massnahmen umweltverträglich<sup>2</sup> und wirtschaftlich<sup>3</sup> sind, sowie dem Stand der Technik entsprechen.

Da jede Altlast bezüglich ihrer Eigenschaften und des Standortumfelds einzigartig ist, gilt es aus der Vielzahl von vorhandenen Sanierungsverfahren mittels einer nachvollziehbaren und transparenten Methode die optimale Sanierungsvariante zu bestimmen.

Während der Evaluation und der Festlegung der optimalen Sanierungsvariante ist eine regelmässige und gegenseitige Abstimmung zwischen dem Sanierungspflichtigen und den Vollzugsbehörden zu empfehlen.

---

<sup>1</sup> Der Stand der Technik kennzeichnet einen fortschrittlichen Entwicklungsstand technologischer Verfahren, die sich in der praktischen Anwendung bewährt haben oder bei Versuchen erfolgreich eingesetzt wurden und nach den Regeln der Technik in der Praxis auf vergleichbare Standorte übertragen werden können.

<sup>2</sup> Die Umweltverträglichkeit einer Massnahme ist gegeben, wenn diese die gesetzlichen Vorschriften zum Schutze der Umwelt einhält.

<sup>3</sup> Wirtschaftlich ist die am besten geeignete und günstigste der zu Verfügung stehenden (notwendigen) Sanierungsmassnahmen.

# 1 > Ziel

---

## 1.1 Ziel des Moduls

Die hier beschriebene Methodik soll auf transparente und nachvollziehbare Art und Weise ermöglichen aus der Vielzahl von Sanierungsverfahren für eine Altlast die fallangepasste optimale Sanierungsvariante zu bestimmen.

Im Vollzugsalltag wird festgestellt, dass bei der Wahl der Verfahren zur Sanierung von Altlasten oft nur der Bekanntheitsgrad der Massnahmen oder deren Kosten als massgebende Kriterien herangezogen werden und direkt auf die «bekannteste» oder «günstigste» Variante zugesteuert wird.

Das Ziel des Moduls «Evaluation von Sanierungsvarianten» der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten» ist es, die Systemgrenzen, Grundlagen, Vorgehensweisen und Kriterien zur Identifikation von Sanierungsvarianten sowie zur Bewertung von Sanierungsvarianten in einer klar definierten, praxisbezogenen Art zu liefern. Sie soll Kantonen, Gutachtern und Sanierungspflichtigen das Vorgehen zur Ermittlung der optimalen Sanierungsvariante darlegen. Insbesondere soll sie aber auch dem BAFU als wesentliche Grundlage zur Beurteilung von VASA-Abgeltungsgesuchen dienen. Es soll nicht zuletzt verhindert werden, dass Sanierungsvarianten vorgeschlagen bzw. ausgearbeitet werden, für die keine Abgeltungen entrichtet werden können.

Mit der in dieser Publikation beschriebenen Variantenstudie und deren kriterien-gestützten und strukturierten Vorgehen soll gewährleistet werden, dass eine Variante gewählt wird, mit derer das Sanierungsziel erreicht werden kann, und die bezüglich Umweltverträglichkeit, Stand der Technik und Wirtschaftlichkeit möglichst optimal ist.

## 1.2 Struktur des Moduls

Das vorliegende Modul «Evaluation von Sanierungsvarianten» gliedert sich grundsätzlich in folgende Teile:

> **Identifikation von Sanierungsvarianten:** Dieser Teil bietet eine konkrete Hilfestellung für die fallspezifische Identifikation von technisch realisierbaren Sanierungsverfahren («vom Denkbaren zum Möglichen»). In einem ersten Schritt wird beschrieben, welche der drei möglichen Massnahmen (Dekontamination, Sicherung, Monitored Natural Attenuation) grundsätzlich für eine Sanierung in Frage kommen. Im zweiten Schritt werden ausgehend von der am Standort vorherrschenden Verhältnisse im Boden (Geologie und Hydrogeologie), den vorhandenen Schadstoffen und deren Verteilung sowie weiteren Standortfaktoren mögliche Verfahren und Methoden zur Sanierung identifiziert. Je nach Projekt bzw. Fragestellung bildet ein ein-

---

zelnes Verfahren oder eine Kombination von Verfahren eine spezifische Variante für die Sanierung einer Altlast.

- > **Bewertung von Sanierungsvarianten:** Dieser Teil bietet eine Hilfestellung für die kriteriengestützte Auswahl einer optimalen Variante («vom Möglichen zum Optimalen»). Es wird aufgezeigt, wie anhand konkreter Kriterien die einzelnen Varianten bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit, Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen sowie Kosten bewertet werden und schliesslich die Auswahl einer optimalen Variante ermöglichen.

## 2 > Grundlagen

---

### 2.1 Rechtliche Grundlagen

Die vorliegende Publikation konkretisiert die bundesrechtlichen Grundlagen der Altlastenbearbeitung.

Gemäss Artikel 32c des Bundesgesetzes vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) sorgen die Kantone dafür, dass Deponien und andere durch Abfälle belastete Standorte (belastete Standorte) saniert werden, wenn sie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen oder die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen.

Die Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) konkretisiert den Artikel 32c USG.

Nach Artikel 4 AltIV müssen die altlastenrechtlichen Massnahmen dem Stand der Technik entsprechen.

Im Übrigen enthält die AltIV Vorschriften für diese Publikation in den folgenden Abschnitten:

3. Abschnitt: Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit
4. Abschnitt: Ziele und Dringlichkeit der Sanierung
5. Abschnitt: Sanierung
6. Abschnitt: Pflicht zu Untersuchungs-, Überwachungs- und Sanierungsmassnahmen

### 2.2 Grundsätze der Altlastensanierung

Das Ziel einer Altlastensanierung ist die dauerhafte Unterbindung der widerrechtlichen Einwirkungen auf die Umwelt. Verschiedene Grundsätze sind bei der Altlastenbearbeitung zu beachten:

- > **Quellenstopp:** Hauptzweck der Sanierung ist, den Eintrag von Schadstoffen aus der Altlast in ein Schutzgut soweit zu verringern, dass auch langfristig keine Sanierungsbedürftigkeit mehr gegeben ist, also die in der AltIV festgelegten «Sanierungsauslöser» für Grundwasser, oberirdische Gewässer, Boden und Luft unterschritten werden (Prinzip des Quellenstopps). Da die Sanierung auf das Schutzgut bezogen ist, muss sie nicht zwingend zum Ziel haben, die Schadstoffe vollständig vom Standort zu entfernen (keine Luxussanierungen).

- 
- > **Langfristige, nachhaltige Gefahrenbeseitigung:** Die Sanierung soll eine definitive Lösung sein und eine langfristige, dauerhafte Wirksamkeit garantieren.
  - > **Lösung des Altlastenproblems in 1–2 Generationen:** Die Sanierungsmassnahmen sollen in maximal 25 bis 50 Jahren abgeschlossen sein, so dass die Standorte ohne weitere aktive Massnahmen sich selbst überlassen werden können.

### 2.3 Grundsätze bei der Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes

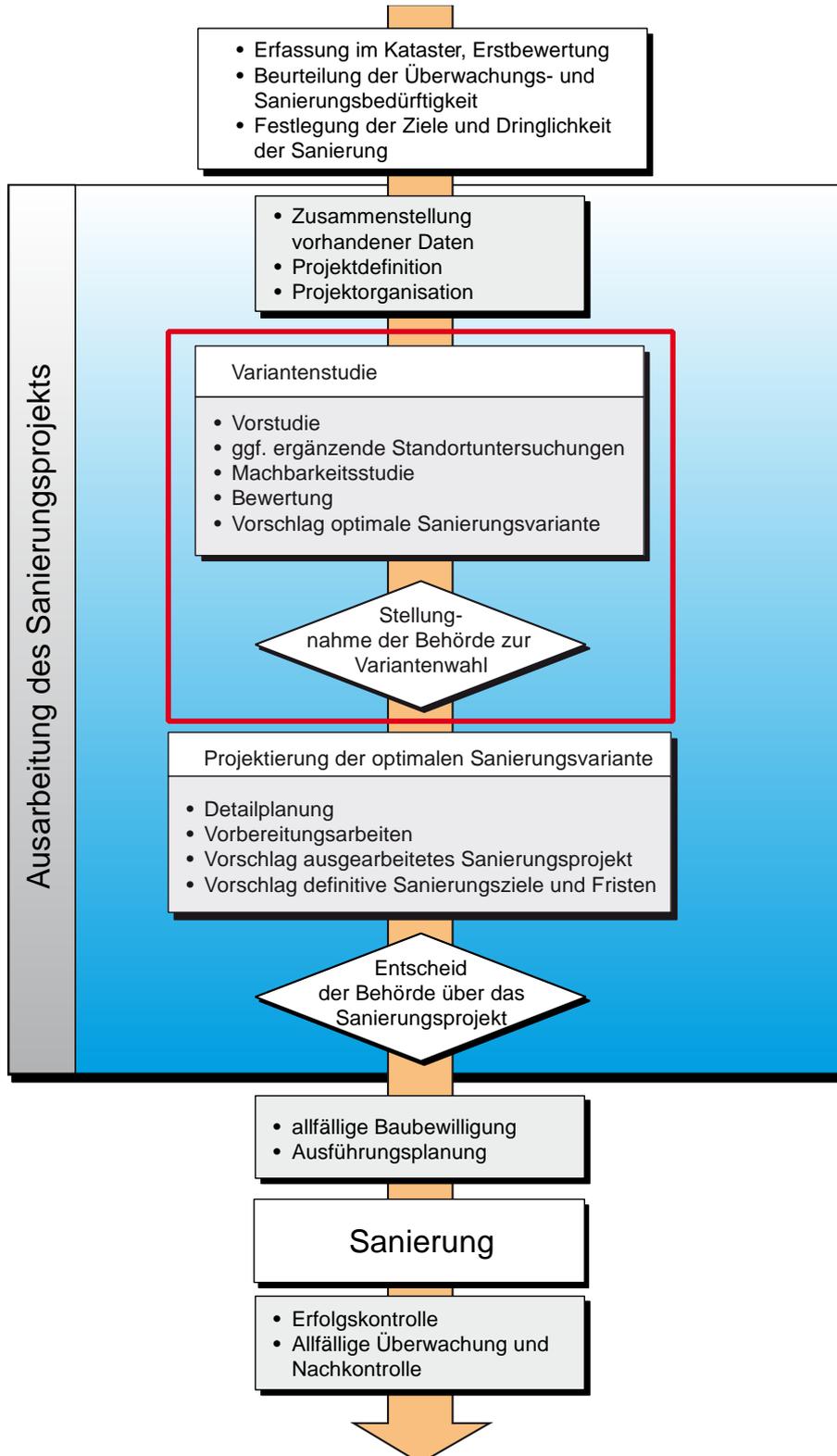
Die Grundlage für die Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes bildet die BAFU-Publikation «Erstellung von Sanierungsprojekten für Altlasten» aus dem Jahr 2001. Die einzelnen Bearbeitungsschritte sind nachfolgend in Abbildung 1 dargestellt.

Eine optimale und möglichst nachhaltige Vorgehensweise bei der Sanierung einer Altlast bedarf einer soliden Projektgrundlage. Das ist Zweck und Aufgabe des Sanierungsprojektes, welches der Sanierungspflichtige erarbeiten muss. Mit dem Sanierungsprojekt sind die auf den Einzelfall ausgerichteten Sanierungsverfahren zu erarbeiten, welche ökologisch sinnvoll, technisch realisierbar und finanziell tragbar sein sollen. Anhand des Sanierungsprojektes kann die Behörde die Variantenstudie sowie die vorgesehene Sanierungsvariante beurteilen und in Absprache mit den Betroffenen die Sanierungsziele und -massnahmen definitiv festlegen.

Im Rahmen dieses Ablaufs dient das vorliegende Modul der Identifikation und Bewertung von Sanierungsvarianten bzw. der Auswahl der optimalen Sanierungsvariante.

**Abb. 1 > Detaillierter Ablauf für die Erstellung von Sanierungsprojekten**

*Rot umrahmt: Evaluation der optimalen Sanierungsvariante.*



---

## 3 > Generelles Vorgehen – Ablaufschema

---

Das Ablaufschema zur Identifikation und Bewertung von Varianten zur Sanierung von Altlasten ist in Abbildung 2 dargestellt.

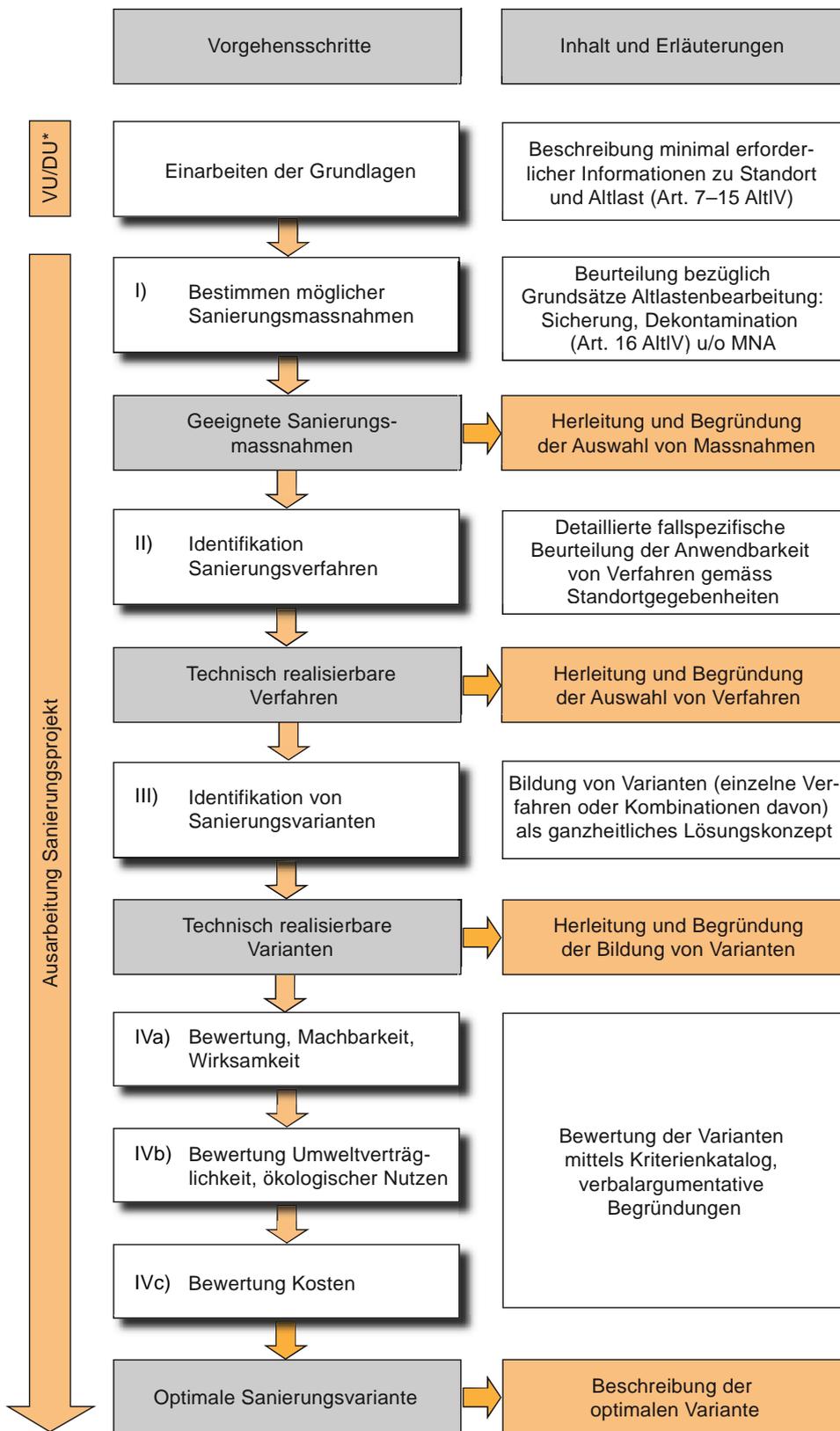
Aus einem Pool von Sanierungsverfahren soll die für den Einzelfall optimale Sanierungsvariante identifiziert werden. **Der Umfang und Detaillierungsgrad beim Vorgehen zur Identifikation und Bewertung von Sanierungsvarianten orientiert sich an der Komplexität der Altlast. So sind insbesondere Vereinfachungen oder Abweichungen beim Vorgehen in dringenden oder bei kleinen Sanierungsfällen möglich.** Bei komplexen Fällen bewährt sich meist ein iteratives Vorgehen mit häufigem Austausch zwischen Sanierungspflichtigem, Gutachter und den Behörden.

In einem stufengerechten Prozess wird nach der Beschaffung der erforderlichen Grundlagen aus der Vor- und Detailuntersuchung (vgl. Art. 7 und Art. 14 AltIV) grob beurteilt, welche der möglichen Massnahmen grundsätzlich zur Sanierung einer bestimmten Altlast geeignet sind (Schritt 1). Danach werden die technisch realisierbaren Sanierungsverfahren identifiziert bzw. erarbeitet (Schritt 2). Aus der Vielzahl von technisch realisierbaren Verfahren werden Varianten gebildet (Schritt 3). Varianten können aus einzelnen Verfahren oder einer Kombination diverser Verfahren bestehen. Sie bilden ein ganzheitliches Lösungskonzept für die Sanierung einer Altlast.

Schliesslich werden die technisch realisierbaren Varianten bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit, Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen sowie bezüglich Kosten bewertet (Schritt 4), so dass die optimale Sanierungsvariante bestimmt werden kann.

Ein fiktives Beispiel dieses Vorgehens ist im Anhang wiedergegeben.

Abb. 2 > Ablaufschema zur Identifikation und Bewertung von Varianten zur Sanierung von Altlasten



\*VU / DU = Voruntersuchung / Detailuntersuchung.

## 4 > Identifikation technisch realisierbarer Sanierungsvarianten

---

### 4.1 Zusammenstellung der Grundlagen

In einem ersten Schritt werden die Grundlagen bezüglich Standort und betroffener Altlast zusammengetragen und auf Vollständigkeit bzw. Aussagekraft überprüft.

Neben den generellen Angaben zur Altlast sind sämtliche vorhandenen Unterlagen aufzulisten und die wichtigsten Erkenntnisse aus der Vor- und Detailuntersuchung zusammenzutragen (vgl. Art. 14 und 15 AltIV). Dies sind insbesondere Art, Lage, Menge und Konzentration der am Standort vorhandenen umweltgefährdenden Stoffe (Schadstoffpotential) sowie Art, Fracht und zeitlicher Verlauf der tatsächlichen oder möglichen Einwirkungen auf die Umwelt (Freisetzungspotential, Gefährdungsabschätzung). Insbesondere sollen auch die Lage und Bedeutung der gefährdeten Umweltbereiche, sowie die festgelegten Ziele und die Dringlichkeit der Sanierung als Ausgangslage berücksichtigt werden.

### 4.2 Mögliche Sanierungsmassnahmen (Schritt 1)

#### 4.2.1 Zielsetzung

In einem ersten Schritt wird grob evaluiert, mit welchen Massnahmen grundsätzlich die Sanierung einer bestimmten Altlast erreicht werden kann. Mögliche Massnahmen sind (Art. 16 AltIV):

- > Dekontamination, bei welcher umweltgefährdende Stoffe beseitigt werden; oder
- > Sicherung, bei welcher die Ausbreitung der umweltgefährdenden Stoffe langfristig verhindert und überwacht wird.

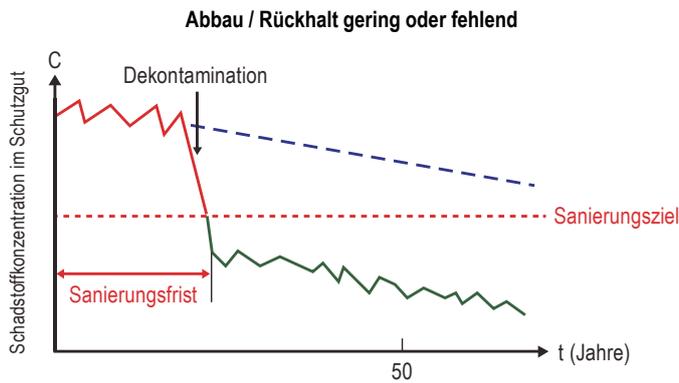
Unter bestimmten Voraussetzungen (vgl. nachfolgendes Kapitel) werden die Sanierungsziele auch ohne aktive Massnahmen erreicht, und es genügt eine Überwachung des Standorts mittels:

- > Monitored Natural Attenuation (MNA), bei welcher die Sanierungsziele in der geforderten Frist ohne aktive Sanierungsmassnahmen durch natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse erreicht werden.

4.2.2 Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer Massnahme

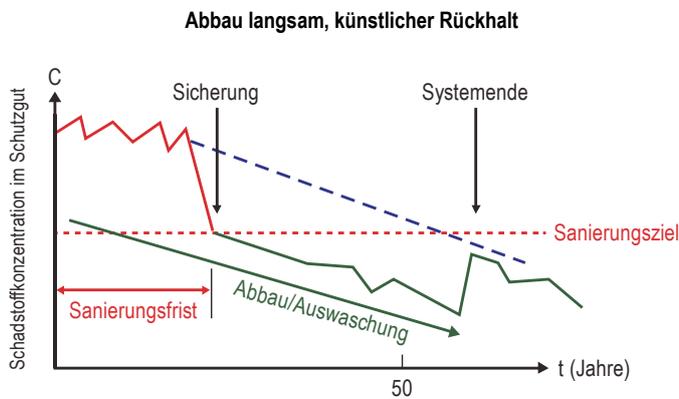
Die Eigenschaften und Anwendbarkeit der drei Massnahmen werden nachfolgend kurz beschrieben und zusammengefasst:

Abb. 3 > Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer Massnahme



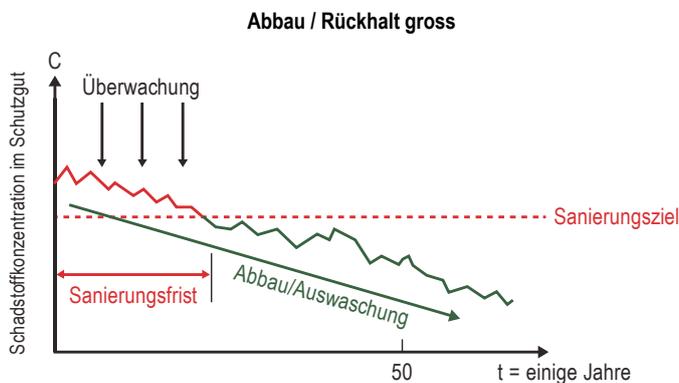
**Dekontamination**

Altlasten, bei denen persistente Schadstoffe nicht innerhalb der vorgegebenen Sanierungsfrist bzw. nicht innerhalb von 1–2 Generationen wegen geringem oder fehlendem Rückhalt oder Abbau auf ein zulässiges Mass reduziert werden, sind einer Dekontamination (Beseitigung der Schadstoffe) zuzuführen.



**Sicherung**

Sicherungsmassnahmen sind in erster Linie dort angezeigt, wo der Standort in Anbetracht der vorliegenden Erkenntnisse über die Schadstoffbelastung und auf Grund des voraussichtlich weitgehenden Abbaus der Schadstoffe nach spätestens 1–2 Generationen ohne weitere aktive Massnahmen sich selbst überlassen werden kann (z. B. alte Hausmülldeponien, Mineralölverunreinigungen). Die Sicherung erfordert eine ständige Überwachung bis zum Systemende, d. h. bis die Einwirkungen auf das Schutzgut auch ohne Sicherungsmassnahme das zulässige Mass nicht mehr überschreitet.



**Monitored Natural Attenuation (MNA)**

MNA stellt keine eigentliche Sanierungsmassnahme dar, sondern ist als natürlicher im Untergrund ablaufender physikalischer, chemischer und biologischer Schadstoffminderungsprozess zu bezeichnen. Die Überwachung dieser natürlichen Schadstoffminderungsprozesse wird als MNA (überwachter natürlicher Abbau) bezeichnet. MNA kann angewendet werden, wenn sich die vorhandenen Schadstoffe rasch natürlich abbauen. Die Zeit, bis das Sanierungsziel durch natürlichen Abbau erreicht ist, muss kleiner sein als die vorgegebene Sanierungsfrist. Die Massnahme erfordert eine ständige Überwachung der sanierungsauslösenden Schadstoffe.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Voraussetzungen für die grundsätzliche Anwendbarkeit einer Massnahme zusammengefasst (Schritt 1).

**Abb. 4 > Voraussetzungen für grundsätzliche Anwendbarkeit einer Massnahme (Schritt 1)**

Massnahme	Voraussetzungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dekontamination               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beseitigung umweltgefährdender Stoffe durch aktive Entfernung bzw. Zerstörung der Schadstoffe in der Quelle</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T_{(Frist)} &lt; 50 \text{ Jahre} &lt; T_{(Degradation)}</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherung               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Verhinderung der Ausbreitung umweltgefährdender Stoffe</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T_{(Frist)} &lt; T_{(Degradation)} &lt; 50 \text{ Jahre}</math></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitored Natural Attenuation (MNA)               <ul style="list-style-type: none"> <li>– (Überwachte) natürliche Abbau und Rückhalteprozesse</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T_{(Degradation)} &lt; T_{(Frist)}</math></li> </ul>

Bei komplexen Sanierungen kann es fallweise auch notwendig sein, Verschiedene Massnahmen zu kombinieren. D. h. beispielsweise eine Teildekontamination mit einer Sicherungsmassnahme oder mit MNA zu kombinieren.

### 4.3 Technisch realisierbare Sanierungsverfahren (Schritt 2)

#### 4.3.1 Zielsetzung

Das Ziel des Schrittes 2 ist, dem Sanierungspflichtigen einen Überblick zu verschaffen, welche Sanierungsverfahren unter den gegebenen Bedingungen grundsätzlich technisch realisierbar wären.

Als Hilfsmittel für die Bestimmung der Anwendbarkeit eines Verfahrens dienen einerseits Erfahrungswerte von Anbietern von Sanierungstechnologien und andererseits die folgenden Module der Vollzugshilfe «Sanierung von Altlasten» des BAFU: «Erstellung von Sanierungsprojekten für Altlasten», «Sicherung von Deponiealtlasten» und «In-situ-Sanierung».

Im nachfolgenden Abschnitt findet sich eine Zusammenstellung möglicher relevanter Faktoren, welche für die Identifikation von Sanierungsverfahren bedeutend sein können.

#### 4.3.2 Relevante Faktoren

Zur Beurteilung der Anwendbarkeit eines Verfahrens für die Sanierung einer bestimmten Altlast sind verschiedene Faktoren zu beachten. Namentlich sind insbesondere folgende Faktoren zu beachten:

- > **Boden/Geologie:** Je nach den am Standort vorherrschenden geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen sind Sanierungsverfahren mehr oder weniger geeignet. Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob die Sanierung auslösenden Stoffe im gesättigten oder ungesättigten Bodenbereich vorherrschen. Im Grundwasser spielen die Fliessgeschwindigkeit, -richtung und -mächtigkeit eine wichtige Rolle für den Schadstofftransport.  
Ebenfalls relevant für die Beurteilung ist die Bodenstruktur (geschichtet, künstliche Auffüllung), die Kornverteilung (Ton, Silt, Sand, Kies) sowie das Adsorptionsvermögen für bestimmte Schadstoffe.
- > **Schadstoffe:** Je nach Schadstoffklasse (Anorganika, Organika, flüchtige, nicht flüchtige Substanzen, usw.) sind einige Verfahren nicht anwendbar. Daher ist es unerlässlich, sich einen Überblick zu verschaffen, welche relevanten Schadstoffe am Standort vorkommen, und welche Eigenschaften diese aufweisen.
- > **Weitere Standorteigenheiten:** Einige Verfahren sind mit einem grossen Raum- bzw. Zeitbedarf verbunden, so dass im Voraus diverse Verfahren bereits ausgeschlossen werden können.

Genauere Angaben bezüglich der altlastenrelevanten Gegebenheiten ergeben sich aus der Vor- und Detailuntersuchung. Wo relevante Kenntnislücken bestehen, müssen diese vorgängig geschlossen werden. Wenig relevante Kenntnislücken und die dazu getroffenen Annahmen sind zu dokumentieren.

In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über verschiedene Verfahren gegeben und die Eignung bezüglich oben genannter Bedingungen beurteilt. Die Auflistung der Verfahren sowie deren Beurteilung bezüglich Anwendbarkeit dienen als Hilfestellung und sind nicht abschliessend.

#### 4.3.3 Dekontaminationsverfahren

Im Rahmen einer Dekontamination können **Off-Site-, On-Site-** oder **In-Situ-Verfahren** durchgeführt werden. Eine Auflistung der wichtigsten Verfahren findet sich in den nachfolgenden Tabellen 1 und 2.

Bei den Off-Site-Verfahren werden die ausgehobenen Abfälle entweder behandelt («dig and treat») oder in einer Deponie abgelagert («dig and dump»). In der nachfolgenden Tabelle findet sich eine Zusammenstellung der wichtigsten Verfahren. Die On-Site-Verfahren unterscheiden sich grundsätzlich nicht von den Off-Site-Verfahren ausser, dass sie direkt vor Ort durchgeführt werden und dementsprechend zusätzlichen Fläche bzw. Raum in Anspruch nehmen.

**Tab. 1 > Off- und On-Site-Verfahren**

Behandlung	Thermische Verfahren	Sonderabfallverbrennungsanlage*
		Zementwerk*
		Thermische Bodenbehandlung (max. 600 °C)**
	Biologische Verfahren	Mikrobielle Verfahren**
	Andere Verfahren	Bodenwäsche**
Ablagerung	Deponierung	Deponie Inland*
		Untertagdeponie (Export)*

\* nur Off-Site-Verfahren, \*\* Off- und On-Site-Verfahren

In-Situ-Verfahren können sowohl im ungesättigten sowie im gesättigten Bereich durchgeführt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die relevantesten Verfahren zusammengestellt. Eine ausführliche Liste sowie weiterführende Informationen zu In-Situ-Verfahren finden sich im Modul «In-situ-Sanierung» des BAFU unter [www.bafu.admin.ch/in\\_situ\\_sanierung/](http://www.bafu.admin.ch/in_situ_sanierung/).

**Tab. 2 > In-Situ-Verfahren**

Ungesättigte Zone	Pneumatische Verfahren	Bodenluftabsaugung
	Hydraulische Verfahren	Vertikale Infiltration
	Biologische Verfahren	Bioventing
		Aerobisierung
Andere Verfahren	Chemische Oxidation	
Gesättigte Zone	Pneumatische Verfahren	Air Sparging (Strippen)
		Phasenentnahme
	Hydraulische Verfahren	Pump and Treat
		Grundwasserinfiltration (Soil Flush)
		Reaktive Barriersysteme (vollflächig durchströmte Reinigungswände)
		Reaktive Barriersysteme (Reinigungswände mit gelenktem Grundwasserstrom)
	Biologische Verfahren	Mikrobiologische Verfahren
		Biosparging
	Andere Verfahren	Chemische Oxidation

In Tabelle 3 sind wesentliche Entscheidungshilfen bzw. Faktoren beschrieben, welche die Wahl eines Sanierungsverfahrens bestimmen.

**Tab. 3 > Wesentliche Entscheidungshilfen für eine In-Situ- oder On-Site- / Off-Site-Sanierung**

	In-Situ Sanierung	On-Site-/Off-Site-Sanierung
Bodenstruktur	Nichtbindiger Untergrund	Bindiger Untergrund
Lage der Kontamination	Tiefer im Untergrund	oberflächennah
	Gesättigter Untergrund	Ungesättigter Untergrund
Art der Kontamination	Schadstoff flüchtig, gut wasserlöslich, biologisch gut abbaubar	Schadstoff nicht flüchtig, schlecht wasserlöslich oder nicht biologisch abbaubar
	LCKW, BTEX, MKW, Phenol, Ammonium, wasserlösliche Schwermetalle und Cyanide	PAK, Cyanide, Pestizide, PCB, PCDD/F, Schwermetalle
Aktuelle Nutzung	Genutztes und bebautes Gelände	Ungenutztes Gelände
Zeitdauer	Längere Sanierungsdauer möglich	Kurzfristige Sanierung erforderlich
Folgenutzung	Wenig sensible Folgenutzung	Sensible Folgenutzung

Bei einer Dekontamination mit einer Off-Site Entsorgung ist im Speziellen die Technischen Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA) massgebend.

Für eine umweltgerechte Entsorgung von Abfällen sind bei der Wahl der Dekontaminationsverfahren die Anforderungen der TVA einzuhalten. Insbesondere sind folgende abfallrechtlichen Grundsätze zu beachten:

- > Unverschmutztes Aushub-, Abraum und Ausbruchmaterial soll für Rekultivierungen verwertet werden (Art. 16 Abs. 3 Bst. d TVA).
- > Im Rahmen der Aushubarbeiten sollen verwertbare und nicht verwertbare Abfälle möglichst getrennt werden (Art. 9 TVA).
- > Abfälle sollen verwertet werden, wenn die Verwertung technisch möglich und wirtschaftlich tragbar ist und dadurch die Umwelt weniger belastet wird als durch die Beseitigung und Neuproduktion (Art. 12 Abs. 3 Bst. a TVA).
- > Nicht verwertete Abfälle sollen soweit wie möglich so behandelt werden, dass sie auf Inert- oder Reaktordeponien abgelagert werden dürfen (Art. 16 Abs. 3 Bst. b TVA und Anhang 1 Ziffer 31 TVA).
- > Brennbare Abfälle und Stoffe müssen mit einem thermischen Verfahren behandelt werden (Art. 11 TVA).

#### 4.3.4 Sicherungsverfahren

Grundsätzlich wird bei den Sicherungsverfahren zwischen Oberflächensicherung, vertikaler Sicherung, Basisabdichtung und Drainagen (Wasser, Gas), Immobilisierung der Schadstoffe sowie pneumatischen Sicherungsverfahren unterschieden. Je nach Wirkungspfad (Grundwasser, oberirdische Gewässer, Luft, direkter Oberflächenkontakt) sind andere Verfahren zur Sicherung bzw. zur Emissionsminimierung oder -unterbrechung erforderlich.

Ein Überblick über relevante Sicherungsverfahren ist in Tabelle 4 gegeben. Eine Zusammenfassung bei welchem Wirkungspfad welches Verfahren geeignet ist sowie

weitere Entscheidungsgründe für einzelne Sicherungsverfahren und deren Anwendbarkeit finden sich im Modul «Sicherung von Deponie-Altlasten».

**Tab. 4 > Verfahren zur Sicherung einer Altlast**

Oberflächensicherung	Oberflächenabdichtung, Oberflächenabdeckung
Vertikale Sicherung	Dichtwand
	Aktive hydraulische Massnahmen, Grundwasserabsenkung, Grundwasserumleitung, Grundwasserentnahme
Basisabdichtung	Basisabdichtungen
Drainage	Sickerwasserfassung, -behandlung
	Entwässerung
Immobilisierung	Verfestigung
	Verglasung
	Chemische Fixierung
Pneumatische Sicherung	Bodenluft-, Gasdrainage

#### 4.3.5 Monitored Natural Attenuation

Bei einer Monitored Natural Attenuation (MNA) ist aufgrund natürlicherweise im Untergrund ablaufender Abbau- und Rückhalteprozesse die Ausbreitung von Schadstoffen in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone verlangsamt und unter günstigen Bedingungen ein Schrumpfen von Schadstofffahnen vorhanden.

Wesentliche Entscheidungskriterien für die Anwendbarkeit und Akzeptanz eines MNA-Konzepts sind nachfolgend beschrieben:

- > Die vorhandenen Schadstoffe sind aufgrund ihrer Eigenschaften für natürliche Abbau- und Rückhalteprozesse geeignet, wie beispielsweise aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW) oder Benzininhaltsstoffe (BTEX).
- > Die natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse müssen identifiziert werden können bzw. müssen bekannt sein.
- > Die Schadstofffahne muss stationär oder rückläufig sein und die natürlichen Abbau- und Rückhalteprozesse müssen quantifiziert werden können, so dass eine Reduktion der Schadstoffe nachgewiesen werden kann (z. B. durch Isotopenanalysen).
- > Es muss der Nachweis erbracht werden, dass das angestrebte Sanierungsziel innerhalb der geforderten Frist erreicht wird.
- > Die Prozesse müssen langfristig stabil und nicht reversibel sein.

---

#### 4.4 Identifikation von Sanierungsvarianten (Schritt 3)

##### 4.4.1 Zielsetzung

Als Basis für die Bildung von Sanierungsvarianten dienen die Verfahren, welche im vorhergehenden Schritt für eine spezifische Altlast als technisch realisierbar identifiziert wurden.

Bei einfachen Fällen lässt sich eine Altlast mit einem einzigen Verfahren sanieren. Bei komplexeren Fällen kann mit einer Kombination von verschiedenen Verfahren eine Altlast effizient und wirkungsvoll saniert werden. Mit der Bildung von Varianten aus einer Kombination von verschiedenen Verfahren soll bei komplexeren Fällen ein ganzheitliches Lösungskonzept für die Sanierung einer Altlast gefunden werden.

Zunächst ist die technische Realisierbarkeit zu beurteilen. Ein Vergleich bzw. eine Bewertung der Varianten bezüglich ökologischer Wirksamkeit und Kosteneffektivität folgen danach, wobei das entsprechende Vorgehen in Kapitel 5 beschrieben wird.

##### 4.4.2 Dokumentation der technisch realisierbaren Varianten

In einer Dokumentation, welche ein Bestandteil des Berichts über die Variantenstudie ist, sind die technisch realisierbaren Varianten zu definieren und zu beschreiben. Je nach Altlast und Komplexität des Problems sind dies in der Regel einige wenige bis mehrere Varianten.

# 5 > Bewertung der technisch realisierbaren Varianten

---

## 5.1 Zielsetzung

Nachdem die technisch realisierbaren Sanierungsvarianten identifiziert wurden (Schritte 1–3), werden diese anhand bestimmter Kriterien bewertet (Schritt 4). Ziel ist es aus der Vielzahl von möglichen Sanierungsvarianten die optimale Sanierungsvariante herauszufiltern.

Die Kriterien und das darauf basierende Bewertungsprozedere sind als Hilfestellung zu verstehen. Sie bezwecken eine Strukturierung des gesamten Bewertungsprozesses.

Mit dem kriteriengestützten und strukturierten Vorgehen soll möglichst gewährleistet werden, dass eine Variante gewählt wird, mit welcher das Sanierungsziel erreicht werden kann und deren Umweltverträglichkeit, Stand der Technik sowie Wirtschaftlichkeit gegeben und optimal ist. All dies sind auch Grundvoraussetzungen für Abgeltungen aus dem VASA-Fonds.

Mit der Bewertung der technisch realisierbaren Varianten (Schritt 4) werden die einzelnen Varianten zuerst bezüglich genereller Machbarkeit und Wirksamkeit, danach bezüglich Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen und erst anschliessend bezüglich Kosten bewertet und miteinander verglichen.

Die nachfolgend aufgeführten Bewertungskriterien erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit bzw. Eignung für alle möglichen Sanierungsfälle. Im Einzelfall kann es deshalb angezeigt sein, weitere Kriterien heranzuziehen und die Bewertungskriterien unterschiedlich zu gewichten. Eine Sanierung ausserhalb bewohnten Gebiets unterliegt beispielsweise anderen Randbedingungen als eine solche im dichten Siedlungsgebiet. Die Gewichtung der Kriterien muss nachvollziehbar begründet und erläutert werden.

## 5.2 Bewertung Machbarkeit und Wirksamkeit

In der nachfolgenden Tabelle 6 sind die wesentlichen Kriterien gegeben, welche für die Bewertung einer Variante bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit zu berücksichtigen sind. Allfällige weitere Kriterien sind je nach Fall zu begründen und in die Beurteilung zu integrieren.

**Tab. 5 > Bewertungskriterien Machbarkeit und Wirksamkeit**

Machbarkeit/Wirksamkeit	Bemerkungen
Stand der Technik/ Erfolgsaussichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermutete Anzahl der Sanierungen bzw. Massnahmen, bei denen die Variante erfolgreich angewendet wurde</li> <li>• Erreichung Sanierungsziel, Fristen, langfristige Wirksamkeit</li> </ul>
Kontrollierbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeit zur kontinuierlichen Kontrolle während der Sanierung bzw. Überwachung des Sanierungserfolgs</li> <li>• Gefahr durch Störfälle</li> </ul>
Erforderliche Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauliche Massnahmen vor Ort</li> <li>• Raumbedarf</li> </ul>
Arbeitsicherheit / Gesundheitsschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesundheitsgefährdung (akute und chronische Wirkungen), Explosions- und Brandgefährdung, Gefährdung durch Sauerstoffmangel.</li> </ul>
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anpassung der Variante an sich verändernde Bedingungen (z. B. Störfälle, Überraschungen)</li> </ul>
Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz vor, während und nach Sanierung</li> <li>• Einsprachen seitens Anwohnern, Organisationen</li> <li>• Bewilligungsfähigkeit (Art. 18 AltIV)</li> <li>• Reaktion der Betroffenen bei Terminverzögerungen</li> </ul>

Zur Bewertung der verschiedenen Sanierungsvarianten gilt es zu berücksichtigen, dass die einzelnen Kriterien der Machbarkeit und Wirksamkeit nicht gleich relevant sind. Je nach Standort können gewisse Bewertungskriterien mehr oder weniger relevant sein. Bei einer numerischen Bewertung ist es deshalb meistens sinnvoll eine Gewichtung der einzelnen Kriterien vorzunehmen. Die Gewichtung kann mit Faktoren erfolgen, wobei beispielsweise 0.5 für «wenig relevant», 1 für «relevant» und 1.5 für «sehr relevant» steht (vgl. nachfolgende Tab. 6, Spalte «Gewichtung»). Diese Art der Gewichtung hat den Vorteil, dass «wenig relevante» Kriterien herabgestuft und «sehr relevante» heraufgestuft werden und durch die Gewichtung im Dezimalstellenbereich eine Übergewichtung verhindert werden kann. Andere oder weiter differenzierende Gewichtungsfaktoren sind selbstverständlich auch möglich. Die Gewichtungen müssen jedenfalls begründet werden.

Die einzelnen Kriterien sind soweit wie möglich für jede Variante zu quantifizieren. Für nicht quantifizierbare Kriterien ist verbal-argumentativ zu begründen, welche Vor- und Nachteile eine Variante bezüglich des entsprechenden Kriteriums bietet.

Schliesslich sind alle Varianten bezüglich der Kriterien basierend auf den quantifizierten und/oder argumentativen Bewertungen einzustufen. Die Bewertung der einzelnen Varianten ist tabellarisch zusammenzutragen. Die Bewertung kann beispielsweise auf einer Ordinalskala von 1–5 erfolgen, wobei eine Variante mit einer 1 sehr schlecht und mit einer 5 sehr gut bezüglich des jeweiligen Kriteriums beurteilt wird. Sofern plausibel, sind selbstverständlich andere nachvollziehbare Abstufungen und Werte möglich. Die Tabelle 6 zeigt beispielhaft eine mögliche Zusammenstellung der bewerteten Varianten.

**Tab. 6 > Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit**

Machbarkeit und Wirksamkeit	Gewichtung*	Variante 1**	Variante 1 gewichtet***	Variante 2	Variante 2 gewichtet	Variante 3	Variante 3 gewichtet	Variante X	Variante X gewichtet	Begründungen/Bemerkungen
Stand der Technik / Erfolgsaussichten	1.5	1	1.5	3	4.5	3	4.5	...	...	
Kontrollierbarkeit	1	1	1	2	2	4	4	...	...	
Erforderliche Infrastruktur	1	5	5	3	3	1	1	...	...	
Arbeitssicherheit	1.5	2	3	4	6	1	1.5	...	...	
Flexibilität	0.5	2	1	3	1.5	3	1.5	...	...	
Akzeptanz	1	1	1	3	3	4	4	...	...	
Bewertung	6.5		12.5		20		16.5		...	

\* Beispielhafte Gewichtung der Beurteilungskriterien: 0.5 = wenig relevant, 1 = relevant, 1.5 = sehr relevant;

\*\* Beispielhafte Bewertung der Varianten: 1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = mässig, 4 = gut, 5 = sehr gut

\*\*\* Gewichtete Bewertung: berechnetes Produkt der Gewichtung und Bewertung

### 5.3 Bewertung Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen

Grundsätzlich gilt, dass die bewerteten Sanierungsverfahren und -Varianten umweltverträglich sein müssen, d. h. die gesetzlichen Vorschriften zum Schutze der Umwelt einhalten müssen. Nur solche Sanierungsvarianten sind überhaupt umweltverträglich und machbar.

In Tabelle 7 sind die wesentlichen Kriterien gegeben, welche für die Bewertung einer Variante bezüglich Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen zu berücksichtigen sind. Allfällige weitere Kriterien sind je nach Fall zu begründen und in die Beurteilung zu integrieren.

**Tab. 7 > Bewertungskriterien Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen**

Umweltverträglichkeit, ökologischer Nutzen	Bemerkungen
Ressourcenschonung, Verwertungsanteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhältnis «Materialmenge Behandlung» zu «Materialmenge Deponierung» (Verwertung ist gegenüber «dig and dump» besser zu bewerten)</li> <li>• Schadstoffzerstörung vs. Schadstoffverlagerung</li> </ul>
Schadstoffpotential	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schadstoffpotential vor und nach der Sanierung (insbesondere bei Teildekontaminationen und Sicherungsmassnahmen)</li> <li>• Bezug zu Sanierungsgrundsätzen (Quellenstopp, zeitliche Effektivität)</li> </ul>
Bedarf und Dauer für Nachkontrolle / Überwachung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begründung des Bedarfs für Nachkontrolle / Überwachung</li> <li>• Anzahl Jahre für Nachkontrolle / Überwachung</li> </ul>
Energieverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieverbrauch für Sanierungsmassnahmen, Transporte und Entsorgung (Behandlung bzw. Verbrennung und Verwertung von Abfällen)</li> </ul>
Luft-, Lärm-, Staub- und Geruchsemissionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfahrungswerte Luft- und Lärmemissionen von Baumaschinen und -materialien (Bagger, Pumpen, Transportmittel, etc.)</li> <li>• Anzahl Tage mit erheblichen Luft-, Lärm-, Staub- und Geruchsemissionen (Einwirkungen auf die Arbeitnehmer und die Nachbarschaft).</li> </ul>

Zur Gewichtung der diversen Beurteilungskriterien und der Bewertung der verschiedenen Sanierungsvarianten gelten die gleichen Grundsätze wie im vorhergehenden Kapitel 5.2. Ein Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen ist in nachfolgender Tabelle 8 dargestellt.

**Tab. 8 > Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen**

Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	Gewichtung*	Variante 1**	Variante 1 gewichtet***	Variante 2	Variante 2 gewichtet	Variante 3	Variante 3 gewichtet	Variante X	Variante X gewichtet	Begründungen/Bemerkungen
Ressourcenschonung	1	4	4	2	2	4	4	...	...	
Schadstoffpotential / Effektivität	1.5	2	3	3	4.5	4	6	...	...	
Nachsorgedauer, -bedarf	0.5	1	0.5	4	2	5	2.5	...	...	
Energieverbrauch	1	2	2	1	1	2	2	...	...	
Luft-, Lärm-, Staub- und Geruchsemissionen	0.5	5	2.5	2	1	2	1	...	...	
Bewertung	4.5		12		10.5		15.5	...	...	

\* Beispielhafte Gewichtung der Beurteilungskriterien: 0.5 = wenig relevant, 1 = relevant, 1.5 = sehr relevant;

\*\* Beispielhafte Bewertung der Varianten: 1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = mässig, 4 = gut, 5 = sehr gut

\*\*\* Gewichtete Bewertung: berechnetes Produkt der Gewichtung und Bewertung

## 5.4 Bewertung Kosten

Zuletzt werden die Kosten der einzelnen Varianten quantifiziert bzw. miteinander qualitativ verglichen. Bei den Kosten wird unterschieden zwischen den Kosten für die eigentlichen Sanierungsmassnahmen (Planung/Projektierung, Erstellung der Infrastrukturen, Ausführung) und den allfälligen Kosten für den Betrieb und Unterhalt der Anlagen sowie für den Abschluss bzw. die Überwachung des sanierten Standortes aufgrund eines allfälligen Restrisikos.

**Tab. 9 > Bewertungskriterien Kosten**

Kosten der Sanierung	Bemerkungen
a) Realisierungskosten (einmalige Kosten)	Kosten für Planung/Projektierung, Infrastruktur, Ausführung der Dekontaminations- oder Sicherungsmassnahmen, baubegleitende Überwachung
b) Unterhalts- und Betriebskosten (wiederkehrende Kosten, falls erforderlich)	Kosten für Überwachung, Unterhalt und Betrieb der Infrastrukturen
c) Abschlusskosten (einmalige Kosten)	Erfolgskontrolle, ggf. Rückbaumassnahmen und Nachkontrolle

Die Kosten sind quantifizierbar, weshalb die Varianten in monetären Einheiten zu vergleichen sind. Die Bewertung der einzelnen Varianten ist tabellarisch zusammenzutragen. In Tabelle 10 ist eine grafische Darstellung des Variantenvergleichs beispielhaft abgebildet.

**Tab. 10 > Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Kosten**

Bewertung Kosten	Kosten Variante 1 (Fr.) Jahre Unterhalt Variante 1	Kosten Variante 2 (Fr.) Jahre Unterhalt Variante 2	Kosten Variante 3 (Fr.) Jahre Unterhalt Variante 3	Kosten Variante X (Fr.) Jahre Unterhalt Variante X	Begründungen/Bemerkungen
Realisierungskosten (einmalige Kosten)	Fr. 250 000	Fr. 750 000	Fr. 500 000	Fr. ...	
Unterhalts- und Betriebskosten (wiederkehrende Kosten)*	Fr. 20 000 x 15	- x 0	Fr. 30 000 x 5	Fr. ... x ...	
Abschlusskosten (einmalige Kosten)	Fr. 15 000	Fr. 25 000	Fr. 50 000	Fr. ...	
<b>Total Kosten</b>	<b>Fr. 565 000</b>	<b>Fr. 775 000</b>	<b>Fr. 700 000</b>	<b>Fr. ...</b>	

\* nur falls erforderlich (z.B. bei Sicherungsmassnahmen)

5.5

## Ermittlung der optimalen Variante und Dokumentation

An Hand der einzelnen Bewertungen gemäss Kapitel 5.2 bis 5.4 wird aus den grundsätzlich machbaren die für die Sanierung einer bestimmten Altlast optimale Sanierungsvariante mittels einer zusammenfassenden Bewertungsmatrix ermittelt.

Fallweise kann es sinnvoll sein, das Sammelkriterium «Machbarkeit/Wirksamkeit» gegenüber demjenigen der «Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen» unterschiedlich zu gewichten. In Tabelle 11 wurde davon ausgegangen, dass die beiden Kriterien das gleiche Gewicht haben und deshalb einen gleichwertigen Gewichtungsfaktor von 1 erhalten.

**Tab. 11 > Beispiel einer zusammenfassenden Bewertungsmatrix der technisch und rechtlich realisierbaren Varianten**

Zusammenfassende Bewertung	Gewichtung*	Variante 1	Variante 1 gewichtet	Variante 2	Variante 2 gewichtet	Variante 3	Variante 3 gewichtet	Variante X	Begründungen/Bemerkungen
Machbarkeit / Wirksamkeit	1	12.5	12.5	20	20	16.5	16.5	...	
Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	1	12	12	10.5	10.5	15.5	15.5	...	
<b>Total Bewertungspunkte</b>			<b>24.5</b>		<b>30.5</b>		<b>32</b>	...	
<b>Total Kosten</b>			<b>Fr. 565 000</b>		<b>Fr. 775 000</b>		<b>Fr. 700 000</b>	...	

\* Gewichtung der Bewertungskriterien «Machbarkeit/Wirksamkeit» gegenüber denjenigen von «Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen». Im vorliegenden Beispiel sind die beiden gleichwertig und deshalb beide mit 1 gewichtet.

Eine Möglichkeit der Kosten/Nutzen-Bewertung besteht darin, für jede Variante die Kosten eines Bewertungspunktes zu bestimmen (Total Kosten dividiert durch die Anzahl Bewertungspunkte).

Jede der beurteilten Varianten wird, aufbauend auf den Beurteilungsmatrizen, im Rahmen der Variantenstudie, hinsichtlich ihrer wesentlichen Vor- und Nachteile kommentiert.

Die Bewertungsmatrix ist das geeignete Mittel, verschiedene Sanierungsvarianten bezüglich dieser verschiedenen Beurteilungskriterien miteinander zu vergleichen. Optimale aber preislich etwas teurere Varianten sind z. B. möglich, wenn dies der Nutzen (einer grösseren Erfolgsaussicht) bzw. die geringeren Umweltauswirkungen rechtfertigen.

Bei Sanierungen mit Abgeltungen des Bundes kommt der Variantenstudie eine besondere Bedeutung zu. Wird in Abweichung der optimalen Sanierungsvariante eine Variante realisiert, welche gleich gut geeignet ist das Sanierungsziel zu erreichen aber finanziell erheblich aufwändiger ist (wie z. B. Dekontamination durch Aushub bei einem Bauvorhaben), so bemessen sich die anrechenbaren Kosten bei VASA-Abgeltungen an der optimalen Sanierungsvariante gemäss Variantenstudie.

## 6 > Planung und Beschreibung der optimalen Variante im Sanierungsprojekt

---

Mit dem zuvor erläuterten strukturierten Vorgehen zur Identifikation und Bewertung von Sanierungsvarianten (vgl. Kap. 4 und 5) werden folgende Ergebnisse erarbeitet:

- > Auswahl der grundsätzlich möglichen Massnahmen
- > Auswahl und Beschreibung der technisch realisierbaren Sanierungsverfahren
- > Kurzbeschreibung technisch realisierbarer Varianten (Kombinationen von Verfahren)
- > Quantitativer bzw. qualitativer Variantenvergleich (tabellarische Zusammenstellung und verbal-argumentative Begründungen der Bewertungen)

Dieses strukturierte und schrittweise Vorgehen bildet die Basis für die Bestimmung und Beschreibung der optimalen Sanierungsvariante im Rahmen der Variantenstudie als Teil des Sanierungsprojekts. Das Evaluations- und Bewertungsprozedere muss für jeden Teilschritt nachvollziehbar begründet, dargestellt und beschrieben werden.

Die Vollzugsbehörden prüfen die Variantenwahl und genehmigen die optimale Sanierungsvariante. Sollen für eine Sanierung mit voraussichtlichen Kosten von mehr als Fr. 250 000.– VASA-Abgeltungen beansprucht werden, muss das BAFU vor dem definitiven Entscheid über die anzuwendende Variante angehört werden.

Im Rahmen des eigentlichen Sanierungsprojekts wird die optimale Sanierungsvariante entsprechend den Anforderungen aus Artikel 17 AltIV ausgearbeitet, so dass die Vollzugsbehörden im Rahmen der Sanierungsverfügung abschliessend entsprechend Artikel 18 AltIV die erforderlichen Massnahmen festlegen können.

# > Verzeichnisse

## Abkürzungen

### AltIV

Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV, SR 814.680)

### BAFU

Bundesamt für Umwelt

### BTEX

Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole

### DU

Detailuntersuchung

### KW

Kohlenwasserstoffe

### LCKW

Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe

### MKW

Mineralöl-Kohlenwasserstoffe

### MNA

Monitored natural attenuation

### NA

Natural attenuation

### PAK

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

### PCB

Polychlorierte Biphenyle

### PCDD/F

Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane

### TVA

Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA, SR 814.600)

### USG

Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01)

### UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

### VASA

Verordnung vom 26. September 2008 über die Abgabe zur Sanierung von Altlasten (VASA, SR 814.681)

### VU

Voruntersuchung

## Abbildungen

### Abb. 1

Detaillierter Ablauf für die Erstellung von Sanierungsprojekten 14

### Abb. 2

Ablaufschema zur Identifikation und Bewertung von Varianten zur Sanierung von Altlasten 16

### Abb. 3

Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer Massnahme 18

### Abb. 4

Voraussetzungen für grundsätzliche Anwendbarkeit einer Massnahme (Schritt 1). 19

## Tabellen

### Tab. 1

Off- und On-Site-Verfahren 21

### Tab. 2

In-Situ-Verfahren 21

### Tab. 3

Wesentliche Entscheidungshilfen für eine In-Situ- oder On-Site- / Off-Site-Sanierung 22

### Tab. 4

Verfahren zur Sicherung einer Altlast 23

### Tab. 5

Bewertungskriterien Machbarkeit und Wirksamkeit 26

### Tab. 6

Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Machbarkeit und Wirksamkeit 27

### Tab. 7

Bewertungskriterien Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen 28

### Tab. 8

Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen 28

---

<b>Tab. 9</b>	
Bewertungskriterien Kosten	29
<b>Tab. 10</b>	
Beispiel einer Bewertungsmatrix der technisch realisierbaren Varianten bezüglich Kosten	29
<b>Tab. 11</b>	
Beispiel einer zusammenfassenden Bewertungsmatrix der technisch und rechtlich realisierbaren Varianten	30

---

## > Anhang

Schematisches Anwendungsbeispiel

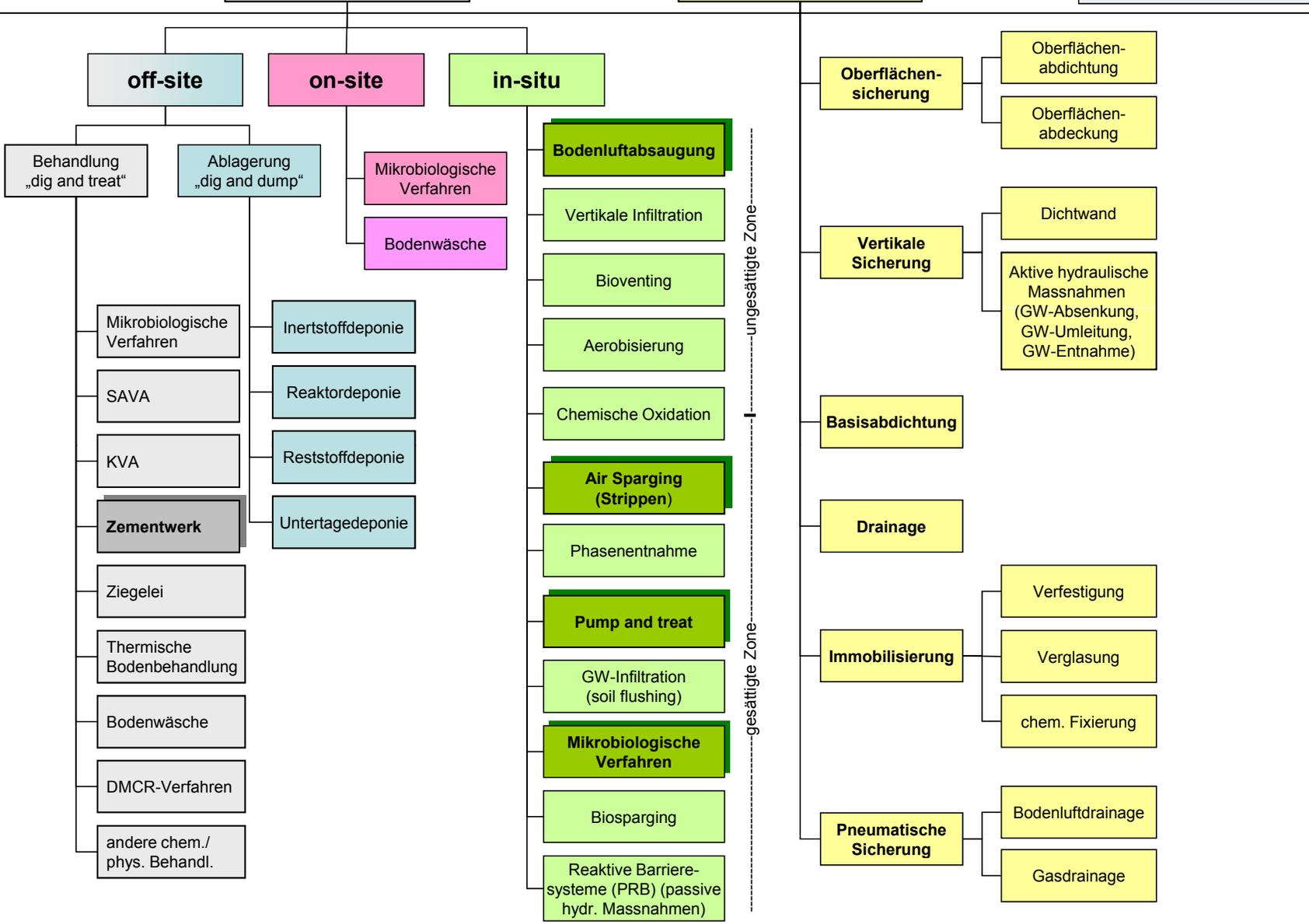
**Schritt 1:**

Wahl der möglichen Massnahmen

**Dekontamination**

**Sicherung**

**MNA**

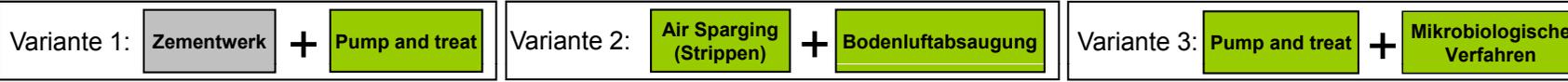


**Schritt 2:**

Identifikation der technisch realisierbaren Verfahren

**Schritt 3:**

Identifikation von Sanierungsvarianten



**Schritt 4:**

Bewertung der technisch realisierbaren Varianten

