

KANTON ZÜRICH, AMT FÜR ABFALL, WASSER,  
ENERGIE UND LUFT

SANIERUNG BELASTETE ABLAGERUNGEN AM  
SEEGRUND VOR UETIKON

VARIANTENSTUDIE

**CSD INGENIEURE AG**

Langsägestrasse 2  
Postfach  
CH-6011 Kriens  
[www.csd.ch](http://www.csd.ch)  
t +41 41 319 39 19

**Dr. von Moos AG**

Bachofnerstrasse 5  
CH-8037 Zürich

[www.geovm.ch](http://www.geovm.ch)  
Tel. +41 44 363 31 55

Kriens/Zürich, den 6. Januar 2020  
ZS02087.200 / 12366.01 Z

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Zielsetzung und Auftrag	1
1.3 Allgemeines Vorgehen, ausgeführte Arbeiten	1
1.4 Projektspezifische Gegebenheiten	2
1.4.1 Abgrenzung zur laufenden Submission der Sanierung	2
1.5 Verwendete Unterlagen	2
<b>2. STANDORTBESCHREIBUNG</b>	<b>4</b>
2.1 Projektareal	4
2.2 Geologie	4
2.3 Uferbereich und Gewässer	4
2.4 Belastungssituation	5
2.4.1 Hafen Langenbaum	9
2.4.2 Uferzone (Blockwurfzone)	9
2.4.3 Kernzone und Rotholz	9
2.5 Altlastenrechtliche Bewertung der Belastungen und Sanierungsziele	9
2.5.1 Ökotoxikologische Aspekte	9
2.5.2 Gefährdung	10
2.5.3 Sanierungsziele	10
<b>3. IDENTIFIKATION VON SANIERUNGSMASSNAHMEN</b>	<b>11</b>
3.1 Mögliche Sanierungsmassnahmen	11
3.1.1 Dekontamination	12
3.1.2 Sicherung	13
3.1.3 Monitored Natural Attenuation (MNA)	13
<b>4. IDENTIFIKATION VON SANIERUNGSVERFAHREN</b>	<b>14</b>
4.1 Besondere bautechnische und umwelttechnische Randbedingungen für die realisierbaren Verfahren	14
4.1.1 Bergung der belasteten Materialien im See	14
4.1.2 Instabilitäten im Uferbereich	14
4.1.3 Triagierung des „Aushubes“	15
4.1.4 Behandlung des „Aushubes“	15
4.1.5 Behandlung und Einleitung des Abwassers	16
4.1.6 Radioaktivität	16
4.1.7 Verwertung und Entsorgung der Feststoffe innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze	16
4.2 Sanierungsverfahren	17
4.2.1 Dekontamination off site (Bergung, Behandlung und Deponierung)	17
4.2.2 Sicherung	19

<b>5.</b>	<b>REALISIERBARE SANIERUNGSVARIANTEN</b>	<b>20</b>
5.1	Umfang der Schadstoffentfernung	20
5.2	Herleitung der Varianten	20
5.2.1	Varianten A und B: Dekontamination aufgrund Schadstoffgehalt	20
5.2.2	Variante C: Teildekontamination aufgrund Schadstoffgehalt und Freisetzungspotential	22
5.2.3	Variante D: Kombination Teildekontamination aufgrund Schadstoffgehalt mit Teilsicherung zur Minimierung der Stabilitätsgefährdung	23
5.3	Herleitung der Kosten	25
5.3.1	Kosten aus der Submission	25
5.3.2	Kosten für Abtrag der Kernzone (Pos. 300.)	26
5.3.3	Kosten für den Betrieb der Wasseraufbereitung (Pos. 600.)	26
5.3.4	Kosten für Analytik (Überwachung der Ausführung, Pos. 700.)	26
5.3.5	Entsorgung der Feststoffe innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze (Pos. 800.)	26
5.3.6	Kosten für Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze	27
5.3.7	Nicht aus der Submission ableitbare Kosten (Pos. 900.)	27
5.3.8	Unterhalts-, Betriebs- und Abschlusskosten	28
5.3.9	Kosten der Varianten	28
5.4	Kennzahlen der Varianten	30
<b>6.</b>	<b>BEWERTUNG DER SANIERUNGSVARIANTEN</b>	<b>31</b>
6.1	Bewertungskriterien	31
6.1.1	Bewertungskriterien	31
6.1.2	Benotung der Kriterien	32
6.1.3	Gewichtung der argumentativen Kriterien	32
6.2	Argumentative Beurteilung	32
6.2.1	Bewertung der Machbarkeit und Wirksamkeit	33
6.2.2	Bewertung der Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	33
6.2.3	Sensitivitätsanalyse	33
6.2.4	Gesamtbetrachtung der argumentativen Bewertung	34
6.3	Bewertung der Kosten und Nutzwertanalyse	35
6.3.1	Absolute Kosten	35
6.3.2	Kosten / Nutzen	35
<b>7.</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>36</b>
7.1	Gesamtbeurteilung	36
7.1.1	Variante D	36
7.1.2	Variante C	36
7.1.3	Varianten B	37
7.2	Optimale Sanierungsvariante (Variante B)	37
7.2.1	Kurzbeschreibung der zu favorisierenden Variante	37
7.2.2	Auswirkungen, Wirksamkeit und verbleibende Umweltgefährdung	38
7.2.3	Umgang mit besonderen Restrisiken	38
7.2.4	Bewilligungsfähigkeit der zu favorisierenden Variante	39
7.2.5	Prüfung einer Abweichung der Sanierungsziele	39
7.2.6	Mögliche Abweichungen, falls die Sanierungsziele nicht erreicht werden können	39

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Maximalkonzentrationen in Feststoffproben und Vergleich mit ökotoxikologischen und abfallrechtlichen Grenzwerten:	6
Tabelle 2 Evaluation der möglichen Sanierungsmassnahmen und Verfahren	11
Tabelle 3 Kostenpositionen und geschätzte Kosten aufgrund der Submission der Variante B	25
Tabelle 4 Baukosten der Varianten (exkl. MWST)	29
Tabelle 5 Hauptkennzahlen der Varianten	30
Tabelle 6 Totale der argumentativen Bewertung der Kriteriengruppen ohne unterschiedlicher Gewichtung	33
Tabelle 7 Totale der argumentativen Bewertung der Kriteriengruppen mit unterschiedlicher Gewichtung	34
Tabelle 8 Art ,Umfang und Vergleich der Kosten	35
Tabelle 9 Kosteneffizienz (Einheitskosten für die Schadstoffentnahme)	35
Tabelle 10 Einheitskosten pro Punkt Argumentative Bewertung	35
Tabelle 11 Zusammenfassung der Variantenbewertung	36

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Situation mit Bathymetrie	5
Abbildung 2	Situation Projektareal	6
Abbildung 3	Vorhandene Konzentrationen von Pb, Cd und Hg in den Seeablagerungen, generalisiert	7
Abbildung 4	KbS-Perimeter, Bereich mit 10-facher PEC-Wert Überschreitung und Verbreitung der Schadstoffbelastung über dem Hintergrundwert des Zürichsees anhand des Blei-Äquivalents in Gramm pro Quadratmeter.	8
Abbildung 5	Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Sicherungsmassnahmen (BAFU, 2014, Abb. 3 Mitte)	13
Abbildung 6	Abtragungspereimeter und Abtragungskörper der Dekontaminationsvariante B	21
Abbildung 7	Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante B	21
Abbildung 8	Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante C	22
Abbildung 9	Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante D	24
Abbildung 10	Schematische Schnitte für die Überschüttung des Uferbereichs und Bildung einer Flachwasserzone (Variante D)	24
Abbildung 11	Gemessene mittlere Uran-Konzentration in belasteter Schicht	27

## ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Argumentative Beurteilung der Kriterien Wirksamkeit und MAchbarkeit sowie Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen	40
----------	---	----

## **PRÄAMBEL**

CSD und vM bestätigen hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

Die beiden beauftragten Firmen CSD und vM gehen davon aus, dass

- ihnen seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnen CSD und vM gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD und vM jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

## ZUSAMMENFASSUNG

Am Seegrund vor dem ehemaligen CU-Areal in Uetikon sind stark mit Schwermetallen belastete Ablagerungen vorhanden, die als sanierungsbedürftig beurteilt wurden (Baudirektion Kt. ZH, Verfügung Nr. 407 vom 6. Juni 2016). Zur Evaluation der optimalen Sanierungsvariante ist gemäss Vorgaben des BAFU nach der Detailuntersuchung eine Variantenstudie zu erstellen. Dazu hat das AWEL ein Expertenteam der CSD Ingenieure AG und der Dr. von Moos AG beauftragt. Weil nur beschränkt Erfahrungen zur Dekontamination von Ablagerungen am Seegrund vorliegen und ein Vergleich mit Sanierungen an Land nur bedingt zielführend ist, hat sich das AWEL zudem entschieden, ein selektives Verfahren zur Auswahl eines Totalunternehmers durchzuführen. Diese Submission sieht die Dekontamination der Ablagerungen mit Konzentrationen >10-PEC (Schwellenwert für das ökotoxikologische Risiko aus der Belastung) vor und resultiert in technischen Lösungen auf Stufe Vorprojekt sowie auf verbindlichen Preisen.

Die Bewertung von Sanierungsvarianten in der Variantenstudie erfolgt mittels einer quantitativen und verbalargumentativen Benotung von Kriterien. Die Resultate der erarbeiteten Vorprojekte (technische Verfahren, Kosten) aus dem selektiven Verfahren sind in der Variantenstudie berücksichtigt.

Basierend auf einem schrittweisen Einengungsprozess (nach BAFU, 2014) wurden für den vorliegenden Fall aufgrund der speziellen Randbedingungen (u.a. Schwermetallbelastungen im See in Wassertiefe bis 30 m) folgende Sanierungsvarianten identifiziert und näher untersucht:

- Variante A stellt die Totaldekontamination des im Kataster der belasteten Standorte eingetragenen Bereichs dar. Diese Variante definiert den gesamten vorhandenen Schadstoff und stellt einen Dekontaminierungsgrad von 100% dar. Weil diese Variante altlastenrechtlich nicht erforderlich ist, diente sie lediglich als Referenz für die Bestimmung der Schadstoffentnahme der weiteren Varianten.
- Variante B stellt eine Teildekontamination des Standortes im Bereich mit Schwermetallkonzentrationen >10-PEC (gefährdender Schadstoffanteil) dar. Dies entspricht den Vorprojektvarianten der Submission. Der Dekontaminierungsgrad beträgt 99%.
- Variante C stellt eine Teildekontamination des Standorts im Bereich mit Schwermetallkonzentrationen >10-PEC jedoch nur bis 15 m Wassertiefe - d.h. im Bereich mit sehr hohem Schadstoffpotential und dem höchsten Freisetzungspotential - dar. Der Dekontaminierungsgrad beträgt 78%.
- Variante D stellt eine Kombination einer Teildekontamination im Kernbereich der Belastung mit Sicherung durch Überschüttung im ufernahen Bereich dar. Diese Variante wurde entwickelt, um die relevantesten Risiken aus dem Vorprojekt der Variante B weiter zu vermindern: a) Risiken für die Gesamtstabilität des Uferbereichs durch Dekontaminationseingriffe im steilen Seeufer; b) erhöhte Wahrscheinlichkeit radioaktives Material anzutreffen. In dieser Variante wird die im kritischen Bereich ökotoxikologische Gefährdung durch eine Überschüttung (Sicherung) wegbedungen. Dadurch entfällt eine Freisetzung der Schadstoffe. Der Dekontaminierungsgrad dieser Variante beträgt 69%. Die Überschüttung sieht eine Aufwertung des Uferbereichs in eine inselartige Flachwasserzone vor und ist daher eine gewässerschutzrechtlich bewilligungsfähige Schüttung.

Bei der argumentativen Bewertung nach den Bewertungskriterien des BAFU (2014) betreffend Machbarkeit, Wirksamkeit, Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen erreicht Variante B die höchste Punktzahl. Die Variante B weist zwar die höchsten Kosten, jedoch die beste Kosteneffizienz (Einheitskosten für die Schadstoffentnahme) auf.

Es wird empfohlen die Varianten C und D nicht weiter zu verfolgen,

- weil - obwohl der Kostenunterschied zur Variante B deutlich ist (- 19%, ca. - 3 Mio. CHF) - die Variante C aufgrund der im See noch verbleibenden Schadstoffe eine Abweichung vom Sanierungsziel darstellt, und die gleichen Risiken aufweist;
- weil die Variante D – obwohl Ausführungsrisiken minimiert werden – weder eine deutlich bessere argumentative Beurteilung noch einen besonderen Kostenvorteil gegenüber der Variante B (ca. 0.5 Mio. CHF günstiger bzw. -3%) vorweist.

Unter Berücksichtigung aller Aspekte favorisiert das Expertenteam die Variante B und empfiehlt, diese als optimale Sanierungsvariante weiter zu verfolgen.

## 1. Einleitung

### 1.1 Ausgangslage

Am Seegrund vor dem ehemalige CU-Areal in Uetikon sind stark mit Schwermetallen belastete Ablagerungen vorhanden. Die Baudirektion Kt. ZH hat die Ablagerungen mit Verfügung Nr. 407 vom 6. Juni 2016 gemäss Art. 8 Abs. 2 Bst. b in Verbindung mit Art. 10 Abs. 2 Bst. a AltIV und gestützt auf die AWEL-Methodik zur Gefährdungsabschätzung vom 2016 als sanierungsbedürftig beurteilt. In derselben Verfügung wurde das AWEL beauftragt, die weiteren Schritte zur Planung und Ausführung der Sanierung in die Hand zu nehmen. Das AWEL übernimmt damit die Realleistungspflicht.

Die Altlastenverordnung gibt vor, dass bei einem sanierungsbedürftigen Standort nach der Detailuntersuchung ein Sanierungsprojekt auszuarbeiten ist. Dafür muss die Realleistungspflichtige (Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe des AWEL in Funktion als Bauherrin) zuerst eine Variantenstudie erstellen, welche die optimale Sanierungsvariante für den Standort eruiert.

Die zuständige Behörde beurteilt die Variantenstudie resp. nimmt Stellung zur vorgeschlagenen Variantenwahl. Danach kann die genehmigte Sanierungsvariante projektiert und zur Genehmigung eingereicht werden.

### 1.2 Zielsetzung und Auftrag

Ziel des Mandats ist die Erstellung einer Variantenstudie gemäss Vorgabe des Bundes (BAFU «Evaluation von Sanierungsvarianten» 2014) unter Berücksichtigung der projektspezifischen Gegebenheiten (siehe Abschnitt 1.4).

Wesentliche Inhalte des Mandats sind u.A.:

- Berücksichtigung der Vorprojekte des selektiven Verfahrens für Dekontaminationsmassnahmen
- Berücksichtigung der Unsicherheit betreffend Ausmass und Materialqualität von mit Radionukliden belastetem Material
- Erstellung von Kostenschätzungen für diejenigen technisch realisierbaren und bewilligungsfähigen Varianten, für welche keine verbindlichen Angebote aus der Submission vorliegen.

Dafür und aufgrund der Vorkenntnisse wurde ein Projektteam bestehend aus Experten und weiteren Mitarbeitern der CSD Ingenieure AG und der Dr. von Moos AG mit der Erstellung der Variantenstudie im freihändigen Verfahren beauftragt. Die CSD Ingenieure AG ist Auftragnehmerin des AWEL und Leiterin des Projektteams.

Die Beauftragung erfolgte aufgrund des Angebots vom 29. Juli 2019 mit Planer- und Dienstleistungsvertrag vom 9. September 2019.

### 1.3 Allgemeines Vorgehen, ausgeführte Arbeiten

Das Vorgehen entspricht dem Ablaufschema gemäss Wegleitung des BAFU „Evaluation von Sanierungsvarianten“ (2014), Abbildung 2. Insbesondere die Bewertung von Sanierungsvarianten erfolgt mittels einer quantitativen und verbalargumentativen Benotung von Kriterien (Bewertungsmatrix). Folgende Leistungen wurden ausgeführt:

- Zusammenfassung der relevanten Standortgegebenheiten

- Identifikation von anwendbaren Sanierungsmassnahmen und –verfahren
- Entwicklung von realisierbaren Sanierungsvarianten, Ermittlung von technischen Verfahren und Kostenschätzung. Basis: Vorprojekte aus dem selektiven Verfahren für Dekontaminationsmassnahmen
- Prüfung und Benotung von Sanierungsvarianten, Gesamtbeurteilung und Empfehlungen für den Behördenentscheid
- Verfassen der Variantenstudie in einem Bericht zu Händen des AWEL als Bauherrin des Sanierungsprojektes einschliesslich Zusammenfassung und Übersichtstabelle der Varianten
- Präsentation der Variantenstudie an der Steuergruppensitzung vom 26.11.19

## 1.4 Projektspezifische Gegebenheiten

Erfahrungen zur Dekontamination von Ablagerungen am Seegrund konnten im Zürichsee bisher nur mit der Sanierung der Teerablagerungen vor Thalwil gesammelt werden (Planung und Ausführung 2005 – 2009). Ein Vergleich mit Sanierungen an Land (Grundwasser oder Boden) ist nur bedingt zielführend. Die Dekontamination von Ablagerungen am Seegrund ist ein Spezialfall.

Aus diesen Gründen hat sich die Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe in ihrer Funktion als Realleistungspflichtige entschieden, die Variantenstudie nicht nur basierend auf Kostenschätzungen erstellen zu lassen, sondern für die Dekontamination der Ablagerungen mit Konzentrationen > 10PEC (Schwellenwert für das ökotoxikologische Risiko aus der Belastung siehe Abschnitte 2.4 und 2.5) technische Lösungen auf Stufe Vorprojekt entwickeln zu lassen und verbindliche Preise abzufragen. Die Abfrage erfolgt im Rahmen eines selektiven Verfahrens zur Auswahl eines Totalunternehmers.

Die Resultate der im Rahmen der Submission erarbeiteten Vorprojekte (technische Verfahren, Kosten) sind in der Variantenstudie berücksichtigt.

### 1.4.1 Abgrenzung zur laufenden Submission der Sanierung

Die vorliegende Variantenstudie stellt keine Bewertung der eingegangenen Vorprojekte dar.

Die Vorprojekte werden - soweit für die vorliegende Studie nützlich - angewendet, aber in ihrer vollständigen Integrität belassen. Es werden keine Empfehlungen für eine Kombination von Verfahren aus den Vorprojekten vorgeschlagen.

## 1.5 Verwendete Unterlagen

Gesetze und Vollzugshilfen

- [1] Gewässerschutzverordnung (GSchV), 28. Oktober 1998
- [2] Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV), 26. August 1998
- [3] BAFU Vollzugshilfe Variantenstudie, 2014
- [4] AWEL, Dr. von Moos AG, SCAHT und Eawag, Gefährdungsabschätzung und Beurteilung von belasteten Standorten in Seen, Oktober 2016
- [5] Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA), 4. Dezember 2015

Projektunterlagen

- [6] Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, D. D. MacDonald, C. G. Ingersoll, T. A. Berger, 2000

- [7] Dr. von Moos AG, Bericht Nr. 10276-2, Belastete Ablagerungen im Zürichsee vor der Chemie Uetikon AG, 8707 Uetikon am See und 8706 Meilen, ergänzende technische Untersuchung und Detailuntersuchung, 25. August 2015
- [8] AWEL, Altlastsanierung im Zürichsee vor dem Areal der Chemie Uetikon, Selektives Verfahren für Totalunternehmerleistungen, 1. Stufe des Verfahrens, Unterlagen zur Präqualifikation, 10. März 2017
- [9] AWEL, Altlastsanierung im Zürichsee vor dem Areal der Chemie Uetikon, Selektives Verfahren für Totalunternehmerleistungen, 2. Stufe des Verfahrens, Unterlagen zur Submission, 8. Februar 2019
- [10] Merkblatt für den Umgang mit den Sedimenten vor dem Areal der Chemie Uetikon, Fachbereich Radioaktivität, [REDACTED], Nucfilm GmbH, 21. April 2018

## 2. Standortbeschreibung

### 2.1 Projektareal

Das Projektareal befindet sich im Uferbereich des Zürichsees vor Uetikon am See. Es umfasst ausser dem Seeuferbereich vor dem ehemaligen Betriebsareal (bis rund 300 m ab Ufermauer) und dem Bereich vor der Deponie Rotholz auch den Hafen Langenbaum (vgl. Abb. 1 und 2).

### 2.2 Geologie

Übersicht: Über dem Fels der Oberen Süsswassermolasse liegen letzteiszeitliche Moränenablagerungen gefolgt von mächtigen Seeablagerungen. Im Zuge der Landanlagen des 19. und 20. Jahrhunderts sowie des allgemeinen Betriebs der Chemischen Fabrik wurden darüber mehr oder weniger mächtige, künstliche Aufschüttungen abgelagert. Die obersten Schichten der Seeablagerungen weisen aufgrund der industriellen Tätigkeiten grossflächig starke Belastungen auf.

Der Fels der Oberen Süsswassermolasse taucht gegen den See hin ab und befindet sich im Bereich der Ufermauer bereits in einer Tiefe von 10 bis 25 m unter OK Terrain. Die darüber liegende, bereichsweise geringmächtige Moräne ist charakterisiert durch tonig-siltigen Kies und kiesigen Ton und Silt. Im Rahmen der zu prüfenden Sanierungsvarianten spielen diese Schichten infolge der tiefen Lage eine untergeordnete Rolle.

Für die vorliegende Fragestellung relevant sind die darüber folgenden Seeablagerungen, welche im unteren Bereich eher aus siltigem Sand und im oberen Bereich aus sandigem Silt mit karbonatischen und tonigen Anteilen sowie vereinzelt Kies bestehen. Die Seeablagerungen sind generell von weicher bis zunehmend steifer Konsistenz bzw. locker bis zunehmend mitteldicht gelagert. Landseitig enthalten die nicht vorbelasteten Seeablagerungen auch dominant sandige Strandablagerungen. Seeseitig wird im jüngeren, oberen Bereich auch Seekreide nachgewiesen.

Landseitig der Ufermauer steht eine mehrere Meter mächtige und heterogen zusammengesetzte künstliche Aufschüttung an. Seeseitig ist in den obersten Schichten der Seeablagerungen grossflächig ein Eintrag durch den Industriebetrieb ersichtlich und es sind auch Abfälle wie Produktionsschlämme vorhanden.

### 2.3 Uferbereich und Gewässer

Die belasteten Ablagerungen befinden sich am Grund des Zürichsees, der als Trinkwasserspeicher dient und durch Fischerei und Badende genutzt wird. Wasser, Seegrund und Ufer sind Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen eines komplexen Ökosystems.

Der gesamte Uferabschnitt des Untersuchungsareals wird durch eine Ufermauer begrenzt, entlang welcher ein blockiger Uferschutz (Blockwurf) erstellt wurde. Hier fällt der Seegrund relativ steil ab, so dass am Fuss des Blockwurfs vor der Deponie Rotholz eine Wassertiefe von rund 3 m, vor dem zentralen Bereich des ehemaligen Betriebsareals von rund 5 m und im östlichen Bereich von rund 7 m erreicht werden. Im zentralen und östlichen Bereich fällt der Seegrund weiter steil ab, so dass in einem Abstand von 15 bis 30 m zur Ufermauer die Wassertiefe bereits 10 m beträgt. Bis in eine Wassertiefe von rund 25 m bildet der Seegrund eine sanft abfallende Terrasse und fällt dann wieder steil ins tiefe Seebecken ab (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1 Situation mit Bathymetrie

## 2.4 Belastungssituation

Zur Erfassung der Belastungssituation am Seegrund und im Hafen Langenbaum wurden insgesamt 154 Sedimentkerne gestochen und aufgeschnitten [7]. Aus diesen Kernen wurden total 202 Feststoffproben entnommen und chemisch auf Schadstoffe analysiert (Schwermetalle, teilweise PAK, KW, PCB). Die Ergebnisse sind in der Detailuntersuchung [7] dokumentiert. Die höchsten gemessenen Schadstoffkonzentrationen sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Zur Orientierung wird der belastete Bereich des Projektareals wie folgt unterteilt (Abbildung 2):

- Blockwurfzone
- Kernzone
- Rotholz (bestehend aus einer Blockwurfzone und einem Kernbereich)
- Hafen Langenbaum

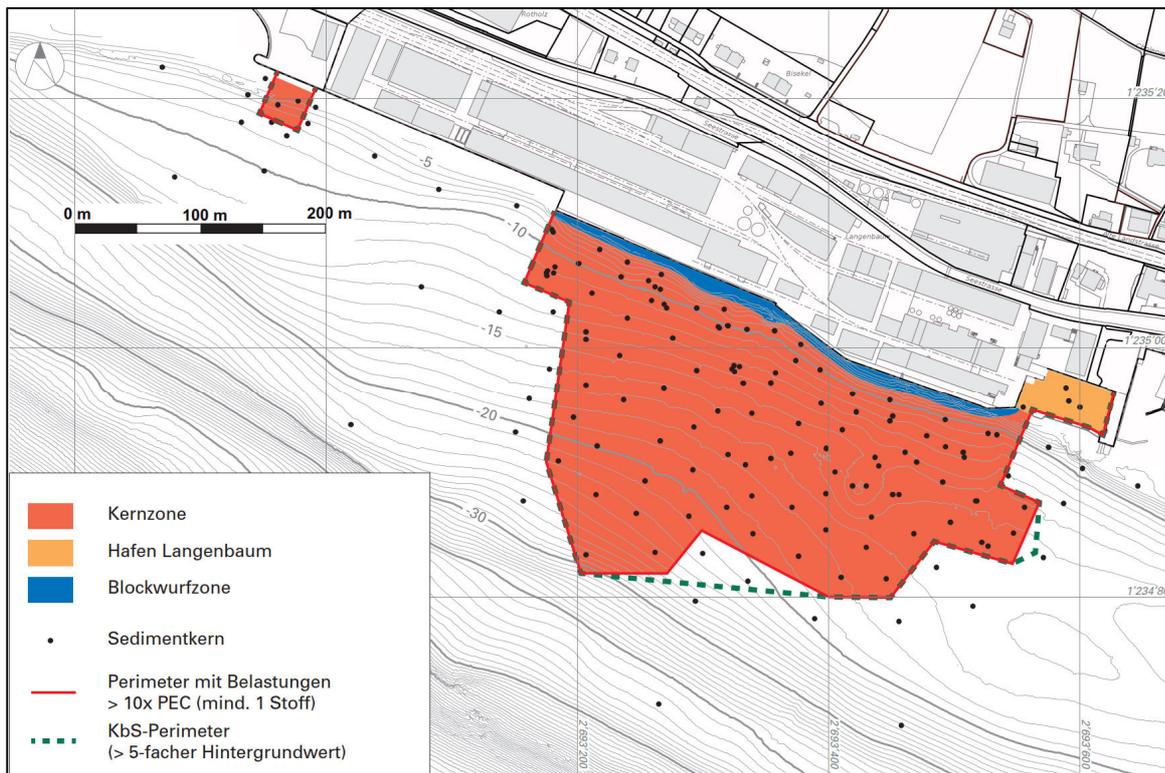


Abbildung 2 Situation Projektareal

Tabelle 1 Maximalkonzentrationen in Feststoffproben und Vergleich mit ökotoxikologischen und abfallrechtlichen Grenzwerten:

Schadstoff	Maximal-konzentration*	PEC-Wert	x-fache PEC-Wert Überschreitung	VVEA-Grenzwert Deponie Typ E	x-fache Grenzwertüberschreitung Deponie Typ E**
Blei	13'300 mg/kg	128 mg/kg	103	2'000 mg/kg	6
Cadmium	1'070 mg/kg	4.98 mg/kg	214	10 mg/kg	107
Kupfer	2'650 mg/kg	149 mg/kg	17	5'000 mg/kg	<1
Zink	36'600 mg/kg	459 mg/kg	79	5'000 mg/kg	7
Chrom (ges.)	697 mg/kg	111 mg/kg	6	1'000 mg/kg	<1
Arsen	2'800 mg/kg	33 mg/kg	84	50 mg/kg	56
Molybdän	20 mg/kg	–	–	–	–
Quecksilber	48 mg/kg	1.06 mg/kg	45	5 mg/kg	9
Zinn	3'500 mg/kg	–	–	–	–
Antimon	142 mg/kg	–	–	50 mg/kg	2
Nickel	168 mg/kg	–	–	1'000 mg/kg	<1
Kobalt	186 mg/kg	–	–	–	–
Uran	519 mg/kg	–	–	–	–
Barium	35'200 mg/kg	–	–	–	–
Phosphor (ges.)	58'700 mg/kg	–	–	–	–
PCB VVEA [5]	3'072 µg/kg	157 µg/kg	19	10'000 µg/kg	<1
Summe PAK VVEA [5]	308 mg/kg	22.8 mg/kg	13	250 mg/kg	1
KWC10-C40	1'260 mg/kg	–	–	5'000 mg/kg	<1

\* gemessene Maximalkonzentration in getrockneten Feststoffproben aus der belasteten Schicht

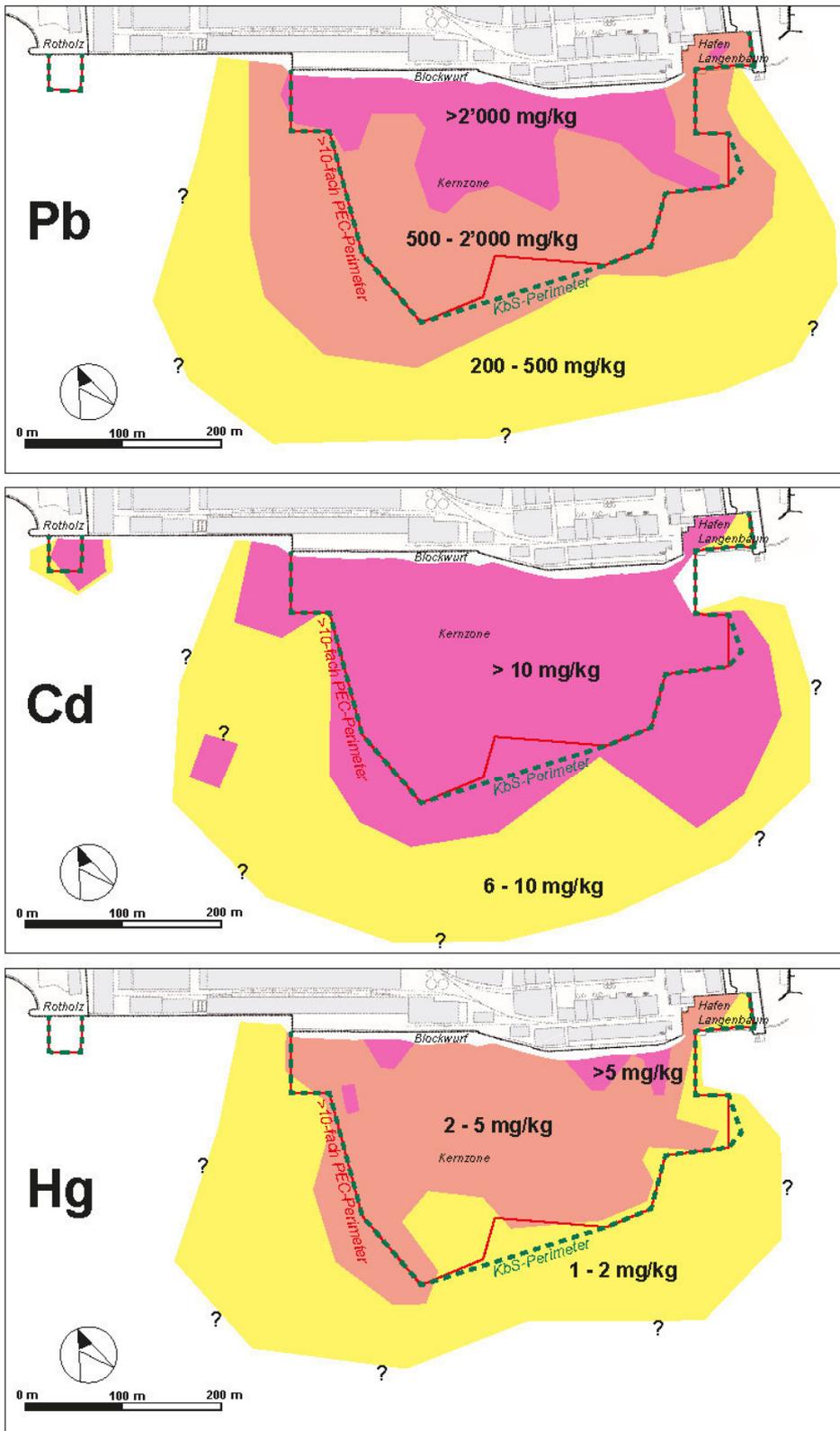


Abbildung 3 Vorhandene Konzentrationen von Pb, Cd und Hg in den Seeablagerungen, generalisiert

Für den Zürichsee wurden in einer umfangreichen Studie die maximalen Hintergrundkonzentrationen ermittelt [4]. Wird einer dieser Werte überschritten, kann das Sediment nicht mehr als „normal belastet“ betrachtet werden, sondern es liegen erhöhte Belastungen vor. Die Fläche vor Uetikon, in der diese maximale Hintergrundbelastung übertroffen wird, liegt im Bereich von 200'000 bis 250'000 m<sup>2</sup>. Als Abgrenzungskriterium für den Eintrag in den Kataster der belasteten Standorte (KbS) des Kantons Zürich wird nach [4] die Überschreitung des 5-fachen Hintergrundwerts angewendet. Die Fläche des KbS-Standes beträgt ca. 81'000 m<sup>2</sup> (grüne gestrichelte Linie in Abbildung 3).

Die Stärke der Belastung kann anhand des ökotoxikologischen PEC-Wertes [6] ermittelt werden. Der PEC-Wert (probable effect concentration) ermittelt das ökotoxikologische Risiko. Wird dieser Wert überschritten, sind ökotoxikologische Effekte zu erwarten, wenn Gewässerorganismen mit dem Sediment in Kontakt kommen. Bei einer 10-fachen Überschreitung liegt ein grosses Schadstoffpotential vor. Vor der Chemie Uetikon wird der PEC-Wert bereichsweise über 100-fach überschritten (Tab. 1). Die Fläche mit einer 10-fachen PEC-Wert-Überschreitung, welche die Baudirektion als sanierungsbedürftig einstuft, beträgt rund 74'000 m<sup>2</sup> (ohne Blockwurfzone). Diese ist in der Abbildung 4 mit der roten Linie dargestellt. Aufgrund der relativ raschen Abnahme der Schadstoffkonzentrationen ausserhalb des > 10-fach PEC-Wert-Perimeters und weil der 10-fache PEC-Wert für Blei (1'280 mg/kg) nur wenig über dem 5-fachen Hintergrundwert des Zürichsees liegt (1'000 mg/kg), ist der KbS-Perimeter nur geringfügig grösser als der > 10-fach PEC-Wert-Perimeter. Abbildung 3 zeigt zudem generalisiert die in der Ablagerung vorhandenen Konzentrationen der Schadstoffe Blei, Cadmium und Quecksilber anhand der VVEA-Grenzwerte.

Die Verteilung der Schadstoffbelastung ist in Abbildung 4 anhand des Blei-Äquivalents in Gramm pro Quadratmeter illustriert. Das Blei-Äquivalent berechnet sich aus der Summe der Schadstoffgehalte von As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn und Hg, die jeweils auf Bleigehalt-Äquivalent nach PEC-Verhältnissen umgerechnet wurden. Dabei sind Belastungen berücksichtigt, die über der Obergrenze der Hintergrundbelastung des Zürichsees liegen. Insgesamt ist innerhalb des KbS-Perimeters mit einem Schadstoffpotential von 114 Tonnen Blei-Äquivalent zu rechnen.

Teilbereiche sind zudem mit erhöhten Urankonzentrationen belastet. Es ist eine erhöhte radioaktive Aktivität vorhanden.

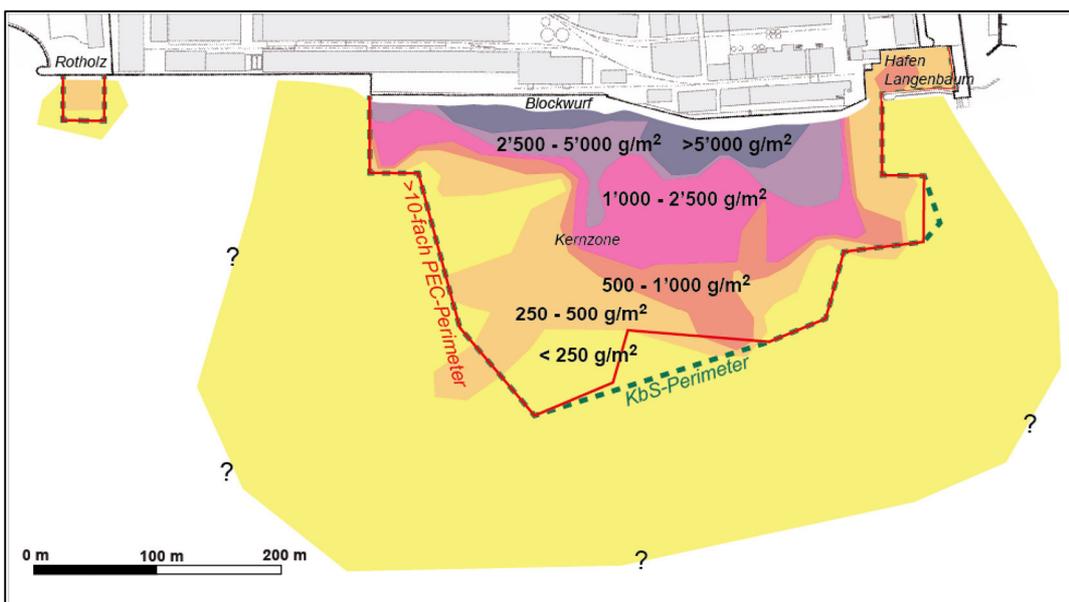


Abbildung 4 KbS-Perimeter, Bereich mit 10-facher PEC-Wert Überschreitung und Verbreitung der Schadstoffbelastung über dem Hintergrundwert des Zürichsees anhand des Blei-Äquivalents in Gramm pro Quadratmeter.

**Erläuterung zur Berechnung des Blei-Äquivalents:**

Das Blei-Äquivalent dient der Abschätzung des Gesamt-Schadstoffgehalts in der Ablagerung anhand von nur einem Summenparameter

*Beispiel Arsen*

PEC-Wert Blei = 128 mg/kg

PEC-Wert Arsen = 33 mg/kg → Arsen ist 3.88 mal „gefährdender“ als Blei

100 mg/kg Arsen entsprechen somit 388 mg/kg Pb-Äquivalent<sub>As</sub>

Die Summe der Pb-Äquivalent-Konzentrationen der Stoffe As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn und Hg ergibt die Pb-Äquivalent-Konzentration einer Probe.

Der Gesamt-Schadstoffgehalt in einem Quadratmeter Seegrund berechnet sich aus der Pb-Äquivalent-Konzentration gemittelt über die Dicke der belasteten Schicht am Betrachtungspunkt multipliziert mit der Dichte der Ablagerung (ungestört inkl. Wasser), dem Feststoffanteil (Trockensubstanz) und der Schichtdicke.

### 2.4.1 Hafen Langenbaum

Der Hafen Langenbaum weist eine Fläche von rund 2'400 m<sup>2</sup> und Wassertiefen bis zu 2.5 m (bei mittlerem Pegel) auf. Aufgrund der Untersuchungen [4] ist davon auszugehen, dass die obersten rund 60 cm des Sediments Belastungen über dem 10-fachen PEC-Wert aufweisen. Insgesamt ist im Sedimentvolumen von ca. 1'500 m<sup>3</sup> fest mit einem Schadstoffpotential (umgerechnet auf Blei-Äquivalent) von rund einer Tonne zu rechnen.

### 2.4.2 Uferzone (Blockwurfzone)

Insgesamt ist auf und zwischen den Blöcken des Blockwurfs nur wenig Sediment vorhanden. Mit zunehmender Wassertiefe ist mehr Sediment vorhanden. Anhand von 35 Feststoffproben zeigt sich, dass vor dem zentralen CU-Areal z.T. hohe Belastungen im leicht mobilisierbarem Sediment vorliegen (bis >100-fache PEC-Wert-Überschreitung).

Die Blockwurfzone weist eine Fläche von rund 3'500 m<sup>2</sup> auf. Bei einer angenommenen mittleren Sedimentbedeckung von rund 5 cm ergibt sich ein Sedimentvolumen von rund 200 m<sup>3</sup> fest. Der Schadstoffgehalt wird auf rund 0.4 Tonnen Pb-Äquivalent abgeschätzt.

### 2.4.3 Kernzone und Rotholz

Die Fläche der Kernzone inkl. Rotholz wird durch Schadstoffkonzentrationen > 10-fach PEC-Wert von mindestens einem Schadstoff definiert und beträgt rund 71'500 m<sup>2</sup>. Die Dicke der belasteten Schicht variiert von 10 cm an der Peripherie bis hin zu 1.5 m entlang des Blockwurfs. Die Kubatur wird auf 35'000 m<sup>3</sup> fest geschätzt. Es ist von einem Schadstoffgehalt von rund 112 Tonnen Pb-Äquivalent auszugehen.

## 2.5 Altlastenrechtliche Bewertung der Belastungen und Sanierungsziele

### 2.5.1 Ökotoxikologische Aspekte

Durch Ermittlung des **Schadstoffpotentials** kann das ökotoxikologische Risiko beschrieben werden [4]. Dieses wird in der internationalen Literatur mit den so genannten TEC-Werten (threshold effect concentration) und PEC-Werten (probable effect concentration) [6] definiert, eine stoffspezifische Schwelle der Sedimentbelastung, jenseits welcher toxische Effekte auf Lebewesen in Gewässern zu erwarten sind. Wird der PEC-Wert überschritten, sind ökotoxikologische Effekte zu erwarten, falls Gewässerorganismen mit dem Sediment in Kontakt kommen. Die in der VVEA festgelegten Werte für unverschmutztes Aushubmaterial liegen in der Größenordnung der TEC-Werte. Ist die Konzentration eines spezifischen Schadstoffes im Sediment tiefer als der PEC-Wert, wird das Risiko einer Beeinträchtigung der

Gewässerökologie als klein eingestuft. Bei einer Überschreitung des PEC-Wertes wird ein mittleres, bei einer 10-fachen Überschreitung ein grosses Risiko angenommen.

Für ökotoxikologische Auswirkungen ist weiter entscheidend, ob sich die belasteten Sedimente direkt an der Sediment-Wasser Grenze befinden und somit ein Direktkontakt von Lebewesen mit den Belastungen stattfindet oder ob unbelastete Sedimente die belastete Schicht überlagern (**Exposition**).

Ein dritter Aspekt ist das **Freisetzungspotential** von Schadstoffen. Durch mechanische Störungen (Rutschungen, Hochwasser, Schiffsanker, Bagger, etc.) können in kurzer Zeit grosse Mengen an Schadstoffen mobilisiert werden, obwohl im ungestörten Zustand keine erhöhten Konzentrationen gemessen werden konnten. Die Wassertiefe ist ebenfalls zu berücksichtigen. Bei kleiner Wassertiefe ist die Freisetzung von Schadstoffen durch Sturmereignisse oder durch die saisonale Erwärmung grösser als bei tiefem Wasser. Organismen leben zudem vorwiegend in der lichtdurchfluteten Zone.

### 2.5.2 Gefährdung

Die im Rahmen der Detailuntersuchung [7] ausgeführte Gefährdungsabschätzung zeigt eine hohe Gefährdung einerseits des Schutzgutes See (als Oberflächengewässer) als auch der sich darin befindenden Gewässerökologie. Die Schadstoffkonzentrationen in den Ablagerungen sind sehr hoch (der ökotoxikologisch massgebliche Grenzwert, PEC-Wert, wird z.B. bei Blei bis zu 100-fach und bei Arsen bis zu 84-fach überschritten, vgl. Tab. 1). Die Ablagerungen liegen mehrheitlich ohne Sedimentüberdeckung in direktem Kontakt mit dem Seewasser am Seegrund vor. Das Freisetzungspotential ist gross (Überschreitung des 10-fachen Konzentrationswertes gemäss AltIV von Blei und Cadmium im Wasser, welches sich direkt mit dem Seewasser vermischen kann).

### 2.5.3 Sanierungsziele

Ziel der Sanierung ist die Beseitigung der grossen Gefährdung, welche für die aquatische Umwelt (Gewässerökologie) sowie für das Schutzgut Oberflächengewässer (Trinkwasserreservoir) besteht.

Der Bereich mit einer grossen Gefährdung wird durch die Überschreitung des 10-fachen PEC-Wertes bestimmt (Abbildung 4).

### 3. Identifikation von Sanierungsmassnahmen

#### 3.1 Mögliche Sanierungsmassnahmen

Nachstehende Tabelle 2 fasst eine Evaluation der möglichen Sanierungsmassnahmen und eine Identifikation von technisch realisierbaren Sanierungsverfahren gemäss Schritt 2 der BAFU Vollzugshilfe 2014 (Anhang schematisches Anwendungsbeispiel) zusammen. In den Abschnitten 3.1.1 bis 3.1.3 werden die Massnahmen und die Verfahren textlich bewertet; insbesondere wird die Begründung des Ausschlusses von Massnahmen kurz dokumentiert.

Tabelle 2 Evaluation der möglichen Sanierungsmassnahmen und Verfahren

Massnahmen	Verfahren	Anmerkungen	Bewertung
Dekontamination	Off-site - Aushub	Erschwernisse hinsichtlich: - Aushub unter Wasser / Wassertiefe - Aushub eines Wasser-/Feststoff-Gemisches - Umweltauswirkungen Aushub (Trübung) - Stabilität Seeboden und Uferbereich - Entwässerung des Aushubs und Behandlung des Wassers	Anwendbar mit Erschwernissen
	Off-site - Behandlung	Verfahren zur Immobilisierung der Schadstoffe sowie Entwässerung und ggf. Konditionierung des Materials: - Chemisch-physikalische Behandlung - Bodenwäsche - Sonderverbrennungsanlage (SAVA)	Anwendbar (Stand der Technik)
		Verfahren wie: - Mikrobiologische Verfahren - KVA - Zementwerk - Ziegelei - Thermische Bodenbehandlung - DMCR (Dehalogenierung durch mechano-chemische Reaktion)  sind bei Schwermetallen / Art des Bergungsmaterials nicht anwendbar	Nicht anwendbar oder nicht zielführend
	Off-site - Deponierung	Die nach der Behandlung verbleibenden Schadstoffe erfordern eine Entsorgung in Deponien des Typs E und C.  Einschränkung für Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze	Anwendbar (Stand der Technik)
	On-site - Behandlung und Wiedereinbau vor Ort	Die Schadstoffe können nicht abgebaut oder effizient ausgewaschen werden. Schadstoffe verbleiben im Bergungsmaterial.  Ein Wiedereinbau von belasteten Materialien im See ist nicht erlaubt.	Nicht anwendbar
	In-situ-Dekontamination - Alle Verfahren	Am Standort sind direkte Eingriffe in die schadstoffhaltigen Sedimente nicht möglich.  Die Schadstoffe können nicht abgebaut oder effizient ausgewaschen werden.	Nicht anwendbar
Sicherung	Alle Verfahren	Es findet kein Abbau/Auswaschung der Schadstoffe statt, daher kann keine längerfristige Abnahme des Schadenspotentials stattfinden (Überschreitung der zeitlichen Voraussetzungen gemäss BAFU 2014, vgl. Abbildung 5)	Nicht anwendbar

Massnahmen	Verfahren	Anmerkungen	Bewertung
Sicherung	Oberflächensicherung / Oberflächenabdeckung als Ergänzung einer Teildekontamination	Verhinderung einer Ausbreitung der gefährlichen Stoffe, dort wo Teildekontamination nicht anwendbar oder kritisch realisierbar ist (gewässerschutzrechtliche Einschränkungen beachten)	Anwendbarkeit prüfen
MNA (Monitored Natural Attenuation)	„passive Überschüttung“ Längerfristige natürliche Überlagerung durch unbelastete Seesedimente in genügender Mächtigkeit bis Exposition der Schadstoffe nicht mehr gegeben ist	Es findet kein Abbau/Auswaschung der Schadstoffe statt, daher kann keine längerfristige Abnahme des Schadenspotentials stattfinden. Der Zeitbedarf für eine Überlagerung durch eine ausreichend dicke Sedimentschicht (30 cm) überschreitet die zeitliche Voraussetzung gemäss BAFU 2014, vgl. Abbildung 5) Eine stabile passive Überlagerung der Belastung findet in Wassertiefe < 5 m nicht statt.	Nicht anwendbar

### 3.1.1 Dekontamination

Dekontamination off-site (Bergung, Behandlung, Deponierung):

Der Aushub des Materials für eine Dekontamination ist durch die Tatsache, dass die Altlast im See vorliegt, durch verschiedene Faktoren erschwert und bedarf einer komplexen Abfolge von Operationen (siehe Kapitel 4.1). Der Aushub im Wasser ist durch verschiedene Techniken erprobt (Sanierung Thalwil, Aushub in Hafengebieten), die hier aufgrund der umweltrechtlichen Rahmenbedingungen modifiziert anwendbar sind. Das grosse Risiko eines Aushubs liegt bei der Verminderung der Gesamtstabilität im Uferbereich, welche zu einer Gefährdung der Ufermauer führen kann. Ergänzende Massnahmen (z.B. Überwachung, Sicherung, Teilaufschüttungen) sind notwendig.

Einerseits benötigt der Aushub des Sediment-/Wasser-Gemisches eine Behandlung der Phasen für deren Abtransport (Feststoffe) bzw. Wiedereinleitung in den See (Wasser). In diesem Zusammenhang kann auch eine Behandlung der Schadstoffe erfolgen, wobei aufgrund der Materialeigenschaften und Schadstoffart die Methoden begrenzt sind. Grundsätzlich lassen sich die Schwermetalle in ihrem Gesamtgehalt nicht vermindern oder abbauen; hingegen sind deren Löslichkeit, bzw. die Umweltauswirkungen aus diesen Stoffen so zu reduzieren, dass eine Deponierung in einer herkömmlichen Deponie (Typ E oder Typ C) möglich ist. Bei einem hohen Gehalt an zerstörbaren organischen Schadstoffen oder Quecksilber muss durch eine Verbrennung in einer Sonderanlage (SAVA) eine Behandlungs-Zwischenstufe gefahren werden.

Der Umgang mit Endprodukten (Feststoffe), die über der NORM-Befreiungsgrenze liegen, muss speziell geregelt werden. Wiederum sind bereits erprobte Verfahren vorhanden.

Dekontamination on-site:

Aufgrund der Schadstoffeigenschaften kann auch durch eine Behandlung kein Abbau oder eine vollständige Auswaschung der Schadstoffe erreicht werden. Demzufolge bleibt das Bergungsmaterial belastet. Ein Wiedereinbau der immer noch belasteten Materialien vor Ort ist nicht möglich. Gegen eine Schüttung des Materials in den See sprechen auch gewässerschutzrechtliche Gründe.

Dekontamination In-situ:

Der Standort lässt keine Eingriffe in die belasteten Schadstoffsedimente zu. Es gibt auch keine Verfahren, die einen Abbau oder eine Auswaschung der Schwermetalle in Situ ermöglichen würden. Gegen diese Massnahme sprechen auch gewässerschutzrechtliche Gründe.

## 3.1.2 Sicherung

Die Schadstoffart (Schwermetalle) lässt weder einen Abbau, noch eine relevante Auswaschung derselben zu. Weil sie aber am Seegrund exponiert vorliegt, ergibt sich eine Umweltgefährdung. Eine Sicherung der Altlasten durch eine Einschliessung der belasteten Körper kann z.B. mittels einer Verhinderung der Ausbreitung umweltgefährdender Stoffe durch eine genügend mächtige Überdeckung erzielt werden.

Eine Sicherung, die eine Exposition der Schadstoffe unterbindet, und daher zumindest die unmittelbare Einwirkung der Schadstoffe auf die Umwelt vermeidet, ist nicht zielführend, weil die Schadstoffeigenschaften keine Reduktion ihrer Umweltgefährdung innerhalb der von der BAFU vorgegebenen zeitlichen Voraussetzung von 50 Jahren zulassen (Abbildung 5).

Weiterhin unterliegt eine Oberflächenabdeckung durch Überschüttung im See den Restriktionen des Gewässerschutzgesetzes: Seeuferschüttungen sind nur zur Erreichung von Flachwasserzonen zulässig; im vorliegenden Fall erfordert dies aufgrund der topografischen Verhältnisse grosse Schüttmengen.

Allerdings ist es denkbar, dass falls ein Aushub eine zu grosse Gefährdung des Seeuferbereiches durch Verminderung der Gesamtstabilität verursacht, stattdessen eine teilweise Überschüttung (mit Kombination von Flachwasserzonen) als Ergänzung zur Dekontamination geprüft werden kann.

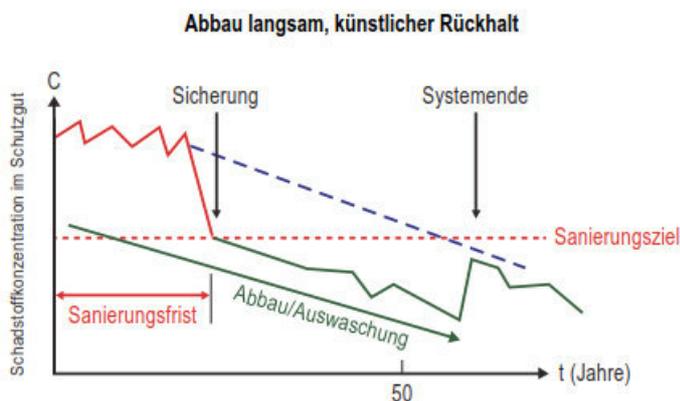


Abbildung 5 Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Sicherungsmassnahmen (BAFU, 2014, Abb. 3 Mitte)

Eine Sicherung des Standortes durch Immobilisierung der Schadstoffe im See durch Verfestigung, Verglasung, chemische Fixierung ist aufgrund der Materialart, der Schadstoffeigenschaften und den umweltrechtlichen Rahmenbedingungen nicht möglich.

## 3.1.3 Monitored Natural Attenuation (MNA)

Die Schadstoffart lässt bereits heute weder einen Abbau, noch eine relevante Auswaschung derselben zu. Weil sie aber am Seegrund exponiert vorliegt, ergibt sich eine Umweltgefährdung.

Durch natürliche (passive) Überlagerung von nicht belastetem Sediment in genügender Mächtigkeit, sodass die Schadstoffe für die Ökologie nicht mehr verfügbar sind, kann die Umweltgefährdung vermindert werden. Im Uferbereich bis Wassertiefe 5 m ist die Sedimentation den periodischen Erosionsprozessen durch Wellen ausgesetzt und die belasteten Sedimente werden immer wieder freigelegt. Im tieferen Wasserbereich ist die Sedimentation so gering, dass für eine genügende natürliche Überlagerung >50 Jahre gebraucht würden. Eine natürliche Überlagerung findet demzufolge teilweise nicht statt oder nur nach Überschreitung der zeitlichen Voraussetzung gemäss BAFU.

Überdies findet bei den vorliegenden Schadstoffen (Schwermetalle) kein natürlicher Abbauprozess statt, so dass analog zu den Sicherungsmassnahmen, diese Massnahme nicht zielführend ist.

## 4. Identifikation von Sanierungsverfahren

### 4.1 Besondere bautechnische und umwelttechnische Randbedingungen für die realisierbaren Verfahren

#### 4.1.1 Bergung der belasteten Materialien im See

Gegenüber einem Aushub an Land liegen bei einer Bergung des Material vom Seegrund folgende wesentlichen Erschwernisse vor (Liste nicht abschliessend):

- Mit Ausnahme von Taucherarbeiten, welche jedoch mit zunehmender Wassertiefe begrenzte technische Möglichkeiten haben und mit hohen Sicherheitsmassnahmen auszuführen sind, können Gerätschaft und Mannschaft nur von der Seeoberfläche aus operieren.
- Der Seegrund ist insbesondere in über 5 m Tiefe schlecht erreichbar und es herrschen schlechte Sichtverhältnisse vor.
- Alle Operationen an der Seeoberfläche können von ungünstigen Witterungsverhältnissen, Sturm, Wellen usw. gestört werden.
- An der Seegrundoberfläche kann der Übergang zum Sediment bei Vorkommen von Schlamm unscharf bzw. graduell sein. Es ist mit organischem Material an der Seegrundoberfläche wie Algen, Laub usw. zu rechnen. Als Folge erschweren eine allfällig separate Entfernung des organischen Materials und Ungenauigkeiten bei der Vermessung des Seegrundes die Bergungsarbeiten.
- Das auszuhebende Material ist wassergesättigt, meistens von weicher Konsistenz und feinkörnig. Störstoffe wie Blöcke, Steine oder Fremdstoffe können vorhanden sein. Weiterhin ist im abgelagerten Sediment mit einem relevanten Gehalt an organischen Bestandteilen zu rechnen.
- Die Bergung verursacht Trübungen des Seewassers.
- Als Aushubmethode erwies sich ein Absaugen des Wasser-/Seegrund-Gemisches als geeignet (Stand der Technik). Diverse Werkzeuge am Absauggerät können das Anschneiden des Sediments und das Auswerfen von Störstoffen ermöglichen. Das Mitabsaugen des Seewassers dürfte die Ausbreitung der Trübung vom Aushubort aus weitgehend unterbinden. Ein Schutz des umliegenden Seebereichs gegen Trübungen aus dem aktiven Bergungssektor ist vorzusehen.
- Eine Vermessung der Oberfläche des zu sanierender Seegrundes und der sanierten Bereiche ist möglich (Lage, Tiefe). Die somit berechneten Volumina sind mit einer Massenbilanz aus der Behandlung am Land zu vergleichen.
- Unsicher ist die mittel- bis längerfristige Beständigkeit des neu geschaffenen Seegrunds (seitlich reingerutschtes Material, Abdeckung durch organische Materialien und langsam sedimentierende Schwebstoffe). Demzufolge sind Ausdehnung der Bergungszone und die Aushubtiefe im Voraus zu planen. Eine Erweiterung der Bergungsbereiche – lateral und vertikal – während der Aushubarbeiten ist sehr ungünstig.
- Das Aushubmaterial muss an Land gebracht werden, mit einem Transportweg von bis mehreren Hunderten von Metern über das Wasser.

#### 4.1.2 Instabilitäten im Uferbereich

Eine mehrere Meter hohe Ufermauer, Baujahr 1947-1952, ist auf einer Mauergrundplatte und auf Holzpfählen (vermutlich) durchgehend fundiert. In der Vergangenheit hat es an zwei Stellen Uferrutschungen gegeben, wobei diese auf ein Böschungsversagen ausserhalb der Ufermauer zurückzuführen sein sollten.

Die Ufermauer und generell die Uferzone liegt auf bzw. besteht aus einer künstlichen Auffüllung, deren seeseitige Oberkante mit einer Blockschüttung stabilisiert ist. In der Tiefe treten Seeablagerungen auf. Stabiler Baugrund (Moräne, Fels) liegt erst sehr tief und beeinflusst die oberflächennahe Stabilität der Böschung nicht.

Gemäss bisherigen Untersuchungen liegt der aktuelle Zustand des Uferbereichs im Grenzbereich der Tragfähigkeitsreserve. Die Gesamtstabilität des Uferbereichs kann sich infolge Abtrag von belastetem Seegrundmaterial demzufolge in einen sehr kritischen Bereich verschieben bzw. die Gesamtstabilität kann u.U. nicht mehr gewährleistet werden.

#### 4.1.3 Triagierung des „Aushubes“

Eine klassische Triagierung des Aushubes, wie man es aus dem üblichen Baugrubenaushub an Land kennt, – d.h. organoleptisch und aufgrund von Materialproben (Chargenproben, Sohlenproben) - ist im See nicht möglich. Vor Ort Beprobungen sind nur durch vorgängige Kernbohrungen und nicht während des Aushubs möglich.

Die Bergung erfolgt vermutlich grösstenteils maschinell und ferngesteuert. Aus diversen Gründen müssen Aushubbereiche einmal begonnen, bis zum voraussichtlichen Ende ausgeführt werden. Anpassungen des Aushubes und Transport des Materials an Land muss im Voraus geplant werden, damit die landseitige Behandlung nicht übermässig gestört wird.

Eine Triagierung kann demzufolge nur aufgrund von Resultaten von Vorauserkundungen mit Kernbohrungen (untergeordnet durch Beprobung mit Tauchern) erfolgen. Zonen mit besonders hohen Schadstoffkonzentrationen (lateral und vertikal) oder Zonen mit besonderen Materialien (wo z.B. die NORM-Befreiungsgrenze für Radionuklide voraussichtlich überschritten wird) müssen im Voraus identifiziert werden.

Die Triagierung kann aus Tages- oder Mehrtagesetappen bestehen. Eine feinere Unterteilung ist anlagenbedingt nicht mehr möglich (bzw. nur in ausserordentlichen Fällen). Möglicherweise erfolgt eine Veränderung der Qualität des gewonnenen Materials graduell und nicht abrupt.

Bezüglich Aushubtiefe ist es demzufolge zwingend, diese im Voraus zu definieren, weil eine Kontrolle während des Aushubes z.B. durch Sohlenbeprobungen nur mit einer ungünstigen Unterbrechung der gesamten Sanierungsprozesse (Bergung + Behandlung) möglich ist. Der Perimeter der Sanierung und insbesondere die Unterkante des Aushubes sind im Voraus zu bestimmen. Dies wurde so im Rahmen der Submission in [9] vorgegeben.

#### 4.1.4 Behandlung des „Aushubes“

Das ausgehobene Material kommt im nassen Zustand an Land. Aufgrund der für die Entwässerung des Materials und Behandlung des Abwassers notwendigen Installationen werden möglicherweise an Land tägliche oder mehrtägige Aushubetappen in Sammelbehältern vermischt.

Das Material muss entwässert werden (Sieb, Zyklone, Schlammpresse). Demzufolge resultieren je nach Entwässerungsmethode diverse Korngrössen-Fraktionen, die getrennt weiter behandelt bzw. verwertet/entsorgt werden können. Grossmehrheitlich wird Material der feinsten Klasse (< 0.063 mm) als Filterkuchen aus der Schlammpresse anfallen.

Der nasse Zustand des Materials, und die Notwendigkeit Schwebestoffe mit Hilfe von Flockungsmittel auszufällen und auszuschleimen, bietet die Möglichkeit einer Konditionierung (Verfestigung durch Bindung von Porenwasser) und einer Immobilisierung von leichtlöslichen Schadstoffen (durch Adsorption, Partizipation und Fällung). Diese Prozesse schränken die Mobilität von Schadstoffen ein.

Flockung und das Ausscheiden des Schlammes müssen vor Ort erfolgen. Konditionierung und Immobilisierung können vor Ort und/oder in einer externen Anlage stattfinden.

Das Material wird die Installationsstelle in trockenem oder feuchtem (stichfestem) Zustand verlassen.

#### 4.1.5 Behandlung und Einleitung des Abwassers

Das ausgeschiedene Wasser ist zwar klar, ohne Trübung, enthält aber dennoch Schadstoffe in gelöster oder in partikulärer aber nicht mehr absetzbarer Form. Es handelt sich um die Schadstoffe der Altlast, vor allem Arsen, Barium, Blei. Ferner sind auch gelöste organische Stoffe (DOC, ggf. KW und PAK) oder Redoxprodukte (Ammonium) vorhanden.

Für die Entsorgung des Abwassers kommen die öffentliche Kanalisation (jedoch mit einer kleinen Einleitmenge gegenüber dem effektiv angesaugten Wasser) oder nach umfassender Aufbereitung die Rückgabe in den See in Frage. Demzufolge ist das Abwasser vor Einleiten entsprechend der breiten Schadstoffpalette zu behandeln.

#### 4.1.6 Radioaktivität

Durch die Ausschwemmung der Abfälle aus der Phosphatdüngerproduktion in den See haben sich neben den Schwermetallen auch erhöhte Konzentrationen von Radionukliden aus der Uran-Zerfallsreihe, insbesondere U-238 und Ra-226, im Seegrund abgelagert. Uran 238 ist konzentrationsmässig massgebend.

Die Problematik der radioaktiven Sedimente wurde untersucht [10].

Gemäss Strahlenschutz-Verordnung (StSV, 01.01.2018) handelt es sich um natürlich vorkommendes radioaktives Material (NORM), für welches Befreiungsgrenzen erlassen wurden, unter welchen dieses Material uneingeschränkt an die Umwelt abgegeben werden kann. Der Umgang mit diesem Material unterliegt demzufolge keiner Einschränkung.

Der Umgang mit Material, welches die NORM-Befreiungsgrenze (z.B. 80 ppm Uran bzw. 1'000 Bq/kg oder 100 nSv/h in 1 m Abstand für Ra-226) überschreitet, bedarf der Zustimmung der Behörde (BAG, BAFU, AWEL). Es ist insbesondere sicher zu stellen, dass bei Material mit über 1'000 nSv/h in 10 cm Abstand das Personal auf der Baustelle nicht strahlenexponiert wird. Dieses Material kann nicht mehr an die Umwelt abgegeben werden.

Gemäss Expertenmeinung [10] liegt eine bis ca. 20% Wahrscheinlichkeit vor, dass die NORM-Befreiungsgrenze im Aushub überschritten wird, wobei die Wahrscheinlichkeit, dass das Material effektiv gesondert behandelt werden muss, noch kleiner eingeschätzt wird (<10%). Da beim Aushub eine Mittelung über grosse Volumina erfolgt, dürfte diese Wahrscheinlichkeit noch abnehmen.

Es wird vermutet, dass effektiv nur einzelne Schichten innerhalb der gesamten Abtragungsmächtigkeit radioaktives Material in gefährlichen Konzentrationen (>1'000 nSv/h in 10 cm Abstand) enthalten. Der Bereich des KbS-Standorts, in welchem dies möglich ist, ist gemäss den bisherigen Sondierungen in Abbildung 11 für mittlere Uran-Konzentrationen > 10 mg/kg dargestellt. Diese Schichten werden durch den Abtrag und die Behandlungsverfahren mit anderem Material vermischt. Ob und wie weit dies zu unzulässigen Konzentrationen an Radionukliden in das im Endeffekt zu entsorgende Material führt, lässt sich heute nicht abschliessend beurteilen. Eine Schätzung der zu erwartenden Entsorgungsmenge über der NORM-Befreiungsgrenze, bzw. der Mengen die effektiv gesondert behandelt werden müssen (>1'000 nSv/h in 10 cm Abstand), ist im Voraus nicht möglich.

Auch die Immissionsgrenzwerte für Gewässer (IGGw, Art. 24, Abs. 2, StSV) für das ausgeschiedene Wasser sind zu überwachen.

#### 4.1.7 Verwertung und Entsorgung der Feststoffe innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze

Ausgeschiedene Korngrössen, welche mehrheitlich aus gesteinsähnlichem Material bestehen, sind entsprechend deren Belastungszustand zu verwerten oder zu behandeln (z.B. Bodenwaschanlage) und zu entsorgen. Dieses Material stellt jedoch die Minderheit (< 30%) der gewonnenen Feststoffe dar.

Die Mehrheit (> 70%) besteht aus gepresstem Feinkorn (Filterkuchen) mit einem hohen Gesamtgehalt an diversen Schwermetallen. Die Grenzwerte für eine Lagerung in einer Deponie des Typs E (Reaktordeponie)

können überschritten werden. In diesem Fall ist für die Entsorgung die Eluierbarkeit der Schwermetalle entscheidend. Durch die Behandlung des Materials bereits während dessen Entwässerung oder nachträglich in speziellen Anlagen kann versucht werden, die leichtlöslichen Schwermetalle (besonders Arsen) zu immobilisieren und daher eine Ablagerung in einer Deponie des Typs C (Reststoffkompartiment) zu erwirken. Die Immobilisierung ist ein Standard-Verfahren der Abfallbehandlung. Vorversuche der Anbieter haben die Machbarkeit der Immobilisierung bei den Seesedimenten der vorliegenden Altlast bestätigt.

Weitere Versuche haben nachgewiesen (vgl. [9]), dass eine Extraktion der Schwermetalle oder thermische Verfahren für Schwermetalle nicht zielführend sind.

Hohe Konzentrationen an organischen Schadstoffen (TOC, KW oder PAK) oder an Quecksilber sind ebenfalls (selten) möglich. Diese Materialien müssen zuerst mit einem thermischen Verfahren (ausländische Sonderverbrennungsanlage SAVA) behandelt werden und anschliessend in eine Deponie entsprechend dem Schwermetallgehalt gebracht werden. Diese Chargen bedürfen einer Exportbewilligung von der Behörde.

Zusammenfassend ist zu erwarten, dass der Grossteil der Feststoffe, welche innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze verbleiben, mit Standardmethoden innerhalb der Schweiz behandelt, verwertet und entsorgt werden kann. Für mit organischen Schadstoffen stark belastete Materialien ist ein Export in eine ausländische SAVA und ggf. eine Deponierung im Ausland notwendig.

## 4.2 Sanierungsverfahren

### 4.2.1 Dekontamination off site (Bergung, Behandlung und Deponierung)

Die technischen Verfahren stützen sich auf die Vorprojekte der Submission. Ohne auf die komplexen Details einzugehen sind die einzelnen Schritte einer Dekontamination off site nachfolgend zusammenfassend beschrieben:

<i>Installationen</i>	<p>Vorbereitung des zur Verfügung gestellten Platzes für Installationen ggf. mit Abbruch von alten Bauten und Ergänzung / Instandstellung von Bodenversiegelungen, Behälter, vorhandene Fundamente.</p> <p>Installation der Anlagen und Geräte sowie der Materialumschlagplätze.</p> <p>Anschlüsse an Werkleitungen. Zugänge zum See.</p>
<i>Ertüchtigung der Ufermauer</i>	<p>Schutz der Ufermauer gegen eine mechanische Beschädigung durch Fahrzeuge, Schiffe, Pontons oder durch eine landseitige Belastung.</p>
<i>Aushubmethode in der Kernzone</i>	<p>Absaugen des Wasser-/Seegrund-Gemisches von einem auf dem Wasser schwimmenden Ponton. Als Schutz gegen die Ausbreitung der Trübung bieten sich an:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absaugen in einem vollständig umschlossenen und auf dem Seegrund abgesenkten Sanierungskasten oder innerhalb einem ab dem Ponton herabgelassenen Vorhang</li> <li>- Mitabsaugen von Seewasser aus der unmittelbaren Umgebung des Abtrags</li> </ul> <p>Transport der abgesaugten Suspension via einer Schlauchleitung im See zu der Behandlungsanlage an Land</p>

<i>Absaugmethoden in der Blockwurfzone und am Hafen Langenbaum</i>	<p>Ein schwimmender Ponton mit Schutzvorrichtung (Senkkasten, Vorhang) ist nicht mehr möglich. Das Absaugen erfolgt direkt durch Taucher (Blockwurfzone) und durch einen konventionellen schwimmenden Saugbagger (Hafen Langenbaum).</p> <p>Der Schutz gegen die Ausbreitung der Trübung ausserhalb des Bergungsorts erfolgt durch die Schliessung des Hafens und beim Blockwurf durch einen kleinen Ponton, welcher vom Land direkt zu bedienen ist.</p>
<i>Weitere Arbeiten am Abtrag</i>	<p>Vermessung des Seegrundes vor und nach Abtrag</p> <p>Überwachung der Seewasserqualität</p>
<i>Stabilisierung der Uferböschung</i>	<p>Gemäss eingegangenen Vorprojekten gehen die Möglichkeiten über eine Beschwerung des Böschungsfusses durch Ausschüttung von körnigem Material bis zur Erstellung einer aufgelösten Bohrpfahreihe. Die Auswirkung der Abtragungsarbeiten ist an der Böschung und an der Ufermauer zu überwachen.</p>
<i>Behandlung Feststoffe</i>	<p>Trennung des Feststoffs aus der Suspension und Behandlung der Schadstoffe. Ausscheidung diverser Korngrössen (z.B. 0-80 mm; 0- 4 mm) und Verpressung der Feianteile (&lt; 0.063 mm) zwecks deren Entwässerung. Anwenden von Flockungs-, Konditionier- und Immobilisierungsmittel.</p> <p>Getrennte Lagerung der diversen Materialien für die Qualitätsüberprüfung und Vorbereitung für den Abtransport.</p>
<i>Behandlung Abwasser</i>	<p>Behandlung der Wasserphase für das Zurückhalten der Trübungstoffe, der diversen organischen Schadstoffe und der Schwermetalle. Ggf. Kontrolle des pH-Wertes. Wasserreinigung durch Biologische Stufe, Sandfilter, Aktivkohlenfilter für organische Schadstoffe und Absorber-Filter für Schwermetalle.</p> <p>Einleitung in den See, ggf. Teileinleitung in die Kanalisation</p>
<i>Kontrolle des Materials und des Wassers</i>	<p>Überprüfung der Radioaktivität (am Eingang und am Ausgang bei verschiedenen Chargen): Zähler vor Ort zuzüglich Laboranalytik</p> <p>Feststoffanalytik auf organische Schadstoffe und Schwermetalle: Beprobung und Laboranalytik</p> <p>Wasseranalytik: on-line Überwachung massgebende Parameter und Laboranalytik</p>
<i>Zwischenlagerung des Materials</i>	<p>Zwischenlagerung der abgeschiedenen Feststoffe in separaten Chargen bis aufgrund der Analytik der Entsorgungsweg zugewiesen werden kann.</p> <p>Zwischenlagerung in witterungsgeschützten Boxen oder in Transportcontainern.</p>

*Entsorgung der Feststoffe (Materialien innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze)*

Grobkorn (> 0.063 mm): Bodenwaschanlage, Verwertung des gesteinsähnlichen Materials und Deponierung

Feinkorn (Filterkuchen): Behandlung (Immobilisierung der leichtlöslichen Schwermetalle) und Deponierung (Deponien Typ E und C). Bei hohem Gehalt an organischen Schadstoffen (KW, PAK) oder an Quecksilber Verbrennung in SAVA.

Transporte im Inland und ggf. ins Ausland (LKW, ggf. Bahntransporte, da Anschluss vorhanden ist)

*Umgang mit Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze*

Der Umgang mit diesen Materialien muss von den zuständigen Behörden von Fall zu Fall festgelegt werden. Vorbehältlich dieser Entscheide sehen wir folgende Möglichkeiten vor:

Isolierung der entsprechenden Chargen zuerst zum Strahlenschutz der Belegschaft. Klärung des sonstigen Schadstoffgehalts.

Klärung der Notwendigkeit einer zusätzlichen mineralischen Immobilisierung der Charge. Bei organischen Belastungen Klärung einer Behandlung dieser Stoffe.

Ein Export dieser Materialien ist nicht möglich. Eine Lagerung in einem isolierten Kompartiment in der entsprechenden Deponie erfolgt im Inland.

*Rückbau*

Rückbau der Installationen an Land, Wiederinstandstellungen.

## 4.2.2 Sicherung

Für eine Sicherung der Belastung wird eine Überschüttung mit körnigem Material empfohlen.

Das körnige Material erlaubt eine bessere Stabilität des aufgeschütteten Hangs gegenüber dem heutigen Seegrund und ist wenig anfällig auf eine Ausschwemmung durch Wellen oder Verletzung durch externe Einwirkungen. Die Schüttung kann lokal durch eine Blockschüttung zur besseren Stabilität und zum Erosionsschutz gesichert werden. Durch die Schüttung kann eine Flachwasserzone gebildet werden. Das körnige Material eignet sich gut als Substrat für die Lebewesen im Wasser.

Um Gewässertrübungen zu vermeiden, erfolgt die Schüttung von einem Ponton oder Schiff im Schutz eines Vorhanges. Grundsätzlich kann der gleiche Ponton für die Bergung der Ablagerungen verwendet werden, da Schutzvorrichtungen vorhanden sind.

## 5. Realisierbare Sanierungsvarianten

### 5.1 Umfang der Schadstoffentfernung

Aufgrund des unterschiedlichen Ausmasses der Sedimentbergung in den Varianten lassen sich unterschiedliche Mengen an Schadstoff entfernen. Dies ist eine wichtige Kenngrösse, um die Effizienz einer Sanierung zu beziffern, bzw. deren Verhältnismässigkeit in Bezug auf weitere Sanierungsobjekte zu vergleichen. Die Schadstoffentfernung lässt sich bei einer Dekontamination durch die Menge des Aushubes und der Konzentration der damit entfernten Schadstoffe abschätzen.

Aufgrund des breiten Schadstoffspektrums, dessen Konzentrationen über dem 10-fachen PEC-Wert liegen, wurde als Summenparameter das Blei-Äquivalent (siehe Abschnitt 2.4) berechnet. Dieses stellt für jede Probe die Gesamtgefährdung - ausgedrückt in einer Summenkonzentration von Blei - dar. Die Summenkonzentration lässt sich danach aufgrund der betroffenen Schichtdicke, der Dichte der Seeablagerungen und dem Feststoffanteil (Trockenmasse) in eine Menge (g) an Blei pro m<sup>2</sup> Aushubfläche mit Überschreitung des 10-fachen PEC-Werts umrechnen. Weil die diversen Varianten sich in der Ausdehnung der Dekontaminationsfläche unterscheiden, lassen sich damit die diversen Mengen an entferntem Schadstoff, ausgedrückt in Tonnen Blei, ableiten.

### 5.2 Herleitung der Varianten

#### 5.2.1 Varianten A und B: Dekontamination aufgrund Schadstoffgehalt

Als Referenz für die Bestimmung des gesamten vorhandenen Schadstoffs, wurde eine Totaldekontamination des im Kataster des belasteten Standorts eingetragenen Standorts angenommen (Variante A). Diese Variante ist altlastenrechtlich nicht erforderlich und dient nur zum Vergleich der Schadstoffentfernung.

Die Sanierung einer Altlast erfolgt, wenn die Gefährdung, die aus dem Schadstoff stammt, beseitigt wird. Weil die Schadstoffe am Seegrund ohne eine Überdeckung vollständig exponiert liegen und für Organismen uneingeschränkt erreichbar sind, besteht eine Gefährdung aus ökotoxikologischen Gründen für die Bereiche, in welchen die Schadstoffkonzentrationen den 10-fachen PEC-Wert (probable effect concentration) überschreitet (Abschnitt 2.5.2). Aufgrund der raschen Abnahme der Konzentrationen ausserhalb dieses Perimeters entspricht die 10-fache PEC-Grenze weitgehend dem Perimeter des belasteten Standorts, so dass die Variante A als Sanierungsmöglichkeit nicht mehr weiterverfolgt wird.

Es ist in erster Linie eine Sanierung innerhalb des Perimeters des 10-fachen PEC Werts – horizontal und vertikal – auszuführen. Die hier benannte Variante B sieht für die Beseitigung der Gefährdung folgende Dekontamination innerhalb dieses Perimeters vor:

- Entfernung der Belastungen in jenen Bereichen des Seegrundes, wo der 10-fache PEC-Wert im Material überschritten wird (entspricht der Kernzone, dem Bereich Rotholz und dem Hafen Langenbaum; vgl. rote Linie in Abbildung 4 bzw. Abbildung 7). Diese definiert einen Abtragungskörper von 10 cm bis 150 cm Mächtigkeit bis zu einem Abstand von 70-265 m ab Uferlinie und einer Wassertiefe bis ca. 30 m (Abbildung 6).
- Entfernung des leicht mobilisierbaren belasteten Materials im Bereich des Blockwurfs (Entspricht der Blockwurfzone).

Die daraus resultierende Teildekontamination stimmt fast mit einer Totaldekontamination überein. Die Schadstoffdichte bzw. die Schadstoffe ausgedrückt in Pb-Äquivalenten (Kapitel 2.4), ist in Abbildung 7 dargestellt. Von den im Kbs-Perimeter enthaltenen 113.4 Tonnen Blei-Äquivalent, werden damit ca. 99.3% entnommen. Diese Variante entspricht den vom AWEL ausgeschrieben Totalunternehmer-Leistungen.

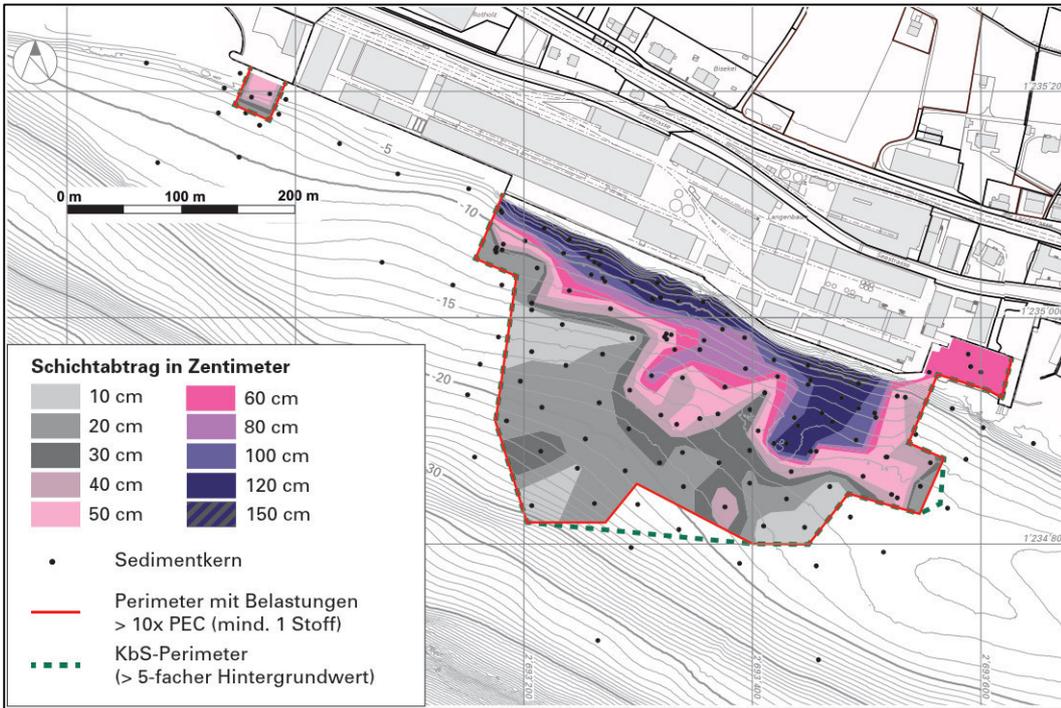


Abbildung 6 Abtragungsperimeter und Abtragungskörper der Dekontaminationsvariante B

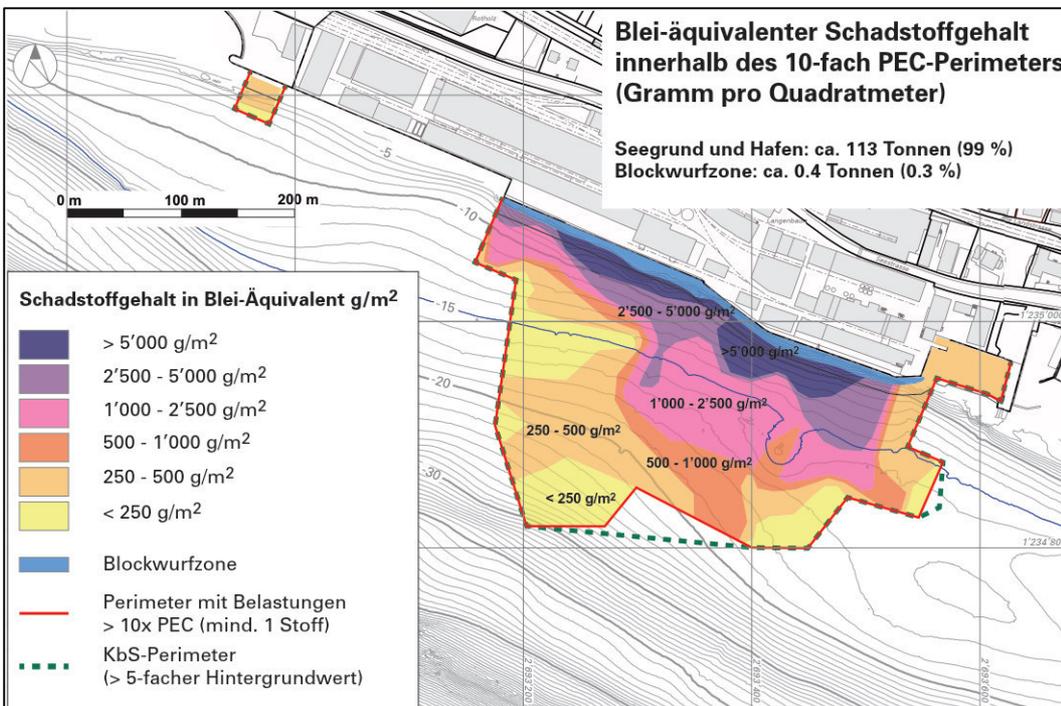


Abbildung 7 Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante B

## 5.2.2 Variante C: Teildekontamination aufgrund Schadstoffgehalt und Freisetzungspotential

Berücksichtigt man das Freisetzungspotential der Schadstoffe, weil diese direkt am Seegrund exponiert liegen, nimmt die Gefahr von deren Mobilisierung mit zunehmender Seetiefe ab [4]. Die mechanische Mobilisierung ist im vorliegenden Fall relevant, weil eine Beprobung des über dem Sediment stehenden Wassers nachgewiesen hat, dass die Schadstoffkonzentrationen aus dem aufgewirbelten Sediment generell gering sind. Grundsätzlich ist demzufolge das Belassen von ökotoxikologisch gefährdendem Material, in einem Bereich denkbar, wo keine oder eine geringe Freisetzung erfolgt (Schutzgut See als Trinkwasserreservoir) sowie wo eine ökotoxikologische Gefährdung vertretbar ist.

Diese Überlegungen führen zu einer Reduzierung des Sanierungsperimeters der Variante B. Dies würde aber eine Anpassung des Sanierungsziels gemäss AltIV Art. 15 erfordern, was bei der Behörde beantragt werden müsste.

Die Sanierung konzentriert sich auf Bereiche mit hohem Schadstoffpotential und hohem Freisetzungspotential bzw. ökotoxikologischer Gefährdung, dort wo das Verhältnis zwischen Nutzen der Massnahmen und Restgefährdung der verbleibenden Belastung als gewässerökologisch akzeptabel beurteilt wird.

Eine dritte Variante (Variante C) sieht deshalb eine Begrenzung der Dekontamination in untefe Seebereiche vor, bzw. in den Bereich wo aufgrund der Morphologie des Seegrunds und der lokalen Verhältnisse die Gefahr einer Mobilisierung am grössten ist. In einer ersten Annahme wurde neben der ca. 10-15 m breiten Blockwurfzone am Ufer eine Dekontamination bis zu einer Wassertiefe von 15 m angenommen. Diese Wassertiefe erlaubt noch in einem 40 bis 60 m breiten Bereich bis 50-80 m Abstand vom Ufer die grösste Belastungsmächtigkeit von 50-60 cm bis 150 cm zu dekontaminieren (siehe Abbildung 6). Im See verbleiben auf einer grösseren Fläche und in grösserem Abstand zum Ufer Belastungen von über 10xPEC-Wert mit Schichtdicken von vorwiegend 10 bis 30-40 cm. Diese sind hier deutlich weniger einer Mobilisierung (Aufwirbelung) durch Sturmwellen, mechanische Verletzung durch Anker und Arbeiten im See, aufsteigende Gase oder Eingriffen von Organismen ausgesetzt. Der mit der Variante C entfernte Schadstoff stellt ca. 78% der gefährdenden Menge dar (Abbildung 8).

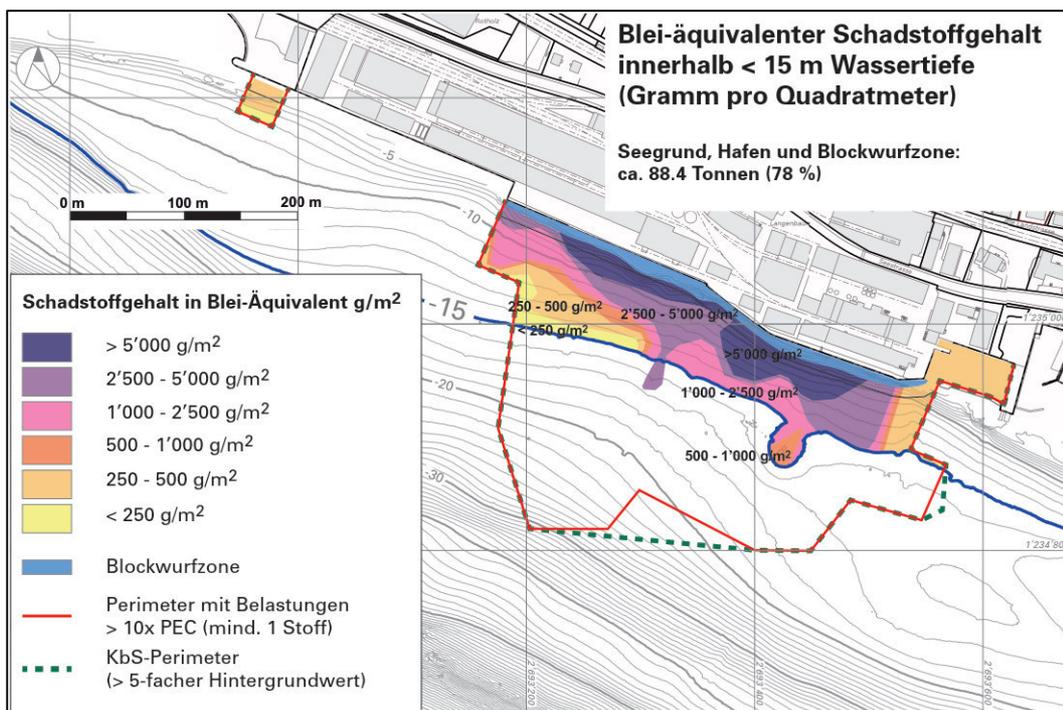


Abbildung 8 Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante C

### 5.2.3 Variante D: Kombination Teildekontamination aufgrund Schadstoffgehalt mit Teilsicherung zur Minimierung der Stabilitätsgefährdung

Die Eingriffe im steilen Seeufer (Kernzone) zwischen Blockwurfzone und ca. 9 bis 10 m Wassertiefe (20-25 m ab Uferlinie), wo ein Übergang zu einem weniger steil abfallenden Seegrund vorliegt, stellen ein Risiko für die Gesamtstabilität des Uferbereichs dar (vgl. Abschnitt 4.1.2). Eine Rutschung im See würde die Ufermauer beschädigen und könnte eine unkontrollierte Ausschwemmung von belastetem Material, ggf. auch aus der landseitigen Aufschüttung, verursachen. Das ökotoxikologische Risiko aus solchen Ereignissen ist als unkontrollierbar und gross zu beurteilen. Die daraus resultierenden Sanierungsarbeiten würden möglicherweise ein x-faches der Aufwendungen für die Sanierung des ufernahen Bereichs im heutigen Zustand zur Folge haben.

Im Laufe der Erarbeitung der Vorprojekte für die Variante B haben die Unternehmer diese Problematik erkannt und Sicherungsmassnahmen vorgeschlagen, die einen kontrollierten Aushub im ufernahen Bereich trotzdem erlauben. Die Variante B scheint auch unter dem Aspekt der Uferstabilität – ggf. mit ergänzenden Massnahmen - machbar zu sein. Allerdings verbleibt ein Restrisiko.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Studie eine Variante entwickelt (Variante D), die eine Stabilitätsgefährdung des Uferbereichs durch eine Dekontamination vermeidet bzw. stark vermindert. In dieser Variante werden die im kritischen Bereich vorliegenden belasteten Sedimente vor Ort belassen und die ökotoxikologische Gefährdung wird durch eine Überschüttung, d.h. durch das Wegfallen der Exposition der Schadstoffe vermindert, bzw. wegbedungen. Dadurch entfällt eine Freisetzung der Schadstoffe.

Die Variante D ist als eigentliche Alternative zu Sicherungsmassnahmen am Seeufer gedacht und besteht aus folgenden Elementen:

- Die Entfernung der Belastung in der ufernahen Blockwurfzone verursacht kaum Stabilitätsprobleme und soll auch ausgeführt werden (blauer Bereich in Abbildung 9). Obwohl die Menge des von hier entfernten Schadstoffs verhältnismässig gering ist, wird die am meisten exponierte Zone in einer Wassertiefe von bis 5 m, und daher mit dem höchsten Freisetzungspotential, relativ kostengünstig zu sanieren sein.
- Die Überschüttung ist im anschliessenden steilen Uferbereich am unteren Ende der Blockwurfzone bis zum Übergang in den flacheren Bereich vorgesehen und dient als Sicherung der darunter liegenden Altlast (grauer Bereich in Abbildung 9).
- Die Überschüttung sieht eine Aufwertung des Uferbereichs in eine inselartige Flachwasserzone vor und wird daher gestützt auf Art. 39 Abs. 2 GschG als eine gewässerschutzrechtlich bewilligungsfähige Schüttung beurteilt. Der steile Uferbereich wird aus Stabilitätsgründen mit einem Winkel von ca. 33° überschüttet (Abbildung 10). Das verbleibende Risiko einer Freisetzung der Belastung ist unter Berücksichtigung der Überschüttung und der Wassertiefe als mittel bis klein zu beurteilen.
- Der übrige Bereich mit Schadstoffkonzentrationen über 10-fachem PEC wird wie in der Variante B dekontaminiert.
- Der mit der Variante D entfernte Schadstoff stellt ca. 69% der gefährdenden Menge dar (Abbildung 9).

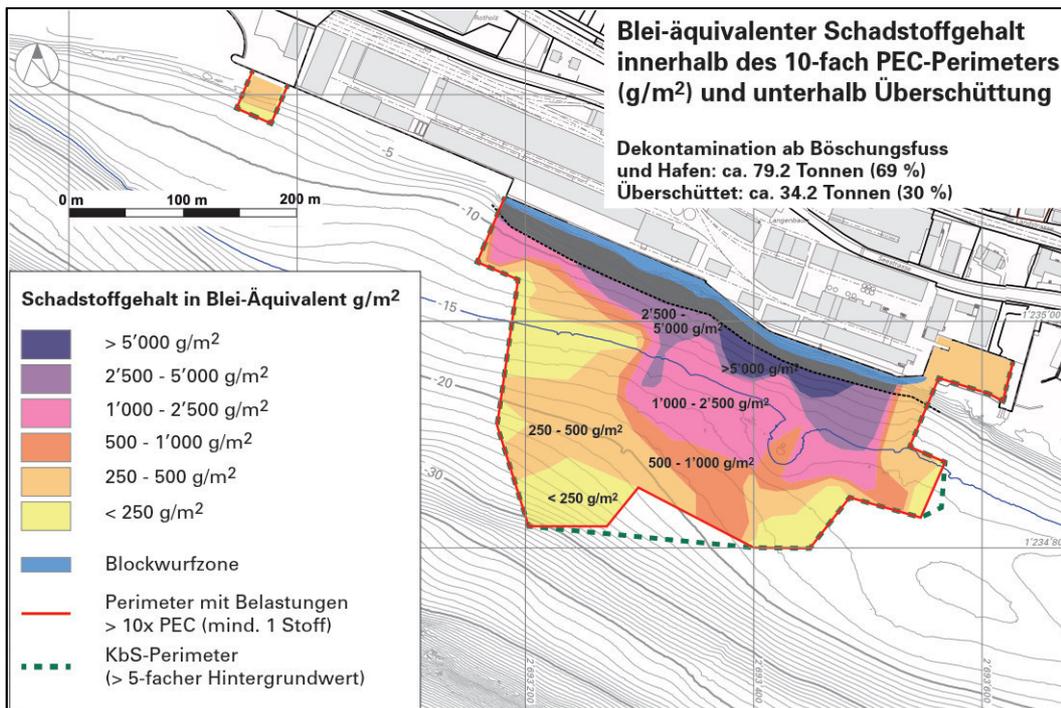


Abbildung 9 Schadstoffentfernung in Pb-Äquivalenten für die Dekontaminationsvariante D

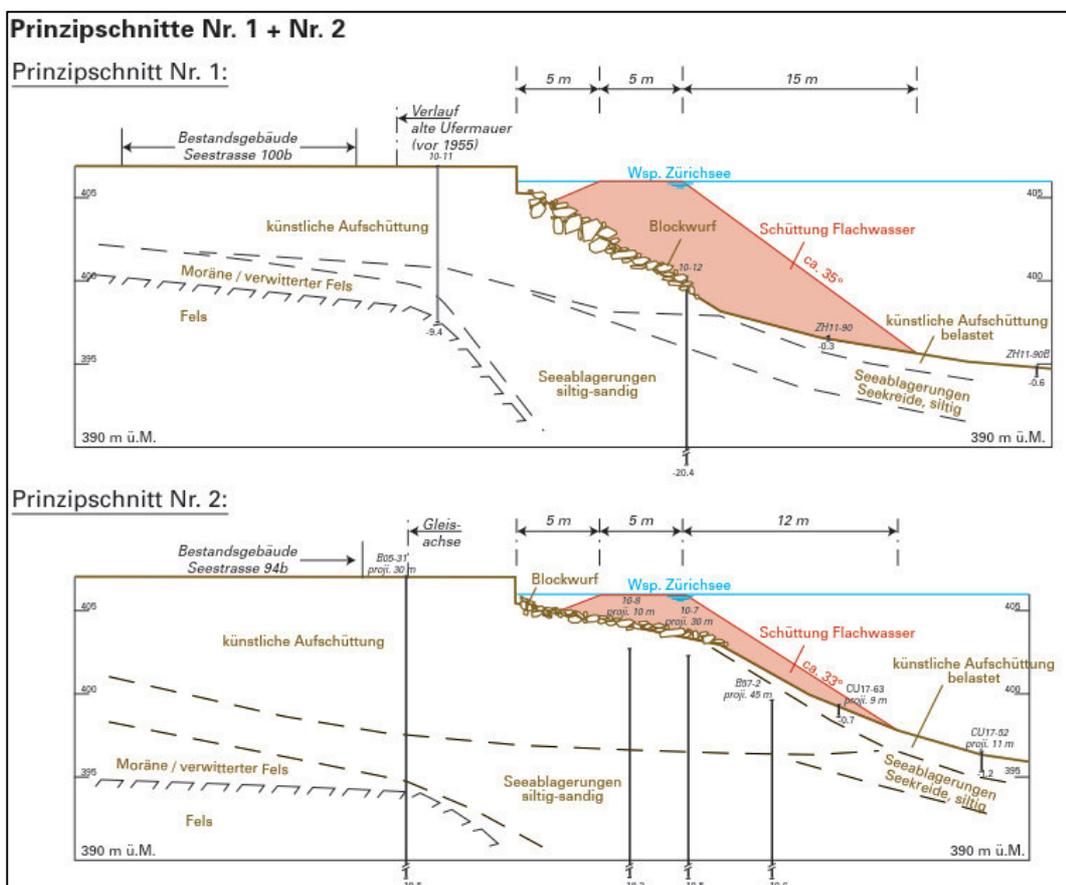


Abbildung 10 Schematische Schnitte für die Überschüttung des Uferbereichs und Bildung einer Flachwasserzone (Variante D) (Nr. 1 steiler, Nr. 2 flacherer Uferabschnitt; diese schematischen Prinzipsschnitte entsprechen geometrisch den Schnitten für die geotechnischen Nachweise in den Submissionsunterlagen für die Variante B).

## 5.3 Herleitung der Kosten

### 5.3.1 Kosten aus der Submission

Die Kostenpositionen lassen sich zum grossen Teil aus der durchgeführten Submission für die Variante B herleiten. In Bezug auf die in der vorliegenden Variantenstudie herzuleitenden Varianten lassen sich die Kostenpositionen aufteilen und beziffern (Tabelle 3).

Tabelle 3 Kostenpositionen und geschätzte Kosten aufgrund der Submission der Variante B

Position	Beschrieb	Kosten exkl. MWST	Erläuterungen
<b>100. Planung und Installationen</b>	Honorare und Nebenkosten Baustelleninstallationen an Land inkl. Instandstellung, Sicherheit und Gebühren Sicherungen, Abbrüche und Entsorgungen im Zusammenhang mit allg. Installationen Umschlagplätze, Bahninfrastruktur Abbruch und Entsorgung Seewasserleitungen	2'066'000	Ohnehin-Kosten, unabhängig der Variantengrösse. Für alle Varianten gleich.
<b>200. Sicherungskosten Ufermauer und Uferzone</b>	Temporäre Sicherung Ufermauer und Rückbau	102'000	Für alle Varianten gleich.
	Sicherung Hangbereich in Uferzone (z.B. durch Pfählung)	500'000	Betrag aufgrund Vorprojekte geschätzt,
<b>300. Installation und Abtrag Kernzone</b>	Spezielle Baustelleninstallationen auf dem Wasser	1'472'000	Für alle Varianten gleich.
	Abtrag	1'220'000	Kosten in Funktion der Menge an Bergungsmaterial
<b>400. Blockwurfzone</b>	Spezielle Baustelleninstallationen auf dem Wasser und Abtrag	507'000	Für alle Varianten gleich.
<b>500. Rotholz und Hafen Langenbaum</b>	Spezielle Baustelleninstallationen auf dem Wasser und Abtrag	160'000	Für alle Varianten gleich.
<b>600. Material- und Wasseraufbereitung vor Ort (inkl. Abfallbehandlung)</b>	Installationen	1'481'000	Für alle Varianten gleich.
	Betrieb inkl. Instrumentierung und Überwachung	933'000	Kosten in Funktion der Menge an Bergungsmaterial.
<b>700. Analytik</b>	Seewasser (Überwachung Abtrag) Abwasser (Überwachung Einleitung) Feststoffe (Zuweisung Entsorgung)	1'191'000	Kosten in Funktion der Menge an Bergungsmaterial.
<b>800. Entsorgung Feststoffe</b>	Transporte, Entsorgung / Verwertung inkl. Gebühren	6'166'000	Kosten in Funktion der Menge an Bergungsmaterial.

### 5.3.2 Kosten für Abtrag der Kernzone (Pos. 300.)

Der Abtrag der Kernzone bei der Variante B erfolgt auf einer Fläche von rund 70'400 m<sup>2</sup>. Dies beinhaltet die Entfernung von ca. 34'600 m<sup>3</sup> wassergesättigten und schadstoffbelasteten Sedimenten (Wassergehalt des Sediments ist auf 60% geschätzt worden) und daher einer durchschnittlichen Abtragsmächtigkeit von rund 50 cm.

Die Kosten gemäss Tabelle 3, Pos. 300. ergeben einen durchschnittlichen Preis exkl. MWST von:

- 17.35 CHF/m<sup>2</sup> Abtragsfläche oder
- 35.25 CHF/m<sup>3</sup> abgetragenes Sediment (Abtragsvolumen, wassergesättigt)

Der Abtrag erfolgt im Schutze eines Kastens von ca. 300 m<sup>2</sup>, welcher für die Bearbeitung einer neuen Zone präzise umgestellt werden muss. Bei einer durchschnittlichen Tiefe von 0.5 m wird der Kastenbereich in einem Tag umgestellt und ausgehoben. Das Absaugen dauert rund 6 h und daher ist die Umstellung nicht der kostenintensivste Arbeitsschritt. Aufgrund der gleich hohen durchschnittlichen Bergungsmächtigkeit gelten diese Einheitskosten auch für die Varianten B und D.

Bei der Variante C erhöht sich die durchschnittliche Abtragsmächtigkeit. Daher dauert der kostenintensivste Arbeitsschritt (Absaugen) pro Umstellung des Kastens länger. Demzufolge muss sich der Bergungspreis pro Einheit erhöhen (Annahme von 45.- CHF/m<sup>3</sup> in Tabelle 4).

### 5.3.3 Kosten für den Betrieb der Wasseraufbereitung (Pos. 600.)

Massgebend für den Betrieb ist die Menge des mit dem Sediment aus dem See mit abgesaugten Wassers. Für die Entnahme von insgesamt ca. 36'800 m<sup>3</sup> Sediment (Kernzone, Blockwurfzone, Hafen Langenbaum und Rotholz) wurden ca. 250'000 m<sup>3</sup> Suspension geschätzt, d.h. ein Verhältnis von ca. 1:7.

Die Kosten gemäss Tabelle 3, Pos. 300. ergeben einen durchschnittlichen Preis exkl. MWST von:

- 25.35 CHF/m<sup>3</sup> abgetragenes Sediment (Abtragsvolumen) oder
- 3.75 CHF/m<sup>3</sup> Suspension

Es ist beim aktuellen Kenntnisstand davon auszugehen, dass eine Veränderung der Sedimentmenge zu einer proportionalen Veränderung der Suspension führt, und daher keine Veränderung der Einheitskosten bei einem unterschiedlichen Ausmass der Varianten resultiert (Kostensicherheit der in der Submission eingereichten Vorprojekte wird vorausgesetzt).

Darin sind auch die Kosten der Materialbehandlung für eine inländische Deponierung enthalten.

### 5.3.4 Kosten für Analytik (Überwachung der Ausführung, Pos. 700.)

Die Kosten gemäss Tabelle 3, Pos. 700. beziehen sich auf die behandelte Wassermenge und das entsorgte Material. Diese Parameter sind proportional zu den Abtragsvolumen. Daher ergibt sich ein durchschnittlicher Preis exkl. MWST von:

- 32.35 CHF/m<sup>3</sup> abgetragenes Sediment

Massgebend für den Betrieb ist die Menge des mit dem Sediment aus dem See mitabgesaugten Wassers.

### 5.3.5 Entsorgung der Feststoffe innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze (Pos. 800.)

Ausgehend von 36'800 m<sup>3</sup> Sediment resultieren die Schätzungen des Bestangebots in folgenden Entsorgungsmengen (inkl. ca. 15-20% nicht entfernbaren Wassergehalt der entsorgten Materialien):

- |                                       |          |        |
|---------------------------------------|----------|--------|
| - Grobfraktion in Bodenwaschanlage    | 5'890 t  | (24%)  |
| - Feinfraktion in eine Deponie Typ C  | 19'386 t | (57%)  |
| - Feinfraktion, Entsorgung im Ausland | 4'580 t  | (19%)  |
| - Total                               | 24'236 t | (100%) |

Eine Veränderung dieser Aufteilung unterliegt dem Risiko des Unternehmers, weil die Kosten als Globale angeboten worden sind. Daher ergeben sich aus der Submission folgende durchschnittlichen Preise exkl. MWST:

- 167.55 CHF/m<sup>3</sup> abgetragenes Sediment oder
- 255.00 CHF/t entsorgter Feststoff

### 5.3.6 Kosten für Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze

Kosten für den Umgang mit und Entsorgung von Materialien, die die NORM-Befreiungsgrenze überschreiten, sind weder aus der Submission noch aus der Praxis bekannt.

Entsprechend der Darstellung in Abbildung 11, liegt die höchste Wahrscheinlichkeit, Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze anzutreffen, im Gebiet mit einer durchschnittlichen U-Konzentration über 10 mg/kg (siehe Kap. 4.1.6). Weil diese Bereiche vor allem im steilen Uferbereich auftreten, besteht eine Wahrscheinlichkeit, diese Materialien anzutreffen, vor allem bei den Varianten B und C. Die Variante D sieht grösstenteils die Überschüttung dieser Materialien vor.

Weil viele Faktoren die Radioaktivität des im Endeffekt zu entsorgenden Materials steuern, kann keine Prognose der erwarteten Materialmenge über die NORM-Befreiungsgrenze erstellt werden. **Die Zusatzkosten für diese Materialien gelten daher als Unsicherheit, nicht voraussehbare Kosten.** Diese Unsicherheit ist bei der Varianten B und C am grössten, bzw. in diesen zwei Varianten als gleich gross zu bewerten.

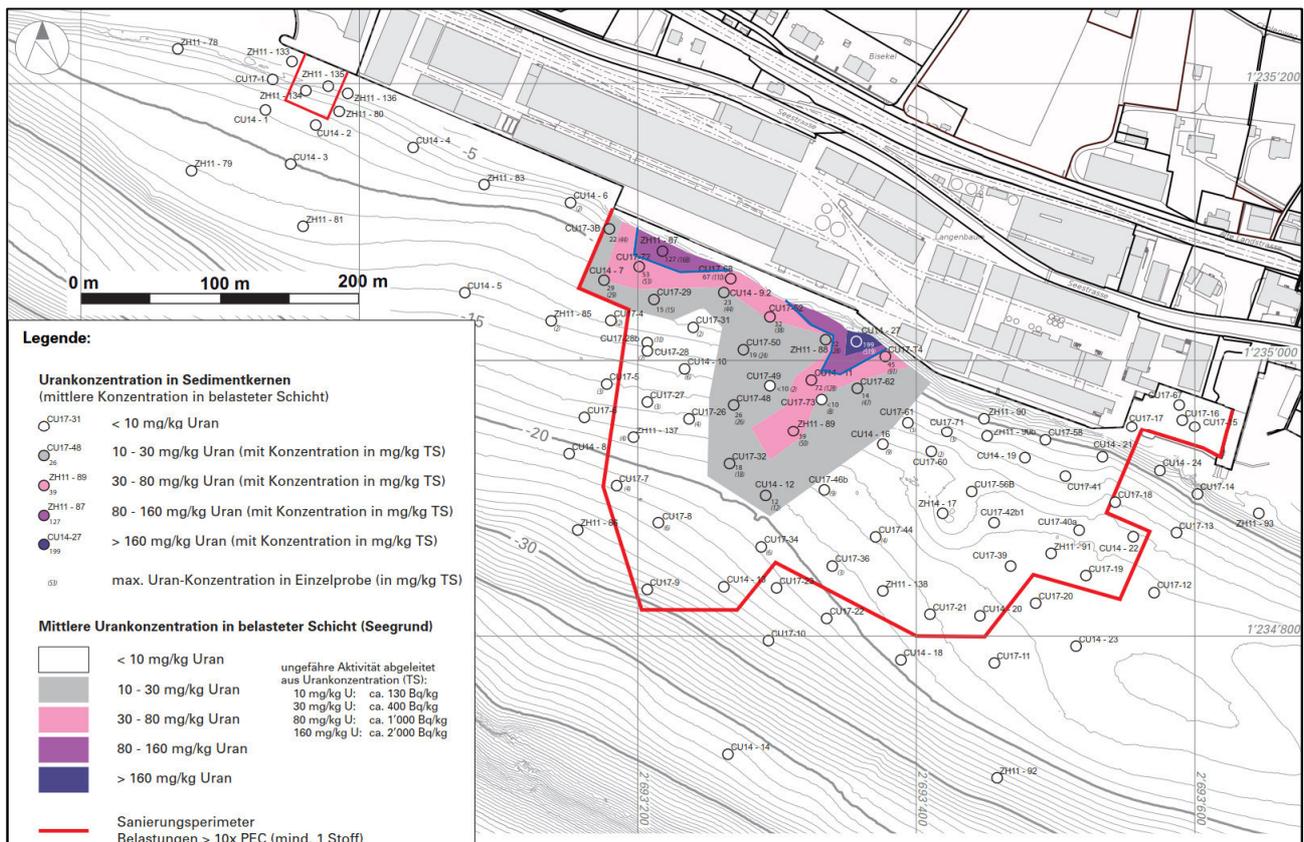


Abbildung 11 Gemessene mittlere Uran-Konzentration in belasteter Schicht

### 5.3.7 Nicht aus der Submission ableitbare Kosten (Pos. 900.)

Es handelt sich um Kosten für die teilweise Sicherung durch Überschüttung, welche sich in Material und Arbeit aufteilen.

Material: Lieferung des Materials (z.B. Kiessand) inkl. Transporte: 45 CHF/m<sup>3</sup>

Arbeit: Grundsätzlich können für die Schüttung die gleichen Gerätschaften wie für den Abtrag angewendet werden. Daher müssen keine wesentlichen zusätzlichen Installationen zugeführt werden. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Verhinderung von Aufwirbelungen am Seegrund zu legen sowie auf eine kontrollierte Schüttung, die keine Rutschungen am Seegrund verursacht.

Die Arbeitskosten werden in einer ersten Annahme als gleich aufwendig wie die Abtragskosten geschätzt, weil auch hier eine präzise Schüttung mit Vermessung, Überwachung und Verstellung der Schüttungsvorrichtung erforderlich ist. Die Kosten werden deshalb zu 35 CHF/m<sup>3</sup> geschüttetes Material geschätzt.

### 5.3.8 Unterhalts-, Betriebs- und Abschlusskosten

Weil die Dekontamination der Varianten B und C den gefährdenden Anteil der Schadstoffe entfernt, entfallen nach deren Realisierung weitere Kosten.

Bei den Überdeckungsvarianten D und E ist eine gewisse Zeit nach deren Realisierung die Stabilität der Überschüttung zu kontrollieren und es sind bei Bedarf Nachschüttungen auszuführen.

Die Kosten der Messkontrolle betragen aus Erfahrung ca. 50'000 CHF pro Kontrolle.

Die Kosten der Nachschüttungen wurden mit 20% der bei der Realisierung berechneten Kosten für die Überschüttung (Material und Transporte, Schüttung aus mobilem Ponton) angenommen.

### 5.3.9 Kosten der Varianten

Die Bau- und Nachsorgekosten der Varianten lassen sich aus der Tabelle 4 ableiten. Dazu kommen Kosten für die Untersuchungen, Planung und Begleitung der Sanierung. Diese Kosten sind gleich für alle Varianten und sind mit rund CHF 3 Mio. CHF aus Erfahrungswerten zu schätzen.

Anmerkungen:

- Die Kostensicherheit ist relativ gut, weil die Preise sich auf Unternehmerofferten stützen.
- Die Kosten der Variante B wurden aus vorsorglichen Gründen gegenüber dem Bestangebot um einen Betrag von CHF 500'000 aufgrund von allfälligen zusätzlichen Sicherungsmassnahmen erhöht.
- Der gleiche Sicherheitszuschlag wurde bei der Variante C angewendet.
- Sicherung und Ertüchtigung der Ufermauer im Umfang von ca. 102'000 CHF ist bei allen vier Varianten notwendig.
- Nicht enthalten sind hier Kosten für Materialien, die über der NORM-Befreiungsgrenze liegen. Diese Unsicherheit liegt im vergleichbar grossen Risiko bei den Varianten B und C. Hingegen ist dieses Kostenrisiko bei den Variante D kaum bzw. schwach auftretend (Abschnitt 5.3.6).

Tabelle 4 Baukosten der Varianten (exkl. MWST)

Pos.	Einheit	Kosten exkl. MWST		
		Variante B	Variante C	Variante D
<b>Kennzahlen</b>				
	<b>m2</b>			
Gesamtabtrag	Fläche m2	77'500	34'700	72'000
	Volumen m3	36'800	24'200	29'500
Abtrag Kernzone	Fläche m2	70'400	27'600	64'900
	Volumen m3	34'600	22'000	27'300
	Durchschnittliche Mächtigkeit Kernzone m	0.49	0.80	0.42
Suspensionsmenge	gesamt m3	250'000	160'000	200'000
Entsorgungsmenge	gesamt t	24'236	15'972	19'470
Überschüttung	Fläche m2			7'200
	Menge m3			18'100
<b>Realisierungskosten</b>				
100. Honorare und Baustelleninstallationen	gl	2'066'000	2'066'000	2'066'000
200. Sicherungen	Ufermauer inkl. Ertüchtigung	102'000	102'000	102'000
	Hangsicherung	500'000	500'000	
300. Abtrag Kernzone	Installationen gl	1'472'000	1'472'000	1'472'000
	> 50 cm à 45.00 CHF/m3		990'000	
	um 50 cm à 35.25 CHF/m3	1'220'000		962'000
400. Abtrag Blockwurfzone inkl. Installationen	gl	507'000	507'000	507'000
500. Abtrag Rotholz und Hafan Langenbaum	gl	160'000	160'000	160'000
600. Behandlung Suspension	Installationen gl	1'481'000	1'481'000	1'481'000
gesamte Suspension	Betrieb à 25.35 CHF/m3	933'000	613'000	748'000
700. Analytik				
gesamter Abtrag	à 32.35 CHF/m3	1'191'000	783'000	954'000
800. Entsorgung Feststoffe				
gesamter Abtrag	à 255.00 CHF/t	6'166'000	4'073'000	4'965'000
900. Überschüttung	Material à 45.00CHF/m3			815'000
	Arbeit à 35.25 CHF/m3			638'000
<b>Total Realisierungskosten</b>		<b>15'798'000</b>	<b>12'747'000</b>	<b>14'870'000</b>
		124%	100%	117%
<b>Unterhalts-, Betriebs- und Abschlusskosten</b>				
- Überwachungskosten	3 Stk. à 50'000 CHF/Stk.			150'000
- Nachschüttung	20% Pos. I.			291'000
<b>Total Sanierungskosten</b>		<b>15'798'000</b>	<b>12'747'000</b>	<b>15'311'000</b>
(exkl. Untersuchung, Planung, Begleitung)		124%	100%	120%

## 5.4 Kennzahlen der Varianten

Die identifizierten Varianten sind:

- A.** Total-Dekontamination (KbS-Perimeter); Keine Variante, sie dient zum Vergleich der Schadstoffentfernung
- B** Teildekontamination im Perimeter  $\geq 10$ PEC:  
 - Blockwurfzone  
 - Kernzone bis 30 m Wassertiefe  
 - Rotholz und Hafen Langenbaum
- C** Teildekontamination im Perimeter  $\geq 10$ PEC:  
 - Blockwurfzone  
 - Kernzone bis 15 m Wassertiefe  
 - Rotholz und Hafen Langenbaum
- D** Teildekontamination im Perimeter  $\geq 10$ PEC:  
 - Blockwurfzone  
 - Kernzone ab 9-10 m bis 30 m Wassertiefe  
 - Rotholz und Hafen Langenbaum  
 Teilsicherung im Perimeter  $\geq 10$ PEC:  
 - Überschüttung / Flachwasserbereich in der Uferzone (Blockwurfzone und Kernzone bis 9-10 m Wassertiefe)

Die untersuchten Varianten lassen sich mit folgende Kennzahlen charakterisieren:

Tabelle 5 Hauptkennzahlen der Varianten

Variante		A	B	C	D
Gesamtfläche Dekontamination	(m <sup>2</sup> )	81'000	77'500	34'700	72'000
Gesamt-Aushubvolumen nass	(m <sup>3</sup> )	37'300	36'800	24'200	29'500
Schadstoff-Entfernung in Pb-Äquivalente	(t)	114	113.4	88.4	79.2
Schadstoff-Entfernung (Pb-Aeq.), Dekontaminationsgrad	%	100%	99%	78%	69%
Sanierungskosten exkl. MWST	Mio CHF	-	15.798	12.747	15.311
Kosten pro t Pb-Aeq.	CHF	-	139'312	144'197	193'321
Kosten pro % Schadstoffentnahme	CHF	-	158'816	164'384	220'386

## 6. Bewertung der Sanierungsvarianten

Nachfolgend werden die verschiedenen Varianten untereinander verglichen und bewertet. Die Bewertung erfolgt in folgenden Schritten:

- Definition der Bewertungskriterien
- Argumentative Beurteilung der Machbarkeit und Wirksamkeit
- Argumentative Beurteilung der Umweltverträglichkeit und des ökologischen Nutzens
- Bewertung der Kosten und Kosten/Nutzen-Analyse

Eine Gesamtbeurteilung erfolgt im Kapitel 7 Schlussfolgerungen.

### 6.1 Bewertungskriterien

#### 6.1.1 Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse stützen sich auf den Katalog wesentlicher Beurteilungskriterien gemäss BAFU, 2014, angepasst für die vorliegende Bewertung.

- **Machbarkeit und Wirksamkeit**
  - **Stand der Technik:** Technische Realisierbarkeit der Massnahmen, Erfahrungen
  - **Erfolgsaussicht während der Realisierung:** Eignung der Massnahmen hinsichtlich der zu erreichenden Sanierungsziele, der gesetzten Fristen während der Realisierung
  - **Langfristige Erfolgsaussicht:** Eignung der Massnahmen hinsichtlich der zu erreichenden Sanierungsziele, der gesetzten Fristen hinsichtlich langfristiger Wirksamkeit (Risiko für erneute Sanierungsbedürftigkeit)
  - **Kontrollierbarkeit:** Möglichkeit zur Kontrolle des Sanierungserfolgs während der Realisierung
  - **Störfall:** Folgen von Störfällen während der Realisierung
  - **Erforderliche Infrastruktur:** Raumbedarf vor Ort und Notwendigkeit von (bleibenden) baulichen Massnahmen
  - **Arbeitssicherheit / Gesundheitsschutz:** Notwendigkeit, Intensität und Art der Massnahmen zum Gesundheitsschutz (Stand der Technik / neue Massnahmen / keine Massnahmen möglich)
  - **Flexibilität Bergung:** Flexibilität der Massnahmen bei Anpassungsbedarf / Mängelbehebung infolge Erschwernissen während der Realisierung bezogen auf die Bergung von Materialien
  - **Flexibilität Behandlung und Entsorgung:** Flexibilität der Massnahmen bei Anpassungsbedarf / Mängelbehebung infolge Erschwernissen während der Realisierung bezogen auf die Behandlung und Entsorgung von Materialien
  - **Risiko aus Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze:** Exposition an Strahlung und Gefährdung der Gesundheit der Belegschaft, Unterbruch der Sanierung, Kostenfolge
  - **Baugrundrisiko:** Massnahmen schliessen Risikominderung mit ein, Art und Auswirkungen von Restrisiken
  - **Akzeptanz / Genehmigungsfähigkeit:** Konfliktpotential mit Betroffenen (Eigentümer, Nutzer, Anstösser), Anforderungen an Genehmigung durch Behörden, Folgen von Terminverzögerungen

- **Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen**
  - **Ressourcenschonung:** Verwertung von Materialien, Schadstoffzerstörung und Schadstoffverlagerung
  - **Ressourcenschonung:** Beanspruchung von Deponievolumen; Export von Materialien
  - **Schadstoffpotential:** Effektivität Schadstoffentnahme, verbleibendes Schadstoffpotential und abzuleitende Gefährdung
  - **Nachsorgedauer, Überwachung:** Bedarf und Dauer
  - **Energieverbrauch:** Relative Bewertung bezüglich Verbrauch für Sanierungsmassnahmen, Transporte, Behandlung und Entsorgung
  - **Emissionen:** Art (Luft, Staub, Lärm), Intensität und Dauer; besonders gefährliche Stoffe.
  
- **Kosten:**
  - **Kostenart:** Realisierungs-, Unterhalts- und Betriebs-, Abschlusskosten (weitere Unterteilungen zur Erklärung des Kostenvergleichs möglich)
  - **Kostenvergleich:** pro Kostenart, Erläuterung der Gründe für unterschiedliche Kosten
  - **Kostenunsicherheiten, Kostenrisiken:** wesentliche durch Kostenschätzung nicht abgedeckte Kosten, weil nicht schätzbar
  - **Relative Kosten:** Baukosten pro erzielte Schadstoffminderung und pro Nutzwertpunkt

### 6.1.2 Benotung der Kriterien

Die einzelnen Kriterien für die Bewertung der Kriteriengruppen „Machbarkeit und Wirksamkeit“ sowie „Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen“ werden mit Noten gemäss folgender Skala benotet:

- Note 1: ungenügend
- Note 2: zufriedenstellend, normal
- Note 3: gut, sehr gut

Die konkreten Argumente für die Benotung werden in der Bewertungstabelle im Anhang A erläutert.

### 6.1.3 Gewichtung der argumentativen Kriterien

Allen Kriterien und den Kostengruppen „Machbarkeit und Wirksamkeit“ und „Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen“ wird eine gleich hohe Gewichtung gegeben.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde den Gruppen jeweils eine doppelte Gewichtung gegeben, um besondere Stärken und Schwächen hervorzuheben.

## 6.2 Argumentative Beurteilung

Die vollständige Bewertung ist in Anhang A enthalten.

Tabelle 6 führt die Gesamtpunktzahl der Gruppenbewertung ohne unterschiedlichen Gewichtung der Kriteriengruppen auf.

Tabelle 6 Totale der argumentativen Bewertung der Kriteriengruppen ohne unterschiedlicher Gewichtung

Bewertung ohne unterschiedliche Gewichtung	Maximale Punkte	Argumentative Benotung der Varianten		
		Variante B	Variante C	Variante D
<b>Total Machbarkeit und Wirksamkeit</b>	30	22	19	22
Stand der Technik Erfolgsaussicht während der Realisierung, Langfristige Erfolgsaussicht Kontrollierbarkeit, Störfall Arbeitssicherheit / Gesundheitsschutz Flexibilität Bergung, Flexibilität Behandlung und Entsorgung Risiko aus Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze Baugrundrisiko Akzeptanz / Genehmigungsfähigkeit				
<b>Total Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen</b>	15	12	10	8
Ressourcenschonung: Verwertung sowie Deponierung/Export Schadstoffpotential: Gewinn/Verbleibendes Nachsorgedauer, Überwachung Energieverbrauch, Emissionen				
<b>Gesamtpunktezahl</b>	<b>45</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>30</b>

## 6.2.1 Bewertung der Machbarkeit und Wirksamkeit

Das Total der Punkte aller Varianten ist in etwa gleich (Tabelle 6). Alle Varianten sind grundsätzlich in der Summe vergleichbar machbar und wirksam.

Bei den besonders wichtigen Kriterien der längerfristigen Wirksamkeit und Akzeptanz ist die Variante B die Beste. Die Variante B weist allerdings höhere Risiken bei Störfällen, bei Antreffen von Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze und beim Baugrundrisiko auf.

## 6.2.2 Bewertung der Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen

Das Total der Punkte ist unterschiedlich (Tabelle 6). Bei dieser Kriteriengruppe liegt die Variante B deutlich vor allen anderen Varianten. Die Variante D schneidet am schlechtesten ab.

Die besonderen Stärken der Variante B sind:

- Anteil an entnommenen Schadstoffen (grösster Dekontaminationsgrad)
- Keine Nachsorge und Überwachung nach Abschluss der Realisierung

## 6.2.3 Sensitivitätsanalyse

Tabelle 6 führt die Gesamtpunktezahl der Gruppenbewertung mit unterschiedlicher Gewichtung der Kriteriengruppen im Sinne einer Sensitivitätsanalyse auf.

Auch bei dieser Art von Bewertung weist die Variante B die höchste Punktezahl auf.

Tabelle 7 Totale der argumentativen Bewertung der Kriteriengruppen mit unterschiedlicher Gewichtung

Bewertung mit unterschiedlicher Gewichtung	Maximale Punkte	Summe der Punkte		
		Variante B	Variante C	Variante D
Gesamtpunktezahl bei Machbarkeit und Wirksamkeit: 2-fach Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen: 1-fach	75	56	48	52
Gesamtpunktezahl bei Machbarkeit und Wirksamkeit: 1-fach Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen: 2-fach	60	46	39	38

#### 6.2.4 Gesamtbetrachtung der argumentativen Bewertung

Ohne oder mit unterschiedlicher Gewichtung der Kriteriengruppen erreicht die Variante B die deutlich höchste Punktzahl. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet eine weitere Sensitivitätsanalyse mit einer unterschiedlichen Gewichtung der einzelnen Kriterien vorzunehmen.

Die Variante D ist die zweitbeste und die Variante C ist nur im Falle einer doppelten Gewichtung der Umweltverträglichkeit und ökologischem Nutzen ebenfalls die Zweitbeste, Punktgleich mit der Variante D.

Die besonderen Stärken und Schwächen der Varianten sind:

Variante	Bes. Stärke	Bes. Schwäche
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ längerfristige Wirksamkeit</li> <li>+ Akzeptanz</li> <li>+ Hoher Dekontaminationsgrad</li> <li>+ Keine Nachsorge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risiken Antreffen von Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze</li> <li>- Baugrundrisiko (Uferstabilität)</li> <li>- Risiken bei Störfällen</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Dekontamination gezielt beim hohen Freisetzungspotential</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risiken Antreffen von Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze</li> <li>- Baugrundrisiko (Uferstabilität)</li> <li>- Risiken bei Störfällen</li> <li>- Verbleibende gefährdende Kontamination ungeschützt in &gt; 15 m Wassertiefe</li> <li>- Akzeptanz / Bewilligungsfähigkeit ist zu prüfen</li> <li>- Nachsorge</li> </ul>
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Minimale Risiken bei Antreffen von Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze</li> <li>+ Minimierung Baugrundrisiko</li> <li>+ Minimale Risiken bei Störfällen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niedriger Dekontaminationsgrad</li> <li>- Akzeptanz / Bewilligungsfähigkeit ist zu prüfen</li> <li>- Nachsorge</li> </ul>

### 6.3 Bewertung der Kosten und Nutzwertanalyse

#### 6.3.1 Absolute Kosten

Tabelle 8 Art ,Umfang und Vergleich der Kosten

		Kosten exkl. MWST		
		Variante B	Variante C	Variante D
Realisierungskosten	Fixe Positionen	6'288'000	6'288'000	5'788'000
	Ausmass-abhängige Positionen	9'510'000	6'459'000	9'082'000
Unterhalts-, Betriebs- und Abschlusskosten		0	0	441'000
<b>Total Sanierungskosten</b>		<b>15'798'000</b>	<b>12'747'000</b>	<b>15'311'000</b>
(exkl. Untersuchung, Planung, Begleitung)		100%	81%	97%

Die Rangordnung aus dem Kostenvergleich ist sehr klar: die Variante C ist die günstigste, während Variante D ca. 2.6 Mio. CHF und Varianten B und E ca. 3.1 Mio. CHF teurer sind.

Der Anteil der Ausmass-abhängigen Positionen schwankt zwischen 50 % (Variante C) und 60 % (Varianten B und D).

Bei den Variante D betragen die Kosten für die Schüttung ca. 11% der Gesamtkosten (Tabelle 4).

Bei der Variante D betragen die Kosten für die Nachsorge ca. 3% der Gesamtkosten.

#### 6.3.2 Kosten / Nutzen

Tabelle 9 Kosteneffizienz (Einheitskosten für die Schadstoffentnahme)

			Kosten exkl. MWST		
			Variante B	Variante C	Variante D
Pb-Äquivalente		t entsorgt	113.4	88.4	79.2
		t verbleibend	0.6	25.6	34.8
		% Entnahme	99%	78%	69%
CHF / Tonne Pb-Äquivalent			139'312	144'197	193'321
<b>CHF / % Schadstoffabnahme</b>			<b>158'816</b>	<b>164'384</b>	<b>220'386</b>
			100%	104%	139%

Die höchste Effizienz, d.h. die niedrigsten Einheitskosten pro Tonne oder % entnommenen Schadstoff weist die Variante B auf. Der Unterschied zur Variante C ist verhältnismässig klein. Deutlich weniger effizient ist die Variante D, weil hier weniger Schadstoffe entnommen werden.

Tabelle 10 Einheitskosten pro Punkt Argumentative Bewertung

			Kosten exkl. MWST		
			Variante B	Variante C	Variante D
Summe der Punkte			34	28	30
(Machbarkeit und Wirksamkeit = Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen)					
<b>CHF / Punkt</b>			<b>465'000</b>	<b>455'000</b>	<b>510'000</b>
			100%	98%	110%

Den höchsten Nutzen, d.h. die niedrigsten Einheitskosten pro Punkt der argumentativen Bewertung erzielt die Variante C, gefolgt mit einem kleinen Unterschied von der Variante B. Variante D hat deutlich höhere Einheitskosten pro Punkt der argumentativen Bewertung..

## 7. Schlussfolgerungen

### 7.1 Gesamtbeurteilung

Tabelle 11 fasst die Variantenbewertung in deren wesentlichen Komponenten zusammen.

Tabelle 11 Zusammenfassung der Variantenbewertung

	Variante B	Variante C	Variante D
Charakteristik	Vorprojekt Submission	Teildekontamination bis 15 m Wassertiefe	Sicherung / Uferschüttung
<b>Sanierungs-Kosten</b>	15.8 Mio. CHF 100 %	12.7 Mio. CHF 81 %	15.3 Mio. CHF 97 %
<b>Dekontaminierungsgrad</b> (bezogen auf KbS)	113.4 t Pb-Äq. 99 %	88.4 t Pb-Äq. 78 %	72.9 t Pb-Äq. 69 %
<b>Argumentative Bewertung</b> (nach BAFU, 2014)			
- Längerfristige Wirksamkeit	++	-	+
- Risiko Aushub Material >Norm-Befreiungsgrenze	--	--	+
- Akzeptanz (Abweichung vom Sanierungsziel)	++	+/-	+/-
- Nachsorgerisiko	++	-	-
- Machbarkeit / Wirksamkeit 10 Subkriterien (max. 30 Punkte)	22	18	22
- Umweltverträglichkeit / ökologischer Nutzen 5 Subkriterien (max. 15 Punkte)	12	10	8
<b>Kosten/Nutzen-Verhältnis</b>	++	+	-

#### 7.1.1 Variante D

Bei der Variante D werden Ausführungsrisiken (Hangstabilität, Materialien über NORM-Befreiungsgrenze) minimiert. Die Variante D hat vermutlich eine deutlich schlechtere Akzeptanz (Bewilligungsfähigkeit) auch hinsichtlich Gewässerschutz (Aufschüttungen im See) als die Variante B.

Die Variante D weist weder eine deutlich bessere argumentative Beurteilung noch einen besonderen Kostenvorteil gegenüber der Variante B (ca. 0.5 Mio. CHF günstiger bzw. -3%) vor. Insbesondere das Kosten/Nutzen-Verhältnis (Kap. 6.3.2) ist als deutlich schlechter als das der Variante B zu beurteilen.

Es wird empfohlen die Variante D nicht weiter zu verfolgen.

#### 7.1.2 Variante C

Argumentativ schneidet die Variante C am schlechtesten ab. Sie weist ähnliche Schwächen wie die Variante B, aber keine besondere Stärke auf. Aufgrund der verbleibenden Schadstoffe im Seegrund in grosser Tiefe ist mit einer tieferen Akzeptanz (Bewilligungsfähigkeit) bedarf einer Anpassung des Sanierungsziels) zu rechnen. Die Risiken sind mit derjenigen der Variante B vergleichbar.

Die Variante C weist zwar relevante günstigere Kosten (ca. 3 Mio. CHF, d.h. -19%), jedoch keine deutlich bessere Kosteneffizienz bzw. besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis als die Variante B auf.

Es wird empfohlen die Variante C nicht weiter zu verfolgen.

### 7.1.3 Varianten B

Bei der argumentativen Beurteilung schneidet die Variante B am besten ab. Die besonderen Stärken der Variante B sind:

- längerfristige Wirksamkeit
- Akzeptanz
- Anteil an entnommenen Schadstoffen (Dekontaminationsgrad)
- Keine Nachsorge und Überwachung nach Abschluss der Realisierung

Die Variante B weist zwar die höchsten Kosten, jedoch die bessere Kosteneffizienz auf.

Die Variante B weist allerdings hohe Risiken bei Störfällen, bei Antreffen von Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze und beim Baugrundrisiko auf. Die Risiken aus Hangstabilität (in der Herleitung der Varianten wurden für Baugrundrisiken CHF 500'000 bereits vorsorglich abgebucht), aus Störstoffen in der Bergung und aus der Entsorgung von Materialien innerhalb der NORM-Befreiungsgrenze sind aufgrund der Art der durchgeführten Submission als Unternehmerrisiken zu definieren. Sie sollten keine Kostenzunahme für die Bauherrschaft verursachen. Daher verursachen diese Risiken keine besonderen Nachteile gegenüber den übrigen Varianten.

Die Risiken aus Materialien oberhalb der NORM-Befreiungsgrenze lassen sich nicht im Voraus quantitativ erfassen (Kap. 5.3.6 und 7.2.3). Diese Risiken liegen jedoch bei allen Varianten vor (in etwas gemindertem Ausmass bei der Variante D), und verursachen daher keine besonderen Nachteile.

**Unter Berücksichtigung aller Aspekte favorisiert das Expertenteam die Variante B und empfiehlt, diese Variante weiter zu verfolgen. Variante B wird daher im nachfolgenden Kapitel als optimale Sanierungsvariante beschrieben.**

## 7.2 Optimale Sanierungsvariante (Variante B)

### 7.2.1 Kurzbeschreibung der zu favorisierenden Variante

Es ist eine Dekontamination durch Bergung der belasteten Seesedimente innerhalb des Perimeters des 10-fachen PEC Werts – horizontal und vertikal – auszuführen. Der Perimeter der Dekontamination ist in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt. Damit werden gefährdende Schadstoffe in der Menge von 113.4 Tonnen Blei-Äquivalent, bzw. ca. 99.3% der gesamthaft vorhandenen Schadstoffe entnommen.

Diese Variante entspricht den vom AWEL ausgeschriebenen Totalunternehmer-Leistungen. Für technische Einzelheiten der auf Stufe eines Vorprojektes erarbeiteten Sanierung verweisen wir auf die Ausschreibungsunterlagen und die eingegangenen Angebote. Die wesentlichen technischen Inhalte sind hier im Kap. 4 zusammengefasst.

Die Bergung erfolgt durch Absaugen des Seesediments in einem auf den Seegrund abgesenkten Sanierungskasten. Damit werden die Auswirkungen auf die Seewasserqualität minimiert. Das Bergungsmaterial - bestehend aus einem Gemisch von Seewasser und gesättigtem Seesediment - wird über eine Pumpleitung an Land transportiert. Hier erfolgen die Trennung der Feststoffe vom Wasser und das Behandeln der Phasen in dafür speziell konzipierten Einrichtungen.

Ziel der Behandlung der Phasen ist es eine Wiedereinleitung des Wassers in den See zu ermöglichen und durch Immobilisierung der Schwermetalle eine Deponierung der Feststoffe in eine inländische Deponie des Typs E und C zu erlauben. Ein kleiner Anteil von Materialien (Grobkorn) kann nach einer zusätzlichen

externen Bodenwäsche eventuell wiederverwendet werden. Bei erhöhtem Gehalt an organischen Schadstoffen besteht die Möglichkeit, diese in einer ausländischen Sonderverbrennungsanlage zu entsorgen.

Der Umgang mit Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze, die eine gesonderte Behandlung benötigen (>1'000 nSv/h in 10 cm Abstand), wird von der Behörde von Fall zu Fall festgelegt.

Alle Arbeitsschritte werden visuell, messtechnisch und analytisch überwacht (Wasserqualität, Abfallqualität, Radioaktivität, Bodenverschiebungen, Prozesssteuerung).

#### 7.2.2 Auswirkungen, Wirksamkeit und verbleibende Umweltgefährdung

Die Ausführung der Sanierung entspricht dem Stand der Technik und die Prozesse sind so konzipiert, dass auch im Störfall keine oder tragbare Auswirkungen auf die Umwelt entstehen. Im Rahmen der Detailprojektierung und der Baubewilligung werden die dafür notwendigen umweltrechtlichen Massnahmen definiert (siehe dazu auch Umweltgutachten im Rahmen der Submission). Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich um eine relativ kurzfristige Baustelle handelt, welche keine permanenten Installationen oder Anlagen vorsieht.

Die langfristige Wirksamkeit der Sanierung ist durch die Entnahme von ca. 99% der gefährdenden Schadstoffe gegeben. Aus diesem Grund resultiert praktisch keine Umweltgefährdung mehr vom Standort nach der Sanierung.

#### 7.2.3 Umgang mit besonderen Restrisiken

##### Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze

Das Vorgehen und die Konsequenzen aus diesem Risiko sind planmässig und in den Anlagen vor Ort festzulegen. Auflagen und Überwachungskonzept müssen die Möglichkeiten enthalten, ergänzende Massnahmen auszuführen, um diese Auswirkungen aus diesem Restrisiko zu mindern (Minderung der Materialmenge mit unerwünschten radioaktiven Eigenschaften und deren sofortige Separierung). Weiterhin sind vor Ort Versuche oder ein besonders vorsichtiges Vorgehen zu Beginn der Sanierung in dem Bereich, in welchem dieses Risiko auftreten kann (Abbildung 11) vorzusehen.

Obwohl die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieses Risikos als gering angesehen wird, sind diese Risiken momentan finanziell nicht bezifferbar. Die finanziellen Folgen dieses Risikos trägt die Bauherrschaft.

##### Verminderung der Hangstabilität durch Aushub

Hier gilt es die geotechnischen Nachweise und die Dimensionierung der vorgeschlagenen Massnahmen im Rahmen des Ausführungsprojektes konkret zu vertiefen.

Auflagen und Überwachungskonzept müssen die Möglichkeiten enthalten, ergänzende Massnahmen auszuführen und im Notfall eine Überschüttung anstatt eines Aushubs in gewissen Bereichen zu erlauben. Ausserdem sind vor Ort Versuche oder ein besonders vorsichtiges Vorgehen zu Beginn der Sanierung vorzusehen (Sanierung dieser Bereiche ist vorzuziehen).

Die finanziellen Folgen dieses Risikos sind dem Unternehmer im Rahmen der Submission zugeschrieben worden.

##### Fehlende Immobilisierung der Schwermetalle in den Filterkuchen

Misserfolge in der Immobilisierung stellen die Wirksamkeit und den ökologischen Nutzen der Ausführungen in Frage. Aus diesen Gründen ist in der Detailprojektierung noch zu bestätigen, dass die Immobilisierung vor Ort erfolgreich ist. Dies kann z.B. mit einem Pilotversuch in möglichst ausführungsgetreuem Massstab erbracht werden.

Die finanziellen Folgen dieses Risikos sind dem Unternehmer im Rahmen der Submission zugeschrieben worden.

#### 7.2.4 Bewilligungsfähigkeit der zu favorisierenden Variante

Es ist zu erwarten, dass die im Rahmen der Submission als Vorprojekt ausgearbeitete Sanierungsvariante sowohl altlasten- als auch gewässerschutzrechtlich mit Auflagen bewilligungsfähig ist. Das eingereichte und nach Auswertung der Eingabe favorisierte Vorprojekt wird mit Auflagen im Rahmen der Sanierungsverfügung ergänzt. Vorbehältlich der Stellungnahme der Behörde werden diese Auflagen vermutlich u.a. die Überwachungsprozesse und den Umgang mit Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze besser definieren.

#### 7.2.5 Prüfung einer Abweichung der Sanierungsziele

Eine Prüfung der Abweichung des Sanierungsziels ist mit der favorisierten Variante nicht mehr notwendig, da die Dekontamination den gesamten gefährdeten Bereich betrifft.

#### 7.2.6 Mögliche Abweichungen, falls die Sanierungsziele nicht erreicht werden können

Als einzig mögliches Szenario einer Nicht-Erreichung des Sanierungsziels (Dekontamination des 10-fachen PEC-Perimeter) ist die starke Verhinderung der Bergung der Seesedimente z.B. aufgrund von Hanginstabilitäten oder massivem Auftreten von Störstoffen. Dies trifft zu, wenn die vom Unternehmer vorgesehenen und verbesserten Massnahmen nicht ausreichen, um die Bergung auf die gewünschte Tiefe und Fläche auszuführen.

Aus Erfahrungen kann dies kein flächendeckendes Problem darstellen (konkrete Erfahrungen für Materialbergungen aus dem Seegrund liegen vor). Demzufolge kann als mögliche Abweichung eine Reduzierung des Dekontaminationsperimeters (horizontal- und vertikal) in Betracht gezogen werden. Um die Umweltgefährdung zu minimieren, könnte eine Überschüttung (Teil-) der verbleibenden Bereiche (analog der Variante D) vorgenommen werden.

**CSD INGENIEURE AG**

**Dr. von Moos AG**

Kriens/Zürich, den 6. Januar 2020

**ANDERE BETEILIGTE MITARBEITENDE**

O:\[REDACTED]\ZS02087.200\03 Bearbeitung\Bericht Variantenstudie AG8.docx

Aus Umweltschutzgründen druckt CSD seine Dokumente auf 100 % Recyclingpapier (ISO 14001).

**ANHANG A**

**ARGUMENTATIVE BEURTEILUNG DER KRITERIEN  
WIRKSAMKEIT UND MACHBARKEIT SOWIE  
UMWELTVERTRÄGLICHKEIT UND ÖKOLOGISCHER  
NUTZEN**

## Machbarkeit und Wirksamkeit

Kriterien	Erläuterungen	Gewichtung	Punkte	Bewertungsargumente	Argumentative Benotung der Varianten			Bemerkungen
					Variante B	Variante C	Variante D	
Stand der Technik	Technische Realisierbarkeit der Massnahmen, Erfahrungen	1	3	Es liegen Referenzen der gleichen Bergungsmethoden in vergleichbarem Tiefenbereich und von gleichen Behandlungsmethoden vor.				
			2	Es liegen Referenzen entweder der gleichen Bergungsmethoden oder der gleichen Behandlungsmethoden vor. Bei einzelnen Verfahren Weiterentwicklung notwendig. Verifizierung Effektivität einzelner Verfahren notwendig.	2	2	2	Verifizierung Bergung vor Ort. Verifizierung Erfolg Immobilisierung. Behandlungsmethode ist gesichert.
			1	Es liegen keine Referenzen vor. Neue Verfahren, Pilotprojekte, Entwicklung notwendig.				
Erfolgsaussichten	Eignung der Massnahmen hinsichtlich der zu erreichenden Sanierungsziele, der gesetzten Fristen während der Realisierung	1	3	Erfolg gesichert.	3	3		Längerfristige Wirkung durch Schadstoffentnahme gesichert.
			2	Erfolgsaussichten vorhanden.			2	Erfolgsaussichten der Schüttungen für die verbleibende Belastung sind zu prüfen.
			1	Erfolg unsicher.				
Erfolgsaussichten	Langfristige Wirksamkeit/Zielerreichung (Risiko für erneute Sanierungsbedürftigkeit)	1	3	Es liegen keine gefährdende Schadstoffmengen mehr vor.	3			Gesamter Bereich >10xPEC-Perimeter ist saniert.
			2	Es verbleiben Schadstoffmengen; sie sind nicht freisetzbar.			2	Verbleibende Bereiche >10xPEC sind ausreichend überdeckt.
			1	Es verbleiben gefährdende Schadstoffmengen, die migrieren können.		1		Verbleibende Bereiche >10xPEC liegen in über 15 m Tiefe.
Kontrollierbarkeit	Möglichkeit zur Kontrolle des Sanierungserfolgs während der Realisierung			Nicht bewertet, da Sohlenbeprobung von Bauherr nicht gefordert. Sanierungserfolg wird über Schadstoffbilanz nachgewiesen (Materialmengen / Schadstofffracht). Damit ist die Kontrollierbarkeit gegeben.				
Störfall	Folgen von Versagen technischer Elemente der Bergung: Versagen Gesamtstabilität Hang Versagen Stabilität Ufermauer Versagen der geschlossenen Systeme der Bergung	1	3	Schadstofffreisetzung durch Massnahmen im Projekt weitgehend minimiert.			3	Keine Stabilitätsgefährdung: Bergungs- und Schüttungssysteme sind geschlossen und sicher.
			2	Schadstofffreisetzung in offenem Gewässer möglich, Schadensbegrenzung möglich.	2	2		Versagen bei Stabilitätsminderung, jedoch im kleinen Bereich; Massnahmen vorgesehen.
			1	Unkontrollierte Schadstofffreisetzung in offenem Gewässer möglich.				Kein Versagen der geschlossenen Systeme möglich.
Erforderliche Infrastruktur	Raumbedarf vor Ort und Notwendigkeit von (verbleibenden) baulichen Massnahmen			Nicht bewertet, da mit vorhandenem Platzbedarf realisierbar (Aufbereitung on-site) und keine bleibenden baulichen Massnahmen.				
Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz	Notwendigkeit, Intensität und Art der Massnahmen zum Gesundheitsschutz: Gesundheitsgefährdung Bergung (Gesundheitsgefährdung Behandlung durch Standardmassnahmen Arbeitsschutz abgedeckt)	1	3	Kein / nur sporadischer Tauchereinsatz.				
			2	Tauchereinsatz bis 10 m Tiefe.	2	2	2	Kein wesentlicher Unterschied zwischen den Varianten.
			1	Regelmässiger Tauchereinsatz über 10 m Tiefe.				
Flexibilität der Methoden	Bergung Fremdkörper, Abtragungstiefe nicht erreichbar, Anpassung Perimeter	1	3	System ermöglicht allen Erschwernissen entgegenzutreten und erlaubt Anpassungen.		3		Alle Bergungen in weniger als 15 m Tiefe
			2	Anpassungen beschränkt möglich (z.B. Tiefeneinschränkungen).	2		2	Gilt für Bergungen in mehr als 15 m Tiefe.
			1	Anpassungen nicht möglich.				
Flexibilität der Methoden	Behandlung Wasser/Sediment-Gemisch und Entsorgung	1	3	Vor Ort Behandlung von Wasser und Sediment kann auf Veränderungen des breiten Schadstoffmix reagieren und erlaubt eine direkte Deponierung.				
			2	Externe Behandlung und Deponierung im Ausland möglich.	2	2	2	Es ist damit zu rechnen, dass ein Teil der Abfälle in einer SAVA behandelt werden muss.
			1	Nachbehandlung Feststoffe extern immer notwendig; Einleitung in ARA notwendig; Nachbehandlung und Deponierung im Ausland.				
Risiko aus Materialien über der NORM-Befreiungsgrenze	Relative Bewertung bezüglich Exposition an Strahlung und Gefährdung der Gesundheit der Belegschaft, Unterbruch der Sanierung, Kostenfolge	1	3	Klein			3	Solche Materialien werden nicht oder nur zu einem kleinen Teil ausgehoben.
			2	Mittel				
			1	Gross	1	1		Solche Materialien werden alle ausgehoben.

Kriterien	Erläuterungen	Gewichtung	Punkte	Bewertungsargumente	Argumentative Benotung der Varianten			Bemerkungen
					Variante B	Variante C	Variante D	
Baugrundrisiko	Massnahmen schliessen Risikominderung mit ein, Art und Auswirkungen von Restrisiken	1	3	Risiken abgedeckt.			3	Variante dient dem Vermeiden des Baugrundrisikos.
			2	Restrisiko (akzeptierbares Risiko) vorhanden.	2	2		Es sind stabilitätswirkende Massnahmen während der Bergung vorgesehen.
			1	Risiken vorhanden, Massnahmen nicht möglich.				
Akzeptanz	Konfliktpotential mit Betroffenen (Eigentümer, Nutzer, Anstösser), Anforderungen an Genehmigung durch Behörden. Terminrisiko aufgrund Einsprache nicht bewertet.	1	3	Alle Bewilligung inkl. Exportbewilligung erfüllt, keine relevanten neuen Auflagen.	3			Ggf. nur Auflagen betr. Überwachung
			2	Bewilligung mit neuen relevanten Auflagen möglich.				Auflagen für die Überschüttung, Erstellung einer Flachwasserzone.
			1	Bewilligungsfähigkeit fraglich.		1	1	Verbleibende exponierte Schadstoffe (Änderung Saneierungsziel), Akzeptanz Schüttung mit
<b>Total der gewichteten Punkte:</b>		<b>10</b>	<b>30</b>		<b>22</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>(max. mögliche Punktzahl: 30)</b>

### Umweltverträglichkeit und ökologischer Nutzen

Gruppen und Kriterien	Erläuterungen	Gewichtung	Punkte	Bewertungsargumente	Argumentative Benotung der Varianten			Bemerkungen	
					Variante B	Variante C	Variante D		
Ressourcenplanung	Verwertung von Materialien, Schadstoffzerstörung und Schadstoffverlagerung	1	3	Zumindest teilweise Wiederverwerten von Feststoff möglich.	3	3	3		
			2	100% Schadstoffverlagerung in Deponie.					
			1	Beanspruchung von kommunaler Kläranlage.					
Ressourcenplanung	Entsorgung	1	3	Behandlung und Deponierung nach vor Ort Behandlung ist nicht notwendig.					
			2	Inländische externe Behandlung und Deponiekapazitäten sind sichergestellt.					
			1	Behandlungs- und Deponiekapazitäten im Ausland sind notwendig.	1	1	1	Es ist damit zu rechnen, dass ein Teil der Abfälle in einer SAVA behandelt werden muss.	
Schadstoffpotential	Effektivität Schadstoffentnahme, verbleibendes Schadstoffpotential und abgeleitete Gefährdung	1	3	Entnommene Schadstoffe > 95% Schadstoff-Potential.	3			99%-Schadstoffentnahme	
			2	Entnommene Schadstoffe 75 - 95% Schadstoff-Potential.		2		78%-Schadstoffentnahme	
			1	Entnommene Schadstoffe < 75% Schadstoff-Potential.			1	69%-Schadstoffentnahme	
Nachsorgedauer und Überwachung	Bedarf und Dauer	1	3	Keine Nachsorge / Nachkontrolle	3			Vollständige Schadstoffentfernung.	
			2	Nachsorge / Nachkontrolle für beschränkte Zeit			2	Vermessungskontrolle Schüttung, evtl. Nachschüttungen erforderlich.	
			1	Zeitraumen Nachsorge / Nachkontrolle unbekannt		1		Es verbleiben Schadstoffe in über 15 m Tiefe. Längerfristiges Verhalten unbekannt	
Energieverbrauch	Relative Bewertung bezüglich Verbrauch für Sanierungsmassnahmen, Transporte, Behandlung und Entsorgung	1	3	Klein		3		Teilweise Schadstoffentfernung.	
			2	Mittel	2			Vollständige Schadstoffentfernung.	
			1	Gross			1	Schadstoffentfernung und Schüttungen.	
Emissionen	Art (Luft, Staub, Lärm), Intensität und Dauer; besonders gefährliche Stoffe			Luft, Lärm, Staub, Geruch nicht bewertet, da alle Varianten umweltverträglich bzw. mit vergleichbaren Emissionen bzw. mit Massnahmen einhaltbar. Keine besonders gefährlichen Stoffe (z.B. Organika)					
<b>Total der gewichteten Punkte:</b>		<b>5</b>	<b>15</b>		<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>(max. mögliche Punktzahl: 15)</b>	

<b>Total der gewichteten Punkte beider Kriteriengruppen</b>	<b>(es wurden alle Kriterien gleich gewichtet)</b>				<b>34</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>(max. mögliche Punktzahl: 45)</b>
---	--	--	--	--	-----------	-----------	-----------	--------------------------------------

76%      64%      67%