

Modul «Bauabfälle»

Schlämme aus der Bauwirtschaft

Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)

Entwurf | DATUM

Hinweis: Dieser Entwurf hat keine Rechtsgültigkeit. Er dient der designierten Begleitgruppe als Diskussionspapier.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Rechtlicher Stellenwert

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

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Autorin

Clara-Marine Pellet (BAFU)

Begleitung

Arnaud de Luca (cemsuisse), Mathieu Antoni (cemsuisse), Adrian Dinkelmann (Infra Suisse), Urs Frei (VBSA), Fabio Gandolfi (CD-SüdCH), Chasper Gmünde (CD-OstCH), Yann Huet (ARV), Michael Lutz (CD-ZentralCH), Marc Piciono (CD-WestCH), Dominic Utinger (CD-NordwestCH), Volker Wetzig (FSKB), Satenig Chadoian (BAFU, Rechtsdienst)

Zitierung

Pellet Clara-Marine 201Jahr: Schlämme aus der Bauwirtschaft. Teil des Moduls «Bauabfälle» der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA). Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Vollzug Nr.: 27 S.

Übersetzung

Sprachdienst des BAFU.

Layout

.....

Titelbild

.....

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/.....-d

(Eine gedruckte Fassung liegt nicht vor.)

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

© BAFU 202Jahr

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
1 Einführung.....	4
2 Rechtliche Grundlagen und Geltungsbereich	5
2.1 Rechtliche Grundlagen	5
2.2 Geltungsbereich des Moduls	5
2.3 Definitionen	6
3 Allgemeines	8
3.1 Physikalische Eigenschaften der Schlämme	8
3.2 Schadstoffermittlung vor Baubeginn	8
3.3 Massnahmen zur Beschränkung der Schadstoffe	9
3.4 Verwertung der Bauschlämme	9
3.5 Ablagerung auf Deponien	10
3.6 Häufigkeit der Analysen	10
4 Aufbereitung und Entsorgungswege im Einzelfall.....	12
4.1 Bohrschlämme	12
4.1.1 Schadstoffe.....	12
4.1.2 Verwertung und Entsorgung	12
4.2 Betonschlämme	13
4.2.1 Schadstoffe.....	13
4.2.2 Verwertung und Entsorgung	13
4.3 Ausbruch- und Drainageschlämme aus Tunnels.....	14
4.3.1 Schadstoffe und Entsorgungswege.....	14
4.4 Waschschlämme von unverschmutztem Aushubmaterial	15
4.4.1 Schadstoffe.....	16
4.4.2 Verwertung und Entsorgung	16
4.5 Schlammrückstände aus mobiler Aufbereitung auf der Baustelle ..	16
4.5.1 Schadstoffe.....	16
4.5.2 Verwertung und Entsorgung	17
4.6 Sedimentschlämme	17
4.6.1 Schadstoffe.....	17
4.6.2 Verwertung und Entsorgung	17
4.7 Schlämme aus ausserordentlichen Naturereignissen	20
4.8 Waschschlämme von mineralischen Rückbaumaterialien.....	20
4.9 Zusammenfassung	20
5 Literaturverzeichnis	22

1 Einführung

Dieser Teil des Moduls «Bauabfälle» beschreibt die Anforderungen für die ökologisch sinnvolle Entsorgung von Schlämmen aus der Bauwirtschaft. Die Entsorgung dieses Materials ist besonders herausfordernd, da seine physikalischen Eigenschaften und seine chemischen Belastungen extrem vielfältig sind.

Bis anhin werden Schlämme aus der Bauwirtschaft oft ohne Aufbereitung oder Analysen in Deponien des Typs A oder B abgelagert, obwohl Artikel 25 Absatz 3 der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) die Ablagerung flüssiger Abfälle verbietet. Dies kann ökologische und strukturelle Auswirkungen auf die betroffenen Deponien haben.

Nicht nur bestehen Problematiken im Zusammenhang mit den physikalischen Komponenten der Schlämme (Fluidität, Wasser-, Tongehalt usw.), sondern es fehlt auch eine Sensibilisierung der betroffenen Akteurinnen und Akteure für die Tatsache, dass scheinbar unverschmutzte Schlämme in Wirklichkeit stark verschmutzt sein können. Oft sind Schlämme aus der Bauwirtschaft nämlich das Resultat eines mechanischen Prozesses (Bohrung, Aushub- und Ausbrucharbeiten usw.), bei dem die spezifische Oberfläche der Körner stark vergrößert wird. Dadurch wird die Reaktivität und die Adsorption von Schadstoffen im Vergleich zum Ausgangsmaterial stark erhöht. Kleinere Verschmutzungen, zum Beispiel durch Kohlenwasserstoffe, Zusatzstoffe oder vorhandene geogene Schadstoffe, können so in der Feinfraktion konzentriert sein. Schlämme aus Materialien, die gemäss der VVEA ursprünglich als unverschmutzt gelten, können somit einen höheren Verschmutzungsgrad aufweisen.

Die Zusammensetzung der Schlämme aus der Bauwirtschaft variiert stark je nach Art der ausgeführten Arbeiten. Deshalb ist das Ziel des vorliegenden Dokuments die Festlegung der Entsorgungswege für die verschiedenen Schlämme, die bei diesen Prozessen anfallen.

2 Rechtliche Grundlagen und Geltungsbereich

2.1 Rechtliche Grundlagen

Das Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, SR 814.01), das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG, SR 814.20) und die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600) umfassen die grundsätzlichen Vorschriften für einen umweltverträglichen Umgang mit Bauabfällen.

Die VVEA enthält technische und organisatorische Vorschriften zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Abfällen. Sie hat zum Ziel, die Umwelt vor schädlichen und lästigen Einwirkungen durch Abfälle zu schützen. Zudem ist die nachhaltige Nutzung von natürlichen Rohstoffen durch die umweltverträgliche Verwertung von Abfällen zu fördern.

Die Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA, SR 614.610) regelt insbesondere den Verkehr mit Sonderabfällen und anderen kontrollpflichtigen Abfällen in der Schweiz sowie den grenzüberschreitenden Verkehr mit Abfällen. Im vorliegenden Kontext gelten folgende Produkte als Sonderabfälle (Codes gemäss Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen, LVA, SR 814.610.1): ölhaltige Bohrschlämme und -abfälle (01 05 05); Bohrschlämme und andere Bohrabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten (01 05 06); Schlämme aus der Sanierung von Böden oder von Aushub, die gefährliche Stoffe enthalten (19 13 03); Schlämme aus der Sanierung von Grundwasser, die gefährliche Stoffe enthalten (19 13 05). Mit «die gefährliche Stoffe enthalten» ist gemeint, dass Schadstoffe in einer Konzentration vorliegen, welche die Grenzwerte gemäss Anhang 5 Kapitel 5.2 der VVEA überschreitet.

2.2 Geltungsbereich des Moduls

Diese Vollzugshilfe regelt die Entsorgung von Schlämmen, die aus der Bauwirtschaft stammen. Sie gilt nicht für Klärschlamm, Strassensammlerschlämme und Strassenwischgut sowie andere Schlämme, deren Entsorgung ausdrücklich in der VVEA geregelt ist.

Diese Vollzugshilfe richtet sich insbesondere an die Akteurinnen und Akteure des Bausektors. Folgende Themen werden darin behandelt: (1.) Bedingungen, die für die Ablagerung von Schlämmen in einer Deponie einzuhalten sind, (2.) Informationen über den Schadstoffgehalt und (3.) Empfehlungen zu den Entsorgungswegen für die verschiedenen Arten von Schlämmen aus der Bauwirtschaft.

In dieser Vollzugshilfe wird die Entsorgung für die folgenden Arten von Schlämmen festgelegt:

1. **Bohrschlämme** aus Arbeiten, die v. a. zur Installation von Erdwärmesonden ausgeführt wurden, inkl. Bentonit-Schlämme ohne Zement;
2. **Betonschlämme**, die bei der Herstellung (Betonwerk) und der Verwendung (Baustelle) von Beton entstehen, sowie bei Vorgängen zur Stabilisierung des Untergrundes (Betoninjektionen und Spritzbeton). Eingeschlossen sind Betonschlämme, die Bentonit enthalten und bei den oben genannten Arbeiten eingesetzt werden;
3. **Ausbruch- und Drainageschlämme aus Tunneln**, die beim Bau von Untertagbauwerken entstehen (Schlämme aus der Aufbereitung des Ausbruchmaterials und des Drainage-Wassers);
4. **Waschschlämme von unverschmutztem Aushubmaterial**, inkl. Schlämme aus dem Betrieb von Kieswerken und Steinbrüchen;
5. **Schlammrückstände aus mobilen Anlagen auf Baustellen**, die zum Beispiel durch Radwaschanlagen oder Absetzbecken für das Baustellenabwasser entstehen;
6. **Sedimentschlämme** aus der Ausbaggerung von lakustrischen Sedimenten in Kanälen, Häfen usw.;
7. **Schlämme aus ausserordentlichen Naturereignissen**, wie zum Beispiel Erdbeben, Murgängen usw.;
8. **Waschschlämme von mineralischen Rückbaumaterialien** im Rahmen ihrer Verwertung.

Schlämme, die aus technischen Verfahren stammen, welche die Aufbereitung oder die Arbeit im Zusammenhang mit Sonderabfällen betreffen, sind nicht Gegenstand dieses Dokuments.

2.3 Definitionen

Tabelle 1: Definitionen

Begriff	Erläuterung
Rohschlamm	Viskose Mischung aus Feststoffen, die durch Sedimentation oder Zentrifugierung der Bauschlämme entsteht.
Presskuchen	Rückstand von entwässertem Schlamm nach mechanischer Aufbereitung durch eine Presse oder einen Bandfilter.
Flockungsmittel	Stoff, der dem Abwasser hinzugefügt wird, damit sich aus den Festsubstanzen leichte Flocken bilden die sich setzen. In der Regel handelt es sich um Polymere, die das kolloidale Material anbinden, sodass grössere Flocken entstehen und dadurch die Sedimentation weiter erhöht wird.
Betonzusatzmittel	Stoffe, welche die Eigenschaften von Frischbeton und Festbeton durch einen chemischen oder physikalischen Vorgang beeinflussen.
Geogene Schadstoffe	Eine geogene Belastung bedeutet, dass das Aushub- und Ausbruchmaterial eine Belastung (Schwermetalle, Asbest usw.) aufweist, die nicht auf menschliche Tätigkeit,

	<p>sondern auf die mineralische Zusammensetzung des Muttergesteines, auf hydrothermale Bildungen oder auf ölhaltige Schichten zurückzuführen ist.</p> <p>Wenn derartiges Material im Rahmen der Aufbereitung (z. B. Brechen, Sieben) so behandelt wird, dass eine Aufkonzentration von Schadstoffen in bestimmten Materialfraktionen erfolgt, können diese Fraktionen nicht mehr als geogen belastet betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für die Rückstände aus der Aufbereitung (z. B. Feinanteil, Schlämme). Durch diese menschliche Tätigkeit geht von diesem Material im Vergleich zu seiner natürlichen Form eine erheblich grössere Gefährdung für die Umwelt aus. Somit können Schadstoffe geogenen Ursprungs in Bauschlämmen nicht mehr als solche betrachtet werden und müssen wie die anthropogenen Schadstoffe berücksichtigt werden.</p>
Bentonit	<p>Ton mit einem grossen Quellvermögen und einem hohen Anteil an Montmorillonit. Bentonit wird im Tiefbau verwendet, insbesondere bei Bohrarbeiten.</p>
Chromat – Cr(VI)	<p>Cr(VI) und Cr(III) sind verschiedene Oxidationsstufen des chemischen Elements Chrom (Cr). Sie bilden das sog. «Gesamtchrom» in der Zusammensetzung eines Materials.</p> <p>Cr(VI) ist wasserlöslich und ein starkes Oxidationsmittel, das toxisch und krebserregend ist. Cr(III) ist für den Menschen unbedenklich.</p> <p>Der Gehalt an Cr(VI) in Beton variiert je nach vorgesehener Zusammensetzung und Abbindezeit. Spritzbeton zum Beispiel hat in bestimmten Fällen eine zu kurze Abbindezeit für eine vollständige Reduktion von Cr(VI) zu Cr(III).</p>
Bohrung mit Imlochhammer	<p>Bei Bohrungen mit Imlochhammer erfolgt das Eindringen des Werkzeugs in das Gestein (Locker- oder Festgestein) durch eine kombinierte Rotations- und Schlagbewegung auf den Untergrund.</p>
Rotary-Bohrverfahren	<p>Beim Rotary-Bohrverfahren erfolgt das Eindringen des Werkzeugs durch Abreiben und Zerkleinern des Grundes, ohne Stoss, einzig durch Rotation.</p>
Jet Grouting	<p>Zementschlämme, die unter Hochdruck in die vorgebohrten Löcher eingespritzt oder eingebracht werden, um vertikale oder horizontale Betonsäulen zu formen.</p>

3 Allgemeines

3.1 Physikalische Eigenschaften der Schlämme

Rohschlämme enthalten einen Anteil feiner Festsubstanzen, der 5 bis 70 Prozent der Masse ausmacht. Im Allgemeinen haben die Körner einen Durchmesser von weniger als 0,5 mm.

Eingedickter Schlamm hat ein thixotropes Verhalten (Verflüssigung bei Rühren, fester Ruhezustand). So können grundsätzlich «kompakte» Schlämme durch mechanische Einwirkung wieder verflüssigt werden, was Stabilitätsprobleme nach sich ziehen kann, vor allem, wenn sie transportiert oder abgelagert werden.

3.2 Schadstoffermittlung vor Baubeginn

Die allenfalls in den Schlämmen aus der Bauwirtschaft enthaltenen Schadstoffe sind je nach Materialherkunft unterschiedlich, aber auch je nach angewandter Arbeitsmethode oder Behandlung. Die Schadstoffe sind im Allgemeinen in den feinen Fraktionen des Materials konzentriert. So sammeln sich die Schadstoffe am Ende des Pressvorgangs in den Presskuchen an. Letztere weisen deshalb im Allgemeinen auch einen höheren Verschmutzungsgrad als das ursprüngliche Material auf.

Die Schadstoffe, die in den Bauschlämmen am häufigsten vorkommen, sind:

- Flockungsmittel
- Kohlenwasserstoffe
- Schwermetalle
- Chromat – Cr(VI)
- gesamter organischer Kohlenstoff / TOC
- Bentonit

Bei Baustellen in oder nahe bei belasteten Standorten kann es besonders im Rahmen von Bohrarbeiten vorkommen, dass eine ungewöhnliche und unerwartete Belastung mit Schadstoffen auftritt. Je nachdem können dann weitere Untersuchungen nötig sein, und ein gezieltes Programm zur Erhebung von Proben ist festzulegen. Die Thematik der Schlämme aus belasteten Standorten ist nicht Gegenstand der vorliegenden Vollzugshilfe.

Der Umgang mit Bauschlämmen ist unabhängig von der Grösse der Baustelle systematisch vor Baubeginn zu regeln, wie dies auch für alle anderen anfallenden Abfälle erforderlich ist (Art. 16 VVEA).¹ So müssen Hinweise darauf, dass die entstehenden Schlämme Schadstoffe enthalten könnten, vor

¹ Siehe Teil «Ermittlung von Schadstoffen und Angaben zur Entsorgung von Bauabfällen» des Moduls «Bauabfälle» der Vollzugshilfe zur VVEA.

Beginn der Arbeiten definitiv abgeklärt werden. Besonders folgende Aspekte sollen evaluiert werden:

- Art der ausgeführten Arbeiten (Betoneinspritzung, viele Baustellenfahrzeuge, Einsatz von Zusatzstoffen usw.);
- Geologie (allenfalls vorhandene geogene Schadstoffe);
- Vorhandensein von Altlasten;
- Art der Dosierung der Flockungsmittel;
- Umsetzung oder Nichtumsetzung von Massnahmen zur Beschränkung der Schadstoffe bei der Planung von Arbeiten, durch die Schlämme entstehen.

3.3 Massnahmen zur Beschränkung der Schadstoffe

Folgende Massnahmen sind umzusetzen, um die Verschmutzung der Bauschlämme zu minimieren:

- Überwachung des technischen Zustandes der Baumaschinen und -infrastrukturen (besonders Bohrwerkzeuge und Betonanlagen);
- Verwendung von biologisch abbaubaren Ölen und Schmiermitteln, wenn die Technik dies erlaubt;
- Präzise Dosierung der Flockungsmittel beim Absetzverfahren;
- Überwachung der Schlamm-Mulden, um allenfalls vorhandene geogene Kohlenwasserstoffe zu identifizieren. Beurteilung des Risikos, dass geogene Schadstoffe des Untergrundes Auswirkungen auf die Qualität der entstehenden Schlämme haben.
- Konsultation des Altlastenkatasters vor den Arbeiten;

3.4 Verwertung der Bauschlämme

Die Aufbereitungen und die Entsorgungswege für die verschiedenen Arten von Schlamm sind in Kapitel 4 beschrieben.

Die meisten Rohschlämme enthalten variable verwertbare Sand- und Kiesanteile. Diese Anteile müssen gemäss ihren technischen Eigenschaften und ihres Verschmutzungsgrades verwertet werden

Die Bauschlämme werden zum Beispiel durch Absetzen in Rohschlamm umgewandelt, entweder direkt auf der Baustelle oder in einer Abfallaufbereitungsanlage. Sie werden danach gepresst und in Presskuchen umgewandelt. Üblicherweise werden Flockungsmittel eingesetzt, um die Sedimentation zu beschleunigen und dann den Pressvorgang zu erleichtern. Empfehlungen für die Verwendung und Entsorgung von Material, das mit Flockungsmitteln versetzt ist, finden sich im Dokument «Empfehlung für die Entsorgung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, das mit Flockungsmitteln versetzt ist», das 2001 vom BAFU herausgegeben wurde.

Die Presskuchen, die vor allem aus Ton bestehen, können zum Beispiel im Deponiebau verwertet oder für die Herstellung von rohen bzw. gebrannten Backsteinen oder anderen Baustoffen verwendet werden. Artikel 19 der VVEA

nennt die möglichen Verwertungswege je nach Verschmutzungsgrad des Materials.

Die in diesem Dokument vorgestellten Entsorgungswege sind für Schlämme anwendbar, die in Presskuchen umgewandelt oder mit einem tragenden Bindemittel stabilisiert wurden.

3.5 Ablagerung auf Deponien

«Flüssige [...] Abfälle dürfen nicht abgelagert werden», lautet Artikel 25 Absatz 3 VVEA. Die Gründe für dieses Verbot hängen mit den Risiken einer Destabilisierung des Deponiekörpers zusammen (Verstopfung der Sickerleitungen, Bildung einer Rutschschicht usw.). Der «Kugeltest» (siehe Vollzugshilfe «Messmethoden im Abfall und Altlastenbereich») kann angewendet werden, um zu bestimmen, ob die Schlämme ausreichend dickflüssig für eine Ablagerung auf einer Deponie sind. Die SIA-Norm 203 «Deponiebau» regelt die technischen Aspekte (Stabilisierung, Entwässerung usw.) im Zusammenhang mit der Ablagerung von Presskuchen auf einer Deponie.

So ist es erforderlich, den eingedickten Schlamm entweder zu entwässern – und nur den Presskuchen abzulagern – oder diesen in situ mit einem tragenden Bindemittel zu stabilisieren, das natürlich (Kalk, Gips) oder industriell (Verbindung von Branntkalk und Zement) ist.

Die Verwendung von tragenden Bindemitteln drängt sich besonders bei Schlämmen mit einer tonig-siltigen Zusammensetzung auf, einschliesslich beim Pressen. Diese sind nämlich sehr elastisch, wodurch sie schwer komprimierbar sind und manchmal nicht so weit gepresst werden können, dass es für eine Ablagerung reicht.

Die Stabilisierung mittels Zement ist auf Deponien des Typs A verboten.

3.6 Häufigkeit der Analysen

Damit die Materialqualität leichter überwacht werden kann, empfehlen sich an den Standorten für die Aufbereitung der Schlämme aus der Bauwirtschaft folgende Massnahmen:

- Trennung der verschiedenen Schlammarten in separate Aufbereitungsarten (z. B. Trennung der Schlämme aus Bohrungen mittels Bentonit oder Zusatzstoff von Schlämmen aus Bohrungen mittels Wasser).
- Beim Eingang der Schlämme und beim Abgang der Produkte: regelmässige Analysen zur Kontrolle bestimmter als repräsentativ erachteter Parameter (Kohlenwasserstoffe, Cr(VI) usw.).

Für die ständig genutzten Aufbereitungsarten sind Kontrollanalysen in regelmässigen Abständen empfohlen (z. B. alle zwei Monate Analysen bei Material, das grundsätzlich unverschmutzt ist). Für die eher unregelmässig betriebenen Aufbereitungsarten ist das Intervall zwischen den Analysen je nach Materialfluss und nicht nach Zeitabstand festzulegen (z. B. Durchführung von Analysen alle 300 Tonnen). Am Ort der Extraktion (Kieswerke und Steinbrüche) ist der Abstand zwischen den Analysen der Presskuchen der

Waschschlämme mit den kantonalen Behörden zu vereinbaren. Er wird gemäss den spezifischen Umweltbedingungen des jeweiligen Standortes festgelegt.

Bei Laboranalysen müssen die Probenahmen bei Gesteinswechseln oder Verdacht auf anthropogene Verschmutzung wiederholt werden (versehentliches Auslaufen von Treibstoff auf der Baustelle, ungewöhnliche Farbe oder Geruch usw.). Die durchgeführten Analysen werden wenn nötig fortlaufend an die angetroffenen Problematiken angepasst.

Arbeitsdokument

4 Aufbereitung und Entsorgungswege im Einzelfall

Die in diesem Kapitel vorgestellten Verwertungs- und Entsorgungswege gelten für Standardfälle. Bei Verdacht auf Vorhandensein von bestimmten Schadstoffen (Unfall auf Baustelle, geogene Schadstoffe, Arbeiten an belastetem Standort usw.) müssen Laboranalysen durchgeführt werden, um den Verschmutzungsgrad und geeignete Wege für die Entsorgung der entstandenen Schlämme zu bestimmen.

4.1 Bohrschlämme

Schwerpunkt dieses Kapitels sind die Schlämme aus Bohrungen für die Installation von Wärmetauscheranlagen (Erdwärmesonden, Wasser-Wasser-Systeme usw.). Die betrachteten Methoden sind Bohrungen mit Imlochhammer und Rotationsbohrungen (Rotary-Methode).

Schlämme aus tiefen Bohrungen für Geothermieanlagen oder aus horizontalen Bohrungen nahe an der Oberfläche in Lockergestein müssen von Fall zu Fall geprüft werden, weil die Bandbreite an möglichen Zusatzstoffen grösser ist. Die Entsorgungswege müssen in Absprache mit der zuständigen Behörde auf der Basis einer erschöpfenden Liste der verwendeten Zusatzstoffe festgelegt werden.

4.1.1 Schadstoffe

Die konventionellen Bohrschlämme für Erdwärmesonden (Sonden für Einfamilienhäuser und ähnliche Anlagen) können folgende Schadstoffe enthalten:

- aliphatische Kohlenwasserstoffe KW C₁₀–C₄₀. Eine Untersuchung von Analysedaten ergab, dass die im Bohrschlamm gemessenen Werte normalerweise unter dem Grenzwert von 500 mg/kg TS liegen, der für die Ablagerung auf einer Deponie des Typs B festgelegt wurde.
- Flockungsmittel, die für die Beschleunigung des Absetzens der Schlämme nach der Bohrung verwendet werden
- gesamter organischer Kohlenstoff (TOC), bei Verwendung von Schmiermitteln auf Zellulosebasis oder Bohrungen durch Formationen mit viel organischer Substanz (Torf, lakustrische Sedimente usw.)
- geogene Schadstoffe

4.1.2 Verwertung und Entsorgung

Bohrschlämme dürfen weder auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden, noch in Gewässer oder ins Abwasser geschüttet werden.

Presskuchen aus Schlämmen, die aus Bohrungen mit Imlochhammer und Rotary-Bohrungen stammen, müssen entsprechend Artikel 19 Absatz 3 Buchstabe a VVEA verwertet oder auf Deponien des Typs B abgelagert werden. Diese Entsorgungswege erfordern keine Analysen.

Vor allen anderen Verwertungen von Bohrschlämmen sind Laboranalysen durchzuführen, bei denen die Kohlenwasserstoffe C_{10} – C_{40} und allfällige geogene Schadstoffe gemessen werden. Das Ablagern von Bohrschlämmen auf einer Deponie des Typs A oder am Ort der Extraktion erfordert eine spezifische Bewilligung der kantonalen Behörden.

4.2 Betonschlämme

Betonschlämme entstehen bei der Ausführung von Stabilisierungsarbeiten und bei der Produktion einer grossen Menge von Beton auf der Baustelle (Betonwerk).

Bei Stabilisierungsarbeiten (Pfähle, Verankerungen, Jet Grouting usw.) ist die Rückflussmenge sehr variabel. Bei Massnahmen zur vertikalen Bodenkonsolidierung beträgt sie 10 bis 15 Prozent der Injektionslösung. Mit dem horizontalen Jet, wie beim Tunnelbau, kann der Rückfluss 70 Prozent erreichen.

4.2.1 Schadstoffe

Betonschlämme enthalten immer Chromat ($Cr(VI)$) wegen der Verwendung von Zement. Während Letzterer bei Hartbeton 5 bis 20 Prozent der Masse ausmachen kann, kann dieser Anteil bei Spritzbeton auf bis zu 50 Prozent steigen. Folglich können die daraus resultierenden Spritzschlämme zum Zeitpunkt ihrer Verwendung einen relativ hohen $Cr(VI)$ -Gehalt aufweisen. Zudem begrenzt die kurze Abbindezeit von Spritzbeton die Reduktion von $Cr(VI)$ zu $Cr(III)$.

Betoninjektionen und Spritzbeton weisen insgesamt folgende Konzentrationen auf:

- Kohlenwasserstoffe C_{10} – C_{40} : zwischen 250 mg/kg und 2500 mg/kg
- $Cr(VI)$ > 0.05 mg/kg abhängig von der Menge an $Cr(VI)$ im verwendeten Zement
- pH: ~ 12

4.2.2 Verwertung und Entsorgung

Betonschlämme werden normalerweise nicht gepresst, sondern an der freien Luft gehärtet.

- Wenn sich grössere Betonblöcke bilden, können diese ähnlich wie Betonabbruch behandelt und als solcher verwertet werden (Art. 20 Abs. 3 VVEA).
- Wenn beim Härtingsprozess keine grossen Blöcke entstehen, können die gehärteten Rückstände wegen ihren unzureichenden technischen Eigenschaften nicht als Betongranulat verwendet werden. Sie können entweder im Zementwerk für die Herstellung von Rohmehl verwendet

oder auf Deponien des Typs E abgelagert werden. Die Lagerung auf Deponien des Typs B ist unter Vorbehalt punktueller Analysen zur Kontrolle der Kohlenwasserstoffe C_{10-40} und des Cr(VI) möglich.

4.3 Ausbruch- und Drainageschlämme aus Tunnels

Die in diesem Kontext entstehenden und hier behandelten Schlämme sind:

- a) Schlämme aus der Industrie- und Bergwasseraufbereitungsanlage (TWA-Schlämme)

Gefilterte und gepresste Schlämme aus Tunnelwasseraufbereitungsanlagen, in denen im Allgemeinen eine Mischung von unverschmutztem Bergwasser und Industrieschlämmen aufbereitet wird.

- b) Schlämme aus der Materialaufbereitungsanlage (MAB-Schlämme)

Schlämme aus der Aufbereitung von Ausbruchmaterial, das gewaschen, gebrochen und sortiert wird, um anschliessend zur Produktion von Betonverwertet zu werden.

Die hier behandelten Vortriebsmethoden sind:

- TBM (Vortrieb durch Abreiben, mittels Tunnelbohrmaschine);
- SPV (Sprengvortrieb, mittels Sprengstoff): Sprengstoff kann parallel zu einem Vortrieb mittels Tunnelbohrmaschine verwendet werden, um Nischen, Quertunnels usw. herausbrechen.

4.3.1 Schadstoffe und Entsorgungswege

Schlämme aus Ausbrucharbeiten können folgende Schadstoffe enthalten:

- Stickstoffverbindungen² bei der Verwendung von Sprengstoffen;
- Cr(VI) aus Spritzbeton;
- Kohlenwasserstoffe C_{10-40} aus Schmiermitteln, Treibstoffen und mechanischen Ölen, die auf der Baustelle verwendet werden;
- Geogene Schadstoffe (Asbest, Schwermetalle usw.);
- Zusatzstoffe (Flockungsmittel, Verflüssiger, Tenside usw.), die eingesetzt werden, um den Transport des Ausbruchmaterials zu erleichtern.

Die in Tunnelschlämmen enthaltenen Schadstoffe sind je nach Typ (TWA-, MAB- oder Betonschlämme) und Ausbruchmethode (SPV oder TBM) unterschiedlich. In den Tabellen 2 und 3 sind die erforderlichen Arten von Analysen und die geeigneten Entsorgungswege aufgeführt.

² Nitrit-Ionen (NO_2^-); Nitrat-Ionen (NO_3^-); Ammonium-Ion (NH_4^+)

Tabelle 2: Analysen und Entsorgungswege für TWA-Schlämme. KW = Kohlenwasserstoffe; Cr(VI) = sechswertiges Chrom; NO₂⁻ = Nitrit-Ionen; NO₃⁻ = Nitrat-Ionen; NH₄⁺ = Ammonium-Ion; As = Arsen.

TWA-Schlämme (Schlämme aus der Aufbereitung von Tunnelwasser)	
	TBM (Tunnelbohrmaschine) SPV (Sprengvortrieb)
Analysen	Analysen, die bei Baubeginn durchzuführen sind, um den geeigneten Verwertungsweg festzulegen. Ausführung von Kontrollanalysen bei jedem Gesteinswechsel. Relevante Schadstoffe: Cr(VI), NO ₂ ⁻ , KW C ₁₀ –C ₄₀ und geogene Schadstoffe gemäss lokaler Geologie
Verwertungs- und Entsorgungswege	Gemäss Resultaten der Analysen: unter Berücksichtigung der Grenzwerte nach VVEA (zum Beispiel Zementwerk)

Tabelle 3: Analysen und Entsorgungswege für MAB-Schlämme.

MAB-Schlämme (Schlämme aus der Aufbereitung von Ausbruchmaterial)	
	TBM (Tunnelbohrmaschine) SPV (Sprengvortrieb)
Analysen	Analysen zur Kontrolle der Arbeitsweise. Regelmässige Analysen. Relevante Schadstoffe: Cr(VI), NO ₂ ⁻ , KW C ₁₀ –C ₄₀ und geogene Schadstoffe
Verwertungs- und Entsorgungswege*	Schwach verschmutztes Material (Art. 19 Abs. 2 und Anh. 3 Ziff. 2 VVEA) Gemäss Resultaten der Analysen: unter Berücksichtigung der Grenzwerte nach VVEA (zum Beispiel Zementwerk)

Regelmässige Kontrollanalysen sind empfohlen (zum Beispiel alle 1000 Tonnen Schlamm). Geogene Schadstoffe sind bei der Bestimmung der korrekten Entsorgungswege gemäss VVEA zu berücksichtigen.

4.4 Waschschlämme von unverschmutztem Aushubmaterial

Bei der Aufbereitung des zu verwertenden Aushubmaterials fallen Schlämme an. Sie werden entweder direkt am Ort der Extraktion (z. B. Aufbereitung des Wandkieses im Kieswerk) oder in festen Aufbereitungsanlagen ausserhalb der Extraktionsstandorte produziert.

Waschschlämme von verschmutztem Aushubmaterial werden hier nicht thematisiert. Die geeigneten Entsorgungswege und nötigen Analysen sind von Fall zu Fall je nach Herkunft des aufbereiteten Materials zu bestimmen.

4.4.1 Schadstoffe

Ob in den Waschschlammern von Aushubmaterial, das grundsätzlich nicht verschmutzt ist, Schadstoffe vorhanden sind, hängt von den Waschtechniken, den verwendeten Maschinen (Kohlenwasserstoffe, Überschuss an Flockungsmitteln) und dem Vorliegen allfälliger geogener Schadstoffe ab. Zudem können diese Schlämme auch einen hohen Anteil an organischer Substanz aufweisen.

4.4.2 Verwertung und Entsorgung

Unverschmutztes Aushubmaterial, bei dem kein Verdacht auf eine Verschmutzung besteht, darf als solches ohne Analyse verwertet werden (Art. 19 Abs. 1 VVEA).³ Schlämme aus der Verwertung dieses Materials können ebenfalls ohne weitere Analyse als unverschmutzt erachtet werden, wenn kein Verdacht auf eine Verschmutzung vorliegt.

Bei Verdacht auf Verschmutzung, einschliesslich geogenen Ursprungs, sind gezielte Analysen systematisch durchzuführen. Die Entsorgungswege werden danach gemäss den in der VVEA festgelegten Grenzwerten bestimmt.

4.5 Schlammrückstände aus mobiler Aufbereitung auf der Baustelle

Dieses Kapitel gilt für alle Schlämme aus dem Absetzen von Baustellenabwasser, einschliesslich Radwaschanlagen.

4.5.1 Schadstoffe

Die Absetzbecken für die Aufbereitung von Baustellenabwasser dienen ausschliesslich zur Sedimentation der festen Bestandteile.

Folgende Schadstoffe können potenziell in den Schlammrückständen enthalten sein:

- Überschuss an Flockungsmitteln (Restmonomere zu Anteilen von mehr als 0.1 %)
- Bauschadstoffe wie Schwermetalle, Asbest und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Cr(VI)
- Kohlenwasserstoffe C₁₀₋₄₀
- organische Substanz

Bei Abtragarbeiten zum Beispiel können Massnahmen zur Rückgewinnung von Wasser, das Reste von Farben oder abgetragenen Beschichtungen enthält, die Verschmutzung des Baustellenabwassers und der daraus entstehenden Schlämme verhindern.

³ BAFU 2021: Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial. Teil des Moduls «Bauabfälle» der Vollzugshilfe zur VVEA.

4.5.2 Verwertung und Entsorgung

Die Zusammensetzung der Presskuchen aus den Absetzschlammern auf den Baustellen hängt von den ausgeführten Arbeiten ab. Sind bei Abbrucharbeiten Bauschadstoffe oder geogene Schadstoffe vorhanden, sind die geeigneten Entsorgungswege für die Bauschlämme von Fall zu Fall zu definieren. Diese Fälle werden hier nicht beschrieben.

Bei Arbeiten, bei denen ausschliesslich unverschmutztes Aushubmaterial anfällt, können die Presskuchen als unverschmutzt erachtet werden (Verwertung nach Art. 19 Abs. 1 VVEA).

Werden Betonierarbeiten ausgeführt, können die Schlämme wie Betonabbruch (Art. 20 Abs. 3) verwertet werden, sofern sie Blöcke bilden und aushärten. Ist dies nicht der Fall, müssen die Rückstände oder Presskuchen auf Kohlenwasserstoffe C₁₀–C₄₀ und Cr (VI) untersucht werden und gemäss VVEA entsorgt werden. Ohne Analyse müssen sie auf Deponien des Typs E abgelagert werden.

Presskuchen aus Schlamm von Radwaschanlagen müssen gemäss Artikel 19 Absatz 2 und Anhang 3 Ziffer 2 der VVEA verwertet werden, nachdem die Kohlenwasserstoffe C₁₀–C₄₀ analysiert wurden. Ohne Analyse müssen sie auf Deponien des Typs B abgelagert werden.

4.6 Sedimentschlämme

Die Ausbaggerung von Teichen, Hafenanlagen, Schifffahrtskanälen und Staudämmen produziert grosse Volumina an Gewässersedimenten (Sedimentschlämme), die in unterschiedlichem Ausmass verunreinigt sein können.

4.6.1 Schadstoffe

Sedimentschlämme können hohe Konzentrationen von Schwermetallen, Kohlenwasserstoffen, PAK und polychlorierten Biphenylen (PCB) aufweisen. Diese Schadstoffe stammen zum Beispiel aus der Industrie, der Landwirtschaft, der Schifffahrt, den Abwasserkläranlagen oder dem Strassenverkehr. Auch zinnorganische Verbindungen aus Schiffsanstrichen können darin vorkommen. Diese organischen Verbindungen sind für die Wasserfauna besonders schädlich. Sedimentschlämme sind reich an organischer Substanz (üblicherweise 3 bis 10 % der Trockensubstanz).

4.6.2 Verwertung und Entsorgung

Sedimentschlämme müssen im Rahmen des Möglichen in der Landwirtschaft verwertet werden (Ausbringen in landwirtschaftlichen Zonen oder Herstellung von kommerzieller Humuserde). Schlämme ausfolgenden Umgebungen sind von einer solchen Verwertung ausgeschlossen:

- Wasserflächen, die an einen Strassenablauf angeschlossen sind;
- Wasserflächen, die innerhalb oder in unmittelbarer Nähe von städtischen Gebieten liegen;

- Wasserflächen, die im Abstrom von Deponien der Typen B, C, D oder E und/oder Altlasten liegen;
- Wasserflächen, die in der Nähe von Hafenanlagen liegen (Häfen und Werften).

Das Ausbringen von Sedimentschlämmen ist in den Grundwasserschutzzonen S1 und S2 verboten. Die Entsorgung in Gewässern ist ebenfalls nicht zulässig.

Die Verwendung von Sedimentschlämmen als auszubringendes Material ist möglich, sofern die Grenzwerte der ChemRRV⁴ (Anh. 2.6 Ziff. 2.2.1) eingehalten werden. Diese Praxis erfordert die Bewilligung durch die zuständigen Behörden von Fall zu Fall; diese können zusätzliche Analysen verlangen. Folgende Elemente müssen zwingend gemessen werden: Schwermetalle, schwere Kohlenwasserstoffe (C₁₀₋₄₀) und PAK. Repräsentative Analysen müssen alle 200 m³ eingedickten Schlamm durchgeführt werden. Eine erste Analyse ist systematisch erforderlich, um den geeigneten Entsorgungsweg zu bestimmen.

Bei der Ausbaggerung von Waldteichen ist es – mit der Genehmigung der kantonalen Behörden, sofern es sich um kleine Volumina handelt – erlaubt, das entzogene Material in direkter Nähe der Wasserfläche abzulagern. Diese Art von Ausbringung muss auf Situationen beschränkt werden, in denen der Abtransport der ausgebagerten Schlämme im Vergleich zum ökologischen Nutzen unverhältnismässig ist.

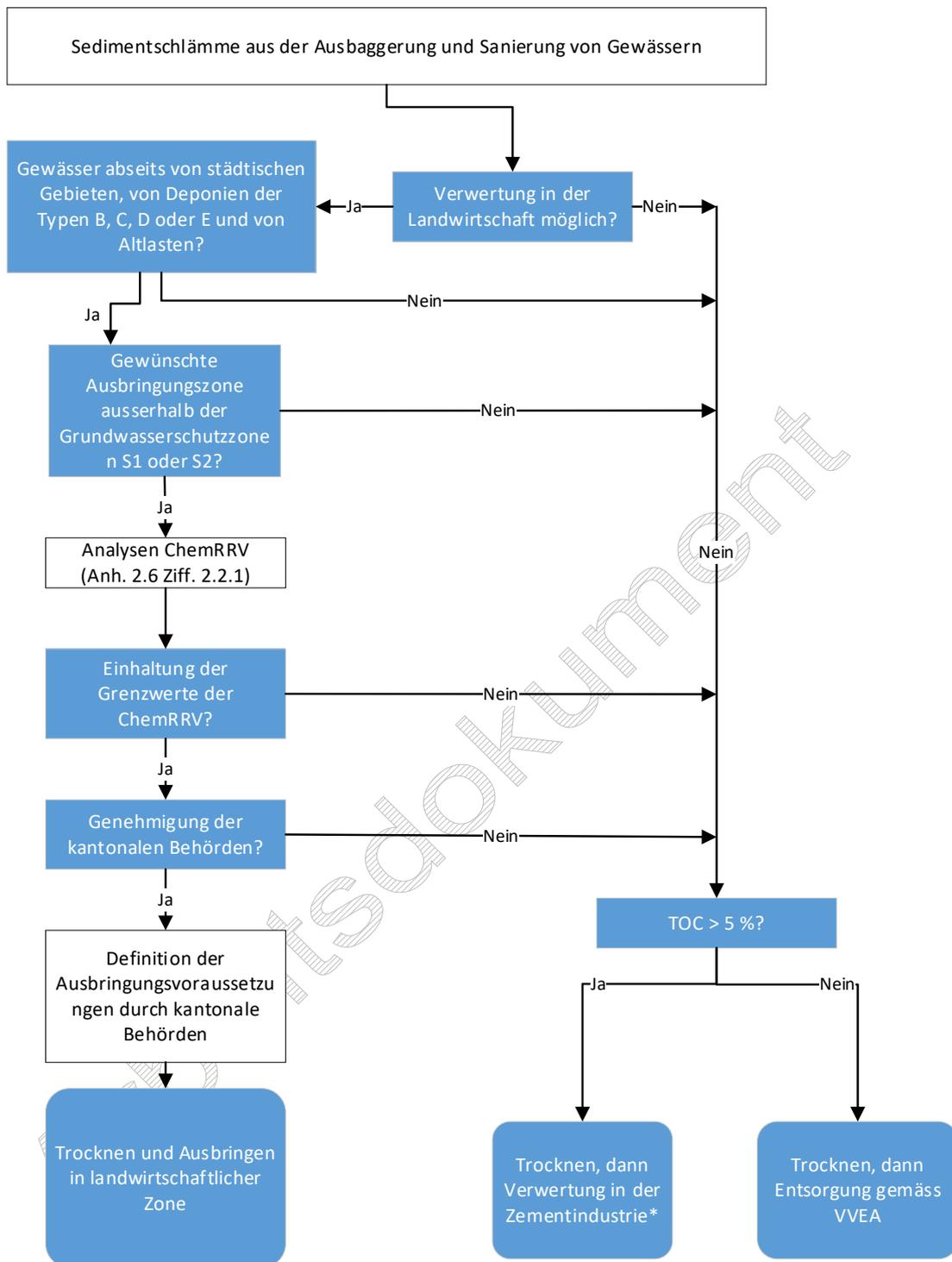
Ähnlich wie beim Boden gilt der Grenzwert von Ziffer 2.3 Buchstabe b von Anhang 5 VVEA für den TOC nicht für Sedimentschlämme, wenn die Überschreitung nicht auf menschliche Tätigkeit zurückzuführen ist. Wenn nur eine Ablagerung auf einer Deponie möglich ist und sofern die Anforderungen von Anhang 5 Ziffer 2.3 VVEA eingehalten werden, können Sedimentschlämme auf Deponien des Typs B abgelagert werden.

Bei stark verschmutzten Schlämmen kann der hohe Anteil organischer Substanz (> 5 %) ein Hindernis für eine Ablagerung auf einer Deponie des Typs E sein. In diesem Fall müssen die Schlämme in einer KVA verbrannt oder allenfalls in der Zementindustrie verwertet werden, mit Genehmigung der kantonalen Behörden.

Spezialfälle: Sind die Sedimentschlämme schwach verschmutzt, können die kantonalen Behörden ausnahmsweise erlauben, sie in der Nähe von Wasserflächen auf Gelände auszubringen, das einen ähnlichen Verschmutzungsgrad aufweist.

Abbildung 1 beschreibt die Entsorgungswege für Sedimentschlämme.

⁴ Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (RS 814.81)



* Mit vorgängiger Bewilligung der kantonalen Behörden (Anh. 4 Ziff. 1.2 VVEA).

Abbildung 1: Entsorgungswege für Sedimentschlämme

4.7 Schlämme aus ausserordentlichen Naturereignissen

Als Folge von extremen Naturereignissen (Überschwemmungen, Erdbeben, Murgängen usw.) ist es möglich, dass grosse Schlammengen abtransportiert werden müssen. Dabei gibt es folgende Optionen:

- a) Ereignis ausserhalb von überbauten Gebieten: Die Schlämme können als unverschmutztes Aushubmaterial erachtet und als solches gemäss Artikel 19 Absatz 1 der VVEA verwertet werden, wenn die gesetzlichen Bedingungen erfüllt sind.
- b) Ereignis, das zur Zerstörung von Bauwerken führte: Ablagerung in Deponie Typ B.

4.8 Waschschlämme von mineralischen Rückbaumaterialien

Schlämme aus der Nassaufbereitung von Rückbaumaterialien zum Zweck ihrer Verwertung können verschiedenste Schadstoffe enthalten. Die Entsorgungswege sind in Kapitel 4.4 des Teils «Verwertung mineralischer Rückbaumaterialien» des Moduls «Bauabfälle» der Vollzugshilfe zur VVEA beschrieben.

4.9 Zusammenfassung

Gemäss dem Grundsatz einer effizienten Kreislaufwirtschaft ist die Verwertung von Abfällen gegenüber ihrer Ablagerung immer vorzuziehen.

Tabelle 5 fasst die in den vorangehenden Kapiteln vorgestellten Entsorgungswege für die unterschiedlichen Arten von Schlämmen zusammen. Die beschriebenen Fälle schliessen die Fälle aus, in denen der Verdacht besteht, dass geogene Schadstoffe vorhanden sind. In diesem Fall sind spezifische Analysen durchzuführen.

Arbeitskumulator

Tabelle 4: Übersicht über die verschiedenen Arten von Schlämmen aus der Bauwirtschaft und ihrer Entsorgungswege gemäss VVEA. KW C₁₀-C₄₀ = schwere Kohlenwasserstoffe; Cr(VI) = sechswertiges Chrom; NO₂⁻ = Nitrit-Ionen; NO₃⁻ = Nitrat-Ionen; NH₄⁺ = Ammonium-Ion; As = Arsen.

Art von Schlamm (in kompakter Form)	Voraussetzung / Analysen
Verwertung nach Art. 19 Abs. 1 VVEA oder definitive Ablagerung auf Deponie Typ A	
Schlämme aus ausserordentlichen Naturereignissen (ausserhalb von überbauten Gebieten)	keine Analysen nötig
Schlämme aus der Aufbereitung von unverschmutztem Aushubmaterial	
Bohrschlämme	Mit Genehmigung der kantonalen Behörden. Obligatorische Analysen: KW C ₁₀₋₄₀
Verwertung nach Art. 19 Abs. 2 und Anh. 3 Ziff. 2 VVEA	
MAB-Schlämme (Schlämme aus der Aufbereitung von Ausbruchmaterial) bei Ausbruch mittels Tunnelbohrmaschine	Kontrollanalysen von Fall zu Fall
Bohrschlämme	Obligatorische Analysen: KW C ₁₀₋₄₀
Schlämme aus Becken von Radwaschanlagen	Obligatorische Analysen: KW C ₁₀₋₄₀
Verwertung nach Art. 19 Abs. 3 VVEA oder definitive Ablagerung auf DTB	
Bohrschlämme	keine Analysen nötig
MAB-Schlämme (Schlämme aus der Aufbereitung von Ausbruchmaterial) bei Sprengvortrieb	Obligatorische Analysen: KW C ₁₀₋₄₀ , Cr(VI) und NO ₂ ⁻ (+ evt. Geogene Belastung)
Betonschlämme (einschliesslich Schlammrückstände aus der Aufbereitung von Baustellenabwasser), die keine Blöcke bilden, wenn sie fest werden	Obligatorische Analysen: KW C ₁₀₋₄₀ und Cr(VI)
Schlämme aus ausserordentlichen Naturereignissen (mit Zerstörung von Bauteilen)	Kontrollanalysen von Fall zu Fall
Verwertung wie Betonabbruch gemäss Art. 20 Abs. 3 VVEA	
Betonschlämme (einschliesslich Tunnelarbeiten), die Blöcke bilden, wenn sie fest werden	keine Analysen nötig
Verwertung für die Herstellung von Rohmehl gemäss Anh. 4 Ziff. 1 VVEA oder definitive Ablagerung auf DTE	
Nicht ausgehärtete Betonschlämme (einschliesslich Tunnelarbeiten)	keine Analysen nötig
Keine Standard-Entsorgungswege – Verwertung gemäss spezifischen Analysen	
TWA-Schlämme (Schlämme aus der Aufbereitung von Tunnelwasser)	Obligatorische Analysen: Cr(VI), NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , As, KW C _{10-C40}
Sedimentschlämme	Siehe Abbildung 1
Waschschlämme von mineralischen Rückbaumaterialien	Gemäss Teil «Verwertung mineralischer Rückbaumaterialien» des Moduls «Bauabfälle»

5 Literaturverzeichnis

- (1) BAFU 2001 «Empfehlung für die Entsorgung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, das mit Flockungsmitteln versetzt ist».
- (2) SIA-Norm 431 «Entwässerung von Baustellen».
- (3) BAFU 2004 «Wegleitung Grundwasserschutz».
- (4) BAFU 2017 «Danger à long terme des sites pollués aux hydrocarbures lourds (HAP): Etat des connaissances et recommandations». Büro eOde, Neuenburg.
- (5) Fachstelle für Forstliche Bautechnik 2016 «Argiles, limons et stabilisation des sols». Büro CEFOR, Lyss.
- (6) DGE Waadt 2006 «Eaux souterraines issues de forages géothermiques – Principes de protection des eaux et d'élimination des boues».
- (7) Informationszeitschrift des FSKB «Info», Ausg. Nov. 2017, S. 13, «Kieswaschschlamm: Überschuss oder Material mit Potenzial?».
- (8) BAFU 2014 «Kurzbericht UMTEC: Feldversuche vs. Kugelfalltest». Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC), Rapperswil.
- (9) BAFU 2013 «Abklärung zum Inventar an umweltrelevanten Schlämmen in der Schweiz». Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC), Rapperswil.
- (10) QuAntuM – Forschung im Strassenwesen des UVEK, Projekt Nr. AGT 2017/001, Arbeitsdokument, Stand Mai 2020.
- (11) Schlammkonditionierung. Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik(UMTEC), 12.07.2017.
- (12) chemsuisse 2017. Zement und zementhaltige Produkte – Information zum Chemikalienrecht. Merkblatt D09.
- (13) BETONSUISSE 2018. Herstellung von Beton: Umweltgerechter Umgang mit chromathaltigen Betonschlämmen.
- (14) BFE 2012. Utilisation de la géothermie profonde pour le chauffage de grands bâtiments avec des pompes à chaleur à très hautes performances.
- (15) BAFU 2020. Mischabbruchverwertung in der Schweiz. Energie- und Ressourcen-Management GmbH, Freienbach.
- (16) BAFU 2014. Entsorgung von Schlämme aus der Bauwirtschaft Hinweis für die Praxis. GEO Partner AG, Zürich.

- (17) BAFU 2021: Verwertung von Aushub- und Ausbruchmaterial. Teil des Moduls «Bauabfälle» der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA).

Arbeitsdokument