

Abklärung zum Inventar an umweltrelevanten Schlammern in der Schweiz

Projektleiter: M.Behl

verantwortlich: Prof. Dr. R. Bunge



Datum: 30.04.2013

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Abfall und Rohstoffe, CH-3003 Bern.
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Institut für Umwelt und Verfahrenstechnik (UMTEC)

Autor/Autorin: Markus Behl

Begleitung BAFU: Dr. Kaarina Schenk

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Begriffe und Abkürzungen.....	III
0 Zusammenfassung.....	1
1 Problem und Zielsetzung	5
1.1 Vorgehen	5
2 Grundlagen	6
2.1 Definition „Schlämme“	6
2.2 Richtlinien und Verordnungen	6
2.2.1 Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) (3)	6
2.2.2 Gewässerschutzgesetz (GSchG) (4)	6
2.2.3 Gewässerschutzverordnung (GSchV) (5)	7
2.2.4 Verordnung über Belastung des Bodens (VBBo) (6)	7
2.2.5 Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) (7)	7
2.2.6 Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (8)	7
2.2.7 Technische Verordnung über Abfälle (TVA) (9)	7
3 Umweltrelevante Schlämme im Überblick - Vorabklärung	8
3.1 Arten von umweltrelevanten Schlämmen in der Schweiz	8
3.2 Massenströme der als „Sonderabfälle“ klassifizierten Schlämme	9
3.3 Massenströme umweltrelevanter Schlämme im In- und Ausland.....	11
3.4 Entsorgungswege	11
3.5 Auswahl relevanter Schlämme für vertiefte Abklärungen.....	12
4 Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen.....	13
4.1 Verordnungen und Normen bei Erdsondenbohrungen	13
4.2 Entsorgungswege von Bohrschlämmen	14
4.2.1 Bohrschlammmentwässerung	15
4.2.2 Bohrschlammmentsorgung am Beispiel einer Deponie in der Ostschweiz	16
4.3 Massenströme der Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen	16
4.4 Physikalisch / chemische Zusammensetzung des Bohrschlammes.....	17
4.5 Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Bohrschlämmen.....	19

4.5.1	Entnahme der Bohrschlammprobe:	19
4.5.2	Analyseergebnisse des Bohrschlamm	19
5	Betonschlämme	21
5.1	Verordnungen und Normen zu Betonschlämmen	21
5.2	Entsorgungswege	23
5.2.1	Entsorgung von Betonschlämmen auf Baustellen:	23
5.2.2	Entsorgung von Betonschlämmen aus Betonwerken:	23
5.2.3	Entsorgung von Betonschlämmen aus dem Jettingverfahren:	25
5.2.4	Entsorgung von Schlämmen aus dem Tunnelbau:	25
5.3	Massenströme in der Schweiz anfallender Betonschlämme	26
5.3.1	Massenströme von Betonschlämmen in der Baustellenentwässerung	27
5.3.2	Massenströme von betonhaltigen Schlämmen im Tunnelbau	27
5.3.3	Massenströme bei Jettingschlämmen	28
5.3.4	Massenströme anfallender Betonschlämme in Betonwerken	28
5.3.5	Übersicht der schweizweit anfallenden Betonschlämme	29
5.4	Physikalisch- / chemische Zusammensetzung von Betonschlämmen	30
5.5	Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Betonschlämmen	31
6	Kieswaschschlämme.....	32
6.1	Verordnungen und Normen zu Kiesschlämme	32
6.2	Entsorgungswege von Kieswaschschlämmen	32
6.3	Massenströme von Kieswaschschlämmen	33
6.4	Physikalische und chemische Zusammensetzung von Kieswaschschlämmen	34
6.5	Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Kieswaschschlamm	35
7	Ergebnisse und Auswertung	36
8	Interpretation	37
9	Fazit	39
10	Literaturverzeichnis.....	40
11	Anhang	42

Begriffe und Abkürzungen

urS	umweltrelevante Schlämme
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
TVA	Technischen Verordnung über Abfälle
VeVA	Verordnung zum Verkehrt mit Abfällen
FWS	Fachvereinigung für Wärmesonden in der Schweiz
EWS	Erdwärmesonden
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
UVEK	Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
GSchV	Gewässerschutzverordnung
BUWAL = BAFU	Bundesamt für Umwelt (Wald und Landschaft)
EAK	Europäischer Abfallkatalog
CMC	Carboxymethylcellulosen (Na-CMC Bohrzusatzstoff)
TS	Trockensubstanz
CEN	Europäisches Komitee für Normung (franz.)
FSKB	Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie
ILHB	Imlochhammerbohrung
PE	Polyethylen
RFA	Röntgen Fluoreszenz Analyse
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
GC	Gaschromatographie

0 Zusammenfassung

Im Auftrag des BAFU wurde eine Recherche über umweltrelevante Schlämme (urS) in der Schweiz durchgeführt.

Der Begriff „Schlamm“ wird in der Umweltbranche zur Bezeichnung ganz verschiedener Materialien verwendet, was zu Missverständnissen führen kann. Wir verwenden im Rahmen dieses Berichts folgende Termini:

- **Rohschlamm:** fließfähige Suspension aus Feststoff und Wasser
- (eingedickter) **Schlamm:** durch Sedimentation gewonnenes zähflüssiges Gemisch aus Feststoff und Wasser.
- **Filterkuchen:** stichfestes bis pastöses Gemisch aus Wasser und Feststoff.

Die Grundlage für unsere Abklärungen bildet das Abfallverzeichnis der Schweiz in Anlehnung an den Europäischen Abfallkatalog. Zusätzlich wurden öffentlich zugängliche Quellen im Internet recherchiert, sowie Informationen von „Produzenten“ und Entsorgungsbetrieben beschafft.

Im Abfallverzeichnis nach VeVA (*Verordnung über den Verkehr mit Abfällen*) sind rund 120 Schlämme gelistet (siehe *Anhang F*), von denen 65 Schlämme als Sonderabfälle deklariert wurden. Die als Sonderabfall deklarierten Schlämme sind dem BAFU hinsichtlich Massenströmen und Entsorgungswegen bekannt. In Summe ergaben diese Schlämme im Jahr 2010 eine Abfallmenge von rund 200'000 Tonnen. Der Anteil, der im Inland behandelten urS mit Sonderabfallqualität betrug im Jahr 2009 etwa 81 % und stieg 2010 auf 90 %.

Unklar ist jedoch die Menge und Qualität der übrigen, gering belasteten, Schlämme. In Absprache mit dem BAFU wurden drei Arten von Schlämmen für eine vertiefte Abklärung ausgewählt. Bei diesen wird zwar eine eher geringe Schadstoffbelastung erwartet, allerdings fallen sie in sehr grossen Mengen an:

Bohrschlämme aus Erdwärmesonden- Bohrungen

Im Jahr 2010 fielen in der Schweiz rund 100'000 t_{TS} an Bohrschlämmen an. Der grösste Teil wurde in Kiesgruben (ca. 65 %) und auf Inertstoffdeponien (ca. 34 %) entsorgt. In Ausnahmefällen wurden Bohrschlämme auf Reaktordeponien verbracht.

Die chemische und physikalische Zusammensetzung von Bohrschlämmen variiert je nach Geologie des Untergrundes und Bohrverfahren stark. Bei „Imlochhammerbohrungen“ ILHB, welche durch den Fels abgeteuft werden und etwa 80 % der schweizweit durchgeführten Erdwärmesonden-Bohrungen umfassen, werden grundsätzlich kaum Bohrzusatzstoffe eingesetzt. Trotzdem ist mit Spuren von Schmiermitteln im Schlamm zu rechnen. Die Analyse einer getrockneten Mischprobe aus verschiedenen im ILHB Verfahren erzeugten Schlämmen überschritt den Grenzwert für aliphatische Kohlenwasserstoffe (>C10) für unverschmutzten Aushub (50 mg/kg) mit 498 mg/kg sehr deutlich und liegt bereits an der Obergrenze dessen was für eine Entsorgung auf Inertstoffdeponien zulässig ist.

Bohrungen im Lockergestein werden mittels Spülbohrungen durchgeführt (schweizweit ca. 20 %). Den dort verwendeten Bohrspülungen werden eine Reihe von Bohrzusatzstoffen wie Tonsuspensionen, Beschwerungsstoffe, sowie Polymere zugesetzt. Die von uns identifizierten Bohrzusatzmittel sind überwiegend nicht kennzeichnungspflichtig und damit nicht in hohem Masse umweltschädlich. Allerdings darf man davon ausgehen, dass im Schlamm aus Spülbohrungen die sehr niedrigen Grenzwerte für unverschmutzten Aushub (U-Material) punkto TOC und aliphatischen Kohlenwasserstoffen Baustellenschlämme

(>C10) überschritten werden. Diese Vermutung wurde uns gegenüber auch von diversen Entsorgungsspezialisten geäußert.

Betonschlämme

Unsere Abschätzungen ergaben, dass schweizweit jährlich rund 465'000 t_{TS} Betonschlämme anfallen. Diese wurden in Schlämme aus Betonwerken (ca. 325'000 t/J), betonhaltige Schlämme aus der Baustellenentwässerung (ca. 100'000 t/J) und Jettingschlämme (ca. 40'000 t/J) aufgeteilt. Insbesondere der hohe pH-Wert und erhöhte Konzentrationen an Chrom(VI) stellen Probleme bei der Entsorgung von Betonschlämmen dar. Im Tunnelbau ist bei Sprengvortrieb zudem mit erhöhten Nitritgehalten aus Sprengstoffrückständen zu rechnen. Der Grossteil der Betonschlämme wurde nach den vorliegenden Informationen auf Inertstoffdeponien verbracht (ca. 60 %). In die Betonproduktion wurden schätzungsweise 20 % zurückgeführt. Geschätzte 10 % wurden auf Reaktordeponien abgelagert. Es ist anzunehmen, dass weniger als 10%, vor allem von Kleinbaustellen stammende Schlämme, unsachgemäss entsorgt werden.

Kieswaschschlämme

Die grösste Fraktion der von uns beurteilten Schlämme stellten mit rund 2.5 Mio. t_{TS} / J die Kieswaschschlämme dar. Unsere Recherche ergab, dass kaum Schadstoffe durch den Kieswaschprozess in den Schlamm eingetragen werden, sofern es sich um die Wäsche von primärem „Wandkies“ handelt. Die Entwässerung des Schlammes stellt durch die homogene Zusammensetzung vergleichsweise geringere Probleme dar, denn die Flockungsmitteldosierung erfolgt in diesem Fall zumeist dosiert mit minimaler Menge. Wir gehen davon aus, dass im Allgemeinen die Richtlinie des BAFU eingehalten wird und daher die verwendeten Flockungsmittel keine Umweltgefährdung darstellen (1). Daher wird ein Grossteil des Kieswaschschlammes (rund 70 %) als unverschmutzter Aushub zur Auffüllung der Kiesgruben verwendet. In rund 25 % der Fälle wurde der Schlamm auf Inertstoffdeponien entsorgt – insbesondere dort, wo keine „Aushubdeponien“ verfügbar waren. Der restliche Anteil von ca. 5% fand als Rohstoff im Bausektor und der Landwirtschaft Verwendung.

In einer von uns untersuchten Kiesschlammprobe wurde zwar eine über den U-Wert erhöhte Chromkonzentration festgestellt. Diese ist vermutlich nur zum Teil geogenen Ursprungs, sondern beruht vermutlich teilweise auf dem Verschleiss von Chromstählen im Abbau und im Kieswerk. Der Abrieb akkumuliert sich dann im Schlamm und kann dazu führen, dass in Kieswerken mit sehr geringem relativen Schlammanteil, gelegentlich eine Überschreitung des U-Grenzwertes vorkommt.

Eine Zusammenfassung der Massenströme (in Summe rund 3.1 Mio. t/J) der von uns gesondert untersuchten urS und deren Entsorgungswege ist in *Abbildung 1* dargestellt.

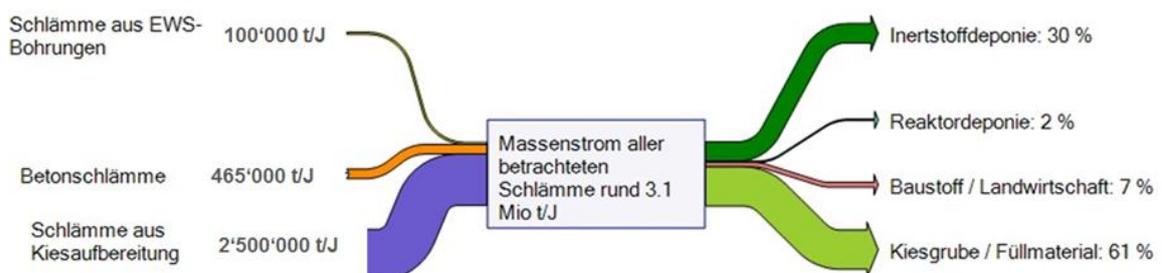


Abbildung 1: Massenströme und Entsorgungswege der untersuchten Schlämme mit Entsorgungswegen.

Die Erfassung der Schlammengen erwies sich als ausserordentlich schwierig. Alle oben aufgeführten Mengen sind als grobe Abschätzungen zu verstehen, die z.T. aufgrund von konkreten Angaben weniger Produzenten auf die gesamte Schweiz hochgerechnet wurden.

Beurteilung:

Wir sehen in Bezug auf die Problematik der Behandlung und Ablagerung von stark umweltrelevanten Schlämmen keinen Handlungsbedarf. Derartiges Material wird nach unserer Einschätzung grundsätzlich ordnungsgemäss entsorgt.

Bei den „wenig umweltrelevanten“ Schlämmen gibt es zwar Handlungsbedarf, jedoch mit untergeordneter Priorität. Dieser betrifft folgende Punkte.

Ein zentraler Aspekt scheint uns die Sensibilisierung des mit urS hantierenden Personals zu sein, auch wenn die Schlämme – verglichen mit Sonderabfällen - eher gering belastet sind. Bei den Produzenten der von uns gesondert untersuchten Schlämme, also Bohrschlamm, Betonschlamm und Kiesschlamm, besteht nämlich kaum ein Bewusstsein dafür, dass der von ihnen erzeugte Abfall überhaupt irgendeine Umweltrelevanz haben könnte. Die aus Bohrungen, aus Baustellen oder Kieswerken erzeugten Schlämme erscheinen dem Bohrmeister, dem Baustellen-Polier oder dem Betriebsleiter eines Kies- oder Betonwerkes als „mineralisch“, wobei die in sehr geringen Mengen zugegebenen chemischen Zusätze (Flockungsmittel, Schmierstoffe...) als „vernachlässigbar“ erscheinen. Es wäre wichtig diesen Personen begreiflich zu machen, dass mineralisches Material welches zu „99.9% sauber“ ist, dennoch mit einer Mineralölkontamination über dem Inerstoffgrenzwert von 500 mg/kg belastet sein kann.

Ein zweiter Punkt ist die in Bezug auf Schlämme bestehende „Grauzone“ einer Entsorgung von flüssigen Abfällen in Deponien. Gemäss TVA Art. 32 Satz 2a dürfen „flüssige Abfälle“ nicht auf Deponien abgelagert werden. In Bezug auf „Schlämme“ bietet dieser Artikel Interpretationsspielraum. Nach unserer Auffassung sind sowohl „Rohschlamm“ als auch „eingedickter Schlamm“ als „flüssige Abfälle“ im Sinne der TVA zu beurteilen. Kein „flüssiger Abfall“ gemäss TVA ist hingegen stichfester „Filterkuchen“. Vor diesem Hintergrund ist die in Deponien praktizierte Ablagerung von Rohschlamm und eingedicktem Schlamm in separaten Becken mit anschliessender Versickerung des überstehenden bzw. im Lückenvolumen der Schüttung befindlichen Wassers durch den Deponieinhalt hindurch nicht TVA-konform. Nach unserer Auffassung sollten Rohschlämme und eingedickte Schlämme auf geeigneten Anlagen entwässert werden und nur als Filterkuchen an Deponien abgegeben werden dürfen.

Für die von uns gesondert untersuchten Schlämme stellt sich die Situation konkret folgendermassen dar:

1. Bohrschlamm: Gemäss den von uns durchgeführten Probenahmen mit anschliessender Analyse fanden sich sogar in Bohrschlämmen aus dem ILHB-Verfahren ganz unerwartet hohe Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen, welche auf Schmiermittel hindeuten. Solches Material sollte in separaten Anlagen entwässert werden und nur als Filterkuchen auf Deponien gelangen. Mit dem Vorbehalt der Bestätigung unserer Messwerte durch weitere Messkampagnen schlagen wir vor, dass die Filterkuchen von Bohrschlämmen grundsätzlich in Inertstoffdeponien zu entsorgen sind, es sei denn es wird eine chemische Analyse auf KW >C10 vorgelegt, aus welcher hervorgeht, dass das Material „unverschmutzter Aushub“ ist oder als T-Material verwertet werden kann.

2. Betonschlämme: Der überwiegende Anteil der Betonschlämme wird entweder direkt im Betonwerk verwertet oder gesetzeskonform entsorgt. Handlungsbedarf besteht vermutlich vor allem auf kleineren Baustellen, in denen die Schlämme gelegentlich unsachgemäß in die Baugrube entsorgt werden.

3. Kieswaschschlämme und ähnliche Materialien: Aufgrund der geringen Schadstoffbelastung der Schlämme aus der Wäsche von Wandkies, stellt die Verwendung als Füllmaterial in Kiesgruben bzw. die Ablagerung in „Aushubdeponien“ nach unserer Einschätzung eine sinnvolle Praxis dar. Eine gelegentliche Überschreitung der Chromwerte für unverschmutzten Aushub durch Werkstoffverschleiss im Kieswerk kann – je nach Aufbereitungsverfahren und Schlammmenge – nicht völlig ausgeschlossen werden. Hier besteht jedoch u.E. kein weiterer Handlungsbedarf.

Bei der Aufbereitung von anderem Material, insbesondere betonhaltigen Schlämmen, oder Ausbruchmaterial aus dem Tunnelbau, können die Schadstoffbelastungen über den Grenzwerten für unbelastetes Material liegen und müssen daher fallweise separat beurteilt werden. Problematisch ist insbesondere, wenn derartige Material auf den gleichen Anlagen verarbeitet wird, wie Wandkies. In diesem Fall ist dafür Sorge zu tragen, dass der Kieswaschschlamm weder über den Wasserkreislauf noch durch den Eintrag von Feststoffen in Form von „Verschleppungen“ kontaminiert wird.

1 Problem und Zielsetzung

Schweizweit fallen in Landwirtschaft, Baugewerbe, Rohstoffgewinnung, Abfallverbrennung und industriellen Prozessen grosse Mengen an umweltrelevanten Schlämmen an. Eine Verwertung dieser Schlämme als Sekundärstoffe im Baugewebe oder als Dünger in der Landwirtschaft ist aufgrund allfälliger Schadstoffgehalte oder schlechter bautechnischer Eigenschaften oft nicht möglich.

Zudem sind bei vielen Schlammarten die einzelnen Schlamminhaltsstoffe nicht ausreichend oder gar nicht bekannt, was eine fachgerechte Entsorgung erschwert. Um im Rahmen der Revision der technischen Verordnung über Abfälle (TVA) zukünftig Regelungen für die Entsorgung solcher Schlämme definieren zu können, waren die hier durchgeführten Abklärungen erforderlich.

1.1 Vorgehen

Im Auftrag des BAFU wurde vom UMTEC eine Übersicht von umweltrelevanten Schlämmen in der Schweiz angelegt. Dabei wurde im Besonderen auf folgende Punkte eingegangen:

- Art der Schlämme
- Massenströme innerhalb der Schweiz und über die Landesgrenze hinaus
- Physikalische Zusammensetzung
- Chemische Zusammensetzung
- Entsorgungswege

Schlämme aus der kommunalen Abwasserbehandlung sind aus dieser Untersuchung ausgenommen.

In der ersten Projektphase wurden öffentlich zugängliche Quellen gesichtet. Insbesondere wurden die Sonderabfallstatistiken des BAFU ausgewertet. Die Ergebnisse wurden in *Kapitel 3* zusammengefasst. Die Resultate dienten als Entscheidungsgrundlage für eine Auswahl an Schlämmen, die einer detaillierten Analyse unterzogen wurden. Es handelt sich hierbei um Schlämme mit vermuteter „geringer Umweltrelevanz“, welche jedoch in grossen Mengen produziert werden.

In der zweiten Projektphase wurden diese Schlämme im Detail untersucht. Hierzu wurde unter anderem Kontakt zu Produzenten und Entsorgern aufgenommen. Das besondere Augenmerk lag auf der Beurteilung der chemischen Zusammensetzung der Schlämme und dem Freisetzungspotential von Schadstoffen. Soweit erforderlich, wurden chemische Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Projektphasen sind in diesem Abschlussbericht zusammengefasst.

2 Grundlagen

Eine allgemeingültige Definition für Schlämme, sowie die relevanten gesetzlichen Grundlagen für deren Umgang und Entsorgung sind nachfolgend beschrieben.

2.1 Definition „Schlämme“

Nach Definition vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) sind Schlämme ein "Gemisch von Wasser und Feststoffen, das durch natürliche oder künstliche Vorgänge von verschiedenen Wasserarten abgetrennt wurde" (2). Anders ausgedrückt besteht Schlamm aus einer hohen Konzentration fein verteilter Feststoffe in einer vergleichsweise geringen Menge Flüssigkeit.

Der Begriff „Schlamm“ wird in der Umweltbranche zur Bezeichnung ganz verschiedener Materialien verwendet, was zu Missverständnissen führen kann. Wir verwenden im Rahmen dieses Berichts folgende Termini:

- **Rohschlamm:** fließfähige Suspension aus Feststoff und Wasser
- (eingedickter) **Schlamm:** durch Sedimentation gewonnenes zähflüssiges Gemisch aus Feststoff und Wasser.
- **Filterkuchen:** stichfestes bis pastöses Gemisch aus Wasser und Feststoff.

Mit umweltrelevanten Schlämmen (urS) sind solche Schlämme bezeichnet, die durch Emission von Schadstoffen ein Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt darstellen könnten.

2.2 Richtlinien und Verordnungen

Eine Zusammenfassung von Gesetzen, Verordnungen und Normen, die hinsichtlich der untersuchten Schlämme Relevanz haben, sind nachfolgend aufgeführt:

2.2.1 Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) (3)

Das USG dient dem Schutz der Umwelt vor schädlichen Einwirkungen durch den Menschen und soll insbesondere die biologische Diversität und Fruchtbarkeit des Bodens erhalten. Nach *Art. 2* gilt das Verursacherprinzip: Wer Verschmutzungen nach USG verursacht, hat für deren Beseitigung aufzukommen.

In *Kapitel 5, USG (Belastung des Bodens)* sind Massnahmen gegen Bodenbelastung (*Art. 33*), Massnahmen zur Verringerung der Bodenbelastung (*Art. 34*), und Richtwerte und Sanierungswerte für die Bodenbelastung (*Art. 35*) vorgeschrieben.

2.2.2 Gewässerschutzgesetz (GSchG) (4)

Das GSchG hat den Zweck, Schweizer Gewässer nachhaltig vor schädlichen Einflüssen zu schützen. In *Art. 6* wird grundsätzlich untersagt, verunreinigtes Wasser versickern zu lassen oder unbehandelt in ein öffentliches Gewässer abzuleiten. In *Art. 7* ist die Abwasserbeseitigung (verschmutzt und unverschmutztes Abwasser) geregelt. Unter *Abschnitt 4, Art. 19-21* sind Vorschriften in Bezug auf Gewässerschutzbereiche und Grundwasserschutzzonen geregelt. Dies führt insbesondere zu Einschränkungen bei Bauprojekten im Tiefbau, wie Erdsonden-Bohrungen.

2.2.3 Gewässerschutzverordnung (GSchV) (5)

Bundesweit gültige Grundsätze und Grenzwerte zum Gewässerschutz sind in der GSchV definiert. Allgemeine Anforderungen zu Baustellenabwässern, die zu den Industrieabwässern zählen sind unter Art. 6 Abs. 1 und Art. 7 Abs. 1 geregelt. Die allgemeinen Grenzwerte für Industrieabwässer sind im *Anhang A* dieses Berichts aufgelistet.

2.2.4 Verordnung über Belastung des Bodens (VBBo) (6)

Die VBBo beinhaltet Grundsätze und Grenzwerte für den Bereich Boden. In Art. 7 ist der Umgang mit ausgehobenem Boden definiert. So darf die Fruchtbarkeit des Bodens durch physikalische Belastung höchstens kurzfristig beeinträchtigt und der Boden nicht zusätzlich chemisch belastet werden, wenn er wieder als Boden verwendet werden soll. In *Anhang 1 VBBo* sind Richt- Prüf- und Sanierungswerte für Schadstoffe definiert.

2.2.5 Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA) (7)

Die VeVA soll unter anderem sicherstellen, dass Abfälle nur von geeigneten Entsorgungsunternehmen entgegengenommen werden. Das Eidgenössische Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) führt ein Abfallverzeichnis, welches die Entsorgungswege der Abfälle beschreibt, insbesondere wenn es sich um Sonderabfälle oder andere kontrollpflichtige Abfälle handelt. Bei den näher untersuchten Schlämmen (siehe *Kapitel 4, 5 und 6*) handelt es sich nicht um kontrollpflichtige Abfälle. In Art. 4, Abs. 1 (VeVa) ist beschrieben, dass der Inhaber für die Bestimmung der Inhaltsstoffe des zu entsorgenden Gutes verantwortlich ist. Er hat durch geeignete Analysen nachzuweisen, ob es sich um Sonderabfälle oder andere kontrollpflichtige Abfälle handelt.

2.2.6 Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen (8)

Ein Abfallverzeichnis mit den notwendigen Entsorgungsverfahren wurde vom Eidgenössischen Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation unter Berücksichtigung des Europäischen Abfallkatalogs (EAK) veröffentlicht.

2.2.7 Technische Verordnung über Abfälle (TVA) (9)

Die TVA regelt das Vermindern und Behandeln von Abfällen, sowie die Errichtung und Betrieb von Abfallanlagen. Im Allgemeinen sind Schlämme, die bei einem Produktionsverfahren entstehen (bohren, betonieren, kieswaschen), „Behandlungsrückstände“ und fallen somit in den Wirkungsbereich der TVA. Entwässerte Schlämme, welche die Grenzwerte für „unverschmutztes Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial“ (TVA, *Anhang 3*) überschreiten, werden entweder verwertet, exportiert, oder auf TVA-konformen Deponien abgelagert. Grenzwerte für die Ablagerung auf TVA-konformen Deponien sind in *Anhang 1, TVA* definiert (Siehe *Anhang B*). Flüssige Abfälle dürfen nach Art. 32a, TVA nicht deponiert werden. Daher ist eine Entwässerung der Schlämme vor der Deponierung erforderlich.

3 Umweltrelevante Schlämme im Überblick - Vorabklärung

Um eine Übersicht über urS in der Schweiz zu erhalten wurden zunächst öffentlich zugängliche Quellen ausgewertet.

3.1 Arten von umweltrelevanten Schlämmen in der Schweiz

Eine Unterteilung der in der Schweiz anfallenden Abfälle, inklusive Schlämme, wurde anhand des Abfallverzeichnisses nach Art. 2 VeVA (7) erstellt. Das Verzeichnis ist in 20 Hauptgruppen gegliedert, welche in nachfolgender Tabelle aufgelistet sind:

1	Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen, sowie bei der physikalischen chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen
2	Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei, sowie der Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln
3	Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Karton
4	Abfälle aus der Leder-, Pelz- und Textilindustrie
5	Abfälle aus der Erdölraffination, Erdgasreinigung und Kohlepyrolyse
6	Abfälle aus anorganisch - chemischen Prozessen
7	Schlämme aus organisch - chemischen Prozessen
8	Abfälle aus der Herstellung, Zubereitung, Vertrieb und Anwendung von Beschichtungen (Farben, Lacke, Email), Klebstoffen, Dichtmassen und Druckfarben
9	Abfälle aus der fotografischen Industrie
10	Abfälle aus thermischen Prozessen
11	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-Hydrometallurgie
12	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung, sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen
13	Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (ausser Speiseöle und Ölabfälle, die unter die Kapitel 05, 12 oder 19 fallen)
14	Abfälle aus organischen Lösungsmitteln, Kühlmitteln und Treibgasen (mit Ausnahme derjenigen, die unter die Kapitel 07 oder 08 fallen)
15	Verpackungsmaterial, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleidung (anderswo nicht genannt)
16	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind
17	Bauabfälle und Bodenaushub
18	Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung und Forschung
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen, sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke
20	Siedlungsabfälle und siedlungsabfallähnliche Abfälle aus Industrie und Gewerbe (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle, sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschliesslich getrennt gesammelte Fraktion

Tabelle 1: Übersicht über die Kapitel des Abfallverzeichnisses (8). Die grau hinterlegten Abschnitte beinhalten keine schlammartigen Abfälle und werden daher in diesem Bericht nicht weiter behandelt.

Das Abfallverzeichnis listet in Summe knapp 900 Abfallarten auf, von denen rund 120 zu den schlammartigen Abfällen gezählt werden (siehe Anhang F). Die weitere Aufschlüsselung wird nachfolgend am Beispiel „01 - Abfälle die beim Aufsuchen... von Bodenschätzen entstehen“ aufgezeigt.

Code	Klassierung	Abfallbeschreibung
01 01		Abfälle aus dem Abbau von Bodenschätzen
...		
01 05		Bohrschlämme und andere Bohrabfälle
01 05 04		Schlämme und Abfälle aus Süsswasserbohrungen
01 05 05	S	ölhaltige Bohrschlämme und Abfälle
01 05 06	S	Bohrschlämme und andere Bohrabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten
01 05 07		Byrithaltige Bohrschlämme und -abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 01 05 05 oder 01 05 06 fallen
...		

Tabelle 2: detaillierte Aufschlüsselung nach dem Abfallverzeichnis am Beispiel „Bohrschlämme und andere Bohrabfälle“ (8). Das „S“ in der Spalte „Klassierung“ bezeichnet Sonderabfälle.

Besonderes Augenmerk hinsichtlich Umwelrelevanz galt Schlämmen, die nach VeVA als Sonderabfälle klassifiziert wurden (siehe *Tabelle 2*). Die Definition für Sonderabfälle nach VeVA Artikel 2 lautet wie folgt:

Sonderabfälle: Abfälle, deren umweltverträgliche Entsorgung auf Grund ihrer Zusammensetzung, ihrer chemisch-physikalischen oder ihrer biologischen Eigenschaften auch im Inlandverkehr umfassende besondere technische und organisatorische Massnahmen erfordert. (7)

Für Sonderabfälle liegen dem BAFU detaillierte Angaben über Massenströme und Entsorgungswege vor (11), welche nachfolgend ausgewertet wurden.

3.2 Massenströme der als „Sonderabfälle“ klassifizierten Schlämme

Im Abfallverzeichnis nach Art.2 VeVA (8) wurden 65 Schlämme als Sonderabfälle klassifiziert. Massenströme an urS, die als Sonderabfälle deklariert wurden einschliesslich In- und exportierten Abfällen in den Jahren 2009 und 2010, sind in *Abbildung 2* gezeigt. Eine detaillierte Auflistung mit Mengenangaben und Entsorgungswegen ist in *Anhang G* aufgeführt. Angaben dazu wurden der Sonderabfallstatistik 2009 und 2010 des BAFU entnommen (12).

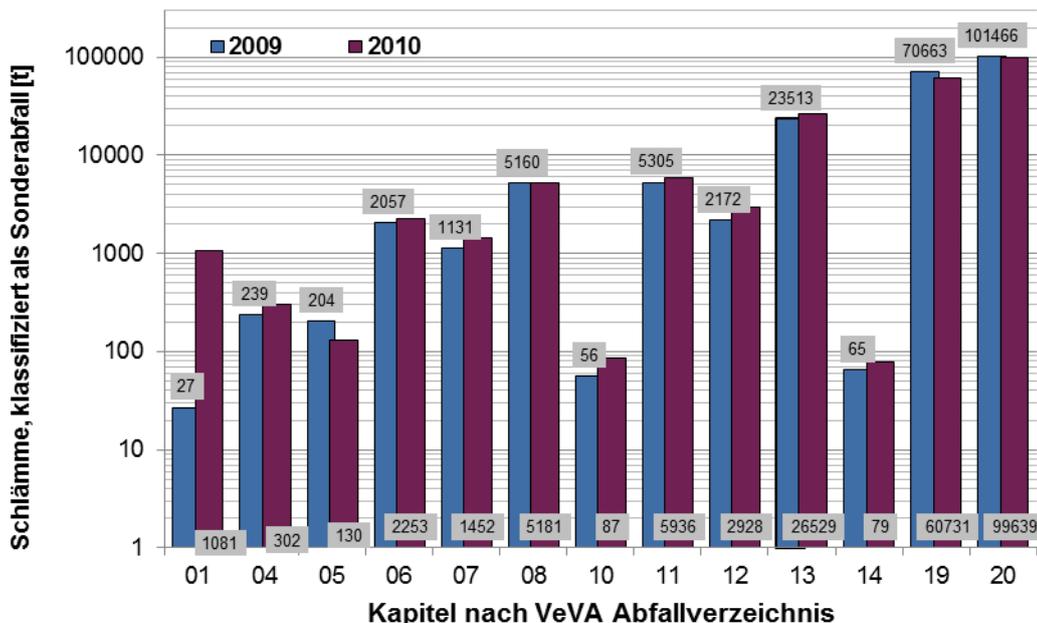


Abbildung 2: Gegenüberstellung der als Sonderabfall deklarierten Schlämme nach Kapiteln des VeVA Abfallverzeichnisses (siehe *Tabelle 1*). Die blauen Balken stellen den gesamt Schlammanfall im Jahr 2009, die violetten Balken den Schlammanfall 2010 dar.

Der mit Abstand grösste Anteil an urS in den Jahren 2009 und 2010 fiel in den Bereichen Abfall- und Abwasserbehandlungsanlagen (Kap. 19) sowie Siedlungsabfälle (Kap. 20) an. Zusammen ergaben diese beiden Fraktionen im Jahr 2010 rund 160'000 t, was einem Anteil von über 75% des Gesamtschlammvolumens (206'000 t) entspricht. Auf eine detaillierte Aufteilung wird nachfolgend näher eingegangen.

Zu beachten ist zudem der starke Zuwachs an umweltrelevanten Schlämmen im Zusammenhang mit *Aufsuchen und Ausbeuten von Bodenschätzen (Kap. 01)*. Ölhaltige Bohrschlämme und Abfälle (Code 01 05 05), sowie Bohrschlämme und Abfälle, die gefährliche

Stoffe enthalten (Code 01 05 06) stiegen von 27 Tonnen im Jahr 2009 auf 1081 Tonnen im Jahr 2010.

Um festzustellen, welche Schlammarten den grössten Anteil an den Sonderabfällen ausmachen, wurde die Sonderabfallstatistik 2010 detaillierter betrachtet. So wurden 8 Abfallarten identifiziert, die zusammen mehr als 90 % des Gesamtschlammvolumens von 206'300 t ausmachen. Die Schlämme sind in untenstehender Tabelle aufgeführt.

Code:	Beschreibung	Sonderabfälle 2010 [t]				
		D	V	CP	R	Tot.
08 01	Abfälle aus Herstellung, Zubereitung, Vertrieb, Anwendung und Entfernung von Farben und Lacken					
08 01 16	Wässrige Schlämme, die Farben oder Lacke enthalten mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 01 15 fallen	0	2691	1410	94	4195
11 01	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen					
11 01 09	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten	245	0	1062	2443	3750
13 05	Inhalte von Öl-/Wasserabscheidern					
13 05 02	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern	0	2899	20061	3568	26528
19 02	Abfälle aus der physikalisch-chemischen Behandlung von Abfällen					
19 02 05	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	20997	2964	610	12442	37013
19 02 06	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen	1912	493	100	1763	4268
19 08	Abfälle aus Abwasserbehandlungsanlagen anderswo nicht genannt					
19 08 11	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten	0	3769	0	0	3769
19 08 13	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten	176	2072	59	10970	13277
20 03	Andere Siedlungsabfälle					
20 03 06	Schlämme aus Strassenschächten (Strassensammlerschlämme)	14030	6086	18148	61373	99637
		Σ	37360	20974	41450	92653

Tabelle 3: Beschreibung der 8 häufigsten Schlammarten, die zu den Sonderabfällen gezählt werden. Die farbigen Spalten indizieren die Entsorgungswege. (D=Deponierung; V=Verbrennung; CP=Chemisch-Phys. / Biologische Behandlung; R=Recycling)

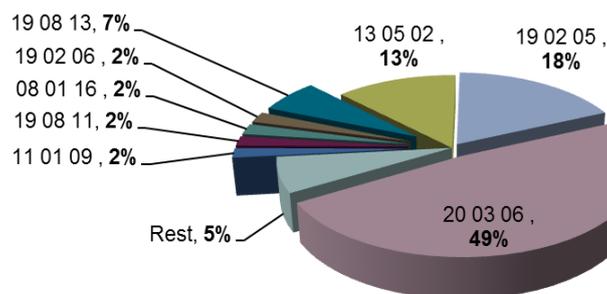


Abbildung 3: Darstellung der 8 grössten Einzelfraktionen der als Sonderabfall deklarierten Schlämme. Addiert ergeben sie rund 93% der Gesamtmenge

3.3 Massenströme umweltrelevanter Schlämme im In- und Ausland

Als Sonderabfall klassifizierte Schlämme wurden 2010 überwiegend im Inland behandelt und entsorgt (11). Die Gesamtmenge betrug rund $m_{\text{Inland}} = 186'500$ t. Der Export von Sonderabfällen war in Ausnahmefällen zulässig, wenn gewährleistet werden konnte, dass eine umweltverträgliche Behandlung erfolgte. Im Jahr 2010 betrug die Gesamtmenge der im Ausland behandelten Schlämme $m_{\text{Export}} = 16'670$ t. Im selben Zeitraum wurden ebenfalls $m_{\text{Import}} = 3'130$ t umweltrelevante Schlämme zur Aufbereitung und Entsorgung in die Schweiz importiert. Detaillierte Angaben dazu sind aus *Anhang G* ersichtlich.



Abbildung 4: Prozentuale Anteile von Sonderabfällen, die 2009 (links) und 2010 (rechts) im In- und Ausland verarbeitet / entsorgt wurden

Im Jahr 2009 wurden 81 % der umweltrelevanten Schlämme, die in der Schweiz als Sonderabfälle anfielen, auch im Inland behandelt. Dieser Anteil wurde im Jahr 2010 auf 90% gesteigert.

3.4 Entsorgungswege

Die Entsorgungswege der acht bedeutendsten Einzelfractionen an urS, die als Sonderabfall klassifiziert wurden, sind in *Abbildung 5* dargestellt.

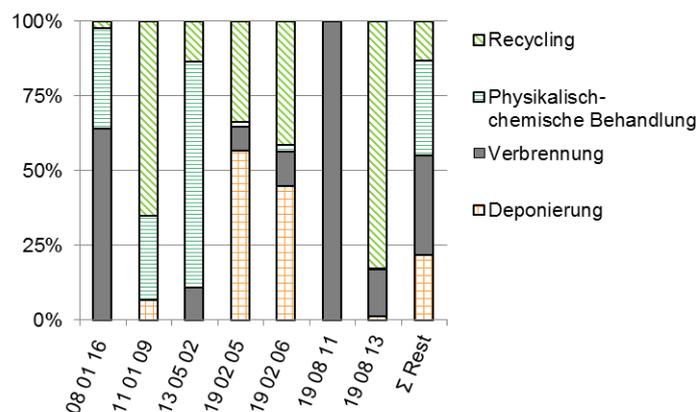


Abbildung 5: Darstellung von Entsorgungsarten der 8 wichtigsten Einzelschlammfraktionen aus der Sonderabfallstatistik 2010.

Mit 48.1 % wurde im Jahr 2010 der grösste Anteil an urS recycelt. 10.9 % der Schlämme wurde der Verbrennung, 19.4 % der Deponierung und 21.5 % der chemisch physikalischen Behandlung zugeführt.

3.5 Auswahl relevanter Schlämme für vertiefte Abklärungen

Nach Auswertung der Abfallstatistiken und Sichtung diverser öffentlich zugänglicher Quellen wurden, nach Rücksprache mit dem BAFU, die folgenden Schlammarten für eine vertiefte Abklärung ausgewählt. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine mit anderen Schlämmen vergleichsweise geringe Umweltrelevanz aufweisen, aber in grossen Mengen auftreten und von einer sehr grossen Anzahl verschiedener Produzenten erzeugt bzw. Lieferanten abgegeben werden.

Bohrschlämme:

Wie in *Kapitel 3.2* beschrieben, wurde in den vergangenen Jahren ein deutlicher Anstieg an anfallenden Bohrschlämmen beobachtet (Code: *01 05 Bohrschlämme und andere Bohrabfälle*). Zusammensetzung und Entsorgungsverfahren sind bisher kaum bekannt.

Betonschlämme:

Betonschlämme sind laut Abfallkatalog (Code: *10 13 14 Betonabfälle und Betonschlämme*) nicht als Sonderabfall deklariert, und daher nicht explizit unter *Kapitel 3* aufgeführt. Die hohe jährlich produzierte Betonmenge von rund 37 Millionen Tonnen (13), die grosse Zahl an Betonzusatzmitteln und der ungewisse Verbleib daraus resultierender Schlämme macht eine vertiefte Abklärung sinnvoll.

Kieswaschschlämme:

Schweizweit sind nahezu 500 Kies- und Betonwerke in Betrieb, welche im Jahr 2009 rund 50 Mio. t Kies produzierten (13). Bei einem geschätzten mittleren Kiesschlammanteil von rund 10% ergeben sich 5 Mio. t Nassschlamm. Zwar ist dieser Schlamm eher gering belastet, wurde aber aufgrund der grossen Menge in unsere vertieften Abklärungen einbezogen.

Im Zusammenhang mit diesem Projekt wurden, neben Internetrecherchen, eine Vielzahl an Telefonaten mit Firmen und Entsorgungsbetrieben, sowie persönliche Gespräche mit Baustellenpersonal durchgeführt. Trotzdem sei darauf hingewiesen, dass unsere Angaben zu den Massenströmen und Entsorgungswegen der relevanten Schlämme in vielen Fällen nicht auf „offiziellen“ und belastbaren Daten beruhen. Sie sind vielmehr als Abschätzungen im Sinne einer groben Übersicht zu verstehen.

4 Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen

Steigendes Umweltbewusstsein, sowie der Preisanstieg bei fossilen Energieträgern, fördert die Nachfrage nach erneuerbare Energien wie beispielsweise die Geothermie. Beim Installieren von Erdsonden zum Nutzen der Geothermie fallen grosse Mengen an Bohrschlämmen an. Diese bestehen überwiegend aus einer Mischung feinen Bohrkleins (zertrümmertes Gestein) und Spülflüssigkeit. Schweizweit kommen hauptsächlich zwei Bohrverfahren für Erdwärmesondenbohrungen zum Einsatz:

Imlochhammerbohrung (ILHB)

Die Schlagenergie für den Bohrkopf wird mittels Druckluft aufgebracht, die Rotation des Bohrkopfes wird über das Gestänge übertragen. Das Imlochhammerverfahren wird überwiegend im standfesten Gebirge eingesetzt. Das Bohrklein wird mittels der Druckluft, welche den Bohrkopf antreibt und durch zusätzliches Spülwasser gefördert. In der Schweiz werden rund 80% der Erdwärmesondenbohrungen im Imlochhammerverfahren durchgeführt (14).

Rotationsspülbohrverfahren

Bei Rotationsspülbohrungen wird der Bohrkopf hydraulisch über die Spülflüssigkeit angetrieben. Das Verfahren wird fast ausschliesslich im Lockergestein eingesetzt. Die Spülflüssigkeit, auch als Stützflüssigkeit bezeichnet, erzeugt einen hydrostatischen Druck im Bohrloch und stabilisiert dessen Wandung. Das Bohrgut wird mit der Bohrspülung im Ringraum zwischen Bohrgestänge und Gebirge ausgetragen (14).

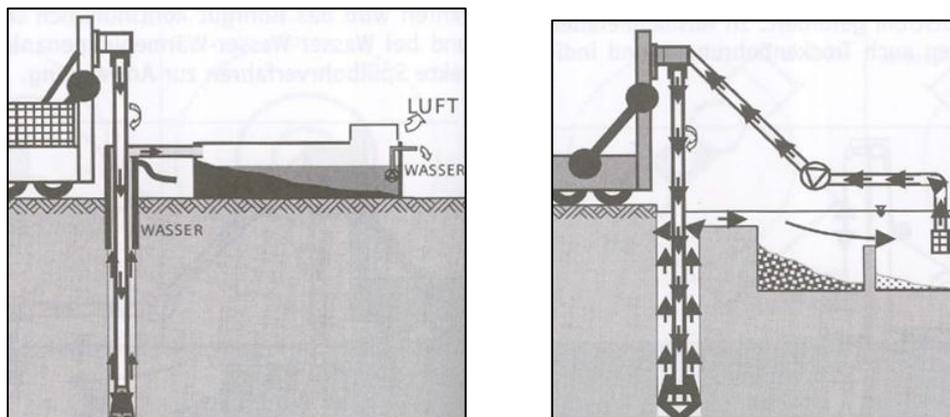


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Imlochhammerbohrverfahren (links) und Spülbohrverfahren (rechts) auf Grossbaustellen (mit angedeutetem Absetzbecken). (15)

4.1 Verordnungen und Normen bei Erdsondenbohrungen

Das Merkblatt des BAFU „Wärmenutzung aus Boden und Untergrund“ (16) fasst in Kapitel 2.2 die Umweltauflagen in Bezug auf Erdwärmesonden (EWS) zusammen und verweist auf die relevanten Regelwerke.

BUWAL Wegleitung Grundwasserschutz (17)

Die Richtlinie ist eine Vollzugshilfe des BAFU (vorher BUWAL) um Rechtsbegriffe und Verordnungen im Bereich Grundwasserschutz zu konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis zu ermöglichen. Unter *Kapitel 2.2* sind Schutzmassnahmen und Nutzungsbeschränkungen aufgeführt, welche beispielsweise Erdsondenbohrungen in Gewässerschutzbereichen und Grundwasserschutzzonen einschränken.

SIA 384/6 – Erdwärmesonden (14)

Die SIA Norm 384/6 regelt Planung, Ausführung und Betrieb von Erdwärmesonden. Bohrverfahren und Bohrgutentsorgung sind in *Anhang E.2* (SIA 384/6) beschrieben. Hinsichtlich Grundwasserschutz bei Geothermiebohrungen wird auf die Richtlinie „Wegleitung Grundwasserschutz“ (18) des BAFU verwiesen.

SIA 431 – Entwässerung von Baustellen (19)

Die SIA 431 – Entwässerung von Baustellen, bildet eine grundlegende Empfehlung, wie sinnvoll mit Baustellenabwasser verfahren werden soll um den Gewässerschutz zu gewährleisten. Der Umgang mit Bohr- und Fräsabwasser ist in *Kapitel 5.24* (SIA 431) geregelt.

- Neutrales Abwasser aus Bohrarbeiten muss rezirkuliert oder über ein Absetzbecken gereinigt und versickert werden. In Ausnahmefällen ist eine Ableitung in die ARA erlaubt.
- Alkalisches Abwasser aus Bohrarbeiten muss, sofern die Rezirkulation nicht möglich ist über ein Absetzbecken vorgereinigt, neutralisiert und in die Kläranlage abgeleitet werden (siehe *Abbildung 11, Kapitel 5.1*).
- Werden schwer- oder nichtabbaubare Chemikalien bei Bohrarbeiten eingesetzt, müssen belastetes Abwasser und Schlämme speziell entsorgt werden.

4.2 Entsorgungswege von Bohrschlämmen

Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen werden in der Regel in die Kategorie 01 05 99 nach dem Abfallkatalog eingeordnet (chem. unbelastete Bohrschlämme). Auf mögliche physikalische und chemische Bestandteile wurde in *Kapitel 4.3* näher eingegangen. Grundsätzlich ist die Zusammensetzung des Bohrschlammes vom Bohrverfahren abhängig.

Grundsätzlich fällt beim Immlochhammerbohrverfahren volumenbezogen weniger Bohrschlamm an, als beim Spülbohrverfahren, da der Schlamm einen geringeren Wassergehalt aufweist. Das Durchbohren grundwasserführender Schichten erhöht allerdings durch das zufließende Grundwasser das Schlammvolumen deutlich. Daher ist eine generelle Aussage über den volumenbezogenen Bohrschlammfall bei Erdsondenbohrungen schwierig. Die Entsorgung des Bohrschlammes wird letztendlich von den Kantonen geregelt und ist nachfolgend am Beispiel des Kantons St. Gallen aufgezeigt.

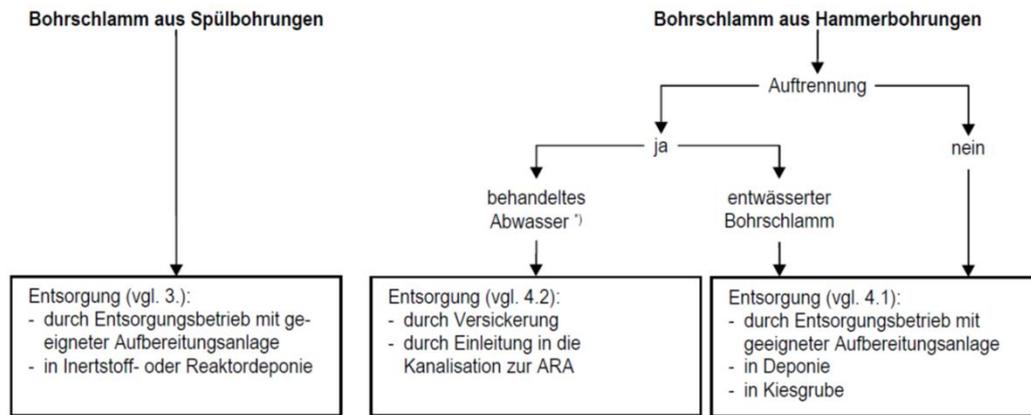


Abbildung 7: Entsorgungsschema der Bohrschlämme des kantonalen Amtes für Umwelt St.Gallen (20)

Die Entsorgungswege von Bohrschlämmen reichen, wie in *Abbildung 7* gezeigt, von Kiesgruben bis hin zu Deponien. Die Verbringung des Bohrschlammes in Kiesgruben stellt für Bohrunternehmungen eine kostengünstige Variante dar. Dies ist allerdings nur zulässig, wenn gewährleistet werden kann, dass die Bohrschlämme nicht chemisch belastet sind (*Anhang C*). In allen anderen Fällen ist eine Verbringung auf eine Deponie, gegebenenfalls mit vorheriger Entwässerung des Schlammes vorzunehmen. In *Abbildung 8*, Absatz 4.3 sind die Entsorgungswege von Bohrschlämmen graphisch dargestellt.

4.2.1 Bohrschlammmentwässerung

Da auf Deponien Gemäss TVA Art. 32 Satz 2a, keine flüssigen Abfälle abgelagert werden dürfen, müssen Bohrschlämme vor der Deponierung entwässert werden. Dies erfolgt entweder direkt auf der Baustelle oder bei speziell ausgerüsteten Entsorgungsunternehmen.

Bohrschlammmentwässerung auf der Baustelle

Bei Grossprojekten ist es üblich den Bohrschlamm direkt vor Ort auf der Baustelle zu entwässern. Dazu wird der Bohrschlamm über Absetzbecken geleitet um Feststoffe zu sedimentieren. Teilweise ist die Zugabe von Flockungsmittel notwendig. Die Klarwasserphase wird in die Kanalisation eingeleitet, oder direkt vor Ort versickert. Die Versickerung ist nur zulässig, wenn Grenzwerte für Industrieabwässer für die Einleitung in öffentliche Gewässer nach der GSchV (*Anhang A, Kolonne 1*) eingehalten wurden. Nach Information von Entsorgungsunternehmen werden bei Grossprojekten üblicherweise die Durchsichtigkeit nach Snellen und der pH Wert durch Mitarbeiter der örtlichen Kläranlagen oder kantonalen Umweltbehörden kontrolliert, bevor das Wasser zur Ableitung frei gegeben wird. Bei Kleinbaustellen werden in der Praxis allerdings nur selten Kontrollen durchgeführt.

Bohrschlammmentwässerung bei speziell ausgerüsteten Entsorgungsbetrieben

Bei geringem Bohrschlammaufkommen ist eine Entwässerung auf der Baustelle unrentabel. Neben der Entsorgung des Bohrschlammes in Entwässerungsteichen von Kiesgruben wird auch eine Entwässerung bei geeigneten Entsorgungsbetrieben durchgeführt. Bei der von uns besichtigten zentralen Aufbereitungsanlage wurde der angelieferte Bohrschlamm zunächst von feinem Kies (> 5 mm) getrennt. Dem verbleibenden Feinschlamm wurde ein Flüssigpolymer als Flockungsmittel zugegeben und der sedimentierte Schlamm im

Anschluss über eine Siebbandpresse entwässert. Das Abwasser wurde in die Kanalisation eingeleitet. Der Filterkuchen (Restfeuchte 35-40%) wurde zusammen mit der Kiesfraktion auf einer Inertstoffdeponie abgelagert. In dieser Anlage wurden in den Jahren 2010 und 2011 je ca. 5'000 t Bohrschlamm verarbeitet. Bohrschlämme aus Tiefen- Geothermiebohrungen wurden dort bisher nicht verarbeitet (Einstufung als Sonderabfälle nach VeVA Abfallverzeichnis), sondern ausschliesslich Schlämme aus Erdsondenbohrungen.

4.2.2 Bohrschlammentsorgung am Beispiel einer Deponie in der Ostschweiz

Beispielhaft wird die Bohrschlammentsorgung in einer Ostschweizer Deponie näher betrachtet. Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen wurden dort in der Vergangenheit (bis 2010) unbehandelt mit einem Wasseranteil von bis zu 90% angeliefert. Auf der Deponie wurden diese Schlämme in eigens dafür vorgesehenen Sickerweihern zwischengelagert. Die Entwässerung auf diesem Wege war allerdings nicht zufriedenstellend und die Ablagerung des pastösen Materials führte zu Stabilitätsproblemen auf der Deponie. Aus diesem Grund wurden später Versuche mit Flockungsmitteln und Filterpressen durchgeführt, welche eine gute Entwässerung des Schlammes gewährleisteten. Heute wird die Bohrschlammmentwässerung von externen Aufbereitungsfirmen durchgeführt (eine solche Anlage wurde von uns besichtigt) und nur der Filterkuchen in die Deponie verbracht. Der Bohrschlamm hat nach der Entwässerung eine stichfeste Konsistenz und bereitet daher keine Schwierigkeiten bei der Deponierung. In diesem Fall waren nicht gesetzliche Vorgaben, sondern vielmehr ökonomische Überlegungen, ausschlaggebend für einen geänderten Entsorgungsprozess.

4.3 Massenströme der Bohrschlämme aus Erdsondenbohrungen

Die Anzahl neu installierter Erdwärmesonden stieg in den vergangenen Jahren kontinuierlich an. 2010 wurden laut Fachvereinigung für Wärmesonden in der Schweiz (FWS) 2'303'800 Laufmeter Erdwärmesonden gebohrt (Siehe *Abbildung 8*.)

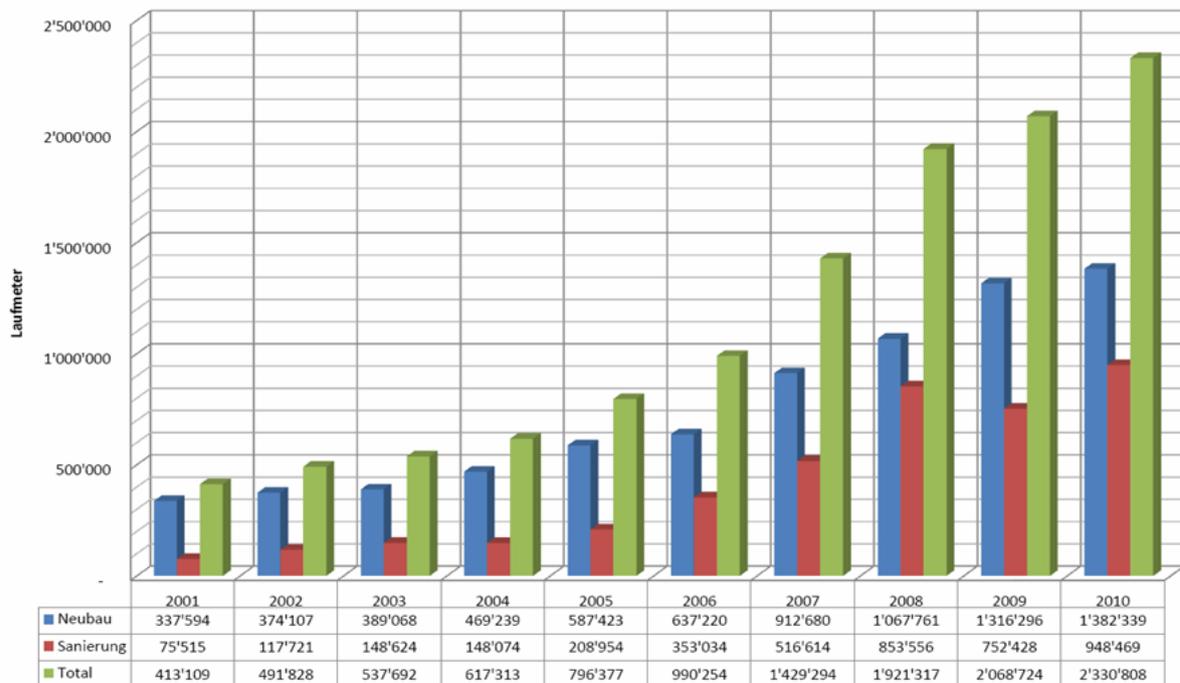


Abbildung 8: Verteufte Erdwärmesonden in Laufmeter pro Jahr (21)

Nach Einschätzung der von uns angefragten Bohrmeister fällt im Mittel etwa das fünffache Bohrlochvolumen als Bohrschlamm an. Bei einem Bohrdurchmesser von 150 mm und einer Gesamtmenge von 2'330'800 verteuften Laufmetern (schweizweit im Jahr 2010) errechnet sich daraus ein Bohrlochvolumen von etwa $V_{BL} = \pi \cdot (d/2)^2 \cdot l = 41'200 \text{ m}^3$.

Der Nassschlammanteil ist dementsprechend $V_{BS} = V_{BL} \cdot 5 = 206'000 \text{ m}^3$.

Der Trockensubstanzgehalt (TS) wurde aufgrund des Bohrlochvolumens und einer geschätzten durchschnittlichen Dichte des ausgetragenen Felsgesteins von 2.5 t/m^3 berechnet ($\rho_{\text{Granit}} = 2.6 - 2.8 \text{ t/m}^3$; $\rho_{\text{Erdreich}} = 1.5 - 1.6 \text{ t/m}^3$). Aufgrund des felsigen Untergrundes, in dem der Grossteil der Schweizer Erdsondenbohrungen niedergebracht werden, wird bei der TS Berechnung von einer geringen Porosität $< 5 \%$ ausgegangen. Die Trockensubstanz des schweizweit angefallenen Schlammes aus Erdsondenbohrungen im Jahr 2010 betrug demnach $m_{BS} = 41'200 \text{ m}^3 \cdot 2.5 \cdot 0.95 = 97'850 \text{ t}$ (rund **100'000 t/J**). Die relativen Massenströme der EWS- Bohrschlämme wurden anhand von Informationen von Bohrfirmen, Entsorgungsbetrieben und Deponiebetreibern abgeschätzt und sind in *Abbildung 10* dargestellt.

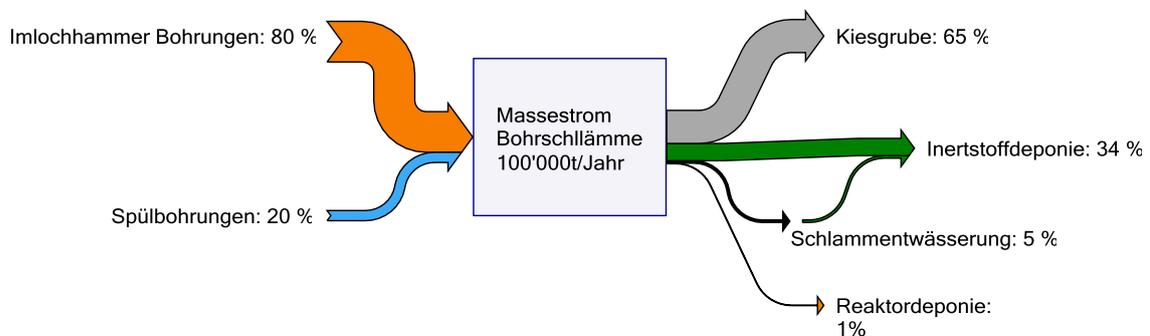


Abbildung 9: Massenströme der Bohrschlämme (Trockensubstanz) mit Entsorgungswegen. Die Angaben basieren auf konkreten Angaben von einzelnen Bohrfirmen, Entsorgungsunternehmen und Deponiebetreibern und wurden schweizweit extrapoliert.

4.4 Physikalisch / chemische Zusammensetzung des Bohrschlammes

Die Zusammensetzung von Bohrschlämmen kann stark variieren. Das Bohrverfahren mit den verwendeten Bohrzusatzstoffen (*siehe Kapitel 4.2*) und eventuelle Vorbelastungen des Bodens durch natürliche oder anthropogene Quellen sind die Haupteintragspfade möglicher Schadstoffe.

In der folgenden Tabelle sind mögliche Inhaltsstoffe von Bohrschlämmen mit einer Kurzbeschreibung und ihrer Gefährdungsklasse gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (22) dargestellt. Die Liste bezieht sich überwiegend auf Inhaltsstoffe von Bohrspülungen für oberflächennahe Geothermie-Bohrungen. Die Angaben wurden anhand von Literaturrecherche, Onlinequellen sowie vertraulich zu behandelnden Angaben von Bohrfirmen und Vertreibern von Bohrspülungen zusammengetragen. Sie dienen als Grundlage um gezielte und aussagekräftige Analysen hinsichtlich möglicher Umweltschadstoffe durchführen zu können.

Überblick möglicher Bohrschlamminhaltsstoffe					
Spülungsbestandteile:		chem. Inhaltsstoffe:	Kurzbeschreibung:	Gefahrenklasse	Konzentration
Gruppe:	Name:				
Tonsuspensionen:	Betonite		klassische Borspülung zum stützen des Bohrlochs	nicht kennzeichnungspflichtig	20 g/l
	Betonit incl. Additive	H ₂ Al ₂ O ₆ Si Betonit / Quarz / Calciumsulfat / Tridymit	Bohrlochstabilisierung	nicht kennzeichnungspflichtig	20 g/l
Beschwerungsstoffe:	Schwerspat	BaSO ₄	Beschwerungsstoffe zur Erhöhung der Spüldichte	nicht kennzeichnungspflichtig	4 g/l
	Kreide	CaCO ₃		nicht kennzeichnungspflichtig	4 g/l
	Eisenkarbonat	FeCO ₃		nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
	Hämatit	Fe ₂ O ₃		nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
Native Polymere:	XC Polymer		Regulierung der Flieseigenschaften; Schutzkolloide gegen schädliche Elektrolyteinflüsse, stabilisierung des Bohrlochs	nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
	Guar Gum			nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
	Stärke	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n		nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
chem. Mod. Polymere:	modifizierte Stärke			nicht kennzeichnungspflichtig	0.5 - 4 g/l
	Na-CMC			nicht kennzeichnungspflichtig	0.5 - 9 g/l
	Hydroxyethylcellulose HEC			nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
vollsynthetische Polymere:	Polyacrylat			nicht kennzeichnungspflichtig	0.4 - 5 g/l
	Polyacrylamid			nicht kennzeichnungspflichtig	0.4 - 5 g/l
	Polyfinilsulfonate	(C ₂ H ₃ NaO ₃ S) _n		nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
	Copolymere			nicht kennzeichnungspflichtig	k.A.
Schmiermittel	Polymerbasierte Schmiermittel	anionisches wasserlösliches Polymer als Emulsion in aliphatischen Kohlenwasserstoffen	Schmier- und Flockungsmittel	Einstufung GHS07: Reizend	1 - 5 g/l
	Zellulosebasierend	Polyanionische Cellulose	Schmiermittel bei Trockenbohrungen (biologisch abbaubar)	Einstufung GHS09: schwach Wassergefährdend	5 - 20 g/l
	Fette, Öle		Schmierung der Rohrverbindungen	Einstufung GHS09: Wassergefährdend	k.A.
pH-Wert Regulatoren:	Natriumhydroxid		pH- Wert regulation zur Verhinderung von Korrosion	Einstufung GHS05: Ätzend	k.A.
	Natriumkarbonat (Soda)	NaCO ₃		Einstufung GHS07: Reizend	k.A.
	Kalziumhydroxid	Ca(OH) ₂		Einstufung GHS05: Ätzend; GHS07: Reizend	k.A.
Flockungsmittel	Polyaluminiumchlorid (PAC)		Verbesserung der Sedimentation von Feinstpartikeln im Bohrschlamm	Einstufung GHS07: Reizend	k.A.
	Eisen (III) Chlorid			Reizend	5-10 mg/l
	kationische Polymere			GHS08: Gesundheitsschädlich, GHS07: Reizend,	8-12 g/kg TS

Tabelle 4: Zusammenstellung möglicher Bohrschlamminhaltsstoffe (23) Die Inhalte dieser Liste beziehen sich überwiegend auf Bohrschlämme aus der oberflächennahen Geothermie. Gefahrenklassen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008. Konzentrationsangaben sind überschlägige Abschätzungen (24) (25) (26).

Neben den geologischen Besonderheiten des Untergrunds ist vor allem das verwendete Bohrverfahren ausschlaggebend für die Zusammensetzung des Bohrschlammes.

Bei Bohrungen nach dem ILHB-Verfahren ist keine bohrlochstabilisierende Stützflüssigkeit notwendig. Daher wurden die Proben des Bohrschlammes vorwiegend auf Rückstände von Schmiermitteln, pH-Wert- Regulatoren sowie Rückstände von Flockungsmitteln untersucht.

Bei Spülbohrungen ist die „Rezeptur“ der Spülflüssigkeit unübersichtlicher und kann die gesamte Bandbreite der in Tabelle 4 aufgelisteten Inhaltsstoffe umfassen. Der Grossteil der aufgezeigten Additive ist laut EG Verordnung Nr. 1272/2008 nicht kennzeichnungspflichtig und zudem meist stark verdünnt. Analysen von Spülbohrungen wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt, da der Grossteil der in der Schweiz verteuften EWS Bohrungen nach dem Imlochhammerverfahren ausgeführt wurden.

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass im Verlauf der Recherche mit mehreren Bohrfirmen intensive Gespräche geführt wurden, sowie Baustellen besichtigt wurden. Der Eindruck, der dabei entstand, zeugte von der hohen fachlichen Kompetenz des Bohrpersonals, auch bei kleineren Bohrfirmen.

4.5 Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Bohrschlämmen

Um das Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Bohrschlämmen abschätzen zu können, wurde aufgrund der dürftigen Datenlage eine Laboranalyse seitens UMTEC veranlasst. Aus diesem Grund wurde eine Bohrschlamm-Mischprobe vom Schlamm aus mehreren Erdwärmesonden-Baustellen angelegt und analysiert.

4.5.1 Entnahme der Bohrschlammprobe:

Die Schlammprobe wurde bei einem Entsorgungsbetrieb beschafft, welcher zum Zeitpunkt der Probenahme Schlamm aus drei Erdwärmesonden Baustellen verarbeitete. Auf allen drei Baustellen wurde mittels ILHB-Verfahren gebohrt. Das Material wurde beim Entsorgungsbetrieb in einem dafür vorgesehenen Rührtank zwischengelagert, bevor es über eine Filterpresse entwässert wurde. Die Probe wurde am Ausfluss des Rührtanks entnommen. Dadurch konnte eine homogene Mischung der Probe gewährleistet werden. Eine schematische Übersicht der Bohrschlammmentwässerungsanlage ist in *Abbildung 10* dargestellt.

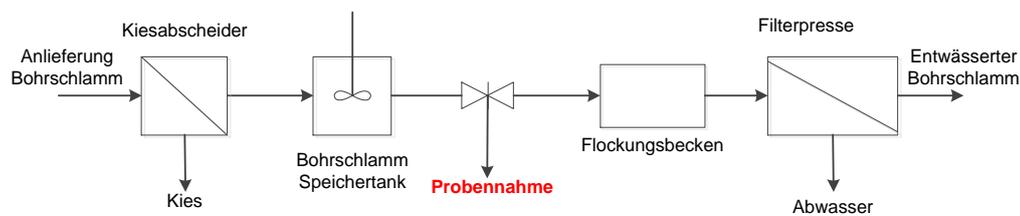


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Bohrschlamm Probenahme

Die Probe wurde am 21.02.2012 von einem Projektingenieur des UMTEC entnommen. Die Anlage befand sich zum Zeitpunkt der Probenahme in Betrieb, wodurch eine homogene Mischung des Rohschlammes gewährleistet war. Vor der Probenahme wurde für 5 Sekunden Rohschlamm über das Entnahmeventil abgelassen um Sedimentation oder Aufkonzentration von ölhaltigen Rückständen in der Rohrleitung vorzubeugen. Anschliessend wurde die Probe gezogen, in ein 2 l PE Gefäss eingefüllt und direkt im Anschluss zum Analyselabor verbracht. Die Analyseergebnisse sind in *Tabelle 5* aufgeführt.

4.5.2 Analyseergebnisse des Bohrschlammes

Der Bohrschlamm wurde von der Bachema AG zunächst getrocknet und gemäss TVA analysiert. Die Analysen beziehen sich also auf die Trockensubstanz (TS). Mögliche Schadstoffbelastungen des Wassers wurden nicht untersucht. Folgende Parameter wurden im getrockneten Schlamm analysiert:

- Kohlenwasserstoff-Index C₁₀-C₄₀ (schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe)
- GC-Fingerprint (siehe *Anhang E*)
- Schwermetall-Fingerprint, Element- Übersicht mit Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
- Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Element	Bohrschlamm Analyse [mg/kg TS]	Richtwert TVA unverschmutzt [mg/kg]	Grenzwert TVA Inertstoffdeponie [mg/kg]
<i>Schwermetalle</i>			
Antimon (Sb)	<1		30
Arsen (As)	<5	15	30
Blei (Pb)	11	50	500
Cadmium (Cd)	<0.8	1	10
Chrom (Cr)	34	50	100
Kobalt (Co)	<10		
Kupfer (Cu)	10	40	500
Molybdän (Mo)	2	2	
Nickel (Ni)	32	50	500
Quecksilber (Hg)	<0.1	0.5	2
Thallium (Tl)	<2		
Zink (Zn)	50	150	1000
Zinn (Sn)	2		
<i>Organische Summenparameter</i>			
KW-Index (C10-C40)	498	50	500
Anteil KW > C40 [%]	<20		
<i>Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)</i>			
Summe PAK	<0.50	3	25
Benzo(a)pyren	<0.05	0.3	3

Tabelle 5: Resultate der Bohrschlammanalyse mit Gegenüberstellung der Richt- und Grenzwerte nach TVA

Die Analyse auf Schwermetalle ergab grundsätzlich Resultate im Bereich der natürlichen Hintergrundbelastung. Allerdings waren die für Stahlveredler typischen Schwermetalle (Cr, Ni, Mo) etwas über den üblichen Hintergrundwerten erhöht, was wir auf einen Abrieb des Bohrkopfes respektive des Bohrgestänges zurückführen. Die Richtwerte für unverschmutztes Aushub- und Ausbruchmaterial wurden nicht überschritten. Ebenso lagen die Analyseergebnisse für PAK bei der untersuchten Probe innerhalb der Richtwerte für unverschmutztes Material.

Der KW-Index (C₁₀-C₄₀) lag mit 498 mg/kg TS dagegen deutlich über dem Richtwert für unverschmutztes (50 mg/kg) und tolerierbares (250 mg/kg) Aushubmaterial und reichte knapp an die maximal zulässige Konzentration für Inertstoffdeponien heran (Grenzwert 500 mg/kg). Die Analyse durch den GC-Fingerprint ergab Rückstände von mittelsiedenden Ölen, welche eine Ursache für den erhöhten KW Index darstellen können (siehe *Anhang F* für weitere Details).

5 Betonschlämme

Beton ist in der Bauindustrie allgegenwärtig. Er besteht überwiegend aus Zement, Kiessand und Anmachwasser. Schweizweit wurden laut Jahresbericht des Fachverbands der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie im Jahr 2009 rund 37 Mio. t Beton produziert. Bei der Produktion und Verarbeitung fallen sogenannte Betonschlämme an, welche nach ihrer Entstehungsart unterschieden werden:

- Betonhaltige Baustellenschlämme

Auf Baustellen im Hoch und Tiefbau fallen schlammhaltige Abwässer an, welche üblicherweise durch Absetzbecken vorgeklärt werden. Diese Schlämme sind nicht per se betonhaltig. So sind Schlämme, die aus Grundwassereinbrüchen resultieren und nicht anderweitig verunreinigt wurden häufig unverschmutztes Material nach TVA. Oftmals sind Schlämme auf Baustellen jedoch mit Rückständen aus Betonbauarbeiten verunreinigt. Derartige Schlämme mit Betonanteilen werden hier zu den Betonschlämmen gezählt.

- Schlämme aus Betonwerken

Bei der Produktion und dem Umschlag von Frischbeton in Betonwerken fallen durch Reinigungsarbeiten von Fahrzeugen und Mischern signifikante Mengen an alkalischen Schlämmen an, welche fachgerecht entsorgt werden müssen. Da die Mischertrommeln zwecks Schutz vor „Anbackungen“ und Korrosion teilweise mit Dieselöl abgeschmiert werden, können solche Betonschlämme substanzielle Mengen an Kohlenwasserstoffen enthalten.

- Schlämme aus dem Tunnelbau- und unterhalt

Im Schweizer Verkehrsnetz waren im Jahr 2011 mehr als 2'000 km Tunnel in Betrieb (15). Sowohl beim Bau als auch im Unterhalt dieser Tunnel fallen grosse Mengen an schlammartigen Materialien an. Potenziell umweltrelevant sind vor allem Schlämme aus der Tunnelwasser- und Materialaufbereitung. Auf grossen Tunnelbaustellen werden zudem Betonwerke betrieben, bei denen Betonschlämme anfallen.

- Jettingschlämme

Beim Jettingverfahren wird Zement unter hohem Druck in vorgebohrte Löcher injiziert. Dabei durchdringt der Zement den umliegenden Untergrund und bildet mit diesem eine Betonsäule. Dieses Verfahren wird zur Verfestigung des Untergrundes oder losen Gesteinsschichten im Tunnelbau eingesetzt.

Bei Freisetzung von Betonschlämmen in aquatische Ökosysteme werden diese insbesondere aufgrund des hohen pH-Wertes von Zement belastet. Normen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) zum verantwortungsvollen Umgang mit Beton sind nachfolgend aufgeführt.

5.1 Verordnungen und Normen zu Betonschlämmen

SIA 162.051 / EN 206-1: 2000 – Beton – Teil 1 (27)

Die SIA Norm 162.051 gilt für Beton, der sowohl in Ortbetonbauwerken, als auch in Fertigbetonteilen verwendet wird. Sie legt Anforderungen hinsichtlich der Betoneigenschaften

und deren Nachweis fest. Weiterhin werden die zugelassenen Betonausgangsstoffe festgelegt, sowie Einschränkungen für die Betonzusammensetzung definiert.

SIA 197:2004 - Projektierung Tunnel – Grundlagen (28)

Die SIA Norm 197 enthält die Grundlagen, welche bei der Projektierung von Verkehrstunneln relevant sind. In *Kapitel 5.1* (SIA 197) ist definiert, dass gemäss Vorsorgeprinzip alle Massnahmen vorzusehen sind, um negative Umweltbeeinflussungen weitestgehend zu vermindern. *Kapitel 5.2.2* (SIA 197) schreibt Massnahmen vor, um Grund- und Oberflächengewässer zu schützen (siehe SIA 431) Bei grösseren Tunneln wird zudem eine Umweltverträglichkeitsprüfung (*Kapitel 5.2.4*) vorgeschrieben.

SIA 262.611 / EN 14487-1:2005 – Spritzbeton – Teil 1 (29)

Die SIA Norm 162.051 gilt für Spritzbeton der zur Verbesserung und Instandsetzung von Tragwerken, sowie zur Verfestigung des Bodens verwendet wird. Eigenschaften und Zusammensetzung des Spritzbetons werden in der Norm definiert, sowie Prüfverfahren festgelegt.

SIA 431 – Entwässerung von Baustellen (19)

Die SIA 431 – Entwässerung von Baustellen, bildet eine grundlegende Empfehlung zum verantwortungsvollen Umgang mit Baustellenabwasser um den Gewässerschutz zu gewährleisten. Der Umgang mit alkalischem Abwasser und Schlämmen aus Beton und Mörtelaufbereitungsanlagen wird in *Kapitel 5.23* geregelt. Vor der Einleitung in die Kanalisation muss eine Absetzvorrichtung und gegebenenfalls eine Neutralisationsanlage vorgeschaltet werden. In *Anhang 2.13* der SIA 431 wird die Gestaltung eines Absetzbeckens beschrieben.

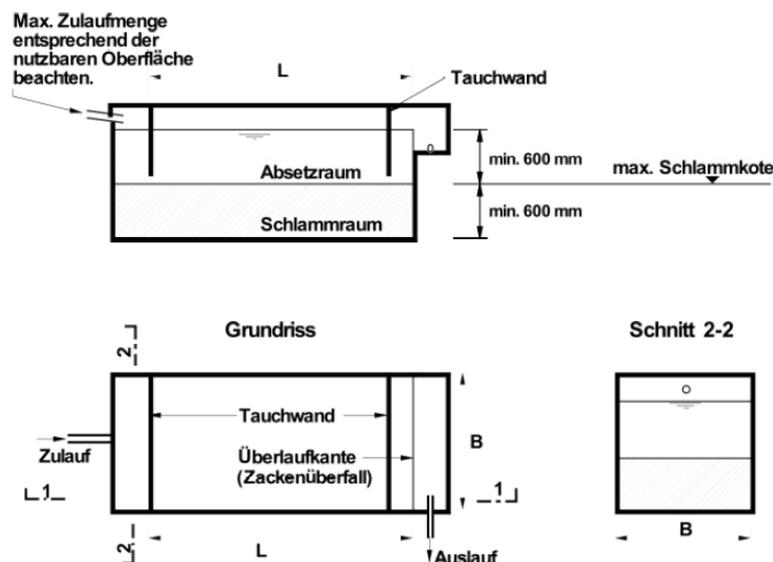


Abbildung 11: Absetzbecken nach SIA 431, Anhang 2.13

Dimensionierung der Becken und die Notwendigkeit eines Grobschlammfangs sind Abhängig vom Schlammfall. Berechnungsbeispiele sind in der SIA 431, *Anhang 2.13* aufgeführt. Der Schlammraum muss periodisch mit Saugwagen oder Bagger entleert werden, um den anfallenden Schlamm TVA-konform zu entsorgen.

5.2 Entsorgungswege

5.2.1 Entsorgung von Betonschlämmen auf Baustellen:

Die Entsorgung von Baustellenschlämmen ist in der Schweiz kantonal geregelt. Im Folgenden wird auf die Entsorgung von Betonschlämmen auf Baustellen im Kanton St. Gallen näher eingegangen. Grundsätzlich ist die Ableitung zementhaltiger Abwässer oder Abwässer mit hohem Feststoffanteil in öffentliche Gewässer oder die Kanalisation untersagt (30). Eine Vorbehandlung mittels Absetzbecken (*Abbildung 11*) und gegebenenfalls Neutralisation ist vorgeschrieben (siehe *Abbildung 12*).

Abwasserart	Behandlung / Ableitung (Regel)	Ableitung (Ausnahme)	Einschränkungen / Bemerkungen
Schmutzabwasser mit hohem pH-Wert, zementhaltiges Abwasser - Pumpensumpf Baugrube - Betonaufbereitung - Betonumschlagplätze - Reinigung von Arbeitsgeräten - Bohr- und Fräsarbeiten	↓ Absetz-/Stapelbecken ↓ Neutralisationsanlage ↓ Schmutz-/Mischabwasserkanalisation → ARA	↓ in Ausnahmefällen nach der Neutralisation oberflächliche Versickerung oder Einleitung in ein Gewässer	<ul style="list-style-type: none"> - Kleine Mengen können nach Rücksprache mit dem AFU oder in der Stadt St.Gallen mit dem ESA auch ohne Neutralisation dosiert in die Schmutz-/Mischabwasserkanalisation abgeleitet werden. - Die Neutralisation muss mit CO₂ erfolgen. - Das neutralisierte Abwasser ist nach Möglichkeit für Reinigungszwecke wieder zu verwenden.

Abbildung 12: Behandlung und Ableitung von Schmutzwasser aus der Betonschlammmentwässerung auf Baustellen, kantonales Amt für Umwelt St.Gallen (30)

Der schlammige Rückstand im Absetzbecken wird üblicherweise auf Inertstoffdeponien entsorgt. Es ist nicht auszuschliessen, dass insbesondere auf Kleinbaustellen anfallende Schlämme direkt vor Ort in Baugruben verfüllt werden. Diese Praxis wurde jedenfalls mehrfach bei unseren Interviews mit Fachleuten erwähnt.

5.2.2 Entsorgung von Betonschlämmen aus Betonwerken:

In der Schweiz wurden nach Angaben des Fachverbandes der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie (FSKB), im Jahr 2010 rund 37 Mio. t Beton produziert (13). Durch tägliche Reinigungsarbeiten an Fahrzeugen und Gerätschaften fallen grosse Mengen an Betonrestwasser an. Dieses Wasser ist aufgrund des hohen pH Werts (bis pH 13) und Schwebstoffanteils problematisch und darf nicht direkt in ein öffentliches Gewässer oder die Kanalisation abgeleitet werden. Schweizweit wird der Grossteil an Betonrestwasser (ca. 80% der Betonwerke) in abgedichteten Sedimentationsbecken zwischengelagert, wo sich die schlammigen Feinstpartikel absetzen. Das geklärte Wasser wird zur Betonproduktion oder der Fahrzeugreinigung herangezogen. Der abgesetzte und ausgehärtete Schlamm wird periodisch abgezogen und entsorgt (siehe *Abbildung 14*).

Wegen begrenzter Platzverhältnisse und gestiegener Anforderungen an die Betonrestwasserreinigung gingen viele Betonwerke dazu über, anfallendes Schlammwasser mittels Aufbereitungsanlage zu entwässern. Im Folgenden ist das Prozessschema einer solchen Betonrestwasseraufbereitung dargestellt.

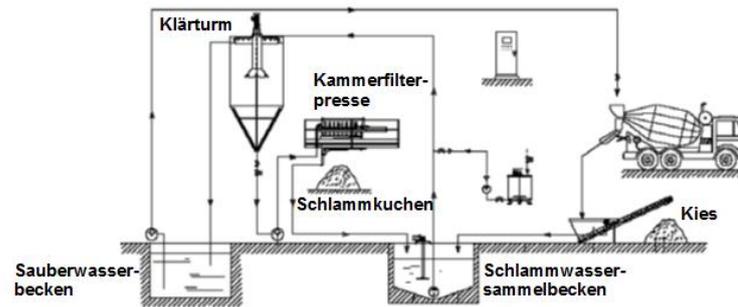


Abbildung 13: Prozessschema Betonrestwasseraufbereitung; Quelle: bluwater.com (31)

Das Waschwasser aus der Fahrzeug- und Anlagenreinigung wird im Grobabscheider von der kiesigen Grobfraktion des Betonrestwassers getrennt. Dieser Kies dient wieder als Rohstoff für die Betonproduktion. Das Restwasser wird im Schlammwasserbecken zwischengelagert und Feinstpartikel werden mittels Rührer in Schwebelage gehalten. Der Rührvorgang ist notwendig um die noch immer reaktiven Zementreste am Anhaften an der Behälterwandung zu hindern. Eine Tauchpumpe fördert das Schlammwasser in den Klärurm, wo, falls erforderlich, ein Flockungsmittel zudosiert wird. Im Klärurm sedimentieren die Feststoffe, wobei ein Räumler auch hier das Anbacken des Betonschlammes an der Behälterwand verhindert. Das geklärte Wasser fließt über den Überlauf in das Sauberswasserbecken, wo es zur Reinigung der Anlage oder der erneuten Betonproduktion zur Verfügung steht. Der sedimentierte Schlamm im Klärurm wird über eine Pumpe abgezogen und einer Kammerfilterpresse zugeführt. Der so entwässerte und dadurch stark volumen- und gewichtsreduzierte Schlamm, welcher eine Restfeuchte von 20-25 % aufweist, wird üblicherweise auf Inertstoffdeponien verbracht (31). Nach Informationen von Betonwerkbetreibern tritt zunehmend die Chrom (VI) Problematik in den Vordergrund. Bei Überschreitung der Grenzwerte für Inertstoffdeponien ($Cr VI > 0.1 \text{ mg/kg}$) muss eine Entsorgung auf Reaktordeponien erfolgen, wodurch die Entsorgungskosten stark erhöht werden. Daher wurde in einigen Fällen dazu übergegangen, die Betonschlämme nach der Aufbereitung wieder in den Produktionskreislauf zurückzuführen.

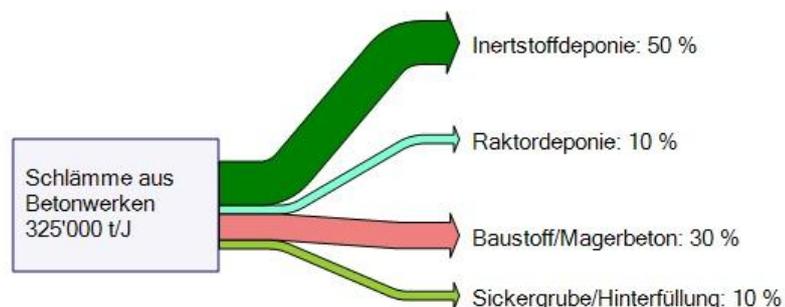


Abbildung 14: Darstellung der Entsorgungswege von Betonschlämmen aus Betonwerken. Die Angaben basieren auf Telefonaten mit Betreibern von Betonwerken und Deponien, sowie Anlagenbauern. Sie beruhen z.T. auf subjektiven Angaben und sind grobe Schätzwerte.

Bei den von uns durchgeführten Interviews wurde zudem von Praktiken berichtet, bei denen Betonrestwasser in Sickergruben gepumpt wurde, um das stark alkalische Restwasser versickern zu lassen. Dies ist aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Wassers, wie im Kapitel 5.4 beschrieben, problematisch.

5.2.3 Entsorgung von Betonschlämmen aus dem Jettingverfahren:

Beim Jettingverfahren wird Zement unter hohem Druck in vorgebohrte Löcher injiziert (siehe *Abbildung 15*). Der Boden wird dadurch verfestigt. Überschüssiges Wasser, welches mit Zement und verunreinigtem Boden vermischt ist, tritt als Jetting-Rückfluss an die Oberfläche. Die Menge des Rückflusses variiert sehr stark und liegt bei vertikalen Pfählen und Bodenverfestigungsmassnahmen bei 10-15 % der injizierten Lösung. Bei horizontalem Jetting, wie im Tunnelbau, beträgt der Jetting-Rückfluss bis zu 70 %.

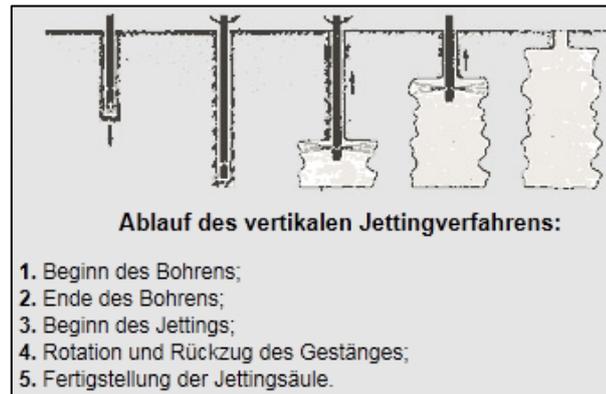


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Jettingverfahrens; Quelle: Rodio Geotechnik AG (32)

Üblicherweise wird der Jetting-Rückfluss abgepumpt, bis zum Erhärten zwischengelagert und im Anschluss auf eine Inertstoffdeponie verbracht. Nach Angaben von Spezialtiefbaufirmen, die Jetting durchführen, kommt es je nach Geologie zu Problemen beim Aushärten des Jettingrückflusses. Das Material trocknet nach der Entwässerung und verfestigt sich zunächst, geht jedoch bei Wasserkontakt wieder in einen pastösen Zustand über. Diese Eigenschaft führt, wie bei Bohrschlämmen in *Kapitel 4.1* beschrieben, zu Stabilitätsproblemen auf Deponien.

Der Chromatgehalt, sowohl für das Abwasser aus der Schlammentwässerung, als auch für den ausgehärteten Rückstand, muss innerhalb der Grenzwerte nach GSchV und TVA liegen. Werden Grenzwerte hinsichtlich Chrom(VI) überschritten, wird eine aufwändige Vorreinigung des Schlammes notwendig (33) um den Chrom(VI) Gehalt entsprechend abzusenken (siehe *Anhang B*). Aufgrund der bestehenden Chromat Problematik wird Jetting in der Schweiz nur dann eingesetzt, wenn es keine praktikablen Alternativen gibt.

5.2.4 Entsorgung von Schlämmen aus dem Tunnelbau:

Der Tunnelbau nimmt hinsichtlich urS eine Sonderstellung ein, da verschiedene schlammartige Materialien in erheblichen Mengen anfallen können. Bei grossen Tunnelbaustellen wird, sofern geeignet, ein Teil des Ausbruchmaterials als Kiesersatz verwertet. Durch die Aufbereitung des Ausbruchmaterials fallen Schlämme an, welche hier zu den Kieswaschschlämmen gezählt werden (siehe *Kapitel 6*). Das gewonnene Grobkorn wird grossteils zu Beton verarbeitet und im Tunnelbau verwendet. Dazu stehen vor Ort Betonwerke zur Verfügung, bei denen, wie unter *Kapitel 5.2.2* beschrieben, Betonschlämme anfallen.

Zur Stabilisierung von Lockergestein im Tunnelbau ist Jetting ein erprobtes Verfahren, wodurch schlammartige Rückstände aus dem Jettingrückfluss entstehen und entsorgt werden müssen. Wie auf allen Grossbaustellen hat auch im Tunnelbau die SIA 431 Gültigkeit, wodurch Absetzbecken zur Baustellenentwässerung vorgeschrieben werden. Der dort zusätzlich

anfallende Schlamm kann Betonrückstände enthalten und muss ebenfalls periodisch abgezogen und entsorgt werden.

In grösseren Tunnelbaustellen fallen beim Vortrieb zusätzlich grosse Mengen an Tunnelabwasser an. Das ist eine Mischung aus anfallendem Bergwasser und eingesetztem Brauchwasser für die Staubbekämpfung (34). Bei der Reinigung dieses Wassers, fallen ebenfalls signifikante Mengen, mit Kohlenwasserstoffen belastete Schlämme an.

Der Volumenstrom an Tunnelwasser kann innerhalb kurzer Zeit stark variieren. während tendenziell mit zunehmender Tunnellänge auch der Wasseranfall zunimmt, steigt durch Anbohren von wasserführenden Schichten der Tunnelwasserstrom sprunghaft an. Aus diesem Grund sind speziell für diese Bedingungen ausgerüstete Wasserbehandlungsanlagen vorzusehen.

Tunnelwasseraufbereitung:

Auf grossen Tunnelbaustellen, wie beispielsweise dem Gotthard Basistunnel, wird anfallendes Tunnelwasser einer entsprechend ausgelegten Wasserbehandlungsanlage zugeführt. In einer ersten Reinigungsstufe wird Sand und Kies abgeschieden. Nach Einmischen eines Flockungsmittels werden über Schrägklärer gleichzeitig dispergierte Öle an der Oberfläche und koagulierte Trübstoffe als Schlamm am Boden des Schrägklärers abgezogen. Der anfallende Schlamm wird entwässert und auf eine Inertstoffdeponie überführt, sofern die Grenzwerte nach TVA (*Anhang B*) eingehalten werden.

Das anfallende Wasser, das durch Betonarbeiten im Tunnel einen erhöhten pH-Wert aufweisen kann, wird mittels CO₂ neutralisiert, bevor es in den Vorfluter (öffentliches Gewässer) eingeleitet wird.



Abbildung 16: Wasserbehandlungsanlage Gotthard Basistunnel; Quelle: Leiblein GmbH (35)

5.3 Massenströme in der Schweiz anfallender Betonschlämme

Nachfolgend sind die Massenströme in der Schweiz anfallender Betonschlämme zusammengefasst.

5.3.1 Massenströme von Betonschlämmen in der Baustellenentwässerung

Durch die grosse Zahl von Baufirmen und der entsprechend grossen Anzahl von Bautätigkeiten ist eine Bilanzierung der Schlämme aus der Baustellenentwässerung schwierig. Anhand von Daten, die von Inertstoffdeponie Betreibern in der Schweiz zur Verfügung gestellt wurden, wurde eine überschlägige Abschätzung vorgenommen. Es wurden 23 Inertstoffdeponien angefragt. Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung lagen von 8 Deponien Daten vor, welche im vergangenen Jahr in Summe rund 2'100 t Schlämme nachweislich aus der Baustellenentwässerung deponierten.

Diese Zahl liegt mit Sicherheit deutlich unter dem tatsächlichen Anfall von Schlämmen in der Baustellenentwässerung. Im Folgenden wird von einer Grössenordnung ähnlich wie bei Bohrschlamm, also rund 100'000 t pro Jahr ausgegangen. In *Abbildung 18* ist eine Übersicht der Entsorgungswege dargestellt.

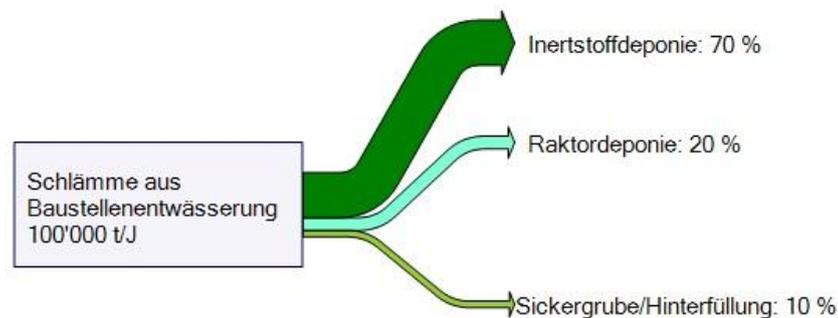


Abbildung 17: Darstellung der Entsorgungswege von Schlämmen aus der Baustellenentwässerung. Die Angaben basieren auf überschlägige Annahmen und müssen nach weiteren Recherchen angepasst werden.

5.3.2 Massenströme von betonhaltigen Schlämmen im Tunnelbau

Schweizweit existieren inzwischen mehr als 2'000 km Tunnelröhren (Strassen; Schiene; Wasser), bei deren Bau in der Vergangenheit grosse Mengen an schlammartigen Materialien angefallen sind. Nach Angaben der Schweizer Fachgruppe für Untertagebau (FGU) wurden und werden in den Jahren 2007 bis 2016 jährlich rund 30 km Tunnel mit einem Ausbruchsvolumen von rund 2.7 Mio. m³ fertiggestellt (36). Der Anfall an urS aus dem Tunnelbau wurde anhand vorliegender Daten vom Gotthard-Basistunnel abgeschätzt und schweizweit extrapoliert.

Im Gotthard-Basistunnel fielen laut FGU 13.3 Mio. m³ Ausbruchmaterial an (siehe *Anhang D*), wovon überschlägig 50% am Südportal ausgetragen wurden. Die Zeit für den Tunnelvortrieb vom Südportal aus, mittels Tunnelbohrmaschine (TBM) betrug rund 8 Jahre. Daraus ergibt sich ein gemittelttes Ausbruchsvolumen von $13.3 \text{ Mio. m}^3 / 2 / 8 = 0.825 \text{ Mio. m}^3/\text{J}$ (Durchschnittswert, gemittelt über 8 Jahre)

Eine schweizweite Extrapolation für den Schlammmanfall ist in *Tabelle 6* aufgezeigt. Angaben über Gesamtschlammmanfall und einen mittleren TS Gehalt wurde auf Anfrage vom Bauherrn zur Verfügung gestellt. Für Betonschlämme aus einem vor Ort installierten Betonwerk (eigene Betreiberfirma), sowie Schlämmen aus den Absetzbecken zur Baustellenentwässerung liegen keine Daten vor und sind daher in der Tabelle nicht berücksichtigt.

		Kiesschlamm	Schlamm aus Tunnelwasseraufbereitung
Gotthardtunnel (Ausbruchvol. 0.83 Mio m ³)	Schlammfall gesamt [t]	ca. 400'000 t	ca. 50'000 t
	Schlammfall pro Jahr [t/J] *	ca. 50'000 t/J	ca. 6'000t/J
	Trockensubstanzgehalt [%]	55-65 %	55-65 %
	Trockenmasse d. Schlamm	ca. 30'000 t/J	ca. 4'200 t/J
Schweizweit (Ausbruchvol. 2.7 Mio. m ³)	Trockenmasse Schlamm Schweizweit [t/J]	ca. 100'000 t/J	ca. 20'000 t/J

Tabelle 6: Abschätzung des jährlichen Schlammfalls im Schweizer Tunnelbau aufgrund von Daten des Gotthard Basistunnels (* jährlicher Schlammfall berechnet aus Gesamtschlammfall / Zeit für Tunneldurchbruch mit TBM (2002-2010 → 8 Jahre).

5.3.3 Massenströme bei Jettingschlämmen

Aufgrund der in Kapitel 5.2.3 dargestellten Problematik bei Jettingschlämmen beschränkt sich nach Informationen der angefragten Firmen, Jetting überwiegend auf wenige Grossbaustellen in der Schweiz. Tunnelbauwerke für Schienen und Autobahntrassen waren in den vergangenen Jahren die grössten Baustellen, bei denen das Jettingverfahren Anwendung fand.

Bei einem im Bau befindlichen Eisenbahntunnelprojekt, fielen bisher rund 70'000 t Schlamm als Jettingrückfluss an. Gemittelt über die Zeit des Tunnelvortriebs (rund 4 Jahre) resultieren daraus rund 17'500 t Jettingschlamm pro Jahr (Trockenmasse). Bei dieser vereinfachten Annahme wird davon ausgegangen, dass der Jettingschlamm gleichmässig während der Zeit des Tunnelvortriebs anfiel.

Des Weiteren wurde bei einer Autobahnbaustelle in im Wallis in den Jahren 2006 bis 2009 aufgrund der schwierigen Geologie mit Lockergestein, Jetting zur Tunnelstabilisierung eingesetzt. Dabei wurden rund 150'000 t Betonsuspension in den Untergrund eingebracht. Nach Angaben der Tiefbaufirma betrug der Jettingrückfluss auf dieser Baustelle bis zu 70 %, was einem Jettingrückfluss von rund 100'000 t entspricht. Bei einem geschätzten Trockensubstanzgehalt von 60 % entspräche dies einer Trockensubstanz von 60'000 t. Die Bauzeit betrug hier etwa drei Jahre. Pro Jahr entspräche dies einem Trockenschlammfall aus Jettingrückflüssen von etwa 20'000 t/J.

Anfragen bei weiteren Spezialtiefbauunternehmen bestätigten, dass sich Jetting augenscheinlich auf wenige Baustellen beschränkt. So wurden zusätzlich einzelne Anwendungen in den Bereichen Grundwasserabschirmung, Baugrubensicherung und der Erstellung von Gründungspfählen genannt. Anhand der Recherche wurde neben den beiden Grossprojekten weitere Jettinganwendungen mit einem jährlichen Bauvolumen von rund 10'000 m³ verfestigten Untergrunds ermittelt. Bei einem Rückfluss, der hier auf Anfrage mit 10-15 % angegeben wurde entspräche dies bis zu 1'500 m³ Jettingrückfluss. Bei einer Dichte von rund 2 t/m³ und einem Feuchtegehalt von geschätzten 60 % entspricht dies zusätzlichen 1'800 t Jettingrückflusses.

In Summe ergäbe dies 17'500 + 20'000 + 1'800 t = **39'300 t/J Jettingschlamm (TS)**. All diese Angaben basieren auf Abschätzungen und sind mit grossen Unsicherheiten belastet. Zudem wurde bei Grossprojekten der Gesamtschlammfall über die Bauphase gemittelt. Daher sind diese Angaben als „grobe Annäherung“ zu verstehen und sollen einen Eindruck von der Grössenordnung vermitteln.

5.3.4 Massenströme anfallender Betonschlämme in Betonwerken

Wie in Kapitel 5.2.2 erwähnt, werden in der Schweiz Jährlich rund 37 Mio. t Beton produziert und verarbeitet. Diese Zahl wurde als Berechnungsbasis für den schweizweiten Schlammfall in Betonwerken herangezogen und über die Daten verschiedener Betonwerke extrapoliert.

Als Beispiel wurde ein Transportbetonwerk in der Westschweiz, für welches Zahlen hinsichtlich Spülwasser und Schlammanfall vorliegen, näher betrachtet.

Die jährliche Betonproduktion lag in den vergangenen Jahren bei rund 37'000 t. Der Schlammanfall betrug rund 1 bis 1.5 m³ pro Tag. Die Anlage wurde während 9 Monaten betrieben. Überschlägig wurde mit einem durchschnittlichen Schlammanfall von 1 m³ während 20 Arbeitstagen pro Monat gerechnet. Daraus resultiert ein jährlicher Schlammanfall von 1 m³ x 9 x 20 = 180 m³/J. Bei einer durchschnittlichen Dichte von 2.4 t/m³ für Betonschlamm und eines Trockensubstanzgehalts von rund 75-80 % resultiert daraus ein jährliches trockenes Schlammvolumen von rund 325 t. In Bezug auf die jährlichen Betonproduktion fallen demnach schweizweit rund **325'000 t Betonschlamm in Betonwerken** an. Dies entspricht rund 1% der Schweizer Betonproduktion.

5.3.5 Übersicht der schweizweit anfallenden Betonschlämme

Die Massenströme von Betonschlämmen aus Betonwerken, Tunnelwasseraufbereitung, Jetting-Rückfluss sowie der Baustellenentwässerung wurden in untenstehender *Tabelle 7* zusammengefasst. Das Diagramm in *Abbildung 17* stellt den Zusammenhang grafisch dar.

	Gesamt [t]	Inertstoffdeponie		Reaktordeponie		Bau-/ Rohstoff		Sickergrube / Füllmaterial	
	[t]	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
Betonschlamm aus Betonwerken	325'000	162'500	50%	32'500	10%	97'500	30%	32'500	10%
Jetting Schlämme	40'000	32'000	80%	8'000	20%	0		0	
Schlämme aus Baustellen Entwässerung	100'000	70'000	70%	20'000	20%	0		10'000	1%
Summe:	465'000	264'500	57	60'500	13	97'500	21	42'500	9

Tabelle 7: Massenströme der untersuchten Betonschlämme.

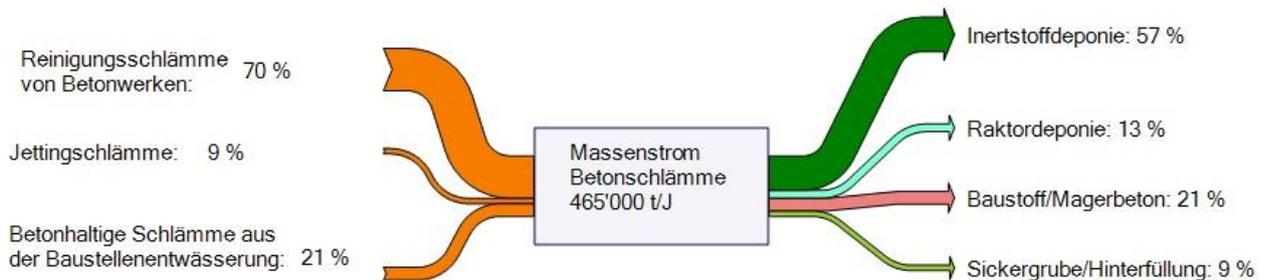


Abbildung 18: Darstellung der Entsorgungswege von Betonschlämmen in der Schweiz. Die Angaben basieren auf Telefonaten mit Baufirmen, Betreibern von Betonwerken und Deponien, sowie Anlagenbauern. Sie beruhen z.T. auf Einschätzungen von Einzelpersonen und sollen als grobe Annäherung verstanden werden.

Die Schlämme aus der Tunnelwasseraufbereitung enthalten nur zum Teil betonhaltige Rückstände. Daher sind sie in der Massenbilanzierung für Betonschlämme ausgeklammert. Schweizweit gehen wir von rund 20'000 t_{TS}/J Schlamm aus der Tunnelwasseraufbereitung aus (siehe *Tabelle 6*).

5.4 Physikalisch- / chemische Zusammensetzung von Betonschlämmen

Die Zusammensetzung von Betonschlämmen variiert sehr stark. Sie ist sowohl abhängig von verwendeten Bindemitteln und Zuschlagsstoffen, als auch von externen Verschmutzungen wie Schmiermittel oder Treibstoff, die bei Herstellung, Transport und Verarbeitung von Beton eingetragen werden. Insbesondere können folgende umweltrelevanten Stoffe eine Rolle spielen (19)

- Treib- und Brennstoffe, Schmiermittel (Benzin, Diesel, Öle, Fette)
- Tenside und Lösungsmittelreiniger (Waschmittelzusätze)
- Betonzusatzmittel (Verzögerer, Beschleuniger, Frostschutz, Verflüssiger usw.)
- Injektionsgut
- Stützflüssigkeiten
- Zement
- Bauschuttfraktionen und deren Granulate
- Neutralisationsmittel (Säuren)
- Andere Bauchemikalien (Dichtungsmaterialien, Füllstoffe usw.)
- Detergenzien, Oxidationsmittel

Chemische Zusammensetzung und Herstellerempfehlungen bezüglich Dosierung zu erwartender Inhaltsstoffe von Betonschlämmen sind in nachfolgender Tabelle aufgezeigt:

Überblick möglicher Betonschlamminhaltsstoffe				
Gruppe:	Name / Verwendung:	chem. Inhaltsstoffe:	Gefahrenklasse	Konzentration [l/100 kg Zement]
Zement	Grundstoff	CaO (58-66%); SiO ₂ (18-26%); Al ₂ O ₃ (4-10%)	GHS07	Bezugsgrösse
Betonzusatzmittel	Betonverflüssiger	k.A.	nicht eingestuft	0.6-1.2 l/100kg
	Fliessmittel	NaSCN (3-7%)	nicht eingestuft	1-2.5 l/100kg
	Stabilisator	k.A.	nicht eingestuft	0.05-0.5 l/100kg
	Luftporenbildner	k.A.	nicht eingestuft	0.2-0.8 l/100 kg
	Verzögerer / Fliessmittel	k.A.	nicht eingestuft	0.5-2 l/100kg
	erhärtungsbeschl. Spritzbeton	Al(OH) ₃ ; Al ₂ (SO ₄) ₃ ; HF (mix 25-30%)	GHS07	3.5-6 l/100kg
	Erhärtungsbeschleuniger	NaSCN (1-2.5%)	nicht eingestuft	0.8-2 l/100kg
	Frostschutzmittel	Na ₂ CO ₃ (25-30%); NaAlO ₂ (15-20%)	GHS07	0.75-1.5 l/100kg
	Korrosionsinhibitor	C ₄ H ₁₁ NO (2.5-10%)	GHS07	3-4 l/100kg
Antilunkermittel	Sika PerFin-300	nicht eingestuft	0.2-2 l/100kg	
Treibstoff/Schmiermittel	Schmiermittel, Sprühöl	C ₄ H ₈ (45-50%);	GHS08	k.A.
	Schmierfett	Asphalt (40-50%);	nicht eingestuft	k.A.
	Super Benzin	C ₈ H ₁₂ O (15%); C ₄ H ₁₀ O (14%);	GHS02; GHS06; GHS09;	k.A.
	Diesel	k.A.	GHS08; GHS09;	k.A.
pH-Wert Regulatoren:	Natriumhydroxid	k.A.	Einstufung GHS05: Ätzend	k.A.
	Natriumkarbonat (Soda)	NaCO ₃	Einstufung GHS07: Reizend	k.A.
	Kalziumhydroxid	Ca(OH) ₂	Einstufung GHS05: Ätzend; GHS07: Reizend	k.A.
	Kohlenstoffdioxid	CO ₂	nicht eingestuft	k.A.

Tabelle 8: Zusammenstellung möglicher Betonschlamminhaltsstoffe. Diese Liste soll einen groben Überblick gewähren und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Aufgeführte Betonzusatzmittel sind der Internetseite des Schweizer Fachverbands für Betonzusatzmittel entnommen (37). Gefahrenklassen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (22).

Die Inhaltsstoffe aus Tabelle 8 geben einen Einblick über die komplexe Zusammensetzung von Betonschlämmen. Problematisch für die Umwelt ist neben den zum Teil wassergefährdeten Zusatzstoffen hauptsächlich der stark alkalische Zement der je nach Anwendung zwischen 5 und 20 Massen % ausmacht.

5.5 Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Betonschlämmen

Neben den in *Tabelle 8* aufgeführten Stoffen sind Spuren von Schwermetallen im Zement enthalten, welche durch die verwendeten Rohmaterialien im Herstellungsprozess eingetragen wurden. Diese liegen aufgrund des Herstellungsprozesses in der gleichen Grössenordnung wie die Gehalte in natürlichen Böden und Gesteinen (siehe *Tabelle 9*).

Element	Höchstwert [mg/kg]	Mittelwert [mg/kg]	Richtwert Aushubrichtlinie "unverschmutzt" [mg/kg]	Grenzwerte für Inertstoffe nach TVA [mg/kg]
Antimon (Sb)	23.1	2.9		30
Arsen (As)	37.5	7	15	30
Barium (Ba)	14990	k.A.		
Blei (Pb)	34.4	17	50	500
Cadmium (Cd)	1	0.4	1	10
Chrom (Cr)	118	41	50	500
Kobalt (Co)	13.1	8.7		
Kupfer (Cu)	108	31	40	500
Mangan (Mn)	4503	759		
Molybdän (Mo)	14.2	k.A.		
Nickel (Ni)	44.3	23	50	500
Quecksilber (Hg)	0.08	0.06	0.5	2
Thallium (Tl)	1.8	0.4		
Vanadium (V)	190	50		
Zink (Zn)	303	192	150	1000
Zinn (Sn)	5.4	3.6		

Tabelle 9: Gegenüberstellung von Spurenelementgehalte deutscher Normzemente im Vergleich zu den Richtwerten für U-Material und den Grenzwerten für Inertstoffe laut TVA (38) (9) (10).

Langjährige Erfahrungen und Untersuchungen haben gezeigt, dass während der Nutzungsphase von Beton aufgrund des grossen Bindevermögens von Zementstein kaum Spurenelemente in die Umwelt freigesetzt werden. Daher ist aus ökologischer Sicht vor allem die Bauphase, nicht aber die Nutzungsphase relevant (39).

Während der Herstellung und Verarbeitung können daher Spurenelemente aus dem Baustoff freigesetzt werden. Da Alkali- und Chromatverbindungen eine höhere Löslichkeit im Porenwasser aufweisen als zum Beispiel Antimon, Arsen, Blei oder Cadmium, können vor allem diese Verbindungen in umweltrelevanten Konzentrationen in die Umwelt freigesetzt werden (39). Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass diese Problematik insbesondere bei Jetting-Rückflüssen eine Rolle spielt. 2009 wurden dazu am UMTEC Versuche durchgeführt (33), welche erhöhte Chrom(VI)- Gehalte in Jetting-Rückflüssen aufzeigten (siehe *Tabelle 10*).

	Probe 01 (Jetting Baustelle) im Labor	Probe 02 (Vergleichszement) im Labor	Grenzwerte	
			TVA	GschV
Jetting Abwasser	0.15 mg/l	0.10 mg/l		0.1 mg/l
Feststoff TVA-Eluat	0.035 mg/l	0.014 mg/l	0.01 mg/l	

Tabelle 10: Chrom (VI)-Gehalte bei Laborversuchen mit Proben von Jettingschlämmen und Vergleichszement in Bezug auf die geltenden Grenzwerte (33).

Die Analyseergebnisse von Chrom(VI) lagen über den Grenzwerten für Inertstoffdeponien nach TVA (siehe *Anhang B*), was eine kostenintensive Dekontamination des Schlammes notwendig machte.

6 Kieswaschschlämme

Für viele Baustoffe werden Sand und Kies benötigt. Da diese Kornfraktionen in der Natur meist nicht rein vorkommen, sondern im Gemisch mit anderen Korngrößen, müssen Kieswerke den abgebauten Kies waschen und in definierte Korngrößenfraktionen klassieren. Je nach Lagerstätte sind zwischen 3-15% des abgebauten Rohmaterials Schlammstoffe. Die im Wasser suspendierte Feinkornfraktion wird üblicherweise unter Einsatz von Flockungsmitteln aussedimentiert und bildet den Kieswaschschlamm.

6.1 Verordnungen und Normen zu Kiesschlämme

Neben den unter *Kapitel 2.2* aufgeführten Gesetzen und Normen gelten kantonale Vereinbarungen zwischen den Umweltschutzbehörden und der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie.

Vereinbarung zwischen dem Kanton St. Gallen und dem FSKB (41)

Die Vereinbarung regelt die periodischen bau-, umwelt-, natur- und gewässerschutzrechtlichen Kontrollen in den Bereichen Kiesabbau, Wiederauffüllung und Rekultivierung von Abbaustellen im Kanton St. Gallen. Unter Punkt 3 wird geregelt, dass sich alle Kiesabbaubetriebe periodischen Kontrollen unterziehen müssen. Die genauen Kontrollverfahren sind unter Punkt 5 der Vereinbarung beschrieben.

Empfehlung des BAFU zur Entsorgung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, das mit Flockungsmitteln versetzt ist (1)

Die Empfehlung dient als Ergänzung zur Aushubrichtlinie (10) und richtet sich vorwiegend an Betriebe, die in grossem Massstab Flockungsmittel einsetzen, wie Kiesabbaubetriebe. Um den Richtwert für U-Material nach Aushubrichtlinie einzuhalten sind Flockungsmittel auf Polyacrylamidbasis vorgeschrieben. Damit der analytische Aufwand für die Untersuchungen des mit Flockungsmittel versetzten Schlammes so gering wie möglich gehalten werden kann, ist es zulässig den Restmonomergehalt im Flockungsmittel zu bestimmen (anstelle aufwändiger Schlammproben). Der Kieswaschschlamm gilt als unverschmutzt, wenn der Restmonomergehalt im Flockungsmittel geringer 0.1% ist.

6.2 Entsorgungswege von Kieswaschschlämmen

Kiesschlämme in der Schweiz werden häufig in Schlammweihern zwischengelagert, wo sie durch Versickerung und Verdunstung des Restwassers austrocknen. In einigen Fällen wird der anfallende Kieswaschschlamm über Filterpressen entwässert, ähnlich wie in *Abbildung 13* dargestellt. Der so entwässerte Schlamm wird im chemisch unbelasteten Fall als Füllmaterial für Kiesgruben verwendet. Kieswaschschlamm, der die Grenzwerte für unverschmutztes Material nach TVA übersteigt, (z.B. Schlamm aus der Betonwäsche oder dem Tunnelbau) muss auf entsprechenden Deponien entsorgt werden, in der Regel auf einer Inertstoffdeponie.

In jüngster Zeit wurden vermehrt Möglichkeiten geprüft, den anfallenden Kiesschlamm als Rohstoff zu verwenden. Einige Beispiele sind im Folgenden aufgeführt:

- Substitutionsmaterial für Baustoffe

- Als Deponiebaustoff (Dichtungsmittel)
- Stabilisierungsmittel im Strassenbau
- Düngemittel in der Landwirtschaft (42)
- Kultursubstrate für Blumenerde

6.3 Massenströme von Kieswaschschlämmen

Der jährliche Kiesabbau in der Schweiz belief sich im Jahr 2009 laut FSKB auf rund 48 Mio. Tonnen (13). Dabei fallen durchschnittlich 8 % Schlammstoffe $< 63 \mu\text{m}$ an, welche bei einem geschätzten Trockensubstanzgehalt von 70 % in 2.7 Mio. t Feststoff resultieren (Angaben auf Nachfrage vom FSKB). Die Genossenschaft für die Verwertung von Kieswaschschlamm (KIWE-Ca) nennt eine jährliche anfallende Schlammmenge von bis zu 2 Mio. Tonnen (Stand 2006) Trockensubstanz in der Schweiz (42), was in derselben Grössenordnung liegt wie vom FSKB abgeschätzt. Diese Annahme wird im Folgenden anhand zweier Beispiele gestützt:

Kies und Betonwerk in der Ostschweiz

Ein angefragtes Kieswerk baute im Jahr 2011 rund 310'000 t Kies ab. Der Kiesschlammanfall (nach Behandlung mit Filterpresse) betrug rund 22'000 t mit einer Restfeuchte von rund 30 %. Somit fielen ca. 15'400 t Trockenmaterial an. Dies entspricht rund 5 % des gesamten verarbeiteten Materials. Hochgerechnet auf den schweizweiten Schlammanfall ergibt dies rund 2.4 Mio. t, was die oben vorgenommen Abschätzung untermauert.

Der Flockungsmittelbedarf im betrachteten Kieswerk lag bei rund 3 t im Jahr 2011 (bei 310'000 t Kies). Der **schweizweite Flockungsmittelverbrauch in der Kiesherstellung** liegt nach Hochrechnung dieser Daten demnach im Bereich von $3 \text{ t} \times 48 \text{ Mio. t} / 0.31 \text{ Mio. t} = \mathbf{460 \text{ t Flockungsmittel} / \text{J}}$. In Absetzbecken, welche laut FSKB bei einem Grossteil der Kieswerke zur Anwendung kommen, werden teilweise keine Flockungsmittel eingesetzt. Der Flockungsmiteleinsatz findet nach vorliegenden Informationen hauptsächlich bei der Schlammentwässerung mittels Filterpresse statt. Daher ist anzunehmen, dass der schweizweite Flockungsmittelverbrauch bei Kieswerken vermutlich unter der oben gemachten Annahme von 460 t/J liegt. Das BAFU geht in der Empfehlung für Aushub, welcher mit Flockungsmitteln versetzt ist, jährlich von rund 200-250 Tonnen Flockungsmittel im Schweizerischen Kiesabbau aus (1).

Aufbereitung von Ausbruchmaterial zur Betonproduktion im Tunnelbau

Im betrachteten Fall betrug die Gesamtmenge des verarbeiteten Ausbruchmaterials über mehrere Jahre rund 3 Mio. t. Der Schlammanfall im selben Zeitraum belief sich auf rund 400'000 t. Bei einem Trockensubstanzgehalt von rund 60 % entsprach dies rund 260'000 t trockenen Waschschlamms. Dementsprechend wurden rund 8.7 % an Schlammstoffen (TS) separiert. Laut Betreiber ist der Anteil an Schlammstoffen abhängig vom durchbohrten Gestein und lag in diesem Fall deutlich über dem schweizweiten Durchschnitt.

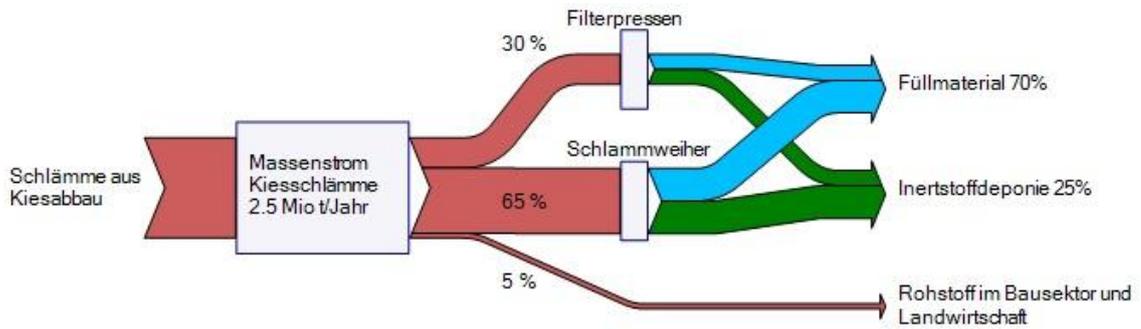


Abbildung 19: Darstellung der Entsorgungswege von Kiesschlämmen in der Schweiz. Die Angaben basieren auf Telefonaten mit Kies- und Betonwerken und sollen als grober Anhalt dienen.

6.4 Physikalische und chemische Zusammensetzung von Kieswaschschlämmen

Kieswaschschlämme bestehen überwiegend aus der Feinkornfraktion (< 63 µm) aus dem Kies und Sandabbau (43). Die Zusammensetzung von Kiesschlamm variiert je nach Lagerstätte. Die in folgender Tabelle gezeigten Konzentrationsangaben stammen aus Röntgenfluoreszenzanalysen von Kieswaschschlamm aus der Ostschweiz.

Die aufgeführten Flockungsmittel sind gängige Mittel, die in der Wasseraufbereitung und Schlammwässerung eingesetzt werden. Konzentrationsangaben wurden den jeweiligen Datenblättern entnommen.

Überblick möglicher Kiesschlammbestandteile				
Gruppe:	Name / Verwendung:	chem. Inhaltsstoffe:	Gefahrenklasse	Konzentration
Kiesschlamm		Siliziumdioxid SiO ₂	nicht eingestuft	36.7%
		Aluminiumoxid Al ₂ O ₃	nicht eingestuft	7.5%
		Eisen(III)-oxid Fe ₂ O ₃	nicht eingestuft	3.0%
		Kalk CaO	nicht eingestuft	25.9%
		Magnesiumoxid MgO	nicht eingestuft	1.9%
		Kaliumoxid K ₂ O	nicht eingestuft	1.7%
		Natriumoxid Na ₂ O	nicht eingestuft	<1%
		Schwefeltrioxid SO ₃	nicht eingestuft	<1%
		Phosphor(V)-oxid P ₂ O ₅	nicht eingestuft	<1%
		Titan(IV)-oxid TiO ₂	nicht eingestuft	<1%
		Manganoxid MnO	nicht eingestuft	<1%
	Brom Br	nicht eingestuft	<1%	
Flockungsmittel (falls Flockung durchgeführt wird)	Flockungsmittel auf Polyacrylamidbasis		nicht eingestuft	0.1-2 kg/m ³
	anionische wasserlösliches Polymere		nicht eingestuft	k.A.
	Polyaluminiumhydroxidlösung	Al ₂ Cl(OH) ₅ (>20%)	GHS07: Reizend	0.02-5 kg/m ³
	Aluminiumnitrat	Al(NO ₃) ₃ (>20%)	GHS07: Reizend	0.02-5 kg/m ⁴

Tabelle 11: Auflistung der einzelnen Kiesschlammfraktionen und möglicher Verschmutzungen, welche durch Verarbeitung und Flockungsprozesse eingetragen werden können. Gefahrenklassen gemäß Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (22)

Im Gegensatz zu Bohrschlämmen ist die Zusammensetzung des Kieswaschschlammes sehr homogen, was die Flockung deutlich vereinfacht. Daher ist von einer im Vergleich zu Bohrschlämmen eher niedrigen Flockungsmittelkonzentrationen auszugehen, welche dem jeweiligen Prozess gut angepasst ist. Geeignete Flockungsmittel (auf Polyacrylamidbasis)

werden vom BAFU empfohlen (1) und deren Einsatz kontrolliert (siehe *Kapitel 6.1*). Teilweise wird bei ausreichend dimensionierten Absetzbecken auch gänzlich auf die Flockung verzichtet.

6.5 Freisetzungspotential von Schadstoffen aus Kieswaschschlamm

Analyseergebnisse von Kiesschlammern aus zwei ausgewählten Schweizer Kieswerken sind in *Tabelle 12* aufgeführt.

Element	Kieswerk A [mg/kg]	Kieswerk B [mg/kg]	Grenzwert TVA (Anhang 3) unverschmutzt [mg/kg]
Arsen (As)	10.70	11.60	15.0
Barium (Ba)	222.00	230.30	
Beryllium (Be)	1.60	1.70	
Cadmium (Cd)	0.10	0.20	1.0
Kobalt (Co)	16.60	14.00	
Chrom (Cr)	81.80	73.00	50.0
Kupfer (Cu)	23.00	37.30	40.0
Mangan (Mn)	884.00	710.70	
Nickel (Ni)	32.90	39.00	50.0
Blei (Pb)	15.90	21.70	50.0
Antimon (Sb)	0.90	1.10	
Selen (Se)	0.80	1.10	
Zinn (Sn)	2.30	2.70	
Titan (Ti)	0.40	0.40	
Vanadium (V)	64.60	74.00	
Zink (Zn)	50	78.30	150
Silber (Ag)	0.5	0.50	
Quecksilber (Hg)	0.017	0.05	0.5
TOC	2.9	7.20	

Tabelle 12: Analyseergebnisse von Kiesschlammern aus zwei Kieswerken der Ostschweiz im Vergleich mit den Grenzwerten der TVA, Anhang 3. (Kieswerk A - Durchschnittswert aus 8 Einzelproben; Kieswerk B – Durchschnitt aus 3 Einzelproben)

Die Analyseergebnisse zeigen, dass der Anteil an Schwermetallen in den analysierten Schlammproben weitestgehend der natürlichen Hintergrundbelastung entspricht. Einzige Ausnahme ist Chrom, welches den Richtwert für unbelastetes Material nach TVA geringfügig überschreitet. Das Chrom ist vermutlich nicht nur geogenen Ursprungs sondern es stammt wahrscheinlich aus Stahlabrieb, welcher im Abbau und bei der Aufbereitung ins Kiesmaterial eingetragen wurde. Neben Chrom sind die Konzentrationen an anderen Stahlveredlern wie Vanadium, Mangan und Nickel ebenfalls leicht erhöht, was auf Abrieb von Stahloberflächen im Abbau und im Kieswerk hindeutet. Wegen des ungewöhnlich niedrigen Schlammanteils in den betrachteten Kieswerken sind die Konzentrationen an Schwermetallen vermutlich überdurchschnittlich hoch, da diese im Feinkorn akkumulieren.

Bei höheren Kiesschlammanteilen, wie es beim Grossteil der Schweizer Kieswerke der Fall ist, wären die Konzentrationen aufgrund der Verdünnung durch die grössere Schlammmenge unterhalb der Grenzwerte für U-Aushub.

7 Ergebnisse und Auswertung

Unsere Recherchen ergaben Massenströme (TS) für Bohrschlämme aus EWS-Bohrungen von rund 100'000 t, Betonschlämme von rund 500'000 t und Kieswaschschlämme von schätzungsweise 2.5 Mio. t Trockensubstanz. Die Summe dieser Schlämme betrug somit mehr als 3 Mio. t. Ein Diagramm mit allen Massenströmen und einer umfassenden Einschätzung über Entsorgungswege ist in *Tabelle 13* dargestellt.

	Gesamt [t]	Inertstoffdeponie		Reaktordeponie		Bau-/ Rohstoff		Kiesgrube / Füllmaterial	
	[t]	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]	[t]	[%]
Schlämme aus EWS-Bohrungen	100'000	34'000	34%	1'000	1%	7'000	7%	65'000	65%
Betonschlämme	465'000	265'050	57%	60'450	13%	97'650	21%	41'850	9%
Kieswaschschlämme	2'500'000	625'000	25%	500'000	20%	125'000	5%	1'750'000	70%
Summe:	3'065'000	924'050	30	561'450	18	229'650	7	1'856'850	61

Tabelle 13: Zusammenfassende Tabelle der Massenströme aller untersuchten Schlämme.

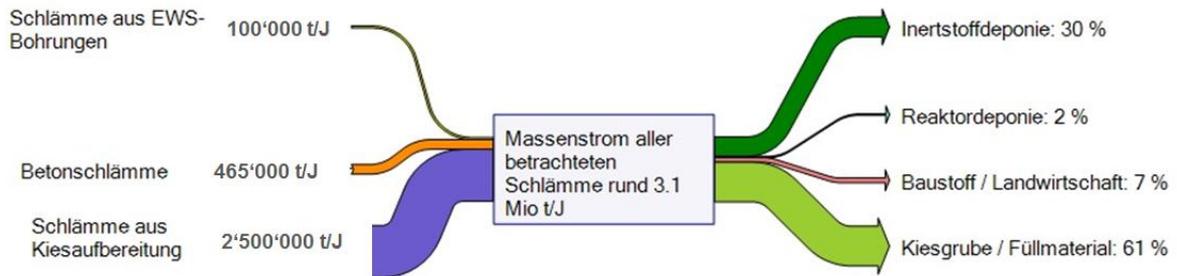


Abbildung 20: Gesamtübersicht über Massenströme und Entsorgungswege der näher betrachteten urS in der Schweiz.

Die Gesamtmenge der näher betrachteten und bilanzierten Schlämme betrug in Summe rund 3.1 Mio. Tonnen. Dies übersteigt die beim BAFU als Sonderabfälle gelisteten Schlämme (in Summe rund 200'000 t) um den Faktor 15.

8 Interpretation

Die im Rahmen des Projekts untersuchten Massenströme der „gering belasteten“ Schlämme liegen bei jährlich rund 3.1 Mio. Tonnen. Eine Abschätzung des Gefährdungspotentials dieser Schlämme ergibt Folgendes.

Bohrschlämme aus EWS-Bohrungen

Die Gesamtmasse an Bohrschlamm betrug 2010 rund 100'000 t (TS). Die Zusammensetzung des Schlammes, welche sich auf das Gefährdungspotenzial auswirkt, hängt, wie in *Kapitel 5.4* beschrieben, vom Bohrverfahren ab. Die Schlammanalyse, bei der eine Mischprobe aus verschiedenen Imlochhammerbohrungen untersucht wurde, lieferte mit dem organischen Summenparameter KW-Index (C_{10} - C_{40}) von 498 mg/kg TS ein Resultat, welches eine Einstufung des Bohrschlammes als „unverschmutztes Aushubmaterial“ nach TVA, Anhang 3 ausschliesst. Der Grenzwert für Inertstoffdeponien laut TVA (500 mg/kg) wurde nur knapp unterschritten. Das Analyseergebnis liegt unerwartet hoch. Es basierte allerdings auf einer einzigen Mischprobe. Um eine belastbare Aussage zu treffen, sollten unbedingt weiterführende Analysen durchgeführt werden.

Es erscheint durchaus möglich, dass Schlämme aus dem Spülbohrverfahren, welche mehr Bohrzusatzstoffe enthalten, den KW-Index(C_{10} - C_{40}) Grenzwert für Inertstoffdeponien überschreiten.

Betonschlämme

Schweizweit fallen jährlich rund 500'000 t Betonschlämme an. Der überwiegende Teil davon (rund 325'000 t) entsteht als Waschschlamm in Betonwerken. Kritische Parameter sind der hohe pH Wert und die hohe Cr(VI) Konzentration. Der Grossteil der Schlämme wird auf Inertstoffdeponien abgelagert. In Ausnahmefällen, wenn der Chrom (VI) Gehalt die Grenzwerte für Inertstoffdeponien überschreitet, müsste eine Deponierung auf Reaktordeponien in Betracht gezogen werden. In der Praxis werden solche Betonschlämme allerdings selten entsorgt, sondern wenn möglich in den Produktionsprozess zurückgeführt.

Die Bilanzierung betonhaltiger Schlämme aus der Baustellenentwässerung gestaltete sich sehr schwierig. Zum einen ist ein fundierter Überblick über alle Schweizer Baustellen nahezu unmöglich, zum anderen ist nur ein Teil der Schlämme aus der Baustellenentwässerung stark betonhaltig. Wir gehen von rund 100'000 t Schlammfall pro Jahr aus, also einer vergleichbaren Grössenordnung wie bei Schlämmen aus Erdsondenbohrungen. Baustellenschlämme können ähnlich wie Schlämme aus dem Tunnelbau stark mit Kohlenwasserstoffen aus Schmiermittel- und Treibstoffrückständen kontaminiert sein. Bei Grossbaustellen ist durch die enge Zusammenarbeit mit den Behörden eine fachgerechte Entsorgung gewährleistet. Aus unserer Recherche ging jedoch auch hervor, dass solche Schlämme insbesondere auf kleinen Baustellen auch über Sickergruben entwässert oder direkt in Baugruben verfüllt werden.

Eine Sonderstellung bei den betonhaltigen Schlämmen nehmen Jettingschlämme ein. Aufgrund ihrer speziellen Zusammensetzung härten Sie in den meisten Fällen nicht aus sondern behalten eine instabile Struktur und bilden beim Kontakt mit Wasser wieder Schlamm. Aus diesem Schlamm kann vor allem Cr(VI) leicht ausgespült werden. Jettingschlämme müssen daher zum Teil auf Reaktordeponien abgelagert werden. Als Alternative kann durch spezielle Vorbehandlung, der Cr(VI) Gehalt unter die Grenzwerte der Inertstoffdeponie gesenkt werden.

Schlämme aus der Tunnelwasseraufbereitung sind nicht grundsätzlich betonhaltig, können jedoch je nach Bauphase Rückstände von Beton aufweisen. Sie fallen in der Schweiz in einer geschätzten Menge von knapp 20'000 t/Jahr an. Neben einem erhöhten pH-Wert können sie zusätzlich durch Schmierstoffe oder Treibstoffe kontaminiert sein und müssen daher durch entsprechende Anlagen vorgereinigt werden. Bei Sprengvortrieb sind zusätzlich erhöhte Nitritkonzentrationen zu erwarten. Da es sich im Tunnelbau meist um Grossprojekte handelt, ist grundsätzlich eine enge Zusammenarbeit mit dem kantonalen Umweltschutzbehörden gegeben. Aus diesem Grund kann man hier von einer TVA konformen Entsorgung der anfallenden Schlämme ausgehen.

Kieswaschschlämme

Kieswaschschlämme stellen mit rund 2.5 Mio. t/J den weitaus grössten Massenanteil der untersuchten Schlämme. Durch den Verarbeitungsprozess werden sie jedoch kaum chemisch belastet. Klare Vorgaben hinsichtlich der verwendeten Flockungsmittel und Kontrollen durch die kantonalen Umweltbehörden oder den FSKB gewährleisten die Einhaltung der Grenzwerte für Restmonomere (< 1 %), wodurch Kiesschlämme in der Regel als unverschmutzten Aushub nach TVA, Anhang 3 gelten, sofern es sich um die Aufbereitung von Wandkies handelt (9). Daher werden sie meist vor Ort zur Kiesgrubenverfüllung verwendet. Eine Verbringung auf Inertstoffdeponien ist ebenfalls üblich, beispielsweise wenn Kies aus einem Flussbett gewonnen wurde und folglich keine Kiesgrube zur Verfüllung mit dem Filterkuchen zur Verfügung steht (z.B. im Rheintal).

9 Fazit

Die Erdwärmenutzung in der Schweiz wurde in den vergangenen Jahren stark ausgebaut. Dementsprechend wuchs das Schlammauftreten aus **Erdsondenbohrungen** an. Die Zusammensetzung des Schlammes variiert sehr stark, sei es durch geologische Besonderheiten im Untergrund oder durch das verwendete Bohrverfahren. Gespräche mit Deponiebetreibern und auch die Bohrschlammanalyse zeigten, dass Bohrschlamm nicht ohne Weiteres als „unverschmutztes Material“ nach TVA entsorgt werden kann. Es hat den Anschein, dass Regelungen seitens der Kantonalen Umweltschutzbehörden im Besonderen auf kleinen EWS- Baustellen nur schwer umsetzbar sind. Bohrschlammanalysen werden nur in Ausnahmefällen durchgeführt, da sie verhältnismässig aufwändig sind und nicht explizit vorgeschrieben werden. Die Zusammensetzung des Schlammes ist daher oft unbekannt.

Wir empfehlen typische Erdsonden-Bohrschlämme generell als „Inertstoff“ zu entsorgen, sofern nicht der analytische Nachweis erbracht wurde, dass die Belastung eine Verwertung zulässt.

Betonschlämme sind in erster Linie aufgrund ihres hohen pH Werts problematisch. Überdies können Schwermetalle wie Cr(VI) die Umwelt belasten. Die grössten Mengen an Betonschlamm entstehen in der Betonproduktion selbst. Der Schlamm in der Betonproduktion ist üblicherweise kaum mit Fremdstoffen verschmutzt und wird in vielen Fällen wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt.

Baustellenschlämme, die zum Teil ebenfalls Betonrückstände enthalten können und die in diesem Bericht ebenfalls zu den betonhaltigen Schlämmen gezählt werden, können noch zusätzlich durch Verunreinigungen wie Treibstoff, Schmiermittel, Farben, Lacke usw. kontaminiert sein. Daher ist vor der Entsorgung des Schlammes oftmals eine Vorreinigung, beispielsweise mittels Ölabscheider, notwendig. Jettingschlämme sind hinsichtlich Ihrer Belastung durch Chrom(VI) problematisch. Hohe Chromatbelastungen führten in der Vergangenheit dazu, dass Jettingrückflüsse teilweise auf Reaktordeponien verbracht werden mussten, was die Entsorgungskosten deutlich erhöhte. Daher wird das Jettingverfahren vorzugsweise in Ausnahmefällen und auf Grossbaustellen eingesetzt. Prinzipiell entstand im Rahmen der Recherche der Eindruck, dass von Betonschlämmen teilweise ein erhöhtes Freisetzungspotential an Schadstoffen ausgeht. Dies ist jedoch weitestgehend bekannt ist und somit ist eine TVA konforme Deponierung überwiegend gewährleistet. Eine Ausnahme bilden vermutlich die auf kleineren Baustellen in Absetzbecken gefassten Betonschlämme.

Den massenmässig grössten Anteil der untersuchten Schlämme stellten die **Kieswaschschlämme** dar. Aufgrund der homogenen Zusammensetzung dieser Schlämme ist der Flockungsmiteinsatz relativ gering und eine Entwässerung vergleichsweise einfach. Da sich der Produktionsprozess in Kieswerken kaum ändert, und die Betreiber im engen Austausch mit den Umweltschutzbehörden stehen, wird davon ausgegangen, dass von Kieswaschschlämmen im Vergleich zu den hier untersuchten Schlämmen, trotz der grossen Menge kein relevantes Gefährdungspotential ausgeht.

10 Literaturverzeichnis

1. **BAFU** . Empfehlung - Entsorgung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, das mit Flockungsmitteln versetzt ist. [Buchverf.] BAFU. Ittingen : BAFU, 2001.
2. **Europäische Kommission**. Schlämme -Arbeitsunterlage- 3.Entwurf. Brüssel : Europäische Kommission, 2000.
3. **Bundesversammlung**. Umweltschutzgesetz, USG. Bern : s.n., 2010.
4. —. Gewässerschutzgesetz, GSchG. Bern : s.n., 2011.
5. **Bundesrat**. Gewässerschutzverordnung GSchV. Bern : Bundesrat, 2011.
6. —. Verordnung über Belastung des Bodens (VBBo). Bern : s.n., 2008.
7. —. Verordnung über den Verkehr mit Abfällen VeVA. Bern : Bundesrat, 2010.
8. **UVEK**. Verordnung des UVEK über Listen zum Verkehr mit Abfällen. Bern : UVEK - Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation , 2010.
9. **Bundesrat**. Technische Verordnung über Abfälle (TVA). Bern : s.n., 2011.
10. **BUWAL**. *Vollzug Umwelt - Abfall und Altlasten, Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial (Aushubrichtlinie)*. Bern : BUWAL, 1999. VU-3003-D.
11. **BAFU**. *Sonderabfallstatistik 2010 - Im Inland behandelte Abfälle aus der Schweiz*. Bern : BAFU, 2011.
12. —. *sonderabfallstatistik 2010*. 2011.
13. **FSKB**. *Jahresbericht 2010*. Bern : FSKB Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie, 2010.
14. **SIA**. SIA 384/6 - Erdwärmesonden. [Buchverf.] Schweizer Ingenieure und Architektenverein SIA. Zürich : s.n., 2010.
15. **Tholen, Michael et al**. *Arbeitshilfen Geothermie*. Bonn : wvgw, 2008.
16. **BAFU**. *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund*. Bern : Bundesamt für Umwelt BAFU, 2009.
17. —. *Wegleitung Grundwasserschutz*. Bern : BAFU, 2004. VU-2508-D.
18. **Hartmann et al**. *Wegleitung Grundwasserschutz*. Bern : Bundesamt für Umwelt, Walt und Landschaft (BUWAL), 2004.
19. **SIA**. SIA 431 - Entwässerung von Baustellen. 1997, S. 28.
20. **AFU**. Entsorgung von Bohrschlamm bei Erdwärmesonden - AFU 198. [Buchverf.] Amt für Umwelt und Energie AFU. St. Gallen : AFU , 2010.
21. **FWS**. www.fws.ch. [Online] Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS. [Zitat vom: 18. 01 2012.] http://www.fws.ch/zahlen_04.html.
22. **EG**. über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. *Verordnung (EG) Nr. 1272/2008*. Brüssel : Europäische Union, 2008.
23. **Buja, Heinrich-Otto**. *Handbuch der Tief-, Flach-, Geothermie- und Horizontalbohrtechnik*. Wiesbaden : Vieweg + Teubner Verlag, 2011.
24. **Böhler et al**. Zwischenbericht - "Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon". Dübendorf : Eawag, 2009.
25. **GWE German Water and Energy**. Spülungsprodukte in der Rotary-Bohrtechnik. Peine : GWE - German Water and Energy, 2008.
26. **Kolisch et al**. Verbesserte Entwässerung kommunaler Klärschlämme mit einem neuen hydraulischen Press-System. Hennef : DWA, 2005.
27. **SIA**. SIA 162.051 / EN 206-1: 2000 - Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. *Schweizer Norm*. Zürich : SIA, 2003.

28. —. Projektierung Tunnel - Grundlagen. *Schweizer Norm*. Zürich : SIA, 2004.
29. —. SIA 262.611 - EN 14487-1:2005 - Spritzbeton - Teil: Begriffe, Festlegungen und Konformität. *Schweizer Norm*. Zürich : s.n., 2005.
30. **AFU** . AFU002 Umweltschutz auf Baustellen. [Buchverf.] St. Gallen AFU - Amt für Umwelt und Energie. St. Gallen : AFU, 2009.
31. **bluwatec Wasseraufbereitung**. www.bluwatec.com. [Online] [Zitat vom: 08. 02 2012.] <http://www.bluwatec.com/pdf/Betonrestwasseraufbereitung.pdf>.
32. **Rodio Geotechnik AG**. www.rodio.ch. [Online] Rodio Geotechnik AG, 2008. [Zitat vom: 07. 02 2012.] <http://www.rodio.ch/site/index.php?site=19&submenu=4>.
33. **Zbinden, Marlene**. *Reduktion von Chromat im Jetting Rückfluss*. Rapperswil : UMTEC, 2009.
34. **Alptransit Gotthard AG**. Verwertung belasteter Schlämme aus dem Gotthard-Basistunnel. Luzern : Alptransit Gotthard AG, 2006.
35. **Leiblein GmbH**. www.leiblein.de. [Online] Leiblein GmbH, 2011. [Zitat vom: 07. 02 2012.] <http://www.leiblein.de/de/referenzen/tunnelbau-grossbaustellen/56-behandlungsanlage-abwasser-tunnelbau-.html>.
36. **Swiss Tunneling Society STS**. Datenbank Tunnelbau Schweiz (Stand 31.12.2011). Esslingen : STS, 2012.
37. **FSHBZ**. www.FSHBZ.ch. *Fachverband Schweizerischer Hersteller von Betonzusatzmitteln*. [Online] [Zitat vom: 09. 02 2012.] <http://www.fshbz.ch/html/produktliste.php>.
38. **VDZ** . www.vdz-online.de. *VDZ-Tätigkeitsbericht 2003-2005*. [Online] Verein Deutscher Zementwerke e.V., 17. 03 2005. [Zitat vom: 10. 02 2012.] http://www.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Taetigkeitsbericht/VDZ_Kap_VI.pdf.
39. *Umweltverträglichkeit von Zement und Beton*. **VDZ** . s.l. : VDZ - Verein Deutscher Zementwerke, 2003-2005, S. 10.
40. **Kanton St. Gallen**. Vereinbarung über die periodischen bau-, umwelt-, natur- und gewässerschutzrechtlichen Kontrollen in den Bereichen Kiesabbau, Wiederauffüllung und Rekultivierung von abbaustellen im Kanton St. Gallen. St. Gallen : s.n., 2005.
41. **KIWE-Ca**. www.kiwe-ca.ch. [Online] KIWA-Ca. [Zitat vom: 14. 02 2012.] <http://www.kiwe-ca.ch/index.asp?content=start&docID=1&language=de>.
42. **Mader, Hermann**. Kieswaschschlamm. *Steinbruch und Sandgrube*. 1992, Bd. 85, Heft 6.
43. **K.Kersting, M.Adelmann, D.Breuer**. *Bestimmung des Chrom(VI)-Gehaltes in Zementen und zementhaltigen Zubereitungen*. 1999.
44. **Oppliger, Fritz**. *Kombi aus Kies- und Güllegrube*. s.l. : LANDfreund, 07/2009.
45. **Krakov, Dr. Lutz**. *Waschschlamm als Deponiebaustoff - Ein intelligenter Beitrag zur Rohstoffeffizienz und Ressourcenschonung*. s.l. : Aggregates International, 05/2008.
46. **Tunnelbau Schweiz**. swisstunnel.ch. [Online] Tunnelbau Schweiz - Fachgruppe für Untertagebau, 2012. [Zitat vom: 02. 02 2012.] <http://www.swisstunnel.ch/Gesamtlaenge.81.0.html>.
47. **Loetscher-Kiesbeton**. www.loetscher-kiesbeton.ch. [Online] Lötscher Kiesbeton, 23. 01 2012. [Zitat vom: 13. 02 2012.] <http://www.loetscher-kiesbeton.ch/newsarchiv.html>.
48. **Gunter Schmidt, AKW Apparate + Verfahren GmbH**. 04.. November 2011.
49. **AFU**. *Umweltschutz auf Baustellen*. St. Gallen : Kanton St.Gallen, 2009.
50. **Klein Technical Solutions GmbH**. www.klein-ts.com. [Online] [Zitat vom: 21. 03 2012.] <http://www.klein-ts.com/de/galerie/siebbandpresse-snp.php>.

11 Anhang

Anhang A: Grenzwerte für Industrieabwässer (GSchV)

Anhang B: Grenzwerte für Inertstoffe nach TVA

Anhang C: Grenzwerte für unverschmutztes Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, TVA Anhang 3 (1)

Anhang E: GC-Fingerprint, Bohrschlammanalyse Bachema (Probe 5389)

Anhang F: Übersicht der umweltrelevanten Schlämme im Abfallkatalog (8)

Anhang G: Massenströme der als Sonderabfall klassifizierten Schlämme

Anhang A: Grenzwerte für Industrieabwässer (GSchV)

2 Allgemeine Anforderungen			
Nr.	Parameter	Kolonne 1: Anforderungen an die Einleitung in Gewässer	Kolonne 2: Anforderungen an die Einleitung in die öffentliche Kanalisation
1	pH-Wert	6,5 bis 9,0	6,5 bis 9,0; Abweichungen sind bei ausreichender Vermischung in der Kanalisation zulässig.
2	Temperatur	Höchstens 30 °C. Die Behörde kann kurzfristige, geringfügige Überschreitungen im Sommer zulassen.	Höchstens 60 °C. Die Temperatur in der Kanalisation darf nach der Vermischung höchstens 40 °C betragen.
3	Durchsichtigkeit (nach Snellen)	30 cm	–
4	Gesamte ungelöste Stoffe	20 mg/l	–
5	Arsen (<i>As</i>)	0,1 mg/l <i>As</i> (gesamt)	0,1 mg/l <i>As</i> (gesamt)
6	Blei (<i>Pb</i>)	0,5 mg/l <i>Pb</i> (gesamt)	0,5 mg/l <i>Pb</i> (gesamt)
7	Cadmium (<i>Cd</i>)	0,1 mg/l <i>Cd</i> (gesamt)	0,1 mg/l <i>Cd</i> (gesamt)
8	Chrom (<i>Cr</i>)	2 mg/l <i>Cr</i> (gesamt); 0,1 mg/l <i>Cr</i> -VI	2 mg/l <i>Cr</i> (gesamt)
9	Kobalt (<i>Co</i>)	0,5 mg/l <i>Co</i> (gesamt)	0,5 mg/l <i>Co</i> (gesamt)
10	Kupfer (<i>Cu</i>)	0,5 mg/l <i>Cu</i> (gesamt)	1 mg/l <i>Cu</i> (gesamt)
11	Molybdän (<i>Mo</i>)	–	1 mg/l <i>Mo</i> (gesamt)
12	Nickel (<i>Ni</i>)	2 mg/l <i>Ni</i> (gesamt)	2 mg/l <i>Ni</i> (gesamt)
13	Zink (<i>Zn</i>)	2 mg/l <i>Zn</i> (gesamt)	2 mg/l <i>Zn</i> (gesamt)
14	Cyanide (<i>CN</i> ⁻)	0,1 mg/l <i>CN</i> ⁻ (freies und leicht freisetzbares Cyanid)	0,5 mg/l <i>CN</i> ⁻ (freies und leicht freisetzbares Cyanid)
15	Gesamte Kohlenwasserstoffe	10 mg/l	20 mg/l
16	Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (<i>FOCl</i>) oder Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (<i>VOX</i>)	0,1 mg/l <i>Cl</i> oder 0,1 mg/l <i>X</i>	0,1 mg/l <i>Cl</i> oder 0,1 mg/l <i>X</i>

Anhang B: Grenzwerte für Inertstoffe nach TVA

Stoff	mg/kg trockener Abfall
Arsen	30
Antimon	30
Blei	500
Cadmium	10
Chrom gesamt	500
Chrom VI	0,1
Kupfer	500
Nickel	500
Quecksilber	2
Zink	1 000
Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)*	1
Polychlorierte Biphenyle (PCB)**	1
Aliphatische Kohlenwasserstoffe C ₅ -C ₁₀ ***	10
Aliphatische Kohlenwasserstoffe C ₁₀ -C ₄₀	500
Monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)****	10
Benzol	1
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe*****	25
Benzo(a)pyren	3
TOC	20 000

* $\Sigma 7$ LCKW: Dichlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan, cis-1,2-Dichlorethylen, 1,1,1-Trichlorethan, Trichlorethylen (Tri), Tetrachlorethylen (Per)

** $\Sigma 6$ PCB-Kongener x 4.3: Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180

*** ΣC_5 - bis C_{10} -KW: Fläche FID-Chromatogramm zwischen n-Pentan und n-Decan, multipliziert mit dem Response Faktor von n-Hexan, minus Σ BTEX

**** Σ BTEX: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-Xylol, m-Xylol, p-Xylol

***** $\Sigma 16$ EPA-PAK: Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benz[a]anthracen, Chrysen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Dibenz[a,h]anthracen, Benzo[g,h,i]perylen, Indeno[1,2,3-c,d]pyren

Anhang C: Grenzwerte für unverschmutztes Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, TVA Anhang 3 (1)

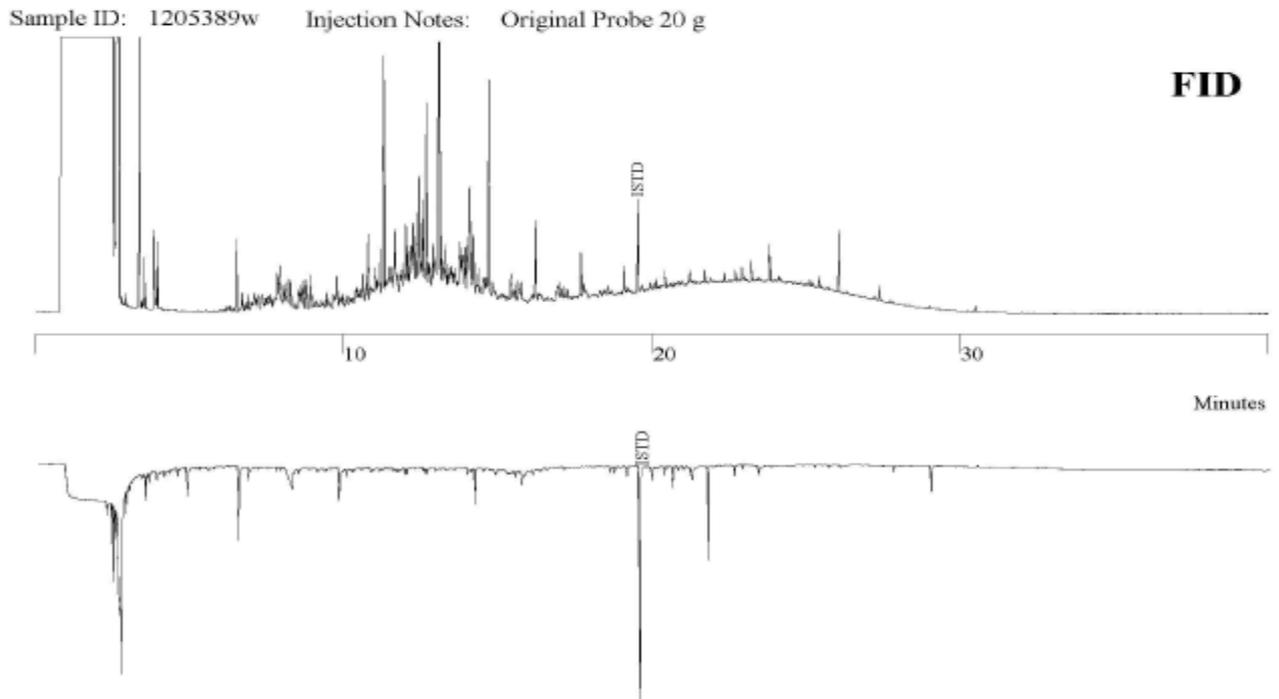
¹ Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial gilt als unverschmutzt, wenn die in ihm enthaltenen Stoffe die nachfolgenden Grenzwerte nicht überschreiten:

Stoff	Grenzwert
<i>Anorganika</i>	
Arsen	15 mg As/kg
Blei	50 mg Pb/kg
Cadmium	1 mg Cd/kg
Chrom gesamt	50 mg Cr/kg
Chrom (VI)	0,05 mg Cr VI/kg
Kupfer	40 mg Cu/kg
Nickel	50 mg Ni/kg
Quecksilber	0,5 mg Hg/kg
Zink	150 mg Zn/kg
Cyanid gesamt	0,05 mg CN/kg
<i>Organika</i>	
Leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW)*	0,1 mg/kg
Polychlorierte Biphenyle (PCB)**	0,1 mg/kg
Aliphatische Kohlenwasserstoffe C ₅ -C ₁₀ ***	1 mg/kg
Aliphatische Kohlenwasserstoffe C ₁₀ -C ₄₀	50 mg/kg
Monocyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)****	1 mg/kg
Benzol	0,1 mg/kg
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*****	3 mg/kg
Benzo[a]pyren	0,3 mg/kg
Methyl-tert-butylether (MTBE)	0,1 mg/kg

Anhang D: Schweizer Tunnelbauprojekte 2007 bis 2016 (Quelle: STS)

	Jahr der Inbetriebnahme	Gesamtlänge der Röhren [m]	Ausbruchsvolumen [m ³]	Art des Tunnels
GBT Gotthard Basistunnel	2016	153500	13300000	Eisenbahntunnel
Tunnel Visp	2016	5020	1410000	Strassentunnel
Tunnel Eyholz	2016	8486	2660500	Strassentunnel
Weinbergtunnel DML Zürich	2015	4800	470400	Eisenbahntunnel
Tunnel du Neu Bois	2012	1882	95000	Strassentunnel
Tunnel de Bure	2011	3059	382400	Strassentunnel
Tunnel Engelberg	2009	4040	122600	Eisenbahntunnel
Hochwasser Entlastungsstollen Thun	2009	1169	36600	Wasserstollen
Stägjitschuggen	2008	2306	184480	Strassentunnel
Nordtangente Basel I	2008	1290	129000	Strassentunnel
Nordtangente Basel II	2008	1290	129000	Strassentunnel
Kirchenwald I	2008	1630	163000	Strassentunnel
Kirchenwald II	2008	1630	163000	Strassentunnel
Flimserstein (Umfahrung Flims)	2007	2923	263070	Strassentunnel
Prau Puité (Umfahrung Flims)	2007	462	52206	Strassentunnel
Tunnel du Raimeux	2007	3211	288990	Strassentunnel
Roche St. Jean	2007	211	19623	Strassentunnel
LBT Lötschberg-Basistunnel	2007	88100	6871800	Eisenbahntunnel
Dienststollen Kandertal (Rettungsröhre)	2007	9600	188160	Andere Tunnel
Summe:		294609	26929829	
Jährlicher Durchschnitt:		29460.9	2692982.9	

Anhang E: GC-Fingerprint, Bohrschlammanalyse Bachema (Probe 5389)

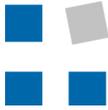


Nicht chlorierte Lösungsmittel:	Spuren
Benzin:	negativ
Heizöl / Dieselöl:	unsicher
Technisches Ölgemisch:	s. Bemerkung
Teeröl:	negativ
PCB (Konzentrationsbereich):	negativ
Bemerkung:	Nieder- bis mittelsiedendes technisches Kohlenwasserstoffgemisch, nicht weiter identifizierbar. Zusätzlich mittelsiedendes Öl, z.B. Bohröl. Verdacht auf Spur von chloriertem Lösungsmittel.

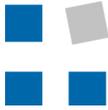
Übriges:

Anhang F: Übersicht der umweltrelevanten Schlämme im Abfallkatalog (8)

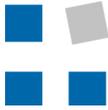
1		ABFÄLLE, DIE BEIM AUFSUCHEN, AUSBEUTEN UND GEWINNEN SOWIE BEI DER PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN BEHANDLUNG VON BODENSCHÄTZEN ENTSTEHEN
01 03		ABFÄLLE AUS DER PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN VERARBEITUNG VON METALLHALTIGEN BODENSCHÄTZEN
01 03 09		Rotschlamm aus der Aluminiumoxidherstellung mit Ausnahme von Rotschlamm, der unter 01 03 07 fällt
01 05		BOHRSCHLÄMME UND ANDERE BOHRABFÄLLE
01 05 04		Schlämme und Abfälle aus Süßwasserbohrungen
01 05 05	* S	Ölhaltige Bohrschlämme und -abfälle
01 05 06	* S	Bohrschlämme und andere Bohrabfälle, die gefährliche Stoffe enthalten
01 05 07		Barythaltige Bohrschlämme und -abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 01 05 05 oder 01 05 06 fallen
01 05 08		Chloridhaltige Bohrschlämme und -abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 01 05 05 oder 01 05 06 fallen
2		ABFÄLLE AUS LANDWIRTSCHAFT, GARTENBAU, TEICHWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT, JAGD UND FISCHEREI SOWIE DER HERSTELLUNG UND VERARBEITUNG VON NAHRUNGSMITTELN
02 01		ABFÄLLE AUS LANDWIRTSCHAFT, GARTENBAU, TEICHWIRTSCHAFT, FORSTWIRTSCHAFT, JAGD UND FISCHEREI
02 01 01		Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
02 02 01		Schlämme von Wasch- und Reinigungsvorgängen
02 02 04		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
02 03 01		Schlämme aus Wasch-, Reinigungs-, Schäl-, Zentrifugier- und Abtrennprozessen
02 03 05		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
02 04 02		Nicht spezifikationsgerechter Kalziumkarbonatschlamm
02 04 03		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
02 05 02		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
02 06 03		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
02 07 05		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
3		ABFÄLLE AUS DER HOLZBEARBEITUNG UND DER HERSTELLUNG VON PLATTEN, MÖBELN, ZELLSTOFFEN, PAPIER UND KARTON* [*EG: ABFÄLLE AUS DER HOLZBEARBEITUNG UND DER HERSTELLUNG VON PLATTEN, MÖBELN, ZELLSTOFFEN, PAPIER UND PAPPE]
03 03		ABFÄLLE AUS DER HERSTELLUNG UND VERARBEITUNG VON ZELLSTOFF, PAPIER UND KARTON* [*EG: ABFÄLLE AUS DER HERSTELLUNG UND VERARBEITUNG VON ZELLSTOFF, PAPIER, KARTON UND PAPPE]
03 03 02		Sulfitschlämme (aus der Rückgewinnung von Kochlaugen)
03 03 05		De-Inking-Schlämme aus dem Papierrecycling
03 03 09		Kalkschlammabfälle
03 03 10		Faserabfälle, Faser-, Füller- und Überzugsschlämme aus der mechanischen Abtrennung
03 03 11		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 03 03 10 fallen
4		ABFÄLLE AUS DER LEDER-, PELZ-UND TEXTILINDUSTRIE
04 01		ABFÄLLE AUS DER LEDER-UND PELZINDUSTRIE
04 01 06	S	Chromhaltige Schlämme, insbesondere aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
04 01 07		Chromfreie Schlämme, insbesondere aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
04 02 19	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
04 02 20		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 04 02 19 fallen
5		ABFÄLLE AUS DER ERDÖLRAFFINATION, ERDGASREINIGUNG UND KOHLEPYROLYSE
05 01		ABFÄLLE AUS DER ERDÖLRAFFINATION
05 01 02	* S	Entsalzungsschlämme
05 01 03	* S	Bodenschlämme aus Tanks
05 01 04	* S	Saure Alkylschlämme
05 01 06	* S	Ölhaltige Schlämme aus Betriebsvorgängen und Instandhaltung
05 01 09	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
05 01 10		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 05 01 09 fallen
05 01 13		Schlämme aus der Kesselspeisewasseraufbereitung
6		ABFÄLLE AUS ANORGANISCH-CHEMISCHEN PROZESSEN
06 05		SCHLÄMME AUS DER BETRIEBSEIGENEN ABWASSERBEHANDLUNG
06 05 02	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
06 05 03		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 06 05 02 fallen
06 07		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON HALOGENEN UND AUS DER HALOGENCHEMIE
06 07 03	* S	Quecksilberhaltige Bariumsulfatschlämme



7		ABFÄLLE AUS ORGANISCH-CHEMISCHEN PROZESSEN
07 01		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG ORGANISCHER GRUNDCHEMIKALIEN
07 01 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 01 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 01 11 fallen
07 02		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON KUNSTSTOFFEN, SYNTHETISCHEM GUMMI UND KUNSTFASERN
07 02 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 02 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 02 11 fallen
07 03		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON ORGANISCHEN FARBSTOFFEN UND PIGMENTEN (MIT AUSNAHME DERJENIGEN, DIE UNTER 06 11 FALLEN)
07 03 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 03 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 03 11 fallen
07 04		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON ORGANISCHEN PFLANZENSCHUTZMITTELN (MIT AUSNAHME DERJENIGEN, DIE UNTER 02 01 08 UND 02 01 09 FALLEN), HOLZSCHUTZMITTELN (MIT AUSNAHME DERJENIGEN, DIE UNTER 03 02 FALLEN) UND ANDEREN BIOZIDEN
07 04 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 04 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 04 11 fallen
07 05		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON PHARMAZEUTIKA
07 05 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 05 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 05 11 fallen
07 06		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON FETTEN, SCHMIERSTOFFEN, SEIFEN, WASCHMITTELN, DESINFIZIERUNGSMITTELN UND KÖRPERPFLEGEMITTELN
07 06 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 06 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 06 11 fallen
07 07		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON FEINCHEMIKALIEN UND CHEMIKALIEN ANDERSWO NICHT GENANNT
07 07 11	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
07 07 12		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 07 07 11 fallen
8		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON BESCHICHTUNGEN (FARBEN, LACKE, EMAIL), KLEBSTOFFEN, DICHTMASSEN UND DRUCKFARBEN
08 01		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB, ANWENDUNG UND ENTFERNUNG VON FARBEN UND LACKEN . Hinweise zur Klassierung: siehe Merkblatt für Malereibetriebe
08 01 13	* S	Farb- und Lackschlämme, die organische Lösungsmittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten
08 01 14	S	Farb- und Lackschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 01 13 fallen
08 01 15	* S	Wässrige Schlämme, die Farben oder Lacke mit organischen Lösungsmitteln oder anderen gefährlichen Stoffen enthalten
08 01 16	S	Wässrige Schlämme, die Farben oder Lacke enthalten mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 01 15 fallen
08 02		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG ANDERER BESCHICHTUNGEN (EINSCHLIESSLICH KERAMISCHER WERKSTOFFE)
08 02 02		Wässrige Schlämme, die keramische Werkstoffe enthalten
08 03		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON DRUCKFARBEN
08 03 07	S	Wässrige Schlämme, die Druckfarben enthalten
08 03 14	* S	Druckfarbenschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten
08 03 15	S	Druckfarbenschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 03 14 fallen
08 04		ABFÄLLE AUS HERSTELLUNG, ZUBEREITUNG, VERTRIEB UND ANWENDUNG VON KLEBSTOFFEN UND DICHTMASSEN (EINSCHLIESSLICH WASSERABWEISENDER MATERIALIEN)
08 04 11	* S	Klebstoff- und dichtmassenenthaltende Schlämme, die organische Lösungsmittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten
08 04 12	S	Klebstoff- und dichtmassenenthaltende Schlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 04 11 fallen
08 04 13	* S	Wässrige Schlämme, die Klebstoffe und Dichtmassen mit organischen Lösungsmitteln oder anderen gefährlichen Stoffen enthalten
08 04 14	S	Wässrige Schlämme, die Klebstoffe und Dichtmassen enthalten, mit Ausnahme derjenigen, die unter 08 04 13 fallen



10		ABFÄLLE AUS THERMISCHEN PROZESSEN
10 01		ABFÄLLE AUS KRAFTWERKEN UND ANDEREN VERBRENNUNGSANLAGEN (MIT AUSNAHME DERJENIGEN, DIE UNTER KAPITEL 19 FALLEN) . Hinweise zur Klassierung: siehe Vollzugshilfe Kohleflugasche und Hochofenschlacke
10 01 07		Reaktionsabfälle auf Kalziumbasis aus der Rauchgasentschwefelung in Form von Schlämmen
10 01 20	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 01 21		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 20 fallen
10 01 22	* S	Wässrige Schlämme aus der Kesselreinigung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 01 23		Wässrige Schlämme aus der Kesselreinigung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 01 22 fallen
10 02		ABFÄLLE AUS DER EISEN-UND STAHLINDUSTRIE . Hinweise zur Klassierung: siehe Vollzugshilfe Kohleflugasche und Hochofenschlacke
10 02 13	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 02 14		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 02 13 fallen
10 02 15		Andere Schlämme und Filterkuchen
10 03		ABFÄLLE AUS DER THERMISCHEN ALUMINIUM-METALLURGIE
10 03 25	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 03 26		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 03 25 fallen
10 04		ABFÄLLE AUS DER THERMISCHEN BLEIMETALLURGIE
10 04 07	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 05		ABFÄLLE AUS DER THERMISCHEN ZINKMETALLURGIE
10 05 06	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 06		ABFÄLLE AUS DER THERMISCHEN KUPFERMETALLURGIE
10 06 07	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 07		ABFÄLLE AUS DER THERMISCHEN SILBER-, GOLD-UND PLATINMETALLURGIE
10 07 05		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 08		ABFÄLLE AUS SONSTIGER THERMISCHER NICHT-EISEN-METALLURGIE
10 08 17	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 08 18		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 08 17 fallen
10 11		ABFÄLLE AUS DER HERSTELLUNG VON GLAS UND GLASERZEUGNISSEN
10 11 13	* S	Glaspolymer- und Glasschleifschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11 14		Glaspolymer- und Glasschleifschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 11 13 fallen
10 11 17	* S	Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
10 11 18		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 10 11 17 fallen
10 12		ABFÄLLE AUS DER HERSTELLUNG VON KERAMIKERZEUGNISSEN UND KERAMISCHEN BAUSTOFFEN WIE ZIEGELN, FLIESEN, STEINZEUG
10 12 05		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 12 13		Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
10 13		ABFÄLLE AUS DER HERSTELLUNG VON ZEMENT, BRANNTKALK, GIPS UND ERZEUGNISSEN AUS DIESEN
10 13 07		Schlämme und Filterkuchen aus der Abgasbehandlung
10 13 14		Betonabfälle und Betonschlämme
11		ABFÄLLE AUS DER CHEMISCHEN OBERFLÄCHENBEARBEITUNG UND BESCHICHTUNG VON METALLEN UND ANDEREN WERKSTOFFEN; NICHT-EISEN-HYDROMETALLURGIE . Hinweise zur Klassierung: siehe Merkblatt für die galvanische Branche
11 01		ABFÄLLE AUS DER CHEMISCHEN OBERFLÄCHENBEARBEITUNG UND BESCHICHTUNG VON METALLEN UND ANDEREN WERKSTOFFEN (Z.B. GALVANIK, VERZINKUNG, BEIZEN, ÄTZEN, PHOSPHATIEREN, ALKALISCHES ENTFETTEN UND ANODISIERUNG)
11 01 08	* S	Phosphatierschlämme
11 01 09	* S	Schlämme und Filterkuchen, die gefährliche Stoffe enthalten
11 01 10	S	Schlämme und Filterkuchen mit Ausnahme derjenigen, die unter 11 01 09 fallen
11 01 15	* S	Eluate und Schlämme aus Membransystemen oder Ionenaustauschsystemen, die gefährliche Stoffe enthalten
11 02		ABFÄLLE UND SCHLÄMME AUS PROZESSEN DER NICHT-EISEN-HYDROMETALLURGIE
11 02 02	* S	Schlämme aus der Zink-Hydrometallurgie (einschliesslich Jarosit, Goethit)
11 03		SCHLÄMME UND FESTSTOFFE AUS HÄRTEPROZESSEN
12		ABFÄLLE AUS PROZESSEN DER MECHANISCHEN FORMGEBUNG SOWIE DER PHYSIKALISCHEN UND MECHANISCHEN OBERFLÄCHENBEARBEITUNG VON METALLEN UND KUNSTSTOFFEN . Hinweise zur Klassierung: siehe Merkblatt für die galvanische Branche
12 01		ABFÄLLE AUS PROZESSEN DER MECHANISCHEN FORMGEBUNG SOWIE DER PHYSIKALISCHEN UND MECHANISCHEN OBERFLÄCHENBEARBEITUNG VON METALLEN UND KUNSTSTOFFEN
12 01 14	* S	Bearbeitungsschlämme, die gefährliche Stoffe enthalten
12 01 15	S	Bearbeitungsschlämme mit Ausnahme derjenigen, die unter 12 01 14 fallen
12 01 18	* S	Ölhaltige Metallschlämme (Schleif-, Hon- und Läppschlämme)



13		ÖLABFÄLLE UND ABFÄLLE AUS FLÜSSIGEN BRENNSTOFFEN (AUSSER SPEISEÖLE UND ÖLABFÄLLE, DIE UNTER DIE KAPITEL 05, 12 ODER 19 FALLEN) . Hinweise zur Klassierung: siehe Merkblatt für das Autogewerbe
13 05		INHALTE VON ÖL-/WASSERABSCHIEDERN
13 05 02	* S	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern
13 05 03	* S	Schlämme aus Einlaufschächten* *Anstelle dieses Codes wird in der Schweiz Code 20 03 06 verwendet.
13 08		ÖLABFÄLLE ANDERSWO NICHT GENANNT
13 08 01	* S	Schlämme oder Emulsionen aus Entsalzern
14		ABFÄLLE AUS ORGANISCHEN LÖSUNGSMITTELN, KÜHLMITTELN UND TREIBGASEN (MIT AUSNAHME DERJENIGEN, DIE UNTER DIE KAPITEL 07 ODER 08 FALLEN)
14 06		ABFÄLLE AUS ORGANISCHEN LÖSUNGSMITTELN, KÜHLMITTELN SOWIE SCHAUM-UND AEROSOLTREIBGASEN . Hinweise zur Klassierung: siehe Merkblatt für Malereibetriebe
14 06 04	* S	Schlämme oder feste Abfälle, die halogenierte Lösungsmittel enthalten
14 06 05	* S	Schlämme oder feste Abfälle, die andere Lösungsmittel enthalten
19		ABFÄLLE AUS ABFALLBEHANDLUGSANLAGEN, ÖFFENTLICHEN ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN, SOWIE DER AUFBEREITUNG VON WASSER FÜR DEN MENSCHLICHEN GEBRAUCH UND WASSER FÜR INDUSTRIELLE ZWECKE
19 02		ABFÄLLE AUS DER PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN BEHANDLUNG VON ABFÄLLEN (EINSCHLIESSLICH DECHROMATISIERUNG, CYANIDENTFERNUNG, NEUTRALISATION)
19 02 05	* S	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
19 02 06	S	Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 02 05 fallen
19 06		ABFÄLLE AUS DER ANAEROBEN BEHANDLUNG VON ABFÄLLEN
19 06 04		Gärrückstand/-schlamm aus der anaeroben Behandlung von Siedlungsabfällen
19 06 06		Gärrückstand/-schlamm aus der anaeroben Behandlung von tierischen und pflanzlichen Abfällen
19 08		ABFÄLLE AUS ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN ANDERSWO NICHT GENANNT
19 08 05		Klärschlämme aus öffentlichen Abwasserreinigungsanlagen* [*EG: Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser]
19 08 07	* S	Lösungen und Schlämme aus der Regeneration von Ionenaustauschern
19 08 08	* S	Schwermetallhaltige Schlämme aus Membransystemen
19 08 11	* S	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten
19 08 12		Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen
19 08 13	* S	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten
19 08 14	S	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 13 fallen
19 09		ABFÄLLE AUS DER ZUBEREITUNG VON WASSER FÜR DEN MENSCHLICHEN GEBRAUCH ODER INDUSTRIELLEM BRAUCHWASSER
19 09 02		Schlämme aus der Wasserklärung
19 09 03		Schlämme aus der Dekarbonatisierung
19 09 06		Lösungen und Schlämme aus der Regeneration von Ionenaustauschern
19 11		ABFÄLLE AUS DER ALTÖLAUFBEREITUNG
19 11 05	* S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten
19 11 06	S	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 11 05 fallen
19 13		ABFÄLLE AUS DER SANIERUNG VON BÖDEN , AUSHUB UND GRUNDWASSER* [*EG: ABFÄLLE AUS DER SANIERUNG VON BÖDEN UND GRUNDWASSER]
19 13 03	* S	Schlämme aus der Sanierung von Böden oder von Aushub, die gefährliche Stoffe enthalten* [*EG: Schlämme aus der Sanierung von Böden, die gefährliche Stoffe enthalten]
19 13 04		Schlämme aus der Sanierung von Böden oder von Aushub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 13 03 fallen* [*EG: Schlämme aus der Sanierung von Böden mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 13 03 fallen]
19 13 05	* S	Schlämme aus der Sanierung von Grundwasser, die gefährliche Stoffe enthalten
19 13 06		Schlämme aus der Sanierung von Grundwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 13 05 fallen
20		SIEDLUNGSABFÄLLE UND SIEDLUNGSABFÄLLEÄHNLICHE ABFÄLLE AUS INDUSTRIE UND GEWERBE (HAUSHALTABFÄLLE UND ÄHNLICHE GEWERBLICHE UND INDUSTRIELLE ABFÄLLE SOWIE ABFÄLLE AUS EINRICHTUNGEN), EINSCHLIESSLICH GETRENNT GESAMMELTE FRAKTIONEN* [*EG: SIEDLUNGSABFÄLLE (HAUSHALTABFÄLLE UND ÄHNLICHE GEWERBLICHE UND INDUSTRIELLE ABFÄLLE SOWIE ABFÄLLE AUS EINRICHTUNGEN), EINSCHLIESSLICH GETRENNT GESAMMELTE FRAKTIONEN]
20 03		ANDERE SIEDLUNGSABFÄLLE
20 03 04		Fäkalschlamm
20 03 06	S	Schlämme aus Strassenschächten (Strassensammlerschlämme)* [*EG: Abfälle aus der Kanalreinigung]

