

bci Betriebs-AG

Deponie Bonfol: Bewertung des Verhaltens und Vor- kommens von Chlorat

30. März 2011



BMG ENGINEERING AG

Consulting:
Ifangstrasse 11 • CH-8952 Schlieren/Zürich
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 730 66 22
bmg@bmgeng.ch • www.bmgeng.ch

Labors:
Ifangstrasse 11 • CH-8952 Schlieren/Zürich
Tel. 044 732 92 92 • Fax 044 732 92 21
labors@bmgeng.ch

Zusammenfassung

Im Zuge der Aushubarbeiten am Standort der Sondermülldeponie Bonfol (DIB) fand am 7. Juli 2010 eine Explosion statt, die vermutlich auf das Vorhandensein einer kleinen Menge von Chlorat (wenige kg) zurückzuführen ist. Aufgrund der von allfällig vorhandenen weiteren Chloratmengen potentiell ausgehenden Explosionsgefahr wurde mit dem vorliegenden Bericht eine erste Bewertung des Vorkommens und Verhaltens von Chlorat in der DIB durchgeführt. Dazu wurden grundsätzliche Überlegungen und Literaturrecherchen zum Verhalten von Chlorat angestellt, Chloratkonzentration im Sickerwasser sowie in Tümpeln am Ort der Explosion gemessen und Abbauversuche durchgeführt.

Zur Auslösung einer Explosion musste Chlorat in fester Form in der Deponie vorliegen, da gelöstes Chlorat nicht explosionsfähig ist. Aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit von Chlorat ist davon auszugehen, dass alles gegenüber dem Sickerwasser nicht geschützte Chlorat in der gefluteten Deponiephase aufgelöst wurde. Ein Vergleich der gemessenen gelösten Konzentrationen von Chlorat und weiteren Bestandteilen von potentiell relevanten Chloratsalzen zeigt, dass eine spätere Wiederausfällung (Bildung fester Chlorate) mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auszuschliessen ist. Vergleiche mit Chlorid- und Bromidkonzentration legen nahe, dass die in den Tümpeln gemessenen erhöhten Chloratwerte vermutlich auf bei der Explosion versprengtes oder lokal eingewaschenes (Sprühflutanlage) Material zurückzuführen sind.

Die durchgeführten Literaturrecherchen und Experimente deuten darauf hin, dass der reduktive Abbau von gelöstem Chlorat aufgrund der geringen mikrobiellen Aktivität nur langsam stattfindet. Damit ist zu vermuten, dass das heute gelöste Chlorat bereits während der gefluteten Deponiephase gelöst wurde und dass sich die heute messbaren Konzentrationen nicht sehr stark von den ursprünglich vorhandenen gelösten Konzentrationen unterscheiden.

Es ist daher eine ursprüngliche Ablagerung von Chlorat in verfügbarer (vor Wasser ungeschützter) sowie geschützter Form zu vermuten. Als geschützte Form kann z.B. chlorathaltiges Material in kleineren Gebinden vermutet werden; bei der ursprünglich verfügbaren Form kann es sich um loses Material oder aber einfach um undichte Gebinde gehandelt haben. Eine Ablagerung von grossen Gebinden mit reinem Chlorat wird als wenig wahrscheinlich eingestuft.

Inhalt

Zusammenfassung.....	i
1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	4
2 Grundlagen	4
3 Relevante Eigenschaften von Chlorat.....	5
3.1 Allgemeines.....	5
3.2 Löslichkeit.....	6
4 Vorkommen in der DIB.....	7
4.1 Konzentrationen und Frachten	7
4.2 Vergleich mit Konzentrationen von Bromid und Chlorid.....	8
5 Verhalten und Beständigkeit von Chlorat im Sickerwasser der DIB	9
5.1 Überlegungen zur Beständigkeit von Chlorat im Sickerwasser der DIB.....	9
5.2 Abbautest von Chlorat im Sickerwasser.....	10
5.3 Abschätzung der vor-Ort Verhältnisse, Fazit.....	11
6 Plausibilitätsüberlegungen und Schlussfolgerungen.....	12
7 Fazit	13

Tabellen

Tab. 1	Konzentrationen von Chlorat im Wasser am Ort der Explosion bzw. im Sickerwasser der DIB. Die Lage der Probenahmestellen ist dem Plan in Anhang 1 zu entnehmen. Bei der Probenahme vom 13.12.2010 wurden im Wasser des Explosionskraters und der angrenzenden Tümpel "trou ouest" bzw. "trou est" weitere Parameter bestimmt.	7
Tab. 2	Abschätzung der insgesamt vorhandenen Sickerwassermenge je Kompartiment und der entsprechenden Gesamtmengen an gelöstem Chlorat. Das Sickerwasservolumen für die einzelnen Kompartimente wurde aufgrund des geschätzten Gesamtvolumens [17] und der jeweiligen Geometrie abgeschätzt.....	8

Abbildungen

Abb. 1	Wasserlöslichkeit von Chloratsalzen bei verschiedene Temperaturen. Bei den jeweiligen Zahlen handelt es sich um Mittel von experimentellen Werten aus [10 – 16]......	6
Abb. 2	Abbau von Chlorat in Laborexperimenten. DSC 1 und DSC 3 bezeichnen Probenahmestellen (s. Anhang), in Klammern sind die Labornummern aufgelistet.....	11

Anhänge

Anhang 1	Situationsplan	
----------	----------------	--

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Zuge der Aushubarbeiten am Standort der Sondermülldeponie Bonfol (DIB) fand am 7. Juli 2010 eine Explosion statt, die vermutlich auf das Vorhandensein von Chlorat zurückzuführen ist [1].

In der Folge wurden Wasser- bzw. Sickerwasserproben am Ort der Explosion sowie an anderen möglichen Standorten (Piezometer im Deponiekörper, Drainageleitungen) u.A. auf Chlorat hin analysiert. Die vorliegenden Messergebnisse deuten auf eine Konzentration von maximal 1-13 mg/L im Sickerwasser und ca. 30-90 mg/L am Ort der Explosion hin (s. Kapitel 4).

Aufgrund der von allfällig vorhandenen weiteren Chloratmengen potentiell ausgehenden Explosionsgefahr und ausgehend von den oben erwähnten Informationen soll mit dem vorliegenden Bericht eine erste Bewertung des Vorkommens und Verhaltens von Chlorat in der DIB durchgeführt werden. Dazu wurde folgendes Vorgehen gewählt:

- Zunächst werden die relevanten Eigenschaften von Chlorat zusammengestellt (Kapitel 3). Insbesondere wird dabei bewertet, inwiefern gelöstes Chlorat mit weiteren Sickerwasserkomponenten feste (potentiell explosive) Salze (Chlorate) bilden kann.
- In Kapitel 4 werden Konzentrationen und Frachten von Chlorat bewertet. Basierend auf Vergleichen mit den gemessenen Konzentrationen von Chlorid und Bromid werden mögliche Chloratquellen evaluiert.
- In Kapitel 5 wird die Beständigkeit bzw. der Abbau von gelöstem Chlorat unter den Verhältnissen in der DIB evaluiert.
- Plausibilitätsüberlegungen und Schlussfolgerungen zu vorhandenen Mengen und Verhalten von Chlorat in der DIB finden sich in Kapitel 6.

2 Grundlagen

- [1] Forensisches Institut Zürich, Spurensicherungsbericht, 12. Oktober 2010
- [2] Brookins, D.G. (1988), Eh-pH diagrams for geochemistry, Springer-Verlag, Berlin, Germany
- [3] Chemische Risikobewertung Deponie Bonfol – Stand Ende 2002, Text und Anhänge – BMG Engineering AG, August 2003
- [4] The relevance and application of whole mixture toxicity in the hazard assessment of landfill emissions, Fabio Dorian Peyser, Master Thesis ETH 2007MS13, September 2007
- [5] Variantenstudie Totalsanierung Bonfol, Berichtsband, BMG Engineering AG, 10. April 2001
- [6] C. G. van Ginkel, C. M. Plugge, C. A. Stroo, Reduction of chlorate with various energy substrates and inocula under anaerobic conditions, Chemosphere 1995, vol. 31, pp. 4057-4066

- [7] https://www.uni-hohenheim.de/sfb564/uplands2008/presentations/5-2_a-Somchai.pdf
- [8] EnviroGulf Consulting, Review of the Toxicity and Fate of Chlorate in the Effluent Discharge, Dubai, 2007 (von www.environment.gov.au, Zugriff 7/10/10)
- [9] Siddiqui, M.S. 1996. Chlorine-ozone interactions: formation of chlorate. Water Research, 30(9): 2160–2170.
- [10] China Leading Manufacturer of Chlorates, HHH Technology: Properties of Ammonium Chlorate (von www.sincow.com/chemmark/, Zugriff 31/01/2011)
- [11] E. Dikman, L'étude de la solubilité du chlorate d'argent dans l'eau, manuscrit reçu le 7 Octobre 1960, Institut de Chimie Générale de la Faculté des Sciences de l'Université d'Ankara, pp. 24-30 (von www.dergiler.ankara.edu.tr, Zugriff 31/01/11)
- [12] E. C. Noonan, Solubility of Salts in Deuterium Oxide, Journal of the American Chemical Society 1948, vol. 70, pp. 2915-2916
- [13] Merck Safety Data Sheet CD-ROM 2001/1, February 2001
- [14] E. Soubeiran, Nouveau Traité de Pharmacie Théorique et Pratique, nouvelle édition, Bruxelles 1837
- [15] Solubility Table from Wikipedia, the free encyclopedia (von www.en.wikipedia.org, Zugriff 31/01/11)
- [16] D. R. Lide, Handbook of Chemistry and Physics, 71st Edition 1990-1991
- [17] Assainissement définitif de la décharge industrielle de Bonfol (DIB). Rapport annuel de suivi environnemental de réalisation (SER) 2008. CSD Ingénieurs SA, 10.1.2011
- [18] Hypothesen zum Explosionsereignis vom 7. Juli 2010 bei der Sanierung der Deponie in Bonfol. swissi, Basel, 10.2.2011

3 Relevante Eigenschaften von Chlorat

3.1 Allgemeines

Chlorate sind Salze der Chlorsäure (HClO_3), die als starke Säure im Wasser praktisch immer vollkommen dissoziiert vorliegt (in H^+ + ClO_3^- Ionen). Wichtige Chlorate sind Natriumchlorat (NaClO_3 , Unkrautvertilgungsmittel), Aluminiumchlorat ($\text{Al}(\text{ClO}_3)_3$, Antiseptikum) oder Kaliumchlorat (KClO_3 , Explosivstoffe).

Die meisten festen Chlorate sind starke Oxidationsmittel und gut wasserlöslich. Im Wasser liegen sie ebenfalls vollständig dissoziiert vor (z.B. in Na^+ + ClO_3^- Ionen). Ihre verdünnten wässrigen Lösungen wirken potentiell oxidierend, dabei erfolgt die Reduktion vom Chlorat-Ion bis zu Chlorid (Cl^-).

Im festen Zustand sind Chlorate bei Raumtemperatur haltbar. Es ist allerdings bekannt, dass feste Gemische von Chloraten und oxidierbaren Substanzen (z.B. Phosphor, Schwefel, organische Verbindungen) schon bei geringen mechanischen

Belastungen zur Explosion neigen. Insbesondere Ammoniumchlorat ist instabil und neigt zu spontanen Explosionen, da es sowohl ein Reduktions- wie auch ein Oxidationsmittel enthält (Ammonium- bzw. Chloration).

3.2 Löslichkeit

Um abzuklären, ob sich durch die Wechselwirkung von gelöstem Chlorat mit weiteren Sickerwasserbestandteilen feste Chlorate bilden könnten, wurde die Wasserlöslichkeit einer Reihe von Chloratsalzen aus Literaturangaben zusammengestellt. Die Übersicht in Abbildung 1 zeigt, dass Chlorate im Wasser sehr gut löslich sind. Da die Konzentrationen von gelöstem Chlorat im Sickerwasser wie auch im Explosionskrater bzw. den benachbarten Tümpeln um mehrere Größenordnungen unterhalb der Löslichkeitsgrenze des am wenigsten löslichen Chloratsalzes KClO_3 liegen, kann die (künftige) Bildung fester Chlorate aus Lösungen in der DIB ausgeschlossen werden.

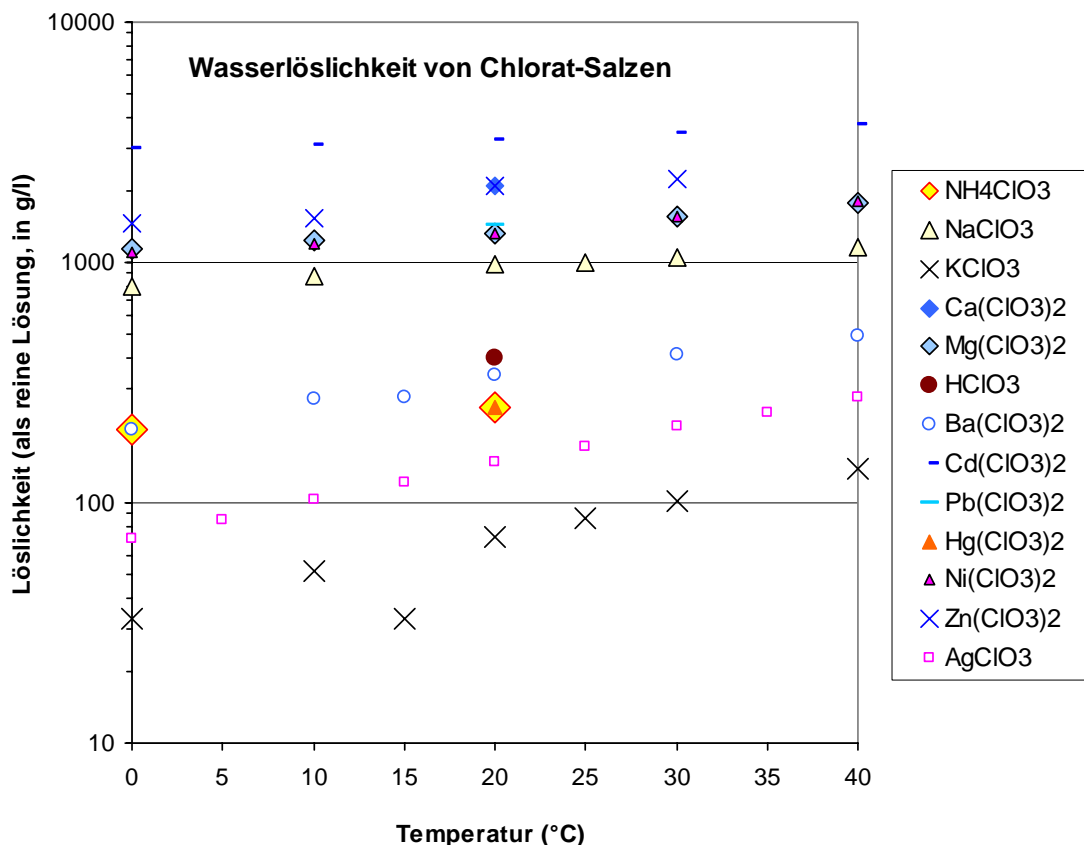


Abb. 1 Wasserlöslichkeit von Chloratsalzen bei verschiedene Temperaturen. Bei den jeweiligen Zahlen handelt es sich um Mittel von experimentellen Werten aus [10 – 16].

4 Vorkommen in der DIB

4.1 Konzentrationen und Frachten

Analysen auf Chlorat in den Abfällen wurden in der direkten Umgebung des bei der Explosion entstandenen „Kraters“ durchgeführt, sowie an einigen Rückstellproben, die vor der Explosion aus den Abfällen entnommen worden waren [1]. Dabei wurde kein Chlorat gefunden.

Dagegen wurden das Wasser im Explosionskrater und den benachbarten Tümpeln sowie das Sickerwasser auf gelöstes Chlorat hin untersucht. Eine Übersicht der Probenahmestellen findet sich in Anhang 1, die gefundenen Konzentrationen an Chlorat sowie von einigen weiteren Parametern finden sich in Tabelle 1.

Tab. 1 Konzentrationen von Chlorat im Wasser am Ort der Explosion bzw. im Sickerwasser der DIB. Die Lage der Probenahmestellen ist dem Plan in Anhang 1 zu entnehmen. Bei der Probenahme vom 13.12.2010 wurden im Wasser des Explosionskraters und der angrenzenden Tümpel "trou ouest" bzw. "trou est" weitere Parameter bestimmt.

Probenahme- stelle	Chlorat (mg/L)			Chlorid (mg/L)	Bromid (mg/L)	el. Leitfähigkeit (μ S/cm)
	13.09.2010	26.10.2010	13.12.2010	13.12.2010	13.12.2010	13.12.2010
DCS 1	4.1	4.4				
DCS 2	3.8	n.b.				
DCS 3	13.0	8.9				
D 18		<1				
D19		9.6				
DP 60		1.9				
DG 28		<1				
DP 55		<10				
DP63		5.2				
DP 53		<1				
DP 59		<2				
trou ouest			88.0	7700	270	3500
trou est			56.0	5700	210	2300
Krater		31.0	66.0	7400	230	3000

n.b.: nicht bestimmbar (keine ausreichende Wiederfindung)

Die Deponie ist in mehrere unterschiedlich grosse Kompartimente (Depot 1-6) unterteilt. In Tabelle 2 findet sich eine Abschätzung der gesamten Sickerwassermengen in den einzelnen Kompartimenten sowie eine Abschätzung der entsprechenden im Sickerwasser gelösten Chloratmengen.

Tab. 2 Abschätzung der insgesamt vorhandenen Sickerwassermenge je Kompartiment und der entsprechenden Gesamtmengen an gelöstem Chlorat. Das Sickerwasservolumen für die einzelnen Kompartimente wurde aufgrund des geschätzten Gesamtvolumens [17] und der jeweiligen Geometrie abgeschätzt.

Kompartiment	Volumen Sickerwasser m ³	Probennamestelle	Chlorat* mg/L	Chlorat im Sickerwasser kg
Depot 1	80	DP59	<2.0	<0.2
Depot 2	70	DP63 / DP60 / DCS1	3.8	0.26
Depot 3	nicht abgeschätzt	Krater	-	-
Depot 4 ₁₋₃	750	DCS3	11	8.25
Depot 5	100	D19	9.6	1
Depot 6	1300	DP53 / DP55 / DG28 / D18 / DCS2	<1.0 / <10.0	<4.5
Total	2300			9.5 - 14.2

* bei mehreren Probenahmen/Probenahmestellen ist die Durchschnitts-Konzentration angegeben

Seit dem Jahr 2000 werden jährlich rund 500 m³ Sickerwasser durch die Drainageleitungen aus der Deponie entfernt. Aktuell fallen dabei durch den Sickerwasserstrang DCS3 rund 330 m³/a und durch die Stränge DCS1 und DCS2 zusammen rund 110 m³/a an. Entsprechend werden jährlich rund 0.45 kg Chlorat via DCS1 und DCS2 sowie 3.6 kg Chlorat via DCS3 ausgewaschen. Somit wurde letztes Jahr gesamthaft rund 4 kg Chlorat via Sickerwasser aus der Deponie ausgetragen.

Da keine Messungen der Chloratkonzentrationen im Sickerwasser für frühere Jahre vorhanden sind, kann für die Gesamtmenge an bereits ausgewaschenem Chlorat nur ein Minimalwert grob abgeschätzt werden. Unter der Annahme, dass die jährlichen Frachten sich nicht verändert haben, kann für die letzten 40 Jahre ein Austrag von mindestens 160 kg Chlorat aus der Deponie abgeschätzt werden. Die drainierte Sickerwassermenge war aber in den Jahren vor 2000 grösser als in den letzten 10 Jahren, zudem waren möglicherweise die Chlorat-Konzentrationen zu einem früheren Zeitpunkt ebenfalls höher. Daher könnte die tatsächliche Gesamtfracht über die letzten 40 Jahre die geschätzten 160 kg auch übersteigen.

4.2 Vergleich mit Konzentrationen von Bromid und Chlorid

Die Konzentrationen von Bromid und Chlorid im Krater und den benachbarten Tümpeln entsprechen in etwa der jeweils durchschnittlichen Sickerwasserkonzentration (Chlorid: 9300 mg/L, Bromid: 600 mg/L, s. [3]). Dagegen sind die Konzentrationen von Chlorat im Deponiesickerwasser deutlich tiefer als im Wasser von Krater und Tümpeln. Die erhöhten Konzentrationen im Krater und den Tümpeln dürften daher von Chloratresten stammen, die bei der Explosion versprengt oder durch die Sprühflutanlage (die nach dem Ereignis kurzzeitig ausgelöst wurde) ausgewaschen wurden.

Da für Chlorat eine ähnliche Mobilität wie für Bromid angenommen werden kann (sehr hohe Löslichkeit, keine Sorption), können allfällig durch Diffusion in den tonigen Deponiesaum vorhandene Chloratmengen aufgrund der für Bromid berechneten Verteilung (s. [3]) abgeschätzt werden. Aus Tabelle 1 ergibt sich für das Konzentrationsverhältnis Bromid/Chlorat im Sickerwasser ein Wert von etwa 50.

Bei Annahme eines ähnlichen Konzentrationsverhältnisses im Deponiesaum ergibt sich ein Wert von insgesamt etwa 60 kg Chlorat im gesamten Deponiesaum (ca. 40 kg im gesättigten Bereich, ca. 20 im ungesättigten Bereich). Überschlagsmässig (12'000 m² Fläche Saum, 40 cm Eindringtiefe, wassergefüllte Porosität von ca. 40 %) ergibt sich damit eine mittlere Chloratkonzentration im Porenwasser der Tone von rund 30 mg/L. Dieser Wert liegt ca. drei Grössenordnungen tiefer als das Löslichkeitslimit des am wenigsten löslichen Chloratsalzes (Kapitel 3), womit die Bildung fester Chlorate im Saum mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Aufgrund des im Vergleich zum Sickerwasser stark erhöhten Verhältnisses Chlorat/Bromid kann weiterhin ausgeschlossen werden, dass das Chlorat in den Tümpeln/Krater durch Rücklösung aus dem Deponiesaum stammt.

5 Verhalten und Beständigkeit von Chlorat im Sickerwasser der DIB

Zur Beurteilung der Beständigkeit von Chlorat im Sickerwasser der DIB wurden sowohl grundsätzliche Überlegungen unter Einbezug der standortspezifischen Verhältnisse gemacht als auch erste Laborversuche durchgeführt.

5.1 Überlegungen zur Beständigkeit von Chlorat im Sickerwasser der DIB

Gem. [2] ist das Chlorat-Anion in wässrigen Lösungen thermodynamisch gegenüber dem Chlorid-Ion nicht stabil. Damit kann aber noch keine Aussage über das tatsächliche Verhalten gemacht werden. So hat z.B. [9] beobachtet, dass Chlorat in verschiedenen Wässern kinetisch stabil ist. In [8] werden diverse Studien aufgeführt, die je nach Verhältnissen eine Reduktion von gelöstem Chlorat in der Umwelt beobachteten oder aber Chlorationen als persistent in der Umwelt einstufen.

Als wichtige Faktoren für die Reduktion von gelöstem Chlorat in der Umwelt können aufgrund mehrerer Studien ([6], [7], [8]) die folgenden Verhältnisse identifiziert werden:

1. Es wird ein gelöstes oxidierbares Substrat (wie z.B. gelöster organischer Kohlenstoff, DOC) benötigt, wobei höhere Konzentrationen an organischem Kohlenstoff zu einer schnelleren Reduktion führen. In der Regel können unter anderem Karbonsäuren, Alkohole und Aminosäuren von Chloraten relativ schnell oxidiert werden.
2. Die Reduktion von Chlorat scheint nur in Gegenwart von Mikroorganismen tatsächlich abzulaufen.
3. Bei Anwesenheit von Sauerstoff wird die Reduktion von Chlorat verhindert (oder stark zurückgebunden), wogegen das Vorhandensein von anderen Oxidationsmitteln wie oxidierten Metallverbindungen (Mangan(IV) oder Fe(III)) oder Sulfat die Chloratreduktion nicht beeinträchtigt.

Demgegenüber lassen sich die relevanten Standorteigenschaften der DIB wie folgt zusammenfassen:

- Nasses/feuchtes und zumindest im gesättigten Bereich anaerobes Milieu.
- Sehr hoher Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff im Sickerwasser (DOC ca. 15 g/L). Dieser ist primär auf Alkohole, Fettsäuren und Ketone zurückzuführen.
- Vorhandensein von zahlreichen organischen und anorganischen oxidierbaren Stoffen im Sickerwasser.

Zusammenfassend kann das Verhalten von gelöstem Chlorat grundsätzlich wie folgt eingeschätzt werden: In reinen wässrigen Lösungen bzw. bei Anwesenheit von Sauerstoff scheint Chlorat kinetisch stabil zu sein. Aufgrund der obengenannten, für die DIB relevanten Standorteigenschaften (hoher Gehalt an oxidierbarem organischem Kohlenstoff im Sickerwasser, anaerobe Verhältnisse) kann davon ausgegangen werden, dass im Sickerwasser gelöste Chlorate relativ schnell reduziert werden könnten.

5.2 Abbautest von Chlorat im Sickerwasser

Ein Abbautest wurde mit Sickerwasser aus den Probenahmestellen DSC1 und DSC3 durchgeführt. Zu Beginn der Tests wurde dem Sickerwasser eine definierte Menge Chlorat zugegeben. Die Tests wurden bei Raumtemperatur sowie bei 4 °C über eine Zeit von 86 Tagen durchgeführt. Die Tests fanden in geschlossenen Flaschen statt, allerdings wurde das bei den Beprobungen entnommene Volumen durch gewöhnliche Luft ersetzt, wodurch möglicherweise signifikante Mengen Sauerstoff in die Flaschen gelangten.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass innerhalb der analytischen Unsicherheit Chlorat bei Raumtemperatur auf etwa die Hälfte der ursprünglichen Konzentration abgebaut wird. Dagegen fand bei 4 °C innerhalb der experimentellen Zeitspanne kein Abbau statt, was mit der geringeren mikrobiellen Aktivität erklärt werden kann. Es ist zu vermuten, dass die Chloratreduktion bei Ausschluss von Sauerstoff schneller bzw. vollständiger verlaufen würde (da den Mikroorganismen der Sauerstoff als Oxidationsmittel fehlen würde); entsprechende Daten sind aber nicht vorhanden. Ob unter anaeroben Verhältnissen auch bei 4 °C innerhalb der experimentellen Zeitspanne ein Abbau stattgefunden hätte lässt sich nicht sagen.

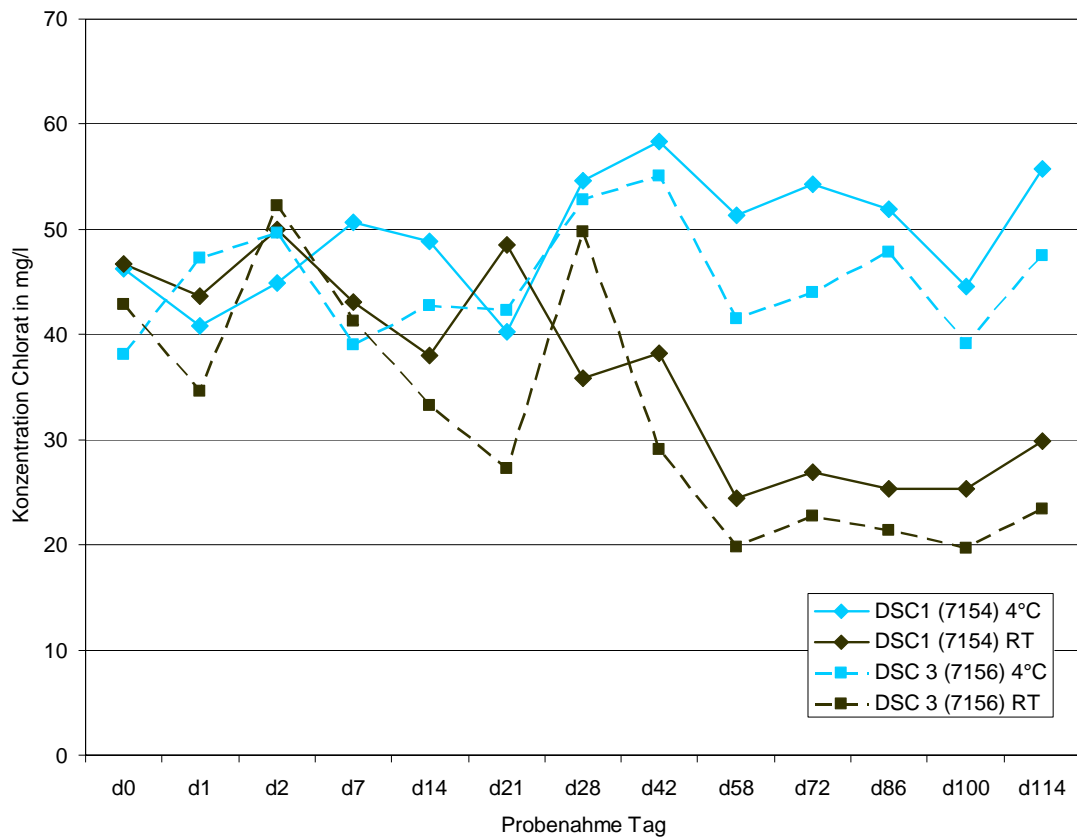


Abb. 2 Abbau von Chlorat in Laborexperimenten. DSC 1 und DSC 3 bezeichnen Probenahmestellen (s. Anhang), in Klammern sind die Labornummern aufgelistet.

5.3 Abschätzung der vor-Ort Verhältnisse, Fazit

Aufgrund der Zusammensetzung des Sickerwassers der DIB kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass gelöstes Chlorat abgebaut werden kann. Die durchgeführten Abbauxperimente lassen keinen eindeutigen Schluss bzgl. eines Abbaus unter realistischen Bedingungen (Abwesenheit von Sauerstoff, ca. 10 °C Durchschnittstemperatur) zu, zeigen aber, dass der Abbau von Chlorat tatsächlich stattfinden kann. Gleichzeitig bestätigen die Laborexperimente, dass die mikrobielle Aktivität entscheidend dafür ist inwiefern der mögliche Abbau von Chlorat auch tatsächlich stattfindet. Diesbezüglich deuten die in den 1980er und 1990er Jahren durchgeführten Messungen von Methan im Deponiegas (Methan konnte lediglich lokal und meist im tiefen %-Bereich gemessen werden; dokumentiert in diversen Jahresberichten der CSD) auf eine recht geringe mikrobielle Aktivität hin (im Vergleich zu z.B. einer typischen Hausmülldeponie). Damit ist lediglich von einem durchschnittlich geringen (langsamen bzw. nur lokal stattfindenden) Abbau von gelöstem Chlorat in der DIB auszugehen.

6 Plausibilitätsüberlegungen und Schlussfolgerungen

- Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse ist davon auszugehen, dass Chlorat tatsächlich die Ursache der Explosion war. Dazu musste Chlorat in fester Form in der Deponie vorliegen, da gelöstes Chlorat keine Explosionen auslöst.
- Chlorat ist sehr gut wasserlöslich. Da die Deponie in der Vergangenheit (vor der Einrichtung der Drainage in den 1980-iger Jahren) vollständig mit Wasser gefüllt war, muss davon ausgegangen werden, dass alles zu diesem Zeitpunkt verfügbare (d.h., gegenüber dem Sickerwasser nicht geschützte) Chlorat in dieser Deponiephase aufgelöst wurde.
- Die dabei im Sickerwasser erhaltenen Konzentrationen an Chlorat können aufgrund der vorliegenden Daten nicht abschliessend abgeschätzt werden. Die folgenden Szenarien sind im Sinne von Eckwerten denkbar:
 - Falls sich Chlorat im Sickerwasser als inerte (konservativer, nicht abbaubarer) Tracer verhält, ist davon auszugehen, dass die gelöste Konzentration immer mehr oder weniger stabil im heute messbaren Bereich lag (wie dies z.B. auch für Bromid und Chlorid zu beobachten ist.)
 - Wie in Kapitel 5 dargelegt, ist es wahrscheinlich, dass Chlorat im Sickerwasser mikrobiell abgebaut (reduziert) werden kann. In diesem Fall wäre von ursprünglich höheren gelösten Chloratkonzentrationen auszugehen, die sich dann aufgrund des Abbaus auf die heute messbaren Werte senkten. Die vorhandenen Informationen (Kapitel 5) deuten auf einen geringen bzw. langsamen Abbau und damit auf eine nicht drastisch höhere Ausgangskonzentration von Chlorat hin.
- Weiter ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass das einmal aufgelöste Chlorat (aufgrund seiner hohen Löslichkeit) nach dem Sinken des Wasserspiegels in der Deponie nicht wieder als Feststoff ausgefallen ist resp. ausfallen kann (s. Kapitel 3).
- Es ist ferner denkbar, dass Chlorat neben wassergeschützten bzw. -verfügbaren Formen auch in Form diffuser Spuren in einer schwer zugänglichen festen Matrix (wie z.B. Filterkuchen o.Ä.) vorkommt und aus dieser Matrix nur langsam freigesetzt wird. Inwiefern solche Formen zur heute messbaren Sickerwasserkonzentration beitragen lässt sich aufgrund der vorliegenden Informationen nicht sagen. Allerdings ist davon auszugehen, dass die Auswaschung aus einer solchen Matrix mit der Zeit deutlich abnehmen würde (entsprechend einer Konzentrationsabnahme im Feststoff mit der Zeit bzw. mit zunehmender Auswaschung).
- Aus den obigen Überlegungen kann gefolgert werden, dass allenfalls heute noch in fester Form vorhandenes Chlorat auch ursprünglich nicht in verfügbarer Form (wie z.B. einer lose eingebrachten Masse) vorlag (bzw. vorliegt), sondern beispielsweise in wassergeschützten Gebinden. Über die Grösse solcher Gebinde kann keine fundierte Aussage gemacht werden.

7 Fazit

- Es ist davon auszugehen, dass alles gegenüber dem Sickerwasser nicht geschützte Chlorat in der gefluteten Deponiephase aufgelöst wurde. Aufgrund der hohen Löslichkeit von Chloratsalzen, ist eine spätere Wiederausfällung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auszuschliessen.
- Aufgrund des im Sickerwasser nachgewiesenen Chlorats sowie des wahrscheinlichen Vorkommens in fester Form ist eine Ablagerung von Chlorat in verfügbarer (vor Wasser ungeschützter) sowie geschützter Form zu vermuten. Weiter ist eine Ablagerung von Chlorat in Form von Spuren in schlecht wassergängigen Materialien (z.B. Filtermaterialien) vorstellbar. Bei der ursprünglich verfügbaren Form kann es sich um loses Material oder aber einfach um undichte Gebinde gehandelt haben. Eine Ablagerung von grossen Gebinden mit reinem Chlorat wird dabei als wenig wahrscheinlich eingestuft.
- Diese Überlegungen sind kompatibel mit den Schlussfolgerungen in [18], wo aufgrund historischer Abklärungen die Ablagerung von Abfällen aus Labor- und Pilotbetrieben als wahrscheinlichste Hypothese betrachtet wird.
- Die heute im Sickerwasser bzw. im Wasser der Vertiefungen (Krater und Tümpel) gemessenen Konzentrationen an Chlorat sind mit diesen Überlegungen ebenfalls kompatibel. Vermutlich stammt das gelöste Chlorat aus Material, welches bereits während der gefluteten Deponiephase aufgelöst wurde. Die vorliegenden Informationen legen nahe, dass der Abbau von gelöstem Chlorat aufgrund der geringen mikrobiellen Aktivität in der DIB nur langsam stattfindet und sich damit die heute messbaren Konzentrationen nicht drastisch von den ursprünglich vorhandenen gelösten Konzentrationen unterscheiden. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass kleine Mengen Chlorat nach wie vor langsam aus schlecht wassergängigen Materialien (wie z.B. Filtermaterialien) freigesetzt werden.

Der Projektleiter

BMG Engineering AG

Dr. M. Ochs

Dr. C. Munz

Schlieren, 30. März 2011

Projekt: 61200 DIB-BP





Die BMG Engineering AG hat diese Untersuchung unter Einsatz ihres besten professionellen Könnens und in Übereinstimmung mit allgemein anerkannten Grundsätzen ausgeführt. Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen im Untersuchungsbericht stützen sich auf die der BMG Engineering AG zum Zeitpunkt der Berichtverfassung vorliegenden Informationen. Diese Erkenntnisse und Schlussfolgerungen können nicht unüberprüft auf zukünftige Verhältnisse übertragen werden.

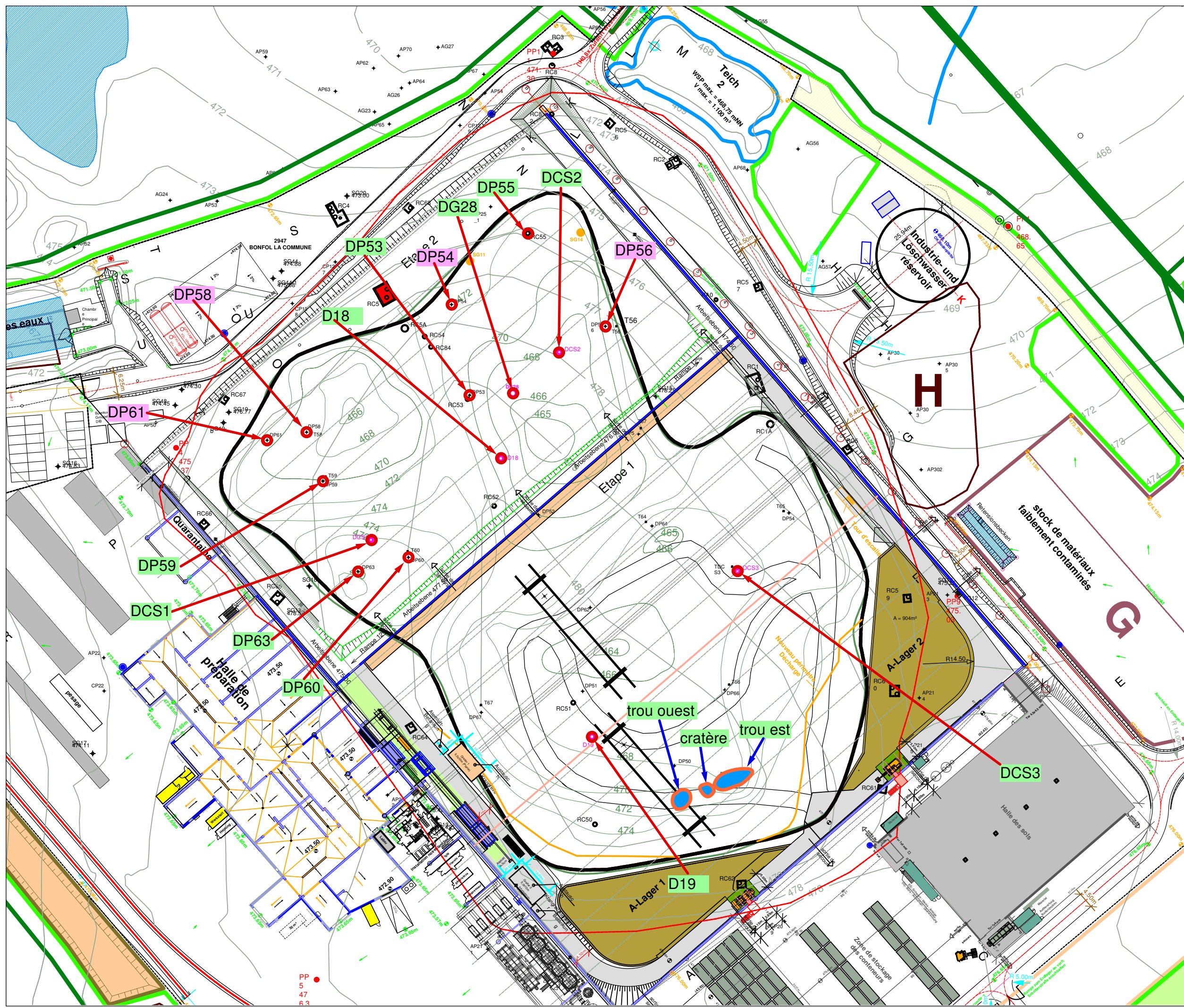
Anhang 1
Situationsplan

Situationsplan 1:1'000

bci Betriebs-AG

Risikobewertung Chlorat
Deponie Bonfol
2944 Bonfol

-  Probenahmestellen
-  Probenahme durchgeführt
-  keine Probenahme möglich
-  Detonationskrater und angrenzende Tümpel



Original: Überischtplan Deponiegelände
Groupement DI Bonfol
26.01.2011

Bearbeitung: BMG Engineering AG
Ifangstrasse 11
8952 Schlieren
Tel. 044 732 92 92



Stand: 01.03.2011