

Hypothesen zum Explosionsereignis des 7. Juli 2010 bei der Sanierung der Deponie in Bonfol



Auftraggeber bci Betriebs-AG
Postfach
4002 Basel

Projektnummer 302716

Ansprechpartner Auftraggeber Herr Michael Fischer
Herr Rainer Träxler

Berater Sicherheitsinstitut Dr. Didier Gandini
Dr. Pablo Lerena
Marc Steinkrauss

Ort und Datum Basel, 10.02.2011

Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort	4
1	Einleitung	4
2	Ereignisbeschreibung	5
3	Ereignisanalyse	7
3.1	Schadensbild-Analyse	7
3.1.1	Problemstellung	7
3.1.2	Lösungsansatz	7
3.1.3	Berechnung aufgrund der Kratergrösse	7
3.1.4	Berechnung aufgrund der Schäden durch den Explosionsdruck	8
3.1.5	Berechnung aufgrund der Schäden durch den Explosionsdruck	8
4	Datenanalyse und Annahmen	9
4.1	Eigenschaften und Verwendung von Chloraten	9
4.1.1	Physikalisch-chemische Eigenschaften	9
4.1.2	Brand- und Explosionseigenschaften von Natrium- und Kaliumchlorat	10
4.1.3	Verwendung von Natrium- und Kaliumchlorat	10
4.1.4	Zusammensetzung und Eigenschaften von Chloratsprengstoffen	11
4.2	Hypothesen, wie Chlorat in den Deponiekörper gelangt oder darin entstanden ist	12
4.2.1	Historischer Ansatz	12
4.2.2	Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen	13
4.2.3	Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen	13
4.2.4	Hypothese 3: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion bzw. - Formulierung der BCI-Firmen	13
4.2.5	Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff innerhalb der BCI synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert	13
4.2.6	Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben	13
4.2.7	Hypothese 6: Chlorat stammt von Dritten ausserhalb der BCI-Firmen	14
4.2.8	Hypothese 7: Chlorat entstammt einer illegalen Ablagerung	14
4.2.9	Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper	15
4.3	Hypothesen zur Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper	15
4.3.1	Auskristallisation von Ammoniumchlorat im Deponiekörper	15
4.3.2	Bildung der explosiven Mischung mit Chlorat	15
5	Zündquellenanalyse und -bewertung	16
5.1	Ergebnisse der Laboruntersuchungen	17
6	Bewertung der Hypothesen	17
6.1	Historische Grundlagen	17
6.1.1	Methodik der Bewertung	18
6.2	Bewertung der Hypothesen, wie Chlorat in den Deponiekörper gelangt oder darin entstanden ist	18

6.2.1	Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen	18
6.2.2	Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen	19
6.2.3	Hypothese 3a: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion der BCI-Firmen	19
6.2.4	Hypothese 3b: Chlorat stammt aus der Formulierung eines Herbizids der BCI-Firmen	20
6.2.5	Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff von BCI-Firmen synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert	20
6.2.6	Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben	20
6.2.7	Hypothese 6a: Chlorat stammt aus der Landwirtschaft	20
6.2.8	Hypothese 6b: Chlorat stammt aus dem Berg- und Strassenbau	20
6.2.9	Hypothese 6c: Chlorat stammt aus der chemischen Industrie ausserhalb der BCI-Firmen	20
6.2.10	Hypothese 6d: Chlorat stammt aus der Herstellung von Chedditen	21
6.2.11	Hypothese 7a: Illegale Deponierung von Kleinmengen durch Endverbraucher	21
6.2.12	Hypothese 7b: Illegale Übernahme von Abfällen in die BCI-Deponieorganisation aus Firmen, die nicht Teil der BCI waren	21
6.2.13	Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper	21
6.3	Hypothesen zur Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper	22
6.3.1	Auskristallisation von Ammoniumchlorat im Deponiekörper	22
6.3.2	Bildung der explosiven Mischung mit Chlorat	22
7	Zusammenfassung	23
A 1	Bibliographie	
A 2	Dr. P. Lerena; „ <i>Abschätzung des Explosionsäquivalentes bei der Explosion in Bonfol vom 7.07.2010</i> “, Basel; mit Korrektur vom 4. 11.2010; „ <i>Estimation de la quantité équivalente d’explosif condensé</i> “	
A 3	Dr. H. Fierz; " <i>Explosion in der Sondermülldeponie Bonfol, Abklärungen in den historischen Archiven</i> "; 13.12.2010; Allschwil	
A 4	Bericht des Forensischen Instituts der Stadtpolizei Zürich; 12.10.2010; Zürich	
A 5	SWISSI Process Safety GmbH; „ <i>Untersuchungen an Abfallproben aus der Deponie Bonfol</i> “, Berichtsnummer 302716-10-0690; 6.10.2010; Basel	

0 Vorwort

Der vorliegende Bericht wurde von den drei Autoren des Sicherheitsinstitutes Dr. Didier Gandini, Dr. Pablo Lerena und Marc Steinkrauss nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Das Untersuchungsteam besteht aus folgenden Mitgliedern:

- Michael Fischer (Vorsitz, bci Betriebs-AG)
- Rainer Träxler (Koordinator, bci Betriebs-AG)
- Anton Aeby (bci Betriebs-AG)
- Rémi Luttenbacher (bci Betriebs-AG)
- Norbert Jäger (Syngenta)
- Roger Fischer (Novartis)
- Richard Siwek (Consultant, FireEx)
- Didier Gandini (SWISSI)
- Pablo Lerena (SWISSI)
- Marc Steinkrauss (SWISSI)

Die wesentlichen Informationen und Inhalte des Untersuchungsberichtes wurden von den Mitgliedern in mehreren Sitzungen erarbeitet. Der Bericht wird von allen Mitgliedern des Untersuchungsteams gestützt und inhaltlich vertreten.

1 Einleitung

Die bci Betriebs-AG ist für die Planung und Umsetzung der definitiven Sanierung der Sondermülldeponie Bonfol verantwortlich. Die BCI (Basler Chemische Industrie) ist eine einfache Gesellschaft, in der sich Unternehmen der pharmazeutischen und der chemischen Industrie in und um Basel zusammengeschlossen haben. Mitglieder sind die Firmen BASF, Clariant, Novartis, Syngenta, Roche, Rohner, CABB und Henkel.

Am 07.07.2010 ist es am Nachmittag um 14:00 Uhr in der Aushubhalle zu einem Explosionsereignis gekommen.

Das Sicherheitsinstitut wurde von der bci Betriebs-AG mit weiteren Experten zur Aufklärung des Explosionsereignisses hinzugezogen. Im nachfolgend dargestellten Bericht sind die möglichen Ursachen für das Explosionsunglück und deren Bewertung hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit dargestellt.

Aufgrund der Schwere des Ereignisses ist es notwendig, dass das Explosionsereignis möglichst lückenlos aufgeklärt wird. Ziel ist es, dass entsprechende Schlüsse zur Vermeidung weiterer Ereignisse gezogen werden, um somit Massnahmen für einen sicheren Betrieb definieren zu können. Die in diesem Bericht dargestellten Szenarien und ihre entsprechenden Bewertungen basieren auf folgenden Ergebnissen und Sachverhalten:

1. Aussagen von Mitarbeitern
2. Vor-Ort Begehung nach dem Ereignis und Fotodokumentation

3. Analytische Untersuchungen durch den Wissenschaftlichen Dienst der Kantons- und Stadtpolizei Zürich
4. Schadensbild - insbesondere Krater, Hallendecke und Südfassade der Aushubhalle
5. Energetische Abschätzungen aus dem Schadensbild
6. Recherchen in den Produktionsunterlagen der BCI-Firmen
7. Literaturrecherchen
8. Videoaufnahmen

2 Ereignisbeschreibung

Am Ereignistag wurde im bestimmungsgemässen Betrieb mit dem ferngesteuerten Kran-Greifer-System das Deponiegut aus dem Deponiekörper ausgehoben und in Loren aufgegeben, die halbautomatisch in die Vorbereitungshalle abkippen.

Im Nachgang an den Abfallaushub mit dem Greifer hat ein Mitarbeiter des Groupement DIB mittels eines speziell ausgerüsteten Hydraulikbaggers die Deponiesohle von verbleibenden Abfallresten gereinigt. Während dieses bestimmungsgemässen Vorganges hat sich um 14.00 Uhr eine Explosion ereignet.



Abb. 1: Aushubhalle



Abb. 2: Greifer für den Aushub der Abfälle



Abb. 3: Durch die Explosion verursachte, sichtbare Deformation der Baggerschaufel

Bei dem Ereignis hat die gepanzerte Frontscheibe des Baggers der Explosion standgehalten. Hingegen ist die rechte seitliche, nicht gepanzerte Glasscheibe der Baggerkabine geborsten, wobei der Fahrer an der Hand leichte Schnittwunden davongetragen hat. Der Baggerfahrer schaltete daraufhin den Bagger aus, zog die Fluchtmaske über und verliess die Aushubhalle eigenständig zu Fuss über einen Notausgang. Er wurde zu einer vorsorglichen Abklärung ins Spital Porrentruy gefahren und ist zur Kontrolle über Nacht dort geblieben. Am Nachmittag des 08.07.2010 konnte der Baggerfahrer das Krankenhaus wieder verlassen.

Obwohl die Explosion keinen Brand ausgelöst hat, haben infolge der Staub- oder Rauchentwicklung nach ca. 15 Minuten Brandmelder in der Aushubhalle angesprochen und die Sprühflutlöschanlage ausgelöst. Die Sprühflutanlage wurde nach Beurteilung der Lage manuell abgestellt.

Die Rauch- und Wärmeabzugsklappen in zwei Sektoren wurden automatisch geöffnet. Das Ereignis hat keine messbaren Auswirkungen auf die Umwelt verursacht [Bericht RISER 26-2010; www.bci-info.ch].

Neben den beschriebenen Schäden ist aufgrund der Explosion am Ort des Geschehens ein Krater mit einem Durchmesser von ca. 2-2.5 m entstanden. Die Decke der Halle ca. 10-15 m über dem Explosionsort wurde aufgrund der Druckwelle in Mitleidenschaft gezogen. Die Südwand wurde durch die Druckwelle ebenfalls leicht beschädigt. Die Nord-, Ost- und West-Wände der Halle (Entfernung jeweils ca. 75 m) sowie die verglaste Leitwarte in 75 m Entfernung weisen keine Schäden auf.

3 Ereignisanalyse

3.1 Schadensbild-Analyse

Dieses Kapitel ist eine Zusammenfassung des Berichtes von Dr. P. Lerena [Anhang A 2].

Aufgrund des Schadensbildes können folgende Systemabgrenzungen vorgenommen werden:

- Bei der Explosion handelt es sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit um eine Feststoffexplosion, da nur diese einen Krater in dem Ausmass bilden kann. Eine Gas-, Dampf- oder Flüssigexplosion kann daher als unwahrscheinlich betrachtet werden. Im weiteren Verlauf werden diese nicht weiter betrachtet.
- Mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit kann ausgeschlossen werden, dass der Explosivstoff aus Armeebeständen kommt (Munition). In einer Stellungnahme zur Ablagerung von militärischen Abfällen vom August 2000 erklärt das Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS): „Hinweise auf die Ablagerung von pyrotechnischen Abfällen und Sprengstoff sind nicht gefunden worden.“ Dieser Aspekt wird nicht weiter verfolgt (siehe auch Schlussfolgerung der Untersuchung des Forensischen Instituts Zürich; Anhang A4). Der Spurensicherungsbericht sagt aus, dass keine Hinweise auf Sprengstoffe und Sprengstoffkomponenten in erfolgten analytischen Untersuchungen gefunden wurden.

3.1.1 Problemstellung

Aufgrund der nachträglich festgestellten Auswirkungen ist abzuschätzen, welche Substanzmengen explodiert sind.

3.1.2 Lösungsansatz

Aufgrund von Beziehungen der Auswirkungen wie Kraterdurchmesser oder Gebäudeschäden, die aus der Literatur [1] entnommen wurden, wird die explodierte Stoffmenge abgeschätzt.

3.1.3 Berechnung aufgrund der Kratergrösse

[[1], Vol. 2, Kapitel 17.31.5]:

$$W = 0.21 \times D^{3.5}$$

D Kraterdurchmesser (m)

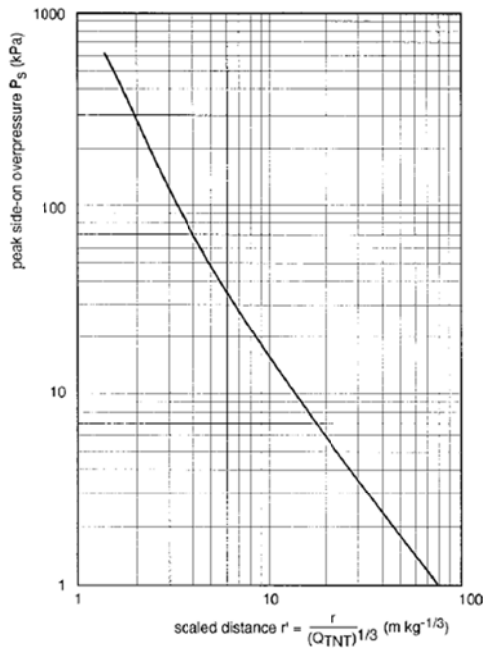
W Menge Explosivstoff (kg, TNT)

Ergebnis:

Bei einem Kraterdurchmesser 2.0-2.5 m ergeben sich Substanzmengen von 2.4 bis 5.2 kg Explosivstoff (TNT-Äquivalent). 1 TNT-Äquivalent entspricht der Sprengkraft von 1 kg Trinitrotoluol (TNT) mit einem Energieinhalt von ca. 4000 kJ/kg.

3.1.4 Berechnung aufgrund der Schäden durch den Explosionsdruck

Literatur: [[2]]



p_s : Überdruck der Schockwelle

p_a : Atmosphärendruck

$$P_S = \left(\frac{p_s}{p_a} \right) - 1$$

r : Distanz zum Zentrum der Explosion [m]

Q_{TNT} : äquivalente Masse TNT [kg]

$$r' = \frac{r}{(Q_{TNT})^{1/3}} \Rightarrow r = r' \cdot (Q_{TNT})^{1/3}$$

		Distanzen		
		berechnet	beobachtet	
Druck, Schäden	W TNT [kg]	2.4	5.2	
	1.5 kPa : Glasbruch	74	95	keine (Fenster ≥ 75 m entfernt)
	7 kPa : Begrenzte Schäden an Gebäudestruktur	23	30	≤ 33
	14 kPa : Zerstörung der Gebäudestruktur	13	16	Keine (Strukturelemente $\geq 10-15$ m entfernt)

Ergebnis:

Die unter Pt. 1 berechneten Mengen an Explosivstoff (TNT-Äquivalent) stimmen mit dem beobachteten Schadensbild gut überein.

3.1.5 Berechnung aufgrund der Schäden durch den Explosionsdruck

[[1], Vol. 2, Kapitel 17.32.6]

$$R = \frac{k \cdot W^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{3175}{W} \right)^2 \right]^{1/6}}$$

k Konstante je nach beobachtetem Schaden

R Distanz des Schadens vom Zentrum der Explosion (m)

W Menge Explosivstoff (kg, TNT)

Ergebnis:

Aufgrund dieses Modells ergeben sich für eine Menge von 5 kg TNT-Äquivalenten Strukturschäden wie z.B. die Schäden am Gebäudedach bis in eine Distanz von 8.5 bis 11 m; für 10 kg ergeben sich Distanzen von 13.5-17.7 m.

Schlussfolgerung:

Die beobachteten Schäden können mit einer Explosion von 2.4-10 kg TNT-Äquivalenten Explosivstoff gut erklärt werden. Laborversuche haben bestätigt, dass Mischungen von Abfällen aus der Deponie Bonfol mit Chlorat im Bereich von 20 – 80% Chloratanteil explosionsfähig sind. Die ermittelten Exothermien dieser Mischungen entsprechen 20-75% derjenigen von TNT [Anhang A5]. Das bedeutet, dass die explodierte Menge von Abfallmischung und Chlorat zwischen 3.2 und 50 kg gelegen hat.

4 Datenanalyse und Annahmen

Aufgrund der Abklärungen des Forensischen Institutes Zürich geht die Explosion auf die zufällige Bildung eines explosiven Gemisches aus einem Chlorat und organischen Komponenten zurück [Anhang A4].

Das Kapitel gliedert sich in drei Teile:

- 4.1 Eigenschaften und Verwendung von Chloraten,
- 4.2 Hypothesen, wie Chlorat in den Deponiekörper gelangt
- 4.3 Hypothesen zur Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper

4.1 Eigenschaften und Verwendung von Chloraten

Neben den nachfolgend beschriebenen, handelsüblichen Salzen wie Natrium- und Kaliumchlorat sind auch alle anderen Chlorate wasserlöslich. Ein unlösliches Chloratsalz ist nicht bekannt.

4.1.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften

In der Literatur findet man folgende Angaben [6]:

Natriumchlorat	Kaliumchlorat
Schmelzpunkt: 248 °C	Schmelzpunkt: 368 °C
Siedepunkt: Der Stoff zersetzt sich beim Erhitzen (s. Zersetzungstemperatur).	Siedepunkt: Der Stoff zersetzt sich beim Erhitzen (s. Zersetzungstemperatur).
Dichte: 2,49 g/cm ³ bei 15 °C	Dichte: 2,32 g/cm ³ bei 20 °C
Schüttdichte: ca. 1500 kg/m ³	Schüttdichte: ca. 1200 - 1400 kg/m ³
Löslichkeit: 916 g/l bei 20 °C	Löslichkeit: 73 g/l bei 20 °C
pH-Wert: ca. 5 - 7 bei 20 °C, u.50 g/l	pH-Wert: 5.6 bei 20 °C, u.73 g/l
Thermische Zersetzung: bei 300 °C	Thermische Zersetzung: bei 400 °C
Zersetzungsprodukte: Sauerstoff und andere	Zersetzungsprodukte : Sauerstoff; Kaliumchlorid; Chlorverbindungen

Die beschriebene thermische Zersetzung bezieht sich auf den jeweiligen Feststoff in kristalliner Form. In einer wässrigen und alkalischen Lösung ($\text{pH} \geq 7$), in der die Chlorate vollständig dissoziiert (gelöst) vorliegen, zersetzen sich Chlorate nicht. Das Potential, Stoffe zu oxidieren, steigt in saurer Lösung an. Die aus Chloraten resultierende Chlorsäure (HClO_3) ist ein starkes Oxidationsmittel, neigt aber nicht zu Explosionen [4].

4.1.2 Brand- und Explosionseigenschaften von Natrium- und Kaliumchlorat

Chlorate sind unter normalen Bedingungen stabil und neigen nicht zur Selbstzersetzung bzw. zur Explosion (siehe Zersetzungstemperaturen oben).

Die beiden handelsüblichen Chlorate gelten als sehr reaktionsfähige brandfördernde Feststoffe der Gruppe 1: Der Stoff selbst brennt nicht, reagiert aber so heftig mit brennbaren Stoffen, dass er diese z.T. ohne weitere Zündquelle zur Entzündung bringen und einen bestehenden Brand erheblich fördern kann.

In Mischungen mit organischen Stoffen sind die beiden Chlorate jedoch explosiv, so dass man in der Vergangenheit Chlorate u. a. zur Herstellung von Sprengstoffen verwendet hat.

Das Kaliumchlorat z. B. kann in gefährlicher Weise reagieren mit [6]:

Ammoniak; Calciumsilicid; Chrom (Wärme); Natriumnitrid; Phosphiden/ Metallphosphiden; Stahlwolle (Hitze); Strontiumoxalat; Bariumhypophosphit; Jodwasserstoff (Wärme); Schwefeldioxid; .

Eine Explosionsgefahr von Kaliumchlorat entsteht bei Kontakt mit:

Kupferpulver; Natriumamid; Holzkohle; Aluminiumpulver; Ammoniumthiocyanat; Ammoniumtrisulfid/ Funken; Arsen; Baumwollgeweben; Calciumhydrid; Calciumhypophosphit; Erdalkalihydriden; Ethanol (Druck); Fluor; Gallussäure; Germanium (Wärme); Hexachlorethan; Holz (Reibung); Kalium; (Kaliumchromat, Kaliumdichromat, Kaliumnitrat, Kaliumperchlorat verstärken die Wirkung); Kaliumcyanid; Kolophonium; gepulverter Kohle; Kohlenwasserstoffen; Kupferphosphid; Magnesiumpulver; Metallsulfiden; organischen Stoffen/ Säuren; Paraffin; Petroleum; Phosphor; Salpetersäure + organische Stoffe; Schwefel; Strontiumhydrid (Strontiumnitrat verstärkt die Wirkung); Titanpulver (Wärme); Zinkpulver; Zinkoxid; Zucker (Wärme); Ammonchlorid; Ammonsulfat (selten); Dextrin (selten); Harzen; Metallpulvern; Natriumhypophosphit (selten); Schwefelsäure (selten); Silbersulfid; Sulfiden/ Metallsulfiden; Tannin (selten); Tetraphosphortrisulfid; brennbaren Stoffen;

4.1.3 Verwendung von Natrium- und Kaliumchlorat

Natriumchlorat ist unter anderem auch das Ausgangsprodukt zur Herstellung von Chlordioxid und Perchloraten. Darüber hinaus wurde/wird es in der chemischen Industrie in verschiedenen Synthesen u. a. in der Farbstoffchemie als Oxidations- bzw. Chlorierungsmittel eingesetzt.

Direkt verwendet wird es hauptsächlich als Herbizid (Unkrautvernichtungsmittel).

Die wesentlichen Anwendungsgebiete von Kaliumchlorat sind die Herstellung von Zündholzmasse sowie der Einsatz als Bestandteil von Feuerwerkskörpern und Sprengstoffen.

4.1.4 Zusammensetzung und Eigenschaften von Chloratsprengstoffen

Die eigentlichen Chloratsprengstoffe werden seit über 70 Jahren in der Bundesrepublik Deutschland nicht mehr hergestellt [7]. Für die Herstellung von Sprengstoffen wurden dem Chlorat im Wesentlichen folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen (kohlenstoffreich) beigemischt:

- Holzmehl
- Petroleum
- Öle und Fette
- Nitroderivate des Benzols oder Toluols

Folgende kommerzielle Zusammensetzungen sind bekannt:

- 90% Kaliumchlorat und 10% Petroleum
- Chloratit: 88.5% Kaliumchlorat, 3% Holzmehl und 8.5% Petroleum

Eigenschaften von Chloratit [Ullmann 5]

- Dichte des Sprengstoffs 1300 kg/m³
- Sauerstoffbilanz +2.7%
- Explosionswärme 4210 kJ/kg
- Explosionstemperatur 4065 °C
- Spezifisches Gasvolumen 322 l/kg
- Detonationsgeschwindigkeit 3350 m/s
- Die Reib- und Schlagempfindlichkeiten sind nicht bekannt.
- Cheddite: Der Gehalt an Chloraten in den Chedditen liegt bei ca. 80 %. Weiterhin wurden Mineralöl, Rhizinusöl oder Harz/Teer in der Größenordnung von 5-14 % zugemischt. Die restlichen Zusatzstoffe waren Nitronaphthalin, Dinitrobenzol, Dinitrotoluol, Trinitrotoluol oder Pikrinsäure. Die Explosionseigenschaften entsprechen etwa den Eigenschaften des oben beschriebenen Chloratits.

Das Ammoniumchlorat (NH₄ClO₃) hat wie die eben genannten Gemische ebenfalls explosive Eigenschaften. In diesem Fall handelt es sich um einen Einzelstoff. Die spezifischen Eigenschaften sind nicht bekannt. Es muss davon ausgegangen werden, dass der Stoff ähnliche Eigenschaften wie das Ammoniumperchlorat (NH₄ClO₄) aufweist:

- Dichte des Sprengstoffs 1950 kg/m³
- Sauerstoffbilanz +34.4%
- Explosionswärme 1972 kJ/kg
- Explosionstemperatur nicht bekannt
- Spezifisches Gasvolumen 803 l/kg
- Detonationsgeschwindigkeit nicht bekannt
- Schlagempfindlichkeit 15 Nm

4.2 Hypothesen, wie Chlorat in den Deponiekörper gelangt oder darin entstanden ist

Dieser Absatz behandelt die Fragestellung, auf welchem Weg das Chlorat als mögliche Komponente zur Bildung eines Explosivstoffes bzw. einer explosiven Mischung in die Deponie gelangt ist. Hierzu wurde nach dem Ereignis ein Expertenteam eingesetzt, das verschiedene Hypothesen aufgestellt hat. Aus den oben dargestellten Überlegungen wurden anschliessend unter Berücksichtigung eines historischen Ansatzes Hypothesen detailliert entwickelt und beschrieben. Die Bewertung der Hypothesen erfolgt im Kapitel 6.

4.2.1 Historischer Ansatz

Aufgrund des Explosionsortes im Deponiekörper ist bekannt, in welchem Zeitrahmen an dieser Stelle Abfälle deponiert wurden. Es handelt sich hierbei um die Jahre 1963 und 1964. Die Verantwortlichkeiten für die Deponierung und der Ablauf zu der Zeit lassen sich wie folgt beschreiben:

Die Deponie wurde im Auftrag der Bonfol-Gruppe von der Firma J.R. Geigy, ab 1970 von CIBA-GEIGY als Rechtsnachfolger von J.R. Geigy betrieben. Diese Firma war für die zentrale Sammelstelle in Basel und für die Anlieferung nach Bonfol zuständig und verantwortlich. Die Kosten der Deponie wurden gemäss den deponierten Tonnagen der einzelnen Firmen der BCI aufgeschlüsselt und auf ebendiese Firmen verteilt.

Die Gemeinde Bonfol wurde pro Tonne deponierten Abfalls entschädigt.

Speditionen aus dem Basler Umland transportierten die Abfälle nach Bonfol, die Lieferscheine wurden von dem Deponiewart vor Ort abgezeichnet.

Anhand der Lieferscheine, verschiedenen Korrespondenzen und Rechnungsunterlagen können Rückschlüsse auf die Menge und Herkunft der auf diese Art angelieferten Abfälle gezogen werden. Ein Archiv, in welchem die chemischen Eigenschaften der Abfälle, die nach Bonfol gelangt sind, registriert und/oder beschrieben wurden, ist nicht existent.

Im Abkommen zwischen der Gemeinde Bonfol und der BCI, auf der Basis der Abkommen mit dem Kanton Bern und dem Nutzer der Tongrube, CISA, war vorgesehen, dass der Kanton (und die Gemeinde Bonfol) ausnahmsweise Abfälle ablagern durften. Es gab drei Arten der regulären Ablagerung:

1. Abfälle von mit dem Kanton Bern direkt verknüpften Einrichtungen,
2. Abfälle von kommunalen Stellen und
3. Abfälle von Unternehmungen, die die Ablagerungsgenehmigung der kantonalen Behörden hatten (vor allem BCI, aber auch andere Unternehmen).

Anfragen bzw. Informationen des kantonalen Wasser- und Energieamtes an die CIBA, bzw. die CIBA-GEIGY über Abfalllieferungen sowie eine Serie fortlaufend nummerierter, von der Gemeinde Bonfol unterzeichneter Lieferscheine zeigen, dass von Oktober 1965 bis Mitte 1976, also der Schliessung der Sondermülldeponie, rund 2'500 Tonnen Abfälle von Dritten eingelagert wurden. Einzelne, noch vorhandene Dokumente zeigen, dass die Gemeinde Bonfol die Genehmigung der Betreiberfirma einholte.

Aufgrund von Hinweisen aus der Literatur zur industriellen Produktion wurde nach Angaben aller BCI-Firmen in den Dokumenten hinsichtlich der damaligen Produktion und Verwendung von Chloraten recherchiert.

Die nachstehenden Hypothesen beruhen auf den Ergebnissen der Recherchen in den verschiedenen Archiven [Anhang A 2] sowie auf Nachfragen bei den BCI-Firmen und Auskünften von ehemaligen und aktuellen Mitarbeitern.

4.2.2 Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen

Mögliche Synthesen, z.B. von Vorstufen für die Farbstoffchemie, aus welchen chlorathaltige Abfälle stammen könnten, sind z. B.:

- Fischer- Chlorierung von Anthrachinon-1-sulfosäure zu 1-Chloranthrachinon
- Chlorierung von 2,4-Dinitro-anilin zu 2-Chlor-4,6-dinitro-anilin
- Carbazolierung (Ringschluss) von Braun GR Anthrimid zu Cibanon Braun GR

Bei allen genannten Verfahren erfolgte eine Produktisolierung mit Abgabe der Mutterlauge und Waschwasser in die Abwasserreinigungsanlage (ARA). Feste Abfälle fielen keine an. In der pharmazeutischen Produktion ist der Einsatz von Chloraten eher unüblich gewesen.

4.2.3 Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen

Chlorat wurde für die Produktion als Feststoff zugekauft. Seine Deponierung ist z.B. aus folgenden Gründen denkbar:

- ungenügende Qualität des Rohstoffes,
- Substanzreste, deren weitere Verwendung oder Aufbereitung aus wirtschaftlichen Gründen unverhältnismässig war.

4.2.4 Hypothese 3: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion bzw. -Formulierung der BCI-Firmen

Hypothese 3a: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion

Es ist bekannt, dass die CIBA-GEIGY, respektive ihre Vorgängerfirmen J.R. Geigy und CIBA Herbizide hergestellt haben. Nach dem Stand des Wissens wurden allerdings nur hochwertige Herbizide wie z. B. Atrazin hergestellt.

Hypothese 3b: Chlorat stammt aus der Formulierung eines Herbizids

Da von Firmen der BCI Herbizide hergestellt wurden, besteht die Möglichkeit, dass Formulierungen produziert worden sind, die Chlorate enthalten.

In beiden Fällen ist eine Deponierung von Fehlchargen oder Rückständen denkbar.

4.2.5 Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff innerhalb der BCI synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert

Die ehemalige Säurefabrik (heute CABB) verfügte über alle notwendigen Edukte, um theoretisch Chlorat herzustellen. Das Verfahren dazu unterscheidet sich nicht sehr wesentlich von dem der Chloralkalielektrolyse zur Herstellung von Chlor.

4.2.6 Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben

Es gibt gesicherte Erkenntnisse, dass regelmässig Abfälle aus Laboratorien auf die Deponie gebracht wurden. Beim Aushub wurden immer wieder Glassplitter gefunden, die darauf hindeuten, dass Chemikalien in Glasflaschen abgelagert wurden. Es ist bekannt, dass die meisten Chemikalien in den 50er und 60er Jahren in Glasgebinden aufbewahrt wurden. Somit ist es möglich, dass Chlorate als Abfälle von Laboratorien oder Pilotbetrieben in die Deponie gelangen konnten.

4.2.7 Hypothese 6: Chlorat stammt von Dritten ausserhalb der BCI-Firmen

Es ist bekannt (Abschnitt 4.2.1), dass Dritte auf der Deponie Bonfol Abfälle abgelagert haben. Die allgemein formulierte Hypothese kann wie folgt weiter differenziert und präzisiert werden:

Hypothese 6a: Chlorat stammt aus der Landwirtschaft

Dritte könnten z.B. landwirtschaftliche Betriebe gewesen sein, die auf der Basis der geltenden Abkommen mit der Gemeinde Bonfol Reste von Chlorat (Einsatz als Herbizid) auf der Deponie abgelagert haben.

Hypothese 6b: Chlorat stammt aus dem Berg- und Strassenbau

Die auf diesem Gebiet tätigen Unternehmen verwendeten chlorathaltige Sprengstoffe (z. B. Cheddite vgl. Kap. 4.1.4) und könnten diese über eine Anfrage an den Kanton Bern und die Gemeinde Bonfol ebenfalls abgelagert haben.

Hypothese 6c: Chlorat stammt aus der chemischen Industrie ausserhalb der BCI-Firmen

Da ausser der BCI auch andere Unternehmungen über eine Ablagerungsgenehmigung verfügten, ist es denkbar, dass solche Firmen Chlorate aus Produktionsabfällen, aus Formulierungsrückständen (Herbizide) oder als Rohstoffabfälle auf die Deponie Bonfol gebracht haben.

Es ist z.B. bekannt, dass die Firma MAAG Chlorat als Herbizid verkauft und auch in der Produktion als Oxidationsmittel eingesetzt hat. Aus den Lieferscheinen ist ersichtlich, dass MAAG die Deponie in Bonfol beliefert hat.

Hypothese 6d: Chlorat stammt aus der Herstellung von Chedditen

Es ist bekannt, dass in Liestal/Lausen ein Unternehmen mit Namen Cheddite dort Sprengstoffe auf der Basis von Chloraten hergestellt hat

4.2.8 Hypothese 7: Chlorat entstammt einer illegalen Ablagerung

Aufgrund der bekannten Informationen muss die allgemein formulierte Hypothese weiter differenziert und präzisiert werden:

Hypothese 7a: Illegale Deponierung von Kleinmengen durch Endverbraucher

Das Beispiel der Firma MAAG zeigt, dass Chlorat zur Verwendung als Totalherbizid in Kilogramm-Mengen direkt Endverbrauchern angeboten wurde. Von solchen kann keine Fachkenntnis bezüglich der Eigenschaften von Chloraten erwartet werden.

Die Deponie wurde im 1-Schichtbetrieb über Tag betrieben und die Eingänge des zu deponierenden Materials wurden von einem Deponiewart kontrolliert und protokolliert.

Die Deponie war während der Betriebsdauer von 1961 bis 1976 nicht kontinuierlich überwacht. Es gibt widersprüchliche Angaben, ob die Deponie eingezäunt war. Bei der Formulierung der Hypothese wird davon ausgegangen, dass die Deponie nicht eingezäunt war.

Somit besteht die Möglichkeit, dass ausserhalb der Betriebszeiten von einzelnen Endverbrauchern solche Herbizid-Gebinde deponiert werden konnten.

Hypothese 7b: Illegale Übernahme von Abfällen in die BCI-Deponieorganisation aus Firmen, die nicht Teil der BCI waren

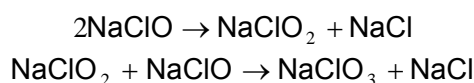
Hans Gubser als oberster Verantwortlicher des Deponiebetriebes Bonfol schreibt [Anhang A3], dass während der Verantwortungszeit des damaligen Leiters der Zentralstelle für Abfälle (1959-1967) es immer wieder vorkam, dass Behörden einzelnen Betrieben die Benutzung der bisherigen

Deponiemöglichkeiten verboten, aber keine Alternative anbieten konnten. Zitat: „Der Abfallbeauftragte übernahm diese Abfälle in die Deponieorganisation der Ex-Ciba und entsorgte diese Abfälle unter dem Namen ex-CIBA.“

Solche Abfälle könnten auch Chlorat enthalten haben. Eine solche Praxis, die als „Gefälligkeit“ verstanden wurde, stellt eine Umgehung der BCI-Richtlinien dar und muss als illegal bezeichnet werden.

4.2.9 Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper

Es gab die Praxis, besonders übelriechende Rückstände noch in der Produktion mit Javelwasser (Hypochlorit) zu desodorieren. Die Rückstände wurden dann filtriert und das Javelwasser kanalisiert. Diese Praxis wurde vor allem im Werk Monthey angewandt, da dort Javelwasser ein Produktionsmittel war. Es besteht die Möglichkeit, dass Chlorat im Deponiekörper aus Hypochlorit unter bestimmten Reaktionsbedingungen gebildet werden kann: Zur Bildung von Natriumchlorat ist die Disproportionierung von Natriumhypochlorit (NaClO) in alkalischer Lösung in zwei Schritten notwendig, wobei der zweite Schritt geschwindigkeitsbestimmend ist [5]:



Die Bildung von Chlorat alleine reicht nicht aus, um eine Explosion auszulösen. Es bedarf eines weiteren Stoffes bzw. einer weiteren chemischen Reaktion, so dass der Explosivstoff entstehen kann.

4.3 Hypothesen zur Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper

Im Folgenden werden die Möglichkeiten für die Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper dargestellt.

4.3.1 Auskristallisation von Ammoniumchlorat im Deponiekörper

Aufgrund von physikalischen und chemischen Prozessen im Deponiekörper entstand ein Sickerwasser mit hoher Salzfracht, welches Chlorat in der Deponie zum Teil aufgelöst haben könnte. Aufgrund der hohen Salzfracht könnte Ammoniumchlorat (NH_4ClO_3) als Salz wieder auskristallisiert sein.

4.3.2 Bildung der explosiven Mischung mit Chlorat

Die Chlorate für sich allein, mit Ausnahme von Ammoniumchlorat, sind in kristalliner Form nicht explosionsfähig. In der Deponie wurden organische Stoffe auch mit reduzierenden Eigenschaften eingelagert. In bestimmten Mischungsverhältnissen bilden diese mit Chlorat eine explosive Mischung.

5 Zündquellenanalyse und -bewertung

Zur Klärung der Initiierung des Explosionsereignisses wurde eine Zündquellenanalyse durchgeführt, die in der nachstehenden Tabelle dargestellt ist.

Zündquelle	Bemerkung / Bewertung
Reibung oder Schlag	Durch die mechanische Bewegung der Baggerschaufel relativ zum Untergrund können grosse Schlag- oder Reibkräfte auftreten, die zur Zündung der explosiven Feststoff-Mischung geführt haben. → Diese Zündquelle ist am wahrscheinlichsten aller genannten Zündquellen und kann somit als Auslöser betrachtet werden.
Mechanisch erzeugte Funken	Mechanisch erzeugte Funken können aufgrund Reibbewegungen, wie sie von einer Baggerschaufel beim Zusammenkratzen von Materialien auftreten, entstehen. Darüber hinaus können die Funken aufgrund von Schlag, wie zum Beispiel Senken der Baggerschaufel auf das Deponiegut erzeugt werden. → Diese Zündquelle ist für die Zündung einer zündfähigen Gas- oder Dampf Wolke relevant und wird nicht als Auslöser in Betracht gezogen.
Chemische Reaktionen	Aufgrund des mechanischen Vorganges, dass Deponiegut mit dem Bagger zusammengekratzt wurde, kann das Chlorat oder eine mögliche Mischung von Chlorat mit einem reduzierenden Stoff eine chemische Reaktion ausgelöst haben, die dann zur einer Zersetzung oder Selbstzersetzung geführt hat. → Diese Zündquelle ist unwahrscheinlich und ist als Auslöser nicht in Betracht zu ziehen.
Statische Elektrizität	Eine statische Entladung ist aufgrund des Vorganges und der Ableitfähigkeit von Bagger und Deponiegut nicht zu erwarten. → Diese Zündquelle ist für die Zündung einer zündfähigen Gas- oder Dampf Wolke relevant und wird nicht als Auslöser in Betracht gezogen. Die hohe relative Luftfeuchtigkeit von 70-90 % macht die Zündquelle zusätzlich unwahrscheinlich.
Elektrische Betriebsmittel	Elektrische Betriebsmittel, die einen Funken erzeugen können, sind in diesem Bereich (1 m über den Abfällen) der Ex-Zone 2 explosionsgeschützt ausgeführt. → Diese Zündquelle ist für die Zündung einer zündfähigen Gas- oder Dampf Wolke relevant und wird nicht als Auslöser in Betracht gezogen.
Blitzschlag	Zur Zeit der Explosion gab es kein Gewitter. Zudem ist das Gebäude bzw. die Anlage gegen Blitzschlag geschützt. → Somit kann die Zündquelle ausgeschlossen werden.
Offene Flammen	Mit offenen Flammen wurde zu dem Zeitpunkt des Ereignisses nicht gearbeitet. Im ganzen Produktionsbetrieb ist Rauchverbot. → Somit kann die Zündquelle ausgeschlossen werden.
Heisse Oberflächen	Heisse Oberflächen sind in diesem Bereich betriebsmässig nicht vorhanden. Es ist nur mit einer Temperatur zu rechnen, die leicht über der Raumtemperatur von 25 °C liegt. → Somit kann die Zündquelle ausgeschlossen werden.

5.1 Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Der gesamte Bericht zu den Laboruntersuchungen befindet sich im [Anhang 5]. Im Folgenden wird aus dem Bericht zitiert:

„Mit den durchgeführten Laboruntersuchungen sollte nachgewiesen werden, dass durch die Mischung aus Chlorat und Abfall eine explosive Mischung entstehen kann, aber auch, dass diese Mischung aufgrund von Reiben und Schlagen explodieren kann.

Dem Labor des SWISSI wurden Abfallmuster zur Untersuchung übergeben, um diese unter anderem hinsichtlich der folgenden Frage zu untersuchen.

- Ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und Chlorat erklärbar? Für die Untersuchungen wurde Kaliumchlorat $KClO_3$ und teilweise Natriumchlorat $NaClO_3$ verwendet.

Aufgrund der vorliegenden Daten ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und Chlorat gemäss den nachstehenden Schlussfolgerungen erklärbar.

Schlussfolgerungen der Untersuchungen

- Das untersuchte Abfallmaterial ist nicht explosiv.
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und $KClO_3$ oder $NaClO_3$ erklärbar.
- Der Energieinhalt entspricht ca. 75% desjenigen von TNT.
- Die Mischungen mit Natriumchlorat zeigten zwar ebenfalls sehr hohe Zersetzungsenergie, waren aber im Schlag- und Reibtest weniger empfindlich.
- Untersuchung der Mischung 40% repräsentativen Abfalls aus Bonfol + 60% $KClO_3$ haben ergeben, dass bis zu einer Zumischung von 50% w/w an Wasser die Schlagempfindlichkeit erhalten bleibt und die Reibempfindlichkeit verloren geht. Eine weitere Erhöhung der Wassermenge führt zu einer Suspension.“

6 Bewertung der Hypothesen

6.1 Historische Grundlagen

Für die Bewertung der Hypothesen ist es relevant, die Frage zu beantworten, wie zur damaligen Zeit der Umgang mit Chemieabfällen gehandhabt wurde, und ob es möglich war, dass festes Chlorat oder andere Explosivstoffe unwissentlich oder wider besseres Wissen in die Deponie gelangen konnten.

Darüber hinaus wurde folgender Aspekt berücksichtigt:

Zu dem Zeitpunkt der Einlagerung in den Jahren 1963/1964 war bereits ausreichend bekannt, dass es sich bei Chloraten in fester Form um ein starkes Oxidationsmittel handelt und dass es in Form von Ammoniumchlorat oder auch in Mischungen mit anderen Stoffen zu heftigen Reaktionen bzw. zu Explosionen neigt. Im damaligem Standardwerk [5] wird beschrieben, dass der Stoff bzw. die Mischungen reib- und schlagempfindlich sind.

Die Frage nach der Handhabung kann nicht abschliessend beantwortet werden, die gesichteten Dokumente über die Periode ab etwa 1960 bis 1970 zeigen aber Folgendes [Anhang A3]:

- Deponien waren für die chemische Produktion lebenswichtig: ohne die Möglichkeit, die Abfälle zu deponieren, hätte nach Aussagen der damaligen Verantwortlichen die Produktion geschlossen werden müssen, und das wäre eine Massnahme von grosser Tragweite für die Industrie und die Basler Bevölkerung gewesen.

Es wurde ein grosser juristischer und verwaltungstechnischer Aufwand betrieben, Deponien zu finden und zu betreiben.

Die Untersuchung von Unfällen und die interne Berichterstattung darüber erstreckten sich auch auf die Deponie Bonfol. Informationen darüber wurden zwischen den beteiligten Firmen ausgetauscht.

Auch baulich wurden grosse Anstrengungen zur Deponiesicherung unternommen.

Innerhalb der Firmen schliesslich bestanden Regeln im Umgang mit Abfall aus der Produktion sowie Labors, die nach diesen Regeln arbeiteten. So musste z. B. bei der CIBA explosives oder giftiges Material gesondert abgegeben werden.

Angesichts der Tragweite der Deponierung von potentiell explosivem Material, ein Vorgang, in welchen ja viele Personen mit Sachkenntnis involviert gewesen wären, scheint es unwahrscheinlich, dass grössere Mengen solchen Materials hätten deponiert werden können, zumal auch die Handhabung von solchem Material im Betrieb und der Transport entsprechend gefährlich ist.

Wie weit allerdings Mitarbeiter von Kleinmengen verarbeitenden Betrieben, z. B. von Technika- oder Kilolabors oder solche von Forschungslabors sich zumindest anfänglich immer an die Regeln gehalten haben, kann nicht beurteilt werden.

6.1.1 Methodik der Bewertung

Die vorhandene Dokumentation ist für eine quantitative Bewertung, wie sie sonst bei chemischen Prozessen Anwendung findet, nicht ausreichend. Die Bewertung beschränkt sich auf einen qualitativen Ansatz, der die folgenden Kategorien enthält:

Die Hypothese

- ist sehr wahrscheinlich,
- ist wahrscheinlich,
- ist unwahrscheinlich oder
- kann ausgeschlossen werden.

6.2 Bewertung der Hypothesen, wie Chlorat in den Deponiekörper gelangt oder darin entstanden ist

6.2.1 Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen

Chlorat wurde in der Produktion hauptsächlich in wässrigen sauren Lösungen eingesetzt, da es in dieser Form am besten seine oxidativen Eigenschaften entfalten kann. Es erscheint in diesem Zusammenhang als **unwahrscheinlich**, dass Chlorat aus wässrigen Lösungen wieder auskristallisiert und deponiert wurde.

In der Regel wurde das Chlorat bei der chemischen Reaktion "verbraucht". Theoretisch sind nach einer Reaktion nur geringe Anteile übrig. In der Praxis wurden die Überschüsse mit einem Reduk-

tionsmittel behandelt und damit vernichtet. Es muss somit davon ausgegangen werden, dass wässrige saure Lösungen mehr oder weniger vorbehandelt und anschliessend kanalisiert wurden. Somit ist es **unwahrscheinlich**, dass Chlorate über diesen Weg auf die Deponie gelangt sind. Dies gilt auch für allfällige Fehlchargen und Produktionsrückstände:

- Die wenigsten Chargen in der Produktion waren Fehlchargen, in den wenigen Fällen, in denen eine Fehlcharge auftrat, hat man meist versucht, das Material umzuarbeiten.
- Chlorat wurde als saure wässrige Lösung eingesetzt, die anschliessend kanalisiert wurde. Für den Fall, dass Chlorat in einer Lösung nicht oder nicht vollständig umgesetzt wurde, wurden die wässrigen Lösungen mittels Zugabe von Reduktionsmitteln behandelt [15].

Bei der Waschmittelherstellung kommen Chlorate nicht zum Einsatz. Hier wird mit Oxidationsmitteln wie Perboraten und Silikaten (daher „Persil“) gearbeitet. Die Herstellung von Perboraten erfolgt mit Wasserstoffperoxid. Es wurden in der Vergangenheit Bleichmittel auf Chlorbasis eingesetzt, aber nicht Natriumchlorat sondern Chlorbleichlauge (Natriumhypochlorit). Dies wurde schriftlich bestätigt [9]. Somit scheidet die Firma Henkel als Lieferant von Natriumchlorat in die Deponie aus. Für Henkel kann die Hypothese **ausgeschlossen** werden.

Interne Quellen der Roche sowie Diskussionen mit verschiedenen Chemikern innerhalb der Roche ergaben keine Hinweise auf Verwendung von Chloraten. Die Ablagerung solcher Verbindungen durch die Firma Roche wird als **unwahrscheinlich** betrachtet [10].

Die Firma Rohner hat nach Recherche in ihren Dokumenten bestätigt, dass sie nicht mit Chloraten in ihren Produktionsprozessen gearbeitet hat und somit auch keine chlorathaltigen Abfälle auf die Deponie gelangt sein können. Die Firma Rohner scheidet deshalb als Lieferant von Chloraten auf die Deponie ebenfalls aus [11]. Für Rohner kann die Hypothese **ausgeschlossen** werden.

Clariant ist eine Nachfolgeorganisation des Departements Farbstoffe der ehemaligen Sandoz. Auf Grund der ähnlichen Produktionsprogrammen von CIBA und Sandoz (siehe oben) kann angenommen werden, dass letztere Chlorat ebenfalls für die Fischer-Chlorierung eingesetzt hat. Basierend auf den zur Produktion in der Farbstoffchemie gemachten Überlegungen kommt jedoch Clariant als Lieferant von Chlorat für die Deponie nicht in Frage [12]. Somit kann die Hypothese für Clariant als **unwahrscheinlich** betrachtet werden.

6.2.2 Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen

Aufgrund von Sicherheitsüberlegungen und aus ökonomischen Gründen ist davon auszugehen, dass allfällige Rohstoffreste in Wasser aufgelöst und kanalisiert wurden. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass bereits 1963/1964 bekannt war, dass Na-Chlorat in fester Form ein Bestandteil eines Explosivstoffes sein kann. Aufgrund der vorangegangenen Aussagen gilt die Hypothese als **unwahrscheinlich**.

6.2.3 Hypothese 3a: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion der BCI-Firmen

Die Ciba-Geigy bzw. die CIBA oder die Geigy waren dafür bekannt, dass sie hochwertige Herbizide, wie zum Beispiel Atrazin hergestellt haben. Von daher erscheint es **unwahrscheinlich**, dass diese Firmen Na-Chlorat als Herbizid produziert haben, da die Produktion aus ihrer Sicht zu teuer war. Die Produzenten von Chloraten konnten dieses einfache Herbizid günstiger herstellen, da sie auch über die notwendigen Edukte verfügten. In den Dokumenten der CIBA Agrodvision (heute Syngenta) wurden entsprechend auch keine Hinweise gefunden, dass Chlorat als Herbizid hergestellt wurde. Die Hypothese wird mit **unwahrscheinlich** bewertet.

6.2.4 Hypothese 3b: Chlorat stammt aus der Formulierung eines Herbizids der BCI-Firmen

Es bleibt die Möglichkeit von Formulierungen (Mischung der Grundsubstanzen) von Herbiziden aus Chlorat mit anderen Stoffen. Die in diesem Rahmen durchgeführten Recherchen im Archiv der CIBA Agroddivision ergeben keine Hinweise auf solche Formulierungen. Die Hypothese kann als **unwahrscheinlich** bewertet werden.

6.2.5 Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff von BCI-Firmen synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert

Die CABB (vormals Säurefabrik, SF-Chem) hat in ihrer Erklärung mitgeteilt, dass sie in dem fraglichen Zeitraum im Bereich Produktion und Entwicklung Chlorate weder hergestellt noch verwendet hat. Die CABB AG, bzw. ihre Vorgängerfirmen kommen deshalb als Lieferant von Chlorat für die Deponie nicht in Frage [13]. Aufgrund dieser gemachten Aussage kann die Hypothese **ausgeschlossen** werden.

6.2.6 Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben

In den Abfallmustern, die SWISSI übergeben wurden, sind Scherben von Braunglas gefunden worden. In den Jahren weit vor 1985 wurden Laborchemikalien oftmals in Flaschen oder Behältern aus Braunglas ausgeliefert. Es ist **sehr wahrscheinlich**, dass trotz Vorschriften über das ordnungsgemässe Entsorgen von gefährlichen Chemikalien diese Stoffe aus Laboratorien oder Technikumsbetrieben in kleinen Mengen auf Deponien abgelagert wurden. Hierzu kann angefügt werden, dass sogar BCI-fremde Firmen, wie z. B. die Universität Bern, nachweislich Laborabfälle nach Bonfol geliefert haben.

6.2.7 Hypothese 6a: Chlorat stammt aus der Landwirtschaft

Es ist schwer vorstellbar, dass landwirtschaftliche Betriebe in dem betroffenen Zeitraum ihre restlichen Pflanzenschutzmittel, dabei ist von kleineren Mengen auszugehen, in der Deponie entsorgt haben. Der notwendige administrative Aufwand, wie das Beantragen einer Deponiebewilligung war sehr gross. Die Hypothese gilt daher als **unwahrscheinlich**.

6.2.8 Hypothese 6b: Chlorat stammt aus dem Berg- und Strassenbau

Die am 7.7.2010 stattgefundenene Explosion wurde gut untersucht. Es ist unwahrscheinlich, dass die gefundenen Chlorate aus diesem Industriezweig kommen, weil das Chlorat in diesem Fall ein Bestandteil eines Cheddits wäre. Den Chedditen ist in der Regel eine aromatische Nitroverbindung beigemischt worden (siehe Kapitel 4.1.4). Diese wurden vom Forensischen Institut der Kantons- und Stadtpolizei Zürich nicht gefunden (Kapitel 3.1 und Anhang A5). Die Hypothese wird mit **unwahrscheinlich** bewertet.

6.2.9 Hypothese 6c: Chlorat stammt aus der chemischen Industrie ausserhalb der BCI-Firmen

Durch die bci-Betriebs AG wurden die Lieferscheine der Jahre 1963 und 1964 kontrolliert. Es wurden keine Lieferscheine von Dritten gefunden. Somit kann das Chlorat, das am 7.7.10 explodiert ist, auf legale Weise nicht von Dritten stammen. Die Hypothese wird mit **unwahrscheinlich** bewertet.

Die Lieferungen der Fa. MAAG nach Bonfol sind erst ab 1965 durch Lieferscheine belegt. MAAG hat Natriumchlorat als Unkrautvertilgungsmittel in Packungen verschiedener Grössen (1 bis 100kg)

angeboten [17]. MAAG stellt sich auf ihrer Internetseite als auch in den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts erfolgreiches, forschendes Unternehmen dar [18]. Ein solches hätte doch wohl versucht, Lagerbestände zu verkaufen, statt zu deponieren. Im Fall von unbrauchbarer, z.B. durch Feuchtigkeit verklumpeter Ware müsste in einem solchen Unternehmen genügend Fachwissen vorhanden gewesen sein, dass man für die Entsorgung den Weg über Auflösen in Wasser und Kanalisieren gewählt hätte. Dass deshalb MAAG in grösserem Umfang Chlorat in Bonfol deponiert hätte, ist **unwahrscheinlich**.

6.2.10 Hypothese 6d: Chlorat stammt aus der Herstellung von Chedditen

Aufgrund der Aussagen eines früheren Mitarbeiters, der ein leitender Angestellter in dem Unternehmen Cheddite in Liestal/Lausen war, ist es unwahrscheinlich, dass das Unternehmen Cheddite und/oder den Rohstoff Chlorat auf der Deponie in Bonfol abgelagert hat.

Nach Aussagen dieses Mitarbeiters stammte der Rohstoff Chlorat ausschliesslich von der Firma Elektrochemie Turgi aus der Ostschweiz (die Fa. existiert nicht mehr). Das Unternehmen Cheddite hat von der regionalen chemischen Industrie auch keine Restposten Chlorat oder solches von ungenügender Qualität übernommen.

Allfällige chlorathaltige Abfälle wurden jeden Freitag auf dem Werksgelände verbrannt. Die Deponie Bonfol ist nach Aussagen des Mitarbeiters nicht beliefert worden. Die Hypothese wird mit **unwahrscheinlich** bewertet.

6.2.11 Hypothese 7a: Illegale Deponierung von Kleinmengen durch Endverbraucher

Die Möglichkeit, dass ausserhalb der Betriebszeiten von einzelnen Endverbrauchern Herbizid-Gebinde deponiert wurden, kann nicht ausgeschlossen werden. Die Hypothese wird mit **wahrscheinlich** bewertet.

6.2.12 Hypothese 7b: Illegale Übernahme von Abfällen in die BCI-Deponieorganisation aus Firmen, die nicht Teil der BCI waren

Die J.R. Geigy hat offenbar immer wieder Abfälle von Fremdfirmen in die eigene Deponieorganisation übernommen. Gemäss der Mitteilung 164 der Ingenieur-Abteilung der J.R. Geigy [15] mussten ab Ende 1963 die Abfälle u. a. mit einer Gefahrenart gekennzeichnet sein. Ob das auch für Fremdadfälle befolgt wurde, und ob die Lieferanten der Abfälle diese korrekt deklariert haben, ist unbekannt. Dass grössere Mengen Chlorat auf diese Weise entsorgt wurden, scheint wenig plausibel, denn ein sachkundiger Betrieb hätte mangels Deponiemöglichkeiten das Chlorat via Kanalisation entsorgen können. Kleinere Mengen Chlorat, z. B. in Flaschen oder Kleingebinden, liessen sich zusammen mit anderem Abfall bequem entsorgen. Dies entspricht den Gepflogenheiten bei solchen Gefälligkeiten.

Die Hypothese wird für kleinere Mengen mit **wahrscheinlich** bewertet.

6.2.13 Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper

Hypochlorit wird häufig als wässrige, 0.1 bis 0.5%ige Lösung gehandhabt („Javelwasser“). Schon allein die Mengen an Javelwasser dieser Konzentration, die benötigt würden, um 10 kg festes Natriumchlorat entstehen zu lassen, sprechen gegen die Hypothese, das Chlorat sei aus Hypochlorit entstanden: man würde nämlich mehrere Tonnen des Javelwassers benötigen. Die Hypothese, Javelwasser sei die Quelle des explodierten Chlorats, muss mit **unwahrscheinlich** bewertet werden.

Tabelle 1: Zusammenfassende Darstellung der Bewertung der Hypothesen über den Weg, wie das Chlorat, das am 7. Juli 2010 explodierte, in die Deponie gelangte

Hypothese	Bewertung der Wahrscheinlichkeit durch das Untersuchungsteam
Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen	unwahrscheinlich
Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen	unwahrscheinlich
Hypothese 3a: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion der BCI-Firmen	unwahrscheinlich
Hypothese 3b: Chlorat stammt aus der Formulierung eines Herbizids der BCI-Firmen	unwahrscheinlich
Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff von BCI-Firmen synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert	unwahrscheinlich
Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben	sehr wahrscheinlich
Hypothese 6a: Chlorat stammt aus der Landwirtschaft	unwahrscheinlich
Hypothese 6b: Chlorat stammt aus dem Berg- und Strassenbau	unwahrscheinlich
Hypothese 6c: Chlorat stammt aus der chemischen Industrie ausserhalb der BCI-Firmen	unwahrscheinlich
Hypothese 6d: Chlorat stammt aus der Herstellung von Chedditen	unwahrscheinlich
Hypothese 7a: Illegale Deponierung von Kleinmengen durch Endverbraucher	wahrscheinlich
Hypothese 7b: Illegale Übernahme von Abfällen in die BCI-Deponieorganisation aus Firmen, die nicht Teil der BCI waren	wahrscheinlich
Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper	unwahrscheinlich

6.3 Hypothesen zur Bildung einer explosiven, Chlorat enthaltenden Verbindung oder Mischung im Deponiekörper

Im Gegensatz zu der Behandlung der Frage, wie das Chlorat in die Deponie gelangt ist, wird bei dieser Fragestellung die Wahrscheinlichkeit der Bildung des eigentlichen Explosivstoffes bewertet.

6.3.1 Auskristallisation von Ammoniumchlorat im Deponiekörper

Eine Auskristallisation von Ammoniumchlorat aufgrund eines Konzentrationsniederschlags ist zwar denkbar, die gesättigte Lösung ist in Gegenwart von kristallinem Ammoniumchlorat jedoch instabil [14] und zersetzt sich in kurzer Zeit.

Die Hypothese kann daher **ausgeschlossen** werden.

6.3.2 Bildung der explosiven Mischung mit Chlorat

Eine explosionsfähige Mischung von abgelagertem Chlorat mit anderen Abfällen, die reduzierende Eigenschaften haben, ist aufgrund der im Labor durchgeführten Untersuchungen [Anhang A5] zur spezifischen Zersetzungsenergie, sowie der Reib- und Schlagempfindlichkeit möglich. Die Bildung

eines explosiven Gemisches aus abgelagertem Chlorat mit Abfällen muss somit als sehr wahrscheinlich angenommen werden. Die Hypothese wird mit **sehr wahrscheinlich** bewertet

Tabelle 2: Zusammenfassende Darstellung der Bewertung der Hypothesen darüber, wie der Explosivstoff, der am 7. Juli 2010 explodierte, in der Deponie hat entstehen können

Hypothese	Bewertung der Wahrscheinlichkeit durch das Untersuchungsteam
Auskristallisation von Ammoniumchlorat im Deponiekörper	unwahrscheinlich
Bildung der explosiven Mischung mit Chlorat	sehr wahrscheinlich

7 Zusammenfassung

Das Sicherheitsinstitut wurde beauftragt, das Explosionsereignis vom 07.07.2010 auf der Deponie Bonfol aufzuklären. Das Ereignis wurde bei Reinigungsarbeiten des Deponiesaums durch den Einsatz eines speziell ausgerüsteten Baggers ausgelöst. Die Explosion hat einen Krater von ca. 2-2.5 m hinterlassen. Daraus wurde die Menge Explosivstoff berechnet, die zwischen 2.4 und 10 kg TNT-Äquivalent Explosivstoff beträgt. Das Schadensbild an der Gebäudestruktur und den nicht zerstörten Glasscheiben lässt sich gut mit der Menge Explosivstoff erklären.

Das Forensische Institut der Stadtpolizei Zürich hat in den sichergestellten Proben Chlorat gefunden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit muss davon ausgegangen werden, dass das Chlorat in Verbindung mit einem reduzierenden Stoff das explosive Gemisch gebildet hat.

Chlorat kann von seinen Eigenschaften her eine Komponente eines Sprengstoffes sein, die Zusammensetzungen von Chloratsprengstoffen sind bekannt. In der chemischen Industrie wurden Chlorate in den Bereichen der Farbstoffchemie als Chlorierungs- und Oxidationsmittel eingesetzt und als Herbizide in dem Bereich der Pflanzenschutzmittel verwendet.

Im Rahmen der Aufarbeitung des Ereignisses wurden in den noch verfügbaren Dokumenten der BCI-Firmen Recherchen durchgeführt und dabei insbesondere auch Verfahren aus dem Bereich der Farbstoffindustrie betrachtet, in denen Na-Chlorat eingesetzt wurde.

Von den Hypothesen, wie das Chlorat trotz des Wissens, dass es ein starkes Oxidationsmittel ist und Bestandteil von Explosivstoffen sein kann, in den Deponiekörper gelangt ist, ist die Hypothese, dass es ungewollt als Laborabfall oder aus Pilotbetrieben dort eingetragen wurde, am **wahrscheinlichsten**:

- Hypothese 5: Chlorat stammt aus Laboratorien oder Pilotbetrieben

Abfälle aus Labor- und Technikumsbetrieben wurden regelmässig in die Deponie eingelagert. Aus diesem Grund ist mit kleineren, weiteren Chloratvorkommen (hot spots) zu rechnen.

Es wird als **wahrscheinlich** betrachtet, dass Chlorat auf illegalem Weg in der Deponie entsorgt wurde:

- Hypothese 7a: Illegale Deponierung von Kleinmengen durch Endverbraucher
- Hypothese 7b: Illegale Übernahme von Abfällen in die BCI-Deponieorganisation aus Firmen, die nicht Teil der BCI waren

Als **unwahrscheinlich** können folgende Hypothesen bewertet werden:

- Hypothese 1: Chlorat stammt aus Produktionsabfällen der BCI-Firmen
- Hypothese 2: Chlorat stammt aus Rohstoffresten der BCI-Firmen

- Hypothese 3a: Chlorat stammt aus der Herbizid-Produktion der BCI-Firmen
- Hypothese 3b: Chlorat stammt aus der Formulierung eines Herbizids der BCI-Firmen
- Hypothese 4: Chlorat wurde als Rohstoff von BCI-Firmen synthetisiert; Abfälle der Produktion wurden deponiert
- Hypothese 6a: Chlorat stammt aus der Landwirtschaft
- Hypothese 6b: Chlorat stammt aus dem Berg- und Strassenbau
- Hypothese 6c: Chlorat stammt aus der chemischen Industrie ausserhalb der BCI-Firmen
- Hypothese 6d: Chlorat stammt aus der Herstellung von Chedditen in Liestal/Lausen
- Hypothese 8: Bildung von Chlorat im Deponiekörper

Im Weiteren wurden Hypothesen entwickelt, wie aus dem in der Deponie vorhandenen Chlorat ein Explosivstoff werden konnte. Hierzu wurden auch Experimente in den Laboratorien des Sicherheitsinstitutes durchgeführt. Als **sehr wahrscheinlich** muss angenommen werden, dass sich das kristalline Chlorat mit dem Abfall vermischt hat und dann die explosive Mischung zur Explosion gebracht wurde.

Als **wahrscheinlichste** Zündquelle muss entweder Reibung oder Schlag durch die Baggerschaufel angenommen werden. Dies konnte durch Laborversuche bestätigt werden.

In diesem Bericht wurde ausschliesslich auf das Ereignis eingegangen. Die Bewertungen der Hypothesen berücksichtigen ausschliesslich den Aspekt einer Explosion mit Chloraten. Ein solches oder ähnliches Ereignis kann in der Zukunft mit weiteren deponierten Substanzen durchaus wieder stattfinden.

Daher wird abschliessend empfohlen, den Deponiebetrieb erst dann wieder aufzunehmen, wenn technische und organisatorische Massnahmen getroffen werden, die das Risiko auf ein akzeptables Restrisiko für Bevölkerung, Mitarbeiter und Umwelt beschränken.

Sicherheitsinstitut

P. Lerena

M. Steinkrauss

D. Gandini

A 1 Bibliographie

- [1] Frank P. Lees; "Loss Prevention in the Process Industries"; Butterworth Heinemann, 2nd. Edition; 1996.
- [2] Methods for the calculation of physical effects; CPR14E, TNO" 3rd Ed.; 1997
- [3] G. Suter; Bericht 302716-10-0690; Untersuchungen an Abfallproben aus der Deponie Bonfol; 6.10.2010; Basel
- [4] Hollemann Wiberg; Lehrbuch der Anorganischen Chemie; 1985
- [5] Ullmann; Enzyklopädie der technischen Chemie; 1954
- [6] Gestis Stoffdatenbank; <http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [7] Köhler, Meyer; Explosivstoffe; Homburg, 2008
- [8] Dr. Hansjörg Schmassmann; Bericht über die Sondermülldeponie Bonfol 1961 – 1981; Band I, August 1982; Liestal
- [9] E-mail von R. Michel; Henkel & Cie. AG an Michael Fischer vom 2. November 2010
- [10] E-mail von A. Rösle; F. Hoffmann-La Roche AG an Michael Fischer; 15. Oktober 2010
- [11] E-mail von Th. Rosatzin, Rohner AG, Pratteln an Michael Fischer; 28. Oktober 2010
- [12] Brief von R. Spitz; Clariant Produkte (Schweiz) AG, Muttenz; 18. November 2010
- [13] Brief von R. Dahinden; CABB AG, Pratteln an Michael Fischer; 29. Oktober 2010
- [14] The Spontaneous Decomposition of Ammonium Chlorate; Fred Fairbrother; J. Am. Chem. Soc., 1922, 44 (11), pp 2419–2422
- [15] Diverse Betriebsvorschriften der CIBA und CIBA-GEIGY
- [16] E-mail von Günther Fritz, BASF AG, an Rainer Träxler; 11. Januar 2011
- [17] Preisliste Dr. R. Maag, Dielsdorf; 1958
- [18] Geschichte der Firma Dr. R. Maag Dielsdorf: <http://www.maag-garden.ch/de/ueber-maag/geschichte.html>

A 2 Dr. P. Lerena; „Abschätzung des Explosionsäquivalentes bei der Explosion in Bonfol vom 7.07.2010“; Basel; mit Korrektur vom 4. 11.2010; „Estimation de la quantité équivalente d'explosif condensé“



Dr. Anton Aeby
Projektleiter / Sicherheitsbeauftragter
Chef de projet / Chargé de sécurité
TEL +41 (0)61 685 15 03
FAX +41 (0)61 636 60 95
anton.aeby@bcibag.ch
www.bci-info.ch

Téléphone +41763495537
Courriel Pablo.lerena@swissi.ch

Bâle, le 04 Novembre 2010

Estimation de la quantité équivalente d'explosif condensé

Objectif

L'objectif de ce rapport est d'évaluer l'ordre de grandeur de la quantité équivalente d'explosifs qui justifierait les dégâts observés lors d'une explosion à la décharge de Bonfol le 7.07.2010.

Information disponible

DOCUMENTATION

Photographies du toit et de la pelleuse.

CRATÈRE :

Diamètre, (env. 2 à 2,5m)
Profondeur (difficile à estimer car rempli d'eau)
Situation dans la halle.

FACADE SUD DE LA HALLE :

Dimensions de la paroi,
Description sommaire des dommages et localisation
Matériau constitutif (panneaux sandwich) : épaisseur (coupe transversale)

TOITURE

Plan du toit avec projection du cratère et distance au mur
Marquage des bosselages
Représentation des ECF endommagés/ ouverts automatiquement / encore en état
Matériau constitutif

Bases théoriques du calcul

Dimensions du cratère

Les dimensions du cratère seront utilisées pour déterminer la quantité minimale d'explosif condensé à haute brisance qui peut expliquer l'ampleur des dommages observés lors de l'explosion.

Les équations utilisées sont présentées en détail dans la référence 1, Volume 2, Chapitre 17.31.5.

Le volume du cratère en fonction d'un explosif hautement brisant comme la dynamite peut être effectué en utilisant la formule de Olsen :

$$V = 0.4 \cdot W^{\frac{8}{7}}$$

V : Volume du cratère en [ft³]

W : masse d'explosif [lb]

En effectuant le changement d'unités on obtient l'équation suivante qui permet d'estimer la quantité d'explosif en fonction du volume du cratère :

$$W = \frac{(V \cdot 35.31)^{\frac{7}{8}}}{0.454 \cdot 0.4^{\frac{7}{8}}}$$

V : Volume du cratère en [m³]

W : masse d'explosif [kg]

La relation entre le diamètre du cratère et son volume peut être établie suivant l'équation :

$$D = 6 \cdot V^{0.25}$$

D : diamètre du cratère [m]

V : Volume du cratère [m³]

Il est donc possible d'estimer la quantité d'explosif en fonction du diamètre du cratère :

Diamètre du cratère [m]	Quantité d'explosif [kg]
2	2.4
2.5	5.2

Un explosif d'une brisance inférieure à la dynamite aurait besoin de plus de quantité pour produire un cratère des mêmes dimensions. Un sol « mou » aurait aussi tendance à créer des cratères de diamètre inférieure. Il est donc probable que la quantité calculée soit sous-estimée.

Dégâts sur la halle

Calcul des effets de surpression en fonction de la distance

Le graphique suivant [référence 2] permet de calculer les effets de surpression en fonction de la distance pour une masse équivalente TNT.

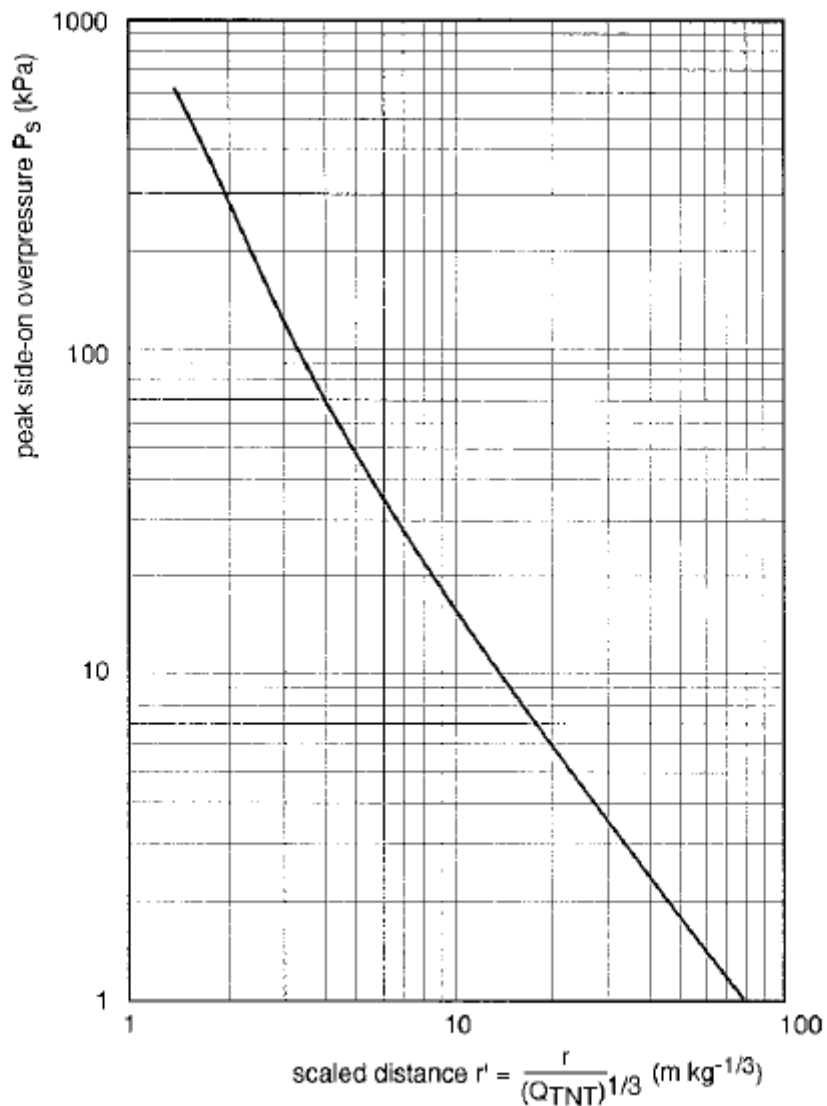


Figure 5.6 Peak side-on overpressure due to a surface TNT explosion according to Marshall [1976]

p_s : surpression de l'onde de choc

p_a : pression atmosphérique

$$P_s = \left(\frac{p_s}{p_a} \right) - 1$$

r : distance au centre de l'explosion [m]

Q_{TNT} : masse équivalente TNT [kg]

$$r' = \frac{r}{(Q_{TNT})^{1/3}} \Rightarrow r = r' \cdot (Q_{TNT})^{1/3}$$

Ampleur des dommages

Il est possible d'établir une corrélation approximative entre les dommages observés et la surpression de l'onde de choc incidente. Par exemple, en utilisant le tableau de la référence 3 ci-dessous :

Overpressure vs. Consequences Correlation for Representative Buildings (Refs. 5 and 33)

Peak Side-on Overpressure, psi (bar)	Consequences to Buildings	Possible Building Occupant Injury Consequences
~0.2 (~0.015)	Threshold of glass breakage	No injury to personnel
>0.5 (>0.03)	Significant repairable cosmetic damage is possible	Possible personnel injury from glass breakage, falling light fixtures, etc.
>1 (>0.07)	Possible minor structural damage to buildings and severe damage to trailer-type buildings and unreinforced masonry load-bearing wall buildings	Personnel injury from debris is likely
>2 (>0.14)	Local failure of isolated parts of buildings and collapse of trailer-type buildings and unreinforced masonry load-bearing wall buildings	Possible serious injury or fatality of some occupants
>3 (>0.21)	Collapse of buildings	Probable serious injury or fatality of many occupants
>10 (0.70)	Probable total destruction of nonblast-resistant buildings	Probable 100% fatalities

Voici un autre tableau présenté dans la référence [1] :

Table 17.43 Some damage effects produced by a blast wave – 2 (after V.J. Clancey, 1972b)

	Peak side-on overpressure	
	(psi)	(kPa ^a)
Annoying noise (137 dB), if of low frequency (1–15 Hz)	0.02	
Occasional breaking of large glass windows already under strain	0.03	0.2
Loud noise (143 dB). Sonic boom glass failure	0.04	
Breakage of windows, small, under strain	0.1	0.7
Typical pressure for glass failure	0.15	1.0
'Safe distance' (probability 0.95 no serious damage beyond this value)	0.3	2.0
Missile limit		
Some damage to house ceilings; 10% window glass broken		
Limited minor structural damage	0.4	2.8
Large and small windows usually shattered; occasional damage to window frames	0.5–1.0	3.5–6.9
Minor damage to house structures	0.7	4.8
Partial demolition of houses, made uninhabitable	1.0	6.9
Corrugated asbestos shattered	1–2	6.9–13.8
Corrugated steel or aluminium panels, fastenings fail, followed by buckling		
Wood panels (standard housing), fastenings fail, panels blown in		
Steel frame of clad building slightly distorted	1.3	9.0
Partial collapse of walls and roofs of houses	2	13.8
Concrete or cinder block walls, not reinforced, shattered	2–3	13.8–20.7
Lower limit of serious structural damage	2.3	15.9
50% destruction of brickwork of house	2.5	17.3
Heavy machines (3000 lb) in industrial building suffer little damage	3	20.7
Steel frame building distorted and pulled away from foundations		
Frameless, self-framing steel panel building demolished	3–4	20.7–27.6
Rupture of oil storage tanks		
Cladding of light industrial buildings ruptured	4	27.6
Wooden utilities poles (telegraph, etc.) snapped	5	34.5
Tall hydraulic press (40 000 lb) in building slightly damaged		
Nearly complete destruction of houses	5–7	34.5–48.3
Loaded train wagons overturned	7	48.3
Brick panels, 8–12 in. thick, not reinforced, fail by shearing or flexure	7–8	48.3–55.2
Loaded train boxcars completely demolished	9	62.1
Probable total destruction of buildings	10	69.0
Heavy (7000 lb) machine tools moved and badly damaged		
Very heavy (12 000 lb) machine tools survived		
Limit of crater lip	300	2000

^aThese SI values are given by Gugan (1979).

Dommmages observés

Il faut préciser que les valeurs disponibles en littérature sont approximatives. Les dommages produits par une onde de choc sur les structures et les éléments de construction dépendent aussi de la forme de l'onde de choc et sa durée. En fonction de la visite effectuée sur les lieux après l'explosion et les informations fournies par le client on a pu observer :

- Il n'y a pas eu de défaillance structurelle significative de la halle, les traverses les plus proches du lieu de l'explosion se trouvent sur le toit directement au-dessus du cratère à une distance de 10 à 15 m environ. On peut déduire que la surpression à cette distance n'a pas dépassé 14 kPa. Cependant, la tôle d'acier du toit au dessus du cratère est déformée ce qui indique possiblement des valeurs de surpression proches de 7 kPa (dommage structurel limité)
- La façade sud située à environ 33 m du cratère à été déformée, ce qui peut correspondre à des valeurs de surpression comprises entre 3 et 7 kPa.
- Les vitres de la salle de contrôle situées à environ 75 m du cratère n'ont pas été cassées, ce qui indique que la surpression n'a pas dépassé 1.5 kPa.

Comparaison entre les dommages et les quantités équivalentes d'explosif

On peut établir quelles sont les distances auxquelles on attend les dommages décrits pour les quantités de TNT établies en fonction du diamètre du cratère (entre 2.4 et 5.2 kg TNT).

Équivalents TNT [kg]	Distance pour atteindre la surpression [m]			
	1.5 kPa : limite pour rupture des vitres	3 kPa : dommage « cosmétique »	7 kPa : dommage structurel limité	14 kPa : défaillance structurelle
2.4	74	50	23	13
5.2	95	60	30	16

Calcul alternatif

Les équations utilisées sont présentées en détail dans la référence 1, Volume 2, Chapitre 17.32.6. Le dégât le plus significatif observé lors de l'explosion a été la déformation du toit juste au-dessus du lieu de l'explosion. La distance depuis l'origine de l'explosion est de l'ordre de 10 à 15 m environ. Suivant les échelles de dégâts de Jarret (1968) et Scilly et High (1986) cette déformation du toit correspond au moins à une catégorie D. La relation avec la masse équivalente TNT capable de produire ces dégâts peut être déterminée en utilisant l'équation de Jarret :

$$R = \frac{k \cdot W^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{3175}{W}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}}$$

k : constante qui dépend de la catégorie de dégâts

W : masse d'explosif [kg]

R : distance des dégâts correspondante à chaque catégorie [m]

Le tableau suivant indique la distance des dégâts pour la catégorie D (déformation du toit) en fonction de la masse d'explosifs:

W[kg]	Distance dégâts catégorie D (Gilbert, Lees and Scilly 1994)	Distance dégâts catégorie D (Jarret 1968)
5	8.5	11.1
10	13.5	17.7
20	21.4	28.1
30	28.0	36.8
40	33.9	44.6
50	39.3	51.7
100	62.4	82.1

D'après cette formule alternative de calcul en fonction des dégâts observés dans la toiture de la halle, une quantité d'explosif à haute brisance de 5 à 10 kg serait suffisante pour produire les effets observés.

Discussion

D'après l'évaluation approximative des dégâts, la détonation d'un d'explosif à haute brisance avec une quantité équivalente TNT comprise entre 2.4 et 10 kg peut expliquer les phénomènes observés (diamètre du cratère et évaluation qualitative des dégâts sur les structures de la halle en fonction de la distance).

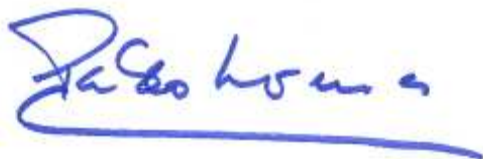
Les analyses effectuées par la police scientifique de Zürich indiquent que probablement un explosif occasionnel a pu être formé par la combinaison accidentelle d'un chlorate inorganique avec les déchets. Les mesures expérimentales effectuées par le laboratoire de SWISSI PS [4] indiquent que l'énergie libérée par ce type de mélanges sensibles à l'impact peut atteindre 20 à 80% de celle du TNT.

En admettant ces hypothèses, on peut estimer un intervalle de quantités de mélange explosif chlorate- déchets qui probablement a été à l'origine de l'accident observé. Selon des mesures expérimentales une équivalence entre environ 20% et 80% TNT du mélange ont été mesuré, donc la quantité possible de mélange explosif est comprise entre 3 et 50 kg.

Références:

1. Frank P. Lees, « Loss Prevention in the Process Industries », Butterworth Heinemann, 2nd. Edition 1996.
2. Methods for the calculation of physical effects, CPR14E, TNO" 3rd Ed., 1997
3. CCPS, "Guidelines for evaluating process plant buildings for external explosions and fires" (1996)
4. G. Suter, Bericht 302716-10-0690, « Untersuchungen an Abfallproben aus der Deponie Bonfol », (6.10.2010)

Meilleures salutations



Pablo Lerena
Conseil Sécurité des Procédés

A 3 Dr. H. Fierz; *"Explosion in der Sondermülldeponie Bonfol, Abklärungen in den historischen Archiven"*; 13.12.2010; Allschwil

Dr. Hans Fierz
 Im langen Loh 56
 CH-4123 Allschwil

Explosion in der Sondermüldeponie Bonfol, Abklärungen in den historischen Archiven

(ersetzt die Fassungen vom 21.9.2010 und vom 4.11.2010)

Zusammenfassung

Eine Deponierung in der SMDB von grösseren Mengen von auf Schlag oder Reibung explosiven Substanzen durch Firmen der „Bonfol-Gruppe“, (entsprechend der heutigen BCI) erscheint aus Gründen der Chemie, des Transports und der Ökonomie unwahrscheinlich. Dass sich aber weitere Vorfälle wie jener vom 7. Juli mit Kleinmengen ereignen, liegt im Bereich des Möglichen.

Das als Bestandteil der explosiven Mischung festgestellte Chlorat wurde während der Betriebszeit der SMDB in seiner Eigenschaft als starkes Oxidationsmittel als Grundstoff in vielen Produktionsprozessen der chemischen Industrie benutzt. Aus Gründen der Chemie und der Wasserlöslichkeit des in den Betrieben verwendeten Natriumchlorats ist es unwahrscheinlich, dass festes Chlorat aus diesen Prozessen in grossen Mengen in Bonfol deponiert wurde.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Fragestellung.....	2
3	Unterlagen.....	2
	3.1 Sicherheitsberichte.....	2
	3.2 Unterlagen zu Deponien.....	2
4	Recherchierte Archive.....	4
	4.1 Datenbank und Archiv der Prozesssicherheit	4
	4.2 SIDOK.....	4
	4.3 ZISDAT.....	4
	4.4 Archiv der Novartis.....	4
	4.5 Archiv der Syngenta.....	5
5	Resultate.....	5
	5.1 Chlorat in industriellen Mengen in der CIBA Farbstoff- und Chemikaliendivision.....	5
	5.1.1 Vorbemerkung.....	5
	5.1.2 Datenmaterial.....	5
	5.1.3 Verfahren	5
	5.1.4 Eingesetzte Chlorate.....	6
	5.1.5 Abfälle.....	7
	5.2 Chlorat in der Ciba- Agrodivision.....	7
	5.3 Umgang mit Chemieabfällen in den sechziger Jahren.....	7
	5.3.1 Errichtung von Deponien.....	7
	5.3.2 Interne Weisungen und Organisationen im Umgang mit Abfällen.....	8
	5.3.2.1 CIBA.....	8
	5.3.2.2 Geigy.....	8
	5.3.2.3 Sandoz.....	8
	5.3.2.4 Roche.....	9
	5.3.3 Vorfälle mit Abfällen.....	9
6	Beantwortung der Fragestellung.....	9

1 Einleitung

In der Sondermülldeponie Bonfol der Basler Chemischen Industrie hat sich am 7. Juli 2010 eine Explosion mit Sachschaden ereignet. Nach Aussage des wissenschaftlichen Dienstes der Stadtpolizei Zürich handelt es sich bei der explodierten Substanz um Chlorat. Dieses wurde in einer Zone der Deponie gefunden, in welcher Abfälle aus den Jahren 1963-1964 abgelagert wurden.

2 Fragestellung

Es wurde die Frage gestellt, ob noch weitere solche Ablagerungen („Chloratnester“) in der Sondermülldeponie Bonfol zu erwarten seien, und, wenn ja, in welchen Mengen. Insbesondere soll beantwortet werden,

1) ob die damalige CIBA, J.R. Geigy oder nachher die CIBA-GEIGY, die damalige Sandoz und Durand & Huguenin Chlorat in industriellen Mengen verwendet hat, und ob es möglich war, dass dieses Chlorat in grösseren Mengen deponiert wurde,

2) wie zur damaligen Zeit des Deponie-Betriebs der Umgang mit Chemieabfällen gehandhabt wurde, und ob es möglich war, dass festes Chlorat oder andere Explosivstoffe unwissentlich oder wider besseres Wissen in die Deponie gelangen konnten.

3 Unterlagen

3.1 Sicherheitsberichte

- [1] 1-Chloro-anthraquinone, Formation of Nitrogen Trichloride and Chloro Dioxide during the Fischer Chlorination, PSC-Report ST -3614, Dr. H. Fierz, 22.10.1997, Novartis
- [2] Thermische Sicherheitsabklärungen bei der Herstellung von 1-Chloranthrachinon, PSC-Report ST 3576, B. Rumo, 30.9.1997, Novartis
- [3] WZS-Bericht ST 133, 1973 (nur Literaturreferenz, kein Bericht greifbar)
- [4] WZS-Auftragsnummer ST 1110, ohne Bericht, Granulate mit Chlorat, Borat und Karbutylat (nur Literaturreferenz)
- [5] WZS-Bericht ST 1260, 2-Chlor, 4.6-Dinitroanilin (nur Literaturreferenz)
- [6] WZS-Bericht ST 1520, 2,6-Dichlor-4-nitrophenol, Chlorierungsvariante mit Chlorat, Ereignis (1987) (nur Literaturreferenz)

3.2 Unterlagen zu Deponien

- [7] Fa Hoffmann- La Roche, Weisung über das Sammeln und Lagern von Abfällen, 1959
- [8] Technische Berichte der J.R.Geigy AG, 1956-1959
- [9] Betrifft: Feste Chemieabfälle, Brief an die Firmen Durand & Huguenin AG, J.R. Geigy AG, Rohner AG, Pratteln, Sandoz AG, von CIBA-Aktiengesellschaft, 11. November 1960

- [10] Wegleitung zur Abfassung von Betriebsverfahren, Ciba Aktiengesellschaft, Januar 1961
- [11] Abfuhr von Chemie- und übrigen Abfällen, Ingenieurabteilung der SANDOZ, 6. März 1961
- [12] Betrifft: Feste Abfälle, Weisung der Ingenieurabteilung, CIBA -Aktiengesellschaft, 30. August 1961
- [13] Umweltbericht der Fa. Hoffmann -La Roche, 2. Jahresbericht der Fabrik Basel, 1962, Pkt. 7.3, Transkription aus dem Syngenta-Archiv Nr. 17561 (2)
- [14] Betrifft: Zentralstelle für Abfälle, Weisung der Ingenieurabteilung, CIBA- Aktiengesellschaft, 16. August 1963
- [15] Betrifft: Grubenbrand in Bonfol vom 28. November 1963, Brief von Ciba an die Kollegialfirmen.
- [16] Betrifft: Feste Chemierückstände, Grubenbrand in Bonfol vom 28. November, Brief vom 4. Dezember 1963, Brief von Ciba an die Kollegialfirmen
- [17] Brief an Dr. M. Aebi vom 16. Dezember 1963 (Sandoz Archiv)
- [18] Ereignismeldung Nr. 46, CIBA- Aktiengesellschaft, 20. April 1964
- [19] Richtlinien für die Beseitigung von Abfällen aus chemischen Laboratorien und Versuchsbetrieben, Zentralstelle für Abfälle, Dezember 1964, CIBA-Aktiengesellschaft (Novartis Firmenarchiv, Ciba-Archiv, Technik Si-Dienst T 8.00)
- [20] Referat über Boden-Wasser-Luft (BWL) von Dr. Iselin, Sandoz, undatiert (ca. 1970)
- [21] Sperrung der Grube Gerolsheim, Interne Mitteilung, Hauptabteilung Ingenieurwesen SANDOZ, ca. 1970 (nach 1972 wurde laut [28] nichts mehr von den BCI-Firmen nach Gerolsheim geliefert.)
- [22] Betrifft: Deponie von Chemieschutt, brennbaren Industrieabfällen, Destillationsrückständen etc., Ingenieurabteilung der Sandoz, 16.3.1970 (Novartis Archiv, Ordner Chemieabfälle abgeschlossen 31.8.1972)
- [23] Memo von Dr. H. Gubser an die Betriebschemiker und Meister, Ciba, 31.8.1972
- [24] Kennzeichnung für Abfälle, Dr. H. Gubser (Archiv Ciba-Geigy TK5 1973)
- [25] Ereignismeldung: Verursachung eines Brandes am 13.12. 1973, Sandoz AG
- [26] Anhang zum Antrag Nr. 3002, Untertage-Deponie Herfa-Neurode, Dr. Th. Grauer, April 1974, CIBA-GEIGY Werk Schweizerhalle.
- [27] Negativkatalog vom 24. August 1974, TK 2.1 HL/M, CIBA-GEIGY (Syngenta- Archiv)
- [28] Erinnerungen H. Gubser, Zurzach, August 2000. H.G. (Jahrgang 1914) war in der CIBA Leiter der BWL-Stelle und danach in der CIBA-GEIGY Leiter der Oekologie-Technik-Stammhaus.

4 Recherchierte Archive

4.1 Datenbank und Archiv der Prozesssicherheit .

Die CIBA-GEIGY betrieb nach 1971 ein Labor für Bestimmung von sicherheitstechnischen Prozessdaten, die Wissenschaftliche Zentralstelle für Sicherheitsfragen (WZS). Von Anfang an wurden die hier verfassten Berichte in einer Datenbank registriert, dem so genannten IDAP (Informations- und Dokumentations-System Analytik/Physik) auf dem Grossrechner. Nach der Ausgliederung der Ciba-Spezialitätenchemie, und der Syngenta sowie dem Übergang der WZS zum Sicherheitsinstitut wurde die Datenbank nicht mehr weitergeführt, aber auf PC portiert und kann im Sicherheitsinstitut abgefragt werden.

Die Datenbank enthält die im ZIS-Katalog (siehe unten) registrierten Chemikalien mit ihrer Identnummer.

Das Archiv enthält die Berichte ab etwa 1984 in gedruckter Form. Neuere Berichte ab etwa 1986 sind auf dem Server gespeichert und können via Volltextdatenbank abgefragt werden.

4.2 SIDOK

Das SIDOK war die Ereignis-Datenbank des Zentralen Sicherheitsdienstes der CIBA-GEIGY. Ob die Datenbank noch vorhanden und funktionsfähig ist, ist mir nicht bekannt. Grosse Teile der zugeordneten Dokumente finden sich aber im Archiv K-25.U.20.

4.3 ZISDAT

Die ZISDAT war die Datenbank der Ciba Spezialitätenchemie. Sie geht auf jene der CIBA-GEIGY zurück, jedoch ohne Pharma- und Agro-Vorschriften. ZISDAT wurde von der ZIS (Zentrale Informationsstelle) unterhalten. Nach dem Kauf der Ciba Spezialitätenchemie durch die BASF wurde sie zur BASF in Ludwigshafen transferiert. Sie enthält sämtliche prozessrelevanten Daten, wie Entwicklungsberichte, Pilotvorschriften und Betriebsvorschriften (BVOs), wobei die Bestände bis ca. 1935 zurückgehen. Sie ist nach modernen Kriterien recherchierbar. Für die Pharma- und Agro-Bestände ist die Novartis resp. die Syngenta Ansprechpartner.

Die ZIS redigierte auch den Chemikalienkatalog der Produktion, den so genannten ZIS-Katalog.

4.4 Archiv der Novartis

Das Archiv der Novartis umfasst die Firmenarchive der J.R. Geigy, der CIBA Aktiengesellschaft, der CIBA-GEIGY, der Sandoz AG und der Durand & Huguenin AG sowie der NOVARTIS AG. Es handelt sich dabei um eine in Europa vermutlich einzigartige Einrichtung. Das Archiv umfasst auf mehreren tausend Laufmetern Dokumente, Reklameplakate, Pharmapackungen und Fotografien von zum Teil bedeutendem kulturhistorischem Wert. Recherchen im Archiv sind anspruchsvoll: wegen der Vielfalt der Dokumente und ihrer Anzahl ist eine computergestützte Recherche wenig sinnvoll. Es ist deshalb unter Umständen auch schwierig, festzustellen, ob man alle Dokumente zu einem bestimmten Thema gefunden hat.

Unterstützung beim Recherchieren boten der Leiter des Archivs, Dr. Walter Dettwiler sowie Frau Dr. Carole Billod, denen an dieser Stelle herzlich gedankt sei.

4.5 Archiv der Syngenta

Das Archiv der Syngenta zur Abfallproblematik enthält z.T. dieselben oder ähnliche Dokumente wie das Firmenarchiv der Novartis. Ich danke den Herren Marco Semadeni und Taiwo Danjuna für die freundliche Unterstützung.

5 Resultate

5.1 Chlorat in industriellen Mengen in der CIBA Farbstoff- und Chemikaliendivision

5.1.1 Vorbemerkung

Die CIBA und später die CIBA-GEIGY hat Chlorat, hauptsächlich in der Form von wässrigen Lösungen von Natriumchlorat in der industriellen Produktion von Farbstoff-Zwischenprodukten eingesetzt. In dieser, Fischer-Chlorierung genannten Synthese wird anstelle elementaren Chlors eine heisse, wässrige, salzsaure Lösung von Chlorat verwendet, die wiederum Chlor freisetzt. Damit kann die Handhabung von elementarem Chlor vermieden werden.

5.1.2 Datenmaterial

Die Datenbanken des Sicherheitsinstituts, Gruppe Prozesssicherheit lieferten auf Anhieb drei Datenbankeinträge für Prozesse mit Chlorat in der Ciba-Geigy Farbstoffdivision, nämlich für die Herstellung von 1-Chloranthrachinon[1]2-Chlor, 4,6-dinitroanilin [5] und Cibanonbraun GR [3].

In der Folge wurde zunächst in dem Teil der ZISDAT, der den Farbstoffen und Chemikalien zugeordnet war, nach diesen drei Produkten der Ciba-Farbstoffdivision gesucht, sowie nach den Stichworten "Chlorat" und "Fischer-Chlorierung". Wir haben dann nach diesen Stichworten geordnete Listen der BVOs erhalten.

Auf Grund dieser Listen wurden bei der BASF ausgewählte Betriebsvorschriften bestellt.

Im allgemeinen ändert bei derartigen Grundchemikalien die Chemie der Herstellung im Lauf der Jahre nur wenig. Es ist also ausreichend, immer nur die neueste Version der Betriebsvorschrift durchzusehen.

5.1.3 Verfahren

Auf Grund einer spezifischen Anfrage wurde nach Verfahren gesucht, bei denen Chlorat verwendet wurde und die Mitte der siebziger Jahre vom Werk Klybeck der CIBA- GEIGY ins Werk Grenzach verlagert wurden. Wiedergegeben sind ZISDAT- Datensätze von drei solcher Verfahren:

RefNo.	274792 - 1
Title	1-CHLOR-ANTHRACHINON

Producer BRUNN E.
 Department CIBA ZISDAT, CONF
 CIBA, COLORS, CO
 CIBA, GRENZACH WYHLEN, DEGR
 Document HERSTELLVORSCHRIFT
 Type
 ext.ReportNo 29852
 Publication 05.05.1976
 Date
 No of Rxn 0
 Abstract Stufe: 1/1 1-CHLOR-ANTHRACHINON, C14H7CL1O2, ISIS-Nr. 272, Film:
 VF2313771227

RefNo 298557 - 1

Title 2-CHLOR-4,6-DINITRO-ANILIN
 Producer ASTHOLZ D.
 Department CIBA ZISDAT, CONF
 CIBA, COLORS, CO
 CIBA, GRENZACH WYHLEN, DEGR
 Document HERSTELLVORSCHRIFT
 Type
 ext.ReportNo 59429
 Publication 12.03.1985
 Date
 No of Rxn 0
 Abstract Stufe: 1/1 2-CHLOR-4,6-DINITRO-ANILIN, C6H4CL1N3O4, ISIS-Nr. 2773,
 Film: VF2405850407

RefNo 223777 - 1

Title CIBANON BRAUN GR
 Producer WHITEHEAD M.J.
 Department CIBA ZISDAT, CONF
 CIBA, COLORS, CO
 CIBA, GRENZACH WYHLEN, DEGR
 Document HERSTELLVORSCHRIFT
 Type
 ext.ReportNo 57878
 Publication 27.11.1980
 Date
 No of Rxn 0
 Abstract Stufe: 1/1 CIBANON BRAUN GR, C42H23N3O6, ISIS-Nr. 1278, Film:
 VF2399841126

5.1.4 Eingesetzte Chlorate

Als Chlorate wurde in allen gefundenen Betriebsvorschriften Natriumchlorat eingesetzt. Einzige Ausnahme ist die Herstellung von Cibanonbraun GR [3]: hier wird das Kaliumsalz erwähnt, es handelt sich hier wohl um eine theoretische Studie und nicht um eine Betriebsvorschrift. Natriumsalze sind in der Regel billiger als die entsprechenden Kaliumsalze. Das Natriumchlorat

wurde als festes Salz eingekauft und die wässrige Lösung im Betrieb selbst hergestellt.

5.1.5 Abfälle

Bei allen durchgesehenen Betriebsvorschriften liegen die theoretischen Ausbeuten bei 95% oder höher. Mit Ausnahme der Vorschrift für die Herstellung von Cibanonbraun GR werden keine festen Abfälle beschrieben. Bei Cibanonbraun entstehen pro Partie ca. 75 kg nicht näher definierte Anthrachinonderivate als Abfall, das entspricht etwa 5 %.

5.2 Chlorat in der Ciba- Agrodivision

In der Datenbank des Sicherheitsinstituts (siehe Kapitel4.) wurden für die Agrodivision zwei Einträge mit Chlorat gefunden [4],[6]. Einer dieser Einträge[4] hat sich offenbar mit einem Versuch einer neuen Formulierung befasst, welche aber nicht weiterverfolgt wurde, was daraus folgt, dass kein Bericht verfasst wurde. Der andere [6] befasst sich mit einem Ereignis bei der Herstellung von 2,6-Dichlor-4-Nitro-Phenol. Das Ereignis hat aber nicht direkt mit Chlorat in seiner Rolle als Komponente eines Sprengstoffs zu tun.

Eine Recherche in der Datenbank "Smartdoc" der Syngenta mit Stichwort "Chlorat" ergab keine für die Deponie in Bonfol relevanten Resultate: die gefundenen Zitate beziehen sich alle auf ASTRA-ZENECA in England, eine Firma, die sich mit der Agro-Division der Novartis zusammengeschlossen hat. Dies geschah allerdings erst nach dem Ende des Betriebs der Deponie Bonfol.

Eine Originalkopie der ZISDAT wie sie vor Abspaltung des agrochemischen Teils der CIBA-GEIGY Agrodivision vorlag, ist in Zürich bei einem Notar deponiert. Es wurde die Möglichkeit diskutiert, den agrochemischen Teil aus der ZISDAT herauszulösen. Ansprechpartner für diese Operation sind Herr Günther Fritz (BASF) und Herr Marco Semadeni (Syngenta).

5.3 Umgang mit Chemieabfällen in den sechziger Jahren

5.3.1 Errichtung von Deponien

Der Umgang mit festen Abfällen war in den sechziger und anfangs der siebziger Jahre ein zunehmendes Problem: Dr. Iselin schreibt in einem Vortragstext (um 1970), dass seine Fabrik, die SANDOZ, mengenmässig gleich viele Abfälle wie Fertigprodukte produziere [20]. Probleme mit den Abfällen konnten nach Ansicht der Verantwortlichen also unmittelbar die Produktion gefährden: H. Gubser von der CIBA schreibt: "wenn uns die Deponie Bonfol gesperrt werden sollte, ersticken wir im Chemieschutt" [23].

Dass der Abfall verbrannt werden sollte, war schon damals klar, die vorhandenen Kapazitäten reichten aber nicht aus, und die Verbrennung in der städtischen Kehrichtverbrennungsanlage erwies sich nach langwierigen Versuchen als nicht praktikabel.

5.3.2 Interne Weisungen und Organisationen im Umgang mit Abfällen

5.3.2.1 CIBA

Bei der CIBA wurde 1959 eine Zentralstelle für Abfälle unter der Leitung von E. Zehnder geschaffen [28]. Dieser hatte zwei Mitarbeiter. Die Zentralstelle musste alles annehmen, was man ihr brachte [14]. Labor- und Chemieabfälle gingen in die Kehrlichtverbrennungsanlage, ins Meer („Seeverklappung“) oder in Deponien [12]. Informationen aus dieser Zeit darüber, was oder was nicht deponiert werden durfte, konnten bei dieser Recherche keine gefunden werden. Ausnahme: Explosives, pyrophores oder giftiges Material musste auf dem Schuttplatz deponiert werden und wurde dort von der Zentralstelle in geeigneter Weise entsorgt. 1961 wird in einer „Wegleitung zur Abfassung von Betriebsverfahren“ verlangt, die Abfälle sollten mindestens annäherungsweise quantitativ pro Operation angegeben werden, es mussten also sogenannte Stoffbilanzen erstellt werden: wieviel des eingesetzten Materials geht ins Abwasser, in die Abluft oder ist fester Abfall [10].

In einem Bericht wird 1963 auf die Problematik hingewiesen, dass unbekanntes Material nachts illegal auf dem Schuttplatz deponiert werde [14]. Die CIBA hat offenbar schon 1963 ein Merkblatt (das sogenannte Zirkular 164) über den Umgang mit Abfällen herausgegeben. Dieses konnte nicht eruiert werden. Da Negativ-Kataloge für Abfälle, d.h. eine Auflistung von Chemikalien, die nicht deponiert werden durften, erst für das Jahr 1971 gefunden wurden, dürfte es sich bei diesem Zirkular eher um eine Zusammenstellung von Kategorien handeln, wie z.B. „giftig“, „reaktiv“, „explosiv“.

Für 1971 wird wie erwähnt in einem Bericht der Ciba-Geigy ein für Bonfol aufgestellter Negativ-Katalog für Abfälle zitiert, d.h. eine Auflistung von Chemikalien, die nicht deponiert werden durften [24]. Darunter fallen z.B. leicht zersetzliche Diazoverbindungen, Peroxide, Chlorate, Perchlorate, Hypochlorit, Bromate, Chromate, Nitrate, Nitrite.

Desgleichen existiert ein solcher von der Deponie Teuftal aus dem Jahr 1974 [27] und ein ebensolcher, aber weniger expliziter für die Untertagdeponie Herfa-Neurode ebenfalls von 1974 [26]. Hier wird auch erwähnt, dass zur Deponierung vorgesehene Destillationsrückstände im Sicherheitslabor auf ihre thermischen Eigenschaften geprüft werden, bevor sie deponiert werden können.

5.3.2.2 Geigy

Der einzige Hinweis auf die Abfallproblematik konnte in den technischen Berichten der Geigy 1956-1959 gefunden werden [8]. Hier wird verschiedentlich festgestellt, dass das Abfallproblem immer noch nicht gelöst sei.

5.3.2.3 Sandoz

1961 wurde eine Weisung der Ingenieurabteilung über Abfälle, auch Chemieabfälle erlassen [11].

Das BWL-Labor der Sandoz ist um 1970 mit 2 Chemikern und drei Laboranten besetzt, ein weiterer Chemiker und ein Biologe sind in Anstellung [20].

5.3.2.4 Roche

1959 hat Fa. Hoffmann- La Roche eine Weisung zum Sammeln und Lagern von Abfällen herausgegeben [7]. Dem Umweltbericht der Roche lässt sich entnehmen, dass brennbare Chemierückstände nicht nur deponiert, sondern im eigenen Ofen, in jenem der CIBA oder in der städtischen Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt wurden, gegebenenfalls durch Vermischen mit Sägemehl. Nicht brennbare Abfälle wurden ab 1962 nach Bonfol transportiert [13].

5.3.3 Vorfälle mit Abfällen

CIBA orientiert die Kollegialfirmen am 11. Dezember 1963 über einen Unfall in der Grube Bonfol [15]. Die CIBA legt diesem Brief ihr Zirkular 164 bei. Bei diesem Vorfall ist ein Fass mit nicht mehr eruierbarem Material explodiert. Es wird vermutet, es handle sich um Laborabfälle [16]. In einem internen Brief der Sandoz wird die Wünschbarkeit eines SANDOZ-Zirkulars ähnlich des CIBA-Zirkulars 164 erwähnt [17].

In der SIDOK (siehe Abschnitt 4.2) findet sich die Beschreibung einer Explosion auf dem Schuttplatz von CIBA. Die Natur des explodierten Materials ist unbekannt, ebenso die Zündquelle. Im Bericht wird Carbid oder ein carbidähnlicher Stoff vermutet, bei dem durch Eintritt von Regenwasser Wasserstoff gebildet worden sei [18].

Im Jahr 1970 kritisiert ein Zirkular der Ingenieurabteilung der SANDOZ das wahllose Deponieren von Abfällen und macht darauf aufmerksam, dass "gefährliche Chemikalien, die durch Entzündung zur Explosion gebracht werden, in separaten Fässern (...) abgestellt werden müssen „ [22].

Um 1970 wird anlässlich eines Vorfalles mit einem Fass, das unter anderem Natriumcyanid enthält, festgestellt, dass "bis jetzt eine Liste der verbotenen Substanzen vollständig fehlt" [21].

Im Jahr 1973 findet sich bei SANDOZ eine Ereignismeldung [25] betreffend die Verursachung eines Brandes beim Deponieren von Flaschen aus alten Chemikaliensammlungen: "was aber nachdenklich stimmt, ist die Tatsache, wie sorglos gewisse Chemiker mit gefährlichen Chemikalien umgehen, ganz besonders, wenn es um deren "Beseitigung" geht."

6 Beantwortung der Fragestellung

Eingangs wurde die Frage gestellt:

- 1) ob die damalige CIBA, die J.R. Geigy oder nachher die CIBA-GEIGY, die damalige Sandoz und die Durand & Huguenin Chlorat in industriellen Mengen verwendet hat, und ob es möglich war, dass dieses Chlorat in grösseren Mengen deponiert wurde,
- 2) wie zur damaligen Zeit des Deponie-Betriebs der Umgang mit Chemieabfällen gehandhabt wurde, und ob es möglich war, dass festes Chlorat oder andere Explosivstoffe unwissentlich oder wider besseres Wissen in die Deponie gelangen konnten.

Diese Fragen lassen sich wie folgt beantworten:

Zu 1):

Die auf Chlorat basierende Fischer- Chlorierung war eine in der CIBA gut eingeführte Methode, mit welcher eine ganze Reihe von Produkten hergestellt

wurde. Die Fischer- Chlorierung verläuft schnell und quantitativ [2]: alles eingesetzte Chlorat wird dabei verbraucht. In einzelnen Prozessen werden allfällige Reste durch Zugabe von reduzierenden Stoffen vernichtet. Im resultierenden Abwasser wird nur noch sehr wenig Chlorat zu finden sein. Wegen der guten Löslichkeit des Natriumchlorats ist anzunehmen, dass eventuell noch vorhandenes Chlorat in Wasser gelöst vorliegt und früher kanalisiert, d.h. ins Abwasser geleitet, heute aber der Kläranlage zugeführt wird.

Ich halte es deshalb aus diesen Gründen für sehr unwahrscheinlich, dass festes Chlorat aus diesen Prozessen in grossen Mengen deponiert wurde.

Zu 2):

Zur Beantwortung dieser Frage können die damaligen Vorschriften hinzugezogen werden, weiter lassen sich Überlegungen anstellen über die Natur des explosiven Materials und schliesslich spielen hier auch ökonomische Gesichtspunkte eine Rolle.

Vorschriften

Die Dokumente zeigen, dass es schon vor 1970 Vorschriften im Umgang mit Abfällen gab, auch eine Klassierung wurde schon angewendet mit Begriffen wie "gesundheitsschädlich, explosiv, gefährliche Chemikalien, die durch Entzündung zur Explosion gebracht werden können, ätzend, leicht zersetzlich, reaktiv". Ob eine solche Kategorisierung von Nutzen war, ist fraglich, weil die verwendeten Begriffe zumindest nach heutiger Ansicht einer genauen Definition bedürfen, und im Einzelfall die Substanzen hätten experimentell geprüft werden müssen.

Es gibt allerdings auch gelegentlich Hinweise darauf, dass sich die Mitarbeiter der Betriebe nicht oder nur nachlässig an die Vorschriften hielten. Dies scheint auch in den Forschungsabteilungen immer wieder vorgekommen zu sein.

Nach 1970 werden in der CIBA-GEIGY die Abteilungen, die sich mit Emissionen befassen, zentralisiert, es werden von den Betrieben Stoffbilanzen verlangt. Negativ- z.T sogar Positivlisten mit namentlich genannten Chemikalien für das Deponieren werden geführt, auch werden in den Vorschriften erstmals Tests erwähnt, die im Sicherheitslabor mit zu deponierenden Rückständen durchgeführt werden müssen. Diese präziser formulierten Anforderungen und die durchzuführenden Prüfungen nahmen auch die Betriebskader mehr in die Pflicht. Es ist deshalb anzunehmen, dass auf Betriebsebene die Vorschriften strikter und konsequenter durchgesetzt wurden. Was die Forschungsabteilungen betrifft, glaube ich, dass auch zu dieser Zeit in den Labors noch relativ nachlässig mit dem Entsorgen von Chemikalien umgegangen wurde.

Zur Natur des deponierten Materials

Schon vor etlichen Jahren deponiertes Material, das noch heute in Bonfol zu einer Explosion führen kann, muss folgende Eigenschaften aufweisen:

Es muss schlag- oder reibempfindlich sein, d.h. es explodiert schon bei mechanischer Manipulation. Solches Material kann deshalb nicht umgeschlagen und transportiert werden, ohne dass es zu einer Explosion kommt. Daraus folgt, dass die schlag- oder reibempfindlichen Substanzen erst in der Deponie selbst entstanden sein können. Chlorat ist ein typischer Fall: allein ist es relativ harmlos, in Kombination mit Organika kann es jedoch einen Sprengstoff bilden. Zu solchen Oxidationsmitteln gehören auch

z.B. Perchlorate, Chromate, Nitrate, Nitrite. Diese sind in den meisten Fällen gut wasserlöslich.

Das deponierte Material muss aber wasserunlöslich sein, da es im Betrieb aus Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsaspekten heraus sonst in wässriger Lösung über die Kanalisation hätte entsorgt worden wäre. Es ist somit schwer vorstellbar, dass Chlorat oder andere Oxidationsmittel in Form anorganischer, wasserlöslicher Salze in industriellen Mengen auf eine Deponie verbracht wurden.

Denkbar ist auch, dass ursprünglich gefahrlos transportables Material im Lauf der Jahre reagiert und dabei schlag- oder reibempfindlich wird. Bei nitrierten Aromaten könnte z.B. der Fall eintreten, dass sie, solange sie Lösungsmittel- oder wasserfeucht gehandhabt werden, nicht schlagempfindlich sind, in trockenem Zustand aber schon. Falls sie über den langen Zeitraum in der Deponie austrocknen, hätte man sie in feuchtem und damit sicherem Zustand nach Bonfol transportieren und dann vierzig Jahre später eine Explosion auslösen können.

Ökonomische Gesichtspunkte

Die Farbstoffchemie hat eine grosse Anzahl von nitrierten Aromaten hergestellt. Es wäre demnach möglich, dass sich darunter solche mit im vorherigen Abschnitt beschriebenen Eigenschaften finden.

Dass solche Produkte in grösseren Mengen in Bonfol deponiert wurden, halte ich aus folgenden Gründen für unwahrscheinlich:

In der Regel wurden aus der chemischen Produktion Rückstände aus Reinigungsoperationen deponiert: Destillationsrückstände und teerartige sonstige Rückstände, Filtrierrückstände, oft vermischt mit Filtrierhilfsmitteln wie Kieselgur oder Aktivkohle.

Beides sind Rückstände, die nicht oder nur mit grossem Aufwand gereinigt und wieder eingesetzt werden können, und die in verhältnismässig geringen Mengen anfallen. Dass Filter- oder Destillationsrückstände schlag- oder reibempfindlich sind, ist nicht sehr wahrscheinlich: Erstere sind dickflüssig, letztere muss man schon beim Ausladen des Filters mechanisch handhaben und damit eine Explosion in Kauf nehmen.

Dass man industrielle Mengen eines konzentrierten, brauchbaren oder verkaufbaren Produkts deponiert hätte, widerspricht mindestens in der Basler Chemie, die mir vertraut ist, allen ökonomischen Grundsätzen, denn das in einem Kessel vorhandenen Material stellt einen erheblichen Wert dar. Man hat deshalb in allen mir bekannten Fällen immer versucht, solches Material doch noch zu reinigen und irgendwo einzusetzen resp. zu verkaufen.

Fazit

Während Betriebe wasserlösliche Oxidationsmittel wohl immer über die Kanalisation “entsorgt” haben, ist dies bei Forschungslabors und Technika mindestens in kleineren Mengen nicht sicher. Auch kleinere Mengen sprengstoffähnliches Material in z. B. Glasflaschen (man scheint ja in der Deponie häufig Glas zu finden) könnten so in die Deponie Eingang gefunden haben. Es gab zwar schon in der Anfangszeit der Deponie Regeln, die solches hätten verhindern sollen, sie waren aber unpräzise formuliert und man hatte zumindest noch in den sechziger Jahren Mühe mit der Durchsetzung,

Dass sich deshalb weitere Vorfälle wie jener vom 7. Juli ereignen, liegt besonders in den älteren Teilen (bis ca. 1970) der Deponie im Bereich des Möglichen. Dass in der Deponie grosse Mengen explosiven Materials zum Vorschein kommen, halte ich jedoch aus den beschriebenen Überlegungen heraus für unwahrscheinlich.

Allschwil, 13.12.2010

Hans Fierz

**A 4 Bericht des Forensischen Instituts der Stadtpolizei Zürich;
12.10.2010; Zürich**

Commandement de la
Police Cantonale Jurassienne
Prés-Roses
2800 Delémont

Unsere Referenz	K100709-059	Datum	12. Oktober 2010
Vorfall	Explosion in der Abbauhalle der Sondermülldeponie		
Vorfall Ort	2944 Bonfol		
Vorfall Datum	07.07.2010		
Eingangs-Datum	09.07.2010		
Sachbearbeitung durch Kontrollbeauftragte	Leo Widmer, Roland Widmer Dr. Kurt Zollinger		

Spurensicherungsbericht

Das untersuchte Material wird - sofern nachfolgend nicht anders erwähnt - bis zu zwei Jahren nach Ablieferung dieses Spurensicherungsberichtes unter der Nummer K100709-059 gelagert und nach Ablauf dieser Frist, ohne Ihren schriftlichen Gegenbericht, vernichtet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung des Ereignisortes, angetroffene Situation	3
3	Erste Spurensicherungsarbeiten	4
4	Beschreibung der Spurensicherungstätigkeiten	7
5	Untersuchungsgut / sichergestelltes Material	9
6	Untersuchungen und Resultate	11
6.1	Untersuchung der wässrigen Extrakte.....	11
6.2	Untersuchungen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse.....	13
6.3	Weitere Untersuchungen	15
7	Mutmassliche Explosionsursache	15
8	Videosequenzen.....	16
9	Zusammenfassung.....	17
10	Lagerung des Spurenmaterials.....	18

1 Einleitung

Am 7. Juli 2010, um ca 14:00 Uhr, erfolgte in der Abbauhalle (Los B) der Sondermülldeponie in Bonfol während Baggerarbeiten eine starke Explosion. Dabei wurde der sich im Bagger befindliche Arbeiter leicht verletzt. Er konnte sich aber aus eigener Kraft aus der Halle entfernen. Am Bagger wie auch an der Abbauhalle entstand erheblicher Sachschaden. So wurde das Dach der Halle von einzelnen Trümmerteilen an einigen Stellen durchschlagen und mehrere Dachluken aus Kunststoffglas wurden zum Teil beschädigt. Einzelne Türen und Seitenfenster wurden ebenfalls aufgedrückt.

Unser Dienst wurde am 7. Juli 2010 um ca. 17:00 Uhr durch die Kantonspolizei Jura über den Vorfall informiert und für die Mithilfe bei der Spurensicherung nach Bonfol aufgebeten.

Die beiden Funktionäre des Forensischen Institutes der Kantons- und Stadtpolizei Zürich, Roland Widmer und Leo Widmer, begaben sich sofort nach Bonfol, um eine allfällige Spurensicherung durch zu führen.

2 Beschreibung des Ereignisortes, angetroffene Situation

Bei unserem Eintreffen in der Anlage der Sondermülldeponie in Bonfol um ca. 20:00 Uhr waren jegliche Arbeiten in der Anlage eingestellt. Wir wurden als erstes durch Herrn Michael Fischer, Direktor der bci Betriebs AG, welche für den Abbau des Sondermülls aus der ehemaligen Tongrube verantwortlich ist, über den Vorfall informiert.

Der Abbau des Sondermülls in Bonfol war seit dem 15. April 2010 in einer ca. dreimonatigen Pilotphase erfolgt. Dabei waren bisher 3000 bis 4000 Tonnen von ca. 114'000 Tonnen Sondermüll entsorgt worden.

Seit dem 5. Juli 2010 erfolgte der Abbau nicht mehr im Probetrieb, da der Kanton Jura eine definitive Abbaubewilligung erteilt hatte.

Normalerweise erfolgte der Abbau des Sondermülls über den Deckenkran mit ferngesteuerten Greifern, welche den Sondermüll in eine Lore verfrachten. Von Zeit zu Zeit wurde ein von einem Baggerführer gesteuerter Bagger in der Halle eingesetzt. Mit diesem wurde der Deponieboden von Deponieresten gesäubert, sodass der ursprüngliche Boden der Tongrube wieder hergestellt wurde. Bei dieser Arbeit erfolgte die Explosion.

In der Deponie Bonfol wurden vor allem Chemieabfälle der grossen Basler Chemiefirmen entsorgt. Es wurden aber auch Abfälle des regionalen Gewerbes aus dem Kanton Bern sowie der Armee abgelagert. Laut Angaben von Herrn Fischer bestehen weder Angaben über die Zusammensetzung der Chemieabfälle noch, wo welche Abfälle abgelagert wurden. Die einzigen noch bestehenden Unterlagen würden Angaben über die eingelagerten Mengen und die Lieferfirmen beinhalten. Die Abfälle in der Deponie sollen aber mehrheitlich aus Chemieabfällen bestehen. Ein Teil wurde lose eingelagert, ein sehr grosser Teil der Abfälle sei aber in Fässern deponiert worden. Mindestens zweimal sei die Deponie wegen Undichtheit des Tondeckels mit Wasser vollgelaufen. Beim bisherigen Abbau in der Pilotphase habe man auch festgestellt, dass ein grosser Teil der eingelagerten Fässer nicht mehr dicht sei und jeweils beim Fassen mit dem Greifer sofort auseinanderbrechen würde.

Die Abfälle in der Deponie sollen in zwei Etappen abgebaut werden. Die ganze Hallenkonstruktion wird nach dem Aushub des Sondermülls aus der ersten Etappe verschoben, sodass nach einer Umbauphase auch der Rest des Deponieinhaltes abgebaut werden könne. Der gesamte Abbau soll über einen Zeitraum von ca. 4 Jahren erfolgen. Die Anlage besteht aus einer Aushubhalle, einer Vorbereitungshalle, in welcher der Sondermüll so verarbeitet wird, dass er in Mengen von ca. 10 Tonnen in die Transportbehältnisse gefüllt und abtransportiert werden kann, sowie aus einer Abluft- und Wasserreinigungsanlage. Auf dem Areal bestehen auch grosse Kapazitäten zum Zwischenlagern der leeren oder vollen Transportbehälter sowie Geleiseanlagen für den Abtransport der Transportbehälter mittels Bahn. Im Weiteren befinden sich auf dem Areal auch Büroräumlichkeiten und ein Infopavillon.

3 Erste Spurensicherungsarbeiten

Nach der Information durch die Betriebsverantwortlichen wurde eine Besichtigung der betroffenen Deponieanlage durchgeführt.

Als erstes besichtigten wir das Dach der Deponie. Im Bereich über der Explosionsstelle in der Aushubhalle waren auf dem Dach deutliche Spuren der Explosion zu sehen. Eine grössere Zahl der mit Kunststoffglas verschlossenen Dachöffnungen waren durch die Explosion stark in Mitleidenschaft gezogen worden. Teilweise mussten diese Öffnungen mittels Kunststoffolie zugedeckt werden, damit der Unterdruck in der Halle wieder erstellt werden konnte.

Durch eine der Öffnungen oberhalb des Explosionszentrums war Deponiematerial von unterschiedlicher Farbe auf das Hallendach geschleudert und über eine grössere Fläche verteilt worden. Vereinzelt hatte Deponiematerial das Hallendach durchschlagen.

Durch die beschädigten Dachluken konnte man auch einen Augenschein auf die Explosionsstelle vornehmen. Allerdings wurde die Sicht durch den noch immer in der Halle befindlichen Staub beeinträchtigt. Nach der Explosion hatte sich auch die in der Halle installierte Sprinkleranlage automatisch eingeschaltet und während mehrerer Minuten die Deponie bewässert.

Die Baggerschaufel, die nach der Explosion nicht mehr bewegt worden war, befand sich am Rande eines kleinen Wassertümpels. Dieser dürfte sich im Explosionskrater gebildet haben. Links und rechts des Explosionszentrums befand sich je ein weiterer kleiner Wassertümpel.

Nach der Besichtigung auf dem Dach begaben wir uns in die Leitwarte der Deponie. Von hier konnte man über das Fenster direkt in die Aushubhalle blicken. Das eigentliche Explosionszentrum konnte von der Leitwarte aus allerdings nicht direkt betrachtet werden. Über verschiedene in der Halle positionierte Kameras liess sich aber die Lage in der Halle einigermaßen gut beurteilen. Allerdings wurde die Sicht immer noch durch den in der Halle befindlichen Staub beeinträchtigt. Die von den Kameras aufgenommenen Bilder werden während einer gewissen Zeit gespeichert, sodass es möglich war, die aufgezeichneten Bilder unmittelbar vor der Explosion bis zu der Explosion zu betrachten.

Da zu diesem Zeitpunkt die aufgezeichneten Bilder noch nicht für eine Betrachtung zur Verfügung standen, entschlossen wir uns, mittels eines speziellen Fahrzeuges direkt in die Aushubhalle zu fahren, um die Explosionsstelle und den Bagger aus der Nähe anzusehen. Das Innere des Erkundungsfahrzeuges wird mit in Druckflaschen mitgeführter Luft versorgt, sodass im Fahrzeug immer ein Überdruck herrscht. Es ist deshalb nicht nötig einen Vollschutzanzug zu tragen. Bei der Besichtigung im Halleninnern zeigte es sich, dass der Bagger im Bereich der Führerkabine beschädigt war. Die vorn am Bagger angebrachte Panzerscheibe war geborsten, wies aber kein Loch auf. Die eine seitliche Scheibe war hingegen geborsten und aus der Halterung gefallen. Die zweite Seitenscheibe des Baggers war, soweit wir das beurteilen konnten, noch intakt.

Die Sicht in der Halle war immer noch beeinträchtigt vom Staub. So konnten wir nicht alle Details genau erkennen. Einige Meter von der Explosionsstelle entfernt lag ein aufgerissenes Fass, welches deutlich sichtbar Reste eines weissen Pulvers enthielt.

Im Bereich des Explosionsortes konnten aber keinerlei Aktivitäten in Form von Rauchbildung, Feuer etc. beobachtet werden. Die Grösse des Kraters war etwas grösser als die Schaufelbreite des Baggers.

Danach verliessen wir mit dem Fahrzeug die Aushubhalle und kehrten in die Leitwarte zurück.

In der Zwischenzeit konnten die Aufzeichnungen der verschiedenen Kameras angeschaut werden. Es zeigte sich, dass eine Kamera (Kamera No. 22) den Augenblick der Zündung festgehalten hatte. Deutlich konnte man sehen, dass die Explosion durch die Baggerschaufel ausgelöst worden war. Bereits beim nächsten aufgezeichneten Bild dieser Kamera (ca. 3 Bilder/Sekunde werden aufgezeichnet) war keine Sicht mehr in die Halle vorhanden. Mit diesen Informationen kehrten wir in den Besprechungsraum zurück, um das weitere Vorgehen mit den Verantwortlichen der Firma bci Betriebs AG zu besprechen.

Man einigte sich an diesem Abend, dass am nächsten Morgen von uns als erstes die Spurensicherung auf dem Dach der Aushubhalle durchgeführt werde. Danach sollte allenfalls eine weitere Besichtigung mit dem Spezialfahrzeug in der Halle durchgeführt werden. Die bci sollte abklären, inwieweit der beschädigte Bagger geborgen werden könnte. Er sollte auf einen im Schutzanzug begehbaren Platz in der Halle gefahren werden, damit wir die wichtigen Spuren am Bagger (im Schutzanzug) asservieren könnten. Der vom Unfall betroffene Baggerführer hatte ausgesagt, dass der Motor des Baggers nach der Explosion noch gelaufen sei und er diesen abgestellt habe, bevor er den Bagger und die Halle verliess. Diese Aussage liess die Möglichkeit offen, dass der Bagger noch fahrbar war. Die Begehung der eigentlichen Deponie, um aus dem Bereich des Explosionszentrums Spuren zu sichern, erachteten wir auch im entsprechenden Anzug als zu risikoreich, vor allem da das abschüssige Gelände kaum einen kontrollierbaren Zugang zum Explosionszentrum zulies.

Wir wiesen darauf hin, dass die Spurensicherung und die Auswertung der gesicherten Spuren allenfalls einen Aufschluss über das vorangegangene Ereignis geben könnten. Der Umstand, dass absolut keine Kenntnisse über die Art und den Ort der abgelagerten Chemieabfälle vorhanden waren sowie die erfolgte Explosion zeigen auf, dass beim Abbau der Deponie mit einer Explosion gerechnet werden müsse. Gesicherte Resultate und Erkenntnisse über den jetzigen Vorfall würden aber trotzdem keine Vorhersagen für künftige Ereignisse ergeben. Eine Explosion oder ein Brandereignis zu einem späteren Zeitpunkt könnte anders gelagert sein und eine andere Ursache haben.

Nach der Spurensicherung am Morgen des 8. Juli 2010 unternahmen wir eine zweite Rekognoszierungsfahrt mit dem Spezialfahrzeug in die Aushubhalle.

Die Sicht in der Halle war deutlich besser.

4 Beschreibung der Spurensicherungstätigkeiten

Am 8. Juli 2010 haben wir als erstes einen Teil der durch die Explosion auf das Dach geworfenen Deponiematerialien gesichert. Dazu wurde im Umkreis von ca. 10 Meter um die aufgebrochene Dachluke das herumliegende Material mittels eines Besens zusammengewischt und in einen aluminiumbeschichteten Kunststoffsack gefüllt.

Grössere Mengen von dunklem Material aus Bereichen in grösserer Entfernung zur Dachluke wurden ebenfalls eingesammelt und in den alubeschichteten Kunststoffsack gegeben. Hellbraunes Material, welches aus der Deponie herausgeschleudert worden war, wurde ebenfalls eingesammelt und in einem separaten alubeschichteten Kunststoffsack asserviert.

Nachdem ein Baggerfahrer erfolglos versucht hatte, den defekten Bagger zu bergen, brachen wir die weitere Spurensicherung ab und vereinbarten, dass, sobald der Bagger an einem sicheren Ort in der Halle stehen würde, wir zu einer weiteren Spurensicherung nach Bonfol kommen würden. Wir erhielten eine CD mit Videosequenzen der verschiedenen Kameras in der Deponiehalle, welche die Zeitspanne kurz vor und nach der Explosion dokumentieren.

Zudem wurden uns diverse Berichte übergeben.

Am 13. Juli 2010 begaben sich die Funktionäre des Forensischen Institutes Dr. Kurt Zollinger, René Steiger, Thomas Meister und Leo Widmer nach Bonfol, da nach Meldung der Firma bci Betriebs AG der Bagger soweit geborgen sei, dass eine Spurensicherung am Bagger selber möglich war.

Bei unserem Eintreffen in Bonfol stand der Bagger in einer gedeckten Halle ausserhalb der Aushubhalle, sodass eine Spurensicherung ohne entsprechenden Schutzanzug durchgeführt werden konnte. Die Auswirkungen der Explosion waren am Bagger deutlich zu sehen. Vor allem an der Kabine haftete sehr viel Material, welches offensichtlich durch die Explosion an den Bagger geschleudert worden war. Die Frontscheibe war bei der Bergung des Baggers herausgebrochen, die rechte Fensterscheibe fehlte und die linke Baggerscheibe war teilweise aus der Türe herausgebrochen. Anhand von Fliessspuren war auch ersichtlich, dass die Sprinkleranlage der Halle in Betrieb gewesen war.

Bei den Probenahmen der Rückstände ab dem Bagger stellten wir fest, dass die Baggerschaufel eine leichte Bauchung nach aussen aufwies. Ausser einer kleinen Beschädigung an der Baggerschaufelkante waren an der Schaufel aber keine zusätzlichen Beschädigungen erkennbar.

Wir haben von drei verschiedenen Stellen des Baggers Rückstände asserviert. Die erste Probe wurde ab dem Baggerarm unmittelbar nach der Schaufel seitlich abgenommen. Eine zweite Probe nahmen wir ab dem Baggerarm, etwa in der Mitte des gesamten Baggerarms, näher bei der Baggerkabine. Die dritte Probe konnten wir ab der Baggerkabine, etwas seitlich des durch die Explosion beschädigten Panzerglasses, abnehmen.

Da sehr viel Material an den jeweiligen Probeorten vorhanden war, konnte auch entsprechend viel Material gesichert werden.

Auf unseren Wunsch hin, wurden uns auch einige Rückstellmuster übergeben. Diese stammten von Deponiematerial, welches vor der Explosion aus der Deponie entfernt worden war. Einerseits erhielten wir Rückstellmuster, welche pro 20 Tonnen in der Vorbereitungshalle genommen werden. Andererseits wird pro Transportcontainer (10 Tonnen) ebenfalls ein Rückstellmuster aufbewahrt. Diese Rückstellmuster sollten als Vergleichsmuster für unsere Untersuchungen dienen.

Am 1. September 2010 konnte in der Aushubhalle eine dritte Spurensicherung durch die Funktionäre des Forensischen Institutes, Jörg Arnold, Roland Widmer und Leo Widmer, unter Mithilfe von Personen, welche in der Sondermülldeponie Bonfol arbeiten, durchgeführt werden. Dazu wurde mit einem speziell am Greifer montierten Rohr aus dem Bereich des Explosionszentrums, mittels Fernsteuerung von der Leitwarte aus, drei Proben und zwei Vergleichsproben aufgenommen und auf einer asphaltierten Fläche in der Aushubhalle ausgeleert. Die Vergleichsproben wurden links und rechts des Explosionszentrums und möglichst weit vom Explosionszentrum entfernt mittels des umgebauten Greifers aufgenommen und neben den anderen Proben auf der gleichen asphaltierten Fläche deponiert.

Das bereits bei der ersten Besichtigung am 8. Juli 2010 mit dem Spezialfahrzeug in der Aushubhalle gesehene, aufgerissene Fass mit dem weissen Pulver konnte wieder geortet werden. Das ausgerieselte weisse Pulver war inzwischen braun geworden, im Fass selber war aber noch weisses Pulver vorhanden.

Es wurde deshalb versucht, mittels des umgebauten Greifers ebenfalls eine Probe aus dem unmittelbaren Bereich des Fasses zu nehmen, ohne dass das Fass zu stark bewegt wurde. Diese Probenahme gelang ebenfalls, wobei glücklicherweise auch weisses Pulver vom Greifer selber aufgenommen wurde.

Auch diese Probe wurde zusammen mit dem Greifer auf der asphaltierten Fläche deponiert. Die jeweiligen Ablageorte auf der asphaltierten Fläche wurden aufgezeichnet und mit Nummern von 1 – 6 versehen.

Anschliessend begab sich Leo Widmer in einem von der bci Betriebs AG zur Verfügung gestellten Schutzanzug und mit Pressluftatmungsgerät ausgerüstet sowie in Begleitung eines Mitarbeiters der Sondermülldeponie in die Aushubhalle, um die auf der asphaltierten Fläche zwischengelagerten Proben einzusammeln.

Diese Proben wurden in entsprechend vorbereiteten Kunststoffdosen (1 – 6, 6 a, 6 b) gefüllt und gut verschlossen. Daraufhin haben wir die Proben via die in der Anlage vorhandenen Schleuse in das Labor der Sondermülldeponieanlage transportiert.

Die Proben wurden danach aufgeteilt. Je ein Teil der Proben sollten in Bonfol nach ihren Standard-Vorgaben untersucht werden (RFA-Analyse). Auf Wunsch der bci Betriebs AG sollte auch ein Anteil der Probe ans Sicherheitsinstitut nach Basel gegeben werden, welches für die bci Betriebs AG Untersuchungen durchführt.

5 Untersuchungsgut / sichergestelltes Material

Am 8. Juli 2010 sichergestellt:

- 1 **A002'852'279** Dunkles Auswurfmaterial auf dem Hallendach
 - 2 **A002'852'291** Helles Auswurfmaterial auf dem Hallendach
 - 3 **A002'852'236** Metallfragmente auf dem Hallendach
 - 4 **A002'852'359** Schwarzes, zum Teil weiches Auswurfmaterial auf dem Hallendach
- CD mit Videosequenzen der verschiedenen Kameras in der Deponiehalle
 - Diverse Berichte im Zusammenhang mit der Planung des Deponieabbaus

Am 13. Juli 2010 sichergestellt:

- 5 **A002'861'769** Bagger Probe 1 Rückstände ab Baggerarm vorne
- 6 **A002'861'781** Bagger Probe 2 Rückstände ab Baggerarm Nähe Kabine
- 7 **A002'861'805** Bagger Probe 3 Rückstände Kabine vorne
- 8 **A002'861'816** Rückstellmuster K1-227
- 9 **A002'861'827** Rückstellmuster K1-228
- 10 **A002'861'838** Rückstellmuster K1-228
- 11 **A002'861'849** Rückstellmuster K1-229
- 12 **A002'861'850** Rückstellmuster K1-230
- 13 **A002'861'861** Rückstellmuster K1-231
- 14 **A002'861'883** Rückstellmuster K1-232
- 15 **A002'861'894** Rückstellmuster K1-233
- 16 **A002'861'907** Rückstellmuster K3-461 M214
- 17 **A002'861'918** Rückstellmuster K3-462 M282
- 18 **A002'861'930** Rückstellmuster K3-463 M279
- 19 **A002'861'941** Rückstellmuster K3-464 M358
- 20 **A002'861'963** Rückstellmuster K3-465 M314
- 21 **A002'861'985** Rückstellmuster K3-466 M207
- 22 **A002'861'996** Rückstellmuster K3-467 M204
- 23 **A002'862'002** Rückstellmuster K3-468 M297
- 24 **A002'862'024** Rückstellmuster K3-469 M343
- 25 **A002'862'035** Rückstellmuster K3-470 M199
- 26 **A002'862'046** Rückstellmuster K3-471 M423
- 27 **A002'862'068** Rückstellmuster K3-472 M438
- 28 **A002'862'079** Rückstellmuster K3-473 M410

- Mail mit RFA-Daten Rückstellmuster K1-233 am 13. Juli 2010
- Mail mit Abstract und Sicherheitsplan Sondermülldeponie Bonfol am 16. Juli 2010
- Mail mit RFA-Daten Rückstellmuster K1-226 – K1-233 und K3-461 – K3-473 am 22. Juli 2010
- Mail mit längeren Videodaten der Kamera 22 vom 29. Juli 2010

Am 1. September 2010 sichergestellt:

- | | | |
|----|---------------------|--|
| 29 | A002'983'531 | Explosionsort Probe 1 links aus Sicht Richtung Abbauhalde (1) |
| 30 | A002'983'542 | Explosionsort Probe 2 Mitte (2) |
| 31 | A002'983'553 | Explosionsort Probe 3 rechts aus Sicht Richtung Abbauhalde (3) |
| 32 | A002'983'564 | Abbauhalde Probe 1 links aus Sicht Richtung Abbauhalde Vergleichp. (4) |
| 33 | A002'983'575 | Abbauhalde Probe 2 rechts aus Sicht Richtung Abbauhalde Vergleichsp. (5) |
| 34 | A002'983'586 | Aufgerissenes Fass Probe 1 unterhalb des Fasses (6) |
| 35 | A002'983'597 | Aufgerissenes Fass Probe 2 weisses Pulver (6 a) |
| 36 | A002'983'600 | Aufgerissenes Fass Probe 3 weisses Pulver verunreinigt mit Bodenm. (6 b) |

6 Untersuchungen und Resultate

6.1 Untersuchung der wässrigen Extrakte

Von den 36 vorhandenen Proben haben wir von einem grossen Teil Wasserauszüge erstellt. Dazu wurden jeweils eine gewisse Menge Substanzen mit Reinstwasser versetzt und während ca. 15 Minuten intensiv gemischt. Danach haben wir das überstehende Wasser abfiltriert.

Nach dieser Vorgehensweise haben wir folgende Wasserauszüge erstellt:

- | | | |
|---|---------------------|--|
| 1 | A002'852'279 | Dunkle Ablagerungen ab Deponiedach 15 g/15 ml Wasser |
| 2 | A002'853'556 | Poröse dunkle Rückstände ab dem Hallendach, 15 g/15 ml Wasser |
| 3 | A002'853'578 | Steinartige dunkle Rückstände ab dem Hallendach, 15 g/15 ml Wasser |

- 4 **A002'853'589** Dunkles Gewebeteil, 15 ml Wasser
- 5 **A002'853'636** Gelbliche Rückstände ab Hallendach, 15 g/15 ml Wasser
- 6 **A002'853'647** Braun-graue Rückstände ab Hallendach,
15 g/15 ml Wasser
- 7 **A002'862'080** Probe 1 ab Baggerarm vorne, 10 g/15 ml Wasser
- 8 **A002'862'091** Probe 2 ab Baggerarm Nähe Kabine, 10 g/15 ml Wasser
- 9 **A002'862'104** Probe 3 Bagger ab Kabine vorne, 10 g/15 ml Wasser
- 10 **A002'862'126** Rückstellmuster K1-227, 10 g/15 ml Wasser
- 11 **A002'862'375** Rückstellmuster K1-226, 10 g/15 ml Wasser
- 12 **A002'862'386** Rückstellmuster K1-228, 10 g/15 ml Wasser
- 13 **A002'862'397** Rückstellmuster K1-229, 10 g/15 ml Wasser
- 14 **A002'862'400** Rückstellmuster K1-230, 10 g/15 ml Wasser
- 15 **A002'862'422** Rückstellmuster K1-231, 10 g/15 ml Wasser
- 16 **A002'862'433** Rückstellmuster K1-232, 10 g/15 ml Wasser
- 17 **A002'862'444** Rückstellmuster K1-233, 10 g/15 ml Wasser
- 18 **A002'984'012** Probe 1 Probe links Explosionszentrum, 10 g/15 ml Wasser
- 19 **A002'984'034** Probe 2 Probe Mitte Explosionszentrum,
10 g/15 ml Wasser
- 20 **A002'984'045** Probe 3 Probe rechts Explosionszentrum,
10 g/15 ml Wasser
- 21 **A002'984'067** Abbauhalde Probe 1 links, 10 g/15 ml Wasser
- 22 **A002'984'089** Abbauhalde Probe 2 rechts, 10 g/15 ml Wasser
- 23 **A002'984'090** Fass Probe 1 unterhalb Fass, 10 g/15 ml Wasser
- 24 **A002'984'103** Fass Probe 2 weisses Pulver, Wasserauszug 0.2g/50 ml

Die Wasserauszüge haben wir mittels verschiedenen Methoden auf anorganische Sprengstoff-Komponenten untersucht. Dazu wurden Methoden der Ionenchromatographie und der Kapillarelektrophorese angewandt.

Mit einer Ausnahme liess sich in allen Proben hohe bis sehr hohe Chlorid- und teilweise auch hohe Sulfat-Konzentrationen nachweisen.

Einzig das weisse Pulver aus dem Fass enthält nur sehr geringfügige Mengen von Chlorid und Sulfat. In den Proben, welche wir ab dem Bagger asserviert hatten sowie in einigen Proben, welche wir ab dem Hallendach asservierten, liess sich zum Teil sehr deutlich Chlorat nachweisen.

Die Chloratkonzentration war dabei am vorderen Baggerarm (Probe 1), welcher der Explosion am stärksten ausgesetzt war, sehr hoch. In der Probe 2 ab dem Baggerarm liess sich bereits weniger Chlorat nachweisen und in der Probe von der Baggerkabine war der Chloratwert nochmals deutlich tiefer.

In den Proben ab dem Hallendach waren die Chloratkonzentrationen unterschiedlich. Mit Sicherheit konnte in drei der sechs untersuchten Proben vom Hallendach Chlorat nachgewiesen werden. In keiner der am 1. September 2010 gesicherten Proben liess sich eindeutig Chlorat nachweisen. Ebenso konnten wir in keinem der untersuchten Rückstellmuster Chlorat nachweisen.

In keiner Probe liessen sich signifikante Mengen von Nitrat nachweisen. Ebenfalls fanden wir keine Hinweise auf die Anwesenheit von Perchlorat- und Azid-Verbindungen, welche mit den von uns angewandten Methoden ebenfalls bestimmt würden.

Analog den Anionen haben wir in den wässrigen Extrakten auch die darin gelösten Kationen mittels entsprechenden Analysenmethoden bestimmt.

Die wasserlöslichen Extrakte enthalten sehr hohe Anteile von Natrium und Calcium. Ebenfalls konnten wir Magnesium, Kalium und Ammonium nachweisen.

6.2 Untersuchungen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse

Um allenfalls weitere Hinweise auf die Explosionsursache erhalten zu können, haben wir einen Teil der Proben mittels der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA/EDXRF) untersucht. Ebenso erhielten wir von der bci-Betriebs AG die RFA-Werte von den Rückstellmustern K1-0213 bis K1-233 sowie K3-461 bis K3-473. Auf unsere Bitte hin wurden auch die am 1. September 2010 erhobenen Proben mittels Ihrer RFA-Methode untersucht, sodass wir die Resultate mit den Resultaten der Rückstellmuster vergleichen konnten.

Folgende Proben wurden zudem in unseren Labors zum Vergleich mittels RFA untersucht:

- 1 **A002'852'279** Dunkles Auswurfmaterial auf dem Hallendach
- 2 **A002'852'291** Helles Auswurfmaterial auf dem Hallendach
- 3 **A002'852'236** Metallfragmente auf dem Hallendach
- 4 **A002'852'359** Schwarzes, zum Teil weiches Auswurfmaterial auf dem Hallendach
- 5 **A002'861'769** Bagger Probe 1 Rückstände ab Baggerarm vorne
- 6 **A002'861'781** Bagger Probe 2 Rückstände ab Baggerarm Nähe Kabine
- 7 **A002'861'805** Bagger Probe 3 Rückstände Kabine vorne
- 8 **A002'861'816** Rückstellmuster K1-227
- 29 **A002'983'531** Explosionsort Probe 1 links aus Sicht Richtung Abbauhalde (1)
- 30 **A002'983'542** Explosionsort Probe 2 Mitte (2)
- 31 **A002'983'553** Explosionsort Probe 3 rechts aus Sicht Richtung Abbauhalde (3)
- 32 **A002'983'564** Abbauhalde Probe 1 links aus Sicht Richtung Abbauhalde Vergleichp. (4)
- 33 **A002'983'575** Abbauhalde Probe 2 rechts aus Sicht Richtung Abbauhalde Vergleichsp. (5)
- 34 **A002'983'586** Aufgerissenes Fass Probe 1 unterhalb des Fasses (6)
- 35 **A002'983'597** Aufgerissenes Fass Probe 2 weisses Pulver (6 a)
- 36 **A002'983'600** Aufgerissenes Fass Probe 3 weisses Pulver verunreinigt mit Bodenm. (6 b)

Wir konnten zwischen den Resultaten, welche in Bonfol analysiert wurden, und unseren RFA-Werten keine signifikanten Unterschiede feststellen. In allen untersuchten Proben liessen sich eine Vielzahl von Elementen nachweisen. Die Relation zwischen den einzelnen Elementen änderte sich bei den Proben mit hohem Chloratanteil zu den Proben der Rückstellmuster nicht signifikant, sodass wir mit dieser Untersuchungsmethode keine weiteren Substanzen erkennen konnten, welche an der Explosion beteiligt waren.

6.3 Weitere Untersuchungen

Von folgenden zwei Proben haben wir auch Lösungsmittel-extrakte erstellt.

1 A002'852'279 Dunkle Ablagerungen ab Deponiedach

7 A002'862'080 Probe 1 ab Baggerarm vorne

Dabei wurden 5 g der asservierten Rückstände mit 10 ml Methanol versetzt und während ca. 15 Minuten intensiv gerührt. Die so erhaltenen stark gefärbten Methanol-extrakte wurden über einen Spritzenfilter filtriert.

Das Methanolextrakt von den Ablagerungen ab dem Deponiedach war dunkelgrün, dasjenige ab dem Baggerarm (Probe 1) dunkelbraun gefärbt. Um die Untersuchungen auf organische Sprengstoffkomponenten gemäss unserem Standard durchführen zu können, haben wir das Methanolextrakt von den Rückständen ab dem Baggerarm nochmals 10 x resp. 100 x mit Methanol verdünnt.

Mit den von uns durchgeführten Methoden (LC/MS) konnten wir keine Sprengstoffe oder Sprengstoffkomponenten nachweisen. Dies betrifft alle gängigen militärischen Sprengstoffe wie 2.4.6-Trinitrotoluol (TNT), Nitropenta (PETN), Hexogen (RDX), Oktogen (HMX), Tetryl (CE), und Hexanitrostilben (HNS).

Auch die in gewerblichen Sprengstoffen verwendeten Nitroglyzerin (NG), Nitrogykol (EGDN) und TNT- und DNT-Isomere liessen sich nicht nachweisen. Ebenso fanden wir keine Hinweise auf die Anwesenheit von Treibladungspulverkomponenten sowie die organischen Peroxide Triacetontriperoxid (TATP) und Hexamethyltriperoxid-diamin (HMTD).

Die sehr schwierige Matrix (starke Eigenfärbung der Lösung) verunmöglichte es, spezifische Tests auf weitere organische Peroxide sowie Diazoverbindungen durchzuführen.

7 Mutmassliche Explosionsursache

In den Proben der Rückstände ab dem Deponiedach sowie in den Proben ab dem Bagger konnten hohe Chloridkonzentrationen nachgewiesen werden.

Neben dem Chlorid haben wir in den gleichen Proben zum Teil auch wesentliche Mengen von Chlorat bestimmt. In den Proben ab dem Bagger liegt auch die Natriumkonzentration deutlich höher als in den Rückstellmustern.

Neben grösseren Mengen Sulfat liessen sich zum Beispiel Nitrate nur noch in Spuren nachweisen. Weitere Anionen wie Perchlorat oder Azid konnten wir mit den von uns angewandten Methoden nicht nachweisen.

Mit den von uns durchgeführten Analysenmethoden konnten wir keine Hinweise finden, welche auf das Vorhandensein von organischen Sprengstoffen oder Sprengstoffkomponenten, Treibladungspulvern oder den zwei organischen Peroxiden TATP und HMTD hindeuten.

Als mutmassliche Explosionsursache steht für uns daher die Umsetzung einer Chloratverbindung (mutmasslich Natriumchlorat) vermischt mit einer unbekanntem brennbaren Substanz im Vordergrund.

Die Bestimmung der die Explosion mit verursachenden, brennbaren Substanz gelang nicht.

Es ist aber durchaus denkbar, dass verschiedene brennbare Substanzen an der Umsetzung beteiligt waren.

Chlorate in Verbindung mit brennbaren Substanzen bilden Gemische, welche oft stark reib- und schlagempfindlich sind. Sie können durch Druck oder Reibung, verursacht zum Beispiel durch eine Baggerschaufel, problemlos initiiert werden.

8 Videosequenzen

Die von der bci-Betriebs AG erhaltenen Videosequenzen zeigen eine ca. 4 Minuten lange Zeitspanne, in welcher die Explosion nach etwas mehr als 2 Minuten erfolgt. Bei einer Sequenz zeigt die Kamera den in der Halle arbeitenden Bagger. Anhand dieser Videosequenz ist klar ersichtlich, dass die Explosion beim Ansetzen der Baggerschaufel auf den Boden ausgelöst wird. Das heisst, die Explosion wurde durch die starke Druck- und/oder Reibbelastung der Baggerschaufel initiiert. Für eine solche Auslösung wird eine Substanz oder Mischung benötigt, welche stark reib- und schlagempfindlich ist. Dies steht in Einklang mit dem Umstand, dass für uns die Explosion aufgrund der Untersuchungen durch Mischung einer Chloratverbindung mit einer brennbaren Substanz erfolgte.

Da am Anfang der am 8. Juli 2010 erhaltenen Videosequenz der Kamera 22 eine weisse Wolke sichtbar ist, haben wir in Bonfol um eine längere Videosequenz dieser Kamera gebeten. Diese neue Sequenz beinhaltet eine um eine Minute frühere Aufzeichnung der Kamera 22.

In dieser Minute ist zu sehen, dass die weisse Wolke durch ein Fass mit weissem Pulver verursacht wurde, welches durch den Bagger aufgerissen und an einem anderen Ort der Deponie abgelagert worden war. Gemäss den Resultaten unserer Untersuchungen handelt es sich bei diesem weissen Pulver **nicht** um eine Chloratverbindung. Es dürfte sich bei diesem weissen Pulver um eine organische Verbindung handeln, welche wir mit den von uns angewandten Untersuchungsmethoden (FT-IR) vorerst nicht genau bestimmen konnten. Auf weitere Untersuchungen haben wir vorerst verzichtet.

9 Zusammenfassung

Am 7. Juli 2010, um ca 14:00 Uhr, erfolgte in der Abbauhalle (Los B) der Sondermülldeponie in Bonfol während Baggerarbeiten eine starke Explosion. Dabei wurde der sich im Bagger befindliche Baggerführer leicht verletzt. Er konnte sich aber aus eigener Kraft aus der Halle entfernen. Am Bagger wie auch an der Abbauhalle entstand erheblicher Sachschaden.

Am 8. Juli 2010 erfolgte die Spurensicherung auf dem Hallendach, am 13. Juli 2010 konnte an dem aus der Halle geborgenen Bagger die Spurensicherung durchgeführt werden und am 1. September 2010 erfolgten Probenahmen im Bereich des Explosionszentrums in der Abbauhalle.

In den Rückständen, gesichert auf dem Hallendach sowie in den ab verschiedenen Stellen asservierten Proben vom Bagger, konnte neben sehr hohen Chloridkonzentrationen auch sehr deutlich Chlorat nachgewiesen werden. Dabei war die Chloratkonzentration in der Probe ab dem Baggerarm unmittelbar nach der Schaufel am höchsten.

In den Proben aus der Halle (Bereich Explosionszentrum) liessen sich hohe Chloridkonzentrationen, aber kein Chlorat mehr nachweisen.

Mit den von uns durchgeführten Methoden konnten keine organischen Sprengstoffe oder Sprengstoffkomponenten, keine Komponenten von Treibladungspulver sowie keines der beiden in unserem Labor routinemässig untersuchten organischen Peroxide TATP und HMTD nachgewiesen werden.

Für uns steht daher die Umsetzung einer Mischung, bestehend aus einer Chloratverbindung (mutmasslich Natriumchlorat) und einer brennbaren (stark reduzierenden) Substanz, im Vordergrund.

Solche Mischungen sind meistens sehr reib- und schlagempfindlich und können durch Druck oder Reibung, verursacht zum Beispiel durch eine Baggerschaufel, problemlos initiiert werden.

Anhand der vorhandenen Videosequenz ist zu sehen, dass die Explosion beim Ansetzen der Baggerschaufel auf den Boden ausgelöst wurde.

Die Bestimmung der die Explosion mit verursachenden brennbaren Substanz gelang nicht. Es ist aber durchaus denkbar, dass verschiedene brennbare Substanzen an der Umsetzung beteiligt waren.

10 Lagerung des Spurenmaterials

Unsere Untersuchungen sind mit diesem erweiterten Spurensicherungsbericht vorerst abgeschlossen. Das sichergestellte Spurenmaterial wird bis zwei Jahre nach Erhalt dieses Berichtes in unserem Dienst gelagert und danach, ohne Ihren gegenteiligen Bericht, vernichtet.

Die Erstellung eines ausführlichen Gutachtens und/oder weitergehende Untersuchungen werden erst nach Kostengutsprache der zuständigen Untersuchungsbehörde und auf schriftlichen Auftrag hin durchgeführt.

Für unseren Arbeitsaufwand verrechnen wir Ihnen 17'020.-- CHF. Die Rechnung erhalten Sie mit separater Post vom Büro Finanzen der Stadtpolizei Zürich.

Der Kontrollbeauftragte

Die Sachbearbeiter



Dr. Kurt Zollinger



Leo Widmer



Roland Widmer

Verteiler

- 1 Original Commandement de la Police Cantonale Jurassienne (Auftraggeber)
- 1 Kopie Auftraggeber zur Weiterleitung an bci Betriebs AG
- 1 Kopie Bundesamt für Polizei fedpol, Zentralstelle Sprengstoff und Pyrotechnik
- 1 Original Forensisches Institut Zürich

A 5 SWISSI Process Safety GmbH; „*Untersuchungen an Abfallproben aus der Deponie Bonfol*“; Berichtsnummer 302716-10-0690; 6.10.2010; Basel



Untersuchungen an Abfallproben aus der Deponie Bonfol

Auftraggeber

bci Betriebs AG
c/o BASF Schweiz AG
Klybeckstrasse 141
4057 Basel
(A. Aeby)

Berichtsnummer

302716-10-0690

Dieser Bericht umfasst 7 Seiten. Er darf als ganzes, nicht aber teilweise, kopiert werden. Die vorliegenden Daten und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen gelten für die angelieferten Muster, wobei Inhomogenitäten in denselben nicht untersucht wurden. Die Übertragbarkeit der Daten auf das gesamte Deponiematerial ist nicht gegeben.

Zusammenfassung

Die in diesem Bericht zusammengestellten Untersuchungen erlauben folgende Schlussfolgerungen:

- Die untersuchten Abfallmuster sind nicht explosiv.
- Das Ereignis in Bonfol ist mit einer Explosion einer Mischung von Abfall mit Natrium- oder Kaliumchlorat erklärbar.
- Mischungen von Abfall mit Chlorat sind über einen breiten Konzentrationsbereich explosiv.
- Solche Gemische können 70-80% der Energie von TNT freisetzen.
- Befeuchtung bis zur Sättigungsgrenze reduziert die Schlagempfindlichkeit der genannten Mischungen nur unerheblich. Eine Phlegmatisierung konnte nur auf bei Gemischen mit weniger als 50% Chlorat festgestellt werden.
- Der Konzentrationsbereich von schlagempfindlichen Mischungen nimmt auf der Seite geringer Chloratkonzentrationen mit zunehmender Feuchtigkeit ab.
- Die Reibempfindlichkeit verschwindet dagegen bei Befeuchtung.



Problemstellung

Im Zusammenhang mit der Ursachenabklärung für die Explosion auf der Deponie Bonfol wurde die S PS GmbH beauftragt experimentell Untersuchungen durchzuführen, um folgende Fragen zu beantworten:

- Ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und Chlorat (ClO_3) erklärbar?
- Welchen Einfluss hat die Feuchtigkeit, bzw. der Wassergehalt des Abfallmaterials auf die Explosionsfähigkeit solcher Gemische?
- Kann eine Befeuchtung als Sicherheitsmassnahme gegen Explosionen verwendet werden?

Muster

Muster	
1	3.Probenahme, Probe 1; 1.9.2010
2	3.Probenahme, Probe 2; 1.9.2010
3	3.Probenahme, Probe 3; 1.9.2010
4	3.Probenahme, Probe 4; 1.9.2010
5	3.Probenahme, Probe 5; 1.9.2010
6	3.Probenahme, Probe 6; 1.9.2010
7	3.Probenahme, Probe 6a; 1.9.2010
8	Bagger Probe 1 vorne an der Schaufel
9	Bagger Probe 2 Rückstände am Baggerarm
10	K1-0232 Bunker 1
11	K1-0233 Bunker 2

Untersuchungen

Thermoanalyse

In einem ersten Schritt wurden die Muster im Anlieferungszustand mit zwei methoden thermoanalytisch untersucht:

a) Zersetzungsprüfung im offenen Gefäss nach Lütolf

Je 2g der Prüfsubstanz und Graphitpulver als Referenzsubstanz werden in einem Reagenzglas mit konstanter Heizrate (in der Regel $2.5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$) erwärmt. Die Temperaturdifferenz zwischen Prüfsubstanz und Referenz (ΔT -Signal) wird erfasst und gegen die Referenztemperatur aufgetragen.

Die tiefste Temperatur, bei der das ΔT Signal in positiver Richtung von der Basislinie abweicht, wird als Beginn der ersten Exothermie bezeichnet.

b) DSC (Differential Scanning Calorimetry)

Die zu prüfende Substanz wird in einem unter kontrollierten atmosphärischen Bedingungen, in einem geschlossenen Gefäss mit konstanter Heizrate erwärmt (vgl. Angaben zu den Prüfbedingungen). Dabei wird der Wärmefluss zur Probe erfasst und mit dem entsprechenden Wärmefluss zu einer gleichzeitig erwärmten Referenzsubstanz verglichen. Bei exothermen Vorgängen in der Probe muss dieser weniger, bei endothermen mehr Wärme zugeführt werden als der Referenz.

Von endo- und exothermen Signalen werden Temperaturbereich, Temperatur bei maximalem Signal (Peak), sowie die aus den Integralen ermittelte Energie bzw. die Energie pro Masseneinheit der zu prüfenden Substanz angegeben.



Explosionsfähige Substanzen zeigen in dieser Prüfung eine spezifische Zersetzungsenergie von mindestens 800kJ/kg. TNT zeigt eine spezifische Zersetzungsenergie von 4200 kJ/kg.

c) Schlagempfindlichkeit

Proben von 100 mg der Substanz werden in 0,01 mm dicke Aluminiumfolie verpackt und unter dem Fallhammer einer Schlagbeanspruchung ausgesetzt. Fallgewicht 5 kg, Fallhöhe 0,80 m (Fallenergie 39J). Der Versuch wird so oft durchgeführt, bis eine Detonation beobachtet wird, höchstens aber zehnmal. Wird bei diesem Vorgehen eine Detonation beobachtet, so wird die Prüfung ohne die sensibilisierend wirkende Aluminiumfolie wiederholt und ebenfalls bis zehnmal durchgeführt. Die Identifikation einer Detonation wird nach Gehör vorgenommen.

Substanzen, die ohne Aluminiumfolie unter dem Fallhammer bei einer Beanspruchung von 39J detonieren, sind schlagempfindlich. Für solche Substanzen werden ergänzende Untersuchungen z.B. nach CLP Richtlinie empfohlen.

d) Reibempfindlichkeit

Eine kleine Probe von ca. 10 mm³ des zu prüfenden, getrockneten Feststoffes wird auf eine fest eingespannten, fein gerillten Porzellanplatte (25x25mm) gegeben.

Danach wird ein Porzellanstift mit einer Auflagekraft von 360N auf die Porzellanplatte gestellt. Nun wird die Probe durch maschinelles Verschieben der Porzellanplatte mit maximal 7cm/s unter dem Porzellanstift durch geführt, und es wird visuell und nach Gehör beurteilt, ob durch die Reibkraft eine Reaktion ausgelöst wird.

Wird bei einer Stiftbelastung von bis zu 360N Entflammung, Knistern oder Knallen festgestellt, so gilt das Produkt nach CLP Richtlinie als reibempfindlich und wird als explosionsgefährlich beurteilt.

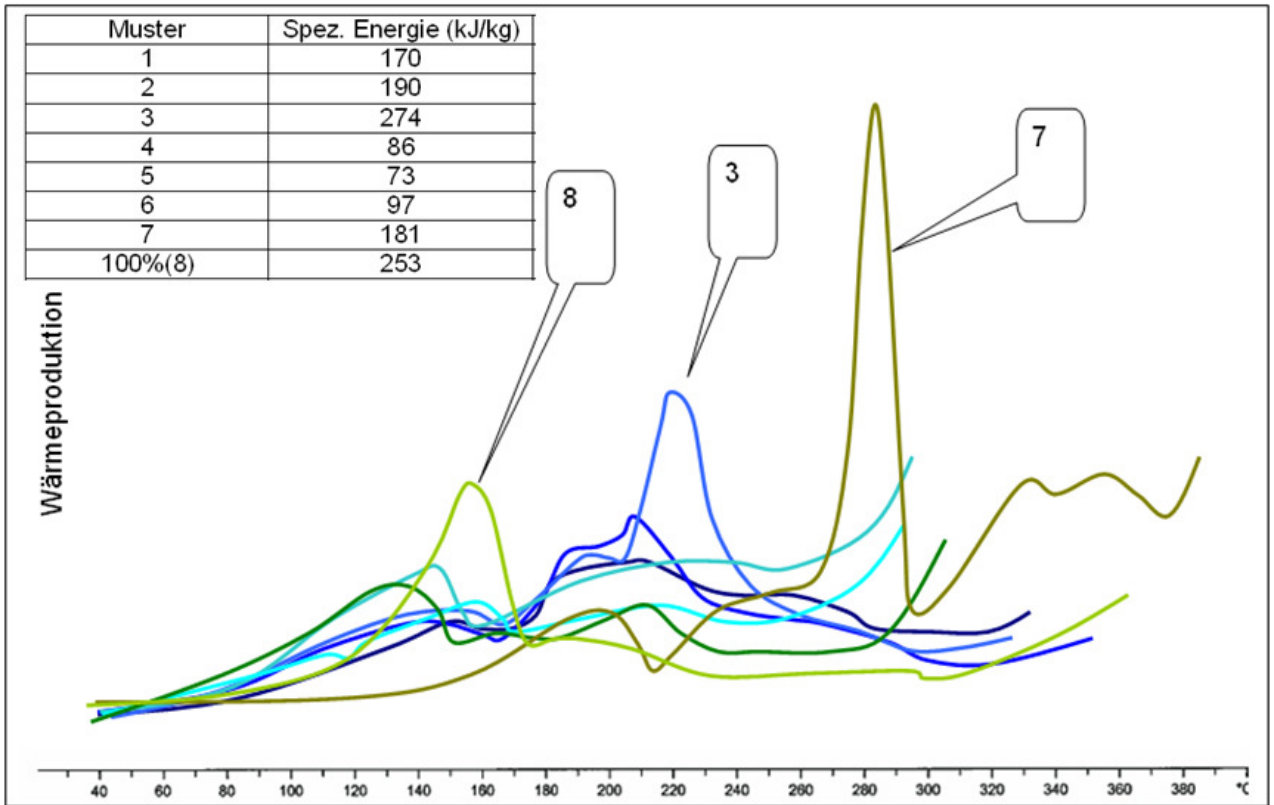
Resultate der Proben im Anlieferungszustand

In den Prüfungen nach Lütolf wurden keine exothermen Reaktionen beobachtet, da die Signale von der grossen Verdampfungswärme der in den Proben enthaltenenen Feuchtigkeit (19% im Falle von Muster 8) überdeckt wurde.

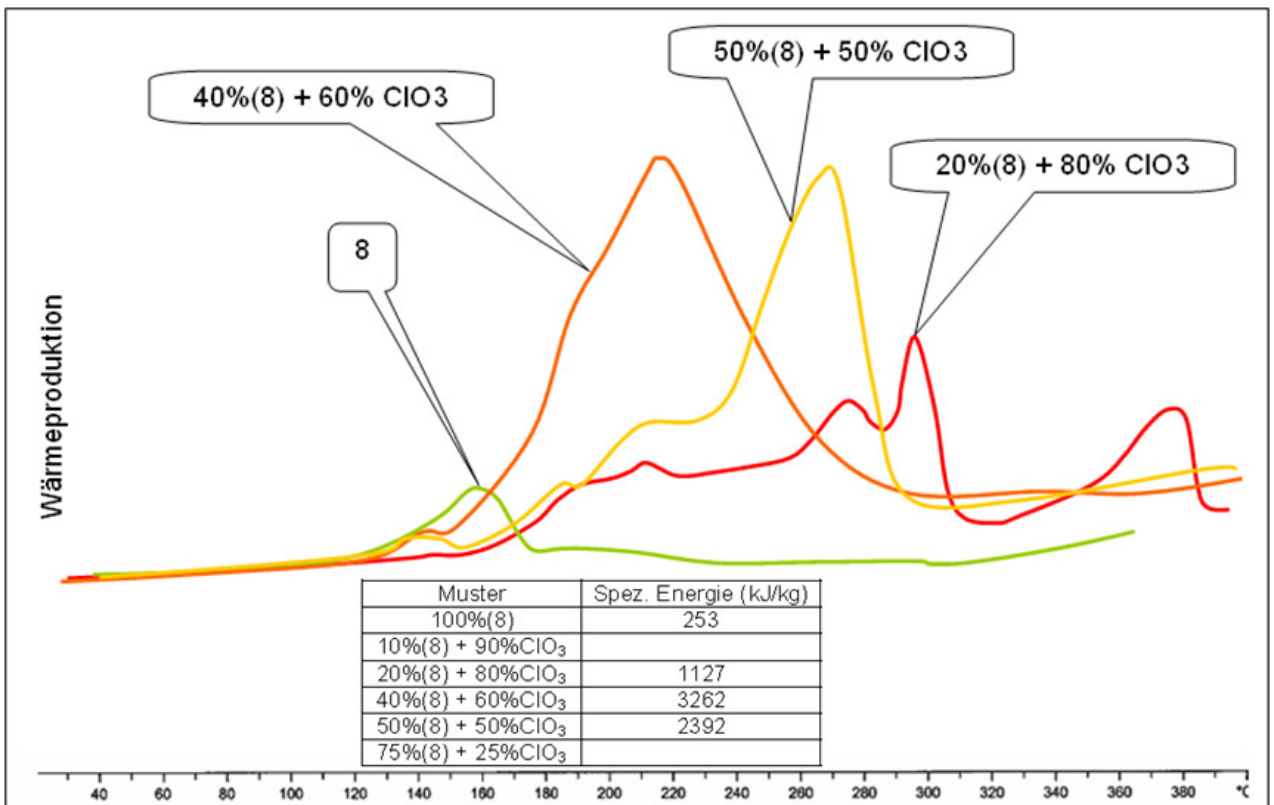
Muster	Spez. Energie (kJ/kg)	schlagempfindlich	reibempfindlich
1	170		
2	190		
3	274	NEIN	NEIN
4	86		
5	73		
6	97		
7	181	NEIN	
8	253	NEIN	NEIN

Schlag- und Reibempfindlichkeit wurde nur für die aufgrund der thermischen Untersuchungen als besonders kritisch erachteten Muster ermittelt.

Aufgrund dieser Daten wurden Mischungen von Muster 8 mit verschiedenen Mengen KClO₃ untersucht.



Resultate für Mischungen von Muster 8 (Bagger vorn, getrocknet) mit KClO_3





Gemische von Muster 8 mit KClO_3		Spez. Energie (kJ/kg)	schlagempfindlich	reibempfindlich
	100%(8)	253	NEIN	
	10%(8) + 90% KClO_3		GRENZFALL	
	20%(8) + 80% KClO_3	1127	JA	JA
	25%(8) + 75% KClO_3		JA	JA
	40%(8) + 60% KClO_3	3262	JA	JA
	50%(8) + 50% KClO_3	2392	JA	JA
	70%(8) + 30% KClO_3		JA	JA

Aufgrund der vorliegenden Daten ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und KClO_3 erklärbar

Resultate für Mischungen von Muster 9, 10 und 11 mit KClO_3 und Muster 10 teilweise mit NaClO_3

Muster 9

Mischung	mit 17% ¹ H_2O (wie angeliefert)			getrocknet		
	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-
40%(9) + 60% KClO_3	3243			3008		
20%(9) + 80% KClO_3	2703			2804		

Muster 10

Mischung	mit 9% ¹ H_2O (wie angeliefert)			getrocknet		
	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-
100%(10)	60	NEG	NEG			
40%(10) + 60% KClO_3	> **	POS	POS	3986	POS	POS
40%(10)+60% NaClO_3	2945					
20%(10) + 80% KClO_3	1595	GF	POS	1051	POS	POS

***) Die Reaktion im Messgefäß war **derart heftig**, dass keine quantitative Messung mehr möglich war

Verschiedene Mischungen mit Wasserzugabe an der Saugfähigkeitsgrenze			
Mischung	mit 39% ² H_2O (Paste)		
	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-
10%(10) + 90% KClO_3		GF	
20%(10) + 80% KClO_3		POS	
40%(10) + 60% KClO_3	2756	POS	NEG
40%(10)+60% NaClO_3	2235	NEG	GF
80%(10) + 20% KClO_3		NEG	

Effekt der Wasserzumischung	
40%(10) + 60% KClO_3	
Wasseranteil ²	schlagempf.
10%	POS
20%	POS
30%	POS
39%	POS
50%	POS

GF Grenzfall

bei mehr als 50% Wasser bildet sich eine Suspension

¹ bezogen auf die Abfallmasse

² bezogen auf die Masse der Mischung



Muster 11

Mischung	mit 12% ¹ H ₂ O (wie angeliefert)			getrocknet		
	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-	ΔH (kJ/kg)	schlag-	reib-
40%(11) + 60% KClO ₃	1553			2528		
20%(11) + 80% KClO ₃	967			1060		

Schlussfolgerungen:

- Das untersuchte Abfallmaterial ist nicht explosiv.
- Aufgrund der vorliegenden Daten ist eine Explosion aus der Masse durch Bildung eines Gemisches von Abfallmaterial und KClO₃ oder Na ClO₃ erklärbar
- Im Bereich der hier untersuchten Feuchtigkeiten konnte kein Effekt auf die Zersetzungsenergien bzw. auf die Schlag- und Reibempfindlichkeit festgestellt werden.
- Die Mischungen mit Natrium-chlorat zeigten zwar ebenfalls sehr hohe Zersetzungsenergie waren aber im Schlag- und Reibtest weniger empfindlich.
- Untersuchung der Mischung 40%(10) + 60% KClO₃ haben ergeben, dass **bis zu einer Zuzusammensetzung von 50% w/w an Wasser** die Schlagempfindlichkeit erhalten bleibt. Eine weitere Erhöhung der Wassermenge führt zu einer Suspension, die im BAM³ Fallhammer untersucht werden müsste.
- Bei den Zersetzungen gibt es z.T. nicht plausible Energiewerte (Höhere Werte mit Wasser als ohne). Mögliche Erklärungen dafür sind:
 - Inhomogenität der Abfallprobe
 - Bessere Durchmischung dank Restfeuchte („Anlösen“ des Chlorates)
 - Nichtlinearität der Erfassung (Die Energien sind z.T. so hoch, dass die Homogenität des Temperaturfeldes im Ofen nicht mehr gewährleistet war)
- Ammoniumchlorat ist auch ohne Beimischung mit organischen (Abfall-)materialien explosiv. Als Explosivstoff konnte Ammoniumchlorat in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht beschafft werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Konzentrationsbereich von Gemischen mit Abfallmaterial, die explosive sind eher grösser ist als derjenigen von Alkalichloraten.

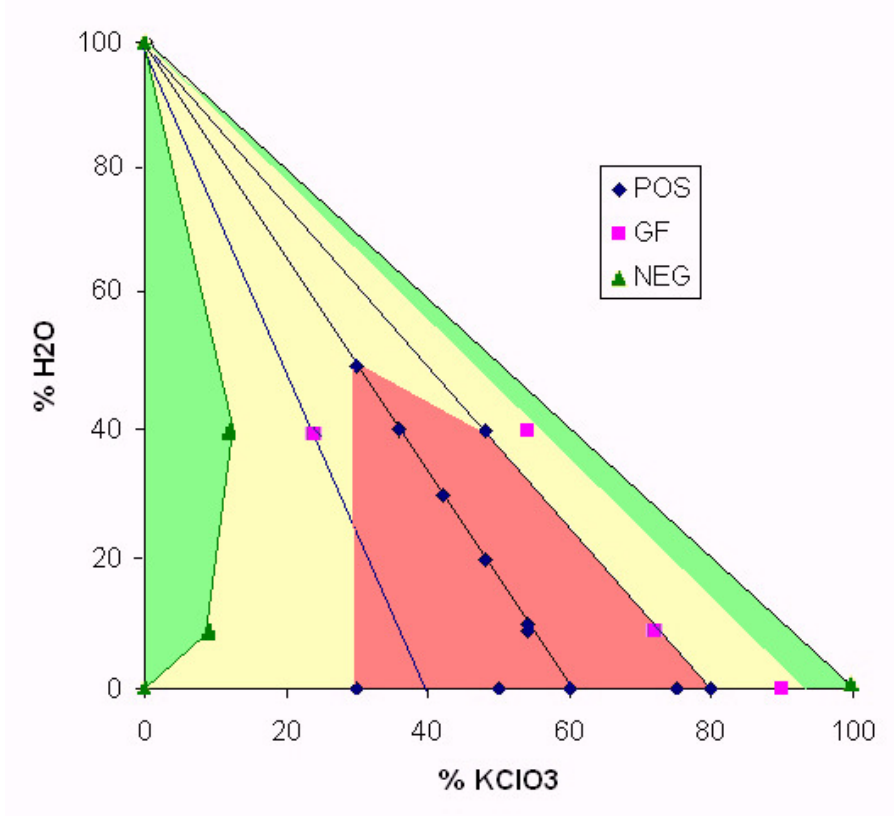
Basel, 15.10.2010

Dr. Georg Suter
Geschäftsleiter
SWISSI Process Safety GmbH

³) Gerät entwickelt durch die Bundesanstalt für Materialprüfung (Berlin)



Schlagempfindlichkeit



Reibempfindlichkeit

