

**Bericht**

# **Emissionen bei der Verbrennung von asbesthaltigen Abfällen in der Kehrlichtverbrennungsanlage GEVAG in Trimmis**

**Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Abfall und Rohstoffe

**Verfasser**

Kurt Schläpfer

Nora Zoller

Numa Farronato

Alexandra Käfer

Referenz: 563.57/V3/ks/nz/gm

Basel, 23. November 2017

**Impressum**

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

**Auftragnehmer**

Carbotech AG, Postfach, 4002 Basel

**Autoren**

Kurt Schläpfer, Nora Zoller, Numa Farronato, Alexandra Käfer

**Begleitung BAFU**

Kaarina Schenk

**Hinweis**

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

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Zusammenfassung	5
<b>1 Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>8</b>
<b>2 Vorversuche</b>	<b>9</b>
2.1 Vorversuche Aufarbeitung und Analytik	9
2.2 Vorversuche Emissionsmessungen Reingas	12
2.3 Arbeitsplatzmessungen vor dem Versuch	13
<b>3 Verbrennung von asbesthaltigen Materialien</b>	<b>14</b>
3.1 Input brennbare asbesthaltige Materialien	15
3.2 Messungen, Probenahmen und Analysen	19
3.3 Arbeitnehmerschutz	25
<b>4 Resultate und Beobachtungen</b>	<b>26</b>
4.1 Untersuchung Flugasche / Kesselstaub	27
4.2 Emissionsmessungen Elektrofilter	27
4.3 Untersuchung der Quench und Neutralwäscher	27
4.4 Untersuchung der Schlacke	27
4.5 Emissionsmessungen Reingas	28
4.6 Weitere Beobachtungen	29
4.7 Morphologie der Proben	30
4.8 Arbeitsplatzmessungen	31
<b>5 Beurteilung und Diskussion</b>	<b>32</b>
5.1 Umwelt- und Gesundheitsschutz	32
5.2 Stoffflussbetrachtungen	32
5.3 Diskussion der Ergebnisse	35
5.4 Empfehlungen	37

## Quellenverzeichnis

38

**A1 Betriebsdaten KVA während  
Versuche  
5-I**

**A2 Analysenberichte  
5-II**

**A3** Ergänzungen zu den Szenarien der  
Stoffflussbetrachtungen  
5-III

# Zusammenfassung

Um eine Entsorgungsmöglichkeit von asbesthaltigen Abfällen mit einem hohen Anteil an brennbarem organischem Material in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA) zu testen, wurden im März 2017 Verbrennungsversuche mit entsprechenden Fraktionen in der KVA des GEVAG Trimmis durchgeführt. Die Verbrennungsversuche im Auftrag des BAFU fanden an zwei Tagen statt, ausserdem wurden in einem Vorversuch verschiedene anlagenspezifische Parameter geklärt sowie Materialproben genommen, um die Probenahme, Aufbereitung und Analyse zu definieren.

Am 20. März 2017 wurde eine erste Charge von asbesthaltigen Abfällen verbrannt. Der Hauptversuch mit einem Input von rund 180 kg Asbest fand am 23. März 2017 statt. Insgesamt wurden an den zwei Tagen knapp neun Tonnen brennbares asbesthaltiges Material mit unterschiedlich hohem Asbestgehalt verbrannt. Damit wurde eine gesamte Asbestmenge von rund 200 kg in die KVA eingespielen.

Im Rahmen der Verbrennung der Abfallfraktionen mit unterschiedlich hohem Asbestgehalt standen zwei Fragestellungen im Vordergrund.

1. Wo und in welcher Menge lassen sich Asbestfasern in den Outputströmen nachweisen?
2. Kann die Arbeitssicherheit in der KVA bei der Verbrennung von asbesthaltigen Abfällen sichergestellt werden?

Um zu überprüfen, in welchen Outputströmen sich der Asbest aus den eingebrachten asbesthaltigen Abfällen wiederfindet, wurden folgende Probenahmen realisiert:

- Kesselstaub und Filterasche aus dem Austrag via direkte Probenahmen am Fallrohr
- Emissionsmessungen im Abluftstrom vor und nach dem Elektrofilter mittels Glasfaserkartuschen
- Quenchwasser und das Neutralwasser mittels Filtration eines Aliquotes
- Emissionsmessung im Reingas mittels Silbermembranfilter
- Materialproben am Schlackenaustrag

Hinsichtlich Arbeitnehmerschutz sollte sichergestellt werden, dass für die in der KVA beschäftigten Personen keine Gesundheitsgefährdung durch lungengängige Asbestfasern in der Luft besteht. Neben Arbeitsschutzmassnahmen wie der persönlichen Schutzausrüstung wurde auch ein Dispositiv im Falle einer Havarie vorbereitet. Mittels stationärer Asbestmessungen in der Luft beim Schlackenaustrag, bei der Probenahmestelle des Kesselstaubs und im Bunker, wurde die Belastung erfasst. Zusätzlich fanden zwei personengetragene Messungen an der Person, welche die asbesthaltigen Abfälle vom Hof in den Bunker transportierten, statt.

Im Kesselstaub, in der Elektrofilterasche, im Quenchwasser, im Neutralwäscher und im Reingas konnten keine Asbestfasern nachgewiesen werden. In drei der sechs Proben des Schlackenaustrags wurde Asbest in Spuren nachgewiesen. Eine Übersicht über die im Hauptversuch am 23. März 2017 durchgeführten Probenahmen und Resultate ist in Abbildung 1 dokumentiert.

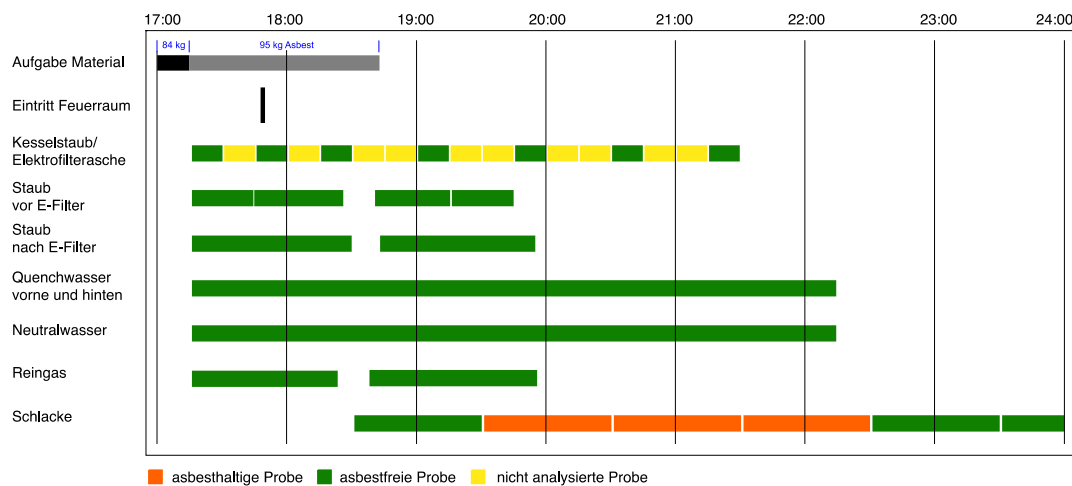


Abbildung I: Versuch vom 23.3.2017, Probenahmen und Ergebnisse im Zeitverlauf

Von den insgesamt sieben begleitenden Arbeitsplatzmessungen lag bei sechs Messungen die Asbestkonzentration in der Luft unter der Nachweisgrenze, insbesondere auch bei den beiden personenbezogenen Messungen. Die Beladung des Trichters mit dem Kran im Bunker ging mit einer Beschädigung der BigBags einher. Tatsächlich wurden bei der entsprechenden Luftmessung lungengängige Asbestfasern nachgewiesen. Die Konzentration lag mit 996 LAF/m<sup>3</sup> (lungengängige Asbestfasern pro m<sup>3</sup>) jedoch immer noch rund 10 Mal tiefer als die entsprechende Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK).

Die in der KVA Trimmis durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass eine Verbrennung beschränkter Mengen an asbesthaltigen Abfällen in einer KVA technisch durchführbar ist. An den Versuchstagen konnte keine gesundheitliche Beeinträchtigung der Arbeitsplätze nachgewiesen werden. Bei den Messungen im Reingas konnten keine Asbestfasern nachgewiesen werden (Nachweisgrenze 300 Fasern/m<sup>3</sup>).

Lediglich in drei Schlackenproben konnte Asbest in Spuren nachgewiesen werden. Die im Schlackenaustrag gefundene Menge an Asbestfasern lag jedoch deutlich unter der Menge, welche durch die Aufkonzentrierung der Asbestfasern durch die Verbrennung des organischen Materials zu erwarten gewesen wäre.

Unter der Annahme, dass im Versuch keine Asbestfasern zerstört oder umgewandelt werden, wurde die in der Schlacke zu erwartende Asbestkonzentration anhand unterschiedlicher Szenarien berechnet. In den betrachteten Szenarien lag die erwartete Konzentration um einen Faktor 8 bis 40 über der Nachweisgrenze des Labors von sicher 0.1 %.

Mit der Verbrennung von asbesthaltigen Abfällen mit einem hohen Anteil an brennbarem organischem Material in der KVA, gelangten keine Asbestfasern in die Luft. Da lediglich in der Schlacke geringe Asbestmengen, weit unter den erwarteten Konzentrationen gefunden wurden, stellt sich die Frage nach dem Verbleib der Fasern.

Es scheint wahrscheinlich, dass ein bedeutender Teil der Asbestfasern durch die thermische Behandlung in der KVA zerstört bzw. in gesundheitlich unbedenkliche Formen umgewandelt wurde. Neben den Temperaturen von 500–900 °C, welche mindestens eine Teilumwandlung erklären, ist zu beachten, dass das bei der Verbrennung der PVC-haltigen Materialien entstandene HCL-Gas ebenfalls einen Beitrag zur Umwandlung der Asbestfasern geleistet haben könnte.

Aus umwelt- und arbeitshygienischer Sicht steht daher der Entsorgung von brennbaren Abfällen mit geringem Asbestanteil in geeigneten Pilotanlagen nichts entgegen. Mit einem Monitoring sollten jedoch unter Praxisbedingungen weitere Daten über die Verbrennung von Asbest in Schweizer KVAs gewonnen werden. Bei der Umsetzung ist ein besonderes Augenmerk darauf zu legen, ein in der Praxis realisierbares und gleichzeitig möglichst risikoarmes Handling der asbesthaltigen Abfälle in der KVA zu gewährleisten, um die Gesundheit der Mitarbeitenden in der KVA nicht zu gefährden.

Infolge der kontrovers diskutierten möglichen Umwandlung der asbesthaltigen Fasern unter den chemisch/thermischen Bedingungen im Feuerraum der KVA, ist ein zumindest qualitativer Beitrag aus der angewandten Forschung zu wünschen.

# 1 Einleitung und Zielsetzung

Das BAFU untersucht, ob eine Entsorgungsmöglichkeit von beschränkten Mengen an asbesthaltigen Abfällen mit hohem Anteil an brennbarem organischem Material in den KVAs möglich ist. Bereits im Jahr 2016 wurden im Rahmen eines ersten Versuches in der KVA Buchs (AG) erste Untersuchungen durchgeführt. Aus diesem Versuch resultierten erste Erkenntnisse und Fragen, welche als Basis für die hier beschriebenen, weiteren vertiefenden Untersuchungen diente.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollten in der KVA Trimmis beim GEVAG (Gemeindeverband für Abfallentsorgung in Graubünden) versuchsweise und unter Überwachung solche asbesthaltigen Abfälle verbrannt werden. Nach einer ersten Definition der Rahmenbedingungen zwischen BAFU, GEVAG und Amt für Natur und Umwelt (ANU) Graubünden, hat die Carbotech AG im Auftrag des BAFU in einem Konzept ("Versuchskonzept Verbrennung asbesthaltiger Abfälle in der KVA Trimmis" 19.10.2016) den Rahmen und den Ablauf des geplanten Versuchs konkretisiert.

Die Carbotech AG wurde im November 2016 vom BAFU beauftragt, den Versuch und die Messungen, gemäss der Konzeptplanung und in enger Zusammenarbeit mit dem GEVAG und dem Amt für Natur- und Umweltschutz, Kanton Graubünden, durchzuführen.

Im vorliegenden Bericht werden zuerst die durchgeführten Vorversuche dargestellt, bevor die eigentlichen Verbrennungsversuche beschrieben werden. Anschliessend werden die Beobachtungen und Ergebnisse aufgezeigt. Schliesslich diskutieren wir die Ergebnisse und schliessen den Bericht mit Empfehlungen für das weitere Vorgehen ab.

## Danksagung

Die durchgeführten Versuche und Messungen waren sehr komplex und liessen sich nur mit engagierter Mitarbeit aller Beteiligten bewältigen. Neben dem Auftraggeber danken wir ganz speziell den beteiligten Mitarbeitern des GEVAG (Ruedi Staubli, Francois Boone, Wolfgang Bux, Heinz Roffler und den hilfreichen Mitarbeitern in Werkstatt und Betrieb), dem Amt für Umwelt und Natur (Beat Calonder), der Suva (Stefan Scherrer) sowie Tobias Walser vom Bundesamt für Gesundheit.

Geeignete und definierte Abfälle für den Versuch zusammen zu bekommen war nicht einfach und konnte nicht wie geplant realisiert werden – unser Dank für die Organisation und Lieferung der Abfälle geht an die Gebäuediagnostik Schmid AG, Xonotech GmbH, bafob GmbH, Baskarad AG, Zani AG, Wirz AG und Abson AG.



## 2 Vorversuche

Für die Versuche im GEVAG Trimmis wurde die Ofenlinie 2 ausgewählt. Diese weist ein optimales Verbrennungsverhalten sowie tiefe Emissionen im Reingas auf. Die Staub-Konzentrationen im Reingas der Linie 2 lagen gemäss den Emissionsmessungen der letzten Jahre bei unter  $1 \text{ mg/m}^3$  (Grenzwert LRV:  $10 \text{ mg/m}^3$ ; Messung Ofenlinie 2:  $0.8 \text{ mg/m}^3$  siehe Noxaquant 2015).

Im Vergleich zum ersten Versuch von 2016 in der KVA Buchs (siehe Bericht „Emissionsmessung von Asbestfasern in der Kehrrichtverbrennungsanlage Buchs, Aargau“, Carbotech AG, 13.7.2016) weist die Anlage in Trimmis jedoch eine wesentlich höhere Temperatur im Reingas auf. Da deswegen eine neue Methode für die Reingasmessung bzw. Probenahme gefunden werden musste, waren die nachfolgend dokumentierten Abklärungen und Vorversuche in der Anlage notwendig.

### 2.1 Vorversuche Aufarbeitung und Analytik

Im Januar 2017 wurden über mehrere Stunden eine Mischprobe (rund 10 Kilo) der Schlacke sowie eine Probe des Neutralwäschers (8 Liter) entnommen. Mit diesen Beispielproben entwickelte das Labor, Geopro AG, Roche, das Vorgehen für die Aufarbeitung und Analytik der Proben aus den Verbrennungsversuchen. Nachfolgend sind die daraus definierten Methoden für die Analytik und Probenahmen beschrieben.

Bei der Arbeit an der Beispielprobe konnte die in Kapitel 2.1.2 dokumentierte Beobachtung zu einem Asbestfragment gemacht werden.

#### 2.1.1 Aufarbeitung und Analyse Schlacke

Aus den Vorversuchen mit der Beispielprobe Schlacke wurde die folgende Aufarbeitungs- und Analysemethode festgelegt:

Die Plastikbehälter mit rund 10 kg Schlacke werden gerollt und mehrfach gekippt. Nach dieser Homogenisierung werden zwei Teilproben (Mischproben von verschiedenen Stellen im Behälter; ca. 500 g) zur Analyse entnommen und getrocknet.

Das Material wird gesiebt (Maschenweite 0.8 mm) und so in zwei Korngrössenfraktionen aufgeteilt.

Die Fraktion  $> 0.8 \text{ mm}$  wird in flachen Aluminiumschalen ausgebreitet und sortiert und unter einer Stereolupe, bei ca. 10-facher Vergrösserung, nach faserhaltigen Fragmenten abgesucht. Werden in Fragmenten Fasern gefunden, werden Mikroskopiepräparate erstellt, und/oder die gesamten Fragmente zuerst im Achatmörser zerkleinert und danach Pulverpräparate für das Polarisationsmikroskop erstellt und analysiert. Die feinkörnige Fraktion (kleiner 0.8 mm) wird nach dem gleichen Verfahren zuerst ohne Vergrösserung und danach unter dem Stereomikroskop abgesucht. Von Fasern und faserhaltigen Fragmenten werden Mikroskopiepräparate erstellt und analysiert. Zusätzlich werden nach Homogenisation und Zerkleinern des Materials im Achatmörser Pulverpräparate für das Polarisationsmikroskop erstellt und auf Asbest analysiert. Eine Teilprobe des zerkleinerten und homogenisierten Materials wird mit verdünnter Säure behandelt und die aus den Rückständen gewonnen Präparate mittels Polarisationsmikroskopie auf Asbestfasern analysiert.

### 2.1.2 Aufarbeitung und Analyse Washwasser

Da für die Analytik der sauren und neutralen Washwässer relativ viel Probenmaterial verwendet werden muss und ein beginnender Abbau der Fasern durch eine Lagerung in den sauren Quenchwässern den Nachweis erschweren würde, wurde entschieden, die Filtration vor Ort durchzuführen. Dazu werden mit Vakuumfiltrationen jeweils die Rückstände von rund 20 Liter Probenmaterial auf einen oder mehreren Filtern gesammelt. Die Filter werden mit Wasser neutral gewaschen, bevor Sie in Filterslides verpackt werden.

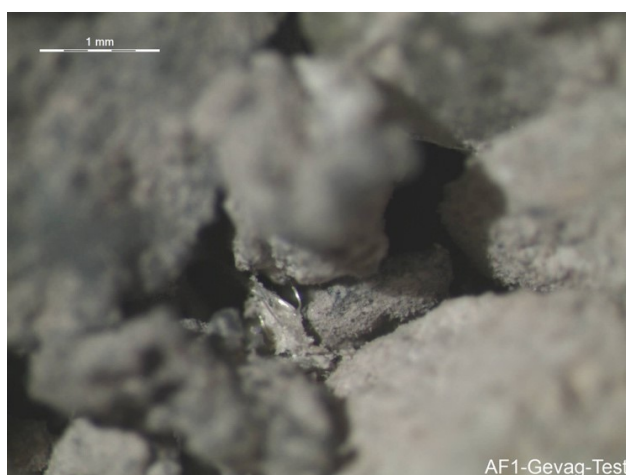
Die Filter werden im Labor unter der Stereolupe nach Fasern abgesucht. Mit dem Skalpell werden ca. 3/4 des Filtrationsrückstands von der Filteroberfläche abgekratzt. Je nach Menge des Rückstands, werden dabei ein oder mehrere Präparate für das Polarisationsmikroskop erstellt und analysiert.

### 2.1.3 Asbest in Beispielprobe und FTIR

Bei der Untersuchung der Beispielprobe Schlacke wurde eine interessante Beobachtung gemacht. Was auf den ersten Blick wie eine Asbestfaser aussah, entpuppte sich bei näherer Betrachtung und Untersuchung als ein durch Hitze umgewandeltes Chrysotilfragment. Es scheint, dass die in der Literatur beschriebene Umwandlung von Chrysotil durch Wasserverlust zu „Metachrysotil“ und dann weiter zu Forsterit stattgefunden hat. Peter Berner von der Geopro AG hat im Labor die in der Schlacke gefundenen Fasern (siehe Foto unten) mit einem Skalpell präpariert und davon FTIR<sup>1</sup>-Spektren aufgenommen. Die Spektren (siehe FTIR-Abbildungen 1 und 2) zeigten das Fehlen der für Chrysotil typischen OH Banden, stattdessen zeigten sich ein Spektrum, welches gemäss Literatur (Kusiorowski R. et al. 2012) typisch für Forsterit ist.

Dieser Befund deutet darauf hin, dass eine thermische Umwandlung im Ofen stattgefunden hat. Es ist bekannt, dass eine Umwandlung von Chrysotilasbest, je nach Literatur (Kusiorowski et al (2012), OVAM (2016), Gerken (2004)) bereits ab 500 bzw. 700 °C erfolgen kann. Diese Temperaturen werden im Ofen der KVA (Messwerte GEVAG, Linie 2: 800–900 °C) deutlich übertroffen. Es scheint, dass die Asbestfasern im Ofen für die Umwandlung genügend Hitze und Zeit hatten.

Wegen den überraschenden Ergebnissen dieses Vorversuches wurde vorgesehen, bei ähnlichen Fragmenten in den Versuchsproben FTIR-Analysen einzusetzen.



Vorversuch Schlackenprobe: Faserstruktur aus Forsterit

<sup>1</sup> Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer

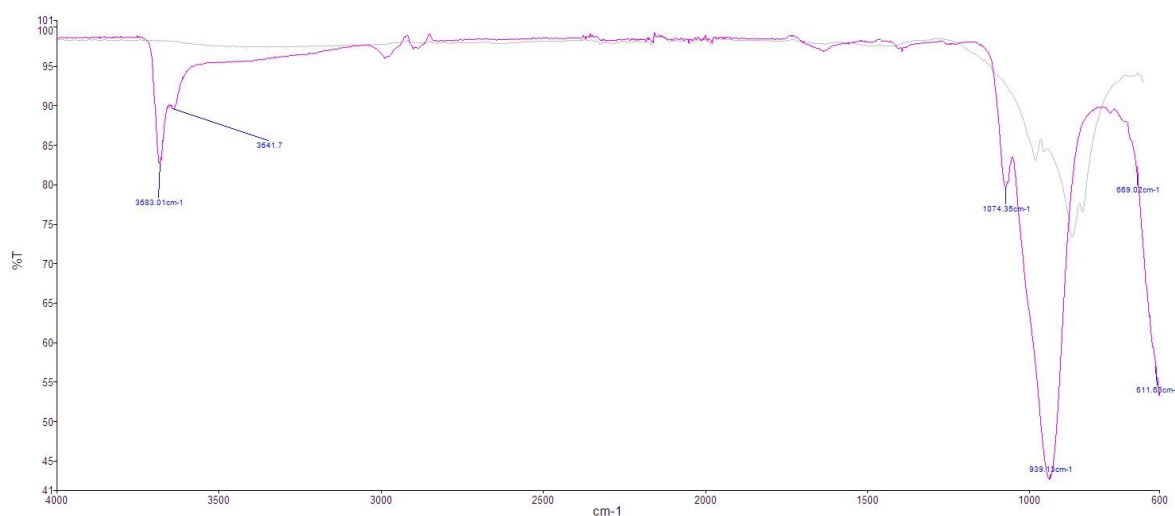


Abbildung 1: FTIR Spektrum Probe (grau) vs. Chrysotil (rosa)

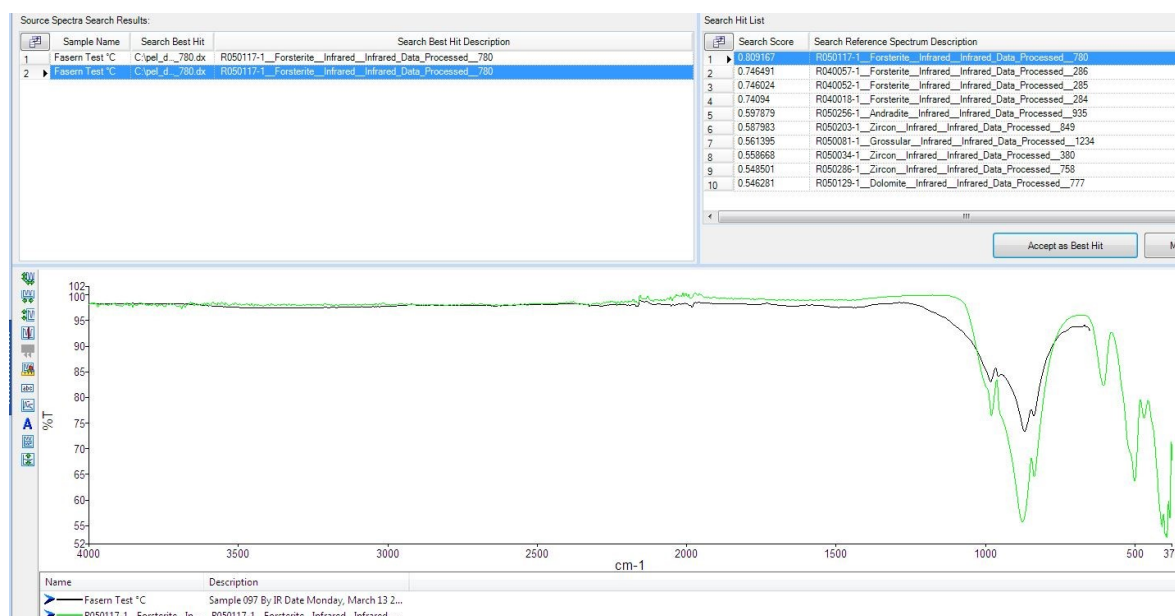


Abbildung 2: FTIR Spektrum Probe (schwarz) vs. Forsterit (grün)

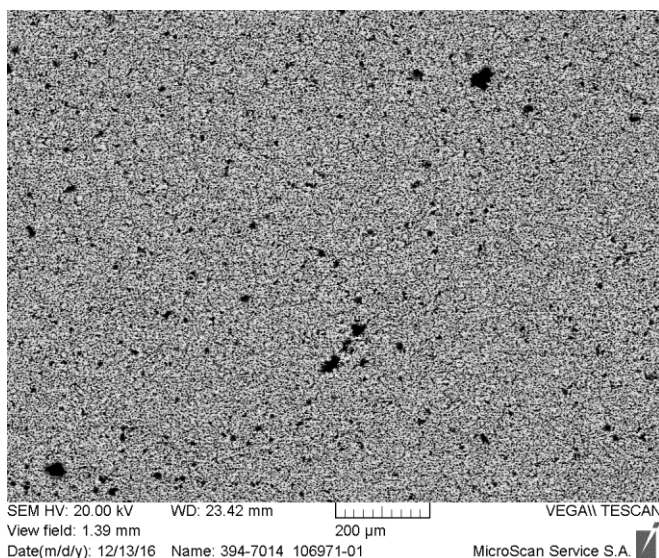
## 2.2 Vorversuche Emissionsmessungen Reingas

Die Methodik der Messungen von Asbest und anderen faserförmigen Partikeln im Reingas ist in der VDI-Richtlinie 3861, Blatt 2, beschrieben. Diese Vorschrift gilt aber nur bis zu einer Gastemperatur von rund 90 °C, da das vorgegebene Filtermaterial (goldbedampfte Polycarbonatmembranfilter) bei höheren Temperaturen nicht einsatzfähig ist. Umfragen bei Laboratorien und bei VDI-Experten zeigten, dass offenbar noch nie Asbest Emissionsmessungen im Reingas bei solchen hohen Temperaturen (130–150 °C) durchgeführt wurden. Ein selten verwendetes Filtermaterial aus reinem Silber, welches für die Asbestanalytik und-Probenahme geeignet ist, wurde gefunden und sollte im Rahmen der Vorversuche bei den hohen Temperaturen getestet werden. Dazu wurden je drei Probenahmen im Reingas der Linie 1 (irrtümlich<sup>2</sup>) und schlussendlich der Linie 2 durchgeführt. Die Versuche an der Linie 2 ergaben, dass mit der leicht überisokinetischen Probenahme während rund einer Stunde ein Volumen von rund 1'000–1'300 Liter gesammelt werden konnte und die Filter nur wenig bis mässig belegt waren. Die Analysen der Filter wurden von der Firma Microscan SA in Lausanne durchgeführt (Bericht Nr. 394/7014 A vom 13.12.2016).

Die Ergebnisse (siehe Tabelle 1) zeigten keine nachweisbaren Asbestfasern und nur wenige andere mineralische Fasern. Insgesamt waren die Filteroberflächen wenig beladen (siehe Abbildung 3).

**Tabelle 1: Ergebnisse der Reingas-Emissionsmessungen Linie 2, Vorhermessungen**

Probe	Luftvolumen m <sup>3</sup>	Lungengängigen Fasern Konzentration pro m <sup>3</sup>	
		Asbest	Mineralische Fasern
KVA Trimmis / 4	1.057	< 346	< 346
KVA Trimmis / 5	1.021	< 358	< 358
KVA Trimmis / 6	1.392	< 262	1'312



**Abbildung 3: REM Aufnahme Oberfläche Silbermembranfilter, Emissionsmessung Reingas**

<sup>2</sup> Bei der Auswertung der Filter der Linie 1 zeigten sich deutlich höhere Partikelbelastungen auf den Filtern. Die Emissionsmessungen des GEVAG zeigen eine rund drei Mal tiefere Staubkonzentration im Reingas der Linie 2.

## 2.3 Arbeitsplatzmessungen vor dem Versuch

Neben den eigentlichen Output-Messungen sollten auch vor den Versuchen mit umfangreichen Arbeitsplatzuntersuchungen die Belastung mit Asbestfasern an verschiedenen Standorten abgeklärt werden. Es ist bekannt, dass in KVAs immer wieder asbesthaltige Abfälle angeliefert werden. Deshalb stellte sich die Frage, ob eine signifikante Belastung mit Asbestfasern in der Luft vorhanden ist. Es wurden drei Bereiche als kritisch identifiziert und im Messkonzept berücksichtigt:

- **Anlieferung:** In der KVA Trimmis geht der Gewerbeablad in einer separaten Halle vonstatten. Die Mitarbeiter in diesem Bereich sind von den Staubemissionen aus Ablad und Transfer in den Bunker direkt betroffen.
- **Schlackenausrag:** Die Schlacke beim Schlackenausrag ist feucht. Es kommt trotzdem zu Materialverfrachtungen an die Umgebung. Dieses abtrocknende Material kann via Erschütterungen oder bei der häufigen Reinigung wieder in die Luft emittieren.
- **Bunker 2:** Im Bunker 2 werden die Trichter 1 und 2 mit den geschredderten bzw. gemischten Abfällen befüllt. Die Staubbelastung im Bunker ist sichtbar hoch.

Bei Normalbedingungen wurden am 7. und 8.12.2016 an diesen drei Standorten insgesamt sechs Asbest-Arbeitsplatzmessungen durchgeführt. Da es darum ging die Belastung an stark exponierten Standorten zu erfassen, wurden alle Messungen bzw. Probenahmen stationär ausgeführt.

Auf den exponierten Filtern konnten keine Asbestfasern gefunden werden. Die Nachweisgrenze der Messung liegt bei  $\leq 1'000 \text{ LAF}^3$ , was einem Zehntel der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK) entspricht. Die Belastungen während den Messungen an den Arbeitsplätzen liegen folglich unter 1/10 MAK. Die Ergebnisse dieser Vorher-Messungen sind in der Tabelle 2 enthalten. Detaillierte Informationen zu den Probenahmen, Standorten und Ergebnissen sind im Kurzbericht der Carbotech AG „563.57 GEVAG-Messungen an Arbeitsplätzen: lungengängige Asbestfasern“ vom 7.2.2017 enthalten.

**Tabelle 2: Ergebnisse Vorher-Arbeitsplatzmessungen (MAK 10'000 LAF/m<sup>3</sup>)**

Standort / Messung	Datum, Zeit	Ergebnis LAF/m <sup>3</sup>
Schlackenausrag / SA1	7.12.2016, 09.15–13.16 h	< 344 LAF
Schlackenhalle 2 / SH2/1	8.12.2016, 11.55–15.00 h	< 531 LAF
Annahmehalle / AH2	7.12.2016, 13.25–16.47 h	< 462 LAF
Annahmehalle / AH4	8.12.2016, 15.30–15.53 h	< 999 LAF
Bunker 2 / B1	7.12.2016, 09.55–11.45 h	< 1'000 LAF
Bunker 2 / B2	7.12.2016, 13.55–14.44 h	< 999 LAF

<sup>3</sup> Lungengängige Asbestfasern

### 3 Verbrennung von asbesthaltigen Materialien

Nach den Vorversuchen wurden die Ergebnisse ausgewertet und die Fragen und Erkenntnisse mit den Beteiligten (BAFU, ANU, GEVAG) diskutiert. Um genauere, anlagenspezifische Aussagen zu den Verbrennungs- und Verweilzeiten machen zu können, realisierte der GEVAG eigene Versuche. Die gefundenen Kennzahlen sind in der folgenden Abbildung 4 dargestellt. Die Auswertung der Vorversuche sowie Diskussionen mit den beteiligten Fachpersonen führte zu einer Anpassung von einzelnen Aspekten der Versuchsanordnung, Probenahme und Auswertung. Die geplanten Abläufe der Versuche wurden zusammen mit den Aufgaben der Beteiligten in einem detaillierten Ablaufplan festgehalten. Weitere anlagenspezifische Informationen und Schemas sind im Anhang 1 enthalten.

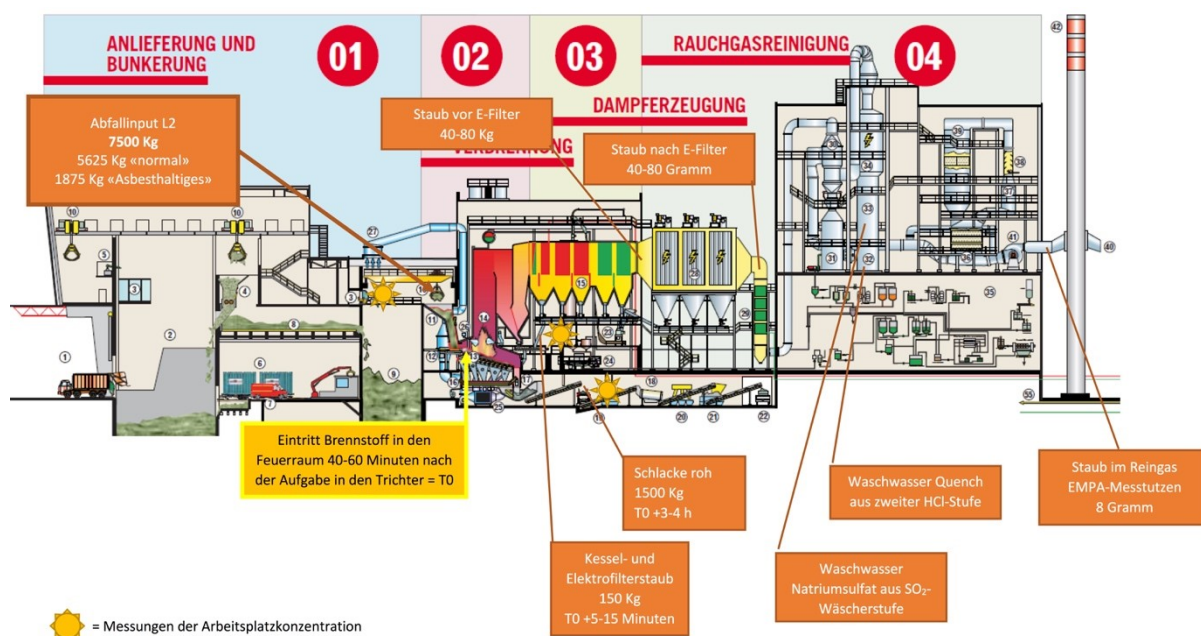


Abbildung 4: Schematischer Ablauf und Verweilzeiten KVA Trimmis, Ofenlinie 2; Planungsgrundlage Hauptversuch

## 3.1 Input brennbare asbesthaltige Materialien

### 3.1.1 Materialfraktionen

Für den Versuch wurden bei Sanierungs- und Planerfirmen typische brennbare asbesthaltige Abfälle aus Schadstoffsanierungen gesucht. Typische solche Abfälle, die in relevanten Mengen anfallen, sind:

- Cushion-Vinyl bzw. Novilon (rund 30–40 % Asbest)
- Rohrleitungsisolierungen (Kork-/PU-Schaum mit  $\leq 0.1$ –5 % Asbest)
- Korkisolierungen mit asbesthaltigem Teer ( $\leq 0.1$ –1 % Asbest)
- PVC-Bodenbeläge (0.1–1 % Asbest)
- Deckenplatten aus Holz/Gips/Zement (0.1–5 % Asbest)

Wie aus der Zusammenstellung ersichtlich, weisen die meisten dieser Abfallfraktionen geringe Asbestgehalte auf. Bei der Beschaffung und Verbrennung musste zudem beachtet werden, dass der Anteil PVC-haltiger Abfälle im Verbrennungsgut begrenzt werden muss, damit die daraus entstehende Chlormenge noch vom Wäscher verarbeitet werden kann. Aus diesem Grund wurde darauf geachtet, dass bei den verbrannten Abfällen max. 20 % PVC Abfälle<sup>4</sup> enthalten sind.

Die Akquisition geeigneter asbesthaltiger Abfälle verlief schwieriger als erwartet. Die Bereitschaft, das Projekt zu unterstützen war gering. Schlussendlich wurde uns nach beharrlichen Direktansprachen von einzelnen Sanierungsfirmen und Fachplanern eine genügende Menge in Aussicht gestellt bzw. angeliefert.

Insgesamt konnten rund drei Tonnen PVC-Bodenbeläge aus einer Baustelle sowie fast 6 Tonnen Rohrleitungsisolierungen aus zwei Baustellen beschafft werden. Diese Materialien wurden von Januar bis März 2017 in markierten BigBags in ein Zwischendepot nach Trimmis geliefert und von dort aus für die Verbrennungsversuche zusammengestellt. Die Analyseergebnisse bzw. die Diagnostikberichte zu den Materialien wurden von den Planern bzw. Sanierern mitgeliefert.

Da geplant war, der Anlage eine kurzfristig hohe Spitzenkonzentration, d. h. rund 200 kg Asbest innert 15 bis 30 Minuten zuzugeben, wurde nach geeignetem Material mit einem hohen Asbestanteil gesucht. Dafür in Frage kamen primär Bodenbeläge aus Cushion-Vinyl bzw. Novilon, die dank einem asbesthaltigen Rücken rund 30–40 % Asbestanteil aufweisen. Da selten grosse Flächen Cushion-Vinyl saniert werden, musste länger gesucht werden.

Ein Lieferant der uns rund 300–400 kg Cushion-Vinyl (aus verschiedenen Baustellen) versprochen hatte, lieferte kurz vor dem Versuch weit geringere Mengen (100 kg). Bei der Beschickung in den Trichter zeigte sich, dass die Säcke zusätzlich Deckenplatten und Verpackungsmaterial enthielten. Zudem fehlten die Muster für die Analysen. Dank der zeitnahen Befragung des Mitarbeiters, der die Säcke bereitgestellt hat, konnten die Mengen der Fraktionen abgeschätzt und ein Muster der gelieferten Deckenplatten (für die Asbest-Analyse) gesichert werden.

Beim zweiten Lieferanten, welcher uns 100 kg Cushion-Vinyl für den Versuch überliess, war das Material in Ordnung und der Asbestgehalt mit einer zuverlässigen Analyse belegt.

So konnten insgesamt 8.3 Tonnen asbesthaltiges Material (siehe Tabelle 3) mit rund 110 kg Amosit/Chrysotilgemisch, 16 kg Anthophyllit- und 70 kg Chrysotilasbest für die Versuche eingesetzt werden.

Die realisierte Spitzenbelastung betrug rund 84 kg Asbest in brennbaren Bauteilen, welche am 23. März 2017 innerhalb von 10 Minuten in den Trichter eingefüllt wurden.

---

<sup>4</sup> Die max. 20 % PVC Abfälle basieren auf einer Hochrechnung durch B. Calonder, ANU Chur, basierend auf den Anlagen-daten der KVA Trimmis.

**Tabelle 3: Verwendete asbesthaltige Abfälle für die Versuche am 20.3.2017 und 23.3.2017**

Abfallfraktion	Quelle	Menge	Asbestorte	Konzentration Labor (Annahme)	Analyse/Referenz
PVC-Bodenbeläge (blau)	Winterthur, Wohnhaus (Zani/Carbotech)	ca. 3.1 t	Anthophyllit	< 1 % (0.5 % = 15.5 kg)	Geopro 9409/9410
Rohrisolationen (gelb/grün RI)	Bülach Industrie (Baskarad, Schmid)	ca. 2.2 t	Amosit, Chrysotil	1–10 % (5 % = 110 kg)	AATest 103009/29
Rohrisolationen (rot RI)	ABB, Baden (Xonotech/Abson)	ca. 3.6 t	Amosit	< 1 % (0.5 % = 18 kg)	Geopro 21890-91, 21894-98
Cushion-Vinyl für Spitzenbelastung	Bern Wirz Bau (Wirz, bafob)	100–110 kg	Chrysotil	40–50 % (45 % = 45 kg)	AATest 173030 (2. Quantifizierung 13.4. BR)
Mischfraktion (Cushion-Vinyl und Deckenplatten) für Spitzenbelastung	Remex AG, Verfestigungszentrum Basel	60 kg Cushion-Vinyl 40 kg Deckenplatten etc.	Chrysotil Amosit	Cushion-Vinyl (45 % = 24 kg) 0.2–2 % Deckenplatten (1 % = 0.4 kg)	- Geopro 34766 (Deckenplatte)
<b>Gesamt</b>		<b>8.4–9 t (Wägungen, KVA, Greifer)</b>	<b>3 Sorten</b>	<b>Ca. 213 kg</b>	



### 3.1.2 Materialaufgabe

Für die Materialaufgabe musste das in BigBags verpackte asbesthaltige Material zuerst vom Zwischenlager zur KVA und danach auf Paletten mit dem Rolli via Warenlift in den Bunker 2 gebracht werden. Dort wurde ein Depot angelegt, welches dann vom Kranführer in den Trichter verfrachtet wurde. Das asbesthaltige Material wurde aus dem Bunker abwechselnd mit dem normalen Kehricht in den Trichter eingefüllt. Den insgesamt 8.3 Tonnen asbesthaltigen Abfällen wurden insgesamt rund 15 Tonnen normale Abfälle aus dem Bunker 2 zugemischt.

Beim Versuch am 20. März 2017 wurden während einer Stunde die rund 2.2 Tonnen asbesthaltigen Abfälle kontinuierlich und abwechselnd mit normalem Abfällen (rund 5.3 Tonnen) gemischt in den Trichter gegeben.

- 17.00–18.00 h; Verbrennung von rund 2.2 Tonnen Abfällen mit rund 40 Kilo Asbest, Aufgabe auf normal gefülltem Trichter

Der PVC-Anteil aus den asbesthaltigen Abfällen betrug in dieser Stunde 1.1. Tonnen bzw. rund 15 %.

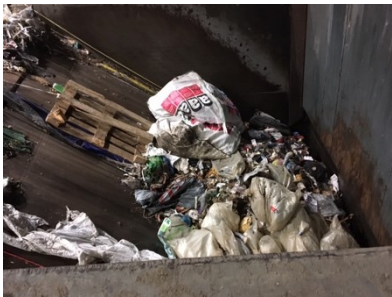
Beim Versuch 2 am 23. März 2017 wurden während der ersten zehn Minuten brennbare Asbestabfälle mit höheren Konzentrationen, in kleineren Säcken von Hand, zusammen mit 400 kg Material aus BigBags in den fast leeren Trichter geworfen. Damit sollte die beabsichtigte Spitzenbelastung erreicht werden. Der Versuch 2 dauerte von 17.00 bis 18.44 Uhr und es wurden insgesamt rund 16 Tonnen Abfälle mit 229 kg Asbest verbrannt:

- 17.00–17.10 h, Zugabe von 1.9 Tonnen mit rund 84 kg Asbest in fast leeren Trichter
- 17.10–18.00 h, Zugabe von 7.3 Tonnen mit rund 63 kg Asbest
- 18.00–18.44 h, Zugabe von 6.5 Tonnen mit rund 32 kg Asbest

Der PVC-Anteil aus den asbesthaltigen Abfällen betrug während der Aufgabe rund 2 Tonnen bzw. rund 13 %.



Zwischenlager



Materialtransporte und -aufgabe

## 3.2 Messungen, Probenahmen und Analysen

### 3.2.1 Messungen GEVAG an der Anlage

Mit den kontinuierlichen Messungen der Anlage konnte der Versuch verfolgt werden. Seitens des GEVAG konnten aus der Anlagenüberwachung für die beiden Versuche folgende Zeiten für T0 (Ankunft der brennbaren asbesthaltigen Abfälle im Feuerraum) festgestellt werden:

- 20.3.2017: T0 ca. 18 h (Start Aufgabe in Trichter: 17.00 h)
- 23.3.2017: T0 ca. 18 h (Start Aufgabe in Trichter: 17.00 h)

Diese Zeiten lagen damit etwa im erwarteten Bereich einer Verzögerung zwischen Aufgabe Trichter und Eintritt Feuerraum von ca. 60 Minuten. Da am 23. März 2017 die Befüllung in den teilweise geleerten Trichter erfolgte, erreichte das Material den Feuerraum entsprechend schneller. Diagramme aus der Anlagenüberwachung über die Versuchszeit an beiden Tagen sind im Anhang 1 enthalten.

### 3.2.2 Kesselstaub/Elektrofilterasche

Für die Probenahme von Kesselstaub und Filterasche wurde am Fallrohr, welches den Austrag aus den entsprechenden Zizen vereinigt, eine spezielle Probenahmeverrichtung (Eigenbau KVA) zum Auffangen des Staubes verwendet. Mit der Vorrichtung wurde versucht, während der 15-minütigen Probenahme eine repräsentative Probe des Austrages zu erfassen. Die Probenmenge betrug jeweils rund 0.5 Kilo pro Probe. Gemäss den Versuchen und Angaben des GEVAG beträgt die Verzögerung zwischen dem Eintritt eines Abfalls in den Feuerraum (T0) und der Ankunft der entsprechenden Kesselstaub- und Elektrofilter-Emissionen an der Probenahmestelle rund 5–15 Minuten. Die erwartete Gesamtfracht von rund 150 kg/h teilt sich in rund 60 kg Kesselstaub und rund 80 kg Filterasche am Fallrohr (Angaben GEVAG).

Es wurden insgesamt 7 Proben (siehe Tabelle 4) aus dem Fallrohr von der Geopro AG nach der Analysenmethode gemäss Anhang 1 analysiert.

**Tabelle 4: Probenahme Kesselstaub und Elektrofilterasche**

Probe	Datum	Zeit	Analyse Geopro
G1	20.3.2017	17.16–17.23 h	-
G2	20.3.2017	17.30–17.45 h	-
G3	20.3.2017	17.45–18.00 h	-
G4	20.3.2017	18.00–18.15 h	-
G5	20.3.2017	18.15–18.30 h	-
G6	20.3.2017	18.30–18.45 h	-
G7	20.3.2017	18.45–19.00 h	-
G8	20.3.2017	19.15–19.30 h	-
G9	20.3.2017	19.30–19.45 h	-
G10	23.3.2017	17.10–17.25 h	35367
G11	23.3.2017	17.25–17.40 h	-
G12	23.3.2017	17.40–17.55 h	35369
G13	23.3.2017	17.55–18.10 h	-
G14	23.3.2017	18.10–18.25 h	35371
G15	23.3.2017	18.25–18.40 h	-
G16	23.3.2017	18.40–18.55 h	-
G17	23.3.2017	18.55–19.10 h	35374
G18	23.3.2017	19.10–19.25 h	-
G19	23.3.2017	19.25–19.40 h	-
G20	23.3.2017	19.40–19.55 h	35377
G21	23.3.2017	19.55–20.10 h	-
G22	23.3.2017	20.10–20.25 h	-
G23	23.3.2017	20.25–20.40 h	35380
G24	23.3.2017	20.40–20.55 h	-
G25	23.3.2017	20.55–21.10 h	-
G26	23.3.2017	21.10–21.30 h	35382



**Probenahme Kesselasche/E-Filterstaub**

### 3.2.3 Emissionsmessungen Elektrofilter

Die Emissionsmessungen vor und nach dem Elektrofilter wurden am 23.3.2017<sup>5</sup> von der Firma Noxaquant, Christian Sprecher, durchgeführt. Die Probenahmen vor den E-Filtern erfolgten mittels tariierter Glasfaserkartuschen. Infolge der hohen Staubemissionen wurden die Probenahmen auf rund 30–40 Minuten verkürzt. An der Messstelle vor dem E-Filter lagen die Staubkonzentrationen bei 1'491 mg/m<sup>3</sup>, nach dem Elektrofilter noch bei 2.1 mg/m<sup>3</sup>. Für die Probenahme nach dem E-Filter konnten daher direkt Filter verwendet werden. In Tabellen 5 und 6 sind die wichtigsten Informationen zu den Probenahmen und Messungen zusammengestellt. Im Anhang 2 sind die detaillierten Informationen zu den Probenahmen der Noxaquant enthalten.

Sämtliche der erhobenen Proben wurden durch die Geopro AG nach dem im Bericht Anhang 2 aufgeführten Methode auf Asbest untersucht.

Tabelle 5: Probenahme vor E-Filter am 23.3.2017

Bezeichnung Probenahmen vor E-Filter	Zeit Dauer	Probenahmevolumen [m <sup>3</sup> ]	Auswaage Filter [mg]	Staubkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Analyse Geopro
Staubmessung 1 Hülse 12	17.10–17.39 h 29 min	0.322	270.6	1'026	35385
Staubmessung 2 Hülse 13	17.41–18.23 h 42 min	0.454	412.5	1'113	35386
Staubmessung 3 Hülse 14	18.39–19.11 h 32 min	0.363	561.7	1'908	35928
Staubmessung 4 Hülse 15	19.15–19.45 h 30 min	0.336	519.8	1'920	35929

Tabelle 6: Probenahmen nach E-Filter am 23.3.2017

Bezeichnung Probenahmen nach E-Filter	Zeit	Probenahmevolumen [m <sup>3</sup> ]	Auswaage Filter [mg]	Staubkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Analyse Geopro
Staubmessung 1 QF 17/14	17.10–18.29 h	1.084	1.7	1.6	35287
Staubmessung 2 QF 17/15	18.41–19.55 h	0.965	2.5	2.7	35930



Probenahmestellen Elektrofilter

<sup>5</sup> Beim ersten Versuch am 20.3.2017 wurden diese Probenahmen nicht durchgeführt.

### 3.2.4 Probenahmen Quench und Neutralwäscher

Für die Probenahmen des Quenchwassers aus HCL Stufe 1 und HCL Stufe 2 sowie des Neutralwassers aus dem SO<sub>2</sub>-Sumpf wurde während der Probenahmezeit ein Teilstrom abgezweigt und gemischt. Ein Aliquot daraus wurde mit Vakuum auf ein 0.47 mm Millipore-Filter (AAWP04700 mit 0.8 µm Porendurchmesser) filtriert.

Je nach Rückständen in den Waschflüssigkeiten mussten mehrere Filter für die angestrebten 15–20 Liter Probenahmevermögen verwendet werden. Insbesondere bei den Quenchflüssigkeiten verstopften die Filter rasch. In den beiden HCL-Stufen beträgt die Konzentration von HCL und HF rund 5–6 % (pH0). Aus der Stufe 1 werden rund 300–400 Liter/h abgestossen und verlassen das System. Der Abstoss aus der Stufe 2 gelangt in die Stufe 1.

Das neutrale Waschwasser enthält rund 10 % Natriumsulfat. Der Abstoss beträgt hier rund 150–200 Liter pro Stunde. Rund 15 Minuten vor Abschluss der Probenahme wurde durch den GEVAG eine Schwallspülung ausgelöst.

Ein grosser Teil der Filtrerrückstände wurde im Labor abgekratzt und direkt zu Präparaten für die Untersuchung mittels Polarisationsmikroskopie verarbeitet. Alle erhobenen Proben wurden durch die Geopro AG untersucht (siehe Anhang 2).

Tabelle 7: Probenahmen Quench und Neutralwäscher

Probenahmestelle	Datum	Zeit	Probenahmevolumen [Liter]	Analyse Geopro
Quench vorne	20.3.2017	17.10–19.10 h	1 Filter à 18 Liter	34640
NaSO <sub>4</sub> -Wäscher	20.3.2017	17.10–19.10 h	1 Filter à 19 Liter	34641
Quench vorne	23.3.2017	17.15–22.15 h	4 Filter à 4 Liter	34636
Quench hinten	23.3.2017	17.15–22.15 h	2 Filter (8 und 6 Liter)	34637
NaSO <sub>4</sub> -Wäscher	23.3.2017	17.15–22.15 h	1 Filter à 20 Liter	34638



Probenahmestellen Quench/Neutralwäscher

### 3.2.5 Emissionsmessung Reingas

Die Emissionsmessungen am Reingas der Ofenlinie 2 wurden von der Carbotech AG, in Anlehnung an die VDI Richtlinie 3861, Blatt 2, ausgeführt. Es wurden Silbermembranfilter 0.45 µm Porengrösse mit 5 cm Durchmesser verwendet. Bei den gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten im Kamin von rund 14 m/Sek. wurde mit 15–17 Liter pro Minute und Düsenöffnung 5 mm eine leicht überkinetische Probenahme durchgeführt. Die Staubbelastung im Reingas beträgt rund 0.8 mg/m<sup>3</sup>, damit ergibt sich eine Fracht bei 40'000 Nm<sup>3</sup>/h von rund 32 g/Std.

Die drei Filterproben (Probenahmebedingungen siehe Tabelle 8) wurden durch die Microscan SA untersucht.

**Tabelle 8: Probenahmen Reingas am 20.3.2017 und 23.3.2017**

Bezeichnung Probenahmen	Datum	Zeit	Temp. (°C)	Strömung Ka- min m/sek	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Filter Nr. 7	20.3.2017	17.32–18.47 h	145	14.5	1.130
Filter Nr. 8	23.3.2017	17.10–18.25 h	145	14.2	1.276
Filter Nr. 9	23.3.2017	18.39–19.54 h	145	14.2	1.276



Probenahmen Reingas

### 3.2.6 Probenahmen Schlacke

Die Probenahme der Schlacken erfolgte am Schlackenaustrag d. h. Abwurf Band (nach Nassentschlacker auf Rüttler). Gemäss den Angaben des GEVAG ist der Austrag der Schlacke um rund 3 bis 4 Stunden nach Eintritt der Abfälle in den Feuerraum verzögert. Aus der Verbrennung resultieren rund 20 % Schlacke, bei einer Stundenleistung von 7.5 Tonnen Abfälle, ist mit 1.5 Tonnen Schlacke zu rechnen.

Mit einer Schaufel wurde versucht, während jeweils einer Stunde, ein repräsentatives Aliquot der geförderten Rückstände zu sammeln. Die Probenahmemenge betrug rund 10 Kilo für eine Stundenprobe. Bei der Probenahme wurde auf grössere Rückstände geachtet, welche aufgrund ihrer Morphologie auf eingesetzte Materialien (Bodenbeläge, Rohrleitungsisolationen etc.) schliessen lassen. So wurde ein Fragment, welches an ein unverbranntes Stück Bodenbelag erinnerte, gefunden und zur separaten Analyse ans Labor Geopro AG weitergeleitet.

In der Tabelle 9 sind die erhobenen Schlackenproben zusammengestellt. Von den 10 Proben wurden insgesamt 8 durch die Geopro auf Asbest untersucht.

Tabelle 9: Probenahmen Schlackenaustrag am 20.3.2017 und 23.3.2017

Probe	Datum	Zeit	Analyse Geopro
F1	20.3.2017	19.00–20.00 h	35358
F2	20.3.2017	20.00–21.00 h	-
F3	20.3.2017	21.00–22.00 h	-
F4	20.3.2017	22.00–23.00 h	35361
F5	23.3.2017	18.25–19.25 h	35927
F6	23.3.2017	19.25–20.25 h	35362
F7	23.3.2017	20.25–21.25 h	35363
F8	23.3.2017	21.25–22.25 h	35364
F9	23.3.2017	22.25–23.25 h	35365
F10	23.3.2017	23.25–24:00 h	35366



Probenahmen Schlacke



### 3.3 Arbeitnehmerschutz

Für den Arbeitnehmerschutz während der Versuche wurden eine Reihe von Massnahmen umgesetzt. Zusammen mit Wolfgang Bux, dem Verantwortlichen für Arbeitssicherheit, wurden die notwendigen Massnahmen wie folgt definiert:

- Definition der persönlichen Schutzausrüstung (PSA) für die einzelnen Tätigkeiten und Gefährdungsbereiche des Versuchs, gemäss der intern gültigen GEVAG-Sicherheitsanweisung (SHB\_SA.03 PSA und Hygiene)
- Einweisung und Schulung der am Versuch Beteiligten externen Personen durch Wolfgang Bux, Sicherstellung der PSA
- Arbeitsplatzmessungen
- Bereitstellung eines Notfallsets im kritischen Arbeitsbereich „Transport BigBag zum Bunker 2“
- Organisation Pikettdienst eines Asbestsanierers vor Ort im Falle einer Asbestfreisetzung

Die PSA der mit dem Transport der BigBags betrauten Personen umfasste neben Helm und Sicherheitsschuhen (generell auf der Anlage vorgeschrieben), Einweg-Overall, Vollmaske und Absturzsicherung (Arbeit im Bunker 2). Die mit Staubprobenahmen betrauten Personen (Filterstaub, Schlacke, E-Filter) trugen neben Helm/Sicherheitsschuhen auch Einwegoverall und Staubmasken P3. Die PSA des mit der Probenahme am Quench Betrauten, umfasste Gummistiefel, Chemieanzug, Chemiehandschuhe und Visier.

Der Transport der doppelt in BigBags verpackten asbesthaltigen Abfälle aus dem angelieferten Container in den Bunker 2 erfolgte in drei Arbeitsgängen (Entladung BigBag auf Paletten, Transport mit Palettenhubwagen via Warenlift in Bunker 2, Transfer mit Kran in Trichter). Für den Fall eines Risses und oder Freisetzung stand ein Notfallset bestehend aus Klebeband, zusätzlichem BigBag zum Überstülpen und Asbestsauger bereit. Mit der Firma Galli, Untervaz, die selber Asbestsanierungen durchführt, wurde ein Pikettdienst vereinbart um im Havariefall rasch reagieren zu können.

Während der beiden Versuche am 20. und 23. März 2017 wurden Asbestmessungen in der Luft an den relevanten Arbeitsplätzen durchgeführt. Neben den stationären Messungen am Schlackenaustrag (im Bereich der Probenahme), im Bunker 2 sowie im Bereich Elektrofilter/Halle Probenahme Kesselstaub/Elektrofilterstaub wurden auch zwei personengetragene Messungen realisiert. Damit eine allfällige Belastung durch das Handling mit den asbesthaltigen Abfällen erfasst werden konnte, wurde an der Person, welche die BigBags auf Paletten vom Hof in den Bunker 2 transportierte, die Luftbelastung mit Asbestfasern gemessen. Die Analysen der Luftfilter erfolgte durch die Microscan SA (siehe Bericht 394/7086A im Anhang 2) gemäss VDI 3861, Blatt 2.

## 4 Resultate und Beobachtungen

Die Erwartung, dass sich der Asbest aus dem Verbrennungsversuch in Schlacke, Kesselstaub und Elektrofilterstaub gut nachweisen lässt, hat sich nicht bestätigt. Es konnte lediglich in drei Schlackenproben Asbest nachgewiesen werden (siehe Tabelle 10 bzw. Kapitel 4.4). In den restlichen Proben konnte kein Asbest nachgewiesen werden. Im Bericht der Geopro AG im Anhang 2 sind die Ergebnisse der Fest- und Flüssigproben zusammengefasst und illustriert. Nachfolgend sind die Resultate der verschiedenen Messungen bzw. Analysen zusammengefasst. Abbildung 5 zeigt einen Überblick über die durchgeführten Probenahmen im Zeitverlauf. Die drei Proben, in welchen Asbestfasern nachgewiesen werden konnten, sind rot markiert. Grün markierte Proben waren asbestfrei. Bei den restlichen Proben handelt es sich um Rückstellproben, die nicht analysiert wurden.

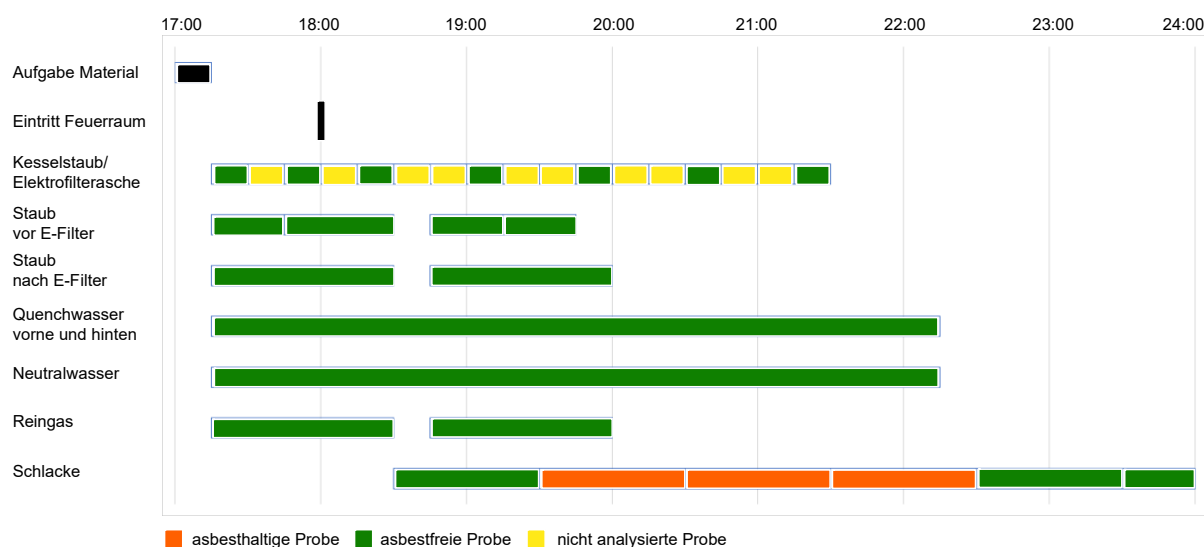


Abbildung 5: Versuch vom 23.3.2017 Probenahmen und Ergebnisse im Zeitverlauf

## 4.1 Untersuchung Flugasche / Kesselstaub

In den sieben analysierten Proben der Kesselasche konnte kein Asbest nachgewiesen werden (siehe Bericht Geopro Anhang 2). Gemäss Angaben von Peter Berner, Geopro AG, liegt die Bestimmungsgrenze in den Materialien im Feinanteil bei etwa 0.1 %.

## 4.2 Emissionsmessungen Elektrofilter

In den vier Emissionsproben vor und den zwei Proben nach dem Elektrofilter zeigen die Analysen ebenfalls einen negativen Befund. Im Bericht der Geopro AG im Anhang 2 sind die Ergebnisse der Fest- und Flüssigproben zusammengefasst und illustriert. Es konnten in den Proben keine grösseren Fragmente mit un- oder teilweise verbranntem Material mit Asbestanhaftungen gefunden werden.

## 4.3 Untersuchung der Quench und Neutralwäscher

In den insgesamt fünf Proben der sauren und neutralen Wäscher konnte kein Asbest nachgewiesen werden (siehe Bericht Geopro Anhang 2).

## 4.4 Untersuchung der Schlacke

In den drei Schlackenproben vom 23. März 2017 zwischen 19:25 und 22:25 Uhr konnten Spuren von Asbest nachgewiesen werden (siehe Tabelle 10). Die Schlackenprobe von 19:25 bis 20:25 Uhr enthielt Anthophyllit, die darauffolgenden zwei Proben Chrysotil. In den restlichen drei Schlackenproben konnte kein Asbest nachgewiesen werden. Im Gegensatz zum Fund eines Forsterit-Fragmentes in der Schlackentestprobe konnte in keiner der Proben aus dem Versuch Forsterit, d. h. umgewandeltes Chrysotil nachgewiesen werden.

Tabelle 10: Analyseergebnisse Schlackeproben 23.3.2017

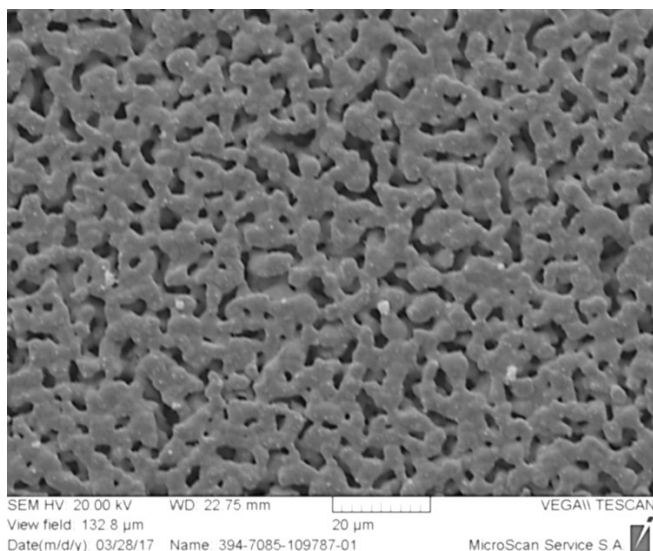
Probe Schlacke, Zeit	Analyse Geopro	Analysergebnis
23.3. F5: Schlacke, 18.25–19.25 h	35927	Asbest nicht nachgewiesen
23.3. F6: Schlacke, 19.25–20.25 h	35362	<b>Asbest nachgewiesen</b> (Anthophyllit; < 1 % [Spuren])
23.3. F7: Schlacke, 20.25–21.25 h	35363	<b>Asbest nachgewiesen</b> (Chrysotil; < 1 % [Spuren])
23.3. F8: Schlacke, 21.25–22.25 h	35364	<b>Asbest nachgewiesen</b> (Chrysotil; < 1 % [Spuren])
23.3. F9: Schlacke, 22.25–23.25 h	35365	Asbest nicht nachgewiesen
23.3. F10: Schlacke, 23.25–24.00 h	35366	Asbest nicht nachgewiesen

## 4.5 Emissionsmessungen Reingas

Die Ergebnisse der Analyse (Microscan) der drei Filter vom Reingas sind in Tabelle 11 eingetragen. In keinem der Filter konnten lungengängige Asbestfasern (LAF) festgestellt werden. Die Analyse erfolgte gemäss VDI 3492 mit REM und EDX. Auf den Filtern konnten weder grössere Asbestfasern noch andere Fasern festgestellt werden. Die Belegung der Filter mit Partikeln war gering und es fanden sich lediglich sehr kleine Partikel auf der Filteroberfläche (siehe Foto unten Filter Nr. 8).

Tabelle 11: Analyseergebnisse Reingasproben vom 20. und 23.3.2017

Bezeichnung	Datum / Zeit	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Asbest (LAF)	Andere Fasern
Filter Nr. 7	20.3.2016 / 17.32–18.47 h	1.130	< 323	< 323
Filter Nr. 8	23.3.2016 / 17.10–18.25 h	1.276	< 286	< 286
Filter Nr. 9	23.3.2016 / 18.39–19.54 h	1.276	< 286	< 286



Belegung Filter Nr. 8 (Hauptversuch)

## 4.6 Weitere Beobachtungen

Bei den Probenahmen am 23. März 2017 wurde am Förderband Schlackenaustrag ein verdächtiges grösseres (ca. 10 \*5 cm) rotes Kunststoffstück, welches wie Bodenbelag aussah, gefunden. Dieses erwies sich aber in der Analyse als nicht asbesthaltig (Analyse Geopro Nr. 34639) sondern zeigte Rückstände von Glaswolle. Da es keine Hinweise auf rote Bodenbeläge in den zugegebenen Fraktionen gibt (PVC-Beläge: graublau; Cushion-Vinyl Bern: graugrün gemustert), kann dieses Stück aus dem Normalkehricht stammen.

Seitens des GEVAG wurde während des Versuches im unteren Ofenbereich ein unverbranntes Stück Deckenplatte (siehe Foto unten) gefunden und fotografiert, welches aber am Schlackenaustrag nicht wiedergefunden werden konnte. Da Deckenplatten meist aus einer Mischung von Holzspänen und mineralischem Bindemittel bestehen, sind sie (ähnlich wie Holzzement) eigentlich für die Verbrennung nicht geeignet.



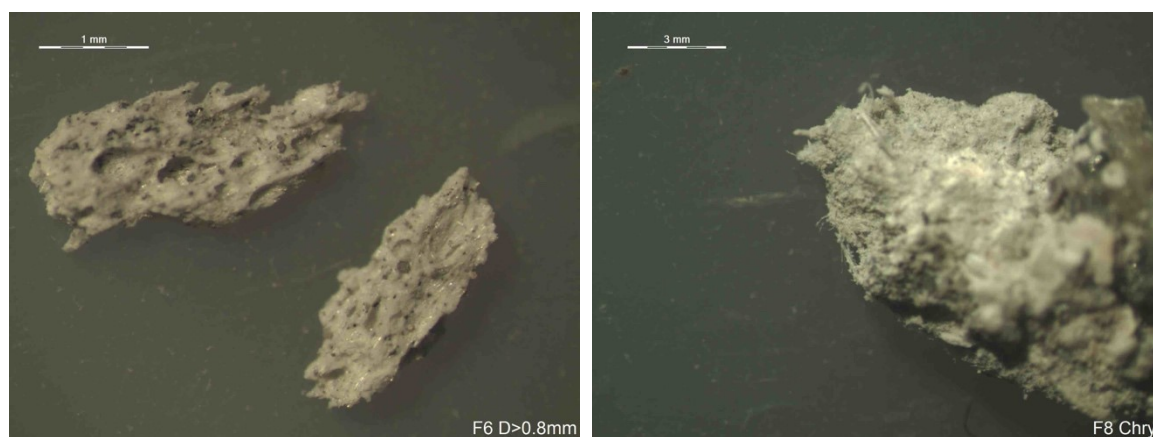
Unverbrannte Deckenplatte

Herr Ruedi Staubli vom GEVAG hat am Morgen nach dem Versuch (24.3.2017) im groben Eisenaustrag ein grösseres verdächtiges Fragment aus faserigem Material gesichtet. Der Zeitpunkt des Austrages konnte nicht festgestellt werden. Leider wurde das Stück irrtümlicherweise von einem Mitarbeiter entsorgt oder wieder in den Ofen gegeben. Somit konnte es nicht untersucht und beurteilt werden. Möglicherweise war dieser Fund ein Stück unvollständig verbranntes Cushion-Vinyl.

In den von der Geopro AG untersuchten Proben wurden relativ viele künstliche Mineralfasern (KMF) wie Glasfasern etc. sowie vereinzelt organische Fasern gefunden. Da auf eine Quantifizierung dieser Bestandteile und vergleichende Untersuchung von normaler Schlacke verzichtet wurde, ist offen ob dies für Schlacke, Flugasche und Kesselstaub normal ist. Tatsächlich wurde mit in einer Fraktion der Asbestabfälle auch Glasfasern ins System gebracht. Im Analysenbericht (AA-Test 103009) der Rohrleitungsisolierungen aus Bülach ist festgehalten, dass die Isolierungen, neben Amosit- und Chrysotilasbest auch Glasfasern und organische Fasern enthielten.

## 4.7 Morphologie der Proben

Die Ergebnisse der Analysen zeigen insgesamt, dass Fragmente, welche vermutlich aus den zugegebenen Materialien stammen, gefunden werden konnten. So wurde in der Schlacke ein unvollständig verbranntes Bodenbelagsstück mit Anthophyllit-Asbest (Materialinput rund 3.1 Tonnen PVC mit Anthophyllit) gefunden. In Schlacke wie im Kesselstaub wurden Mörtelreste mit den typischen Strukturen von Rohrleitungsisolationen (siehe Fotos), aber ohne Faserrückstände gefunden. Die beiden Funde von Chrysotil-Asbest konnten nicht eindeutig einem der zugegebenen Materialien zugeordnet werden, da entsprechende Anhaftungen fehlten.



Asbest in Schlackenproben (links Bodenbelag mit Anthophyllit, rechts unbekanntes Partikel mit Chrysotil)



Künstliche Mineralfasern (KMF) in der Schlacke (Proben F6 und F10)



Kesselasche/E-Filterstaub Probe G17: Übersicht und grössere Mörtel-Partikel (Rohrleitungsisolationen)

## 4.8 Arbeitsplatzmessungen

Die Analysen der Luftproben die an den Arbeitsplätzen gesammelt wurden, zeigten nur in einer Probe einen positiven Asbestbefund (siehe Analysenbericht Microscan). In allen andern Proben lagen die Konzentrationen unter den entsprechenden Nachweisgrenzen. Die Probenahme, welche am 23.3.2017 während der Beladung im Bunker 2 stattfand, zeigt eine Asbestkonzentration von 996 LAF. Bei der nachgewiesenen Faser handelt es sich um Chrysotilasbest.

In allen Proben wurden, wie in Tabelle 12 ersichtlich, Gips und andere Mineralfasern nachgewiesen. Trotz der Beladung des Trichters mit dem Kran, welche mit einer teilweisen Beschädigung der BigBags einherging, lag die gemessene Asbest-Konzentration im Bunker 2 noch Faktor 10 unter dem entsprechenden MAK.

**Tabelle 12: Ergebnisse Arbeitsplatzmessungen währen der Versuche (MAK 10'000 LAF/m<sup>3</sup>)**

Standort / Messung	Datum Zeit	Asbest LAF/m <sup>3</sup>	Gips	Sonstige Mineralfasern
Schlackenausrag / S20/1	20.3.2017 19.20–22.32 h	< 998 LAF	4'992	1'997
Schlackenausrag / S23/1	23.3.2017 18.25–24.00 h	< 546 LAF	4'369	1'092
Bunker 2 / B20/1	20.3.2017 12.00–15.00 h	< 1'000 LAF	8'003	6'002
Bunker 2 / B23/1	23.3.2017 17.10–19.06 h	<b>996</b> LAF	2'987	3'983
Transport Reto Berger	20.3.2017 13.00–15.36 h	< 1'000 LAF	4'002	< 1'000
Transport Reto Berger	23.3.2017 13.17–14.37 h	< 999 LAF	13'986	10'989
E-Filter	23.3.2017 17.10–21.37 h	< 684 LAF	1'368	684

## 5 Beurteilung und Diskussion

### 5.1 Umwelt- und Gesundheitsschutz

Erfreulicherweise zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Messungen, dass aus den Verbrennungsversuchen keine Asbestfasern in die Umwelt gelangten. Im Reingas konnten keine Asbestfasern nachgewiesen werden. Da die Nachweisgrenze dieser Messung deutlich unter dem Richtwert für die Allgemeinbevölkerung (1'000 Lungengängige Fasern /m<sup>3</sup>) liegt, kann daraus geschlossen werden, dass keine gesundheitlich relevante Menge in die Umgebung der KVA gelangten.

Der Versuch hat auch gezeigt, dass ein Handling solcher Abfälle ohne Faserfreisetzung in den Arbeitsbereichen möglich ist, wenn darauf geachtet wird, dass die Abfälle in doppelten, sauber verschlossenen und unbeschädigten BigBags angeliefert werden. Beim Handling der Abfälle ist in jedem Fall eine sorgsame Arbeitsweise mit entsprechender PSA als Sicherheit notwendig.

### 5.2 Stoffflussbetrachtungen

Mit Blick auf die Ergebnisse der Analytik der Feststoffproben stellt sich die Frage, ob die bei dem Verbrennungsversuch zu erwartende Asbestkonzentration überhaupt oberhalb der Nachweisgrenze liegt. Daher werden für die Schlacke vier Stoffflussszenarien (Basis Hauptversuch vom 23.3.2017) betrachtet und hochgerechnet. Allen vier Szenarien liegt die Annahme zu Grunde, dass Asbestfasern durch den Prozess in der KVA nicht umgewandelt werden, folglich also nur eine Aufkonzentrierung durch die Verbrennung der organischen Anteile stattfinden würde. Die vier Stoffflussszenarien unterschiedlicher Komplexität werden im Folgenden kurz beschrieben. Die Berechnung der gemäss den verschiedenen Szenarien zu erwartenden Konzentrationen sowie eine Aufstellung der getroffenen Annahmen für die verschiedenen Szenarien sind im Anhang 3 zu finden.

Die Resultate zur Verteilung von nanoskaligem Ceroxid aus den Untersuchungen von Walser et.al (2012) wurden für eine Stoffflussbetrachtung im Reingas verwendet. Für die erwarteten Konzentrationen im Quench- und Neutralwasser wurden keine Berechnungen angestellt. Da die beiden Quench- und das Neutralwasser in einem geschlossenen Kreislauf mit regelmässigem Abstoss geführt werden, ist es schwierig, zu den Waschwasserkonzentrationen Hochrechnungen hinsichtlich der zu erwartenden Asbestkonzentrationen durchzuführen. In den sauren und heissen Quenchwässern wäre zudem auch eine Auflösung von Asbestfasern möglich.



## 5.2.1 Zu erwartende Asbestkonzentrationen in der Schlacke

### (1) Basisszenario

Für das Basisszenario wurde angenommen, dass die während des Versuches am 23. März 2017 zugegebene Asbestmenge vollständig in der Schlacke landet. Die Länge des Zeitfensters, in dem die Asbestmenge in der Schlacke auftritt, entspricht der zeitlichen Verteilung der Zugabe im Trichter. Es findet also keine zeitliche Verschmierung statt. Bei diesem Szenario würde die Asbestkonzentration in der Schlacke rund 5–6 % betragen.

### (2) Verteilung Asbest analog Versuch mit Ceroxid<sup>6</sup>

Für dieses Szenario wurde eine Verteilung der gesamten Asbestmenge gemäss dem Versuch mit nanoskaligem Ceroxid (Walser et al 2012) angenommen. Dabei wurden der tiefsten Werte für Schlacke (53 %) bzw. für Flugasche (19 %) verwendet. Bei diesem Szenario würde die erwartete Asbestkonzentration in der Schlacke rund 3–4 % und in der Flugasche rund 10 % betragen.

### (3) Zeitliche Verschmierung einer Spitzenfracht

Bei diesem Szenario wird angenommen, dass die am 23.3.2017 während 10 Minuten aufgegebene Spitzenfracht (70 kg Asbest) in einer zeitlichen Verschmierung über drei Stunden in der Schlacke ausgetragen wird. Bei diesem Szenario würde die erwartete Asbestkonzentration in der Schlacke rund 1.6 % betragen.

### (4) Zeitliche Verschmierung einer Spitzenfracht mit Verteilung Asbest analog Ceroxid

Wie beim dritten Szenario wird hier eine zeitliche Verschmierung der am 23.3.2017 während 10 Minuten aufgegebenen Spitzenfracht (70 kg Asbest) über drei Stunden angenommen. Zusätzlich wurde wie im zweiten Szenario eine Verteilung gemäss dem Versuch mit nanoskaligem Ceroxid (Walser et al, 2012) angenommen.

Bei diesem Szenario beträgt die erwartete Asbestkonzentration in der Schlacke rund 0.8 %.

Von den vier betrachteten Szenarien liegt die zu erwartende Asbestkonzentration in der Schlacke am tiefsten. Geht man wie im vierten Szenario davon aus, dass die Spitzenfracht drei Stunden nach Eintritt der 70 kg Asbest in den Feuerraum in der Schlacke auftritt, zu 53 % in die Schlacke wandert und sich auf drei Stunden verteilt, wäre zwischen 19.30 und 22.30 Uhr eine Konzentration von ca. 0.8 % zu erwarten, was die Nachweisgrenze von 0.1 % um fast das Zehnfache übersteigt. In diesem Zeitraum wurden Schlackenproben im Umfang von ca. 30 kg entnommen. Würden die Asbestfasern ohne Umwandlung in der Schlacke landen, müssten im beprobten Material (Proben F7, F8, F9) folglich rund 250 g Asbest enthalten sein. Eine entsprechende Konzentration konnte trotz sorgfältiger Homogenisierung, Auftrennung in zwei Grössenfraktionen und Säureaufschluss der Proben nicht gefunden werden.

---

<sup>6</sup> Walser, T. et al: „Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant“; Nature Nanotechnology, May 2012

### 5.2.2 Zu erwartende Asbestkonzentrationen im Reingas

Bei den Emissionsmessungen in Buchs wurden auf den Filtern der Reingasproben ebenfalls keine Asbestfasern und nur eine geringe Belastung mit Partikeln festgestellt. In Walser et al (2012) wurde eine Emission von 0–0.0004 % der eingebrachten Menge für nanoskaliges Cer im Reingas nachgewiesen. Bei einem Input von rund 100 kg Asbestfasern pro Stunde wären dies im Reingas maximal 400 mg Asbestfasern pro Stunde. Dies entspricht einer Konzentration von maximal  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Reingas (beim Abluftstrom von  $40'000 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Eine lungengängige Asbestfaser mit Länge  $9 \mu\text{m}$  und Durchmesser  $3 \mu\text{m}$  hat ein Gewicht von etwa 250 pg. Basierend auf diesen Dimensionen wären im Reingas mit  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Asbest rund  $40'000 \text{ LAF}/\text{m}^3$  zu erwarten.

Die folglich im Reingas zu erwartende Menge an lungengängigen Asbestfasern übertrifft die Nachweisgrenze um das Hundertfache. Die Messwerte liegen jedoch unter der Nachweisgrenze. Die Asbestkonzentration im Reingas ist also deutlich tiefer als der 2012 von Walser et al. im Reingas gemessene Anteil an den Cer-Emissionen<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Der Anteil von 0.0004 % Cer im Reingas resultierte beim erwähnten Versuch mit in den Feuerraum eingedüstem Ceroxid, beim Versuch mit auf Abfall aufgesprühtem Ceroxid wurde kein Ceroxid im Reingas gefunden.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

Im untersuchten Output der Anlage konnte lediglich in drei Schlackenproben Asbest nachgewiesen werden. Gemäss den erwarteten Verweilzeiten wären am 23.3.2017 bei T0, 17.50 Uhr und einer Zugabezeit von 1.75 Stunden, die Asbestrückstände in der Schlacke von 20.50 bis 23.30 Uhr zu erwarten gewesen. Die drei Schlackenproben mit Asbestrückständen decken einen Zeitraum von 3 Stunden d. h. von 19.25 bis 22.25 Uhr ab. Vergleicht man die Angaben des GEVAG mit dem Zeitraum der Positivbefunde in der Schlacke, scheint es, dass die Rückstände etwas früher am Schlackenaustrag ankommen als abgeschätzt.

Die gefundenen Asbestkonzentrationen in den drei Schlackenproben liegen deutlich unter 1 %. Dies bedeutet, dass in diesen drei Proben (3 mal 1 Stunde) keine signifikanten Konzentrationsunterschiede festgestellt wurden. In der Probe davor und in den beiden Proben danach wurde kein Asbest nachgewiesen.

Aus den Berechnungen der verschiedenen Szenarien (siehe Kapitel 5.1) resultieren erwartete Konzentrationen zwischen 0.8 % (Worst case – nur Spitzenbelastung 10 Minuten mit 70 kg Asbest verschmiert auf 3 Stunden am Austrag) und 4.1 % (ganze Belastung wird gleichmässig auf die Schlacke verteilt). Je nach Szenario liegt die gemessene Konzentration von unter 0.1 % also um einen Faktor 8 bis 40 unter der erwarteten Konzentration. Als mögliche Ursachen zur Erklärung der Diskrepanzen stehen vier Hypothesen bzw. eine Kombination davon, im Vordergrund:

1. Der Asbestgehalt in der Abfallfraktion lag deutlich unter den Erwartungen
2. Die Asbestrückstände sind im System verblieben
3. Die Asbestfasern sind im Output zeitlich und/oder räumlich unregelmässig verteilt und deshalb schwer nachweisbar
4. Die enthaltenen Asbestfasern wurden umgewandelt

Tatsächlich ist es schwierig, die im Abfall enthaltenen Mengen an Asbest zu quantifizieren. Basierend auf Einzelproben werden die Asbestgehalte von Baumaterialien im Labor quantifiziert. Mit den Analyseverfahren ist es lediglich möglich, Konzentrationsbereiche anzugeben. Dies ist eine erste Unsicherheit – für die Berechnungen haben wir den Mittelwert des angegebenen Bereiches verwendet. Die Unsicherheit bei den drei grossen Materialfraktionen liegt aus dieser Berechnung bei maximal Faktor 5 weniger bis Faktor 2 mehr als die berechneten Asbestmengen. Für die Cushion-Vinyl-Fractionen sind die möglichen Abweichungen geringer (+/-10 %).

Inwieweit auf der Baustelle die Abfälle homogen anfallen bzw. mit den Materialien auch grössere Mengen von unbelasteten Baustoffen entfernt und in die BigBags abgefüllt wurden, ist unbekannt. Die Unternehmer wurden gebeten, möglichst sortenreine asbesthaltige Abfälle anzuliefern. Insgesamt ist es unwahrscheinlich, dass die Abfälle der drei Grossfraktionen, welche von verschiedenen Unternehmen angeliefert wurden, alleamt tiefere Mengen an asbesthaltigen Materialien enthielten. Auch bei der Fraktion mit den hohen Asbestgehalten von zwei Lieferanten ist es unwahrscheinlich, dass die Mengen deutlich unter den angegebenen Werten lagen. Insgesamt schätzen wir die mögliche Zumischung anderer Abfälle auf etwa 10–20 %.

Es ist grundsätzlich denkbar, dass Asbest im System „hängenbleibt“. Es könnte, wie im Fall der teilweise verbrannten Deckenplatte, unvollständig verbrennen und deshalb auf die Seite gebracht bzw. wieder der Verbrennung zugeführt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass sich asbesthaltige Rückstände zusammenballen und ebenfalls im System hängenbleiben. Bei den PVC-Bodenbelägen und den Rohrleitungsisolationen sind die Asbestfasern in geringen Konzentrationen (0.1–5 %) und fein im Material verteilt vorhanden. Eine Zusammenballung von Asbestfasern ist daher unwahrscheinlich. Bei den Cushion-Vinyl Bodenbelägen wäre eine Zusammenballung denkbar, da die asbesthaltigen Rücken einen Zusammenhalt haben und sich beispielsweise an geeigneten metallischen Rückständen anhaften könnten. Tatsächlich wurde dazu ein verdächtiges Stück gefunden. Dieses hatte jedoch gemäss Angaben von Herrn Staubli (GEVAG) kein solch grosses Gewicht, dass damit ein wesentlicher Anteil der rund 70 kg asbesthaltigen Cushion-Vinylrückens erklärt werden könnte.

Für eine zeitlich und räumlich unregelmässige Verteilung von Asbestfasern in den Outputfraktionen, scheint es auch nach Diskussion mit den Anlagebetreibern keine plausiblen Gründe bzw. Analogien zu geben.

Für die Umwandlung von Chrysotil sind in der Literatur unterschiedliche Angaben vorhanden – für die Denaturierung finden sich Temperaturangaben von 400 bzw. 520 °C (OVAM 2016, Gerken 2004) bis zu 700 bis 800 °C (Kusiorowski et. al 2012). Für Blau- und Braunasbeste liegen die Temperaturen höher, die entsprechenden Werte reichen von 800 bis 1'000 °C.

Es ist nicht genügend genau bekannt, welchen Konditionen die Fasern im Feuerraum der KVA ausgesetzt waren. Es kann davon ausgegangen werden, dass Temperaturen von 500 bis 900 °C erreicht werden. Offenbar wird es im Feuerraum punktuell auch heisser, eine Temperatur von 1'250 °C wird in Schuhmacher S. et. al (2017) zwischen Feuerraum und 1. Zug angegeben. Je nach Brenngut und Matrix in der sich die Asbestfasern befinden, sind im Feuerraum auch chemische Reaktionen mit Pyrolysegasen oder Säuren, insbesondere mit HCL aus PVC denkbar.

Dass keine einzige Asbestfaser in den Proben der Kesselasche/Elektrofilterstaub bzw. am Emissionsmessstandort vor dem E-Filter gefunden wurde ist erstaunlich. Da in diesen Fraktionen künstlichen Mineralfasern (z. B. Glasfasern) sowie mineralischen Fragmente von Rohrleitungsisolationen gefunden wurden, wären auch Asbestfasern zu erwarten gewesen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Asbestfasern im Feuerraum der KVA zumindest teilweise umgewandelt werden. Die Temperaturen für eine Umwandlung von Chrysotil werden erreicht, der untere Temperaturbereich für eine Umwandlung der Amphibolasbeste ebenso. In der Untersuchung der Schlacken-Testprobe wurde ein Stück aus Chrysotil umgewandeltes Stück Forsterit gefunden. Bei diesem Fund in der Testprobe der Schlacke scheint es sich um einen Glücksfall gehandelt zu haben, zumal gemäss Geopro AG, Forsterit infolge seiner Sprödhheit rasch zerfällt. Leider konnte bei den Versuchen kein weiterer solcher Fund mehr gemacht werden. Neben den Temperaturen, welche mindestens eine Teilumwandlung erklären, ist zu beachten, dass das bei der Verbrennung der PVC-haltigen Materialien entstandene HCL-Gas ebenfalls einen Beitrag zur Umwandlung der Asbestfasern geleistet haben könnte.

## 5.4 Empfehlungen

Die Durchführung eines weiteren ähnlichen KVA-Versuchs, um diese und weitere offene Fragen zu den Hypothesen zu prüfen, erscheint wenig sinnvoll und zu aufwendig. Da mit den Versuchen gezeigt werden konnte, dass im Reingas keine nachweisbaren Asbestfasern in die Umwelt gelangen und bei entsprechendem Handling auch die Arbeitsplätze nicht belastet werden, erscheint es möglich, in 1 bis 3 geeigneten Pilotanlagen die Entsorgung von brennbaren asbesthaltigen Materialien mit geringen Asbestanteilen (< 10 %) in brennbarer Matrix wie z. B. PVC-Bodenbeläge, kontaminiertes Holz, Rohrleitungsisolierungen, Zoneninstallationen etc. versuchsweise zuzulassen. Da Risiken primär beim Handling mit dem Materialinput, das heisst einer allfälligen Kontamination der Lufträume, erkennbar sind, ist in solchen Pilotanlagen ein adäquater Arbeitnehmerschutz sowie ein Dispositiv für den Havariefall unerlässlich.

Materialien wie Deckenplatten oder Akustikplatten mit mineralischem Bindemittel erscheinen aufgrund ihres Brandverhaltens eher ungeeignet, wie auch die Erfahrung in Trimmis zeigte. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass in Einzelfällen auch solche Fraktionen in die KVA gelangen können. Eine klare und deutliche Kommunikation darüber, welche Arten von asbesthaltigen Abfällen zugelassen sind, ist also unumgänglich. Die Verbrennung von grösseren Mengen an höherkonzentrierten Materialien, insbesondere wenn der Asbest in Schichten oder Geweben (Cushion-Vinyl) vorhanden ist, sollte bis auf weiteres überwacht und mit Fokus zur Prüfung der Hypothese 2 (Überwachung Output Schlacke nach Geweberückständen/-ballungen) erfolgen.

Bei der Auswahl der KVAs für diese Pilotphase sollten Anlagen bevorzugt werden, welche über eine möglichst direkte Aufgabe der asbesthaltigen Abfälle in den Ofen bzw. Trichter und ab Bunkerabwurf eine in die Anlage geführte Luftströmung verfügen. Während der versuchsweisen Zulassung sollte basierend auf den offenen Fragen und bisherigen Erkenntnisse ein geeignetes Monitoring definiert und ausgeführt werden. Mit den Ergebnissen dieser Überwachung kann danach ein Entscheid über die Weiterführung getroffen werden.

Die Messungen an den Arbeitsplätzen in der KVA Trimmis zeigten, dass in der Luft in den untersuchten Bereichen ausserhalb des Bunkers 2 keine Asbestfasern gefunden werden konnten. Ein Unterschied zwischen Versuch und Vorhermessungen konnte nicht gefunden werden. Auch bei den Arbeitsplatzmessungen in der KVA Buchs (Suva 2016) wurden ausserhalb des staubigen Bereiches Bunker/Trichter keine Asbestfasern in der Luft gefunden. Trotz dieser guten Messwerte muss davon ausgegangen werden, dass bereits heute regelmässig asbesthaltiges Material via KVA entsorgt wird. Daraus kann es, insbesondere bei der Anlieferung, zu kurzen Spitzenbelastungen in der Luft kommen. Wenn einzelne KVAs für gewisse asbesthaltige Abfälle als Entsorgungsweg zugelassen werden, sind weitere mit der Suva abgesprochene, Arbeitsplatzmessungen empfehlenswert.

Zur Frage, ob es wahrscheinlich ist, dass im Feuerraum der KVA eine wesentliche Menge Asbest umgewandelt wird, gibt es kontroverse Diskussionen. Es wäre zu wünschen, dass angewandte Forschung zu dieser Frage zumindest qualitative Informationen beisteuert. Dies auf Basis von Versuchsergebnissen, welche annähernd die thermische und chemische Situation in einem KVA Feuerraum bei Verbrennung einer ähnlichen Fraktion abbilden.

# Quellenverzeichnis

- Carbotech AG 2016a: „Emissionsmessung von Asbestfasern in der Kehrichtverbrennungsanlage Buchs, Aargau“ Bericht im Auftrag des BAFU vom 13.7.2016
- Carbotech AG 2016b: "Versuchskonzept Verbrennung asbesthaltiger Abfälle in der KVA Trimmis" Bericht im Auftrag des BAFU vom 19.10.2016
- Carbotech AG 2017a: „Kurzbericht: 563.57 GEVAG – Messungen an Arbeitsplätzen: lungengängige Asbestfasern“ 7. Februar 2017, im Auftrag des BAFU
- Carbotech AG 2017b: „Kurzbericht: 563.57 GEVAG – Messungen an Arbeitsplätzen: Staub und Metalle“ 27. Februar 2017, im Auftrag der GEVAG
- Gerken, Anke Jordan (2004): „Entsorgung von Asbestabfällen durch mechanische Faserzerstörung“; Dissertation TU Clausthal
- Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J., Adamek J. (2012): "Thermal decomposition of different types of asbestos"; J Therm Anal Calorim (2012) 109:693–704
- Noxaquant (2015): „GEVAG Kehrichtverbrennungsanlage Untervaz – Emissionsmessung Ofenlinie 2“; Bericht vom 21.10.2015
- OVAM (2016): "State of the art: asbestos – possible treatment methods in Flanders: constraints and opportunities" [www.ovam.be](http://www.ovam.be)
- Schuhmacher S., Lindermann B., Stahlmeckse B., Khot A., van der Zwaag T., Nordsiek H., Warnecke R, Asbach C.; (2017): Charakterisierung korrosionsrelevanter Partikel im Feuerraum und Kessel von Müllverbrennungsanlagen“; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 77 (2017) Nr. 5, Mai
- Suva (2016): "Asbestfasermessungen während der Verwertung von Alt-Bauholz und Laborproben-Abfällen in der Kehrichtverbrennungsanlage“; Messbericht 16.0077/1.21L
- Walser, T. et al. (2012): „Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant“; Nature Nanotechnology, May 2012

Für die Carbotech AG

sign. Kurt Schläpfer

## **A1 Betriebsdaten KVA während Versuche**

## A2 Analysenberichte



## A3 Ergänzungen zu den Szenarien der Stoffflussbetrachtungen

### Szenario 1: Basisszenario

Annahmen:

- Keine zeitliche Verschmierung – Zeitspanne der Aufgabe entspricht Zeitspanne des Austrags
- Nur die Abfälle die zwischen 17.00 und 18.45 Uhr in den Trichter gelangen werden betrachtet
- Gleichmässige Asbestkonzentration
- Gesamte Asbestmenge landet in der Schlacke
- Anteil Schlacke von Abfallmenge:  $1'500 \text{ kg} / 7'500 \text{ kg} = 20 \%$

Berechnung der in der Schlacke zu erwartenden Konzentration:

- Abfallmenge Total (17.00–18.45 h): 16'000 kg
- Asbestmenge Total (17.00–18.45 h): 178 kg
- Schlackenmenge Total:  $0.2 * 16'000 \text{ kg} = 3'200 \text{ kg}$
- Erwartete durchschnittliche Konzentration in der Schlacke: 5.6 %

### Szenario 2: Verteilung Asbest analog Versuch mit Ceroxid

Annahmen:

- Keine zeitliche Verschmierung-Zeitspanne der Aufgabe entspricht Zeitspanne des Austrags
- Nur die Abfälle die zwischen 17.00 und 18.45 Uhr in den Trichter gelangen werden betrachtet
- Gleichmässige Asbestkonzentration
- Verteilung der Asbestmenge analog Ceroxid-Versuch, keine Umwandlung von Asbest
- Anteil Ceroxid in Schlacke: 53–81 %
- Anteil Ceroxid in Flugasche: 19–45 %
- Gewicht Flugasche Total:  $150 \text{ kg} / 7'500 \text{ kg} * 16'000 \text{ kg} = 320 \text{ kg}$

Berechnung der zu erwartenden Konzentration:

- Konzentration in Schlacke bei einem Anteil von 53 %:  $0.53 * 178 \text{ kg} / 3'200 \text{ kg} * 100 = 3.7 \%$
- Konzentration in Flugasche bei einem Anteil von 19 %:  $0.19 * 178 \text{ kg} / 320 \text{ kg} * 100 = 10.6 \%$

### Szenario 3: Zeitliche Verschmierung einer Spitzenfracht

Annahmen:

- Weg der Spitzenfracht wird betrachtet: 70 kg Asbest um 17.10 Uhr
- Die zusätzlich verbrannten Mengen mit tiefem Asbestgehalt wurden nicht betrachtet → die wahre Konzentration müsste also noch höher liegen
- T0: Eintritt 70 kg Asbest in Feuerraum
- T3 bis T6: Austritt der Fraktion als Schlacke → Asbestmenge verteilt auf 3 Stunden Schlackenaustritt
- Verbrannte Abfallmenge konstant bei 7'500 kg/h → Schlacke entsprechend bei 1'500 kg/h
- Gesamte Asbestmenge landet in Schlacke

Berechnung der zu erwartenden Asbestkonzentration in der Schlacke zwischen T3 und T6:

- $70 \text{ kg} / (3 \text{ h} * 1'500 \text{ kg/h}) * 100 = 1.6 \%$
-

#### Szenario 4: Zeitliche Verschmierung einer Spitzenfracht mit Verteilung Asbest analog Ceroxid

Annahmen:

- Weg der Spitzenfracht wird betrachtet: 70 kg Asbest um 17.10 Uhr
- Die zusätzlich verbrannten Mengen mit tiefem Asbestgehalt wurden nicht betrachtet → die wahre Konzentration müsste also noch höher liegen
- T0: Eintritt 70 kg Asbest in Feuerraum
- T3 bis T6: Austritt der Fraktion als Schlacke → Asbest verteilt sich auf drei Stunden Schlackenaustritt
- Verbrannte Abfallmenge konstant bei 7'500 kg/h → Schlacke entsprechend bei 1'500 kg/h
- Anteil Ceroxid in Schlacke: 53 %

Berechnung der zu erwartenden Asbestkonzentration in der Schlacke zwischen T3 und T6:

- $70 \text{ kg} * 0.53 / (3 \text{ h} * 1'500 \text{ kg/h}) * 100 = 0.82 \%$
-