

Diplomarbeit

**Vorschläge zur
Vermeidung der Staubentwicklung
bei Aschedeponien**

ausgeführt am Institut für
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz

Betreuer: Univ.-Prof. DDI. Dr. techn. Harald Kainz
2. Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. phil Josef Tritthart
Betreuende Assistentin : DI. Dr. techn. Daniela Fuchs

verfasst von
Gerald Gangl
Graz, Juni 2003

Gerald Gangl
Theodor Körnerstrasse 51
A – 8010 Graz

Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die in den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, Juni 2003

*Wie sie lodern, wie sie beben, still verglimmen und verweh'n -
Und ein Stück von meinem Leben seh' in Asche ich vergeh'n.
Welches glühend frische Leben seh' ich in den Flammen treiben -
Und nichts als ein Häuflein Asche soll von all' den Gluten bleiben?*

*Oft ist mir, als müsst ich hüten dich, wie einst, mein sterbend Kind -
Doch ein Luftzug - und die Asche fliegt hinaus in Nacht und Wind!*
(Ada Christen)

Ich bedanke mich bei allen, die mir während meines Studiums und insbesondere in der Zeit der Verfassung meiner Diplomarbeit zur Seite gestanden sind. Besonders möchte ich mich bei meiner inzwischen langjährigen Freundin bedanken, die mich in all den Jahren ertragen aber auch unterstützt hat. Auch bei meinen Eltern will ich mich bedanken, die mir das sorgenfreie Studieren erst ermöglicht haben. Einen besonderen Dank möchte ich auch meinen Freunden Michael, Alex und Gerd, sowie meinen Musikkollegen aussprechen.

Im Weiteren danke ich für die Unterstützung

dem Büro Dr. Schippinger & Partner
im Besonderen Hrn. P. Pichler
der Deponie RHV Großraum Laakirchen
im Besonderen dem Betriebsleiter Stv. Hrn. M. Kriechbaum
der Verbund-Umwelttechnik GmbH Dampfkraftwerk Voitsberg
im Besonderen DI. Dr. W. Schöngrundner und seinen Mitarbeitern
der Verbund-Umwelttechnik GmbH Dampfkraftwerk St. Andrä
meinen Betreuern
Univ.-Prof. DDI. Dr. techn. Harald Kainz
Ao. Univ.-Prof. Dr. phil Josef Tritthart
DI. Dr. techn. Daniela Fuchs

Kurzfassung

Erfahrungen im Betrieb von Aschedeponien haben gezeigt, dass es zu Problemen mit Staubemissionen kommen kann. In der DepVo 1996 wird darauf eingegangen und eine Vermeidung durch geeignete Maßnahmen gefordert.

Neben den rechtlichen Grundlagen und der Beschreibung der Asche allgemein, werden eingangs anhand dreier Beispiele Erfahrungen beim Betrieb von Aschedeponien beschrieben, sowie zwei Vorschläge zur Betriebsoptimierung dargestellt.

Auf die Deponie des RHV Großraum Laakirchen wird speziell eingegangen. Dort wird Asche aus der Wirbelschichtverbrennung der EEVG Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H der Papierfabriken UPM-Kymmene Steyrermühl und SCA Graphic Laakirchen AG abgelagert. Derzeit wird die Staubemission mit einer Bewässerungsanlage reduziert.

Erfahrungen im Betrieb haben gezeigt, dass bereits länger deponierte Asche Wasser besser speichert, als frisch deponierte. Im Labor wurden deshalb Proben von bereits länger deponierter Asche und Proben von Asche die direkt nach der Verbrennung genommen wurde untersucht.

Wie die Ergebnisse gezeigt haben wirken sich die Schwankungen im Brennstoffeinsatz deutlich auf die Eigenschaften aus. Derzeit ist wegen des hohen CaO-Gehaltes keine Optimierung notwendig, bei einer Änderung der Eigenschaften werden aber eine Abdeckung mit einer erhärtenden Schicht aus einer Bentonit-, Zement-, Gipssuspension vorgeschlagen, sowie einer Grünschnittabdeckung für den Lärmschutzwall.

Abstract

Experiences in ash-deposition have shown, that problems with dust emissions are possible. This problem is also mentioned in the DepVo 1996, where possibilities for reducing the dust emission are demanded.

Next to the basics regarding the law and the description of various ash-types, the experiences in ash-deposition are described and two solutions in optimizing the deposition are explained.

On the landfill of Laakirchen and its surrounding areas ashes from the fluid bed reactor of the EEVG Entsorgungs- & Verwertungsges. m. b. H from the paper mills UPM - Kymmene Steyrermühl and SCA Graphic Laakirchen AG are deposited.

At present the dust emission is reduced with an irrigation system.

As the experiences in ash-deposition on the landfill in Laakirchen have shown, the ash which is longer deposited can store water much better than the new ash.

Therefore, analyses were made in the laboratory from the new ash and from ashes which were deposited more then eight month, to find out the differences.

The results have shown that the fluctuation in application of various combustibles has an important influence in the quality.

At present, belonging to the high amount of CaO, an optimization in deposition is not necessary. If the quality changes, the best solution would be a layer of bentonite-, cement-, or gypsum-suspension which is getting hard after drying up. For the dam surrounding the landfill the suggestion is a cover out of grass.

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	C
INHALTSVERZEICHNIS	E
1. VERANLASSUNG UND ZIEL	1
2. GRUNDLAGEN	3
2.1. Rechtliche Grundlagen für den Abfalleinbau.....	3
2.1.1. Gesetze und Verordnungen	3
2.1.1. ÖNORMEN.....	5
2.2. Übersicht über Verbrennungsprozesse	9
2.2.1. Wirbelschichtöfen.....	9
2.2.2. Biomassefeuerungsanlagen	10
2.3. Zusammensetzung der Asche	12
2.3.1. Definitionen.....	12
2.3.2. Chemische Reaktionen	13
2.3.3. Zusammensetzung der Asche aus Biomassefeuerungsanlagen	14
2.3.4. Zusammensetzung der Asche aus der Wirbelschichtverbrennung Steirermühl AG.....	17
2.3.5. Zusammensetzung der Asche aus dem Dampfkraftwerk Voitsberg.....	19
2.3.6. Zusammensetzung der Asche aus dem Dampfkraftwerk St. Andrä	21
2.3.7. Zusammenhänge und Schlussfolgerungen	22
2.4. Möglichkeiten für eine Optimierung der Aschedeponierung anhand der Deponie Düsseldorf.....	23
2.4.1. Anfeuchten und anschließende Trocknung	25
2.4.2. Zumischen von Hochofenzement (HOZ)	26
2.4.3. Zumischen von Rostasche	27
2.5. Möglichkeiten für eine Optimierung der Aschedeponierung anhand der Deponie Landshut.....	28
3. DARSTELLUNG DER ERFAHRUNGEN MIT ASCHEDEPONIERUNGEN AN HAND VON BEISPIELEN.....	29
3.1. Aschehalde Voitsberg.....	29
3.2. Aschedeponie St. Andrä	32

4.	UNTERSUCHUNGEN AUF DER DEPONIE LAAKIRCHEN.....	34
4.1.	Ausgangssituation.....	34
4.2.	Überlegungen zur Staubreduzierung	39
4.2.1.	Abdecken der Asche mit einer PP-Folie.....	39
4.2.2.	Abdecken der Asche mit verrottbaren Matten.....	40
4.2.3.	Abdeckung der Asche mit Grünschnitt	41
4.2.4.	Aufbringung einer erhärtenden Schutzschicht.....	42
4.2.5.	Aufbringung einer klebenden Schutzschicht	45
4.3.	Durchgeführte Untersuchungen	46
4.3.1.	Ausgangslage.....	46
4.3.2.	Durchgeführte Untersuchungen.....	48
a.)	Sorptionsmessungen (BET) zur Bestimmung der inneren Oberfläche.....	48
b.)	Freikalkmessung nach ÖNV 254:1997.....	51
c.)	Wassereindringversuch.....	53
d.)	LUMOSSED – Analyse.....	58
5.	SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK.....	62
5.1.	Schlussfolgerungen für die Deponie Laakirchen.....	62
5.2.	Zukünftige Situation	64
	LITERATURVERZEICHNIS	67
	TABELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	68

1. Veranlassung und Ziel

In der Deponieverordnung 1996, BGBl. 164, welche die Umsetzung der Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes regelt, sind vier Deponietypen festgelegt. Die Grenzwerte die einzuhalten sind und die Verbote die zu berücksichtigen sind haben dazu geführt, dass eine verstärkte Verbrennung von Abfall eingetreten ist und auch weiterhin eintreten wird. Ein wichtiger Punkt dahingehend ist im Abfallwirtschaftsgesetz 2002, BGBl. 102, festgelegt, der besagt, dass vor allem thermische Behandlungskapazitäten berücksichtigt werden sollen.

Da auch im Bereich der Biomasseheizanlagen in den letzten Jahren ein Boom stattgefunden hat, ist es auch da nicht mehr möglich, die gesamten Ascherückstände auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen aufzubringen.

In Zukunft kann es also vermehrt zu Deponierung von Asche kommen.

Da Abfälle, so weit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist, verwertet werden sollen, wird speziell auf Asche aus Biomasseheizanlagen und Asche aus Verbrennungsanlagen eingegangen, in denen kein Hausmüll verbrannt wird. Diese Asche kann vor allem in der Zement- und Ziegelindustrie Verwendung finden, oder als Dünger aufgebracht werden, sofern die gesetzlichen Anforderungen eingehalten werden.

Anhand von Erfahrungen von Deponiebetreibern (Aschehalde Voitsberg, Aschedeponie St. Andrä, Massenabfalldeponie Laakirchen) gibt es im Betrieb von Aschedeponien Probleme mit der Staubentwicklung. Staubemission sind ferner laut Deponieverordnung 1996, BGBl. 164, durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden ist.

Da die Asche weiterverwertet werden soll, fallen verschiedene Möglichkeiten in der Staubreduktion weg, die sich auf Verfestigungen der Asche oder dauerhafte Deponierung beziehen.

Meist beschränken sich die gesetzten Maßnahmen auf die Bewässerung der Asche, um so die Staubemission in den Griff zu bekommen. Erfahrungen im Betrieb haben gezeigt, dass bereits länger deponierte Asche Wasser besser speichern kann.

Auf der Massenabfalldeponie Laakirchen des RHV Großraum Laakirchen wird die Asche aus der Wirbelschichtverbrennung der EEVG Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H der Papierfabriken UPM - Kymmene Steyermühl und SCA Graphic Laakirchen AG deponiert.

Aufgrund der zentralen Lage, die Deponie liegt mitten im Siedlungsgebiet, ist speziell auf ein Verhindern der Staubemission zu achten.

In dieser Diplomarbeit werden Vorschläge diskutiert, diese Staubemission zu verringern. Dafür wurden von unterschiedlich alten Aschen Proben genommen, welche dann im Labor untersucht wurden, um ihre unterschiedliche Merkmale und Eigenschaften zu bestimmen. Aufbauend auf den Untersuchungsergebnissen wurden Lösungsvorschläge für die Deponie erarbeitet.

Die Vorschläge beziehen sich zwar speziell auf die Gegebenheiten der Deponie Laakirchen, können aber gegebenenfalls auf andere Deponien umgelegt werden.

2. Grundlagen

2.1. Rechtliche Grundlagen für den Abfalleinbau

2.1.1. Gesetze und Verordnungen

Die Vorstellungen einer modernen Abfallwirtschaft nach dem Abfallwirtschaftsgesetzes 2002, nur mehr solche Stoffe abzulagern, die zu keiner Beeinträchtigung der Umweltmedien Luft, Wasser und Boden führen, sollen mit dem Wirksamwerden der Deponieverordnung 1996, BGBl. Nr. 164, am 1. Jänner 2004 umgesetzt werden. Es sollen nur solche Abfälle zurückbleiben, deren Ablagerung keine Gefährdung für nachfolgende Generationen darstellt. In der Deponieverordnung wird dazu ein verbindlicher Stand der Technik festgelegt, der insbesondere die Qualität der abzulagernden Abfälle und damit die so genannte „Innere Sicherheit“ der Deponie in den Vordergrund rückt.

Als Grundsatz ist auch angeführt, dass Abfälle zu verwerten sind, soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist und ein Markt für die gewonnenen Stoffe vorhanden ist.

Auf Basis des Abfallwirtschaftsgesetzes wurde eine Reihe von Verordnungen erlassen, welche direkt oder indirekt die Menge und Art der abzulagernden Abfälle, sowie deren Emissionspotential beeinflussen. Im Vordergrund der Deponieverordnung steht die Festlegung von Grenzwerten von Schadstoffgesamtgehalten und Schadstoffkonzentrationen im Eluat für obertägig abzulagernde Abfälle einschließlich strenger Vorgaben für Abfallbeurteilung und Eingangskontrollen.

In der Deponieverordnung werden im §3 vier Deponietypen definiert, die sich in Art und Verhalten der abzulagernden Abfälle unterscheiden.

- Bodenaushubdeponie
- Baurestmassendeponie
- Reststoffdeponie
- Massenabfalldeponie

Die Aschen aus Verbrennungsanlagen oder Biomassefeuerungsanlagen werden an Hand der auftretenden Grenzwerte hauptsächlich in Reststoffdeponien abgelagert werden. Da die Anforderungen an Massenabfalldeponien höher sind als an Reststoffdeponien, können Aschen auch auf diesen abgelagert werden. Neben den Anforderungen an den Deponiestandort und die Deponietechnik werden auch Vorgaben über den Abfalleinbau gemacht.

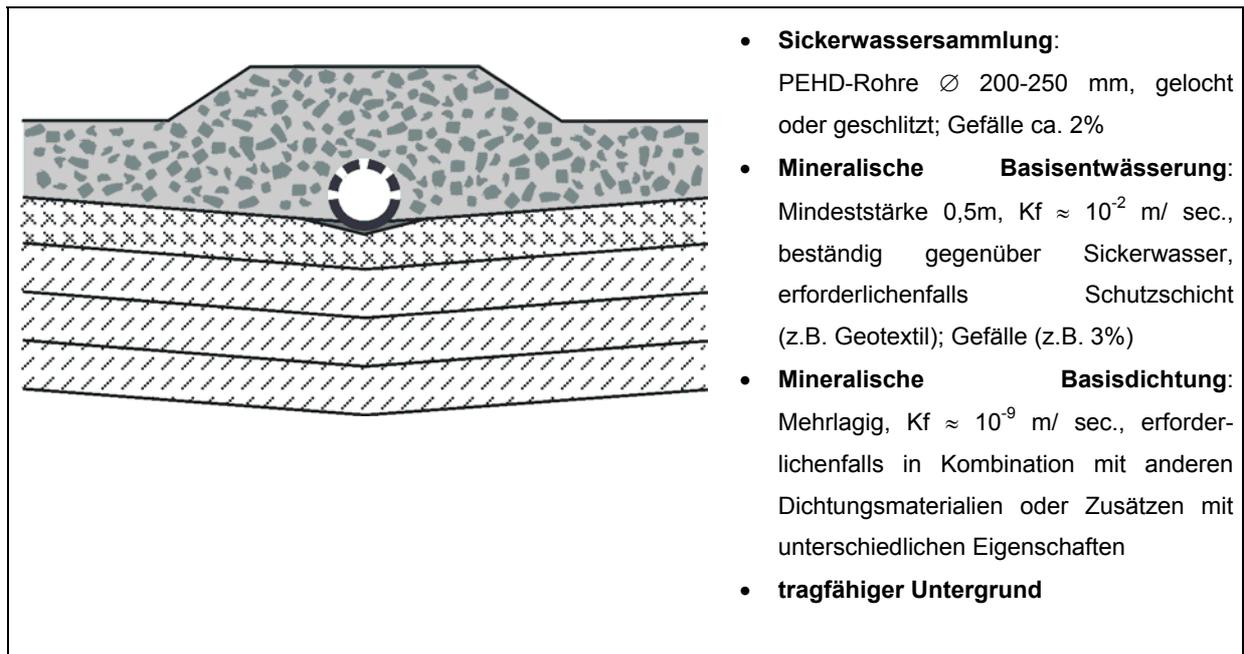


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Basisabdichtung für Reststoffdeponien (Heiß-Ziegler, Lechner, 2001)

Damit das Trennvlies (Geotextil) zwischen dem Abfallkörper (Asche) und dem Flächenfilter durch die feinkörnige Flugasche und Filterasche nicht verschlossen wird, muss dieses Vlies genau auf die Sieblinie abgestimmt sein. Diese Anforderung ist auch in der Deponieverordnung § 5, Verbot der Deponierung, festgehalten, so dass feinkörnige Abfälle, die die Funktionsfähigkeit des Deponiebasisentwässerungssystems beeinträchtigen, nicht abgelagert werden dürfen.

Um die Identität des abgelagerten Abfalls überprüfen zu können, ist laut § 8 „Eingangskontrolle“ eine Eingangskontrolle durchzuführen. Im § 8 Abs. 5 ist aber für Abfälle eines Unternehmers, welche auf einer Deponie desselben Unternehmers abgelagert werden, eine Erleichterung in der Eingangskontrolle möglich.

Im § 9 „Identitätskontrolle“ Abs. 5 ist für Abfälle eines Unternehmers, welche auf einer Deponie desselben Unternehmers abgelagert werden, auch eine Erleichterung in der Identitätskontrolle möglich.

Der § 24 „Deponieeinrichtung“ legt bauliche Maßnahmen fest, um den ordnungsgemäßen Betrieb und insbesondere die Eingangskontrolle durchzuführen zu können.

Es müssen Einrichtungen für das Deponiepersonal vorhanden sein (Abb. 2) sowie die Masse der abzulagernden Abfälle ermittelt werden (Abb. 3).



Abb. 2: Einrichtung für Deponiepersonal



Abb. 3: Brückenwaage

Laut § 26 Abs. 2 ist eine auf die Abfalleigenschaften abgestimmte Verdichtung vor oder im Zuge des Einbaues durchzuführen. Im Abs. 3 wird explizit die Forderung gestellt, während des Abfalleinbaus die Staubemission durch gezielte Einbautechnik oder durch sonstige Vorkehrungen (z.B. Abdeckungen) weitestgehend zu unterbinden.

Die Grenzwerte welche den einzelnen Deponietypen zugeordnet sind, sind im Anhang 1 der Deponieverordnung zu finden. Dort sind 8 Tabellen, 2 Tabellen je Deponietyp, angeführt, aus denen die Grenzwerte für Schadstoffgesamtgehalte sowie die Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Eluat festgelegt sind. Weiters sind in Anhang 3 der Deponieverordnung die Anforderungen an die Standsicherheit, die Deponiebasisabdichtungs- und Entwässerungssysteme sowie an die Deponieoberflächenabdeckung angeführt.

2.1.1. ÖNORMEN

Mit 1. Jänner 2004, wenn die Deponieverordnung 1996, BGBl Nr. 164, in Kraft tritt, werden die ÖNORMEN S 2100 (Abfallkatalog), S 2070 (Klassifizierung von Standorten), S 2071 (Deponiebauklassen), S 2072 (Eluatklassen) und S 2075 (Zuordnung von Abfällen) überholt sein.

Die ÖNORM S 2100 wird zukünftig durch den „Europäischen Abfallkatalog“ ersetzt werden, der derzeit noch im Entwurf vorliegt, aber ebenfalls mit 1. Jänner 2004 in Kraft treten soll. Die Übergangsbestimmungen des AWG 2002 erlauben aber eine Anwendung der Normen bis 31.12.2004. Dieselben Bestimmungen gelten auch noch für die anderen hier angeführten ÖNORMEN.

Um die Anforderungen der gesetzlichen Vorgaben für Deponien umzusetzen, ist in der ÖNORM S 2071 eine Einteilung in sechs Deponiebauklassen getroffen worden, um Abfälle mit einem bestimmten Gefährdungspotential nach ÖNORM S 2072 „Eluatklassen“ sicher ablagern zu dürfen. Hinsichtlich der Deponierbarkeit von Abfällen sind die Festlegungen der ÖNORM S 2100 zu berücksichtigen.

Die ÖNORM S 2071 „Deponiebauklassen“ legt jeweils die Mindestanforderungen an die bauliche Ausführung fest, die im Zusammenhang mit einem bestimmten Standort (siehe ÖNORM S 2070) erforderlich ist, um einen Abfall mit einem bestimmten Gefährdungspotential (siehe ÖNORM S 2072) sicher ablagern zu können.

Bei den Deponiebauklassen 1 und 2 ist eine Versickerung des Deponiesickerwassers in den Untergrund zulässig. Bei den Deponiebauklassen 3 bis 6 müssen die anfallenden Deponiesickerwässer gesammelt und entsorgt werden. Eine Versickerung in den Untergrund darf nicht erfolgen.

Die Zuordnung von Abfällen aufgrund des Gefährdungspotentials zu den Standortklassen und Deponiebauklassen ist in ÖNORM S 2075 beschrieben.

- Eine Deponie der Deponiebauklasse 1 ist geeignet für Abfälle, deren Eluat gemäß ÖNORM S 2072 der Eluatklasse Ia entsprechen oder der Eluatklasse Ib, wenn die geologischen Standortbedingungen der Standortklasse 4 oder 5 zuzuordnen sind (z.B.: nicht kontaminierter Erdaushub)
- Eine Deponie der Deponieklasse 2 ist geeignet für Abfälle, deren Eluate der Eluatklasse Ib gemäß ÖNORM S 2072 entsprechen.
- Die Deponiebauklassen 3 bis 6 stellen geotechnische Anforderungen an die Basisabdichtung, an die Böschungsflächen sowie an die Schlussabdeckung (mineralische Dichtschicht oder entsprechende Dichtungsbahn mit k -Wert $< 10^{-9}$ m/s, Filterschicht, Sohlneigung, Drainageleitung, Schlussabdeckung,...).

Laut ÖNORM S 2100 „Abfallkatalog“ vom 1. September 1997 ist Abfall der Schlüsselnummer 31306 „Holzasche, Strohasche“ und in der Schlüsselnummer 31301 „Flugasche und- stäube aus Feuerungsanlagen“ kein gefährlicher Abfall.

Abfall aus der energetischen Verwertung mit der Schlüsselnummer 31309 „Flugaschen und – stäube aus Abfallverbrennungsanlagen“ ist aber laut der Festsetzungsverordnung 1997 (BGBl. Nr. 227/1997) Anlage 1 gefährlicher Abfall und muss auf dafür geeigneten Deponien abgelagert werden.

Um das Gefährdungspotential von Abfällen lt. ÖNORM S 2072 zu beschreiben, sind in dieser Norm vier Eluatklassen definiert.

- Bei der Eluatklasse I ist ein Sickerwasser zu erwarten, welches das Grundwasser hinsichtlich seiner Nutzbarkeit als Trinkwasser nicht beeinflusst. Es sind Grenzwerte angeführt, die das Eluat der Deponiebauklasse 1 und 2 erfüllen muss.
- Das Eluat der Eluatklasse II lässt ein Sickerwasser erwarten, das nach einfacher Behandlung (z.B. Absetzbecken) einem Vorfluter zugeführt werden kann.
- Das Eluat der Eluatklasse III lässt ein Sickerwasser erwarten, das gegebenenfalls nach entsprechender Vorbehandlung in eine Kanalisation mit angeschlossener biologischer Abwasserreinigungsanlage eingeleitet werden kann. Es ist darauf zu achten, dass einzelne Abfallarten getrennt abgelagert werden, um Reaktionen die zu erhöhter Löslichkeit führen zu vermeiden.
- Die Eluatklasse IV legt fest, dass Abfälle, deren Eluat die Grenzwerte der Eluatklasse IIIb übersteigen, im Hinblick auf ihr Gefahrenpotential behandelt werden müssen oder verfestigt werden müssen. Danach ist dieser Abfall erneut auszulaugen und muss die Grenzwerte der Eluatklasse IIIb einhalten.

Alle in dieser Diplomarbeit untersuchten Aschenabfälle werden aufgrund ihrer Eluatklassen zu den Deponiebauklassen 3 bis 6 zugeordnet.

Um die Staubbelastung messen zu können, gibt es mehrere Verfahren die zur Anwendung kommen. Nach der VDI-Richtlinie 2463, Blatt 1 und 11 des Handbuchs zur Reinhaltung der Luft kann die Bestimmung der Staubkonzentration mit dem High-Volume-Sammler erfolgen. Die Bestimmung der Staubmasse/konzentration erfolgt gemäß ÖNORM EN12341 Luftbeschaffenheit - Ermittlung der PM 10 - Fraktion von Schwebstaub.

Die Staubniederschlagsmessung erfolgt nach der Richtlinie 4 – Staubniederschlag – Bergerhoff-Verfahren (Hg. Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz, Wien 1976) sowie der VDI-Richtlinie 2119, Blatt 2 des Handbuchs zur Reinhaltung der Luft. Die Staubdeposition erfolgt nach der VDI-Richtlinie 2119, Blatt 4 des Handbuchs zur Reinhaltung der Luft mit Hilfe des Sedimentationssammlers Sigma-2.

2.2. Übersicht über Verbrennungsprozesse

2.2.1. Wirbelschichtöfen

Der Wirbelschichtofen (Abb. 4) besteht aus einer zylindrisch ausgemauerten, senkrechten Brennkammer, in deren Boden sich Düsen befinden. Durch die Düsen wird Verbrennungsluft zugeführt, die den Brennstoff fluidisiert, sodass eine Gas-Feststoff-Suspension vorliegt. Daraus ergeben sich eine relativ große spezifische Oberfläche und ein ausgezeichneter Wärme- und Stoffaustausch. Sobald die Luftgeschwindigkeit zum Aufbau einer stationären Wirbelschicht ausreicht, verbessert sich der Wärmeübergang deutlich, obwohl der Druckverlust konstant bleibt. Der Wärmeübergang verschlechtert sich erst wieder bei den höheren Luftgeschwindigkeiten einer zirkulierenden Wirbelschicht.

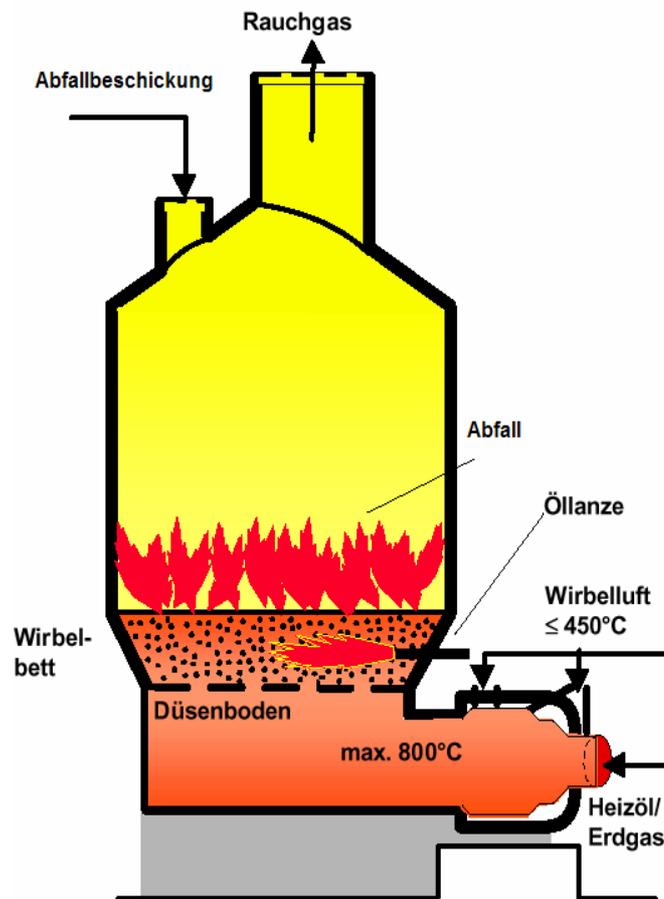


Abb. 4: Schema eines Wirbelschichtofens (TU Aachen)

Charakteristisch für eine Wirbelschichtverbrennung ist ein zu 90% inertes Bett, das entweder aus Sand, aus Asche oder ähnlichen unbrennbaren Stoffen besteht. Nur die geringen Restanteile bestehen aus Brennbarem. Da das Bett selbst über eine erhebliche Wärmekapazität verfügt, wird in der Wirbelschicht eine homogene und von den Verbrennungseigenschaften des Abfalls weitgehend unabhängige Temperaturverteilung erreicht. Dies führt zu einem ausgezeichneten Ausbrand. Die Asche fällt durch den Düsenboden und wird im unteren Teil des Ofens ausgetragen.

(Bilitewski, Härdtle, Marek ,2000)

2.2.2. Biomassefeuerungsanlagen

Der wichtigste Brennstoff, der in Biomassefeuerungsanlagen derzeit eingesetzt wird, ist Rinde (55% der gesamten Brennstoffmenge). Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass Rinde derzeit die billigste verfügbare Biomasse ist. Ein Teil des eingesetzten Hackgutes ist ländlicher Herkunft (Waldhackgut), da das in Sägewerken produzierte Hackgut (Industriehackgut) großteils von der Papier- und Zellstoffindustrie verwertet wird. Sägespäne werden zumeist mit Rinde verfeuert. Strohverbrennungsanlagen sind in den östlichen Regionen Österreichs in Betrieb, da in diesen Gebieten Strohüberschüsse vorhanden sind.

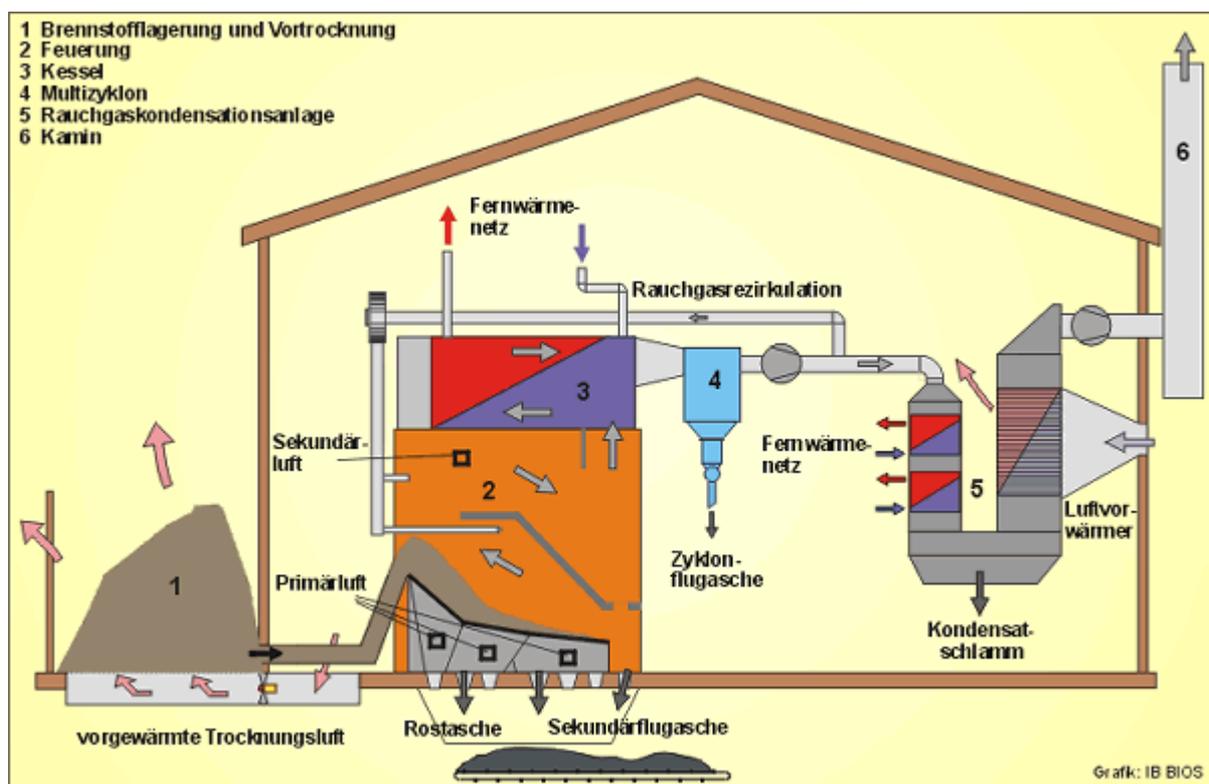


Abb. 5: Schema einer Biomassefeuerungsanlage (IB BIOS)

Verfahrensbeschreibung:

Nach Anlieferung wird der Brennstoff mit Radladern in den Brennstofftagesbunker gefüllt. Durch Lochplatten wird das Brenngut dort vorgewärmt und der Wassergehalt reduziert. Von dort wird der Brennstoff mittels Schubböden und Querförderern in die Feuerung geführt. Der Verbrennungsteil der Anlage ist als Rostfeuerung mit einer feststehenden und zwei individuell beweglichen Rostzonen ausgeführt. Durch eine gesteuerte Glutbetthöhe in Kombination mit der Regelung der Rostbewegung kann für eine optimale Verteilung des Brenngutes am Rost gesorgt werden. Die Rostasche fällt nach der Verbrennung durch den Rost.

Die beiden Kessel sind als Rauchrohrkessel mit zwei Zügen ausgeführt. Zur Abscheidung der Flugasche sind den Kesseln je ein Multizyklon nachgeschaltet. Um das Schmelzen von Flugaschepartikel zu vermeiden werden die Feuerraumtemperaturen durch Rauchgaszirkulation auf 1.100 °C limitiert. In Beruhigungszonen und durch Deflektoren wird ein Teil der am Rost aufgewirbelten Flugaschenpartikel noch im Feuerraum abgeschieden.

(Laucher A. 1998)

2.3. Zusammensetzung der Asche

2.3.1. Definitionen (nach Obernberger I., 1997)

Man unterscheidet nach Anfallort der Asche zwischen Rostasche, Flugasche und Feinstflugasche.

Rostasche: Darunter versteht man den im Verbrennungsraum einer Feuerungsanlage anfallenden überwiegend mineralischen Rückstand der eingesetzten Biomasse. In der Rostasche sind meist Verunreinigungen wie Sand, Erde und Steine sowie gesinterte Aschenteile und Schlackenbrocken enthalten.

Flugasche: Ist die Bezeichnung für die als feine Partikel in den Rauchgasen mitgeführten festen, überwiegend anorganischen Brennstoffbestandteile. Sie fallen in der Wendekammer und im Wärmetauscherbereich, sowie in den Rauchgaskanälen und in Fliehkraftabscheidern, die dem Kessel nachgeschaltet sind, an

Feinstflugasche: Sie fällt in den Elektro- oder Gewebefiltern beziehungsweise als Kondensatschlamm in Rauchgaskondensationsanlagen und beim Kaminkehren an. Bei Biomassefernheizwerken ohne entsprechende Apparate zur Feinstflugaschenabscheidung verbleibt diese als Reststaub im Rauchgas.

Aschegemische: Als Aschegemische bezeichnet man ein Gemisch aus Rost- und Flugasche im Verhältnis, wie es üblicherweise in Heizanlagen entsteht.

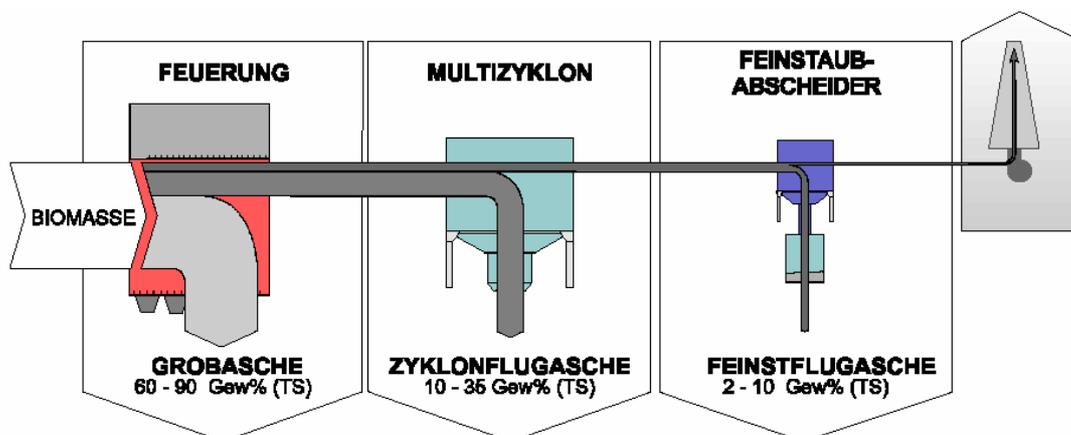


Abb. 6: Ascheanfall bei der Verbrennung (Obernberger I., 1997)

2.3.2. Chemische Reaktionen (nach Hermann K. ,1995)

Flugasche ist ein künstliches Puzzolan und kann in Gegenwart von freiem Kalk, der im abbindenden Zement vorhanden ist, erhärten. Flugasche wird als Betonzusatzstoff zur Verbesserung der Frischbetoneigenschaften und zur Senkung der Hydratationswärme eingesetzt, wobei nach der EN 197-1, 2000 nur Flugaschen aus der Kohleverbrennung eingesetzt werden dürfen. Flugaschen werden anhand der unterschiedlichen mineralischen Zusammensetzung in zwei Gruppen unterteilt:

- kalkreiche Flugasche (CaO-Gehalt 10-35 %) mit starker puzzolanischer Wirkung
- kalkarme Flugasche (CaO-Gehalt < 5 %) mit schwacher puzzolanischer Aktivität

Flugasche beginnt erst nach etwa einer Woche zu reagieren und setzt sich chemisch mit Calciumhydroxid, das bei der Zementhydratation entsteht, zu Calciumsilikathydraten (CSH-Gel) um. Die Hydratation wird vor allem von dem Kornanteil kleiner 10 µm bestimmt. Dieser Anteil sollte dabei mehr als 50 M.-% betragen. Die kleine Teilchengröße verbessert die Feinkornabstufung hinsichtlich einer hohlraumarmen Kornzusammensetzung. Flugasche besitzt eine glatte, nichtsaugende Oberfläche, wodurch der Wasserbedarf reduziert wird.

2.3.3. Zusammensetzung der Asche aus Biomassefeuerungsanlagen (nach Obernberger I., 1997)

Asche besteht zum überwiegenden Teil aus Kalzium-, Kalium- und Magnesiumverbindungen, wobei Oxide dominieren. Zum Teil kommen auch Carbonate, Phosphate und Silikate vor. Der hohe pH-Wert von 12 bis 13 der untersuchten Aschen zeigt, dass die Zusammensetzung des wasserlöslichen, leicht beweglichen Anteils der Aschen von Hydroxiden des Kaliums und Kalzium bestimmt wird. Die in Holz, Rinde und Stroh vorkommenden Schwermetalle reichern sich bei der Verbrennung in der Asche ca. um den Faktor 100 an. Einige Schwermetalle bzw. ihre Verbindungen sind thermisch flüchtig (Hg, Cd, Zn und Pb) und reichern sich in der Flugasche bzw. bei einem entsprechenden Filter in der Feinstflugasche an. Feinstflugasche ist die am stärksten belastete Aschefraktion.

Tabelle 1: Anteile der einzelnen Aschefraktionen an der Gesamtasche in Gew-% (Obernberger I., 1997)

Aschenfraktion	Rinden- feuerungen	Hackgut- Feuerungen	Sägespäne- feuerungen	Stroh- und GP-Feuerungen
Grobasche	65 – 85	60 – 90	20 – 30	80 - 90
Zyklonflugasche	10 – 25	10 – 30	50 – 70	2 - 5
Feinstflugasche	2 – 10	2 – 10	10 – 20	5 - 15

GP = Getreide-Ganzpflanzen

Die Schwermetalle kommen durch Aufnahme aus dem Boden über die Wurzeln und über die Blätter in die Pflanzen sowie als staubförmige Ablagerung auf die Pflanzen. Manche der Schwermetalle sind als Spurenelemente für Pflanzen essentiell (z.B. Mn, Cu, Zn, Co), andere haben keine bekannte Funktion im Stoffwechsel der Pflanzen (z.B. Cd, Pb, Hg).

Tabelle 2: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Aschefraktionen von Rinden-, Hackgut- und Spänefeuerungen (Mittelwerte), (Obernberger I., 1997)

Element	Grobasche [mg/kg TS]		Flugasche [mg/kg TS]	Feinstflugasche [mg/kg TS]	
Cu	164,6	122 *	143,1	389,2	132 *
Zn	432,5	743 *	1 870,4	12 980,7	1395 *
Co	21,0	< 25 *	19,0	17,5	25,7 *
Mo	2,8	- *	4,2	13,2	- *
As	4,1	3,1 *	6,7	37,4	3,8 *
Ni	66,0	< 50 *	59,6	63,4	62,0 *
Cr	325,5	< 50 *	158,4	231,3	54,4 *
Pb	13,6	122 *	57,6	1 053,3	355 *
Cd	1,2	2,4 *	21,6	80,7	11,1 *
Hg	0,01	0,03 *	0,04	1,47	0,03 *

* Messergebnisse des Landes Tirol

Tabelle 3: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in den Aschefractionen von Stroh- und GP-Feuerungen (Oberberger I., 1997)

Element	Grobasche [mg/kg TS]		Flugasche [mg/kg TS]		Feinstflugasche [mg/kg TS]	
	Stroh	GP	Stroh	GP	Stroh	GP
Cu	17,0	47,0	26,0	60,0	44,0	68,0
Zn	75,0	150,0	172,0	450,0	520,0	1 950,0
Co	2,0	3,1	1,0	1,6	< 1,0	< 1,0
Mo	< 10,0	<10,0	<10,0	10,0	10,0	18,0
As	< 5,0	< 5,0	< 5,0	5,0	22,0	16,2
Ni	4,0	10,5	< 2,5	7,5	< 2,5	< 2,5
Cr	13,5	20,5	17,5	16,5	6,8	5,8
Pb	5,1	4,5	21,5	15,0	80,0	67,5
Cd	0,2	0,2	1,8	1,4	5,2	5,1
V	< 10,0	20,5	< 10,0	16,0	< 10,0	< 10,0
Hg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	0,7	0,1

GP = Getreide-Ganzpflanzen

Aus den Ergebnissen der Messungen ist ersichtlich, dass zukünftig hauptsächlich die Feinstflugaschen auf Grund ihres hohen Schwermetallgehaltes deponiert werden müssen oder so weit es möglich ist, industriell verwertet werden müssen. Die beiden übrigen Aschefractionen (Grob- und Flugasche), welche zusammen ca. 90% des Ascheanfalls ausmachen, könnten als Aschegemisch auf forst- bzw. landwirtschaftlichen Böden rückgeführt werden. Dabei müssen aber die Richtlinien des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, „sachgerechte Düngung mit Pflanzenaschen“ 1994 und „Sachgerechter Einsatz von Pflanzenaschen im Wald“ 1997, eingehalten werden.

Tabelle 4: Mittlere Teilchen- und Schüttdichten von Biomasse-Aschen (Oberberger I., 1997)

Brennstoff	Aschefraktion	mittlere Teilchendichte [kg/m ³ TS]	mittlere Schüttdichte [kg/m ³ TS]
Rinde	Grobasche	2600 - 3000	950
	Flugasche	2400 - 2700	650
	Feinstflugasche	2300 - 2600	350
Hackgut	Grobasche	2600 - 3000	950
	Flugasche	2 400 - 2 700	500
	Feinstflugasche	2 300 - 2 600	k. A.
Sägespäne	Grobasche	2 600 - 3 000	650
	Zyklonflugasche	2 400 - 2 700	300
	Feinstflugasche	2 300 - 2 600	k. A.
Stroh und Getreidepflanzen	Grobasche	k. A.	300
	Zyklonflugasche	ca. 2 200	150
	Feinstflugasche	ca. 2 200	150

Tabelle 5: pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten von Pflanzenaschen (Oberberger I., 1997)

Aschenart	Grobasche		Zyklonflugasche		Feinstflugasche	
	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]
Rinde	12,7	8,9	12,7	10,8	12,7	35,6
Hackgut/Späne	12,8	10,2	12,7	13,1	12,6	39,5
Stroh	11,4	9,3	10,8	25,8	9,4	49,5
Ganzpflanzen	10,8	11,4	10,5	21,0	5,9	46,7

Die pH-Werte der untersuchten Pflanzenaschen liegen für Holz- und Rindenaschen generell zwischen 12,0 und 13,0. Die Grob- und Zyklonflugaschen aus Stroh- und Ganzpflanzenfeuerungen weisen aufgrund der niedrigeren Kalzium-Gehalte und der höheren Schwefel- und Chlor-Konzentrationen pH-Werte zwischen 10,5 und 11,5 auf. Bei Feinstflugaschen liegt der pH-Wert sogar nur zwischen 6,0 und 9,5 (Tabelle 5). Dies zeigt, dass die Zusammensetzung des wasserlöslichen, leicht beweglichen Anteils der Holz- und Rindenaschen von Hydroxiden des Kalium, Kalzium und Natrium beherrscht wird und stark basische Wirkung besitzt. Bei Stroh- und Ganzpflanzenaschen ist aufgrund der höheren Chlorid- und Sulfatanteile die basische Wirkung geringer.

Tabelle 6: Durchschnittlicher Gehalt an Si, Al, Fe, Mn, S und Karbonat in Aschengemischen aus Grob und Feinstflugasche nach Anfall (Oberberger I., 1997)

Parameter [Gew% d.TS]	Rinden- feuerung	Hackgut- feuerung	Späne- feuerung	Strohfeuerung	GP-Feuerung
SiO ₂	26,00	25,00	25,00	54,00	45,00
Al ₂ O ₃	7,10	4,60	2,30	1,80	3,30
Fe ₂ O ₃	3,50	2,30	3,80	0,80	3,20
MnO	1,50	1,70	2,60	0,04	0,03
SO ₃	0,60	1,90	2,40	1,20	0,80
CO ₂	4,00	3,20	7,90	1,60	1,20

Der mittlere Karbonatanteil (als CO₂ gerechnet) der einzelnen Aschefractionen ist sehr stark davon abhängig, wie lange die Pflanzenasche einer feuchten und CO₂-reichen Atmosphäre ausgesetzt ist und bei welcher Brennkammertemperatur die Biomassefeuerung arbeitet. Mit steigender Temperatur nimmt der Karbonatgehalt stark ab. Als Referenzprozess kann der Prozess des Kalkbrennens angesehen werden (CaO-CaCO₃-Gleichgewicht), nach dem bei Temperaturen über 900°C praktisch kein Karbonat mehr vorliegt.

Der Hauptbestandteil von Holz- und Rindenaschen (Ca) liegt somit als Brandkalk in der Asche vor.

2.3.4. Zusammensetzung der Asche aus der Wirbelschichtverbrennung Steirermühl AG

Im Wirbelschichtofen der EEVG Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H Steyrmühl werden derzeit Papier, Rückstände aus der Zellstoffherstellung, bereits deponierte Faserstoffe, Rinde, Baurestholz und Eigenschlamm verbrannt. Die Grobasche fällt durch den Düsenboden, wird im unteren Teil des Ofens ausgetragen und fällt in ein Wasserbad. Die Flugasche wird über einen Filter abgeschieden. Das Aschengemisch wird entweder direkt in Transportlaster geblasen und der Zement/Ziegelindustrie zugeführt oder wird in zwei Vorratssilos mit einer Kapazität von je 300 m³ zwischengelagert.

Durch das Umweltlabor Dr. Begert GmbH in Bachmanning wurde im April 2002 eine Ausstufungsbeurteilung gemäß §6 der Festsetzungsverordnung für gefährliche Abfälle von Ablagerungen auf der Deponie Laakirchen durchgeführt.

Tabelle 7: Anorganischer Gehalte (Begert, 2002)

Messgröße	Einheit	Messwert
Quecksilber als Hg	mg/kg TM	0,88
Arsen als As	mg/kg TM	17,6
Blei als Pb	mg/kg TM	72,4
Cadmium als Cd	mg/kg TM	< 1,0

Tabelle 8: Organischer Gehalt (Begert, 2002)

Messgröße	Einheit	Messwert
Summe der polyzyklischen aromat. Kohlenwasserstoffe PAK	mg/kg TM	2,11
ausblasbare org. geb. Halogene (POX) als Cl	mg/kg TM	nicht relevante Mengen, wurde daher nicht bestimmt
Summe der Kohlenwasserstoffe	mg/kg TM	36

Tabelle 9: Lösliche Anteile und pH-Wert (Begert, 2002)

Abdampfrückstand	mg/kg TS	48.000
pH – Wert	-	12,3

Tabelle 10: Anorganische Stoffe (Begert, 2002)

Messgröße	Einheit	Messwert
Arsen als As	mg/kg TS	< 0,1
Barium als Ba	mg/kg TS	30,6
Blei als Pb	mg/kg TS	< 0,1
Cadmium als Cd	mg/kg TS	< 0,05
Chrom gesamt als Cr	mg/kg TS	0,1
Chrom sechswertig (als Cr)	mg/kg TS	< 0,5
Cobalt als Co	mg/kg TS	-
Kupfer als Cu	mg/kg TS	< 0,1
Nickel als Ni	mg/kg TS	< 0,1
Quecksilber als Hg	mg/kg TS	< 0,01
Silber als Ag	mg/kg TS	< 0,1
Zink als Zn	mg/kg TS	< 0,1
Ammonium (als N)	mg/kg TS	0,53
Nitrit (als N)	mg/kg TS	1000
Cyanid, leicht freisetzbar (als CN)	mg/kg TS	< 0,05
Fluorid (als F)	mg/kg TS	1,7

Die Bestimmung des Gehaltes an freiem CaO wurde nach ÖNORM EN 451-1 durchgeführt.

Das Ergebnis brachte einen Freikalkgehalt von 1,9 % der TS.

Aus dem Eluat nach ÖNORM S 2115 wurde ein Gehalt an Kalzium von 2040 mg/kg TS ermittelt. Der Gehalt an CaO liegt daher wahrscheinlich deutlich unter 1,8 %.

Da es sich bei der Asche aus der EEVG Steyrermühl nicht um Asche aus der Kohleverbrennung handelt, kann diese Asche nicht zur Zementherstellung als Zuschlagstoff verwendet werden. Verwenden kann man sie als Sekundärstoff in der Portlandzementklinker - Herstellung. Die Anforderungen aus Normenwerken beziehen sich nur auf den fertigen Zementklinker. Wie die Grenzwerte eingehalten werden, bleibt der Zementindustrie vorbehalten. Die Qualitätsanforderungen der Zementindustrie an die Asche sind selbst festgelegt.

Tabelle 11: Anforderungen an die Flugasche für die Zementindustrie

Messgröße	Monatsdurchschnittswerte	Maximalwerte
Al ₂ O ₃	19,5 %	+/- 2 %
CaO	30,5 %	+/- 2 %
SiO ₂	35,6 %	+/- 2 %
Fe ₂ O ₃	1,7 %	+/- 1 %
MgO	< 6%	7 %
Mn ₂ O ₃	< 0,35%	0,35 %
CaSO ₃	< 1%	1 %
K ₂ O	< 2%	2 %
Na ₂ O	< 3%	3 %
Chlorid	< 0,5%	0,5 %
P ₂ O ₅	< 2%	2 %

Tabelle 12: Anforderungen an die Flugasche für die Zementindustrie

Messgröße	Monatsdurchschnittswerte	Maximalwerte
Hg	< 1 mg/kg	1 mg/kg
Tl	< 5 mg/kg	5 mg/kg
Cd	< 10 mg/kg	10 mg/kg
As	< 50 mg/kg	50 mg/kg
Pb	< 400 mg/kg	400 mg/kg
Zn	< 2000 mg/kg	2000 mg/kg
Cr	< 100 mg/kg	100 mg/kg
Co	< 50 mg/kg	50 mg/kg
Ni	< 100 mg/kg	100 mg/kg
Ba	< 1500 mg/kg	1500 mg/kg
Cu	< 600 mg/kg	600 mg/kg

2.3.5. Zusammensetzung der Asche aus dem Dampfkraftwerk Voitsberg

Im Dampfkraftwerk Voitsberg wird Braunkohle verbrannt, um daraus Energie zu gewinnen. Dieses Kraftwerk ist seit 1977 im Betrieb und kann daher über eine lange Erfahrung im Einsatz des Brennstoffes zurückblicken.

Aus dem Laborbericht Nr. 101/99 konnten folgende chemische Zusammensetzungen entnommen werden.

Tabelle 13 : Flugasche (Perterfy, 99)

Untersuchungsparameter in % glühverlustfrei	
SiO ₂	47,2
Al ₂ O ₃	33,7
Fe ₂ O ₃	8,6
CaO	3,3
MgO	2,4
SO ₃	0,5
K ₂ O	2,6
Na ₂ O	<0,1
P ₂ O ₅	0,2
TiO ₂	1,3
Cl	<0,1
Mn ₂ O ₃	<0,1
Glühverlust	1,6
Wasseranspruch	35,5

**Tabelle 14: Sieblinienverteilung Flugasche
(Perterfy, 99)**

Fraktion [μm]	Anteil [%]
0-6	6
6-20	14
20-50	38
50-120	28
120-210	6
210-380	4
380-510	3
510-690	1
690-930	<1

Tabelle 15: chemische Zusammensetzung (Perterfy, 99)

		Braunkohleflugasche	Elektrofilterflugasche
Al	mg/kg TS	140.000	k. A.
As	mg/kg TS	60	106
Ba	mg/kg TS	1.500	k. A.
Ca	mg/kg TS	35.000	k. A.
Cd	mg/kg TS	1,5	0,7
Co	mg/kg TS	35	k. A.
Cu	mg/kg TS	80	88
Fe	mg/kg TS	70.000	k. A.
Hg	mg/kg TS	1,0	0,9
K	mg/kg TS	25.000	k. A.
Li	mg/kg TS	35	k. A.
Mg	mg/kg TS	15.000	k. A.
Mn	mg/kg TS	360	k. A.
Mo	mg/kg TS	6,0	k. A.
Na	mg/kg TS	3.000	k. A.
Ni	mg/kg TS	100	90
P	mg/kg TS	830	k. A.
Pb	mg/kg TS	50	45
S	mg/kg TS	2.000	k. A.
Se	mg/kg TS	2	3
Sr	mg/kg TS	450	k. A.
Ti	mg/kg TS	5.000	k. A.
Tl	mg/kg TS	0,5	k. A.
V	mg/kg TS	240	264
Zn	mg/kg TS	200	236
pH-Wert		11	k. A.
Leitfähigkeit	mS/m	108	k. A.

Die Messungen haben außerdem einen Blainwert ca. 2000 cm^2/g ergeben, weshalb sich die Asche sehr gut zur Weiterverwendung in der Zementindustrie geeignet.

2.3.6. Zusammensetzung der Asche aus dem Dampfkraftwerk St. Andrä

Im Dampfkraftwerk St. Andrä wird derzeit Steinkohle zur Energiegewinnung verbrannt. Bestrebungen der Betreiber dahingehend, dass in Zukunft auch Sekundärbrennstoffe wie Altholz, Hackgut, Klärschlamm Rinde oder Shredderabfälle, wurden von Seiten der Kärntner Landesregierung noch nicht bewilligt.

Aus der Schriftenreihe der Forschung im Verbund „Untersuchungen zur thermischen Verwertung von Biomasse und heizwertreichen Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken“ von Bachhiesl M., Tauschitz J., Zefferer H., Zellinger G., (2001), konnten folgende chemischen und physikalischen Zusammensetzungen entnommen werden.

Tabelle 16: Analyse der chemischen und physikalischen Zusammensetzungen (Bachhiesl M., Tauschitz J., Zefferer H., Zellinger G., 2001)

Brennstoffbezeichnung		Altholz	Braunkohle	Hackgut	Klärschlamm (70% TS)	Rinde	Shredderabfall	Steinkohle
Trocken-Substanz	Gew. %	75,4	63,9	69,3	72,9	49,1	89,5	87,6
Wassergehalt	Gew. %	24,6	36,1	30,7	27,1	50,9	10,5	12,4
	mg/kg	246.000	361.000	307.000	271.000	509.000	105.000	289.000
Asche	mg/kg TS	219.000	199.000	3.200	283.000	132.000	388.000	89.000
C	mg/kg TS	396.000	562.000	502.100	406.000	477.000	396.000	768.000
N ₂	mg/kg TS	9.900	8.700	1.100	54.000	5.400	15.000	17.000
S	mg/kg TS	1.400	8.200	100	9.500	500	4.900	7.100
Cl	mg/kg TS	900	300	200	3.200	200	6.700	1.400
F	mg/kg TS	90	220	50	120	50	690	140
O ₂	mg/kg TS	329.000	181.000	437.500	200.000	335.000	148.000	70.000
H ₂	mg/kg TS	44.000	42.000	56.100	46.000	49.000	48.000	49.000
Schwermetalle								
Al	mg/kg TS	2.100	17.200	1.300	10.300	1.300	1.5100	9.600
As	mg/kg TS	4,3	11	4	5	4	12	3
Ba	mg/kg TS	1.500	140	130	300	130	1.590	107
Cd	mg/kg TS	2	2	2	6	2	24	2
Co	mg/kg TS	5,1	6,4	2	2	2	41	10
Cu	mg/kg TS	47	25	12	31	12	4.200	23
Fe	mg/kg TS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hg	mg/kg TS	0,2	0,15	0,2	0,21	0,2	2,7	0,15
Mn	mg/kg TS	210	104	590	1.000	590	970	120
Mo	mg/kg TS	2,6	2	2	5	2,0	82	2

Ni	mg/kg TS	39	38	12	30	12	454	26
Pb	mg/kg TS	230	8,7	13	16	13	8.900	44
Se	mg/kg TS	4	3	4	5	4	10	3
Tl	mg/kg TS	2	1	2	2	2	2	2
V	mg/kg TS	7,1	36	3,9	9	3,9	26	2
Zn	mg/kg TS	1.330	35	140	420	140	10.200	48

2.3.7. Zusammenhänge und Schlussfolgerungen

Bei den vorherig beschriebenen Aschen handelt es sich um Asche aus unterschiedlich eingesetzten Brennstoffen. Neben einer reinen Holzfraktion in Biomasseanlagen, einer reinen Braunkohleverbrennung im DKW Voitsberg, und derzeit einer reinen Steinkohleverbrennung im DKW St. Andrä geht die Bandbreite bis zu einem Einsatz unterschiedlichster Brennstoffe im Wirbelschichtofen der Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H Steyrermühl in Laakirchen.

Möchte man diese Aschen vergleichen, dann muss dabei außerdem berücksichtigt werden, dass die Deponie des DKW Voitsberg nur bergrechtlich bewilligt ist, und somit die Grenzwerte der Deponieverordnung 1996 nicht einhalten muss.

Die für die Deponie in Laakirchen durchgeführten Messungen erfolgten bereits nach den Vorschriften der DepVO 1996, die restlichen Messungen beziehen sich auf die Eluatgrenzwerte der ÖNORM S 2072.

Die in den vorherigen Kapiteln angeführten Messergebnisse sollen nur die Komplexität darstellen, die der Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe mit sich bringt. Durch den Einsatz unterschiedlicher Brennmedien kann man gezielt Einfluss nehmen auf die unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften des Reststoffes Asche.

2.4. Möglichkeiten für eine Optimierung der Aschedeponierung anhand der Deponie Düsseldorf

In der Müllverbrennungsanlage Düsseldorf wurden von Bewerunge J., 1987 Untersuchungen durchgeführt, um Reststoffe aus der Müllverbrennungsanlage bestmöglich deponieren zu können.

Mit einem Sprühabsorptionsverfahren zur Entschwefelung wurde zuerst Kalkmilch mit Druckluft fein zerstäubt. Nach der Verdampfung des Wassers haften sich an Kalkpartikel HCl, SO₂ und HF an und werden dann mit dem Flugstaub im Elektrofilter abgeschieden. Im Weiteren wird dieses Reaktionsprodukt als RFG (Reaktions-Flugasche-Gemisch) bezeichnet. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden dargestellt.

Materialbeschreibung des RFG:

Chemische Zusammensetzung:

Die Restprodukte der Verbrennung werden im Zuge der Eigenüberwachung regelmäßig auf ihre Zusammensetzung untersucht. Dies ist nicht nur für die Festlegung der Deponieklasse von Bedeutung, sondern in viel größerem Maße für die Feststellung der Wiederverwertbarkeit der Rostaschen.

Tabelle 17: chemische Zusammensetzung RFG und Rostasche (Bewerunge J., 1987)

Hauptbestandteile (%)			Spurenelemente (ppm)		
	Rostasche	RFG		Rostasche	RFG
SiO ₂	51	10	Zn	11400	15600
SO ₃	2,8	4	Pb	3800	4300
Al ₂ O ₃	15	2,7	Cr	800	200
CaO	10	52	Cu	980	400
Fe ₂ O ₃	8	1	Ni	410	90
Cl	1	14	Cd	10	210
F	Spuren	1	Mg	1	K.A.
CO ₃	1	1,5	Hg	Spuren	15
Na ₂ O	6,5	1,1	As	K.A.	30
MgO	1,5	0,6	Ti	K.A.	4
K ₂ O	2	1,8			
P ₂ O ₅	0,7	Spuren			

Bodenphysikalische Eigenschaften:

Während durch die chemische Zusammensetzung in erster Linie die erforderliche Deponieklasse festgelegt wird, bestimmen die bodenphysikalischen Eigenschaften Art und Möglichkeit der Deponierung. Wichtig dabei sind Festigkeitsverhalten, Verdichtbarkeit und Durchlässigkeit, um die geforderten Nachweise zur inneren Standsicherheit zu erbringen.

Einaxiale Druckfestigkeit:

Zur Ermittlung des Festigkeitsverhaltes wurden einaxiale Druckversuche nach DIN 18136 durchgeführt. Durch die q_{u28} Werte sollten die auf einer der Witterung ausgesetzten Deponie ungünstigen Randbedingungen (z.B. starker Niederschlag) simuliert werden.

$$q_{u28} = 49,3 \text{ (30 ~ 80) kN/m}^2$$

Verdichtbarkeit:

Ein Maß für die Verdichtbarkeit eines Materials stellt die Proctordichte dar, die als Trockendichte bei unterschiedlichem Wassergehalt mit bestimmter Verdichtungsarbeit ermittelt wird.

$$\text{Optimale Trockendichte } \rho_d = 0,97 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Zugehöriger Wassergehalt } w = 44 \%$$

Wasserdurchlässigkeit RFG

Die im Labor bestimmte Durchlässigkeit eines Bodens beschreibt die Filtergeschwindigkeit, mit der Wasser bei einem Gefälle von $i = 1$ eine Probe durchströmt. Sie wird angegeben durch den Beiwert k [m/s], der in erster Linie vom Kornaufbau, von der Lagerungsdichte und vom Porenanteil abhängt.

Tabelle 18: Wasserdurchlässigkeit RFG (Bewerung J., 1987)

k_0 (10^{-8} m/s)	ρ_d (t/m ³)	k_{28} (10^{-8} m/s)	ρ_d (t/m ³)
1,26	0,947	2,58	0,913
1,00	0,984	1,40	0,952

2.4.1. Anfeuchten und anschließende Trocknung

Bereits bei Voruntersuchungen war zu beobachten, dass reines RFG nach Zugabe von Wasser und nachfolgender Trocknung eine deutliche Festigkeitszunahme erreicht. Da das Reaktionsprodukt für den Transport zur Deponie ohnehin zur Staubbegrenzung mit Wasser angereichert werden muss, konnten ohne besonderen Aufwand drei Versuchsfelder mit Wassergehalten von $w = 40$, $w = 55$ und $w = 70\%$ angelegt werden.

Nach ca. 2 monatiger Liegezeit auf der Deponie wurden folgende Werte erreicht:

Tabelle 19: einaxiale Druckfestigkeit q_{u56} (Deponieentnahme) (Bewerunge J., 1987)

q_{u56} (kN/m ²)	w_{Einbau} (%)	ρ_d (%)	$w_{\text{Herstellung}}$ (%)
91,4	37,5	0,742	40
40,6	28,4	0,695	40
67,5	24,7	0,656	40
222,5	44,8	0,818	55
161,2	43,6	0,827	55
249,9	42,0	0,851	55
46,9	64,0	0,752	70
65,3	65,3	0,746	70
39,6	64,5	0,753	70

2.4.2. Zumischen von Hochofenzement (HOZ)

Im Laborversuch wurde die einaxiale Druckfestigkeit nach 28-tägiger Feuchtraumlagerung für unterschiedliche Anteile an HOZ von 5, 10 und 20 % bestimmt. Von jeder Mischung wurden Probekörper, die mit Wassergehalten nahe sowie unter- und oberhalb des optimalen Wassergehaltes nach Proctor hergestellt waren, abgedrückt. Zusätzlich wurde die im Feuchtraum eingetretene Quellung gemessen, die nach 28tägiger Feuchtraumlagerung aufgetreten ist. Das Herstellen genügend großer Mengen an RFG mit unterschiedlichen Anteilen von HOZ auf der Deponie stieß auf technische Schwierigkeiten, da der Zement, um eine ausreichende Durchmischung zu erreichen, dem trockenen Reaktionsprodukt zugegeben werden musste.

Tabelle 20: q_{u28} in Abhängigkeit des HOZ-Anteils (Bewerunge J., 1987)

q_{u28} (kN/m ²)	w_{Einbau} (%)	Quellung ε (%)	Anteil HOZ (%)
744,7	40,7	6,8	5
434,8	50,3	14,7	5
151,4	61,5	26,6	5
1552,7	34,9	4,74	10
1073,1	43,5	7,08	10
557,8	47,5	12,46	10
1736,5	33,6	5,36	20
1812,5	35,5	5,32	20
690,9	48,1	14,00	20

2.4.3. Zumischen von Rostasche

Die guten Erfahrungen beim Einbau von Gemischen aus RFG und Rostasche führten zur Untersuchung von Gemischen mit geringeren Rostascheanteilen. Im Laborversuch wurde die einaxiale Druckfestigkeit nach 28-tägiger Feuchtraumlagerung für unterschiedliche Anteile an Rostasche bestimmt. Die Prüfwerte q_u sind zusammen mit dem Einbauwassergehalt w_E und der Trockendichte ρ_d bzw. der Quellung e dargestellt. Ergänzend sind die Proctordichten ρ_{Pr} mit den zugehörigen Wassergehalten w_{Pr} hinzugefügt.

Tabelle 21: q_{u0} und q_{u28} für RFG und Rostasche (Bewerung J., 1987)

		q_{u0} (kN/m ²)	w_E (%)	ρ_d (t/m ³)	q_{u28} (kN/m ²)	w_E (%)	ε (%)
Rostasche (%)	20	649,8	24,6	1,10	185,3	23,9	14,9
ρ_{Pr} (t/m ³)	1,14	524,9	28,4	1,12	178,8	31,9	12,6
w_{Pr} (%)	34,0	399,9	33,8	1,14	83,1	39,6	20,4
Rostasche (%)	30	649,8	25,3	1,15	163,9	22,2	13,6
ρ_{Pr} (t/m ³)	1,19	549,9	29,3	1,18	94,9	32,7	22,2
w_{Pr} (%)	33,0	449,9	33,9	1,19	37,4	39,4	26,2
Rostasche (%)	50	599,8	21,2	1,28	53,9	23,6	23,3
ρ_{Pr} (t/m ³)	1,31	499,9	26,4	1,30	58,9	27,6	23,6
w_{Pr} (%)	27,5	349,9	30,6	1,29	57,5	31,8	20,8

Im Feldversuch wurde nur ein Versuchsfeld mit etwa 50% Asche angelegt. Hier war eine ausreichende Festigkeit und Befahrbarkeit sofort nach dem Einbau und auch nach mehrwöchiger Liegezeit zu beobachten.

2.5. Möglichkeiten für eine Optimierung der Aschedeponierung anhand der Deponie Landshut

In Landshut wurden von Bittermann H, 1996 Versuche durchgeführt um Flugaschen und Stäube miteinander zu vermischen und unter Zugabe von Wasser zu verfestigen. Im Folgenden werden die von ihm gewonnenen Erkenntnisse dargestellt.

In der Anlage wurden Stäube und Flugaschen aus drei Ofenanlagen, Elektrofiltern und Kesseltrichtern mittels Befeuchtung verdichtet. Dazu wurde das Material über Förderschnecken einer pneumatischen Förderanlage zugeführt, die in einen beheizten und wärmeisolierten Stahlsilo mit Abluftfilter mündet. Mit Hilfe einer weiteren Förderschnecke wurden die Stäube aus dem Zwischensilo abgezogen und über eine Waage in die Mischanlage gefördert. Unter Zugabe der bisher allein verfestigten Rauchgasreinigungsrückstände erfolgte nun das Befeuchten und Absacken des Staubgemisches in Big-Bags.

Wichtig dabei war eine besonders intensive Durchmischung der Flugasche, Stäube und Rauchgasreinigungsrückstände. Zum exakten Dosieren des zugesetzten Wassers wurde das Aggregat mit einem Wasserdurchflusszähler ausgestattet und besitzt darüber hinaus eine Aschewaage. Das Wasser wurde mit einer umlaufenden Lanze über eine Quertraverse vor dem Wirbler eingedüst. Nach dem Durchmischen musste das Gemenge rasch in die Kunststoffsäcke abgepackt werden, wo das Material unter Wärmeabgabe zusammengepackt und die zum Deponieren in der Deponie erforderliche Steifigkeit erhält.

Wichtig dabei war, dass das Material nach dem Wasserzusatz kontinuierlich weiterverarbeitet wird und erst nach dem Abfüllen zur Ruhe kommt – ansonsten würde das Gemenge als dicker Pfropfen die ganze Anlage verstopfen und müsste bergmännisch abgebaut werden.

3. Darstellung der Erfahrungen mit Aschedeponierungen an Hand von Beispielen

3.1. Aschehalde Voitsberg

Anlagenbeschreibung

Im Dampfkraftwerk Voitsberg wird zur Energiegewinnung Braunkohle verbrannt.

Im Kessel fällt Grobasche aus, geht dann durch einen Nassentascher und fällt schließlich in ein Wasserbad. Durch die Verweilzeit im Wasserbad steigt der Wassergehalt der Grobasche auf ca. 40 ~ 50 %. Im Elektrofilter wird die Feinstflugasche abgeschieden.

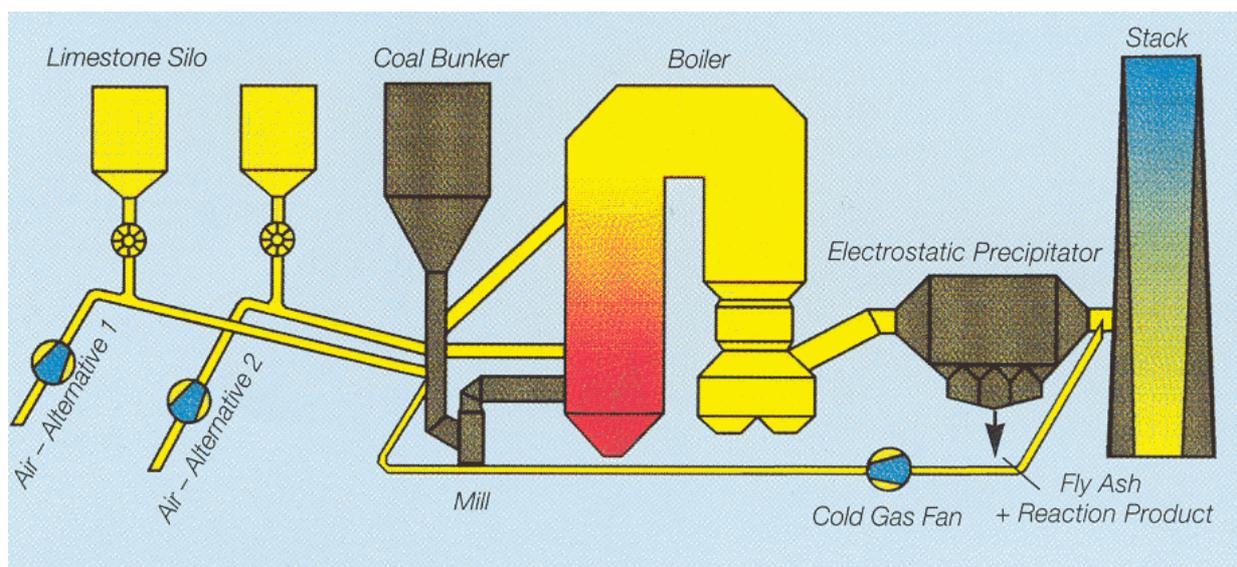


Abb. 7: Schematischer Querschnitt durch das Dampfkraftwerk Voitsberg (ÖDK-Bildstelle Gindl)

Diese Asche wird entweder gleich in Silowägen in die Zementindustrie geliefert, oder gelangt in einen 800t fassenden Aschesilo. Bei einem Ascheanfall von 50t Asche/h wird eine Verweilzeit von ca. 16 Stunden erreicht, in der sich die Asche auf ca. 40°C abkühlt. Über eine Förderschnecke wird die Asche zu einem Förderband transportiert. Während des Transportes wird die komplett trockene Flugasche auf 22 % Wassergehalt befeuchtet.



Abb. 8: Transportförderband



Abb. 9: Ascheabwurf vom Förderband

Bevor die Feinstflugasche über das unterirdische Transportförderband (Abb. 8) ausgetragen wird, wird sie noch mit der Grobasche im Verhältnis 9:1 vermischt. Nach ca. 800 m wird die Asche auf der Deponie abgeworfen (Abb. 9).

Mit Hilfe einer Schubraupe (Abb. 10) wird die Asche lagenweise in Höhen von ungefähr 20 cm in den Deponiekörper eingebaut. Verdichtet wird die Asche ebenfalls mit Hilfe einer Schubraupe.

Da besonders in den Sommermonaten die harte Deckschicht rasch aufrocknet und die Bindemittleigenschaften versagen, würde es zu starker Staubentwicklung kommen. Um das zu verhindern, wird mit Starksprüh-Anlagen (Abb. 11) nach Bedarf bewässert.



Abb. 10: Schubraupe



Abb. 11: Sprühlanzen

Da die Deponiebetreiber in Voitsberg schon auf eine lange Betriebszeit zurückblicken können, konnten auch schon Langzeiteluatversuche gemacht werden. Durch die Verdichtung dringt Regenwasser nur bis zu 50 cm Tiefe in den Aschekörper ein. Im Starkregenfall rinnt das Regenwasser hauptsächlich oberflächlich ab. Versuche haben gezeigt, dass nach 6 ~ 8 Wochen das Eluat Trinkwasserqualität besitzt.

Die Deponie in Voitsberg ist nur bergrechtlich bewilligt. Die Betreiber dürfen nur Material als Brennstoff verwenden, welches sie vorher gefördert haben, und dürfen auch nur dieses Material deponieren. Die Betreiber müssen keinen ALSAG – Beitrag zahlen, dürfen aber auch keine alternativen Feuerungen wie Plastik, Altholz oder ähnliches verwenden.

Um die Deponie herum wird nach dem Bergerhoff-Verfahren eine Staubmessung durchgeführt. Es handelt sich dabei um ein Weck-Einmachglas, das in einem Korb mit Vogelschutzring auf einem Pfahl aufgestellt wird. Die Expositionszeit beträgt üblicherweise 30 Tage. Es werden sowohl die Stäube als auch flüssige Niederschläge (Regen, Schnee) gesammelt. Bei der Auswertung wird der Eindampfdruckstand gravimetrisch ermittelt und das Gewicht auf die Öffnungsfläche des Auffangglases und die Expositionszeit bezogen. Die Angabe des Staubniederschlages erfolgt dann in Gramm je Quadratmeter und Tag. (Baumbach G., 1990)

Im Umkreis der Deponie wird eine Staubdeposition von 100 ~ 140 mg/(m²*d) im Jahresmittel gemessen.

Das Immissionsschutzgesetz – Luft 1997, BGBl. 115, sieht als Grenzwert der Deposition einen Jahresmittelwert für Staubniederschlag von 210 mg/(m²*d) vor. Der Grenzwert legt den dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit in ganz Österreich fest.

3.2. Aschedeponie St. Andrä

Im Wärmekraftwerk St. Andrä wird zur Energiegewinnung Steinkohle verbrannt. Die Verbrennung erfolgt in einem Zwangsdurchlaufkessel System Benson.

Bestrebungen des Betreibers gehen aber dahingehend, dass auch nicht gefährliche Abfälle als Sekundärbrennstoffe mit verbrannt werden. Es soll Altholz, Klärschlamm, Tiermehl, Tierfett, Altpapier, Aktivkohle, Kunststoffe, und ähnliches zum Einsatz kommen, die Kärntner Landesregierung hat diesen Einsatz aber noch nicht bewilligt.

Für das derzeitige Verfahren der Entschwefelung der Steinkohle mit einem Trockenadsorptionsverfahren wird direkt Kalkhydrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ eingeblasen sowie Wasser eingedüst.

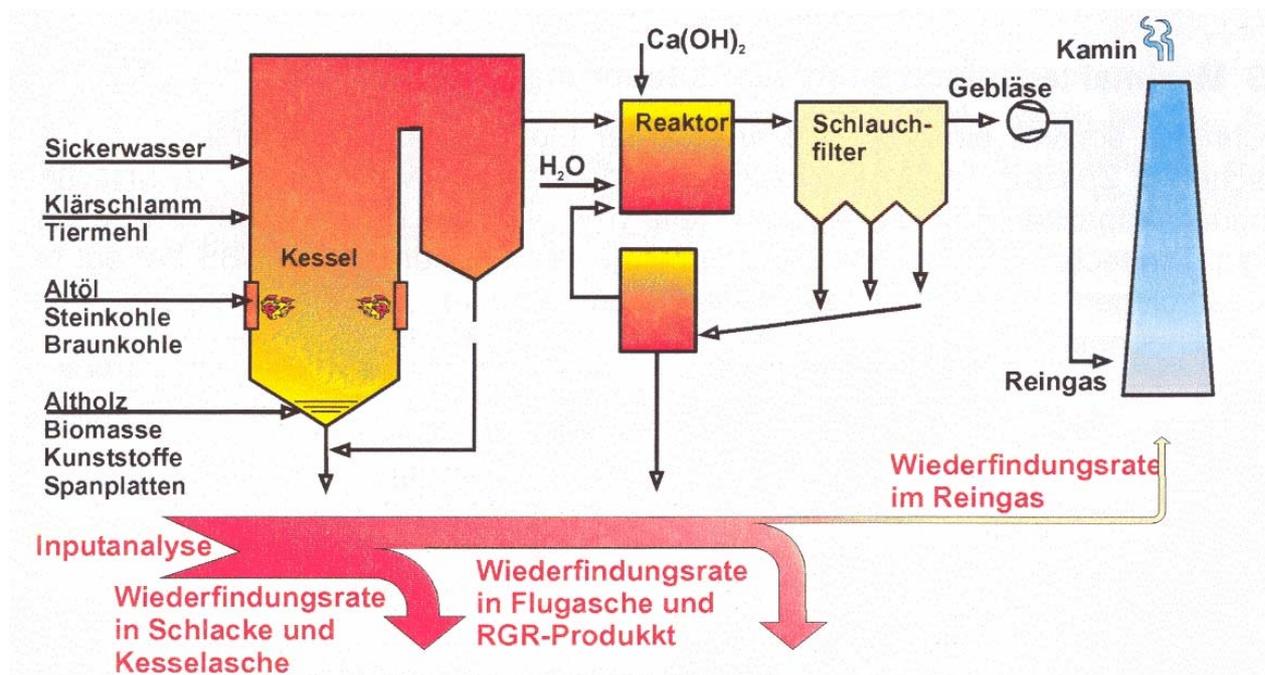


Abb. 12: Schematischer Querschnitt der Anlage St. Andrä (ÖDK-Bildstelle Gindl)

Durch Zugabe von Reststoffen wird die ursprüngliche chemische Aschezusammensetzung wie in Voitsberg verändert. Um eine Überschreitung der Grenzwerte zu vermeiden ist die Reststoffzugabe limitiert, um nicht kostenpflichtig deponieren zu müssen.



Abb. 13: frisch geschütteter Damm



Abb. 14: bereits begrünter Damm

Der Ascheanfall beträgt ca. 180t/d (Grobasche 10%, Filterasche 90%) und wird in einem 1000t Silo gespeichert. Im Kessel fällt Grobasche aus, geht dann durch einen Nassentascher und fällt schließlich in ein Wasserbad. Durch die Verweilzeit im Wasserbad steigt der Wassergehalt der Grobasche auf ca. 40 ~ 50 %. Im Elektrofilter wird die Feinstflugasche abgeschieden. Die Feinstflugasche wird dann über eine Schnecke zum Vorratssilo befördert. Während des Transportes wird Wasser eingesprüht, sodass der Wassergehalt ca. 20 % beträgt. Da der Bau eines Lärmschutzwalls aus Ascherückständen behördlich vorgeschrieben ist, wird die Asche bei Bedarf auf die Deponie per LKW ausgetragen. Dort wird sie mit einer Schubraupe auf Lagen von ca. 20 cm verteilt und mit einer etwa 7 to schweren Walze verdichtet. Dabei hat sie eine Temperatur von ungefähr 20 °C.

Da im Trockenadsorptionsverfahren Kalkhydrat dazu gegeben wird, verfestigt sich die Asche relativ rasch.

Je nach Witterung wird die Asche mit einer Starksprüh-Anlage bewässert. Das Wasser wird dabei direkt mit einer Pumpe (110 m³/h) aus der Lavant gepumpt und verteilt. Eines der Bewässerungsmodule hat einen Verteilradius von 20m. Bei starkem Windaufkommen und trockener Jahreszeit wird ca. 5~6 Stunden pro Tag befeuchtet.

Der Lärmschutzwall wird danach mit 10 cm Humusschicht bedeckt und begrünt.

In St. Andrä wird aus der bereits deponierten Asche ein Rohstoff gewonnen. Die Asche wird dabei mit einer Kugelmühle auf einen Blainewert von 5000 cm²/g gemahlen und als Zementersatz an die Bauindustrie verkauft.

4. Untersuchungen auf der Deponie Laakirchen

4.1. Ausgangssituation

Im Wirbelschichtofen der EEVG Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H Steyrermühl werden derzeit Papier, Rückstände aus der Zellstoffherstellung, bereits deponierte Faserstoffe, Rinde, Baurestholz und Eigenschlamm verbrannt. Die Grobasche fällt durch den Düsenboden, wird im unteren Teil des Ofens ausgetragen. Die Flugasche wird über einen Zyklon abgeschieden. Das Aschengemisch wird entweder direkt in Transportlaster geblasen und der Zement/Ziegelindustrie zugeführt oder wird in zwei Vorratssilos mit einer Kapazität von je 300 m³ zwischengelagert. Danach wird die Asche auf Kipplastern verladen und in die ca. 3 min. entfernte Deponie (Abb. 15) des Reinhaltungsverbandes Großraum Laakirchen geführt. Während des Transportes wird sie im Laderaum bewässert, der Fahrer kann während des Beladevorganges die einfließende Aschemenge steuern.



Abb. 15: Deponie RHV Großraum Laakirchen (im Hintergrund Asche, im Vordergrund Restmüll)

Tabelle 22: Flugaschenanlieferung auf die Deponie 1999 – 2002 (Kriechbaum, 2003)

	1999	2000	2001	2002
Flugasche [to]	20.741	13.123	24.269	31.499
Netzwasser [m ³]	6.202	4.275	7.881	11.077
Netzwasser [%]	29,90	32,58	32,47	35,17



Abb. 16: Kippvorgang, Wasserdampf entweicht von der 80°C heißen Asche

Derzeit wird die Asche über Kopf entlang der Böschungen abgekippt (Abb. 16).

Es wird aber auch versucht, den Aschekörper als Lärmschutzwall aufzuschütten und zu begrünen (Abb. 17, Abb. 18). Da die Asche eine Einbautemperatur von ca. 80 °C hat, kommt es während des Abkippvorganges zu einer Dampfungwicklung. Eine Grobverdichtung des Aschekörpers erfolgt mit einer ca. 12 to schweren Schubraupe.



Abb. 17: Lärmschutzwall, noch nicht begrünt



Abb. 18: Lärmschutzwall, bereits begrünt

Die Asche wird mit einer mobilen Beregnungsanlage (Abb. 19) befeuchtet. Laut einem Bescheid der oberösterreichischen Landesregierung dürfen 120 m³/Tag mit einer Spitzenentnahme von 8,5 l/sec entnommen werden und eine maximale Berieselungsdauer von vier Stunden (zwei Stunden morgens, zwei Stunden abends) durchgeführt werden. Dafür sind auf der Deponie drei Brunnen (Abb. 20) angeordnet durch die die Beregnungsanlage gespeist wird.



Abb. 19: mobile Beregnungsanlage



Abb. 20: Bewässerungsbrunnen

Als Beregner kommen Geräte der Firma Bauer zur Anwendung (Bauer SR 35, Bauer R 163, Bauer SR 15).

Im Inneren des Deponieareals werden bereits abgelagerte Faserstoffe und Rejekte (Abb. 21) abgebaut und der Verbrennung zugeführt. In dem Bereich wird keine Asche abgelagert und auch nicht bewässert. Ziel ist es, die leicht zugänglichen Rejekte zur Gänze abzugraben, was zum Großteil bereits geschehen ist.



Abb. 21: deponierte Faserstoffe (dunkles Material)

Das Hauptproblem bei der Staubentwicklung ist die erst frisch deponierte Asche. Im Gegensatz zu der bereits länger deponierten Asche (6 ~ 8 Monate) speichert sie das Beregnungswasser schlechter und trocknet rascher aus. Diese Asche ist daher stark hinsichtlich Windabtrag gefährdet, was zu einer Staubbelastung der Anrainer führen kann.

Das Büro Dr. Schippinger & Partner hat Untersuchungen durchführen lassen, um das Ausmaß der Staubemission festzustellen. Der deutsche Wetterdienst hat im Jänner 2000 die entsprechenden Messungen durchgeführt. Als Probenahmeverfahren wurde der Sedimentationssammler Sigma-2 nach VDI 2119, Blatt 4 des Handbuchs zur Reinhaltung der Luft eingesetzt (Abb. 22). Dieser Sammler wurde an 5 ausgewählten Standorten innerhalb und außerhalb der Deponie installiert, und jeweils 30 einwöchige Probenahmen durchgeführt.

- 1 NO₂ Gasröhrchen
- 2 Gehäusekopf
- 3 Folienträger mit Staubfolie
- 4 Gehäusefuß

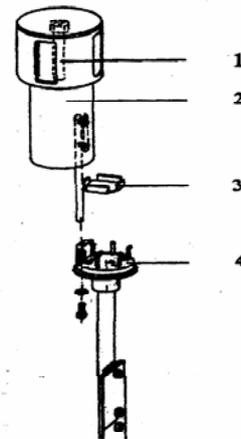


Abb. 22: Sigma2 – Sammler, VDI-2119, Blatt 4

Der Immissionsgrenzwert der Konzentration für Schwebestaub nach dem Immissionsschutzgesetz – Luft liegt bei $0,15 \text{ mg/m}^3$ als Tagesmittelwert. Der Grenzwert dient dem dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit in ganz Österreich. Um eine genauere Aussage treffen zu können, wurden als Vergleichswerte die in den Qualitätsstandards für deutsche Kurorte festgelegten Richtwerte herangezogen. Für verkehrsbezogene Messungen ist eine maximal zulässige Konzentration von $28 \mu\text{g/m}^3$ für den Grobstaub vorgesehen.

Für den Standort welcher innerhalb der Deponie gelegen ist, haben sich die höchsten Messwerte ergeben. Im Durchschnitt liegt die Grobstaubbelastung mit $23,4 \mu\text{g/m}^3$ zwar unterhalb des Richtwertes, Spitzenwerte wurden aber besonders in den Monaten Juni aber auch April erreicht, die im Messzeitraum trockene Witterungsverhältnisse und geringen Niederschlag gehabt haben. Die Spitzenwerte haben die Vergleichswerte dabei deutlich überschritten. Die restlichen Messstellen haben deutlich niedriger Werte geliefert.

Die Untersuchung haben gezeigt, dass Belastungsspitzen die innerhalb der Deponie gemessen wurden, außerhalb kaum nachweisbar sind. Die erhöhte Staubbelastung ist eher auf den Straßenverkehr zurückzuführen, der allerdings stark durch den Transportverkehr zur Deponie beeinflusst wird. Dennoch soll die Staubentwicklung minimiert werden, da sich die Deponie mitten im Wohngebiet befindet und je nach Windrichtung das angrenzende Freibad im Sommer oder die unmittelbar angrenzenden Anrainer belastet werden.

Um vor allem die Staubentwicklung durch den Transportverkehr zu reduzieren, wurde eine Reifenwaschanlage installiert. Eine weitere Verbesserung liefert auch eine Befeuchtung im Bereich der Einfahrt und der Brückenwaage. Zukünftig soll ein Lichtschranken diese Befeuchtung steuern.

Um das Staubproblem in den Griff zu bekommen, wurden in den letzten Monaten weitere Investitionen in eine digitalisierte Beregnungsanlage sowie weiteren Beregnern getätigt, um noch effizienter mit dem Wasserangebot die Staubentwicklung einzudämmen. Ziel ist es, einzelne Beregner je nach Bedarf länger oder kürzer zu steuern, um so einen optimalen Betrieb zu gewährleisten.

4.2. Überlegungen zur Staubreduzierung

4.2.1. Abdecken der Asche mit einer PP-Folie

Um eine Staubentwicklung zu verhindern besteht die Möglichkeit, den Aschekörper abzudecken, wie es in der DepVO 1996, §26 „Abfalleinbau“ angeführt ist.

Derzeit kommt die Asche vorbefeuchtet mit einer Temperatur von 80°C und einem Wassergehalt von $w = 30 \sim 35 \%$ auf die Deponie.

Die Fa. Polyfelt führt in ihrem Sortiment eine Folie aus 100% Polypropylen mit einem normalen Einsatzbereich von -25°C bis 50°C. Da der Schmelzpunkt der Folie bei 250°C liegt gibt es vom Hersteller her aber keine Bedenken, die Folie auch zum Abdecken von 80°C heißer Asche zu verwenden. Durch den Wassergehalt $w = 30 \sim 35 \%$ der Asche kommt es erst nach einigen Tagen zu einem auf Trocknen der verhärteten Oberflächenschicht und dadurch zu einer Staubentwicklung.

Die Folie ist nach Angaben des Herstellers so widerstandsfähig, dass ein Bagger die Folie anheben und zurückziehen kann, um den darunter liegenden Aschekörper für die Weiterverarbeitung in der Zement/Ziegelindustrie abarbeiten zu können.

Derzeit wird die Asche nur über Kopf direkt auf die Böschung abgeleert. Dadurch ist der Einsatz einer Folie eher problematisch. Erschwerend kommt noch dazu, dass die Deponie nur über zwei Mitarbeiter verfügt und so ein Einsatz als Böschungsabdeckung schwierig ist. Für spätere Einsätze, wenn die Asche auf ebenen Flächen in Lagen eingebaut wird, ist diese Abdeckung sicher eine mögliche Variante zum Schutz vor Windverfrachtung.

Nach Angaben der Fa. Polyfelt würden für diese Investition folgende Kosten anfallen:

1 Rolle = 700 m²

1 Rolle = 1820 €

1m² = 2,6 €

Adresse:
polyfelt Ges.m.b.H
Schachermayerstrasse 18
A-4021 Linz

4.2.2. Abdecken der Asche mit verrottbaren Matten

Eine andere Variante ist die Abdeckung der Asche mit verrottbaren Matten.

Die Fa. Angermünder Matten GmbH & Co. KG hat in ihrem Sortiment eine Matte aus 100% Getreidestroh, beziehungsweise aus 100% Kokosfaser. Die Getreidestrohmatte verrottet nach Angaben des Herstellers nach ca. einer Vegetationsperiode, die Kokosmatte nach 5~6 Vegetationsperioden.

Mattenaufbau: PP-Netz - Stroh - PP-Netz mit PP-Faden versteppt wobei anstatt der PP-Netze und Fäden auch Jutenetze und Jutefäden einsetzbar sind.

Durch die Abdeckung mit den Matten wird Bewässerungswasser längere Zeit vor Verdunstung geschützt, Stroh oder Kokos selbst speichert aber kaum Wasser. Die Matten bieten auch einen Schutz vor Erosion.

Da die Matten verrottbar sind und keine schädlichen Fremdstoffe enthalten, können sie auch problemlos mit abgegraben werden und zusammen mit der Asche einer weiteren Verwendung in der Zement/Ziegelindustrie zugeführt werden, oder im Wirbelschichtofen mit verbrannt werden.

Die Matten müssen gegen den Windangriff befestigt werden. Hier bietet der Hersteller Stahlhaften oder Holznägel an.

Mattenbreite: 2,4 ~ 3,0 m

Mattenlänge: 25,0 ~ 50,0 m

Mattengewicht: 350, 500, 700, 1000 g/m²

Preise: Kokosmatte mit 350 g/m²: 0,78 €/m² ab Werk

Strohmatte mit Polypropylenfäden: 0,46 €/m² ab Werk

Strohmatte mit Jutefäden: 0,71 €/m² ab Werk

Rabatte sind bei Mengen > 5000 m² möglich.

Adresse:

Angermünder Matten GmbH & Co. KG
Baustoffhandel
Am Plattenwerk 5 16278 Angermünde
Hr. Nitschmann Manfred
☎ 03331 262710

4.2.3. Abdeckung der Asche mit Grünschnitt

Auf der Deponie Voitsberg wurden vor einigen Jahren Versuche gestartet, mit dem Ziel, Asche mit Grünschnitt aus dem Garten oder Grünschnitt von Verkehrsflächen oder Straßenbegrenzungen abzudecken. Die Aschedeponie hat ein Ausmaß von ca. 400 m x 350 m. Alle jene Bereiche, wo nach der Deponierung der Asche längerfristig keine Manipulationen stattfanden, wurden mit Grasschnitt abgedeckt um die Staubentwicklung bei Windeinwirkung zu minimieren. Der Grasschnitt dient sowohl als Dünger als auch als Samenlieferant und Feuchtespeicher. Durch den Wassergehalt des Grünschnitts kann über längere Zeit Feuchtigkeit an den Aschekörper abgegeben werden.

Anspruchslose Gräser und Pflanzen gedeihen unter diesen Bedingungen am Ascheboden recht gut. Dadurch kann die Feuchthaltung der Aschedeponie auf jenen Bereich der neu angelieferten Asche beschränkt werden. Diese aufgebrauchten Schichten hatten eine Mächtigkeit von 10~20 cm.

Für die Deponie in Laakirchen bietet sich diese Abdeckung in erster Linie für den Lärmschutzwall an. Dieser Wall ist aufgrund seiner exponierten Lage sowieso stark dem Wind ausgesetzt.

Derzeit werden bereits Maßnahmen gesetzt, um den Erdwall zu begrünen. Erfahrungen haben gezeigt, dass eine natürliche Pflanzansiedelung stattfindet, diese aber nur sehr langsam vor sich geht.

Die Straßenmeisterei Gmunden mäht in einem zwei Wochen Rhythmus zusammen mit der Straßenmeisterei Bad Ischl ab der Kalenderwoche 24. Pro Tag fallen rund 30 m³ Mähgut an, welches kostenlos dem Betreiber der Deponie auf einem dafür vorgesehenen Lagerplatz, welcher bei jeder Witterung befahrbar sein muss, zur Verfügung gestellt werden könnte. Nach groben Schätzungen durch Hrn. Mohr von der Straßenmeisterei Gmunden könnten im heurigen Jahr der Deponie rd. 1000 m³ Grünschnitt zur Verfügung gestellt werden. Diese Menge ist aber von der Witterung und vom Wuchsverhalten stark abhängig, so dass keine Garantie abgegeben werden kann.

Friedrich.Mohr@ooe.gv.at

Tel.: 07612-75175-24

4.2.4. Aufbringung einer erhärtenden Schutzschicht

Nach Rücksprache mit der Firma TIWO haben sich folgende mögliche Varianten ergeben, die als Schutzschicht in Frage kommen können:

- aufbringen von Bentonit ($\sim 5\text{kg/m}^2$), kostet ca. 100 €/to
- aufbringen von Zement ($\sim 3\text{kg/m}^2$), kostet ca. 60 €/to
- aufbringen von Gips-/Kalkhydrat ($\sim 3\text{ kg/m}^2$), kostet ca. 60 €/to

Da derzeit die Asche als Sekundärstoff in der Zementklinker-Produktion Verwendung findet, ist die Erhöhung des Kalk/Zementgehaltes eine positive Nebenerscheinung.

In Versuchen muss aber geklärt werden, in welchen Schichtdicken die Asche eingebaut werden kann um mit der Schutzschicht optimal zu korrelieren. Außerdem muss überprüft werden, welche Dicke die Schutzschicht haben darf, um bei schichtenweisem Einbau den Aschekörper nicht zu stark zu verfestigen, so dass ein Abbau nur erschwert möglich wäre. Die Baustoffe sollten in einem Silo auf der Deponie vorgehalten werden, und dann maschinell auf den Aschekörper aufgebracht werden.

Gips fällt als Restprodukt in Fernwärmeheizwerken an. Da es in Gmunden ein Fernwärmeheizwerk gibt, könnte dahingehend ein örtlicher Kooperationspartner gefunden werden, der bei Bedarf Gips zur Verfügung stellen kann.

Die Asche der Deponie in Laakirchen wird in die Zementindustrie geliefert. Die bereits bestehenden Kontakte können sicher genutzt werden, um verlässlich Zement für die Suspension zu bekommen.

Die Firma Putzmeister hat für das Versprühen einer dünnen Zementmilch folgende Pumpen im Angebot:

S 5 EV + EV/CM + EV/TM Universal-Schneckenpumpe

maximale Förderweite: 80 m

maximale Förderhöhe: 60 m

Leistung: bis 40 l/s

Körnung: bis 6 mm



Abb. 23: S 5 EV Universal-Schneckenpumpe, Fa. Putzmeister

Die Universal-Schneckenpumpe für Werk trocken- und Werknassmörtel aus Sack oder Silo. Die S 5 ist ein modulares System. Basis ist eine leistungsfähige Schneckenpumpe mit einer Leistung bis 40 l/min. Die TM-Version hat zusätzlich einen aufgesetzten Tellermischer für eigene Mischungen, die CM-Version einen Durchlaufmischer für Werk trockenmörtel.

Sprayboy P 12

maximale Förderweite: 26 m

maximale Förderhöhe: 15 m

Leistung: 6 bis 12 l/s

Körnung: bis 3 mm



Abb. 24: Sprayboy P 12, Fa. Putzmeister

Der Sprayboy ist eine Misch- und Pumpmaschine. Sie mischt, pumpt und spritzt aus einem Trichter. Für Spritzarbeiten wird ein Kompressor benötigt, welcher bauseits beigestellt werden muss.

Schwenkköpfe wie bei Rasensprenglern sind nach Auskunft der Fa. Putzmeister möglich, wurden aber bisher immer von den Kunden selbst hergestellt.

Putzmeister AG
Max-Eyth-Str. 10
D-72631 Aichtal
Hr. R.Bröder
Telefon 07127/599405
Fax: 07127/599743
Mobil: 01727139560
[Mailto: BroederR@pmw.de](mailto:BroederR@pmw.de)
E-mail: BroederR@aol.com

4.2.5. Aufbringung einer klebenden Schutzschicht

Eine weitere Alternative wäre das Aufspritzen einer dünnen Schicht von Rapsöl.

Nach Rücksprache mit Fr. Ing. Landershammer von der Oberösterreichischen Landesregierung bestehen Bedenken, dass Inhaltsstoffe des Rapsöles gute Lösungseigenschaften mit Inhaltsstoffen der deponierten Asche aufweisen können, und somit Stoffe gelöst und mobilisiert werden könnten. Durch das Befeuchten der Oberfläche einer Aschedeponie mittels Rapsöl tritt ein Verkleben der Asche ein. Somit wird ein guter Effekt zur Vermeidung von Staubemissionen erzielt.

Prinzipiell müsste aber zuerst bei der zuständigen Behörde ein Ansuchen um Genehmigung eingebracht werden, wo eine separate Prüfung erfolgt.

Rapsöl kann direkt auf den Aschekörper aufgespritzt werden, und verklebt die Oberfläche. Das Öl bietet außerdem in der weiteren Verarbeitung den Vorteil, dass es brennbar ist. Geruchsprobleme die durch das Aufsprühen in den Sommermonaten durch ranzig werden entstehen können, müssen erst in Versuchen überprüft werden.

Welche Mengen pro m² aufgebracht werden sollten, muss erst durch Versuche bestimmt werden.

Nach Rücksprache mit Hrn. Gross von der Firma Bauer wäre es prinzipiell möglich das Rapsöl mit der bestehenden Beregnungsanlage zu versprühen. Um ein Verkleben der Düsen zu verhindern, muss die Anlage nach dem Versprühen jedoch gereinigt werden. Ob das Öl die Sprühköpfe angreift, sollte vorab im Labor geprüft werden.

Die Fa. SEEG - Südsteirische Energie- und Eiweißerzeugung reg. Gen.m.b.H. verkauft 1000 Liter Rapsöl für 500 € ab Werk Mureck.

SEEG-Südsteirische Energie- und
Eiweißerzeugung reg. Gen.m.b.H.

A-8480 Mureck

Pestkreuzweg 3

4.3. Durchgeführte Untersuchungen

4.3.1. Ausgangslage

Aufgrund von Erfahrungen von Hrn. Kriechbaum, Stv. Betriebsleiter und Leiter der Eingangskontrolle der Deponie des Reinhaltverbandes Großraum Laakirchen, haben sich die Untersuchungen auf zwei Aschetypen eingeschränkt.

Nach ca. 6 ~ 8 Monaten hat die deponierte Asche nach Beobachtungen eine höhere Speicherkapazität von Wasser als die frische Asche. Aus diesem Grund wurden von der „frischen“ Asche, welche direkt im Werk Laakirchen entnommen wurde und noch nicht mit Wasser in Berührung gekommen ist, und von der „alten“ Asche repräsentative Proben genommen. In Zusammenarbeit mit AO Univ.-Prof. Dr. phil. Josef Tritthart vom Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie wurden folgende Versuche durchgeführt:

- Sorptionsmessung (BET) zur Bestimmung der inneren Oberfläche
- Freikalkgehaltsmessung

Je größer die Oberfläche ist, beziehungsweise je feiner die Körnung der Asche ist, desto mehr Wasser kann physikalisch an der Oberfläche gebunden werden. Deshalb wurde eine BET-Messung durchgeführt, um darin bereits einen Unterschied zwischen den Aschen zu erkennen, und die unterschiedlichen Eigenschaften zu erklären.

Der Freikalkgehalt der Asche zeigt, wie viel CaO ungebunden, also reaktionsfähig vorliegt. Dieser Freikalk kann mit Wasser zu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reagieren und weiter mit CO_2 zu Kalkstein, es kommt also zur Ausbildung einer harten Schicht.

Vor Beginn der Messungen wurden die Proben abgesiebt (Maschenweite 2mm). Für die Messungen musste die Probe im Trockenschrank getrocknet werden, wodurch jedoch der natürliche Zustand wie er auf der Deponie vorherrscht nicht beschrieben werden kann.



Abb. 25: Probe 1 (frisch)



Abb. 26: Probe 2 (alt)

Die „alte“ Probe war zum Teil stark verklumpt in einer Größenordnung von 2 ~ 3 cm (Abb. 27). Um zu überprüfen, ob es sich nur um reine Hafteigenschaften durch Wasser handelt, oder ob es auf der Deponie zu chemischen Reaktionen gekommen ist, welche eine Verfestigung zur Folge gehabt haben, wurden diese Klumpen ebenfalls in den Trockenraum gelegt. Die Vermutung hat sich bestätigt, dass es sich hier nur um Hafteigenschaften durch Wasser handelt.



Abb. 27: verklumpte „alte“ Asche

4.3.2. Durchgeführte Untersuchungen

a.) Sorptionsmessungen (BET) zur Bestimmung der inneren Oberfläche

Aus den Ergebnissen von Sorptionsmessungen kann mit Hilfe der bekannten BET-Theorie jenes Volumen (V_m) an Adsorptiv bestimmt werden, das benötigt wird, um die gesamte innere Oberfläche eines porösen Stoffes mit einer monomolekularen Schicht zu bedecken. Aus V_m kann man über die (bekannte) Molekülgröße des Adsorptivs die Oberfläche des Adsorbens berechnen. Diese Rechnung erfolgt unter der Annahme, dass die Packungsdichte des Adsorptivs an der Oberfläche des Adsorbens gleich ist wie im flüssigen Zustand (Tritthart J., 1993).

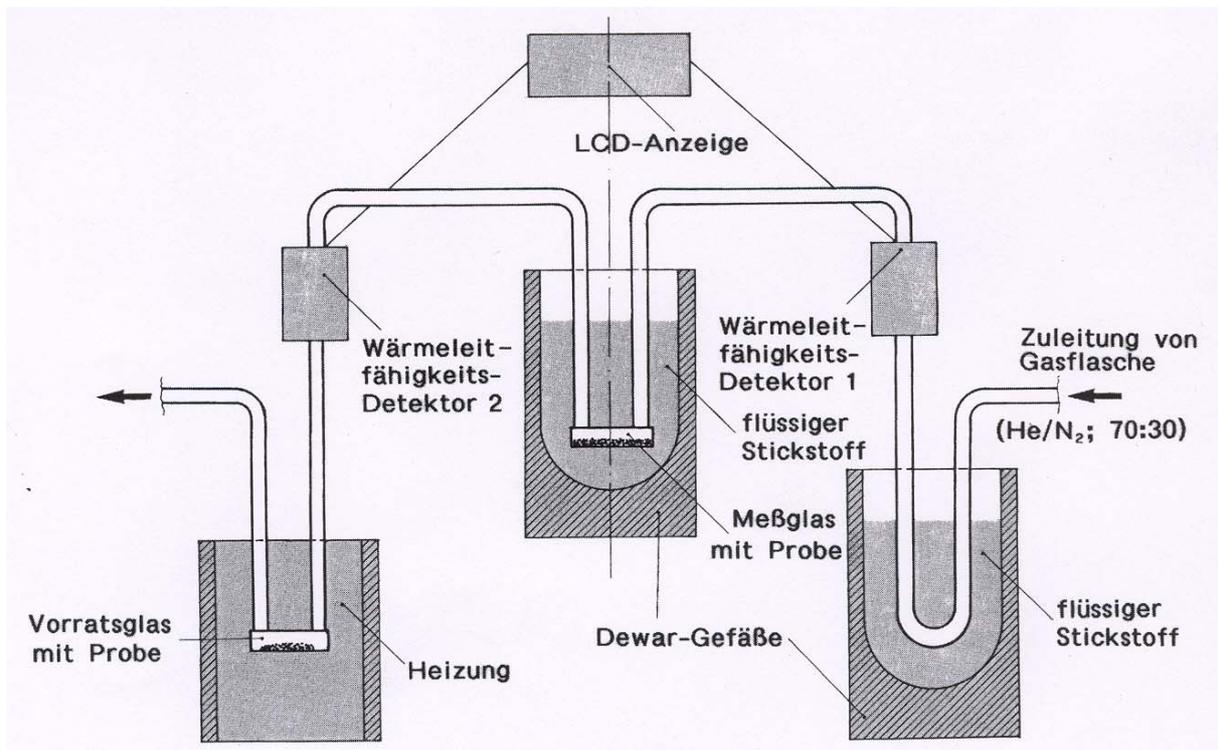


Abb. 28: Funktionsprinzip des Messgerätes „Flow sorb II 2300“ (Tritthart J., 1993)

Das für die gegenständlichen Untersuchungen verwendete Messgerät ist ein Gerät der Fa. Mikromeritics, Type „Flow sorb II 2300“.

Das Funktionsprinzip der Apparatur (Abb. 28) ist folgendens :

Aus einer Gasflasche wird ein Helium/Stickstoff – Gemisch (He:N₂ = 70:30 Vol.-%) in die Apparatur geleitet und passiert zunächst eine Kühlfalle (Kühlung mit flüssigem Stickstoff, -196 °C) zum Ausfrieren etwa von Restfeuchte aus dem Gasgemisch. Der Gasstrom wird sodann durch einen Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD) geführt und danach durch das Probengefäß. Nach dem Durchströmen des Probengefäßes gelangt das Gas in einen zweiten Wärmeleitfähigkeitsdetektor und wird schließlich über das Probenvorratsgefäß ins Freie geführt. Im Probenvorratsgefäß befindet sich eine Probe sozusagen in Warteposition und kann hier durch eine elektrische Heizung, die von außen wie eine Tasche auf das Glasgefäß geklemmt wird, beheizt werden, um Restwasser bzw. adsorbierte Gase von der Oberfläche der Probe vor der Messung entfernt werden.

Registriert werden Unterschiede der Wärmeleitfähigkeit des Gasstromes vor und nach dem Probengefäß, zu denen es kommt, wenn die Zusammensetzung des Gases in den beiden Detektoren nicht übereinstimmt. Nach der Gerätejustierung wird die Probe auf die Temperatur des flüssigen Stickstoffs gebracht. Nun kondensiert an der Probenoberfläche Stickstoff, die Gaszusammensetzung ändert sich und damit auch seine Wärmeleitfähigkeit, so dass es zu einer Anzeige kommt. Wenn die Oberfläche der Probe mit Stickstoff bedeckt ist, wenn also kein weiterer Stickstoff dem Gasstrom mehr entzogen wird, stimmt die Gaszusammensetzung in beiden Detektoren wieder überein und die Messung ist zu Ende. Die Dauer und Stärke der Differenzen in den Wärmeleitfähigkeiten zwischen den Detektoren steht in direktem Zusammenhang mit der Gesamtmenge von adsorbiertem Stickstoff, die wiederum ein Maß für die innere Oberfläche ist. Nach der Adsorptionsmessung wird dieselbe Messung im umgekehrten Sinne durchgeführt. Dazu wird die Kühlung entfernt und die Probe auf Raumtemperatur erwärmt. Nun dampft der adsorbierte Stickstoff wieder ab und es kommt erneut zu einer Anzeige. Man erhält also in einem Messvorgang zwei Werte, je einen aus der Adsorption und der Desorption des Stickstoffes, und hat damit auch gleich eine Kontrolle der Messgenauigkeit. (Tritthart J., 1993)

Tabelle 23: Ergebnis der Sorptionsmessung

	Adsorption	Desorption	Mittelwert
Probe 1 (frisch)	4,90 m ² /g	4,13 m ² /g	4,1 m ² /g
Probe 2 (alt)	14,13 m ² /g	14,09 m ² /g	14,1 m ² /g

Die Messung hat ergeben, dass die bereits längere Zeit abgelagerte Asche eine 3,4 mal höhere Oberfläche besitzt als die frische Asche.

Über die Ursache dieses doch sehr deutlichen Unterschiedes können nur Vermutungen angestellt werden.

Aus der Brennstoffstatistik der EEVG Entsorgungs- und Verwertungsges. m. b. H Steyrermühl sind deutliche Schwankungen zu erkennen (Abb. 29). Altpapierrejekt wird erst seit Mai 2002 mit verbrannt, bei den anderen Brennstoffen schwanken die Anlieferungen generell zwischen 50 und 80 % um den Mittelwert. Nur bei der Anlieferung von eigenen Faserreststoffen und Schlamm treten geringere Schwankungen um die 15 bis 18 % auf.

Schwankungen in der Brennstoffanlieferung

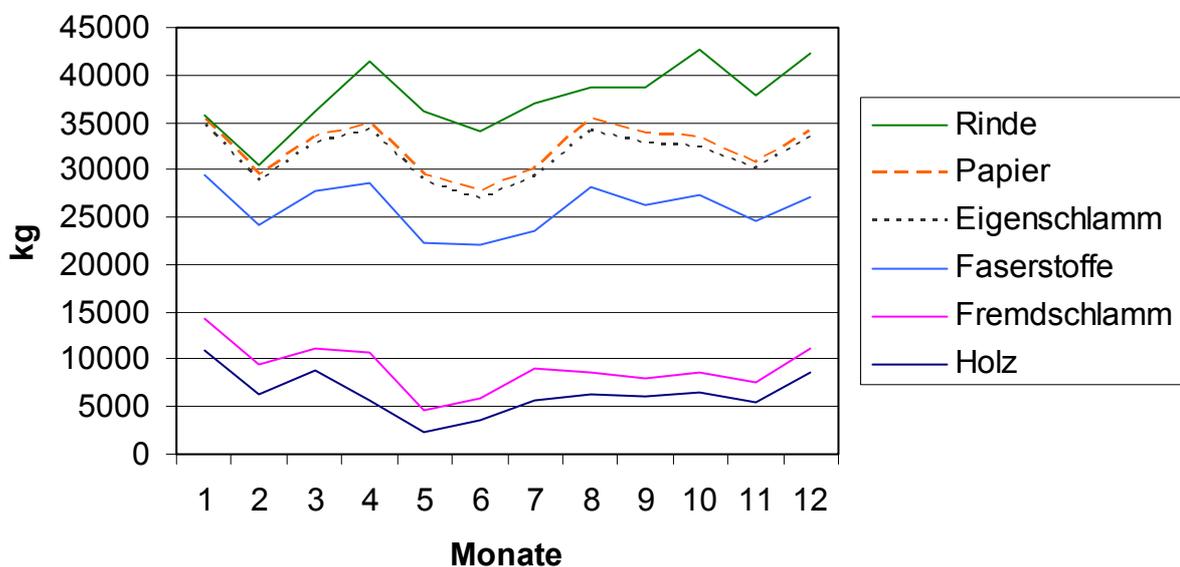


Abb. 29: Schwankungen in der Brennstoffanlieferung im Jahr 2002

Eine weitere Erklärung kann in den Anforderungen der Deponieverordnung gefunden werden. Dort wird im § 26 „Abfalleinbau“ Abs. 2 eine Verdichtung vor oder im Zuge des Einbaues vorgeschrieben. Durch mehrmaliges belasten der älteren Asche durch die Schubraupe kann es zu einer Zerkleinerung des Materials kommen.

b.) Freikalkmessung nach ÖNV 254:1997

Die Bestimmung des Gehaltes an ungebundenem CaO (Freikalk) in Flugasche erfolgte gemäß ÖNV 254:1997 aus dem „Prüfbuch für Zement“.

Von den bei 105 °C getrockneten Proben werden jeweils zwei Teilproben mit 1,000 g eingewogen. Danach werden die Aschen in 100 ml - Rundkölbchen mit etwas Quarzsand und 50 ml Ethylenglykol versetzt und gut verschlossen. Nach mind. 30 gutem durchrühren (Abb. 30) wird die Probe mit einem Büchnertrichter und einem Rundfilter 602 der Fa. Schleicher und Schüll abgesaugt (Abb. 31) und dreimal mit je 10 ml Ethanol durchgewaschen. Dem klaren Filtrat werden dann einig Tropfen Indikator zugesetzt und mit einer 0,1 m HCl von blau bis zum Umschlag auf gelb titriert.



Abb. 30: Probe wird durchvibriert



Abb. 31: Probe wird abgesaugt

Tabelle 24: Ergebnis der Freikalkmessung nach ÖNV 254:1997

	0,1 m HCl	Gehalt an ungebundenem CaO in %
Probe 1 (frisch)	33,8 ml	9,464
Probe 1 (frisch)	36,0 ml	10,08
Probe 2 (alt)	1,8 ml	0,504
Probe 2 (alt)	1,7 ml	0,476



Berechnung:

verwendete Salzsäure: HCl 0,1 mol/l

→ 36 ml bei „Probe 1“ → 3,6 mmol/ml

2 HCl → 3,6 mmol/ml / 2 = 1,8 mmol/ml → CaO

Molekulargewicht 1 mol CaO = 56 g = 5,6 mg/ml

5,6 mg/ml * 18 = 100,8 mg = 0,1008 g → 10,08 % CaO

Die frische Asche hat einen Freikalkgehalt von ca. 10% der nach längerer Deponierung auf einen Gehalt von 0,5% absinkt. Da bei dieser Messung nur der Freikalk bestimmt wird, der chemisch gebundene Kalk aber nicht, laufen auf der Deponie chemische Reaktionen ab, in der der Freikalk chemisch gebunden wird. Durch die Befeuchtung durch Regenwasser und durch Wasser der Beregnungsanlage kann der Freikalk mit Wasser zu Calciumhydroxid Ca(OH)₂ reagieren. Dieser Vorgang ist aber nur unter Anwesenheit von Wasser möglich. Ist das Wasser verbraucht, kommt der Vorgang zum Erliegen.

Um den Gesamtkalkgehalt zu bestimmen wurde noch ein weiterer Versuch durchgeführt.

50 mg der Proben wurde mit destilliertem Wasser und Salzsäure vermischt. Durch die Reaktion von Calciumcarbonat CaCO₃ mit Salzsäure entsteht Kohlensäure die unter schäumen in die Luft entweicht.



Nach dem bei beiden Proben ein Schäumen aufgetreten ist, ist bei beiden Proben ein größerer Anteil an Calciumcarbonat enthalten.

Einwaage 50 mg + HCl + H₂O destilliert + Triethanolaminhydrochlorid + Ammoniumchlorid + NaOH⁺ + Indikator für Ca, mit 0,1 m Komplexor titrieren bis Farbumschlag rot → blau

Tabelle 25: Ergebnis des Gesamtkalkanteils der in HCl löslich ist

	0,1 m Komplexor (Dinatriumsalz)	Gesamtkalkgehalt in HCl löslich
Probe 1 (frisch)	4,5 ml	50,4 %
Probe 2 (alt)	2,4 ml	26,9 %

c.) Wassereindringversuch

Dieser Versuch soll einen Einblick in die Vorgänge vor Ort geben.

Dafür wurde die gesiebten und getrockneten Ascheproben in zwei Plexiglasbehälter gefüllt.

Danach wurde 300 ml Wasser auf die Oberfläche gespritzt. Ziel war es, das Eindringen des Wassers zu dokumentieren.

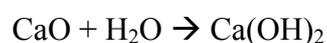


Abb. 32: Wassereindringtiefe nach 60 min.

Tabelle 26: Ergebnis des Wassereindringversuches

	Temperaturentwicklung			Eindringtiefe nach 5 min.	Eindringtiefe nach 60 min.
	5 min.	60 min.	120 min.		
Probe 1 (frisch)	gering	Oberflächlich stark	Oberflächlich abgeklungen, bei 10 cm Tiefe noch stark	7 ~ 8 cm	~ 10 cm
Probe 2 (alt)	keine	keine	Keine	7 ~ 8 cm	10 cm

Bei der frischen Probe hat eine stark exotherme Reaktion stattgefunden. Durch den hohen Freikalkgehalt und der Zugabe von Wasser kommt es zu einer Reaktion zu Calciumhydroxid Ca(OH)_2



Ein kg CaO entwickelt beim Löschen eine Wärmemenge von 1159 kJ

Nach einer Stunde war nicht mehr genau festzustellen, wie tief das Wasser vorgedrungen ist. Die Oberfläche weist starke Risse auf und ist ausgetrocknet (Abb. 33).



Abb. 33: frische Asche nach 60 min.



Abb. 34: alte Asche nach 60 min.

Bei der alten Asche hat sich aufgrund des geringen Freikalkgehaltes keine stark exotherme Reaktion ausgebildet. Das Wasser ist über den Probekörper auch nach zwei Stunden noch gleichmäßig verteilt. Die Eindringtiefe ist deutlich zu erkennen. Auf der Oberfläche haben sich keine Risse gebildet, sie ist noch immer feucht (Abb. 34).

Nach einer Woche hat die frische Asche bereits in den befeuchteten Zonen abgebunden. Es war nur mehr sehr schwer möglich, die Asche aus dem Prüfgefäß zu entfernen. Jene Bereiche, in die das Wasser nicht vorgedrungen ist, waren nach wie vor feinkörnig und reaktionsfähig

Um den reinen Freikalkgehalt mit Wasser zu Calciumhydroxid reagieren zu lassen, ist folgende stöchiometrische Gleichung zu erfüllen:

Abschätzen der Wassermenge um CaO mit H₂O zu Ca(OH)₂ umzuwandeln:

Ascheanfall pro Tag: ~ 125 t → 10% CaO = 12500 kg CaO

1 mol CaO = 56 g/mol

H₂O = 18 g/mol

12500 kg CaO = 223214,3 mol CaO

223214,3 mol H₂O = 4017857,4 g H₂O ~ **4,02 m³ H₂O**

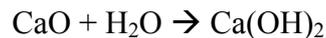
Das Abbindeverhalten funktioniert jedoch generell über Hydratphasen, die wesentlich mehr (Kristall)Wasser aufnehmen, d.h. der technische Wasseranspruch ist deutlich höher. Ein Maß dafür wäre die Proctordichte, d.h. der Wassergehalt für eine optimale Verdichtung. Die Menge ist meist im Bereich Wasser zu Feststoff ca. 0,3.

Aschemenge: 125000 kg/Tag

Wassermenge: Verhältnis ~ 0,3 → 37500 kg/Tag ~ 37500 Liter/Tag ~ **37,5 m³ H₂O/Tag**

Chemische Reaktionen (nach Marzi, 1999, R. Benedix, 1999)

Bei einem Freikalkgehalt von 10 % spricht man bereits von einer kalkreichen Asche. Um als Bindemittel wirken zu können, muss der Kalk gelöscht werden. Dabei reagiert Calciumoxid CaO in einer stark exothermen Reaktion mit Wasser zu Calciumhydroxid Ca(OH)₂



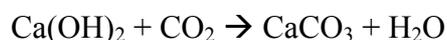
Ca(OH)₂ ist in Wasser schwer löslich → 1,26g Ca(OH)₂ pro Liter H₂O bei 20°C. Das sich bildende Kalkwasser reagiert stark basisch (pH ~ 12,5).

An der Oberfläche der Halden bildet sich sehr rasch eine harte Schicht aus, die das weitere diffusive Eindringen von CO₂ erschwert.

Die Prozesse an der Schüttungsoberfläche sind auf Reaktionen von in der Asche enthaltenem Calciumoxid/-hydroxid zurückzuführen. Hierdurch wird Calciumcarbonat (erhärteter Kalk, Kalkstein) gebildet.

Carbonatisierung: *Chemischer Erhärtungsprozess, dabei wird Kohlendioxid aus der Luft gebunden, aber nur in Gegenwart von Wasser!*

Entscheidend für die Alterung der Oberflächenschicht ist der Kontakt mit in der Luft enthaltenem bzw. in Regenwasser gelöstem CO₂, das mit dem Calciumhydroxid der Asche zu Calciumcarbonat reagiert.



Durch eine tiefenabhängige Beprobung von Rostaschehalden konnte gezeigt werden, dass der Prozess der Carbonatisierung unter natürlichen Alterungsbedingungen auf eine wenige Zentimeter starke Schicht an der Haldenoberfläche beschränkt bleibt (Marzi, 1998).

Die zur Bildung von Calciumcarbonat führende Aufnahme von Kohlendioxid lässt die feste Phase Calciumhydroxid schließlich verschwinden. Am Ende der Reaktion hat das gesamte in der Asche enthaltene Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat reagiert, H_2O wird als freigegeben.

Bei natürlicher Alterung wird das für die Carbonatisierung erforderliche CO_2 durch die Atmosphäre geliefert. In der Luft gibt es nur einen geringen CO_2 -Gehalt (0,03 Vol%), wodurch der Vorgang nur langsam vor sich geht. Mit fortschreitender Zeit kommt es zu einer Trocknung der Asche (z.T. auch durch Einbindung der Feuchtigkeit als Kristallwasser).

Ein einzelnes Aschepartikel mit Restfeuchte lässt sich modellhaft als Teilchen betrachten, das von einem Flüssigkeitsfilm umgeben ist, welcher bei frischen Aschen aus einer gesättigten $Ca(OH)_2$ – Lösung besteht. Wird die Asche zu einer Halde aufgeschüttet, diffundiert CO_2 durch die Lücken der Schüttung zu den einzelnen Aschepartikeln. Das absorbierte CO_2 reagiert zu Calciumcarbonat.

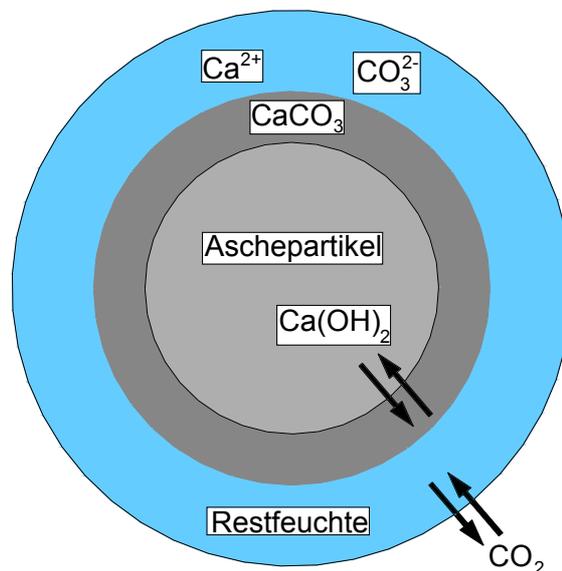


Abb. 35: Teilprozesse der Carbonatisierung (R. Benedix, 1999)

Der Transport von CO_2 durch die einzelnen Haldenschichten stellt den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt für den Gesamtprozess dar. Während der Lagerung auf der Deponie

kommt es zu einer Verfestigung des Materials. Hierdurch entstehen Zonen mit sehr geringer Gasdurchlässigkeit.

Latent-hydraulische Stoffe: *diese Stoffe haben alleine mit Wasser keine Bindemittel-eigenschaften, erhärten aber hydraulisch, wenn sie in Kontakt mit anregenden Stoffen gelangen.*
Als Anreger kommen basische Stoffe wie $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Frage

Kieselsäure (SiO_2):

Charakteristisches Merkmal der Kieselsäure (Siliziumdioxid, SiO_2) ist ihre Neigung zur intermolekularen Wasserabspaltung (Kondensation) unter Bildung von Polykieselsäuren.

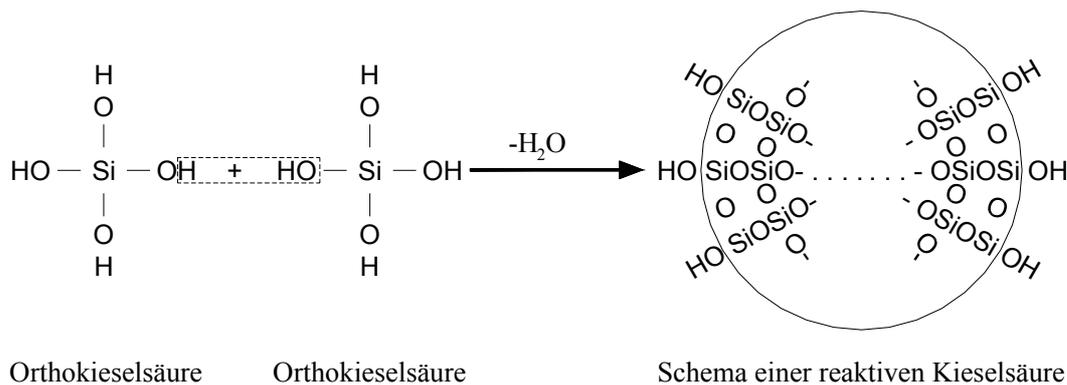


Abb. 36: Teilprozesse der Carbonatisierung (R. Benedix, 1999)

Auf Grund der reaktiven, an der Oberfläche befindlichen OH-Gruppen ist sie in der Lage, mit dem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ des Kalks im Sinne einer Neutralisationsreaktion schwerlösliche Calciumsilikate zu bilden.

Puzzolane sind kieselsäurehaltige Stoffe, die weder unmittelbar mit Wasser hydraulisch erhärten können noch über ein latentes Erhärtungsvermögen verfügen. Sie besitzen jedoch die Fähigkeit, mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ unter Bildung hydraulischer Erhärtungsprodukte zu reagieren.

Ursache für diese Reaktionsfähigkeit ist das Vorliegen amorpher, reaktionsfähiger Kieselsäure, die mit dem vom Kalk oder Zement stammenden $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zu schwerlöslichen Calciumsilicathydraten reagiert.

d.) LUMOSED – Analyse

Mit dem Fotosedimentometer LUMOSED (Abb. 37) kann man eine gravimetrische Sedimentation durchführen, um eine Kornverteilung im Bereich 2 bis 63 μm festzustellen.

Funktionsweise:

Die aus der Sedimentationshöhe (h) und Sedimentationszeit (t) ermittelte Sinkgeschwindigkeit lässt sich in einem Sinkgeschwindigkeitsäquivalentdurchmesser (x_w) umrechnen, da für kugelförmige Teilchen das Sinkgeschwindigkeitsgesetz nach Stokes gilt. Zur Durchführung des Sedimentationsverfahrens benötigt man eine Suspension bestimmter Feststoffkonzentration, die in ein Sedimentationsgefäß (Abb. 38) eingefüllt wird. Bei dem Suspensionsverfahren verteilt man den dispersen Feststoff gleichmäßig, z.B. durch Rühren, über die Höhe der Suspensionssäule. Die Partikel beginnen nach dem Abklingen der beim Rühren erzeugten Konvektionsströmungen zu sedimentieren. Infolge der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten der einzelnen Partikel ändert sich die ursprünglich über der Höhe der Suspensionssäule konstante Feststoffkonzentration in Abhängigkeit von Zeit und Ort.



Abb. 37: Fotosedimentometer LUMOSED

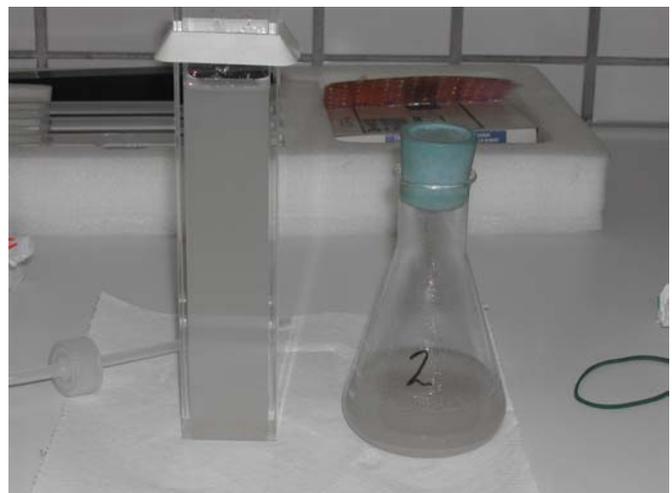


Abb. 38: Suspension der Probe 2 in der Küvette

Das Fotosedimentometer Typ LUMOSED benutzt neben der Sinkgeschwindigkeit als Partikelmerkmal die Licht-Extinktion zur Feststoffkonzentrationsmessung. Die Feststoffkonzentrationsänderung im Sedimentationsgefäß in einer bestimmten Höhe (h) über eine Zeit

(t) wird zur Charakterisierung des Partikeldurchmessers herangezogen. Dies ist eine indirekte Messung. Sie benötigt zur Umrechnung der gemessenen Lichtabschwächung in den gewünschten Massenanteil die Einbeziehung des stoff- und formabhängigen Extinktionskoeffizienten.

Extinktion in der Optik bedeutet die Schwächung von Lichtwellen des einfallenden Lichtes durch Streuung und Absorption.

Drei fest angeordnete Lichtstrahlen in verschiedenen Sedimentationsebenen, deren Extinktion kontinuierlich und gleichzeitig von Sensoren gemessen wird, erfassen die Feststoffkonzentrationsänderung in der Küvette (Abb. 39).

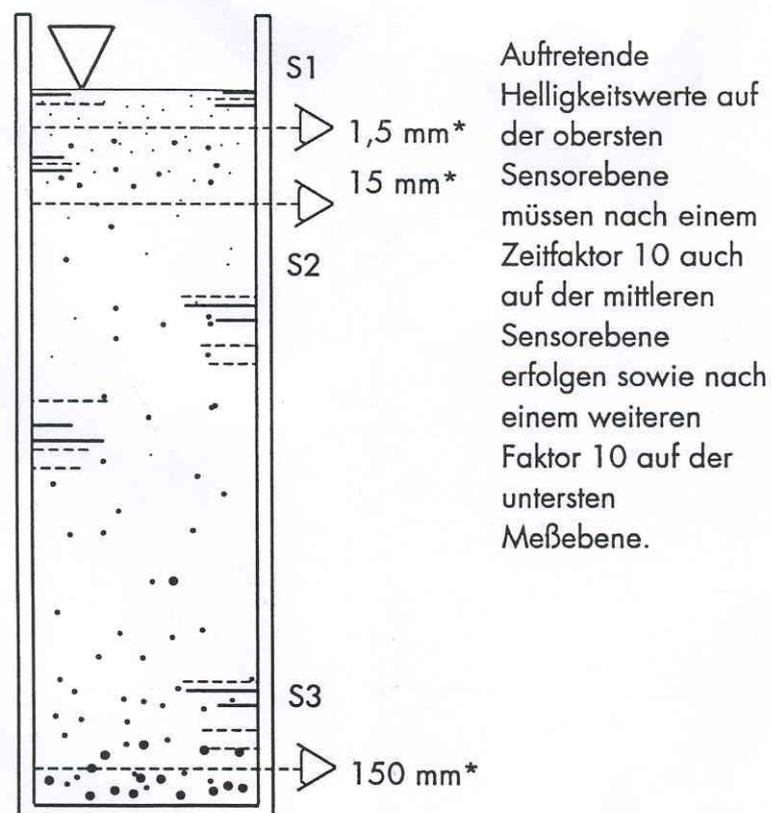


Abb. 39: Schnitt durch die Küvette

Ergebnisse:

Um eine Lumosed - Analyse durchzuführen benötigt man zuerst die Korndichte der verwendeten Materialien. Das Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau hat diese Untersuchungen durchgeführt.

Probe 1 (frisch): $\rho \sim 3400 \text{ kg/m}^3$

Probe 2 (alt): $\rho \sim 2600 \text{ kg/m}^3$

Tabelle 27: Ergebnisse LUMOSED - Analyse

Korngröße [μm]	Probe 1 ungetrocknet [%]	Probe 2 ungetrocknet [%]
2,5	5,31	1,43
3,2	9,41	2,79
4,0	14,58	4,36
5,0	20,67	6,42
6,3	26,87	9,23
8,0	32,63	13,08
10,0	38,65	17,72
12,5	44,46	23,43
16,0	51,52	30,81
20,0	58,97	38,40
25,0	65,08	47,21
31,5	77,39	57,74
40,0	89,11	76,55
50,0	98,94	90,02
63,0	100,00	98,80

Gegenüberstellung Probe 1 - 2

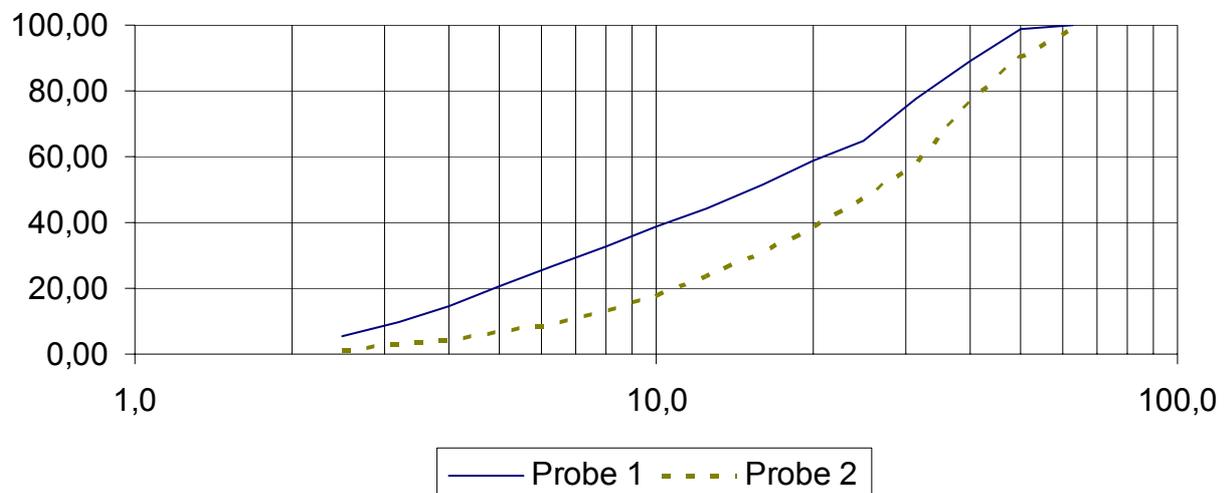


Abb. 40: Korngrößenverteilung der gezogenen Ascheproben

Die bereits mit den vorangegangenen Untersuchungen bestätigten Unterschiede konnten auch hier nachgewiesen werden.

Die frische Asche hat eine deutlich höhere Rohdichte als die bereits länger gelagerte Asche. Einen derart großen Unterschied kann man vor allem durch den Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe erklären.

Auch der Vergleich der Kornverteilungslinien zeigt, dass es hier zu Unterschieden kommt. Die frische Asche hat einen viel größeren Anteil an feinkörnigem Material als die alte Probe. Um die natürlichen Verhältnisse, wie sie auf der Deponie vorherrschen, besser berücksichtigen zu können, wurde eine Nasssiebung vor der Messung durchgeführt. Da die alte Asche aber, wie in Abb. 27 ersichtlich, eher dazu neigt zu verklumpen, kann das eine mögliche Erklärung sein.

Die Ergebnisse der BET – Messung können also nicht als Vergleich herangezogen werden, da dort getrocknete Proben untersucht worden sind.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

5.1. Schlussfolgerungen für die Deponie Laakirchen

Auf der Massenabfalldeponie des RHV Großraum Laakirchen wird derzeit mit Hilfe einer Bewässerungsanlage die Staubemission verringert.

Erfahrungen im Betrieb haben gezeigt, dass bereits länger deponierte Asche Wasser besser speichert, als frisch abgelagerte Asche.

Die im Zuge der Diplomarbeit durchgeführten Untersuchungen sollten dahingehend eine Erklärung liefern.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es deutliche Unterschiede in den beiden Ascheproben gegeben hat. Diese Differenzen als reinen Alterungsprozess anzusehen wäre zwar möglich, ist aber doch eher unwahrscheinlich. Die Schwankungen in der Verbrennung sind gravierend (Abb. 29), was den Schluss zulässt, dass die Unterschiede eher auf den unterschiedlichen Brennstoffeinsatz zurückzuführen sind.

Bei einem Freikalkgehalt von 10% wie er in der derzeit abgelagerten Asche auftritt wird es auf der Deponie bei einer vollständigen Löschung des Freikalks mit Wasser und einer fortschreitenden Carbonatisierung keine größeren Staubprobleme geben. Durch die chemischen Reaktionen bildet sich eine Deckschicht aus, welche das verhindert.

Ein erster Schritt wäre natürlich, die derzeit besonders stark gefährdeten Flächen mit dieser Asche zu bedecken und zu bewässern. Grundvoraussetzung ist aber, dass der derzeitige Freikalkgehalt konstant bleibt.

Die erst kürzlich gesetzten Investitionen in die Aufrüstung und Optimierung der Beregnungsanlage ist sicherlich ein Schritt, der unter den derzeitigen Verhältnissen eine optimale Verbesserung liefern wird.

Ein daraus resultierender Lösungsansatz wäre die Vereinheitlichung der eingesetzten Brennstoffe. Dadurch wäre ein gleich bleibender Freikalkgehalt zu erreichen. Ab welchem Gehalt an CaO eine Staubentwicklung unter Einsatz von Wasser minimiert werden kann, sollte in weiteren Versuchen geklärt werden.

Ein anderer Lösungsvorschlag wäre eine laufende Freikalkbestimmung der Asche bevor sie auf die Deponie geliefert wird. Wenn die Arbeiter auf der Deponie wissen, welchen Freikalkgehalt die Asche ungefähr hat, können sie ein dafür optimales Behandlungsverfahren wählen, um so eine Staubentwicklung möglichst zu vermeiden.

Derzeit gibt es noch kein Gerät, mit dem eine Online-Kalkgehaltsmessung durchgeführt werden kann. Es wäre aber möglich, zumindest ein- bis zweimal die Woche den Kalkgehalt im Labor bestimmen zu lassen.

Ob und wann diese Maßnahmen umgesetzt werden, kann aus jetziger Sicht noch nicht gesagt werden. Um aber die bereits vorhandenen Probleme zu lösen, bietet sich eine Abdeckung mit einer erhärtenden Schutzschicht, wie in Kapitel 4.2.4 beschrieben, an. Da die Asche unter normalen Umständen direkt in der Zementindustrie Verwendung findet, verbleibt die bereits abgelagerte Asche großteils unberührt auf der Deponie. Dadurch besteht nur geringe Gefahr, dass die dünn aufgespritzte, erhärtete Schutzschicht beschädigt wird. Wird diese Schicht aber dennoch beschädigt, so ist es für die Mitarbeiter kein Problem, völlig unkompliziert diese Fehlstellen auszubessern.

Welche Materialien in welcher Konsistenz sich als optimal erweisen, muss in Versuchen noch überprüft werden. Hier bieten sich sicherlich Kooperationen mit örtlich Betrieben an.

So fällt Gips als Restprodukt in Fernwärmekraftwerk Gmunden an.

Aus der Zusammenarbeit mit den Zementwerken die mit Asche beliefert werden, könnte eventuell auch ein Teil des Zementes rückerstattet werden, welcher dann auf der Deponie verwendet werden kann.

Als optimale Lösung für den bereits zum Teil errichteten Schutzwall (Abb. 13) bietet sich eine Abdeckung mit Grünschnitt an. Durch eine Kooperation mit der Straßenmeisterei Gmunden wäre ein kompetenter Partner gefunden, der lokal Ansässig ist und dadurch nur kurze Anfahrwege hat.

Durch die Aufbringung einer Grünschnittschicht kann die Asche vor Windabtrag geschützt werden und die im Grünschnitt enthaltenen Samen und Sporen erleichtern das Anwachsen örtlicher Pflanzen. Hier zu erwähnen ist aber, dass das nur eine vorübergehende Abdeckung ist, die nicht einer endgültigen Abdeckung nach DepVO 1996 entspricht. Ziel ist es aber, durch das anwachsen von Pflanzen, einen Staubfang zu bilden, um die angrenzenden Wohnhäuser in Bezug auf die Staubemission zu entlasten.

Maßnahmen, die die Einbautechnik und Organisation betreffen, um so exponierte Stellen in Bezug auf Windangriff auf der Deponie zu verringern, werden auch von Seiten der Deponiebetreiber angedacht und in näherer Zukunft durchgeführt.

Die vorgeschlagenen Möglichkeiten sind zwar für die Deponie Laakirchen detailliert ausgearbeitet, sie können aber gegebenenfalls auch auf anderen Deponien angewendet werden.

Die zukünftigen Erfahrungen der Deponiebetreiber in Laakirchen können als Pilotprojekt für andere Deponien möglicherweise richtungsweisend sein, wodurch in anderen Projekten viel Zeit und Arbeit gespart werden könnte.

5.2. Zukünftige Situation

Um die gesetzlichen Anforderungen ab 1.1.2004 zu erfüllen, haben viele Bundesländer auf die Mitverbrennung von Abfällen in kalorischen Kraftwerken oder Zementwerken gesetzt. Asche aus der Kohleverbrennung kann unter Einhaltung der dafür vorgesehenen Grenzwerte zur Zementherstellung verwendet werden.

Sonstige Asche kann in der Zementklinkerherstellung verwendet werden, die Zementwerke können dabei ihre Anforderungen an die Asche selbst festlegen solange die EN 197-1 eingehalten wird.

Da in Zukunft ein Überangebot an Asche der Zementindustrie zur Verfügung stehen wird, kann nicht die gesamte Asche verwertet werden. Als letzte Alternative kommt nur die Deponierung in Frage.

Wie aus den folgenden Abbildungen zu entnehmen ist, war in den letzten Jahren ein starker Anstieg an Ascheanfall zu beobachten. Dieser Trend wird sich vermutlich in den nächsten Jahren noch weiter steigern, wenn die Deponieverordnung ab 1.1.2004 in Kraft tritt.

Da bis auf Vorarlberg in jedem Bundesland eine Müllverbrennungsanlage oder zumindest eine Mitverbrennungsanlage existiert wird auch die Zunahme an Asche, welche als „gefährlicher Abfall“ laut ÖNORM S 2100 „Abfallkatalog“ anzusehen ist, drastisch ansteigen.

Tabelle 28: Ascheanfall Deponie Laakirchen (Kriechbaum, 2003)

	Asche to/Tag		Asche to/Jahr		Maximalwert pro Jahr		
	Trocken	feucht	trocken	Feucht	trocken	Feucht	m ³
1999	101,45	131,88	37.023	48.130	40.726	52.943	62.286
2000	100,29	130,37	36.739	47.761	40.413	52.537	61.808
2001	111,97	145,56	40.893	53.161	44.982	58.477	68.796
2002	109,56	142,42	39.989	51.985	43.988	57.184	67.275
2003	124,49	161,84	45.438	59.070	49.982	64.977	76.443

Ascheanfall Deponie Laakirchen

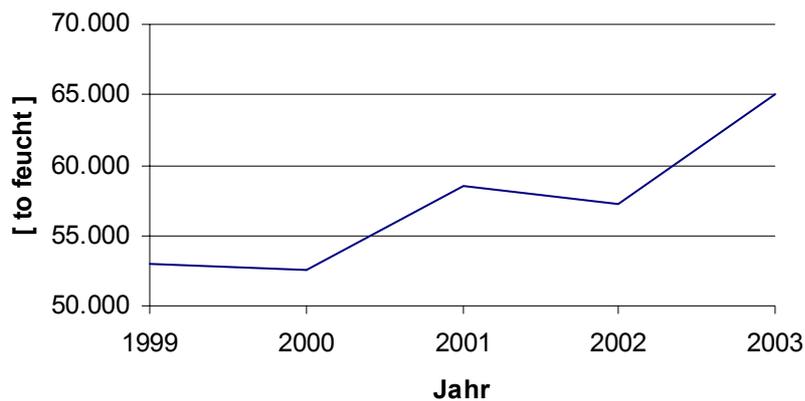


Abb. 41: Ascheanfall Deponie Laakirchen

Biomasseheizwerke in NÖ

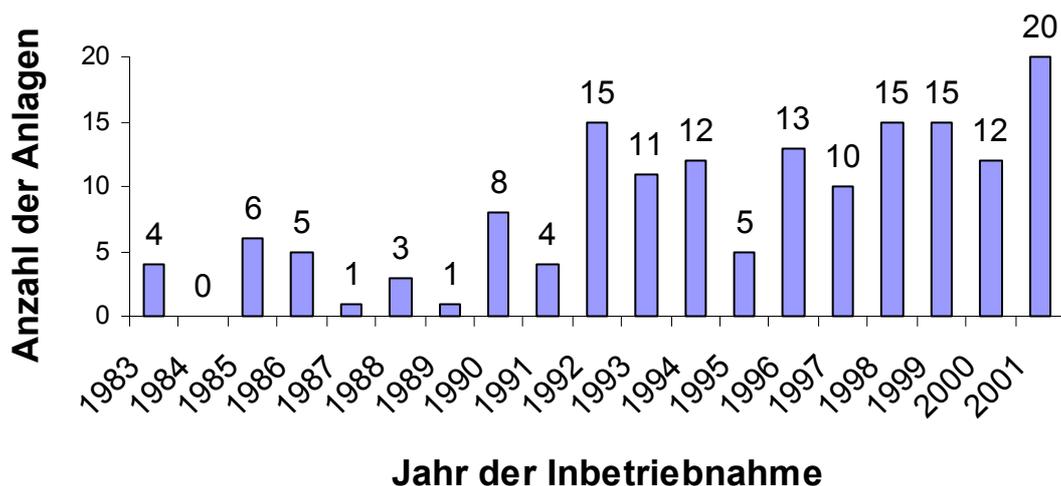


Abb. 42: Entwicklung der Biomasseheizwerke in Niederösterreich (Amt der NÖ Landesregierung)

Bei Biomasseanlagen ist es das Ziel, dass die Asche auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen aufgebracht werden kann, als Bodendünger oder zur Bodenverbesserung. Dafür nicht geeignet ist die Fraktion der Asche mit einer Korngröße über 1~2 cm sowie die mit

schwermetallen angereicherte Feinstasche, sowie Aschen, welche die relevanten Normen nicht einhalten. Diese Asche sollte im Sinne des AWG 2002, sofern es ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist, verwertet werden. Ist dies nicht möglich, so muss diese Asche auf einer Deponie abgelagert werden.

Literaturverzeichnis

- Abfallwirtschaftsgesetz 2002, Bundesgesetz 102, Jahrgang 2002
- Bachhiesl M., Tauschitz J., Zefferer H., Zellinger G., (2001), „Untersuchungen zur thermischen Verwertung von Biomasse und heizwertreichen Abfallfraktionen als Sekundärbrennstoffe in Wärmekraftwerken, Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 73
- Baumbach G. (1990), „Luftreinhaltung“, Entstehung, Ausbreitung und Wirkung von Luftverunreinigungen – Messtechnik, Emissionsminderung und Vorschriften, Springer Verlag
- Benedix R. (1999) „Chemie Für Bauingenieure“, Teubner Studienbücher
- Bewerunge J. (1987) „Deponierung von Reststoffen aus der Müllverbrennungsanlage Düsseldorf“; Müll und Abfall 7/87, 294
- Bilitewski B., Härdtle G., Marek K. (2000) „Abfall-Wirtschaft, Handbuch für Praxis und Lehre“, Springer Verlag
- BIOS Bioenergiesysteme, Ingenieurbüro, Graz,
- Bittermann H. J., (1996), „Verfestigung ermöglicht Deponieren von Flugaschen und Stäuben“, Aufbereitungs-Technik 2/37 ,1996
- Czernin W. (1960), „Zementchemie für Bauingenieure“, Bauverlag GmbH 1960
- Deponieverordnung 1996, Bundesgesetzblatt 164, 10. April 1996
- Hauser A. (1996) "Verwertung von wenig belasteten, anorganischen Abfallstoffen in grobkeramischen und hydrothermal gehärteten Baustoffen", Dissertation am mineralogisch - petrographischen Institut der Universität Bern
- Heiß-Ziegler, Lechner, 2001, Entsorgungstechnik – Grundlagen, LV Nr. 520.002 Boku Wien
- Hermann K. (1995), "Zusatzstoffe: Flugaschen", Cementbulletin 63, Nr. 6, 1995
- Laucher A. (1998), "Sustainable biomass heating plant Tamsweg, Endbericht " Amt der Salzburger Landesregierung
- Marzi T. (1998) „Wirkungsmechanismen bei der Alterung von Müllverbrennungsaschen“, Müll und Abfall 5/98, 316
- Marzi T., Beckmann R., Kümmel R., Dohmann J., Palitsch S., (1999), „Künstliche Alterung- ein Wirtschaftlicher Weg zur Verringerung der Schwermetallfreisetzung aus Müllverbrennungsaschen, Müll und Abfall 3/99

Neurauter, R. (2001) „Aschen aus Biomassefeuerungsanlagen“, Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Umweltschutz/Referat Abfallwirtschaft 2001

Obernberger I. (1997), „Thermische Biomassenutzung – Technik und Realisierung“, VDI-Bericht 1319, pp. 199-222, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Deutschland

ÖNORM S 2071, Deponien – Deponiebauklassen, 1. November 1990

ÖNORM S 2072, Eluatklassen – Gefährdungspotential von Abfällen, 1. Dezember 1990

Österreichische Draukraftwerke AG, Bildstelle Gindl, 1994

Peterfy (1999), Laborbericht Nr. 101/99 Überprüfung der Flugasche im DKW Voitsberg TU Aachen, LV Abfallwirtschaft, Stand 2001

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2:

- Tabelle 1: Anteile der einzelnen Aschefractionen an der Gesamtasche in Gew-%, Obernberger I., 1997
- Tabelle 2: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in Aschefractionen von Rinden-, Hackgut- und Spänefeuerungen (Mittelwerte), Obernberger I., 1997
- Tabelle 3: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in den Aschefractionen von Stroh- und GP – Feuerungen, Obernberger I., 1997
- Tabelle 4: Mittlere Teilchen- und Schüttdichten von Biomasse-Aschen, Obernberger I., 1997
- Tabelle 5: pH-Werte und elektrische Leitfähigkeiten von Pflanzenaschen Obernberger I., 1997
- Tabelle 6: Durchschnittlicher Gehalt an Si, Al, Fe, Mn, S und Karbonat in Aschengemischen aus Grob und Feinstflugasche nach Anfall, Obernberger I., 1997
- Tabelle 7: Anorganischer Gehalte, Begert, 2002
- Tabelle 8: Organischer Gehalt, Begert, 2002
- Tabelle 9: Lösliche Anteile und pH-Wert, Begert, 2002
- Tabelle 10: Anorganische Stoffe, Begert, 2002
- Tabelle 11: Anforderungen an die Flugasche für die Zementindustrie

- Tabelle12: Anforderungen an die Flugasche für die Zementindustrie
- Tabelle 13: Flugasche, Perterfy, 99
- Tabelle14: Sieblinienverteilung Flugasche, Perterfy, 99
- Tabelle15: chemische Zusammensetzung, Perterfy, 99
- Tabelle 16: Analyse der chemischen und physikalischen Zusammensetzungen, Bachhiesl M., Tauschitz J., Zefferer H., Zellinger G., 2001
- Tabelle 17: chemische Zusammensetzung RFG und Rostasche, Bewerunge J., 1987
- Tabelle 18: Wasserdurchlässigkeit RFG, Bewerunge J., 1987
- Tabelle 19: einaxiale Druckfestigkeit qu56 (Deponieentnahme), Bewerunge J., 1987
- Tabelle 20: qu28 in Abhängigkeit des HOZ-Anteils, Bewerunge J., 1987
- Tabelle 21: qu0 und qu28 für RFG und Rostasche, Bewerunge J., 1987
-
- Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Basisabdichtung für Reststoffdeponien (Heiß-Ziegler, Lechner, 2001)
- Abbildung 2: Einrichtung für Deponiepersonal
- Abbildung 3: Brückenwaage
- Abbildung 4: Schema eines Wirbelschichtofens, TU Aachen, 2001
- Abbildung 5: Schema einer Biomassefeuerungsanlage, IB BIOS
- Abbildung 6: Ascheanfall bei der Verbrennung, Obernberger I., 1997

Kapitel 3:

- Abbildung 7: Schematischer Querschnitt durch das Dampfkraftwerk Voitsberg, ÖDK-Bildstelle
- Abbildung 8: Transportförderband
- Abbildung 9: Ascheabwurf vom Förderband
- Abbildung 10: Schubraupe
- Abbildung 11: Sprühlanzen
- Abbildung 12: Schematischer Querschnitt der Anlage St. Andrä, ÖDK-Bildstelle
- Abbildung 13: frisch geschütteter Damm
- Abbildung 14: bereits begrünter Damm

Kapitel 4:

Tabelle 22: Flugaschenanlieferung auf die Deponie 1999 – 2002, Kriechbaum 2003

Tabelle 23: Ergebnis der Sorptionsmessung

Tabelle 24: Ergebnis der Freikalkmessung nach ÖNV 254:1997

Tabelle 25: Ergebnis des Gesamtkalkanteils der in HCl löslich ist

Tabelle 26: Ergebnis des Wassereindringversuches

Tabelle 27: Ergebnisse LUMOSSED – Analyse

Abbildung 15: Deponie RHV Großraum Laakirchen (im Hintergrund Asche, im Vordergrund Restmüll)

Abbildung 16: Kippvorgang, Wasserdampf entweicht von der 80°C heißen Asche

Abbildung 17: Lärmschutzwall, noch nicht begrünt

Abbildung 18: Lärmschutzwall, bereits begrünt

Abbildung 19: mobile Beregnungsanlage

Abbildung 20: Bewässerungsbrunnen

Abbildung 21: deponierte Faserstoffe (dunkles Material)

Abbildung 22: Sigma2 – Sammler, VDI-2119, Blatt 4

Abbildung 23: S 5 EV Universal-Schneckenpumpe, Fa. Putzmeister

Abbildung 24: Sprayboy P 12, Fa. Putzmeister

Abbildung 25: Probe 1 (frisch)

Abbildung 26: Probe 2 (alt)

Abbildung 27: verklumpte „alte“ Asche

Abbildung 28: Funktionsprinzip des Messgerätes „Flow sorb II 2300“, Tritthart J., 1993

Abbildung 29: Schwankungen in der Brennstoffanlieferung im Jahr 2002

Abbildung 30: Probe wird durchvibriert

Abbildung 31: Probe wird abgesaugt

Abbildung 32: Wassereindringtiefe nach 60 min.

Abbildung 33: frische Asche nach 60 min.

Abbildung 34: alte Asche nach 60 min.

Abbildung 35: Teilprozesse der Carbonatisierung, R. Benedix, 1999

Abbildung 36: Teilprozesse der Carbonatisierung, R. Benedix, 1999

Abbildung 37: Fotosedimentometer LUMOSSED

Abbildung 38: Suspension der Probe 2 in der Küvette

Abbildung 39: Schnitt durch die Küvette

Kapitel 5:

Tabelle 28: Ascheanfall Deponie Laakirchen, Kriechbaum 2003

Abbildung 41: Ascheanfall Deponie Laakirchen

Abbildung 42: Entwicklung der Biomasseheizwerke in Niederösterreich, Amt der NÖ
Landesregierung