

## Inertisierungsverfahren für Wirbelschichtaschen

Gerald Fraissler, Kurt Kaufmann, Sebastian Kaiser und Günter Jaritz

|    |                                |     |
|----|--------------------------------|-----|
| 1. | Ersatzbrennstoffe.....         | 437 |
| 2. | Wirbelschichtaschen.....       | 439 |
| 3. | Aschequalitäten.....           | 440 |
| 4. | Aschebehandlung.....           | 441 |
| 5. | Intensivmischung.....          | 443 |
| 6. | Mischung/Granulierung.....     | 445 |
| 7. | Kalzinierung.....              | 446 |
| 8. | Zusammenfassung und Fazit..... | 446 |
| 9. | Literatur.....                 | 447 |

Der wirtschaftliche Betrieb von Ersatzbrennstoff verfeuernden Kesselanlagen bedarf zum einen hohe Brennstoffflexibilitäten und zum anderen hohe elektrische Wirkungsgrade durch hohe geforderte Frischdampfparameter.

Aufgrund der derzeitigen Lage am Brennstoffmarkt und die notwendige mechanische Aufbereitung von Abfällen zu heizwertreichem Ersatzbrennstoff sind hohe Problemstoffgehalte dauerhaft nicht vermeidbar. Durch ihre Aufkonzentrierung in Kesselaschen können sie die hinsichtlich Entsorgung relevanten nationalen Aschequalitäten verschlechtern.

Da die Entsorgungskosten der anfallenden Verbrennungaschen in vielen Ländern einen wesentlichen Faktor des wirtschaftlichen Anlagenbetriebes darstellen und daher bereits in der Projektausschreibung und Offertlegung von Kesselanlagen eine gewichtige Rolle spielen, hat ANDRITZ ein Behandlungsverfahren zur Inertisierung vorhandener Problemstoffe entwickelt.

### 1. Ersatzbrennstoffe

Zu den Ersatzbrennstoffen zählen im Allgemeinen mechanisch aufbereitete Siedlungsabfälle aus Haushalt und Gewerbe sowie Produktionsabfälle aus der Industrie, wobei das Hauptaugenmerk vermehrt auf Siedlungsabfälle gerichtet ist. Sie sind als potentielle Energieträger stark im Aufkommen, aber oft sehr heterogen in der stofflichen

Zusammensetzung. Ursprünglich setzten sich die Siedlungsabfälle hauptsächlich aus Hausmüll zusammen, inzwischen liegt dieser Anteil im Allgemeinen unter fünfzig Prozent und die Gewerbeabfälle haben den größeren Anteil [4].

Der mechanische Aufbereitungsgrad der Abfälle (Sortierung, Fe- und Buntmetallabscheidung, Zerkleinerung, Siebung, Sichtung, Trocknung) richtet sich nach den jeweiligen Qualitätsanforderungen der Brennstoffparameter an einen störungsfreien Kesselbetrieb [7].

- **Stückigkeit** hinsichtlich störungsfreiem Brennstoffeintrag und Ausbrandwirkungsgrad
- **Energieeintrag** hinsichtlich thermischer Leistung und Dampfparameter
- **Flüchtiger Anteil** hinsichtlich Korrosion, Fouling, Heizflächenreinigung und Rauchgasreinigung
- **Inerter Anteil** hinsichtlich störungsfreiem Ascheabzug und Entsorgungskosten
- **Heterogenität** in der Zusammensetzung hinsichtlich beherrschbarer Kesseländerungsgeschwindigkeiten

Mit zunehmendem Aufbereitungsgrad nimmt die Heterogenität von Ersatzbrennstoffen tendenziell ab und ermöglicht Kesselbetreibern die Wirbelschichttechnologie, welche im Vergleich zur konventionellen Abfallverbrennung eine höhere thermische Leistung und höhere Dampfparameter erlaubt. Der untere Heizwert von Ersatzbrennstoffen für die zirkulierende Wirbelschicht liegt zwischen 10 und 20 MJ/kg, wobei neben dem Asche- und H<sub>2</sub>O-Gehalt in der Regel der hochkalorische Kunststoffanteil (25 bis 35 MJ/kg) die Höhe des Energieeintrags bestimmt. Der Nachteil der heizwertreichen Kunststofffraktion liegt v.a. im hohen Cl-Gehalt (etwa 2,5 Ma.-%), welcher Korrosion und Fouling der Kesselheizflächen verursacht [1,3].

Die Charakterisierung der Brennstoffe erfolgt neben der Heizwertbestimmung in der Regel mittels Glühverlust, Elementaranalyse und anderen qualitativen und halbquantitativen Methoden (Diffraktometeranalyse, Mikroskopie, usw.). Die stoffliche Zusammensetzung gibt Auskunft über Höhe und Zusammensetzung der Rauchgas- sowie der Ascheströme [1,2].

Unter Zuhilfenahme von kesselspezifischen Transferkoeffizienten und thermodynamischer Hochtemperaturmodellierung kann für eine Evaluierung des Brennstoffes die

Tabelle 1: Typische Ersatzbrennstoffbeschaffenheit zum Einsatz in der zirkulierenden Wirbelschicht

| Analysedaten |                   | MIN | MAX |
|--------------|-------------------|-----|-----|
| Feuchte      | Ma.-%             | 5   | 35  |
| Asche        | Ma.-%             | 20  | 40  |
| Cl           | Ma.-% TS          | 0,5 | 1   |
| Heizwert, TS | kJ/kg TS          | 10  | 20  |
| Schüttdichte | kg/m <sup>3</sup> | 100 | 350 |
| Korngröße    | mm                |     | 250 |

Unterteilung in flüchtigen und inerten Stoffanteil vorgenommen und der Asche-split sowie die Aschezusammensetzung der einzelnen Ascheströme abgeschätzt werden. Als Problemstoffe gelten neben Cl insbesondere S, Alkalimetalle, Schwermetalle und das Reinmetall Al.

## 2. Wirbelschichtaschen

Die im Folgenden betrachteten Verbrennungaschen entstammen dem nach dem Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht arbeitenden Dampfkessel, welcher mit Ersatzbrennstoff betrieben wird. Da die Wirbelschichttechnologie für ein breites Heizwertband von Brennstoffen geeignet ist, findet neben dem Einsatz von Ersatzbrennstoff oft auch die Mitverbrennung anderer Abfälle (Klärschlamm, Papierschlämme, Spuckstoffe, usw.) statt.

Im Unterschied zur blasenbildenden, stationären Wirbelschicht wird bei der zirkulierenden Wirbelschicht die Wirbelgasmenge pro Flächeneinheit gesteigert und ein stabilerer Fluidisierungszustand ausgebildet, welcher für energiereichen Ersatzbrennstoff besondere Vorteile bietet (sehr gute Brennstoffverteilung im Bett, hoher Ausbrandwirkungsgrad, hohe Laständerungsgeschwindigkeiten, usw.) [7]. Als inertes Trägermaterial für das Wirbelschichtbett wird in der Regel Quarzsand eingesetzt.

Die verschiedenen Einzelvorgänge des Verbrennungsprozesses (Trocknung, Aufheizung, Pyrolyse, Vergasung des verbleibenden Kohlenstoffgerüsts, Oxidation der Pyrolyse- und Vergasungsprodukte) finden aufgrund des ständigen Durchmischungsvorganges örtlich und zeitlich unmittelbar nebeneinander statt. Der hohe Inertanteil von über 95 Ma.-% (Trägermaterial und Asche) fungiert dabei als Wärmezwischenspeicher für die Verbrennungsreaktion und ermöglicht niedrige Brennkammertemperaturen von 850 bis 920 °C.

Die aus dem zirkulierenden Wirbelschichtkessel anfallenden Hauptascheströme lassen sich grundsätzlich in Bettasche, Flugasche und Filterasche untergliedern und weisen nachfolgenden Aschesplit auf.

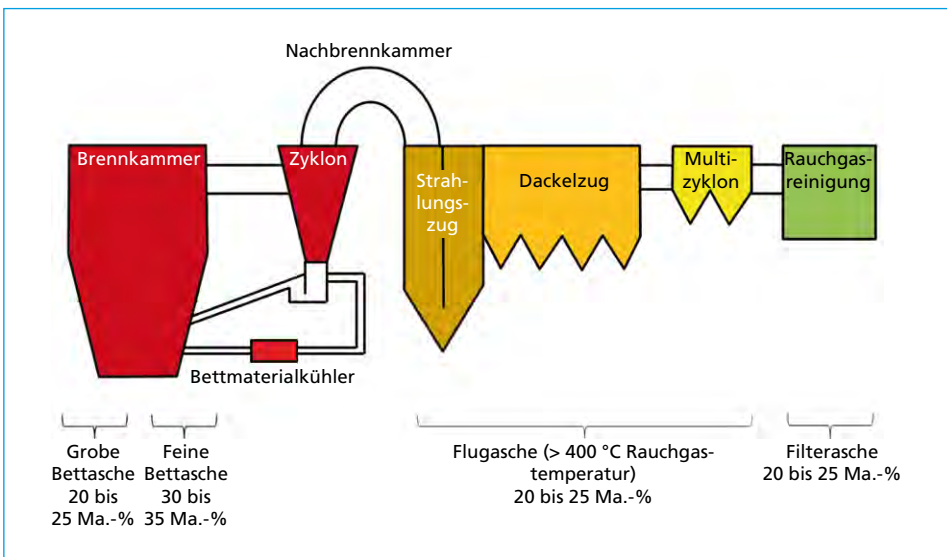


Bild 1: Typischer Aschesplit in der zirkulierenden Wirbelschicht

### 3. Aschequalitäten

Insbesondere die Flug- und Filterasche weisen relevante Kontaminationen auf. Abhängig von den gesetzlichen Auflagen ist ihre derzeitige Entsorgung hinsichtlich Ober- und/oder Untertagedeponierung für Anlagenbetreiber daher oft kostenintensiv.

Die Bettasche ist oft nur gering kontaminiert und kann als Wertstoff (z.B. in der Zementindustrie als Zuschlagstoff oder als Unterbau im Straßenbau) dienen.

- **Kontamination mit  $\text{Al}_{\text{met}}$  und anderen unedlen Metallphasen**

Ein Hauptproblem bei der Deponierung von mit unedlen metallischen Phasen kontaminierten Verbrennungsaschen ist das Freisetzungspotential von  $\text{H}_2(\text{g})$  bei Befeuchtung.  $\text{H}_2(\text{g})$  gilt als hochentzündlich und explosibel mit einer hohen Fugazität. Die untere Explosionsgrenze (UEG) liegt bereits bei 4 Vol.-% in Luft.

Ursache für die  $\text{H}_2$ -Freisetzung sind vorhandene unedle metallische Phasen wie  $\text{Al}_{\text{met}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{met}}$ ,  $\text{Cu}_{\text{met}}$ ,  $\text{Pb}_{\text{met}}$ ,  $\text{Zn}_{\text{met}}$ . Diese reagieren unter alkalischen Bedingungen, wie sie in Verbrennungsaschen typischerweise vorherrschen, mit  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ , wobei  $\text{H}_2(\text{g})$  freigesetzt wird. Der weitaus überwiegende Teil der  $\text{H}_2$ -Freisetzung kann dem Vorhandensein von  $\text{Al}_{\text{met}}$  zugeschrieben werden.

- **Kontamination mit Schwermetallen**

Im Hinblick auf in Verbrennungsaschen vorhandene Schwermetalle sind insbesondere Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb und Zn hervorzuheben, welche bei Deponierung als Problemstoffe gelten. Viele Schwermetalle besitzen unterschiedliche Wertigkeiten und zeigen demzufolge einen amphoteren Charakter. Diese Eigenschaft kann unter den gegebenen alkalischen Bedingungen zu erhöhten Löslichkeiten und zum Auswaschen in den Untergrund der Deponie führen.

- **Kontamination mit Salzen und anderen löslichen Feststoffen**

Ein ähnliches Problem bei der Deponierung stellen Salze (Chloride, Sulfate) und andere Feststoffe wie beispielsweise Hydroxide dar, welche leicht löslich und unter gegebenen Bedingungen sowie Vorhandensein von geeigneten Reaktionspartnern giftige Verbindungen bilden können. Die Gefahr liegt hier ebenso im Auswaschen in den Deponieuntergrund.

Die Einstufungskriterien von Verbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Problemstoffe und folglich Deponierbarkeit sind in Deutschland durch die Deutsche Deponieverordnung [4] festgelegt. Abfälle der Klasse 0, I, II, III dürfen unter Einhaltung der jeweiligen Kriterien Obertage gelagert werden, bei Überschreitung der Kriterien für die Klasse III müssen sie Untertage entsorgt werden.

Das weitere Kriterium, dass

- Obertage keine Abfälle, die *als explosionsgefährlich, hoch entzündlich oder leicht entzündlich*, gelten und
- Untertage keine Abfälle, die *unter Ablagerungsbedingungen durch Reaktionen zu einer Bildung selbstentzündlicher, oder explosiver Stoffe oder Gase* führen,

|                                  |                                |       | Bettasche | Flugasche |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-----------|-----------|
| Haupt-, Nebenelemente (oxidisch) | Na <sub>2</sub> O              | Ma.-% | 1,6       | 2,0       |
|                                  | K <sub>2</sub> O               | Ma.-% | 1,2       | 1,4       |
|                                  | MgO                            | Ma.-% | 1,4       | 2,5       |
|                                  | CaO                            | Ma.-% | 16,8      | 27,1      |
|                                  | BaO                            | Ma.-% | 0,2       | 0,9       |
|                                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ma.-% | 5,8       | 8,0       |
|                                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ma.-% | 5,0       | 16,7      |
|                                  | TiO <sub>2</sub>               | Ma.-% | 1,3       | 2,1       |
|                                  | SiO <sub>2</sub>               | Ma.-% | 60,2      | 24,7      |
| Salzbildner                      | PO <sub>3</sub>                | Ma.-% | 0,6       | 1,1       |
|                                  | SO <sub>3</sub>                | Ma.-% | 3,1       | 6,4       |
|                                  | Cl                             | Ma.-% | 0,5       | 5,1       |
| Reinmetalle                      | Al <sub>met</sub>              | Ma.-% | < 0,1     | 5,5       |
| Schwermetalle                    | Cr                             | mg/kg | 339       | 598       |
|                                  | Ni                             | mg/kg | 177       | 245       |
|                                  | Cu                             | mg/kg | 3.011     | 6.613     |
|                                  | Zn                             | mg/kg | 3.230     | 9.517     |
|                                  | Cd                             | mg/kg | 9         | 53        |
|                                  | Hg                             | mg/kg | < 0,1     | < 0,1     |
|                                  | Pb                             | mg/kg | 852       | 1.738     |
|                                  | TOC                            | Ma.-% | < 0,5     | < 0,5     |

Tabelle 2:

Typische Aschezusammensetzung in der zirkulierenden Wirbelschicht

abgelagert werden dürfen [4], betrifft daher insbesondere Verbrennungsaschen mit Al<sub>met</sub>-Kontaminationen. Aus diesem Grund müssen besondere Sicherheits- und Überwachungsmaßnahmen auf der Deponie getroffen oder zur Inertisierung/Abreicherung des vorhandenen Al<sub>met</sub> aufbereitungstechnische oder thermische Behandlungsschritte vor der Deponierung gesetzt werden.

## 4. Aschebehandlung

Das aufgezeigte Ascheinertisierungsverfahren wurde als Zusatzanlage zum Kessel entwickelt und erfordert keine aufwändige Zwischenlagerung der Verbrennungsaschen. Konzipiert sind insgesamt drei Behandlungsschritte, wobei die technische Notwendigkeit einer Realisierung aller drei Schritte sich nach der Aschebeschaffenheit und den vorhandenen Problemstoffen, der weiteren Handhabung (Förderung, Lagerung, Transport, Deponierung) sowie den entstehenden Kosten (Investitions-, Betriebs-, Entsorgungskosten) richtet.

Zur anlagen- und prozesstechnischen Auslegung der einzelnen Behandlungsschritte werden nach Analyse der Aschezusammensetzung Tests im Technikumsmaßstab durchgeführt. Nach erfolgreicher Optimierung der Reaktionsmittel und Prozessparameter zur Erreichung der gewünschten Deponiekriterien erfolgt das Upscale auf Anlagengröße.

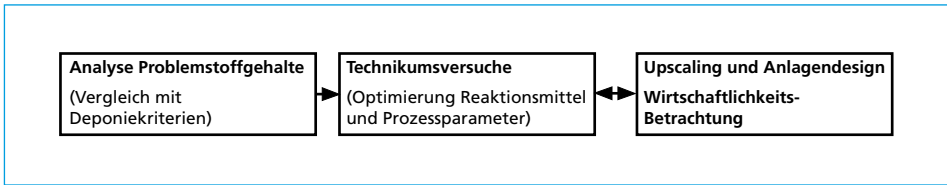


Bild 2: Vorgangsweise Prozess- und Anlagendesign

Die Aschebehandlungsschritte lassen sich wie folgt unterteilen.

### 1. Intensivmischung zur

- Abreicherung von  $Al_{met}$  und anderen unedlen metallischen Phasen und
- Entfachtung von Cl

unter Zugabe von Reaktionsmittel.

### 2. Mischung/Granulierung zur

- Fixierung/Stabilisierung von löslichen Problemstoffen (Cl, Alkalimetalle und Schwermetalle) in chemisch und thermisch stabilen Alumosilikatphasen und
- Granulierung hinsichtlich weiterer Handhabung

unter Zugabe von Bindemittel.

### 3. Kalzinierung zur

- Stabilisierung von löslichen Problemstoffen (Alkali- und Schwermetalle wie z.B. Cr(VI)) infolge von Karbonatbildung sowie Polymerisation und
- Trocknung

unter Zuführung von warmem Rauchgas.

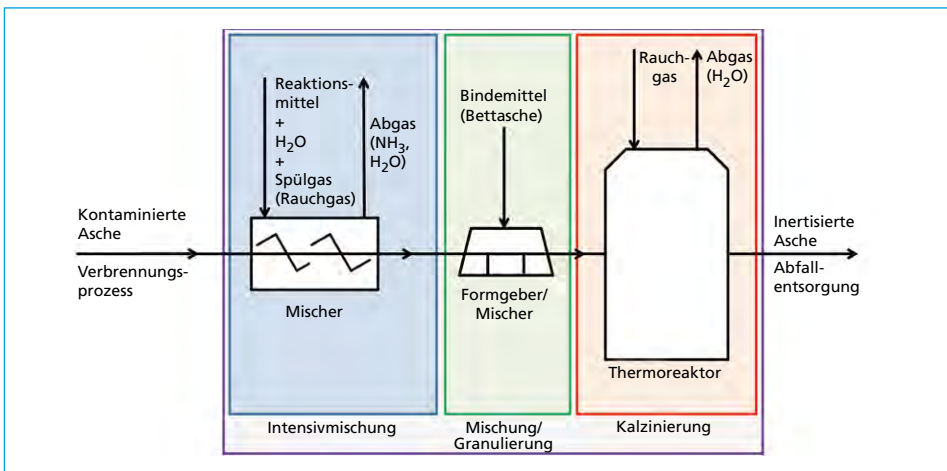


Bild 3: Prinzipskizze der drei Behandlungsschritte für eine dem Kessel nachgeschaltete Ascheinertierungsanlage (in der Anlagenrealisierung ist ein Aggregat für alle Behandlungsschritte vorgesehen)

Jeder Behandlungsschritt ist in seiner Arbeitsweise von den anderen Schritten unabhängig und kann separat von den anderen gesetzt werden. Der Betrieb findet kontinuierlich bzw. quasi-kontinuierlich statt und alle drei Behandlungsschritte laufen in einem Aggregat ab.

Als Produkt aus dem Prozess werden insbesondere im Hinblick auf Lagerung und Transport trockene, stabile Granulate erzeugt, welche sich bei Deponierung auch in ihrem Langzeitverhalten durch eine hohe Säure- und Wärmebeständigkeit (z.B. bei Versauerung der Deponie durch Karbonatisierung oder Eintrag von Huminsäuren) auszeichnen.

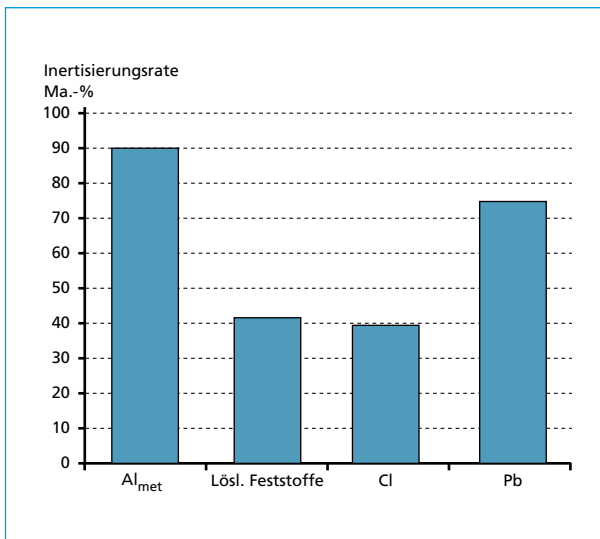


Bild 4:

Beispiel optimierter Inertisierungsraten einer Flugasche hinsichtlich Obertagedeponierbarkeit für die hier kritischen Problemstoffe Al<sub>met</sub>, lösl. Feststoffe und Cl (Schwermetalle wie z.B. das dargestellte Pb sind für die Obertagedeponierbarkeit von Flugaschen in der Regel kein Problem)

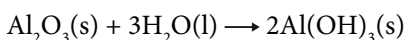
## 5. Intensivmischung

Ziel dieses Behandlungsschrittes ist, vorhandenes Al<sub>met</sub> und andere unedle metallische Phasen in Verbrennungaschen durch Hydratation/Oxidation abzureichern, um die Bildung von explosionsgefährlichem H<sub>2</sub>(g) auf der Deponie zu verhindern.

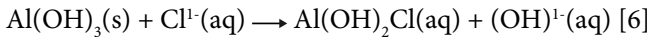
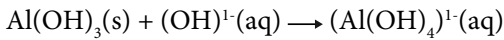
Dieser Behandlungsschritt arbeitet mit alkalischen Bedingungen, da im sauren Milieu der Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen durch Aufschließen der Aschematrix stark erhöht und infolgedessen ohne einen weiteren Behandlungsschritt die Aschequalität durch diese Erhöhung hinsichtlich Deponierbarkeit stark verschlechtert wird.

Die Hydratation des Al<sub>met</sub> unter alkalischen Bedingungen kann mit nachfolgenden vereinfachten Reaktionsschritten beschrieben werden.

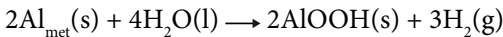
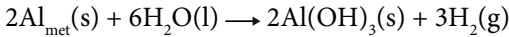
### 1. Hydratation der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Passivschicht auf den Al<sub>met</sub>-Partikeln



## 2. Mobilisierung und Freilegung von $\text{Al}_{\text{met}}$



## 3. Hydratation von $\text{Al}_{\text{met}}$ unter $\text{H}_2(\text{g})$ -Freisetzung



Reaktionsschritt 2 und 3 wiederholen sich bis zur vollständigen Hydratation der  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel. Um den in Schritt 3 freigesetzten gefährlichen  $\text{H}_2(\text{g})$  zu vermeiden, wird N-hältiges Reaktionsmittel zugegeben. Bei der Reaktion mit naszendierendem  $\text{H}_2(\text{g})$  bildet sich jetzt das weit weniger gefährliche  $\text{NH}_3(\text{g})$ .  $\text{NH}_3(\text{g})$  besitzt im Vergleich eine UEG von 16 Vol.-% in Luft, weshalb geringere Sicherheits- und Überwachungsmaßnahmen gesetzt werden müssen und der Prozess leichter beherrschbar ist. Durch die Bildung von  $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ , welches sich an Brüdendampf bindet, kann zusätzlich ein Teil des Chlorids aus der Asche entfachtet werden.

Für die anlagentechnische Realisierung sind hohe Hydratationsgeschwindigkeiten erforderlich, damit das  $\text{Al}_{\text{met}}$  in möglichst kurzer Zeit abgereichert wird. Folgende Parameter spielen dabei eine Rolle.

- **Alkalität**

Almet verhält sich im pH-Bereich von 5,5 bis 8 weitgehend inert. Mit zunehmender Alkalität erhöht sich die Hydratationsgeschwindigkeit.

- **Wassergehalt**

Abhängig von der Aschebeschaffenheit ist es erforderlich, ausreichend  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  für die vollständige Oberflächenbenetzung, Hydratation sowie den Stofftransport bereitzustellen. Zuwenig  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  unterbindet die Hydratation gänzlich, zuviel  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  senkt die Hydratationsgeschwindigkeit stark ab, da notwendige Reaktionswärme zum Aufheizen von überschüssigem  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  verloren geht.

- **Aschealterung**

Mit zunehmendem Alter der Asche wird die Hydratationsgeschwindigkeit gesenkt, da Dicke und Dichte der schützenden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Passivschicht auf den  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel zunehmen.

- **Spezifische Oberfläche**

Die Korngrößenverteilung und Form der  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel bestimmen die spezifische Oberfläche und infolgedessen die Reaktivität. Entsprechend erhöhen kleine Korngrößen und eine unregelmäßige Form die spezifische Oberfläche und die Hydratationsgeschwindigkeit.



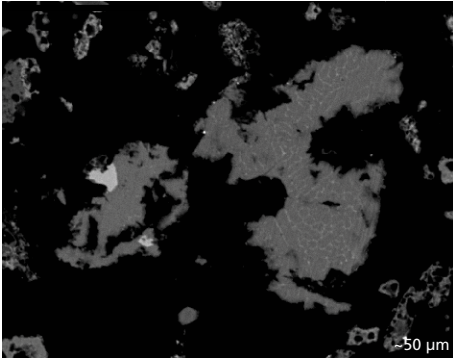


Bild 5: Mikroskopische Aufnahme einer Flugaschematrix mit eingebetteten  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel (die Größe der  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel schwankt zwischen 5 und 100  $\mu\text{m}$ )

- **Chloride**

Das Vorhandensein von Chloriden kann, wie in Reaktionsschritt 2 dargestellt, eine katalytische Wirkung auf die Hydratationsgeschwindigkeit haben.

Als prozesstechnisch beeinflussbare Parameter stehen vordergründig die Alkalität und der Wassergehalt zur Verfügung.

- **Alkalität**

Da die Basizität von vielen Verbrennungaschen für die geforderten alkalischen Bedingungen meistens nicht ausreicht, werden Reaktionsmittel zum Heben der Basizität zugeben.

- **Wassergehalt**

Die Zugabe von  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  richtet sich nach einer hinsichtlich Aschebeschaffenheit (Partikelgröße, Hygroskopizität) notwendigen Menge. Zu wenig oder zu viel Menge an  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  senkt die Hydratationsgeschwindigkeit und wirkt sich nachteilig auf die weitere Handhabung (Mengenmehrung) aus.

Die Aschealterung kann durch möglichst kurze Lagerzeiten zwischen Austrag aus dem Verbrennungsprozess und Aschebehandlung vermieden werden. Die spezifische Oberfläche der  $\text{Al}_{\text{met}}$ -Partikel sowie vorhandene Chloridgehalte sind vom eingesetzten Brennstoff als auch vom örtlichen Anfall der Aschen im Verbrennungsprozess abhängig und im Wesentlichen nicht beeinflussbar.

## 6. Mischung/Granulierung

Die Zielsetzung in diesem Behandlungsschritt ist einerseits die Stabilisierung/Fixierung von Schwermetallen, Salzen und löslichen Feststoffen sowie andererseits die Granulierung der pastösen Aschemischung für die weitere Handhabung (es besteht die Gefahr, dass die thixotrope Aschemischung durch Kristallisation und/oder Polymerisation innerhalb kurzer Zeit unkontrolliert abbindet und eine feste Masse bildet).

Zu diesem Zweck werden silikatisch als auch hydraulisch wirkende Bindemittel der Aschemischung hinzugefügt, wobei polymerisierende Hydrogele wie  $\text{Si}(\text{OH})_4(\text{s})$  und  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$  sowie kristallisierende CASH-Phasen die Problemstoffe chemisch und physikalisch fixieren und durch Änderung der Basizität beim Abbindevorgang zusätzlich stabilisieren. Daneben kann durch die gezielte Erhöhung des silikatischen und hydraulischen Phasenanteils die Formgebung und Formfestigkeit der Granulate gesteuert werden. Zugegebene silikatisch wirkende Bindemittel besitzen einen Silikatanteil von  $> 50 \text{ Ma.-%}$ , hydraulische wirkende einen CA-Anteil von  $> 50 \text{ Ma.-%}$ .

Die abgebundenen Granulate besitzen im Gegensatz zu rein mit Portlandzement stabilisierten Aschen, wie aus anderen Inertisierungsverfahren bekannt, eine hohe Formfestigkeit und eine sehr dichte Bindemittelmatrix mit hoher Säure- und Wärmebeständigkeit, wodurch eine wirksame Reaktionsbarriere gegen eine erneute Lösung der Problemstoffe und Austrag in den Deponieuntergrund geschaffen werden kann.

Bettaschen aus der zirkulierenden Wirbelschicht besitzen meist einen hohen Anteil an alumosilikatischen und hydraulischen Bindemittelphasen, während ihre Problemstoffgehalte oft vernachlässigbar gering sind. Als prozesseigener Abfallstoff eignen sie sich daher besonders gut für ihre Wiederverwendung als Bindemittel in diesem Behandlungsschritt.

## 7. Kalzinierung

Für die ersten beiden Behandlungsschritte ist es erforderlich, ausreichend  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  für die vollständige Oberflächenbenetzung, Hydratationsreaktionen sowie den Stofftransport bereitzustellen. Durch die bewirkte Mengenerhöhung ist es aus ökonomischer Sicht oft sinnvoll einen nachgeschalteten Trocknungsschritt zu setzen, wodurch die Entsorgungskosten weiter gesenkt werden können.

Zur Trocknung wird warmes Rauchgas aus dem Verbrennungsprozess abgezweigt und durch das granulierten Aschebett geleitet. Das im Rauchgas enthaltene  $\text{CO}_2(\text{g})$  führt neben der Verdampfung von  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$  zu einer Karbonatisierung vorhandener Metallhydroxide. Die Überführung der Metallhydroxide in schwer lösliche Karbonate sowie die mit der Karbonatisierung einhergehende Senkung der Aschebasizität in einen pH-Bereich von 8,5 bis 11, wo viele gefährliche Schwermetalle die geringsten Löslichkeiten besitzen, bewirkt eine weitere Stabilisierung der Aschematrix. Das sich mit der Basizität ändernde Lösungsverhalten vieler Metalle ist auf ihren amphoteren Charakter (Änderung der Wertigkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert) zurückzuführen. Diese Eigenschaft führt z.B. zur Umwandlung von giftigem  $\text{Cr}(\text{VI})$  in das weit weniger gefährliche  $\text{Cr}(\text{III})$ , welches in den behandelten Aschen nicht mehr nachweisbar ist. Die Bereitstellung von  $\text{CO}_2(\text{g})$  kann zusätzlich durch Zugabe geeigneter Additive, die sich während des Kalzinierschritts thermisch zersetzen und  $\text{CO}_2(\text{g})$  freisetzen, erfolgen.

## 8. Zusammenfassung und Fazit

Die Aufbereitung von Ersatzbrennstoff zur Leistungserhöhung von Wirbelschichtkesselanlagen kann zur Anreicherung von Problemstoffen führen, welche sich in hohem Maße in den Verbrennungsrückständen wiederfinden. Abhängig von den gesetzlichen Auflagen stellen ihre derzeitige Entsorgung hinsichtlich Ober- und/oder Untertage- deponierung einen wesentlichen Faktor des wirtschaftlichen Anlagenbetriebes dar.

Das Behandlungsverfahren ist als Zusatzanlage zur Verbrennungsanlage geplant und erfordert keine aufwändige Zwischenlagerung von Aschen. Ziel des Verfahrens ist die

Inertisierung von  $Al_{met}$  Chloriden und anderen löslichen Feststoffen sowie Schwermetallen, um in kostengünstigere Deponieklassen zu fallen und entsprechend Betriebskosten einzusparen. Von den konzipierten drei Behandlungsschritten ist jeder Schritt in seiner Arbeitsweise von den anderen Schritten unabhängig und kann abhängig von den enthaltenen Problemstoffen separat von den anderen gesetzt werden. Das konzipierte Inertisierungsverfahren ist nicht nur für Aschen aus Verbrennungsprozessen geeignet, sondern auch für andere anorganisch kontaminierte Abfallstoffe aus thermischen, chemischen, mechanischen Prozessen durch Anpassung der Prozessparameter anwendbar. Durch die zusätzliche Installation eines Heißgaserzeugers für den Kalzinierschritt kann die Inertisierungsanlage unabhängig vom thermischen Prozess betrieben werden.

Die Prozessvorteile sind wie folgt nochmals aufgezeigt:

- geringere Entsorgungskosten,
- sicherheitstechnische Aspekte,
- Verwertung von Abfallprodukten aus dem Kessel,
- Rückführung von Nebenprodukten in den Kessel,
- Energierückgewinnung.

## 9. Literatur

- [1] Anderl, H.; et.al.: Thermische Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der zirkulierenden Wirbelschicht. In: SIDE, Schriftenreihe 18/2005, S. 103-110
- [2] Anderl, H.; et.al.: Verwertung von Sekundärbrennstoffen und Abfällen in der Wirbelschicht am Beispiel Neumünster. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restfallbehandlung IX – biologisch-mechanisch-thermisch. Witzhausen 2005, S. 261-268
- [3] Beckmann, M.; et.al.: Energetische Verwertung von Ersatzbrennstoffen mit hohem Chlorgehalt. In: Wiemer, K.; Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung – stofflich – energetisch. Witzhausen XVIII. Kasseler Abfallwirtschaftskonferenz 25.04. – 27.04.2006, S. 180-205
- [4] Erste Verordnung zur Änderung der Deponieverordnung vom 17.10.2011 (BGBl. I S. 2066). Eine nicht amtliche Lesefassung ist unter folgendem Link zu finden <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/abfallrecht/national/doc/46734.php>
- [5] Magel, G.; et.al.: Korrosivität von Abgasen: Online-Sensorik in Dampferzeugern. In: VGB Powertech 6/2013, International Journal for Electricity and Heat Generation
- [6] Majed, A.; et.al.: Effect of chloride Ions on the Corrosion Behavior of Al-Zn Alloy in NaOH Solution at Four Different Temperatures. In Al-Khwarizmi Engineering Journal, Vol. 4, No 4 2008, S. 26-36
- [7] Schumacher, W.; et.al.: Ersatzbrennstoffverbrennung in Rost- und Wirbelschichtöfen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2005, S. 375-399

# ÖKOLOGIE STATT DEPONIE



Stahlwerks-Schlackenaufbereitung  
– trocken, effizient, reststofffrei!

Weitere Informationen erhalten Sie unter +49 211 53 53 0 oder auf [www.loesche.com](http://www.loesche.com)



**LOESCHE** <sup>®</sup>  
INNOVATIVE ENGINEERING

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Aschen • Schlacken • Stäube**

– aus Abfallverbrennung und Metallurgie –

Karl J. Thomé-Kozmiensky.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-99-3

ISBN 978-3-935317-99-3 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,  
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Ina Böhme, Petra Dittmann, Cordula Müller,  
Fabian Thiel, Martin Schubert

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München  
Foto auf dem Buchdeckel: Dipl.-Ing. Daniel Böni, KEZO Kehrrechtverwertung Zürcher  
Oberland

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.