

Originalarbeiten

Schwerpunktthema: Charakterisierung von Holzasche aus Biomassefernheizwerken

Teil I: Zur chemischen Analytik der Aschefractionen (siehe → *UWSF* 6/94, S. 319–332)

Teil II: Auftretende Verunreinigungen, Schütt- und Teilchendichten, Korngrößen und Oberflächenbeschaffenheit der einzelnen Aschefractionen*

Charakterisierung von Holzasche aus Biomassefernheizwerken

II. Auftretende Verunreinigungen, Schütt- und Teilchendichten, Korngrößen und Oberflächenbeschaffenheit der einzelnen Aschefractionen

Ingwald Obernberger, Peter Pölt, Franz Panholzer

Dipl.-Ing. Dr. techn. I. Obernberger, Institut für Verfahrenstechnik TU Graz, Inffeldgasse 25, A-8010 Graz

Dipl.-Ing. Dr. techn. P. Pölt, Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz, Steyregasse 17, A-8010 Graz

Dipl.-Ing. Dr. techn. F. Panholzer, Institut für Analytische Chemie, Mikro- und Radiochemie TU Graz, Technikerstraße 4, A-8010 Graz

Korrespondenzautor: Dipl.-Ing. Dr. techn. Ingwald Obernberger

Zusammenfassung

Umfangreiche Analysen von Aschen aus Biomasseheizwerken und Untersuchungen zu deren Verwertbarkeit zeigten, daß im Normalfall eine Mischung aus Grob- und Zyklonflugasche im heizwerkspezifischen Mengenverhältnis als Düngemittel kreislaufwirtschaftlich verwertet werden kann. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang, inwieweit in der Biomasse enthaltene mineralische Verunreinigungen (Sand, Erde, Steine) für Schmelzpunktserniedrigungen und die damit besonders in Rindenfeuerungen beobachtete Schlackenbildung am Rost verantwortlich sind, da verschlackte und versinterterte Aschenteile mit einer Größe über 2 cm vor einer Aschenausbringung auf Agrar- oder Forstflächen abgesiebt bzw. zerkleinert werden müssen. Weiters ist der Einfluß dieser Verunreinigungen auf die Homogenität der Asche von Bedeutung für die Analysenprobenahme.

Da in Biomasseheizwerken meist nur eine volumsmäßige Erfassung des Aschenanfalles möglich ist, ist für die Ermittlung der tatsächlich auftretenden Massenströme sowie für die Mengendosierung bei einer Aschenausbringung auch die Schüttdichte der einzelnen Aschefractionen in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff und der auftretenden Korngröße von Interesse.

Schließlich können bei Kenntnis der Oberflächenbeschaffenheit der Flugaschepartikel die für eine Schwermetallanlagerung vom Rauchgas an die Asche wesentlichen Einflußgrößen abgeschätzt werden, wodurch die Basis für eine gezielte Schwermetallabscheidung gegeben ist – die Schwermetalle sollen verstärkt in die Feinstflugaschenfraktion eingebunden werden, die aus dem Kreislauf ausgeschleust und deponiert wird.

In der beschriebenen Arbeit wurden die anfallenden Aschefractionen in Rinden- und Holzfeuerungen hinsichtlich dieser Fragestellungen untersucht. Die gewonnenen Daten und Erkenntnisse liefern wichtige Grundlagen für verfahrenstechnische Maßnahmen zur Verbesserung einer Kreislaufwirtschaft mit Holzasche.

Schlagwörter: Biomasseheizwerke, Holzasche, Verunreinigungen, Schüttdichten, Oberflächenbeschaffenheit

Abstract

Characterization of Wood Ash from Biomass Heating Plants

Part I: (see → *UWSF* 6/1994, pp. 319–332)

Chemical Analysis of Wood Ash from Biomass Heating Plants

Part II: Impurities, Bulk Densities, Particle Sizes and Surface Properties of Ash Fractions

Analyses of ashes from wood chips and bark combustion and research work about possibilities of utilization of these ashes showed that in general a mixture of bottom ash and cyclon fly-ash in the ratio as they occur in the plant can be used as a fertilizer and liming material. An important question is whether mineral impurities (sand, earth, stones) in the biomass are responsible for slagging on the grate (by lowering the melting point) because sintered and slagged ash with a particle size larger than 2 cm has to be sieved or milled before utilized. Furthermore, the influence of these impurities on the homogeneity of wood ash is important for taking and preparing samples for analysis.

Usually, the occurring ash fractions in biomass district heating plants can only be volumetrically measured. In order to determine the actual mass flow and to proportion the ash-amounts for fertilization properly, it is necessary to know the bulk densities of the different ash fractions in dependence on the particle size and the biomass used. Moreover, the knowledge of the surface properties of fly-ash particles enables to evaluate the influencing variables on the process of heavy metal deposition from the flue gas to the fly-ash particles. This information represents the basis for a fractionated desublimation/condensation of heavy metals. The aim is to concentrate them in the filter fly-ash, because this smallest and finest ash fraction is cut off from the ash cycle and is disposed of.

Conforming to these open questions, ashes from biomass district heating plants were examined. The facts and findings obtained represent the basis for technological measures in order to improve a closed cycle economy with wood ash.

Key words: Biomass heating plants; wood ash; impurities; bulk densities; surface properties

1 Einleitung

Die in Biomasseheizwerken anfallende Asche setzt sich aus drei unterschiedlichen Fraktionen zusammen:

Grob- oder Rostasche: Der im Verbrennungsteil der Feuerungsanlage anfallende, überwiegend mineralische Rückstand von Holz und holzartigen Festbrennstoffen. Diese Aschenfraktion ist meist mit in der Biomasse enthaltenen Verunreinigungen wie Sand, Erde und Steinen durchsetzt. Weiters sind oft gesinterte Aschenteile und Schlackebrocken enthalten.

Zyklonflugasche: Die als feine Partikel in den Rauchgasen mitgeführten festen, überwiegend anorganischen Brennstoffbestandteile, die als Filterstäube in Fliehkraftabscheidern (Zyklonen) anfallen.

Feinstflugasche: Die in (Multizyklonen meist nachgeschalteten) Elektro- oder Gewebefiltern bzw. als Kondensatschlamm in Rauchgaskondensationsanlagen anfallende Flugasche.

Umfangreiche Aschenanalysen von Rinden, Hackgut- und Sägespänefeuerungen und auf diesen Ergebnissen aufbauende Untersuchungen zur Verwertbarkeit der anfallenden Aschenfraktionen (I. OBERNBERGER, 1993 a, b; P. RUCKENBAUER et al., 1993) zeigten, daß eine umweltverträgliche Kreislaufwirtschaft mit Holzasche, den Einsatz unbehandelter Biomasse vorausgesetzt, folgende Vorgangsweise erfordert (→ Abb. 1):

1. Der Holzaschekreislauf

Boden/Nährstoff – Wurzel/Baum – Verbrennung – Asche/Dünger – Boden

wird durch Naß- und Trockendepositionen von Schwermetallen auf Bäume und Böden von außen gestört. Um eine Schwermetallanreicherung im Kreislauf zu vermeiden, muß es eine Schnittstelle geben, über die ein schadstoffreicher Seitenstrom aus dem Kreislauf ausgeschleust werden kann und so eine Kreislaufstabilisierung bewirkt. Dieser Trennschnitt ist dabei normalerweise (beim Einsatz unbehandelter Biomasse) zwischen Multizyklon und Elektrofilter bzw. Kondensationsanlage zu setzen (I. OBERNBERGER et al., 1993 c, d). Die Feinstflugaschenfraktion ist als kleiner und schwermetallreicher Seitenstrom aus dem Kreislauf auszuschleusen und zu deponieren.

2. Diese Feinstflugaschenfraktion soll mit größter ökologischer Effizienz aus dem Kreislauf ausgeschleust werden. Das heißt, die Heizanlage soll so konzipiert und betrieben werden, daß eine möglichst große Menge an Schwermetallen in diesen kleinen Massenstrom eingebunden wird.
3. Die verbleibende Asche (rund 85 bis 90 Gew% der gesamten anfallenden Asche nach Abzug des Seitenstromes), es handelt sich dabei um eine Mischung aus Grob- und Zyklonflugasche, gemischt in dem Verhältnis, wie sie im Heizwerk anfällt (Aschengemisch nach Anfall), kann als Düngemittel mit bodenverbessernder Wirkung auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden (Kreislaufschließung). Gesetzliche Grenz- und Richtwerte sind dabei einzuhalten, der Prozeß muß umweltverträglich sein.

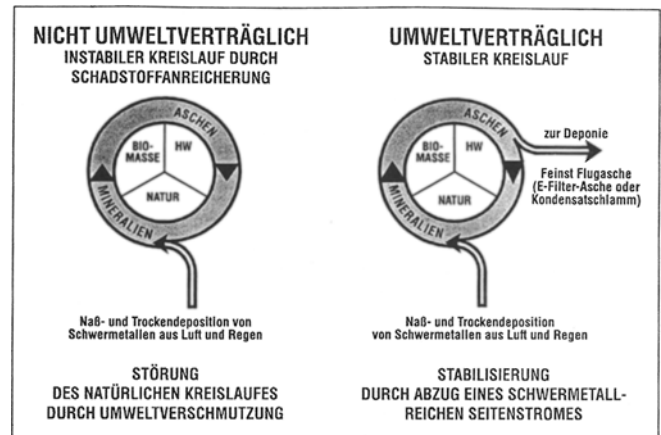


Abb. 1: Stabiles und instabiles Kreislaufsystem im Vergleich

2 Zielsetzung

Um diese Vorgaben möglichst optimal zu erfüllen, ist die Kenntnis folgender Charakteristika der anfallenden Holz- aschefraktionen von Bedeutung:

1. Die in der Biomasse enthaltenen mineralischen Verunreinigungen (Sand, Steine) finden sich nach der Verbrennung in der Asche wieder. Weiters kommt es, wie durch Stoffbilanzen gezeigt werden konnte (I. OBERNBERGER et al., 1993 c, d), durch den Abrieb der Fördererente, des Rostes, des Wärmetauschers (Zunderbildung) und des Schamottes zu Fremdeinträgen von Metallen (Eisen, Mangan, Aluminium) in die Asche. Von Interesse ist in diesem Zusammenhang, inwieweit diese Verunreinigungen für Schmelzpunktserniedrigungen und die damit besonders in Rindenfeuerungen beobachtete Schlackenbildung am Rost verantwortlich sind. Verschlackte und versinterte Aschenteile mit einer Größe über 2 cm müssen, will man die Holzasche auf Agrar- oder Forstflächen ausbringen, vorher abgesiebt bzw. zerkleinert werden.
 Weiters ist die Kenntnis der Verteilung der auftretenden Verunreinigungen in den einzelnen Aschefraktionen von Bedeutung für die Beurteilung ihrer Homogenität und für die daraus ableitbaren Forderungen an eine richtige Probenahme und -aufbereitung, um repräsentative Analyseergebnisse zu erhalten.
2. Für die Ermittlung des quantitativen Aschenanfalls in Biomasseheizwerken ist die Kenntnis der Schüttdichten der anfallenden Aschefraktionen in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffes, der auftretenden Korngrößen und der Teilchendichten von Interesse, da in den einzelnen Biomasseheizwerken meist nur eine volumsmäßige Erfassung des Aschenanfalls möglich ist. Für sämtliche Stoffbilanzen, für die Ermittlung der Gewichtsverhältnisse der einzelnen Aschefraktionen in bezug auf die gesamte anfallende Asche sowie für die Ausbringung der Holzasche auf landwirtschaftliche Flächen (Mengendosierung) stellen die Schüttdichten den notwendigen Umrechnungsfaktor zwischen Aschenvolumen und Aschengewicht dar. Abgesicherte Daten stehen bisher kaum zur Verfügung.

3. Aus der Beschaffenheit der Oberflächenstruktur der Holz- asche kann abgeschätzt werden, wie die Schwermetallan- lagerung vom Rauchgas an die Flugascheteilchen im wes- sentlichen erfolgt. Durch die Kenntnis dieses Vorganges und mit Hilfe der Ergebnisse aus bereits durchgeführten Aschenanalysen ist es möglich, die notwendigen verfahren- stechnischen Maßnahmen bei der Konzeption von Heiz- anlagen festzulegen, um die in der Holz- asche in ökolo- gisch relevanten Mengen enthaltenen Schwermetalle (Zink, Blei, Cadmium und Arsen) gezielt in der Feinstflugaschen- fraktion anzureichern und so die Ausschleusung dieses Sei- tenstromes ökologisch möglichst effizient zu gestalten.

3 Analyse von in den anfallenden Aschefractionen vorhandenen Verunreinigungen und Verschlackungen mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX)

Wie bereits in Abschnitt 1 erwähnt, enthalten die in Biomasse- heizwerken anfallenden Aschefractionen neben der reinen Asche auch mineralische Verunreinigungen (Sand, Steine) so- wie über Rost, Fördererente und Schamott eingetragene Metallteilchen. Der Anteil der Verunreinigungen an der ge- samten Asche liegt bei Rindenfeuerungen zwischen 30 und 55 Gew%, bei Hackgut- und Sägespänefeuerungen zwischen 20 und 30 Gew%.

Ziel dieses Abschnittes ist es, Aussagen über die Zusammen- setzung der auftretenden Verunreinigungen zu treffen, und deren Verteilung in den einzelnen Aschefractionen zu unter- suchen, um Informationen über die Homogenität und die Schlackenbildung der Holz- asche zu erhalten.

Da man annimmt, daß speziell in versinterter und verschlack- ten Ascheteilchen mineralische Verunreinigungen für die be- obachteten Schmelzpunktserniedrigungen verantwortlich sind, wurden die von den analysierten Ascheproben am stärk- sten verschlackte Rindengrobasche und deren zugehörige Zyklonflug- und Feinstflugaschenfraktion (Probenbezeich- nung R1) untersucht. Weiters wurden die ebenfalls vorher analysierten Aschefractionen einer Sägespänefeuerung (Pro- benbezeichnung SP1) betrachtet, um die in Rinden- und Sä- gespäneaschen enthaltenen Verunreinigungen vergleichen zu können. Dies ist speziell deswegen von Interesse, da bei Sä- gespänefeuerungen unter normalen Betriebsbedingungen in den anfallenden Grobaschen keine Verschlackungen und nur geringfügige Versinterungen auftreten.

3.1 Beschreibung der Analysenmethode

Alle Messungen wurden als Doppelanalysen durchgeführt.

Probenaufbereitung

Trocknung der Proben: Die Proben wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Messung:

Die chemische Zusammensetzung der Proben wurde im Ra- sterelektronenmikroskop (SEM) mittels EDX bestimmt.

Zur Messung stand ein Philips SEM 505 mit einem Si(Li)- Detektor mit Be-Fenster sowie das Analysensystem EDAX 9100 zur Verfügung.

Anmerkungen zur Methode:

Die Nachweisempfindlichkeit für die einzelnen Elemente liegt bei etwa 0,1 Gew% für EDX. Mit dem zur Verfügung ste- henden Detektor können im Rahmen dieser Empfindlichkeit alle Elemente ab Natrium nachgewiesen werden. Mit neuen Detektoren können auch die Elemente Kohlenstoff bis Fluor erfaßt werden.

Um die Messungen möglichst zeit- und kostensparend durch- führen zu können, wurde standardlos gemessen. Allerdings wurde die Methode mit mineralischen Standards ähnlicher Zusammensetzung (Coal Fly Ash NIST 1633a und 2689; Apatit- und Bustamit-Standard) wie die Zyklonflugaschen auf ihre Genauigkeit geprüft. Die Abweichungen von den an- gegebenen Referenzwerten lagen im allgemeinen innerhalb + /- 10 % rel.

3.2 Verunreinigungen in den Grobaschen von Rinden- und Sägespänefeuerungen

3.2.1 Untersuchung der Rinden-Grobasche (Feuerungstyp: 2 MW Vorschubrostfeuerung)

Die Zusammensetzung der Grobasche R1 ist in Tabelle 1 dargestellt. Diese Analysenergebnisse beziehen sich auf eine gut durchmischte und gemahlene Probe dieser Aschenfrac- tion, inklusive auftretender Schlacken- und Steinanteile. Auf- bauend auf diesen Ergebnissen wurde nun die Zusammen- setzung versinterter und verschlackter Aschenteile einzeln mittels EDX im SEM analysiert. Aussagen über die Zusam- mensetzung des Schlackeninneren wurden aus der Analyse von Brüchen und Schliffen gewonnen.

Tabelle 1: Haupt- und Nebenbestandteile der Grob-, Zyklon- und Feinstflugaschenfraktion aus der untersuchten Rindenfeue- rung R1 (Angaben in mg/kg TS)

Parameter	Grobasche	Zyklon- flugasche	Feinst- flugasche
SiO ₂	322.000	253.000	22.000
CaO	377.000	352.000	217.000
MgO	66.000	47.000	25.000
K ₂ O	39.000	60.000	267.000
Na ₂ O	7.000	12.000	22.000
P ₂ O ₅	14.000	19.000	18.000
Al ₂ O ₃	73.000	78.000	11.000
C-org.	8.000	39.000	39.000
SO ₃	3.000	25.000	262.000
CO ₂	18.000	21.000	21.000
Cl	0	5.000	50.000
Fe ₂ O ₃	52.000	59.000	9.000
MnO	14.000	16.000	14.000

Neben großflächigen Analysen der untersuchten Probestücke wurde speziell auf unter dem Elektronenmikroskop sichtbare Bereiche unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung und Struktur geachtet.

Abb. 2 zeigt beispielhaft den Schliff eines untersuchten Schlackenteiles. Die analysierten Bereiche sind gekennzeichnet und numeriert. Die großen halbkugelförmigen Vertiefungen stammen von in der Schlacke eingeschlossenen Luftblasen. Die Randkonturen der Schlacke sind gegen das dunkle Einbettmittel ebenfalls gut erkennbar.

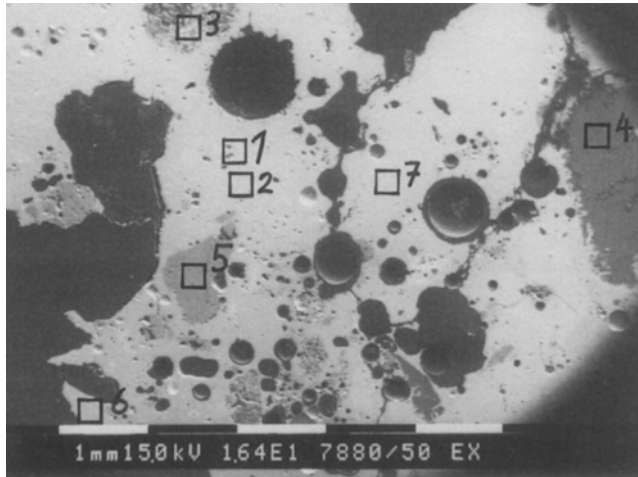


Abb. 2: Schliff eines Schlackenteiles der Grobasche R1 und Kennzeichnung der analysierten Zonen (SEM-Bild; ein Balkenabschnitt = 1 mm)

Ergebnisse:

1. Der Siliziumgehalt verschlackter und versinterter Aschenteile lag generell rund 20 % über dem Durchschnittswert der Grobasche.
2. Mehrere Zonen in den untersuchten Proben bestanden aus fast reinem Siliziumoxid (SiO_2 -Gehalt 95 – 98 Gew%); mittlerer Teilchendurchmesser 0,8 mm; siehe auch Abb. 2, Zone 5). Unter dem Lichtmikroskop erscheinen diese Bereiche in glasigem Weiß.
3. Weiterhin wurden kleine Bereiche mit hohen Kalziumkonzentrationen gefunden (CaO/CaCO_3 -Gehalt über 90 Gew%); mittlerer Teilchendurchmesser 0,3 – 0,5 mm).
4. Andere Zonen der untersuchten Schlackenteile wiesen Anreicherungen von Kalzium und Magnesium auf. Die MgO -Gehalte lagen dabei zwischen 16 und 48 Gew%, die des CaO zwischen 44 und 51 Gew% (mittlerer Teilchendurchmesser 1,0 – 1,5 mm; siehe auch Abb. 2, Zone 3 und 4). Die Farbe dieser Bereiche unter dem Lichtmikroskop war hellweiß.
5. Es konnten kleine Bereiche mit $\text{Mg}/\text{Al}/\text{Fe}$ -Anreicherungen (siehe auch Abb. 2, Zone 6) beziehungsweise mit Al/Fe -Anreicherungen festgestellt werden. Der Al_2O_3 - und Fe_2O_3 -Gehalt war dabei jeweils gleich groß und lag zwischen 20 und 26 Gew%, der Magnesiumgehalt betrug rund 15 Gew% (mittlerer Teilchendurchmesser 0,2 – 0,5 mm).
6. Generell können die untersuchten Schlackestücke als Grobasche mit eingelagerten Verunreinigungen angesehen werden. Im Schliffbild weist der Großteil der Fläche (ca. 75 %) einheitliche Farbe und Struktur auf. In diesem Be-

reich (siehe auch Abb. 2, Zone 1, 2, 7) wurden Analysenwerte gefunden, die der durchschnittlichen Grobaschenzusammensetzung laut Tabelle 1 sehr ähnlich sind. Weiters zeigte sich, daß die Verunreinigungen im Kern der Verschlackungen konzentrierter vorliegen.

Erläuterungen:

Silizium ist das Hauptelement der auftretenden Verunreinigungen. Einerseits sind in der Grobasche reine Siliziumoxidteilchen vorhanden, andererseits weisen die Schlackenteile großflächig fast immer erhöhte Siliziumwerte auf. Dieses Silizium stammt großteils sicherlich aus mit der Biomasse eingetragenen Mineralien (Sand), andererseits kann ein Teil des Silizium auch aus Schamottabrieben der Heizanlagen herrühren (der SiO_2 -Gehalt des Schamottes beträgt 35 bis 50 Gew%).

Weitere Verunreinigungen, jedoch in bedeutend geringerer Konzentration, sind Magnesium, Kalzium, Aluminium und Eisen. Aluminium stammt dabei zum Teil aus dem Schamott (der Al_2O_3 -Gehalt des Schamottes beträgt 40 bis 60 Gew%), zum Teil auch aus Mineralien. Eisen kann fast zur Gänze als durch Rost- und Schubstangenabrieb verursachte Verunreinigung angesehen werden. Teilweise wird Eisen auch durch in der Rinde enthaltene Nägel bzw. Drahtteile in die Asche eingetragen. Kalzium und Magnesium sind als mineralische Verunreinigungen anzusehen, die in Form von Kalkstein bzw. Dolomit in der Biomasse enthalten sein können.

Die Al/Fe - und die $\text{Mg}/\text{Al}/\text{Fe}$ -Anreicherungen deuten auf das Vorhandensein von Spinellverbindungen in der Asche hin (Aluminat- und Ferritspinelle; $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ und $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). Dabei ist anzunehmen, daß sich diese Spinelle erst im Laufe der Verbrennung, auf mineralischem Bestand ansetzend, bilden. Weiters ist mit großer Wahrscheinlichkeit das Vorliegen von Kali- und Kalkfeldspäten (KAlSi_3O_8 und $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) anzunehmen, wobei diese zum Großteil aus in der Biomasse enthaltenen Verunreinigungen (Steinen) stammen. Spinellverbindungen in der Grobasche sind bei Säureaufschlüssen schwer in Lösung zu bringen.

Generell zeigt die Grobasche jedoch trotz dieser auftretenden lokalen Verunreinigungen, eine richtige Probenahme und Mahlung vorausgesetzt, relativ gute Homogenität. Die untersuchten Schlacketeilchen waren zwischen 5 und 8 mm groß. Die Bereiche, in denen Verunreinigungen nachgewiesen wurden, wiesen Durchmesser von 0,2 bis 1,5 mm auf. Pro untersuchtem Schlacketeilchen wurden nicht mehr als 6 Zonen mit Verunreinigungen gefunden. Die übrige Teilchenmasse ist der durchschnittlichen Grobaschenzusammensetzung sehr ähnlich, lediglich Silizium ist meist etwas angereichert. Die Herstellung einer gut durchmischten homogenen Probe für die Analyse macht eine Pulverisierung der Schlackenanteile notwendig, wobei die Korngröße 0,2 mm nicht übersteigen darf.

Im feinkörnigen Grobaschenanteil konnten keine nennenswerten lokalen Elementkonzentrationen nachgewiesen werden. Hier sind also auch eventuelle mineralische Anteile relativ gleichmäßig in der reinen Asche verteilt.

Sollen Grobaschenanalysen repräsentativ sein, so ist es weiters erforderlich, daß das Verhältnis von verschlacktem und feinkörnigem Aschenmaterial in der Analysenprobe den im Heizwerk anfallenden Mengen entspricht. Beachtet man diesen Umstand bei der Probenahme und erfolgt die Mahlung auf entsprechende Feinheit, so ist mit einer relativ homogenen und repräsentativen Probe zu rechnen. Dies beweisen auch die von verschiedenen Proben derselben Grobasche durchgeführten Analysen, die nur geringe Schwankungen in den Elementkonzentrationen aufwiesen.

Die Tatsache, daß in den verschlackten Aschestücken der Gehalt an Verunreinigungen deutlich höher ist, und zusätzlich innerhalb der Teilchen von außen nach innen zunimmt, läßt vermuten, daß Anreicherungen an mineralischen Verunreinigungen, speziell erhöhte Silizium- und Alkalimetallgehalte, lokal für Schmelzpunktniedrigungen am Rost und damit für Sinterung und Schlackenbildung verantwortlich sind. Diese Meinung wird durch zu diesem Thema bereits vorliegende Forschungsergebnisse bestätigt (CH. FIETZ, 1987). Zwei wesentliche Merkmale, die zur Senkung der Sintertemperatur führen können, sind Siliziumgehalte in der Asche im Größenbereich des Kalziumgehaltes in Kombination mit Alkalimetallgehalten über 6 Gew%. Die Asche reiner Rinde würde erst bei Temperaturen über 1100 °C zu sintern beginnen, die Temperaturen am Rost erreichen jedoch maximal 1000 °C.

Um der Schlackenbildung am Rost vorzubeugen, sollten stark mit Sand, Erde und Steinen verunreinigte Rinden nicht als Brennstoff eingesetzt werden. Durch Naßentründungsanlagen und/oder eine Mahlung der Rinde lassen sich die Anteile an mineralischen Verunreinigungen erheblich reduzieren.

3.2.2 Untersuchung der Sägespäne-Grobasche SP1 (Feuerungstyp: 1,5 MW Unterschubfeuerung)

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Grobasche SP1 ist Tabelle 2 zu entnehmen. In diesem Abschnitt werden in der Sägespäne-Grobasche enthaltene verschlackte und versinterte Teilchen in gleicher Weise untersucht, wie bereits im vorangegangenen Abschnitt für Rindenasche beschrieben wurde. Abb. 3 zeigt dabei ein in der Grobasche SP1 gefundenes Teilchen, an dem sehr schön der Übergang vom Sinter- zum Schmelzvorgang zu erkennen ist. Während im Inneren noch deutlich die Teilchenstruktur der Grobaschenpartikel auszumachen ist, die nur zusammenbacken ohne ihre eigentliche Form zu verlieren (= Sintervorgang), setzte an der Oberfläche aufgrund der größeren Hitzeeinwirkung bereits ein Schmelzvorgang ein. Die Feuerraumtemperatur, der dieses rund 0,1 mm große Teilchen ausgesetzt war, betrug dabei rund 850 °C. Bei dieser Temperatur setzen nur infolge lokaler Konzentrationen von Verunreinigungen (hier insbesondere Silizium und Kalium) bereits Sinter- und Schmelzvorgänge ein. Die Größe der versinterten Einzelpartikel beträgt rund 3 µm.

Tabelle 2: Haupt- und Nebenbestandteile der Grob-, Zyklon- und Feinstflugaschenfraktion der untersuchten Sägespänefeuerung SP1 (Angaben in mg/kg TS)

Parameter	Grobasche	Zyklonflugasche	Feinstflugasche
SiO ₂	198.000	50.000	25.000
CaO	407.000	366.000	283.000
MgO	85.000	55.000	39.000
K ₂ O	64.000	89.000	92.000
Na ₂ O	7.000	8.000	3.000
P ₂ O ₅	39.000	24.000	22.000
Al ₂ O ₃	24.000	16.000	6.000
Ges-C	14.000	139.000	345.000
SO ₃	6.000	35.000	44.000
CO ₂	46.000	130.000	90.000
Cl	0	10.000	7.000
Fe ₂ O ₃	65.000	32.000	11.000
MnO	37.000	34.000	31.000



Abb. 3: Übergang vom Sinter- zum Schmelzvorgang an einem Grobaschenpartikel der Probe SP1 (SEM-Bild; 1 Balkenabschnitt = 0,1 mm)

Ergebnisse:

Die an der Grobasche SP1 vorgenommenen Untersuchungen brachten folgende Ergebnisse:

1. Der Siliziumgehalt verschlackter und versintertter Aschenanteile lag generell rund 50 % über dem Durchschnittswert der Grobasche.
2. In den untersuchten Teilchen wurden jeweils mehrere Siliziumoxidkörner (SiO₂-Gehalt 95 – 99 Gew%) gefunden.
3. Ebenso wurden Partikel mit hohem Eisengehalt in der Grobasche nachgewiesen (Teilchendurchmesser 0,1 mm und kleiner).
4. Mehrere Zonen der untersuchten Schlackenteile wiesen Anreicherungen von Kalzium und Magnesium auf, wobei CaO (CaCO₃) und MgO (MgCO₃) gewichtsmäßig fast gleich verteilt waren und in Summe 80 bis 90 % der Bereichszusammensetzung ausmachten (mittlerer Teilchendurchmesser rund 0,1 mm).

5. Es konnten kleine Zonen mit Si/K/Al-Anreicherungen (siehe auch *Abb. 3*) festgestellt werden. Das Verhältnis $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{K}_2\text{O}$ betrug dabei rund 45 : 15 : 28 Gew% (mittlerer Teilchendurchmesser 0,1 mm).
6. Generell sind die in der Grobasche SP1 auftretenden und untersuchten versinterten und verschlackten Aschenteile deutlich kleiner und seltener als in der Rinden-Grobasche. Die Bereiche eingelagerter Verunreinigungen waren in keinem Fall größer als 0,1 mm.

Erläuterungen:

Wie in der untersuchten Rinden-Grobasche ist auch in der Grobasche SP1 Silizium das Hauptelement der vorhandenen mineralischen Verunreinigungen. Silizium tritt dabei einerseits in Form von Quarzkörnern in der Asche auf (durch Biomasse oder Schamottabtrieb eingetragen), andererseits weisen die untersuchten versinterten und verschlackten Anteile großflächig meist deutlich erhöhte Siliziumgehalte auf.

Weitere Verunreinigungen, jedoch in bedeutend geringerer Konzentration, sind Eisen, Aluminium, Kalzium und Magnesium. Eisen stammt dabei fast zur Gänze aus Rost- und Förderelementabrieben, was auch die feinkörnigen gefundenen Eisenoxidpartikel in der Asche erklärt. Aluminium stammt aus dem Schamott. Kalzium und Magnesium werden höchstwahrscheinlich durch kleine in den Sägespänen enthaltene Anteile an Mineralien eingetragen.

Die K/Al/Si-Anreicherungen (siehe auch *Abb. 3*) weisen auf das Vorhandensein von Kalifeldspat (KAlSi_3O_8) hin, der durch mineralische Verunreinigungen in der Biomasse in die Asche eingeschleppt wird. Spinellverbindungen, wie sie in der Rinden-Grobasche auftreten, konnten in der Grobasche SP1 nicht gefunden werden.

Die Mahleinheit für eine korrekte Analyse der Sägespäne-Grobaschen sollte unter 0,1 mm betragen. Mit nennenswerten Verschlackungen ist aufgrund der geringen Gehalte an mineralischen Verunreinigungen im Brennstoff nicht zu rechnen.

3.3 Verunreinigungen in den Flugaschefractionen von Rinden- und Sägespänefeuerungen

3.3.1 Untersuchung der Zyklonflugasche R1

Folgende lokale Konzentrationen von Mineralien, die von der durchschnittlichen Aschenzusammensetzung abweichen (siehe *Kapitel 3.2.1, Tabelle 1*), konnten festgestellt werden:

1. Reine Kalzitkristalle (mittlerer Teilchendurchmesser 30 – 35 μm)
2. Kleine Bereiche mit Siliziumanreicherungen (bis zu 40 % über dem Durchschnittswert der Zyklonflugasche; mittlerer Teilchendurchmesser 35 μm)
3. Ferrit- und Aluminatspinelle (mittlerer Teilchendurchmesser 15 μm)
4. Kaliumsulfatkristalle (mittlerer Teilchendurchmesser 10 μm)

Für die lokalen Silizium-, Eisen- und Aluminiumkonzentrationen sind wahrscheinlich in die Asche eingetragene Verunreinigungen verantwortlich. Von den auftretenden Kaliumsulfat- und Kalzitkristallen ist eher anzunehmen, daß sie sich aus der Asche selbst bilden.

Zonen mit erhöhten Elementkonzentrationen sind generell selten und falls sie auftreten, nicht größer als die Flugaschepartikel selbst, wodurch die Notwendigkeit einer Probenmahlung vor der Analyse normalerweise nicht gegeben ist.

3.3.2 Untersuchung der Zyklonflugasche SP1

In der Sägespäne-Zyklonflugasche wurden folgende lokale Mineralienkonzentrationen gefunden:

1. Eisenoxidpartikel (mittlerer Teilchendurchmesser 2 – 3 μm)
2. Kaliumsulfatkristalle (mittlerer Teilchendurchmesser 2 – 3 μm)

Die Eisenpartikel stammen von Rost- und Förderelementabrieben, Kaliumsulfat entsteht in der Asche durch Reaktion des basischen Kaliumoxides mit den im Rauchgas vorhandenen Schwefelverbindungen (SO_2 und SO_3). Lokale Verunreinigungen sind wie in der untersuchten Rinden-Zyklonflugasche selten und treten in der gleichen Größe wie die Aschenpartikel selbst auf (keine Probenmahlung vor einer Analyse notwendig).

3.3.3 Untersuchungen der Feinstflugaschen

In beiden analysierten Feinstflugaschefractionen konnten keine Zonen gefunden werden, die von den festgestellten durchschnittlichen Aschenzusammensetzungen (siehe *Kapitel 3.2.1, Tabelle 1* und *Kapitel 3.2.2, Tabelle 2*) wesentlich abweichen. Für eine repräsentative Analyse der Feinstflugaschenfractionen ist daher lediglich die exakte Probenahme über den gewählten Versuchszeitraum wesentlich.

4 Physikalische Charakteristika der einzelnen Holzaschefractionen

In diesem Abschnitt soll auf jene physikalischen Kenngrößen der anfallenden Holzaschefractionen eingegangen werden, die für die Verfahrenstechnik der Aschenabscheidung und der Aschenverwendung (Mengendosierung) wesentlich sind. Von speziellem Interesse sind dabei die Schüttdichten (die Schüttdichten) der anfallenden Aschefractionen, die zu erwartenden Korngrößenspektren, die auftretenden Teilchendichten sowie die Oberflächenbeschaffenheit der Flugaschenfractionen.

4.1 Schüttdichten, Teilchendichten und Partikelgrößen der anfallenden Aschefractionen

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Dichten- und Korngrößenuntersuchungen für die untersuchten Aschefractionen der Rinden- und Sägespänefeuerung. Zusätzlich wurden auch die anfallenden Grob- und Zyklonflugaschen einer Hackgutfeuerung vermessen (Feinstflugaschenfraction war keine verfügbar, da sie nicht abgeschieden wird), um Daten über alle in Biomasseheizwerken eingesetzten Holzbrennstoffe zu erhalten.

Tabelle 3: Partikelgrößen, mittlere Teilchen- und Schüttdichten von Holzaschen

Aschenfraktion	Teilchengrößen von – bis (in μm)	Teilchendichte (mittlere) in kg/m^3	Schüttdichte	
			Mittelwert in kg/m^3	Standardabw.
Rindenfeuerung:				
Grobasche	30 – 100.000	2 860	943	168
Zyklonflugasche	3 – 200	2.590	656	107
Feinstflugasche	0,3 – 10	2.515	340	–
Sägespänefeuerung:				
Grobasche	10 – 30.000	3.021	662	86
Zyklonflugasche	2 – 100	2.575	283	66
Feinstflugasche	0,2 – 5	2.420	280	–
Hackgutfeuerung:				
Grobasche	15 – 50.000	2.866	960	110
Zyklonflugasche	2 – 160	2.682	430	72
Feinstflugasche	–	–	–	–

4.1.1 Methodik

Die in den einzelnen Fraktionen auftretenden Teilchengrößen wurden mittels Korngrößenanalysen (durch Siebung) einzelner Stichproben festgestellt und durch elektronenmikroskopische Aufnahmen der einzelnen Aschefraktionen kontrolliert (100-fache bis 200 000-fache Vergrößerung). Die festgestellten Teilchengrößen stimmten bei beiden Methoden gut überein. Wesentlich war in diesem Zusammenhang die Ermittlung der Breite des auftretenden Korngrößenspektrums, da speziell die in Grobaschen auftretenden mittleren Korngrößen in Abhängigkeit von der Brennstoffzusammensetzung und vom verwendeten Feuerungstyp stark schwanken (siehe auch *Tabelle 3*).

Die Teilchendichte wurde in 5-facher Wiederholung von jeweils 2 unterschiedlichen Proben pro Aschenfraktion ermittelt. Die Aschenproben wurden dabei in wasserfreiem Zustand in einem Heliumpyknometer der Marke „Autopycnometer 1320“ der Fa. Micromeritics vermessen. Die in *Tabelle 3* angeführten Werte stellen die Mittelwerte dieser Untersuchungen dar, wobei innerhalb der Analysenwiederholungen kaum Dichteunterschiede auftraten.

Pro Schüttdichtenbestimmung wurden generell 4 Einzelmessungen durchgeführt und daraus der Mittelwert errechnet. Die Messung selbst erfolgte mit 12-Liter-Eimern, die jeweils eben voll gefüllt wurden, ohne das Material nennenswert zu verdichten (Schüttung). Die Datenerhebung erfolgte für jeden Brennstofftyp bei mehreren verschiedenen Biomassefeuerungen, um auch verbrennungstechnologische Unterschiede mitzuerfassen. Insgesamt wurden folgende Proben untersucht:

Rinde (Grob- und Zyklonflugaschen)	je 21
Rinde (Feinstflugaschen)	4
Sägespäne (Grob- und Zyklonflugaschen)	je 13
Sägespäne (Feinstflugaschen)	2
Hackgut (Grob- und Zyklonflugaschen)	je 25

4.1.2 Ergebnisse und Erläuterungen

Auftretende Partikelgrößen:

Die bereits festgestellte Tatsache, daß die Korngröße der auftretenden Verunreinigungen mit der Feinheit des Brennstoffes abnimmt, trifft auch für die Aschenpartikel selbst zu. Die mittleren Korngrößen der Flugaschenfraktionen liegen laut Erfahrung mit guter Näherung bei rund 25 % der in *Tabelle 3* angegebenen oberen Bereichsgrenzen.

Bei den untersuchten Grobaschefraktionen weisen ebenfalls die Rindenaschenpartikel, gefolgt von den Hackgut- und Sägespäneaschenteilchen, die größten Korngrößen auf. Hier können jedoch die Teilchengrößen wegen der auftretenden Verschlackungen und Versinterungen erheblich schwanken. Besonders bei Rindenfeuerungen sind in diesem Zusammenhang Teilchendurchmesser bis zu 20 cm möglich. Mit der Reinheit und Feinheit des eingesetzten Brennstoffes und bei guter und gleichmäßiger Rostbelüftung nimmt die Schlackenbildung stark ab.

Insbesondere hinsichtlich einer Aschenverwendung als Düngemittel in der Land- und Forstwirtschaft sollte man darauf achten, daß speziell bei Rindenfeuerungen eine gleichmäßige

Durchlüftung der Rostzone, eine möglichst hohe Beweglichkeit der Asche über die einzelnen Rostelemente sowie eine gleichmäßige Verteilung des Brennstoffes über dem Rost gegeben ist. Damit wird die Partikelgröße der anfallenden Grobasche klein gehalten. Bei Korngrößen über 1,5 bis 2 cm ist, um eine problemlose Aschenausbringung in Düngerstreuern zu ermöglichen, eine Absiebung des Grobanteiles notwendig.

Zusammenfassend kann bezüglich der auftretenden Teilchengrößen folgendes gesagt werden:

1. Mit der Feinheit des eingesetzten Brennstoffes nimmt die Partikelgröße der anfallenden Aschefractionen ebenfalls ab.
2. Mit abnehmendem Aschegehalt des Brennstoffes wird die Asche feinkörniger. Dies ist aus dem deutlich höheren Silizium-/Kalziumoxidverhältnis für Rinden erklärbar ($\text{SiO}_2 : \text{CaO} = 0,92$ für Rinde; $0,35$ für Sägespäne; Angaben gewichtsbezogen). Die Sinter- und Schmelztemperaturen von Holzaschen sinken, wie bereits in Kapitel 3.2.1 erwähnt, bei höheren Silizium-/Kalziumoxidverhältnissen. Dadurch ist in Rindenfeuerungen eine größere Neigung zur Verschlackung der Grobasche gegeben.
3. Die kleinsten in Zyklonflugaschen auftretenden Teilchengrößen liegen bei $2 \mu\text{m}$ (Grenzkorn der derzeit verwendeten Zyklo). Die überhaupt unter dem Elektronenmikroskop festgestellten kleinsten auftretenden Ascheteilchen (in den Feinstflugaschen) sind rund $0,2 \mu\text{m}$ groß.

Teilchendichten der untersuchten Aschefractionen:

Aus den in Tabelle 3 angeführten Meßdaten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Die Teilchendichten für jeweils eine Aschenfraction sind unabhängig vom verwendeten Brennstoff gleich groß.
2. Die Teilchendichte nimmt von der Grobasche bis hin zu den Feinstflugaschen ab.

In Grobaschen ist die Partikeldichte der reinen Asche ähnlich wie jene der am häufigsten auftretenden Verunreinigungen. Die gemessenen Teilchendichten für Grobasche liegen zwischen $2\ 860$ und $3\ 020 \text{ kg/m}^3$, die Dichten von Feldspat, Quarz und Dolomit, die Beispiel mineralischer Verunreinigungen darstellen (siehe Kapitel 3.2), betragen $2\ 650$ bis $2\ 850 \text{ kg/m}^3$. Aus diesem Grund haben die auftretenden mineralischen Verunreinigungen kaum Einfluß auf die Teilchendichte.

Die Teilchendichten der Zyklonflugaschen liegen rund 10 % unter den Grobaschenwerten, die der Feinstflugaschen rund 16 % tiefer. Dies ist speziell aus der geringeren Dichte der leichter flüchtigen Aschebestandteile zu erklären, in zweiter Linie auch durch den mit der Feinheit der Asche abnehmenden Gehalt an Verunreinigungen.

Schüttdichten der anfallenden Aschefractionen:

Auf die Ermittlung der in verschiedenen Biomasseheizwerken bei verschiedenem Brennstoffeinsatz auftretenden Schüttdichten wurde besonders großer Wert gelegt, da zu diesem Thema kaum abgesicherte Meßdaten vorhanden sind.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Generell nimmt die Schüttdichte von der Grobasche bis hin zur Feinstflugasche ab.
2. Die Schüttdichten der Grobaschen aus Hackgut- und Rindenfeuerungen sind gleich groß. Die Schüttdichten der Grobaschen aus Sägespänefeuerungen liegen um rund 30 % niedriger.
3. Wie Abbildung 4 zeigt, sind die Schüttdichten der anfallenden Grobaschen von der Partikelgröße abhängig. Die angegebenen Teilchendurchmesser stellen dabei Mittelwerte zwischen der jeweils größten und kleinsten auftretenden Korngröße dar. Die gefundene Regressionsbeziehung

$$\text{Schüttdichte} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 1040 - 737,3 \cdot \exp(-\text{Partikelgröße [cm]})$$

zeigt speziell bei mittleren Korngrößen von $0,5$ bis 2 cm ein starkes Ansteigen der Schüttdichte mit zunehmender Teilchengröße (von 593 auf 940 kg/m^3). Bei mittleren Korngrößen über 2 cm (stärkerer Verschlackung) nimmt die Schüttdichte der Grobasche nur mehr geringfügig zu. Der gefundene funktionale Zusammenhang ist hoch signifikant (siehe r^2 , F-Wert und 95 %-Konfidenzgrenzen in Abb. 4).

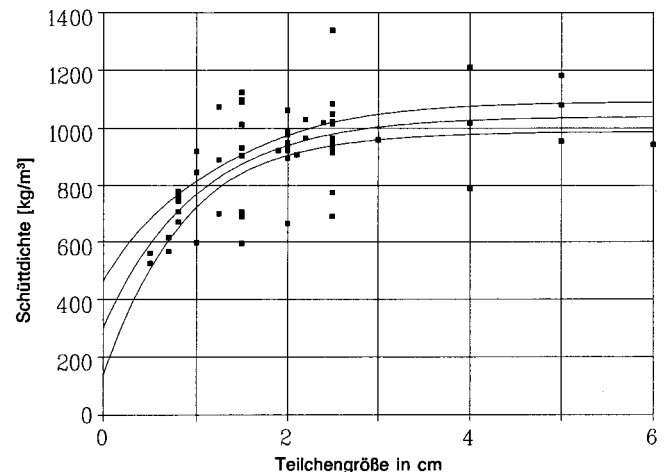


Abb. 4: Regressionsanalyse für die Beziehung Schüttdichte – Partikelgröße der Grobaschen aus Biomassefeuerungen ($r^2 = 0,45$; $F = 54$)

4. Für die Zyklonflugaschenfractionen konnte ebenfalls eine Regressionsbeziehung zwischen mittlerer auftretender Teilchengröße und Schüttdichte gefunden werden. Die gefundene Funktion

$$\text{Schüttdichte} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 250 + 0,0003 \cdot \text{Partikelgröße [mm]}^{3,6}$$

bezieht sich dabei auf die Mittelwerte der gemessenen Schüttdichten und der auftretenden Korngrößen für die einzelnen untersuchten Brennstofftypen (siehe auch Tabelle 3 und Abb. 5). Die errechnete Regression ist hoch signifikant (siehe Bestimmtheitsmaß r^2 , F-Wert und 95 %-Konfidenzgrenzen in Abb. 5).

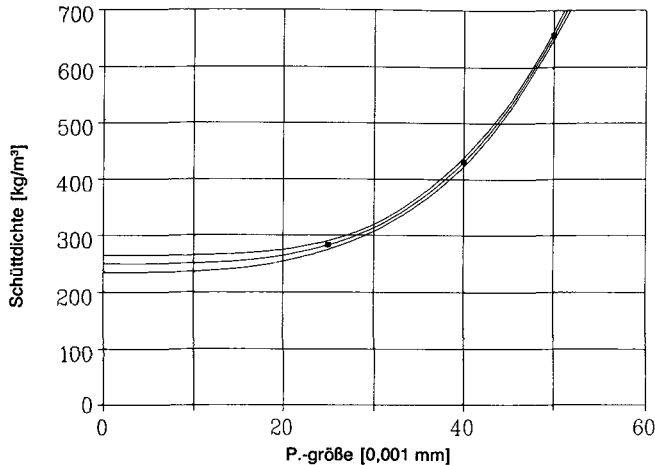


Abb. 5: Regressionsanalyse für die Beziehung mittlere Schüttdichte – mittlere Partikelgröße der Zyklonflugaschen aus Biomassefeuerungen ($r^2 = 0,99$; $F = 97,465$)

5. Bei den untersuchten Feinstflugaschenfraktionen konnte keine Abhängigkeit zwischen den auftretenden Partikelgrößen und den ermittelten Schüttdichten festgestellt werden. Die Schüttdichten der anfallenden Feinstflugaschen liegen unabhängig vom eingesetzten Brennstoff zwischen 250 und 350 kg/m^3 . Der sich aus der Regressionsbeziehung für Zyklonflugaschen ergebende Schüttdichtenwert für eine Korngröße von wenigen μm beträgt 250 kg/m^3 . Dies zeigt, daß die Feinstflugaschen trotz geringerer Teilchendichten, Schüttdichten aufweisen, die zwischen den Werten für Zyklonflugaschen von Hackgut- und Sägespänefeuerungen liegen.

Für die Verwendung der Holzasche als Dünge- und Bodenverbesserungsmittel wird meist eine Mischung aus Grob- und Zyklonflugasche nach heizwerksspezifischem Anfall eingesetzt. Dabei wird die Grobasche, falls notwendig, auf eine maximale Korngröße von 1,5 bis 2 cm abgesiebt, da größere Schlackenteile eine Verwendung von Düngerstreuern unmöglich machen. Diese Mischungen aus gesiebten Grob- und Zyklonflugaschen nach Anfall weisen für Hackgut- und Rindenfeuerungen Schüttdichten zwischen 1 150 und 1 250 kg/m^3 auf. Für Sägespänefeuerungen liegen die Schüttdichten dieses Aschengemisches zwischen 600 und 800 kg/m^3 . Man sieht also, daß durch die Mischung der Grob- und Zyklonflugasche eine bessere Ausnutzung der Hohlräume zwischen den Ascheteilchen, also eine dichtere Schüttung erreicht wird. Dieser Umstand ist speziell für die festzulegenden Ausbringungsmengen und die Dosiereinstellung von Düngerstreuern von Bedeutung.

4.2 Die Oberflächenbeschaffenheit der anfallenden Flugaschefraktionen

Die Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit der Flugascheteilchen sollte Aufschluß über vorhandene Porenstrukturen geben, um Informationen über die Art der Schwermetallanlagerung aus der Gasphase an die Flugaschepartikel zu erhalten. Vor allem geht es um die Frage, ob für die Schwermetallanlagerung an Flugaschenpartikel temperatur-

bestimmte Desublimationsvorgänge oder von der Porenstruktur abhängige Adsorptions- und Porenkondensationsvorgänge dominieren. Die Beantwortung dieser Frage ist wesentlich, um diesen Vorgang entsprechend erklären und beeinflussen zu können. Spielen Adsorptionsvorgänge eine wesentliche Rolle, so ist eine Temperatursteuerung der Schwermetallanlagerung an die Aschepartikel nur sekundär von Bedeutung. Sind Desublimationsvorgänge dominierend, so kann das Abscheideverhalten bestimmter Schwermetalle (Zink, Blei, Cadmium, Arsen) durch geänderte Temperaturen direkt beeinflußt werden.

Methodik:

Die Teilchenoberflächen der Flugaschefraktionen wurden im Rasterelektronenmikroskop mit entsprechend hoher Vergrößerung aufgenommen.

Ergebnisse für Zyklonflugaschen:

Wie Abb. 6 zeigt, besitzen die einzelnen Zyklonflugaschepartikel keine ausgeprägte Porenstruktur und weisen relativ glatte Oberflächen auf. Häufig sind Agglomerate von Einzelteilchen festzustellen. Diese Zusammenlagerung von Partikeln bewirkt die Ausbildung von zufällig geformten Oberflächen (siehe Abb. 7). Gleichzeitig ist durch diese gebirgsähnlichen Strukturen und die dadurch auftretenden Zwischenräume und Spalten eine gewisse Porenausbildung gegeben, die jedoch für Adsorptionsvorgänge von geringer Relevanz ist. Eine bevorzugte Teilchenform konnte nicht ausgemacht werden.

Die fließenden Übergänge zwischen den agglomerierten Teilchen und das Fehlen scharfer Kantenstrukturen lassen auf Versinterungsvorgänge schließen, die zwischen den Flugaschepartikeln im heißen Feuerungsteil der Heizanlage ablaufen.

Die untersuchten Zyklonflugaschen der Rinden- und Sägespänefeuerungen weisen, abgesehen von den verschiedenen auftretenden Teilchengrößen, keine wesentlich unterschiedlichen Oberflächenstrukturen auf.

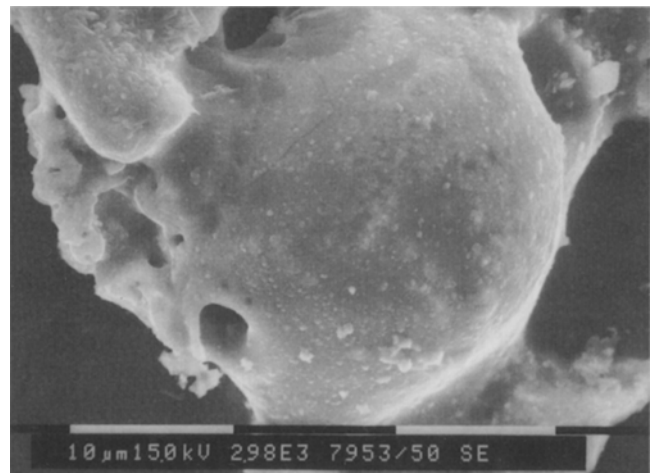


Abb. 6: Einzelpartikel der Rinden-Zyklonflugasche R1 (SEM-Bild; 1 Balkenabschnitt = 0,01 mm)

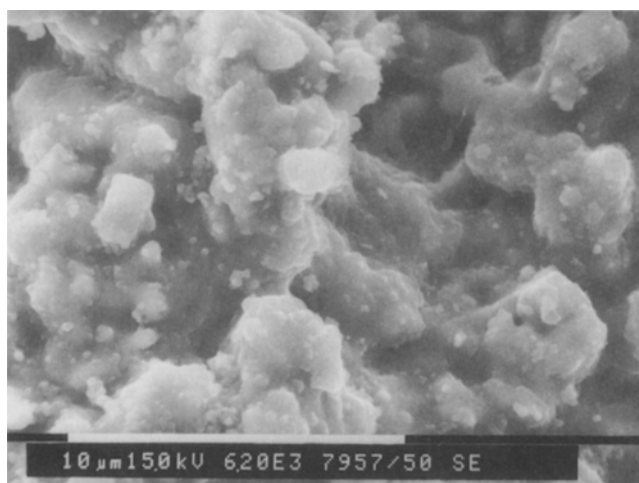


Abb. 7: Agglomerat von versinterten Rinden-Zyklonflugascheteilchen R1 (SEM-Bild; 1 Balkenabschnitt = 0,01 mm)

Ergebnisse für Feinstflugaschen:

An den Einzelteilchen der feinsten anfallenden Aschefraktion sind ebenfalls keine Poren erkennbar. Die Oberfläche ist als glatt mit leichten Unebenheiten zu bezeichnen. Die auftretenden Agglomerate weisen häufig die Struktur übereinander geschichteter Plättchen auf, an deren Oberfläche kleine tropfenförmige Teilchen angelagert sein können (siehe Abb. 8). Abgerundete Kanten und Formen weisen auch hier auf abgelaufene Sinterprozesse hin, die jedoch im Vergleich zu den Zyklonflugaschen von geringerem Ausmaß sind. Die Oberflächen dieser versinterten Gebilde weisen nur strukturbedingt Poren auf. An mehreren Stellen konnten reine Kalzit- und Kaliumsulfatplättchen nachgewiesen werden.

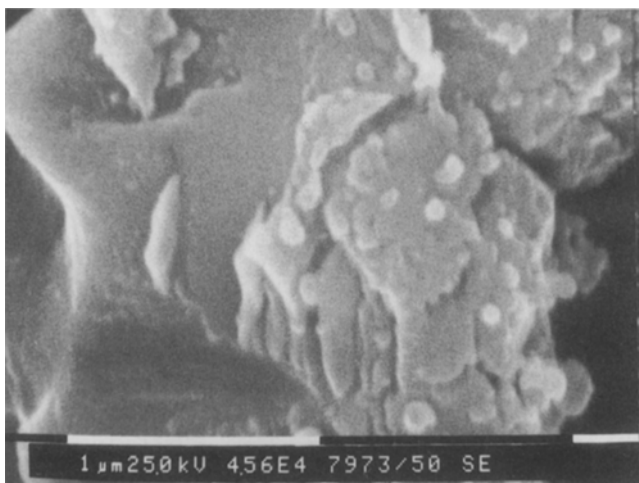


Abb. 8: Agglomerat von versinterten Rinden-Feinstflugascheteilchen R1 (SEM-Bild; 1 Balkenabschnitt = 0,001 mm)

4.2.1 Schlußfolgerungen aus den Oberflächenuntersuchungen der anfallenden Flugaschefractionen

Durch die weitgehend porenfreie und glatte Oberfläche der Einzelteilchen und die sich nur aus den auftretenden Agglomeratgefügen ergebenden Porenstrukturen ist der Schwermetalladsorption und Porenkondensation geringe Bedeutung ge-

genüber der temperaturabhängigen Desublimation von Schwermetallen an den Teilchenoberflächen beizumessen. Die leichtflüchtigen Schwermetalle, deren Dampfdruck im üblichen Arbeitstemperaturbereich von Zyklonen und Elektrofiltern (100 bis 220 °C) kleiner ist als deren durchschnittliche Konzentration in der Gasphase, lagern sich daher gleichgewichts- und temperaturbedingt verstärkt an den Flugaschepartikeln ab. Speziell sind für diesen Temperaturbereich die Schwermetalle Cadmium und Arsen zu nennen. Die Desublimation von Zink und Blei erfolgt bereits bei wesentlich höheren Temperaturen (300 bis 600 °C) im Wärmetauscherbereich. Quecksilber hingegen wird, aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit, auch bei Temperaturen von 40 °C, wie sie in Rauchgaskondensationsanlagen erreicht werden, noch nicht effektiv abgeschieden.

Verfahrenstechnisch lassen sich aus diesen Ausführungen folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Um die Desublimation von Cadmium und Arsen ökologisch sinnvoll zu steuern, ist es notwendig den Multizyklon bei möglichst hohen Temperaturen zu betreiben (200 bis 250 °C) und den Elektrofilter bei einer möglichst niedrigen Betriebstemperatur zu fahren (100 bis 120 °C). Um dies zu erreichen, ist es notwendig, den Wärmetauscher der Feuerung für die Zykloneintrittstemperatur entsprechend auszulegen und zwischen Zyklon und Elektrofilter einen Economiser (Luftvorwärmer) einzubauen, der das Rauchgas auf die entsprechende Elektrofiltertemperatur kühlt und die Wärme gleichzeitig rückgewinnt. Dadurch sollten eine Anreicherung von Cadmium und Arsen in der Feinstflugasche und geringere Abscheideraten in der Zyklonflugasche erreichbar sein. Dies ist deswegen sinnvoll, da eine Mischung aus Grob- und Zyklonflugasche kreislaufwirtschaftlich als Düngemittel in die Land- und Forstwirtschaft rückgeführt werden soll, die Feinstflugasche hingegen als kleiner und schwermetallreicher Seitenstrom aus dem Kreislauf abgezogen und deponiert wird. Noch effektiver ist es dem Multizyklon eine Rauchgaskondensationsanlage nachzuschalten. Dadurch wird eine Kühlung des Rauchgases auf rund 40 °C (ideal für eine weitgehend vollständige Desublimation der leichtflüchtigen Schwermetalle außer Hg) erreicht, die freiwerdende Wärme kann genutzt werden. Da Cadmium das in der Holzasche ökologisch relevanteste Schwermetall ist, kommt dieser Verfahrensführung hinsichtlich einer nachhaltigen Wirtschaft mit der anfallenden Asche große Bedeutung zu.
2. Eine weitere Verbesserung der fraktionierten Schwermetallabscheidung, die speziell die Zink- und Bleimengen in der Zyklonflugasche senkt, ist möglich, wenn man einen Teil der Zyklonflugasche bereits im heißen Teil der Feuerung (bei 600 bis 1 000 °C) abscheidet. Dadurch erreicht man, daß Zink und Blei aufgrund des hohen Dampfdruckes bei diesen Temperaturen nicht desublimieren und ein Teil der Zyklonflugasche schwermetallarm im Kessel selbst anfällt. Die Schwermetallanlagerung wird somit „nach hinten“ verschoben, wodurch speziell in der Feinstflugaschenfraktion (niedrigste Temperatur und größte Teilchenoberflächen) eine weitere Anreicherung der Schwermetalle erreicht wird. Verfahrenstechnisch ist dies

durch Prallwände oder Beruhigungszonen im Sekundärverbrennungsbereich machbar, wodurch nach dem Schwerkraftprinzip ein Teil der im Rauchgas mitgeführten Asche abgesehieden wird.

3. Mittelfristig sollte erreicht werden, die Zyklonflugasche gänzlich im heißen Teil der Feuerung (mittels Heißzyklonen oder zyklonartiger Sekundärverbrennungszone) abzuscheiden, um die Schwermetallfraktionierung noch stärker auf die Feinstflugasche auszurichten.

Als optimal ist in diesem Zusammenhang die verfahrenstechnische Kombination der beschriebenen Methoden zu bewerten, wobei die Punkte 1 und 2 kurzfristig realisierbar sind und Punkt 3 als mittelfristiges Ziel anzusehen ist. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, gezielt Schwermetalle in der Feinstflugaschenfraktion anzureichern und die Zyklonflugasche dementsprechend schadstoffärmer abzuscheiden. Ökologisch sind diese Verfahrensstufen beim Einsatz unbehandelter Biomasse in erster Linie für das Cadmium und in zweiter Linie für Zink von wesentlicher Bedeutung für eine nachhaltige Wirtschaft mit der anfallenden Asche.

Danksagung

Für die Teilfinanzierung der durchgeführten Forschungsarbeiten sei der Bund-Bundesländerkooperation auf dem Gebiet der Rohstoff-, Energie- und Umweltforschung (Projekt StU 48) sowie dem Jubiläumssfonds der Österreichischen Nationalbank (Projekt Nr. 4159) herzlich gedankt.

5 Literatur

- FIETZ, Chr. (1987): Ermittlung der verbrennungstechnischen Eigenschaften von Biomasse für Wirbelschichtfeuerungen, Diplomarbeit, Institut für Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik, TU Wien
- FUCHS, E.; H. OPPOLZER; H. REHME (1990): Particle Beam microanalysis, VCH
- OBERNBERGER, I. (1993 a): Die Energiegewinnung aus Biomasse – Möglichkeiten einer nachhaltigen Wirtschaft, Tagungsband zum 2. Symposium „Im Kreislauf der Natur – Naturstoffe für die moderne Gesellschaft“, Juni 1993, Würzburg
- OBERNBERGER, I.; M. NARODOSLAWSKY (1993 b): Aschenaustrags- und Aufbereitungsanlagen für Biomasseheizwerke, Endbericht zum Forschungsprojekt des Landesenergievereines Steiermark, Institut für Verfahrenstechnik, TU Graz
- OBERNBERGER, I.; M. NARODOSLAWSKY (1993 c): Stoff- und Energiebilanzen des Biomasseheizwerkes Gratwein als Basis für dessen ökologische und technologische Bewertung, Institut für Verfahrenstechnik, TU Graz
- OBERNBERGER, I.; M. NARODOSLAWSKY (1993 d): Stoff- und Energiebilanzen des Biomasseheizwerkes Lofer als Basis für eine umweltverträgliche Kreislaufwirtschaft mit den anfallenden Aschen, Institut für Verfahrenstechnik, TU Graz
- RUCKENBAUER, P.; I. OBERNBERGER; H. HOLZNER (1993): Erforschung der Verwendungsmöglichkeiten von Aschen aus Hackgut- und Rindenfeuerungen, Endbericht der Projektphase I (1992/93), Forschungsprojekt StU 48 der Bund-Bundesländerkooperation, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, BOKU Wien

Erhalten: 02. November 1993
Akzeptiert: 13. Dezember 1993

Neues aus der Literatur

Umweltbelastungen und Ängste

Hrsg: K. AURAND, B. P. HAZARD, F. TRETTER

Verlag: Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen 1993. 422 Seiten. ISBN 3-531-12508-7

In den Beiträgen dieses Buchs wird intensiv die Angst vor Gesundheitsschäden durch Umweltbelastungen, die direkt oder indirekt ausgelöst werden können, untersucht. Insbesondere wird auf die Auslösung von Gesundheitsschäden ohne reale Vergiftungserscheinungen, **Toxikopie** genannt, eingegangen. Die Diagnose dieser Krankheit ist kompliziert, da es sich hierbei um informationsbedingte gesundheitliche Reaktionen handelt, deren Ursprung oft unbekannt ist und mit realen Umweltbelastungen korreliert sein kann. Daher ist es von Bedeutung, Ursachen und Mechanismen umweltbedingter Ängste, die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen können, zu erforschen, um geeignete diagnostische, therapeutische und präventive Maßnahmen ergreifen zu können. Dieses Ziel hat die **Humanökologie**, die neben der Umweltmedizin psychologische und soziologische Aspekte von Umweltbelastungen mit berücksichtigt und sich mit den Wechselwirkungen von Mensch und Umwelt auseinandersetzt.

Eine Schlüsselposition bei der Bearbeitung dieses Themenkreises ist der Umgang mit Informationen, die zur Auslösung von Ängsten führen können. Hierbei kommt den Multiplikatoren in der Gesellschaft (Journalisten, Politiker, Behörden, Wirtschaftsvertretern) eine verantwortungsvolle Rolle zu. Vertrauensbildende Maßnahmen zwischen Bürger, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft können mithelfen, diese Form der Angst abzubauen bzw. zu vermeiden.

Neben der Darstellung von Ursachen und Wirkungen werden Erfahrungen mit dem **Umgang und präventive Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltängsten** aufgezeigt.

Prof. Dr. Herwig HULPKE
Bayer AG, Leverkusen