

Altholzaufbereitung zur Verbesserung der Brennstoffqualität

Möglichkeiten und Auswirkungen

Dipl.-Ing. **Thomas Brunner** Graz/A

Prof. Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. **Ingwald Obernberger** Graz/A

Dr. **Martin Wellacher** Frohnleiten/A

Kurzfassung:

Während der vergangenen Jahre wurde Altholz immer häufiger als Brennstoff in Biomassefeuerungsanlagen im mittleren und hohen Leistungsbereich eingesetzt und es kann davon ausgegangen werden, dass sich dieser Trend fortsetzen wird. Die Vorteile dieses Brennstoffsortiments liegen in den vergleichsweise geringen Brennstoffkosten und dem in vielen Gebieten hohen verfügbaren Brennstoffpotential. Ein gravierender Nachteil von Altholz ist die, im Vergleich zu chemisch unbehandelter holzartiger Biomasse, hohe Inhomogenität und der hohe Anteil an Fremdstoffen. Diese wirken sich sowohl bezüglich der zu treffenden emissionsmindernden Maßnahmen als auch bezüglich anlageninterner Problemstellungen, wie Verschlackung, Depositionsbildung und Korrosion von Wärmetauscherflächen negativ auf die Wirtschaftlichkeit und die Verfügbarkeit der Feuerungsanlagen aus.

Um die Risiken, die von diesen Fremdstoffen und Verunreinigungen im Zuge der Verbrennung ausgehen, verringern zu können, wurden in der vorliegenden Arbeit in einem ersten Schritt relevante Schlüsselparameter wie die Korngrößenverteilung des Brennstoffes, sein Aschengehalt sowie die Konzentrationen an Si, Al, Fe, K, Na, S, Cl sowie an Schwermetallen wie Zn, Pb, Cd und Hg bezüglich ihrer Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess durchleuchtet.

Des Weiteren wurde untersucht, inwiefern eine geeignete Brennstoffaufbereitung zur teilweisen Abtrennung dieser kritischen Elemente herangezogen werden kann. Ein Altholzaufbereitungskonzept basierend auf einer Zerkleinerung, einer Eisen- und Nichteisenmetallabscheidung, sowie einer Abtrennung des Unterkorns wurde daraufhin entwickelt, anlagentechnisch umgesetzt und getestet. Testläufe mit dieser Brennstoffaufbereitung zeigten, dass bezüglich der Parameter Aschengehalt, Korngrößenverteilung, Si, Al, Fe, K, Na, Zn, Pb, Cd und S deutliche Verbesserungen der Brennstoffqualität erzielt werden können. Es zeigte sich aber auch, dass speziell bezüglich

des Chlorgehaltes des Brennstoffes eine genaue Eingangskontrolle und manuelle Vorsortierung noch vor der weiteren Brennstoffaufbereitung notwendig sind, um die Konzentrationen in einem, bezüglich verbrennungstechnischer Aspekte, akzeptablen Bereich zu halten.

Um nicht nur den Effekt der Aufbereitungsanlage auf die Brennstoffqualität in Form von Brennstoffanalysen evaluieren zu können, sondern auch die direkten Auswirkungen des Einsatzes von aufbereitetem Altholz auf den Feuerungsanlagenbetrieb zu beurteilen, wurden Testläufe mit aufbereitetem und nicht aufbereitetem Altholz an einer Feuerungsanlage mit ca. 10 MW Brennstoffwärmeleistung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass durch gezielte Brennstoffaufbereitung speziell aschebedingte Probleme (z.B.: Depositionsbildung) spürbar reduziert werden können und die Brennstoffaufbereitung daher eine effiziente und sinnvolle Primärmaßnahme darstellt.

1. Allgemeines

In der Richtlinie 2001/77/EG [1] definiert die Europäische Kommission das ehrgeizige Ziel, die Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern von 6% (Stand 1995) bis zum Jahr 2010 auf 12% zu erhöhen. Die thermische Nutzung fester Biomasse hat in diesem Zusammenhang besonders hohe Bedeutung. Um die Zielsetzungen der Richtlinie zu erreichen, wurden in vielen europäischen Ländern Anreize in Form erhöhter Einspeisetarife für Strom aus erneuerbaren Energieträgern gesetzt. Auf Grund dieser Einspeisevergütungen hat sich ein starker Trend hinsichtlich der Errichtung von Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie von Biomassekraftwerken ergeben. Nicht zuletzt wegen seiner vergleichsweise geringen Kosten und der regional zum Teil hohen Verfügbarkeit ist Altholz speziell für Anlagen im größeren Leistungssegment (Brennstoffwärmeleistung >10 MW) ein interessanter Brennstoff.

Als Altholz werden in diesem Zusammenhang beispielsweise Abbruchholz, Türblätter, Zargen, Deckenpaneele, Dämm- und Schallschutzplatten, Bauspanplatten, imprägnierte Bauhölzer aus dem Außenbereich, Paletten, Transportkästen, Möbel, Spanplattenreste, Abfälle aus der holzbearbeitenden Industrie (Verschnitt, Abschnitt, Späne) sowie Bahnschwellen, Leitungsmasten und imprägnierte Gartenmöbel bezeichnet. Wegen der unterschiedlichen Herkunft und Behandlung dieser Sortimente zeichnen sie sich im Vergleich zu anderen Biomassebrennstoffen durch eine sehr hohe Inhomogenität aus. Speziell die Anteile und Arten von Störstoffen, Fremdstoffen und Verunreinigungen weisen hohe Variationsbreiten auf. Europaweite Normen, die die maßgeblichen Eigenschaften von Althölzern regeln, werden derzeit von CEN TC 335 „solid biofuels“ (Altholz ohne

halogenorganische Beschichtungen und Schwermetalle) und CEN TC 343 „solid recovered biofuels“ (Altholz mit halogenorganischen Beschichtungen und Schwermetallen) erarbeitet. In Österreich und Deutschland gelten bereits seit einigen Jahren entsprechende Klassifizierungen von Althölzern [2, 3].

Altholz enthält im Vergleich zu unbehandelter holzartiger Biomasse hohe Konzentrationen an umweltrelevanten Elementen wie N, Cl, S und Schwermetallen, die erhöhten anlagentechnischen Aufwand bezüglich der Rauchgasreinigung in Biomassefeuerungsanlagen notwendig machen. Des Weiteren sind auch aschebildende Elemente wie Si, Ca, Na, Fe, Al, etc. in Altholzsortimenten zumeist in deutlich höheren Konzentrationen enthalten, was bei der Verbrennung zu Problemen bezüglich Verschlackung, Depositionsbildung und Korrosion führen kann.

In dieser Arbeit werden in einem ersten Schritt, ausgehend von einer Erläuterung der Auswirkungen relevanter Elemente auf den Feuerungsbetrieb, Richtwerte, die für einen problemlosen Feuerungsbetrieb eingehalten werden sollen, vorgeschlagen. Des Weiteren wird darauf eingegangen, wie durch den Einsatz einer entsprechenden Brennstoffaufbereitung relevante Risikokomponenten teilweise abgetrennt und somit der Anlagenbetrieb durch diese Primärmaßnahme wesentlich verbessert werden kann.

2. Vorgangsweise und Methodenbeschreibung

Als erster Schritt der Arbeiten wurden für den Feuerungsanlagenbetrieb kritische Elemente, die in Altholzsortimenten der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 bzw. A1 und A2 (siehe Abschnitt 3) in deutlich höheren Konzentrationen als in unbehandelter holzartiger Biomasse auftreten, identifiziert, und ihre Auswirkungen auf den Feuerungsbetrieb diskutiert. Darauf aufbauend wurden Empfehlungen für Richtwerte bezüglich der Konzentrationen dieser Elemente im Brennstoff ausgearbeitet, die für die Definition von qualitätssortiertem Altholz herangezogen werden können. Als Ausgangsbasis dafür wurden Datenmaterial und Erfahrungen aus Feuerungstests mit Altholz, die im Rahmen verschiedener Projekte, die am Institut für Ressourcenschonende und Nachhaltige Systeme (RNS), Technische Universität Graz sowie von der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH in den vergangenen Jahren durchgeführt wurden, herangezogen. Des Weiteren wurden zu Vergleichszwecken Brennstoffanalysen aus der Datenbank der IEA Bioenergy Task 32, Biomass Combustion and Co-firing [4], verwendet. Bei der Ausarbeitungen der Empfehlungen für die Richtwerte von Konzentrationen relevanter Elemente im Brennstoff Altholz wurde außerdem berücksichtigt, dass für die Einhaltung der in der EU-Richtlinie 2002/76/EG [5] festgelegten Emissionsgrenzwerte zwar üblicherweise entsprechende Primär- und Sekundärmaßnahmen getroffen

werden, die Konzentrationen von emissionstechnisch relevanten Schlüsselementen (z.B.: S, Cl, Schwermetalle) im Brennstoff jedoch trotzdem ein gewisses Maß nicht überschreiten sollen, um den Einsatz von Sekundärmaßnahmen wirtschaftlich verträglich zu gestalten.

Diese Empfehlung von Richtwerten soll in erster Linie eine Basis für die Qualitätsbeurteilung von Altholz schaffen und Anlagenbetreibern die Möglichkeit geben, Altholzsortimente bezüglich von Problemen, die im Zuge der Verbrennung zu erwarten sind, einordnen zu können, um einen Anlagenbetrieb bei hoher Verfügbarkeit und geringen Emissionen zu erzielen.

Nach Festlegung der Empfehlungen für Richtwerte bezüglich des Aschegehalts, der Korngrößenverteilung sowie der Elementgehalte an S, Cl, K, Na, Si, Al, Fe, Zn, Pb, Cd und Hg wurden Altholzmischungen der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 (Definition siehe Abschnitt 3) näher untersucht. Dabei wurde das Altholz mit einem Siebturm in 5 Korngrößenfraktionen klassiert, wobei 3, 7, 13, 45 and 63 mm Siebe (quadratische Rundlochsiebböden) eingesetzt wurden. Die Rütteleinrichtung des Siebturmes wurde für jeweils 6 Minuten betrieben. Das Einsatzmaterial sowie die einzelnen Siebfractionen wurden folgenden Analysen unterzogen:

- Bestimmung des Aschegehaltes entsprechend SS 187171 (Veraschung bei 550°C).
- Brennstoffaufbereitung zur Elementanalyse: Trocknung der Proben bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz, Mahlung in einer mit Wolframcarbidplatten ausgestatteten Schneidmühle auf eine Korngröße < 1,0 mm, Herstellung von Laborproben durch mehrmalige Probenteilung (Viertelung) und Mahlung mittels einer Zentrifugalmühle (Rotor und Sieb aus Ti) auf Analysenfeinheit (<0,2 mm).
- Zur Bestimmung der Konzentrationen an aschebildenden Elementen (Si, Ca, Mg, K, Na, Fe, Al) und Schwermetallen (Zn, Pb, Cd, Hg) wurde ein mehrstufiger Säuredruckaufschluss mit HNO₃ (65%) / HF / H₃BO₃ mit nachfolgender Bestimmung der Elemente mittels Atomabsorptionsspektrometrie (FAAS) oder Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-MS) durchgeführt.
- Zur Bestimmung der Gehalte an S und Cl wurden die Proben in einer Sauerstoffbombe verbrannt (Pufferlösung: 10 ml NaOH, 0,05 molar). Die Messung erfolgte mittels HPLC (High Performance Liquid Chromatography).

Auf Basis dieser Untersuchungen konnten detaillierte Information über die Verteilung der verbrennungstechnisch kritischen Elemente über die einzelnen Korngrößenfraktionen erarbeitet werden. Diese Ergebnisse und die Vergleiche mit den definierten Richtwerten dienten als eine wichtige Ausgangsbasis für die Entwicklung und den Bau einer Altholzaufbereitungsanlage durch die Firma Komptech GmbH (Frohleiten, A). Um die Funktion der Altholzaufbereitungsanlage zu untersuchen, wurden Testläufe als Basis für die Erstellung von Massen- und Elementbilanzen an dieser Anlage durchgeführt. Bezüglich der

im Rahmen dieser Bilanztestläufe durchgeführten chemischen Analysen wurden die selben Methoden wie bei den Siebversuchen eingesetzt. Die Ergebnisse der Testläufe wurden hinsichtlich der durch die Altholzaufbereitung erzielten Qualitätsverbesserungen im Vergleich zu den empfohlenen Richtwerten und unter besonderer Berücksichtigung der Korngrößenfraktionierung ausgewertet.

Schlussendlich wurden Testläufe mit aufbereitetem und mit nicht aufbereitetem Altholz an einer Feuerungsanlage mit einer Brennstoffwärmeleistung von ca. 10 MW durchgeführt, um die Auswirkungen des Einsatzes von aufbereitetem Altholz auf den Anlagenbetrieb zu evaluieren.

3. Chemische Zusammensetzung von Altholz – Verunreinigungen, Fremdstoffe und deren Auswirkung auf den Verbrennungsprozess

Europäische Normen bezüglich der Klassifizierung von Altholz sind derzeit noch in Ausarbeitung (CEN TC 335, „Solid biofuels“, CEN TC 343 „Solid Recovered Fuels“). In Österreich und Deutschland bestehen allerdings schon einschlägige Klassifizierungen. In Österreich werden Althölzer beispielsweise nach den Vorgaben des Branchenkonzept Holz [3] in 7 Qualitätsklassen unterteilt:

Q1: Naturbelassene Rest- und Althölzer (Hackgut mit/ohne Rinde, Stückrestholz wie Kappholz, Schwarten, etc. mit/ohne Rinde, Holzspäne, Preßlinge und Holzstäube)

Q2: Rinde

Q3: Bindemittelhaltige und halogenfrei beschichtete Rest- und Althölzer (Span- und Faserplattenreste, unbeschichtet und beschichtet als Stückrestholz oder Späne)

Q4: Oberflächenbehandelte Rest- und Althölzer (Stückrestholz, Späne)

Q5: Teerölimprägnierte Rest- und Althölzer

Q6: Salzimprägnierte Rest- und Althölzer

Q7: Halogenhaltige Holz-Kunststoff-Verbund

In Deutschland unterscheidet man 5 Altholzqualitätsklassen (A1 bis A4 und PCB-Altholz) wobei A1 und A2 mit Q1 bis Q4 und A3 und A4 mit Q5 bis Q7 vergleichbar sind. In Österreich werden üblicherweise Altholzsortimente entsprechend der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 (A1 und A2) in Biomassefeuerungen eingesetzt, während Sortimente der Qualitätsklassen Q5 bis Q7 insbesondere in Müllverbrennungsanlagen zum Einsatz kommen.

Aus dieser umfassenden Liste der unterschiedlichen, in den einzelnen Qualitätsklassen enthaltenen Altholzsortimente, lässt sich unschwer ableiten, dass Altholz bezüglich seiner Zusammensetzung und speziell bezüglich des Auftretens von Fremdstoffen und Störstoffen

extrem inhomogen ist. In den folgenden Abschnitten werden die Auswirkungen einzelner Elemente bzw. Brennstoffparameter auf den Feuerungsbetrieb im Detail erläutert.

Aschengehalt

Der Aschengehalt des Brennstoffes beeinflusst in erster Linie die Wahl des geeigneten Feuerungssystems. Außerdem stehen Aschendepositionsbildung im Feuerraum und im Kessel, die Konzentrationen von Flugaschen im Rauchgas nach Kesselaustritt, sowie logistische Problemstellungen wie Aschenlagerung und Deponierung in engem Zusammenhang mit dem Aschengehalt [6]. Der Aschegehalt variiert bei Altholz normalerweise zwischen 1,5 und 10,0 Gew.% TS. Ein maximaler Aschegehalt von 4,0 Gew.% TS ist für qualitätssortiertes Altholz (Q1 bis Q4) zu empfehlen.

Chlor (Cl)

Der Cl-Gehalt im Altholz ist vor allem wegen der direkten Auswirkung auf die HCl-Emissionen sowie die Bildung von Dioxinen und Furanen von Bedeutung [7]. Alkalimetall- und Schwermetallchloride, die sich im Feuerraum in der Gasphase bilden und nachfolgend während der Abkühlung der Rauchgase im Kessel auskondensieren, sind des weiteren maßgeblich für die Bildung von Aerosolen (Feinststäuben) verantwortlich [8]. Ein Teil dieser Cl-haltigen Dämpfe kondensiert direkt auf den Oberflächen der Wärmetauscherrohre und erhöht somit das Risiko für Hochtemperatur-Chlorkorrosion im Konvektionsteil des Kessels (insbesondere im Überhitzerbereich) [9, 10].

Der Cl-Gehalt unterschiedlicher Altholzsortimente variiert laut vorliegenden Analyseergebnissen zwischen 300 und 4.000 mg/kg TS. Ein Cl-Gehalt von maximal 1.000 mg/kg TS ist empfehlenswert.

Schwefel (S)

S wird wie Cl teilweise in die Aschen eingebunden, zum Teil verbleibt er in der Gasphase und wird als SO_x emittiert. Erhöhte S-Konzentrationen im Brennstoff erhöhen somit die SO_x -Emissionen und folglich den erforderlichen Aufwand für die Rauchgasreinigung. Weiters ist S durch die Bildung von Alkalimetallsulfaten in die Bildung von Aerosolen involviert [8], und trägt somit zu den Feinststaubemissionen, aber auch in hohem Ausmaß zur Bildung von Aschendepositionen auf den Oberflächen von Wärmetauscherrohren bei. SO_2 kann unter Umständen auch zur Korrosion durch Sulfatierung von Chloriden in Depositionen führen [10]. Die S-Konzentrationen in Altholz liegen üblicherweise zwischen 300 und 2.000 mg/kg TS. Ein S-Gehalt von maximal 1.000 mg/kg TS ist als Richtwert zu empfehlen.

Eisen (Fe), Aluminium (Al) und Silizium (Si)

Diese Elemente werden zum überwiegenden Anteil durch Fremdkörper und Verunreinigungen in den Brennstoff eingetragen. Sand und Glas (Si), und Metallstücke wie Beschläge, Schrauben und Nägel (Fe, Al) sind die wichtigsten Quellen. Speziell größere Metallstücke können zu Beschädigungen der Brennstoffzufuhr und des Rostes führen. Aus der Bildung von Al-Schmelzen (metallisch) kann die Zerstörung von Rostelementen resultieren. Außerdem sind vor allem Si und Al in Kombination mit Alkalimetallen (K, Na) durch die Bildung von Aschenmischungen mit vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkten (Mischsilikate) in Depositions- und Schlackenbildungsprozesse eingebunden [11].

Die Konzentrationen dieser Elemente können in Abhängigkeit der Herkunft und Art des betrachteten Altholzsortimentes sowie der vorgeschalteten Brennstoffsartierung und Brennstoffaufbereitung extremen Schwankungen unterliegen (Fe: 250 – 3.000; Al: 400 – 5.000 und Si: 1.500 – 15.000 mg/kg TS). Richtwerte von <500 für Fe, <800 für Al und <4.000 mg/kg TS für Si werden für den Einsatz von qualitätssortiertem Altholz (Q1 bis Q4) in Feuerungen empfohlen.

Natrium (Na) und Kalium (K)

Beide Elemente sind relativ leicht flüchtig und daher Hauptbestandteile von Aerosolen und tragen somit sowohl zu den Feinstaubemissionen [8] als auch zu Problemen mit Depositionsbildung bei. In Verbindung mit Cl (NaCl oder KCl) können sie speziell in den Bereichen, wo hohe Rohrwandtemperaturen vorherrschen (Überhitzerbündel), auch zu Korrosionsproblemen führen [10].

Die Na-Konzentrationen in verschiedenen Altholzsortimenten liegen üblicherweise zwischen 200 und 3.000 mg/kg TS, die K-Konzentrationen zwischen 800 und 2.500 mg/kg TS. Konzentrationen im Bereich <500 mg/kg TS (Na) und <1.500 mg/kg TS (K) sollten angestrebt werden.

Schwermetalle (Zn, Pb, Cd, Hg)

Zn, Pb, Cd und Hg sind in Bezug auf Altholz die wichtigsten leicht flüchtigen Schwermetalle. Pb, Cd und Hg müssen speziell bezüglich der gasförmigen und festen Schwermetall-emissionen (speziell Feinstäube enthalten hohe Schwermetallkonzentrationen [8]) berücksichtigt werden. Zusätzlich senken Schwermetallsalze (vorwiegend Chloride) den Schmelzpunkt von Aschenmischungen, was sich vor allem hinsichtlich der Bildung harter und schwer abreinigbarer Depositionen im Kessel negativ auswirken kann [12, 13]. Des

Weiteren wirken sich hohe Schwermetallgehalte negativ auf die Verwertungsmöglichkeiten (Deponierbarkeit) der anfallenden Aschen aus.

Bezüglich der Schwermetallkonzentrationen spielen die Herkunft und die Art des jeweiligen Altholzsortiments eine vorrangige Rolle. Deshalb sind speziell in diesem Bereich auch extreme Schwankungsbreiten gegeben (Zn: 200 - 1.200; Pb: 50 - 400; Cd: 0,3 - 3; Hg: bis 0,4 mg/kg TS). Aus emissionstechnischen Gründen sollten bei qualitätssortiertem Altholz der Klassen Q1 bis Q4 die Konzentrationen dieser Element in einem Bereich <200 (Zn), <100 (Pb), <1,0 (Cd) und <0,3 mg/kg TS (Hg) liegen.

Korngrößenverteilung des Brennstoffes

Die Korngrößenverteilung des Brennstoffes sollte für Rostfeuerungen in einem Bereich zwischen ca. 7 und 100 mm liegen, wobei der Anteil an Partikelfractionen mit kleinen Durchmessern möglichst gering gehalten werden sollte. Brennstoffteile >100 mm sollten vermieden werden, da sie zu Blockagen der Brennstoffzufuhr und zu Schäden derselben führen können. Hohe Anteile an besonders kleinen Partikeln führen zu verstärktem Austrag von Brennstoff- und Holzkohlenpartikeln mit dem Rauchgas aus dem Rostbereich. Daraus wiederum resultieren heiße Strahlen im Rauchgas, eine Erhöhung des Kohlenstoffanteils in der Asche, eine erhöhte Flugaschenbeladung des Rauchgases und eine erhöhte Depositionsbildung im Kesselbereich. Wie später noch gezeigt wird, enthalten speziell die Brennstofffraktionen mit kleinen Partikelgrößen sehr hohe Aschegehalte und erhöhte Konzentrationen an Si, Al und Alkalimetallen, wodurch die Bildung von Aschenmischungen mit vergleichsweise niedrigen Schmelzpunkten bevorzugt wird. Daraus resultieren verstärkte Probleme mit Depositionsbildung und Verschlackungen.

Aus diesen Gründen ist eine Klassierung des Brennstoffes (Abtrennung der Feinfraktion) bzw. die Vermeidung der Bildung erhöhter Feinfraktionsanteile während der Brennstoffzerkleinerung zu empfehlen (z.B. Einsatz langsam laufender Zerkleinerungsaggregate).

Aschegehalt	4,0	Gew.% TS	K	1.500	mg/kg TS	Zn	200	mg/kg TS
Korngröße	7 - 100	mm	Na	500	mg/kg TS	Pb	100	mg/kg TS
S	1.000	mg/kg TS	Si	4.000	mg/kg TS	Cd	1,0	mg/kg TS
Cl	1.000	mg/kg TS	Al	800	mg/kg TS	Hg	0,3	mg/kg TS
			Fe	500	mg/kg TS			

Tabelle 1: Empfohlene Richtwerte verbrennungsrelevanter Parameter für Altholz der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 bzw. A1 und A2

Erläuterungen: TS ... Trockensubstanz

In Tabelle 1 sind die diskutierten empfohlenen Richtwerte bezüglich verbrennungstechnisch relevanter Parameter in Altholz der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 zusammengefasst.

4. Ergebnisse von nasschemischen Analysen unterschiedlicher Korngrößenklassen von Altholz

Um die Verteilung der in Abschnitt 3 diskutierten verbrennungstechnisch relevanten Elemente über verschiedene Brennstoffkorngrößenfraktionen zu ermitteln, wurden die in Abschnitt 2 erwähnten Siebtests durchgeführt. Als Einsatzmaterial diente Altholz der Klassen Q1 bis Q4, wie es zur Verbrennung in Feuerungsanlagen angeliefert wird. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bezüglich der Korngrößenverteilung und Verteilung der in Abschnitt 3 diskutierten Parameter auf die einzelnen untersuchten Fraktionen sind in Bild 1 und Bild 2 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass 20 Gew.% des untersuchten Altholzes eine Korngröße <3 mm und ca. 43 Gew.% eine Korngröße <7 mm aufwiesen.

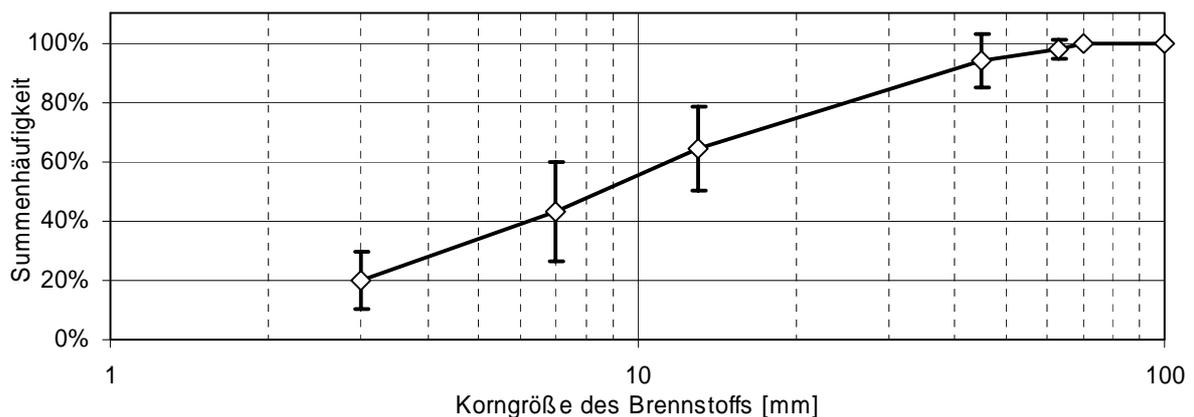


Bild 1: Korngrößenverteilung eines typischen Altholzsortiments

Erläuterungen: die einzelnen Punkte sind Mittelwerte aus 8 Versuchen, die Fehlerbalken stellen die Standardabweichungen dar

Außerdem fällt auf, dass speziell die Fraktionen mit kleinen Korngrößen deutlich erhöhte Aschengehalte enthalten. Das ist vor allem auf das starke Ansteigen der Si- und Ca-Konzentrationen (Ca ist nicht im Bild 2 dargestellt) mit abnehmender Korngröße zurückzuführen. Allgemein lässt sich feststellen, dass mit Ausnahme von Cl und Cd bei allen im Abschnitt 3 angeführten Elementen, eine deutliche Tendenz zu steigenden Konzentrationen mit geringeren Korngrößen der Brennstoffpartikel besteht. Für alle untersuchten Elemente mit Ausnahme von K, S und Hg werden die empfohlenen Richtwerte für den untersuchten Brennstoff überschritten, was vor allem auf die hohen Konzentrationen in den

Korngrößenklassen <3 mm und 3 – 7 mm zurückzuführen ist.

Es liegt somit der Schluss nahe, dass bei Ausschleusung des Unterkorns die Konzentrationen aller verbrennungsrelevanten Elemente mit Ausnahme von Cl und Cd auf ein Niveau unter den empfohlenen Richtwerten abgesenkt werden können. Bezüglich der genauen Festlegung des Siebschnittes zur Abtrennung des Unterkorns besteht allerdings erhebliches Optimierungspotential, da einerseits zwar verbrennungstechnisch problematische Elemente in einem hohen Ausmaß mit dem Unterkorn abgetrennt werden können, andererseits aber mit dieser Abtrennung auch ein erheblicher Verlust an Brennfraction verbunden ist.

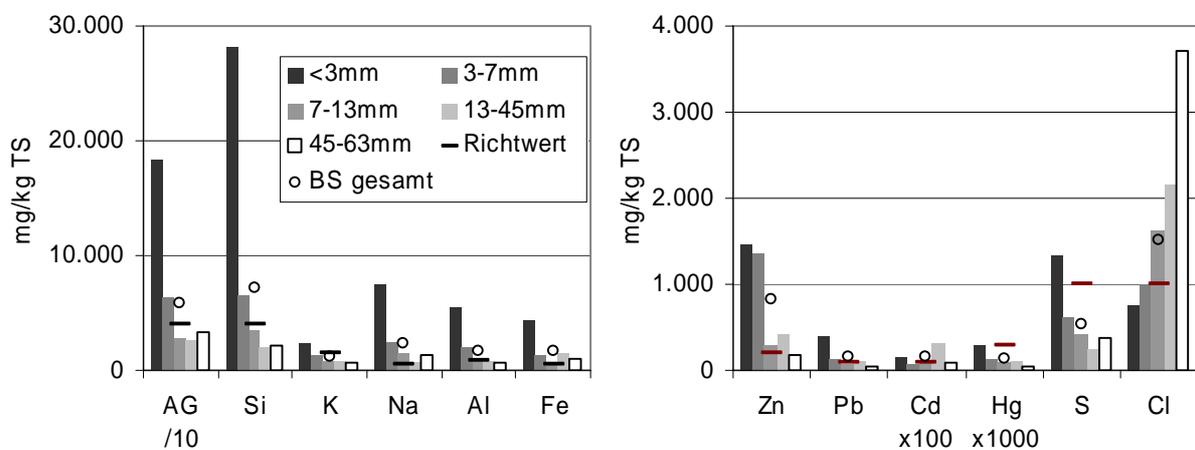


Bild 2: Verteilung der Elemente auf die einzelnen untersuchten Fraktionen im Vergleich zu den empfohlenen Richtwerten

Erläuterungen: AG ... Aschegehalt, TS ... Trockensubstanz; BS gesamt ... gesamter Brennstoff vor Siebung; Richtwert ... empfohlene Richtwerte entsprechend Abschnitt 3

Bezüglich Cd und Cl hat, wie die Ergebnisse der Analysen zeigen, die korngrößenselektive Fraktionierung des Brennstoffes keine positiven Auswirkungen und es kann somit lediglich eine genaue Eingangskontrolle der Altholzfraktionen zu einer Minderung der Konzentrationen beitragen.

Generell sollten bei der Zerkleinerung von Altholz im Zuge der Brennstoffaufbereitung Aggregate eingesetzt werden, die die Bildung eines hohen Feinanteiles weitgehend vermeiden. Aus den Analysenergebnissen kann geschlossen werden, dass eine Abtrennung und Ausschleusung des Unterkorns kombiniert mit einer effizienten Eisen- und einer Nichteisenmetallabscheidung die optimale Strategie für die Aufbereitung von Altholz für den Einsatz in Feuerungsanlagen darstellt.

5. Entwicklung und Bau einer Altholzaufbereitung

Auf den in Abschnitt 4 beschriebenen Testergebnissen aufbauend wurde von der Komptech GmbH eine speziell auf den Brennstoff Altholz abgestimmte Brennstoffaufbereitungsanlage konzipiert und gebaut. Die Aufbereitung erfolgt dabei in 4 Schritten, nämlich einem Zerkleinerungsschritt, gefolgt von einer Eisenabscheidung, der Abtrennung des Unterkorns (<10 mm) und der Abtrennung von Nichteisenmetallen. Die Zerkleinerungseinheit wurde als Langsamläufer (37 U/min) ausgeführt und mit gepanzerten Zähnen ausgestattet. Um eine maximale Brennstoffausbeute im angestrebten Korngrößenspektrum (10 bis 100 mm) zu erzielen, wurde die Zerkleinerungseinheit mit einem Korbsieb (100 mm) ausgerüstet. Mit dieser Konfiguration wurden die in Abschnitt 6 erläuterten Testläufe gefahren. In einer darauffolgend realisierten, optimierten Variante, wurde das Korbsieb durch ein Sternsieb, mit dem Trennkörner zwischen 150 und 250 mm eingestellt werden können, ersetzt. Die Brennstoffaufbereitungsanlage ist im Bild 3 dargestellt.



Bild 3: Altholzaufbereitungsanlage der Firma Komptech GmbH

Erläuterungen: 1 ... Alholzeintrag; 2 ... Zerkleinerungseinheit mit Korbsieb (100 mm); 3 ... Eisenabscheider; 4 ... Sieb; 5 ... Unterkorn; 6 ... Nichteisenmetallabscheider; 7 ... aufbereitetes Altholz

6. Testläufe an der Altholzaufbereitungsanlage

An der beschriebenen und in Bild 3 dargestellten Altholzaufbereitungsanlage wurden Testläufe mit qualitätssortiertem Altholz der Klassen Q1 bis Q4 (A1 und A2) durchgeführt. Alle in die Anlage ein- und austretenden Ströme wurden dabei ausgewogen. Vom Einsatzmaterial und vom aufbereiteten Altholz wurden in regelmäßigen Abständen Proben gezogen, zu Mischproben vereint, und anschließend nasschemisch analysiert. Vom angefallenen Unterkorn wurden ebenfalls in regelmäßigen Abständen Proben gezogen und zu Mischproben vereint, die dann mittels Siebung in Klassen <3 mm, 3 – 7 mm und >7 mm unterteilt und ebenfalls nasschemisch analysiert wurden.

Der Altholzdurchsatz lag während der Testläufe bei 8 bis 10 t/h. Die Massenbilanz über die Altholzaufbereitungsanlage zeigte, dass 76,0 Gew.% des Einsatzmaterials am Ende des Prozesses als aufbereitetes Altholz gewonnen werden konnten. 3,4 Gew.% des Einsatzmaterials wurden im Metallabscheider abgeschieden und 0,4 Gew.% des Einsatzmaterials fielen als Nicht-Eisen Metalle an. 20,2 Gew.% des Einsatzmaterial wurden als Unterkorn (Brennstoffpartikel <10 mm) ausgeschleust.

Im Bild 4 sind die Ergebnisse der nasschemischen Analysen des aufbereiteten Altholzes dargestellt und mit den in Abschnitt 3 erläuterten empfohlenen Richtwerten verglichen. Die Daten in Bild 4 zeigen deutlich, dass für alle Elemente mit Ausnahme von Chlor die empfohlenen Richtwerte eingehalten werden konnten und durch die Aufbereitung somit eine deutliche Qualitätsverbesserung erreicht werden kann.

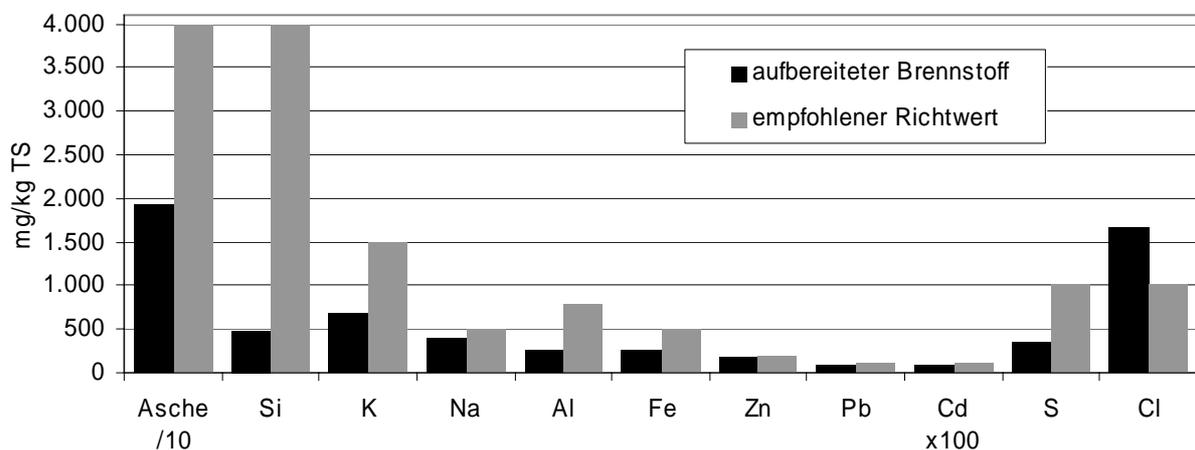


Bild 4: Ergebnisse der nasschemischen Analysen des aufbereiteten Altholzes im Vergleich zu den empfohlenen Richtwerten für verbrennungstechnisch relevante Elemente

Erläuterungen: AG ... Aschegehalt, TS ... Trockensubstanz; Richtwert ... empfohlene Richtwerte für qualitätssortiertes und aufbereitetes Altholz entsprechend Abschnitt 3

Die Ergebnisse der Testläufe dokumentieren, dass durch den Einsatz von Eisen- und Nichteisenmetallabscheidern und insbesondere auf Grund der Ausschleusung des Unterkorns eine deutliche Verbesserung der Qualität des eingesetzten Altholzes erzielt werden konnte. Es muss allerdings angemerkt werden, dass der Verlust an Brennfraction durch das Ausschleusen von ca. 20 Gew.% Unterkorn relativ hoch ist. Wie bereits im Abschnitt 4 erwähnt wurde, besteht bezüglich der genauen Festlegung des Siebschnittes zur Abscheidung des Unterkorns erhebliches Optimierungspotential. Siebanalysen des Unterkorns haben gezeigt, dass, wenn 7 mm anstatt von 10 mm als Trennkorn für das Sieb gewählt werden, der Anteil an Brennfraction von 80 auf 85 Gew.% des Einsatzmaterials an-

steigt. Aus den Ergebnissen von nasschemischen Analysen der Korngrößenfraktion >7 mm des Unterkorns konnte abgeleitet werden, dass die empfohlenen Richtwerte für verbrennungstechnisch relevante Elemente auch in diesem Fall nicht überschritten werden.

7. Testläufe mit aufbereitetem Altholz an einer Altholzfeuerung

Um die Auswirkungen der Qualitätsverbesserung des Altholzes durch die Aufbereitung auf den Betrieb von Feuerungsanlagen entsprechend untersuchen zu können, wurden Testläufe mit nicht aufbereitetem und mit aufbereitetem Altholz der Qualitätsklassen Q1 bis Q4 an einer Altholzfeuerung mit einer Brennstoffwärmeleistung von rund 10 MW (bezogen auf H_{U}) durchgeführt.

Während dieser jeweils 3-tägigen Testläufe wurden Proben des eingesetzten Brennstoffes sowie aller anfallenden Aschenfraktionen (Rostasche, Zyklonflugasche, Gewebefilterasche) gezogen und nachfolgend nasschemisch analysiert. Des Weiteren wurde die Rauchgaszusammensetzung bezüglich O_2 , CO, org. C, und NO_x kontinuierlich gemessen und diskontinuierlich der HCl- und SO_x -Gehalt im Rauchgas nach Kesselaustritt und nach dem Gewebefilter bestimmt. Außerdem erfolgten Messungen der Gesamtstaub- und der Aerosolkonzentrationen (Partikel <1 μm) im Rauchgas nach Kesselaustritt und nach Austritt aus dem Gewebefilter. Auf Basis der so ermittelten Daten und der Betriebsdaten der Feuerungsanlage wurden Massen- und Elementbilanzen über die Feuerung berechnet. Des Weiteren wurden mit einer luftgekühlten Depositionssonde Messungen der Depositionsaufbauten durchgeführt und die so gezogenen Depositionsproben mittels Elektronenmikroskopie bezüglich Struktur und Zusammensetzung untersucht.

Die Ergebnisse der Testläufe zeigen deutliche Verbesserungen im Anlagenbetrieb, wenn mit qualitätssortiertem und aufbereitetem Altholz gearbeitet wird. Der Eintrag an aschebildenden Elementen in die Feuerung konnte auf Grund der Ausschleusung des Unterkorns deutlich reduziert werden, wodurch sich eine deutliche Verminderung des Aschenanfalls (Halbierung) ergab. Dies ist für den Anlagenbetreiber auf Grund der mit sinkendem Aschenanfall sinkenden Kosten für Aschenlagerung, Manipulation und Deponierung relevant.

Auf Grund der Ausschleusung der kleinen Brennstoffpartikel konnte außerdem die mittlere Gesamtstaubkonzentration im Rauchgas am Kesselaustritt auf durchschnittlich 60% der mittleren Gesamtstaubkonzentration bei Einsatz von unaufbereitetem Altholz reduziert werden (siehe Bild 5). Folglich konnten auch Probleme mit Aschendepositionen im Feuerraum und im Kessel deutlich gemindert werden. Messungen mit einer luftgekühlten Depositionssonde zeigten, dass der Depositionsaufbau auf den Probenahmerringen dieser Sonde auf ca. 30% der Werte, die während des Betriebes mit unaufbereitetem Altholz

gemessen wurden, reduziert werden konnte (siehe Bild 5). Elektronenmikroskopische (SEM/EDX) Analysen der mit dieser Depositionssonde gezogenen Proben zeigten deutlich, dass speziell die Konzentrationen der Elemente, die in Bezug auf die Bildung von Aschegemischen mit niedrigen Schmelzpunkten von Relevanz sind, wie zum Beispiel Si, Al und Na, bei Einsatz von aufbereitetem Altholz in deutlich geringeren Konzentrationen auftraten.

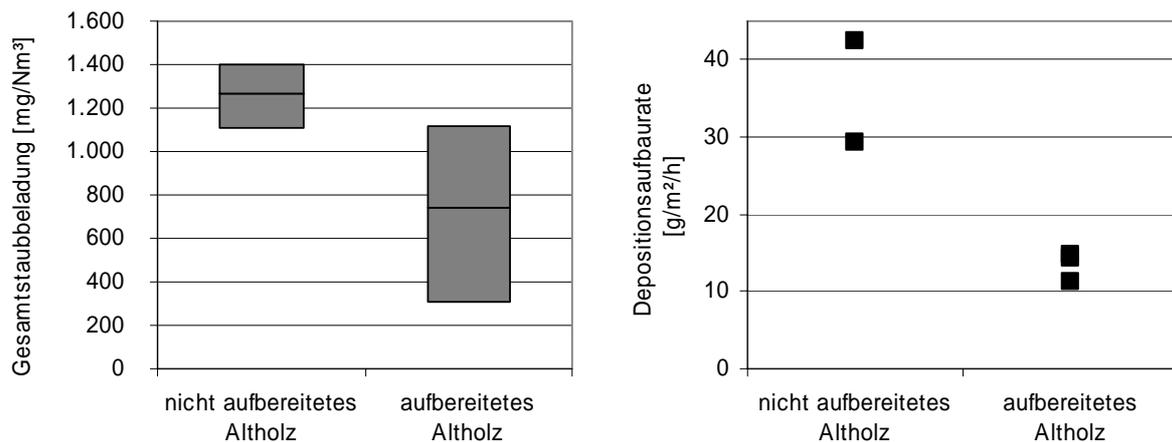


Bild 5: Vergleich der Gesamtstaubkonzentrationen am Kesselaustritt und der Depositionsaufbauraten bei Anlagenbetrieb mit nicht aufbereitetem und mit qualitätssortiertem, aufbereitetem Altholz

Erläuterungen: links: Gesamtstaubkonzentrationen am Kesselaustritt bezogen auf trockenes Rauchgas und 13 Vol.% O₂; rechts: Depositionsaufbauraten, die mit einer luftgekühlten Depositionssonde bestimmt wurden; Oberflächentemperatur des Probenahmeringes: 500°C

Ein darauffolgend durchgeführter Langzeittest mit aufbereitetem Altholz zeigte, dass das Betriebsintervall zwischen 2 Kesselreinigungen durch den Einsatz der Brennstoffaufbereitung von ca. 2 auf ca. 3 Monate verlängert werden konnte, obwohl in der betrachteten Anlage keine automatische Kesselabreinigung installiert war.

8. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch den Einsatz einer entsprechend auf den Brennstoff Altholz abgestimmten Brennstoffaufbereitung, die Brennstoffqualität signifikant verbessert werden kann. Neben der Abtrennung von Eisen- und Nichteisenmetallen ist vor allem die Abtrennung und Ausschleusung von Partikelfractionen mit Korngrößen <7 mm von Bedeutung, da fast alle Elemente, die während der Verbrennung zu prozesstechnischen oder emissionstechnischen Problemen führen können (Si, Fe, Al, K, Na, S, Zn, Pb), in dieser

Brennstofffraktion deutlich erhöhte Konzentrationen aufweisen. Lediglich die Cl-Konzentrationen konnten mit der entwickelten und getesteten Brennstoffaufbereitung nicht beeinflusst werden. Bezüglich dieses besonders kritischen Parameters ist vor allem eine genaue Eingangskontrolle und manuelle Vorsortierung der Brennstofffraktionen (z.B.: Abtrennung von Kunststoffteilen) vor der Aufbereitung, also eine Kombination von Qualitätssortierung und nachfolgender Aufbereitung, notwendig.

Die Vorteile der Brennstoffaufbereitung liegen in einer deutlichen Reduktion des Aschegehaltes des Brennstoffes und damit verbunden des Ascheanfalls während der Verbrennung (reduzierte Logistik- und Deponierungskosten), sowie in der deutlichen Reduktion von Aschedepositionen im Feuerraum und Kessel. Daraus resultiert ein reduzierter Aufwand hinsichtlich erforderlicher manueller Anlagenreinigung und somit eine erhöhte Anlagenverfügbarkeit und dadurch reduzierte Betriebskosten und höhere Einnahmen aus der Energieerzeugung.

Ein Nachteil der Brennstoffaufbereitung muss darin gesehen werden, dass ca. 15 Gew.% des Brennstoffes als Unterkorn anfallen und ausgeschleust werden. Speziell für diese Feinfraktionen muss eine sinnvolle Verwertungsschiene wie zum Beispiel der Einsatz in Müllverbrennungsanlagen nach Verpressung (Pelletierung oder Bricketierung) gefunden werden.

Literatur

- [1] Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt
- [2] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (ed.): Branchenkonzept Holz, ISBN: 3-9012271-16-3, 1994
- [3] RAL Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.: Gütesicherung RAL-GZ 428: "Recyclingprodukte aus Gebrauchtholz". Beuth-Verlag, Berlin, Deutschland, 1997
- [4] IEA Bioenergy, Task 32, Biomass combustion and co-firing, <http://www.ieabcc.nl/database/biomass.php>
- [5] Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen
- [6] Obernberger I.: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente. Schriftenreihe "Thermische

- Biomassenutzung", Band 1. Graz, Österreich: dbv-Verlag der Technischen Universität Graz; 1997. ISBN 3-7041-0241-5.
- [7] Schatowitz B., Brandt G., Gafner F., Schlumpf E., Buhler R., Hasler P., Nussbaumer T.: Dioxin emissions from wood combustion. *Chemosphere* 1994; Vol. 29, p. 2005-13.
- [8] Brunner T., Joeller M., Obernberger I.: Aerosol formation in fixed-bed biomass furnaces - results from measurements and modelling. To be published in: Proc. of the Internat. Conf. Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion, Victoria, Canada, 2004
- [9] Salmenoja K, Mäkelä K.: Chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with biomass. In: INFUB, editor. Proc. of the 5th European Conference on industrial furnaces and boilers, April 2000. Porto, Portugal; ISBN-972-8034-04-0.
- [10] Obernberger I., Brunner T.: Depositionen und Korrosion in Biomassefeuerungen. In: Tagungsband zum VDI-Seminar 430504 „Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen“, Göttingen, Deutschland, VDI-Wissensforum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf, Deutschland, 2004
- [11] Miles T.R.: Alkali Deposits Found in Biomass Power Plants. Research report NREI/TP-443-8142 SAND96-8225, Vol. I and II. National Renewable Energy Laboratory, Oakridge, USA; 1996.
- [12] Spiegel M., 2004: Korrosionsvorgänge in der eutektischen Salzschnmelze. In: Tagungsband zum VDI-Seminar 430504 „Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen“, Göttingen, VDI-Wissensforum GmbH (Hrsg.), Düsseldorf, Deutschland, 2004
- [13] Backmann R., Skrifvars B.J., Yrjas P.: The influence of aerosol particles on the melting behaviour of ash deposits in biomass fired boilers. In: Proceedings of the international workshop "Aerosols in Biomass Combustion", 18th March 2005, Schriftenreihe "Thermische Biomassenutzung", Band 6, Graz, Österreich, 2005, ISBN 3-9501980-2-4