

Rückstände aus der thermischen Behandlung von Altholz

– Herausforderungen und Lösungsansätze –

Oliver Schiffmann, Boris Breitenstein und Daniel Goldmann

1.	Einleitung.....	261
1.1.	Gründe für die thermische Altholzbehandlung.....	262
1.2.	Thermische Behandlung von Altholz	263
1.3.	Rückstände und Einfluss der Brennstoffe	264
1.4.	Entaschung und Aschefraktionen.....	265
1.5.	Bisherige Entsorgung der Rückstände.....	266
1.6.	Herausforderungen bei der Entsorgung	267
2.	Ansätze zur Verbesserung der Rückstandsqualität	268
2.1.	Mechanische Aufbereitung.....	268
2.2.	Thermische Konditionierung der Biomasseaschen.....	268
3.	Zusammenfassung und Ausblick.....	269
4.	Quellen	270

1. Einleitung

Im Rahmen der thermischen Behandlung von Althölzern zur Energieerzeugung und gleichzeitigen Entsorgung fallen Rückstände an: die Biomasseaschen. Diese stellen die Betreiber von Anlagen zur thermischen Verwertung von Altholz vor Probleme, da teilweise Annahmen getroffen wurden, die sich im Nachhinein als nicht haltbar herausstellten und bestimmte Prozesse nicht einzuschätzen waren.

Besonders komplex ist das Rückstandsentsorgungsthema, da der untertägige Versatz in der Regel der einzige Entsorgungsweg ist. Aufgrund der hohen Kosten können viele Kraftwerke nur an der Grenze der Rentabilität betrieben werden. Folglich müssen Anstrengungen unternommen werden, um die Entsorgungssituation zu verbessern und die Kosten zu senken. Im Weiteren wird auf die Problematik von der Entstehung der Rückstände aus den Brennstoffen bis zur Entsorgung eingegangen.

1.1. Gründe für die thermische Altholzbehandlung

Altholz entsteht, wenn Holz aus dem Nutzungsprozess ausscheidet und entsorgt werden muss. Noch in den neunziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurden Althölzer auf Deponien oder durch Verbringung ins Ausland entsorgt [3, 7, 10].

Durch das Ablagerungsverbot für Althölzer in der Ablagerungsverordnung und das im Jahr 2000 in Kraft getretene Gesetz zum Vorrang erneuerbarer Energien, wurden Anlagen zur Erzeugung von Energie aus (Alt-)Holz projektiert und in Betrieb genommen [3, 7, 10].

Einerseits muss eine fach- und sachgerechte Entsorgung von Altholz gewährleistet sein, zum anderen soll das Altholz zur Erzeugung von erneuerbarer Energie genutzt werden.

Derzeit werden 23,4 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland aus erneuerbaren Quellen erzeugt, 6,8 Prozent aus Biomasse. Damit ist die Energieerzeugung aus Biomasse nach der Windenergie, die bedeutendste Quelle regenerativ erzeugter Energie (Bild 1) [17, 18].

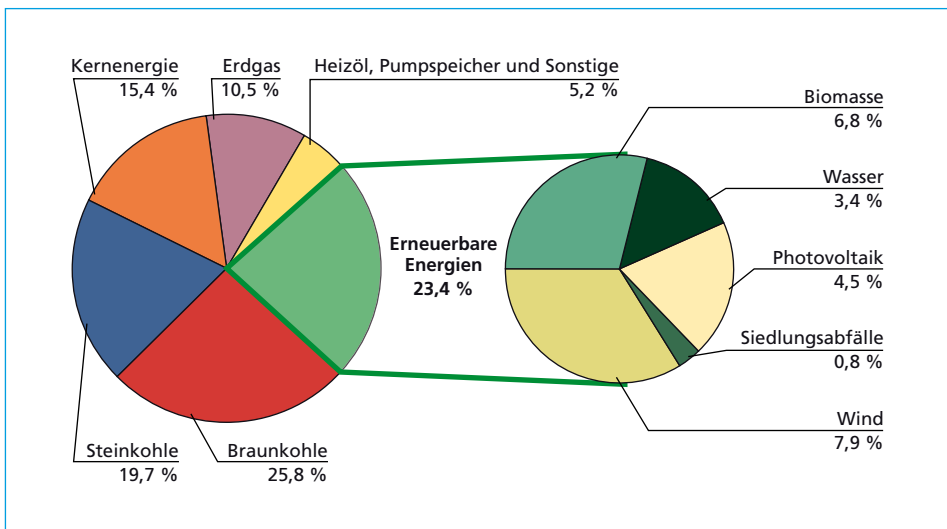


Bild 1: Energiemix Deutschland 2013

Quelle: Mocker, M. et al.: Verbrennungsrückstände – Herkunft und neue Nutzungsstrategien. In: <http://www.ask-eu.de/Artikel/17608/Verbrennungsrueckstaende--Herkunft-und-neue-Nutzungsstrategien.htm> 2010. (abgerufen am 16.04.2014)

Die thermische Nutzung fester Biomasse wird durch die Abkehr von der Atomenergie einen steigenden Anteil an der Energieerzeugung einnehmen müssen. Im Unterschied zu den meisten Erzeugungsarten von erneuerbaren Energien muss bei der thermischen Verwertung von Altholz auch eine Entsorgungsleistung erbracht werden. Diese Entsorgungsleistung geht dabei mit der Entstehung von Verbrennungsrückständen einher, daraus folgt, dass diese wiederum einer Entsorgung zugeführt werden müssen.

1.2. Thermische Behandlung von Altholz

Das erste Biomasseheizkraftwerk der Steag New Energies ging 2002 in Großaitingen ans Netz. Derzeit werden bundesweit elf Biomasseheizkraftwerke auf Basis von Holzbrennstoffen (Bild 2) betrieben.



Bild 2: Biomasseheizkraftwerke der Steag New Energies GmbH in Deutschland

Quelle: http://www.steag-newenergies.com/fileadmin/user_upload/steag-newenergies.com/unternehmen/standorte/Standortkarte-Biomasseanlagen.pdf (24.03.2014), ergänzt durch eigene Darstellung.

Zwei dieser Anlagen werden ausschließlich mit naturbelassenen NawaRo- Hölzern betrieben (Werl und Warndt), neun Kraftwerke mit Altholz unterschiedlicher Kategorien nach der Altholzverordnung.

In den in Bild 2 verzeichneten Kraftwerken werden durch die thermische Verwertung von Altholz pro Jahr 362,2 GWh thermische und 437,0 GWh elektrische Energie erzeugt. Die Leistung der einzelnen Anlagen variiert zwischen etwa drei MW_{th} und sechzig MW_{th}. Zur Erzeugung werden pro Jahr etwa 500.000 Tonnen Altholz eingesetzt. Die Kraftwerke in Buchen, Dresden und Lünen setzen Altholz der Kategorien AI bis A IV nach der Altholzverordnung ein, die übrigen Kraftwerke Altholz bis zur Klasse A III. Dieser Artikel beschränkt sich weitgehend auf die Situation an den Standorten Dresden und Buchen, da diese hinsichtlich ihres technischen Aufbaus ähnlich sind, aber in Bezug auf den Brennstoffeinsatz, sowie der entstehenden Verbrennungsrückstände Unterschiede aufweisen.

Der Hauptunterschied der beiden Anlagen ist die Art des Rückstandsaustrags. In Buchen werden die Zyklonaschen mit den Filteraschen in ein Reststoffsilo trocken ausgetragen und entsorgt. Im Unterschied dazu werden in Dresden, wie in den übrigen Anlagen, die Rost- und Kesselaschen mit den Zyklonaschen in den Nassentascher ausgetragen.

1.3. Rückstände und Einfluss der Brennstoffe

Bei der thermischen Verwertung von biogenen Reststoffen entstehen in den deutschen Anlagen der Steag etwa 50.000 Tonnen Rückstände. Diese setzen sich aus Rost- und

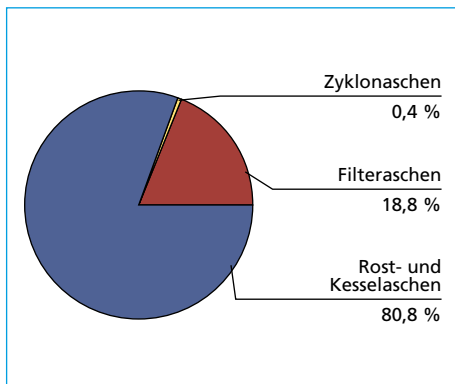


Bild 3: Massenanteile der Verbrennungsrückstände

Kesselaschen, Zyklonaschen und Filterstaub zusammen. Wie Bild 3 zeigt, handelt es sich bei etwa achtzig Prozent der Verbrennungsrückstände um Rost- und Kesselaschen, deren absoluter Anteil etwa 40.000 Tonnen beträgt.

Auffällig ist, dass zwar die Massenverteilungen der Rückstände in allen Anlagen in etwa gleich sind, aber die Gesamtmengen in den einzelnen Anlagen schwanken. Die Mengen an Aschen variieren zwischen etwa sieben und fünfzehn Prozent des Brennstoffinputs und können damit starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen haben.

Im Gegensatz zu der ersten Annahme, dass diese Unterschiede auf die eingesetzten Altholzkategorien zurückzuführen sind, konnte durch Brennstoffanalysen (Bild 4) der Kraftwerke Buchen (Baden - Württemberg) und Dresden (Sachsen), eine Abhängigkeit von der Region aufgezeigt werden.

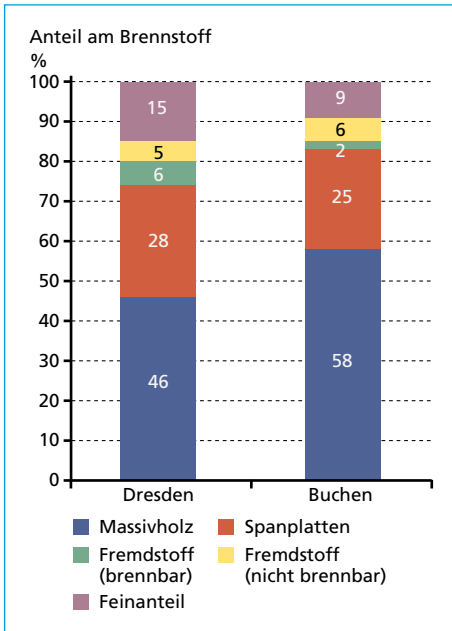


Bild 4: Vergleich der Brennstoffzusammensetzung in Dresden und Buchen

Der Massivholzanteil am in Dresden (Sachsen) eingesetzten Brennstoff ist deutlich geringer als der in Buchen und der nicht sortierbare Feinanteil deutlich höher, weil es erhebliche Unterschiede bezüglich der Herkunft der Brennstofflieferungen gibt.

Ein großer Teil des Brennstoffs in Dresden stammt aus dem Bau- und Abbruchbereich und weist einen erhöhten Anteil mineralischer Verunreinigung auf. Das Biomasseheizkraftwerk in Buchen hat einen höheren Anteil an Hölzern aus Sperrmüll. Dieses Sortiment ist durch einen hohen Massivholzanteil gekennzeichnet. Zudem wird in der Anlage in Dresden nur fertig aufbereiteter Brennstoff eingesetzt. Die Brennstoffe für den Einsatz in Buchen werden vor Ort aufbereitet. Durch diese Aufbereitung kann die Qualität der Brennstoffe beeinflusst werden. Die Hölzer werden mit einem mobilen Vorzerkleinerer aufbereitet, der die Brennstoffe auf eine Kantenlänge zwischen zehn bis dreißig Zentimeter bringt.

Danach werden die Brennstoffe in beiden Anlagen mit einem Schubboden und einer Vibratorrinne zum Dampferzeuger gefördert. Auf dem Transportweg werden mit einem Überbandmagnet grobe eisenhaltige Störstoffe abgeschieden und mit einem Scheibensieb Überlängen aussortiert.

1.4. Entaschung und Aschefractionen

Für die Zusammensetzung der Aschen sind außer der Brennstoffzusammensetzung der Ort des Anfalls innerhalb des Feuerungssystems und die Abscheidebedingungen Einflussfaktoren, z.B. auf die Korngröße und die Schwermetallgehalte der Rückstände. In größeren Biomasseheizkraftwerken werden je nach Anfallort bis zu drei Aschefractionen unterschieden.

Rost- und Kesselaschen, auch als Grobaschen bezeichnet, entstehen im Verbrennungsbereich der Anlage. Sie werden aus der Brennkammer ausgetragen. Die Aschen fallen am Ende der Rostbahn über einen Kipprost in den Nassentascher. Durch die Nassentaschung wird Wasser mit ausgetragen und einer Entsorgung zugeführt.

Der Wasseranteil kann zwischen zwölf und zwanzig Prozent der Gesamtmasse betragen und soll möglichst gering gehalten werden. Es kann zum Verklumpen mineralischer Bestandteile und dem Verlust der Abbindefähigkeit durch zu großen Eintrag von Wasser kommen [9].

Es entstehen auch Mittelaschen, die als Zyklonaschen bezeichnet werden, die im Bereich der Abgasführung in der Fliehkraftabscheidung anfallen. Sie entstehen innerhalb der Dampferzeuger, in denen die Abgase umgelenkt werden oder im Wärmeüberträgerbereich. Die Zyklonaschen werden meistens zu den Rost- und Kesselaschen hinzugeführt und auch in den Nassentascher eingegeben.

Diese Zusammenfassung der zwei Hauptaschenströme hat mehrere Gründe. Aufgrund der oft geringen Größe der Anlagen wurde schon in der Planungsphase darauf verzichtet die Aschen getrennt auszutragen. Da die Investitionen und Betriebskosten für die getrennte Fassung sehr hoch sind. Zudem wurde davon ausgegangen, dass die entstehenden Rückständen einer technisch hochwertigen Nutzung außerhalb einer Deponie zugeführt werden können.

Auch entstehen Feinstflugaschen oder Filterstäube, die mit Elektro- oder Gewebefilter abgeschieden werden, getrennt gefasst und entsorgt werden; dies wird hier nicht behandelt.

1.5. Bisherige Entsorgung der Rückstände

Da die Rückstände, insbesondere die Rost- und Kesselaschen sowie die Zyklonaschen, bisher nicht genutzt werden können, müssen sie geordnet entsorgt werden; dies geschieht hauptsächlich im Untertageversatz, weil die Eluatgrenzwerte für die obertägige Entsorgung, insbesondere wegen des Bleigehalts, in der Regel überschritten werden. Zudem führt ein getrennter Austrag von Kessel- und Zyklonaschen nicht dazu, dass die Verbringung auf eine Deponie der Klasse II zulässig ist.

Daher bleibt der untertägige Versatz als der einzige Entsorgungsweg für Großteile der Rückstände aus den Biomassekraftwerken. Die Entsorgungskosten betragen zwischen 70 EUR/t und 150 EUR/t.

Zwar ist der Versatz eine langfristig sichere Alternative, da ausreichend Hohlraum zur Verfügung steht [8]; problematisch ist jedoch, dass durch diese Entsorgung weite Transportwege und hohe Kosten entstehen.

Zudem wird die Entsorgung in den Versatzbergwerken durch begrenzte Einlieferungszeiten und -kapazitäten erschwert.

Diese Einschränkungen können Probleme verursachen, da die Lagerkapazitäten an den Kraftwerken begrenzt sind und die Aschen kontinuierlich abgegeben werden müssen.

Des Weiteren werden, die in den Aschen enthaltenen Wertstoffe, insbesondere Kupfer und Eisen, mitversetzt und sind dadurch nicht mehr für eine Rückgewinnung zugänglich.

Für alle Anlagen darum ein Überdenken der derzeitigen Entsorgungspraxis nötig geworden.

1.6. Herausforderungen bei der Entsorgung

Die chemische Zusammensetzung der Aschen aus der Biomasseverbrennung schwankt stark. Etwa zehn bis dreißig Prozent der Aschen bestehen aus wasserlöslichen Bestandteilen, vornehmlich Hydroxiden und Carbonaten. Daher entstehen bei Wasserkontakt hohe pH-Werte. Typischerweise liegen trotz vergleichsweise geringer Schwermetallfrachten der Biomasseaschen hohe Schwermetalleluatwerte vor. Diese überschreiten die für die Ablagerung auf Deponien der Klasse II geltenden Grenzwerte. Blei stellt in den meisten Fällen den limitierenden Faktor für weitere Verwertungen dar [4]. Dies wird durch die für Biomasseasche typische geringe Korngröße mit der daraus resultierenden großen Oberfläche verstärkt. Zudem haften an den größeren Körnern feinste Partikel an, so dass auch im Grobkorn hohe Schwermetalleluate gemessen werden.

Zwar wird in Einzelfällen nach längerer Ablagerung und der damit verbundenen Alterung und Carbonatisierung der Aschen die obertägige Verwertung als Deponieersatzbaustoff für eine Deponie der Klasse II möglich, doch stellt dies aus verschiedenen Gründen keine gangbare Alternative dar.

Die Rückstände können für die Alterung, z.B. auf den Kraftwerksgeländen, derzeit nicht gelagert werden, da die Zwischenlagerkapazitäten begrenzt sind und betriebliche Probleme für den Kraftwerksbetrieb entstehen würden. Des Weiteren werden für die großflächige Lagerung der Rückstände, mit der eine geeignete Belüftung hergestellt werden könnte, Genehmigungen der Behörden benötigt, die bisher nicht erreicht werden konnten. Zudem kann eine Staubentwicklung durch Verwehungen nicht ausgeschlossen werden.

Die Lagerung in Haufwerken, auch über längere Zeiträume, hat sich bisher nicht als zielführend erwiesen. Es konnte zwar eine gewisse Verbesserung der Eluatwerte für manche Schwermetalle nachgewiesen werden, die Bleiproblematik konnte aber durch eine solche Haufwerkklagerung nicht gelöst werden, da die Belüftungsbedingungen nicht ausreichend sind. Dies lässt sich mit einem zu geringen Porenvolumen begründen, das aus dem hohen Feinkornanteil resultiert.

Zu den genannten Gründen für die hohen Entsorgungskosten wirken sich weitere Faktoren auf die Weitergabe bzw. Entsorgung erschwerend aus.

Die betriebenen Kraftwerke verfügen im Vergleich zu konventionellen Anlagen über geringe Kapazitäten; daher entstehen keine großen Mengen an Rückständen. Eine Aufbereitung vor Ort wäre mit hohen Investitionen verbunden, die zu den behandelten Mengen unverhältnismäßig wären. Wegen der dezentralen Lage der Kraftwerke wäre auch die Beschickung einer zentralen Behandlungsanlage mit allen Rückständen mit hohem logistischen Aufwand und zu hohen Transportkosten verbunden.

Hier werden Möglichkeiten zur Verbesserung der Eigenschaften der Eluatstabilität der Biomasseschlacken dargestellt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der Technischen Universität Clausthal und weiteren Forschungspartnern wurden Lösungsansätze erarbeitet, die derzeit entwickelt und erprobt werden.

2. Ansätze zur Verbesserung der Rückstandsqualität

Es wurden unterschiedliche Wege zur Verbesserung der Rückstandsqualität beschrieben. Die Hauptziele der Behandlung sind die Reduzierung der Rückstandsmengen sowie die Verbesserung der Eluatstabilität, damit soll eine Verwertung außerhalb des untertägigen Versatzes erreicht werden.

2.1. Mechanische Aufbereitung

Eingriffe in den Feuerungsraum oder die Abgasanlagen von Kraftwerken erfordern in der Regel eine behördliche Genehmigung. Daher wurden zunächst Versuche zur mechanischen Behandlung der Rückstände durchgeführt. Mit dem Einsatz feinjustierter Aufbereitungstechnologie konnte die Schlackenqualität deutlich verbessert werden. Dazu wurden Rückstände aus den Kraftwerken Buchen, Dresden, Ulm I und Ulm II behandelt.

Durch die adaptive Anwendung des am Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik der TU-Clausthal entwickelten RENE-Verfahrens, konnte mit der Rückgewinnung verschiedener Metallkonzentrate die zu entsorgende Rückstandsmenge um fünf Prozent reduziert werden [1]. Dabei wurden in die generierten Metallkonzentrate große Anteile der Wertstoffe überführt. Zwar tragen Biomasseaschen, z.B. im Vergleich zu Abfallverbrennungsschlacken eher geringe Mengen an Wertmetallen in sich, diese konnten jedoch effizient zurückgewonnen werden. Im Zuge der Aufbereitungsuntersuchungen konnten 85 Prozent des enthaltenen Kupfers in vermarktungsfähiges Konzentrat ausgetragen werden, das eine Kupferkonzentration von etwa 25 Prozent aufweist. Ebenfalls konnte aus den Biomasseaschen ein Eisenkonzentrat gewonnen werden, das mit einer Eisenkonzentration > 90 Prozent vermarktungsfähig ist. Durch diese intensive mechanische Behandlung der Rückstände konnten zwar konstant die Massen reduziert werden, die Eluatstabilität jedoch nur in Einzelfällen. Hauptproblem der Untersuchungen ist, dass unterschiedliche Chargen aus einzelnen Anlagen völlig gegenläufige Ergebnisse zeigten. Die hohe Brennstoffabhängigkeit erfordert eine der mechanischen Aufbereitung vorgeschaltete Behandlung.

Daher wurden Schritte unternommen, die die Rückstände noch im Kraftwerk selber stabilisieren sollen. Hierbei soll eine beschleunigte Carbonatisierung der Rückstände durch den Einsatz technischer Hilfsmittel erreicht werden.

2.2. Thermische Konditionierung der Biomasseaschen

Ähnlich wie Abfallverbrennungsschlacken können Biomasseaschen durch Lagerung altern und dadurch in ihrer Qualität hinsichtlich der Eluierbarkeit von Schwermetallen verbessert werden.

Für die Alterung während mehrerer Wochen reicht der in den Biomasseheizkraftwerken zur Verfügung stehende Platz nicht aus. Die Lagerung müsste, sofern sie überhaupt durchgeführt werden kann, in Mieten erfolgen. Dabei kann jedoch nicht das gesamte Haufwerk hinsichtlich der Schwermetalleluat stabilisiert werden, da die Durchdringung mit Kohlendioxid in den tiefer liegenden Schichten zu gering ist [16].

Dieses Problem könnte durch Beschleunigung der Alterungsvorgänge gelöst werden. Da der Großteil der Immobilisierung vom pH-Wert und somit der Carbonatisierung abhängt, scheint eine erhöhte Kohlenstoffdioxid Zufuhr sinnvoll [16, 11].

In der Regel steht Kohlenstoffdioxid reiches Abgas in den Biomasseheizkraftwerken zur Verfügung, so dass auf den Zukauf von Kohlenstoffdioxid verzichtet werden könnte.

In einem ersten Versuch wurde ein Reaktor (Bild 5) in den Abgasstrom des Biomasseheizkraftwerks Ulm eingebaut und Aschen aus dem Heizkraftwerk Buchen dem Abgas ausgesetzt.

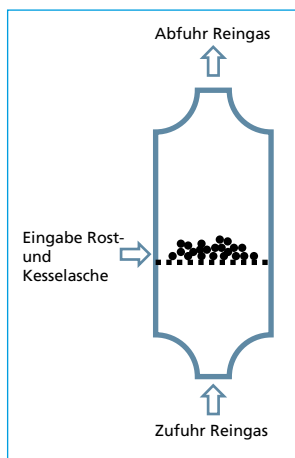


Bild 5:

Reaktor zur thermischen Vor-konditionierung im Biomasse-heizkraftwerk Ulm

Quelle: Weis, P.: Ablagerung von Altholzaschen auf DK II Deponien durch Aschealterung – Versuchsdurchführung und wirtschaftliche Betrachtung. Unveröffentlichte Masterthesis (2013).

Ziel der ersten Versuche war die Beschleunigung des Carbonatisierungsprozesses. Die Ergebnisse der ersten Versuche sind positiv. Nach vier Stunden im Reingasstrom ist die Elution von Blei deutlich abgesenkt und liegt bei allen Proben unterhalb des Grenzwerts der Deponieklasse II. Da in den ersten Versuchen die Massenströme des Abgases und der Asche nicht genau ermittelt werden konnten und eine Umströmung der Asche auf der Aufgabefläche im Reaktor möglich war, werden in weiteren Versuchen ein veränderter Reaktor und zusätzliche Messtechnik eingesetzt werden.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Sortieranalysen der Brennstoffe an den Standorten Dresden und Buchen konnte festgestellt werden, dass die Zusammensetzung der Biomasseaschen nicht von den eingesetzten Altholz-kategorien, sondern von der Herkunft der Brennstoffe abhängt.

Die entstehenden Biomasseaschen verhalten sich sehr heterogen. Dies lässt sich mit der starken Brennstoff- und somit Chargenabhängigkeit begründen. Eine Verbesserung der Eluatstabilität, insbesondere von Blei, durch Vermischung und Alterung der Biomasseaschen, ist aufgrund von sehr geringen Lagerkapazitäten in den Biomasseheizkraftwerken nicht möglich. Daher müssen die Biomasseaschen weiterhin untertägig entsorgt werden.

Im Rahmen der Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung der Biomasseaschen wurde festgestellt, dass sich aus den Aschen zwar große Wertstoffanteile, insbesondere Kupfer und Eisen zurückgewinnen lassen, die Eluatstabilität aber nicht konstant erreicht werden konnte. Daher müssten für jeden Standort eigene und chargenweise adaptierbare Verfahren entwickelt werden, damit konstant die Eluatstabilität erreicht werden kann. Dies wird wegen der zu geringen Mengen und hohen Investitionen derzeit ausgeschlossen.

Daher soll eine thermische Konditionierung durch beschleunigte Carbonatisierung der Biomasseaschen die Qualität hinsichtlich der Eluatstabilität verbessern. Somit würden die Biomasseaschen ihre Einordnung als gefährlicher Abfall verlieren und die weitere Entsorgung würde vereinfacht werden.

Nachfolgend könnten die Aschen, insbesondere für die Metallrückgewinnung auch bei kleineren regionalen Aufbereitern und Entsorgern aufbereitet werden. Diese regionalen Lösungen würden zu einem Wegfall der hohen Transportkosten, für eine Entsorgung bei geeigneten Großentsorgern, führen.

Nachdem die ersten Versuche zur thermischen Konditionierung mit einem einfachen Reaktor positiv verlaufen sind, werden weitere Versuche mit einem weiterentwickelten mit zusätzlicher Messtechnik versehenen Reaktor durchgeführt werden.

Dieser wird mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet sein, um die Gasmengen, die CO_2 -Konzentration und Temperatur der Aschen zu messen. Alle weiteren Parameter sollen mit der Abgasanlage des Kraftwerkes und Massenbilanzen bestimmt werden.

Für die geplanten Versuche soll ein Reaktor eingesetzt werden, der die in einer Stunde anfallenden Aschemengen aufnehmen kann. Daher muss auch die Carbonatisierung in einer Stunde abgeschlossen werden.

Wenn die Ergebnisse aus den ersten Versuchen bestätigt werden, soll der Reaktor, der bisher mit Einschubböden arbeitet, so weiterentwickelt werden, dass ein kontinuierlicher Betrieb mit durchlaufender Asche möglich ist.

Um die Carbonatisierung sicher nachzuweisen und die technische Umsetzung weiter voran zu treiben werden die Versuche durch die TU Clausthal wissenschaftlich begleitet.

Wenn es gelingt, die Alterung innerhalb einer Stunde zu erreichen, würden sich im weiteren vereinfachte Behandlungsmöglichkeiten und erweiterte Möglichkeiten zur Verbesserung der Rückstandsqualität ergeben. In diesem Fall soll die mechanische Aufbereitung der Biomasseaschen, basierend auf den Ergebnissen der ersten Untersuchungen mit dem RENE-Verfahren ausgebaut und der Fokus auf eine Wertstoffrückgewinnung gelegt werden.

4. Quellen

- [1] Breitenstein, B., Goldmann, D., I.: ReNe-Verfahren zur Rückgewinnung von dissipativ verteilten Metallen aus Verbrennungsrückständen der thermischen Abfallbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Aschen, Schlacken, Stäube aus Abfallverbrennung und Metallurgie. Neuruppin: TK-Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013, S. 341-352

- [2] Brunner, M.: Trennen durch verbrennen: Behandlungstechnologien. In: Schenk, K. (Hrsg.): KVA- Rückstände in der Schweiz. Der Rohstoff mit Mehrwert. Bern: Bundesamt für Umwelt, 2010, S. 66-75.
- [3] Bundesverband der Altholzaufbereiter und –verwerter e.V. (Hrsg): Leitfaden der Gebraucht-holzverwertung. Berlin: 6. Auflage, 2009.
- [4] Geiger, T.: Aschen aus der Biomasseverbrennung. Bayerische Abfall- und Deponietage 2008, Referat 8.
- [5] <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2014/01/2014-01-13-bdew-energiebilanz-2013.html> (abgerufen am 08.04.2014)
- [6] http://www.steag-newenergies.com/fileadmin/user_upload/steag-newenergies.com/unternehmen/standorte/Standortkarte-Biomasseanlagen.pdf (24.03.2014).
- [7] Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. & Hofbauer, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren.– 2. Auflage. Berlin: Springer Verlag: 2009.
- [8] Kranert, M. & Cord-Landwehr, K. (Hrsg.): Einführung in die Abfallwirtschaft, 4.Auflage. Wiesbaden: Vieweg und Teubner Verlag, 2010.
- [9] Martens, H.: Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2011.
- [10] Marutzky, R. & Seeger, K.: Energie aus Holz und anderer Biomasse. Grundlagen, Technik, Emissionen, Wirtschaftlichkeit, Entsorgung, Recht. Leinfelden-Echterdingen: DRW Verlag Weinbrenner GmbH und Co, 1999.
- [11] Marzi, T. et al: Künstliche Alterung von Rostaschen aus der thermischen Abfallbehandlung. – Ein Test im großtechnischen Maßstab zur Immobilisierung von Schwermetallen durch Behandlung mit Kohlendioxid. Müllhandbuch Digital, Artikel 0272, 2006
- [12] Mocker, M. et al.: Verbrennungsrückstände – Herkunft und neue Nutzungsstrategien. In: <http://www.ask-eu.de/Artikel/17608/Verbrennungsrueckstaende---Herkunft-und-neue-Nutzungsstrategien.htm>, 2010. (abgerufen am 16.04.2014)
- [13] Mocker, M., Löh, I. & Stenzel, F.: Verbrennungsrückstände – Charakterisierung und Nutzung. -http://www.ask-eu.de/download_bibliothek.asp?ArtikelID=19738- 2010. (abgerufen am 16.04.2014)
- [14] Mocker, M. & Stenzel, F.: Wertstoffrückgewinnung aus Schlacken und Aschen. Wasser und Abfall, 4, 2010, S. 15-19.
- [15] Obernberger, I.: Asche aus Biomassefeuerungen. Zusammensetzung und Verwertung. Thermische Biomassenutzung- Technik und Realisierung. VDI Berichte, 1319, 1997, S. 199-222.
- [16] Palitzsch, S. et al.: Künstliche Alterung- ein wirtschaftlicher Weg zur Verringerung der schwermetallfreisetzung aus Müllverbrennungaschen. In: Müll und Abfall 31 (3), 1999, S. 129-136.
- [17] Ponitka, J.; Lenz, V.; Thrän, D.: Energetische Holznutzung. Aktuelle Entwicklungen vor dem Hintergrund von Klima und Ressourcenschutz.- Wald und Holz 1, 2011, S. 20- 22.
- [18] Simon, R. et al.: Untersuchungen von Biomasse- und Altholz(heiz)kraftwerken im Leistungsbereich 5 bis 20 Mw_{el} zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit, 2008.
- [19] Trendreserach: Der Markt für Schlacken, Aschen und Filterstäube aus der Abfallverbrennung bis 2020. Marktentwicklung, Trends, Chancen und Risiken. Bremen: 2011.
- [20] Weis, P.: Ablagerung von Altholzaschen auf DK II Deponien durch Aschealterung – Versuchsdurchführung und wirtschaftliche Betrachtung. Unveröffentlichte Masterthesis, 2013.



Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung: Wir planen von A bis Z.

Über 50 Jahre erfolgreich am Markt

- Projektentwicklung
- Standort- und Verfahrensevaluation
- Anlagenkonzept
- Vorplanung, Genehmigungsplanung
- Ausschreibung
- Überwachung der Ausführung
- Betriebsoptimierung
- Betriebs-, Störfall-, Risikoanalysen
- Umweltverträglichkeitsberichte
- Gesamtanlagen
- Verfahrenstechnik
- Prozessautomation und Elektrotechnik (EMSRL-T)
- Bauteil inklusive Logistik