

Zusammenfassung der Dissertation von Hr. Dr. Siegle

Eingereicht bei der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart
Tag der Prüfung 7.6.2000

10 Zusammenfassung und Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis

Inhalt dieser Arbeit ist die Untersuchung der Biomasseanalytik, die Analyse von Biomassen, die Feinzerkleinerung und die thermische Nutzung verschiedener Biomassen in der Staubfeuerung, sowohl als alleiniger Brennstoff als auch bei der Mitverbrennung mit Steinkohle.

Die chemische Analyse von Biomassen kann zum Großteil anhand von Analyseverfahren durchgeführt werden, die durch die Untersuchung von Festbrennstoffen bereits etabliert sind. Einschränkungen sind insbesondere bei den Elementen zu machen, bei denen die auftretenden Konzentrationen von herkömmlichen Brennstoffen stark abweichen. Dies sind insbesondere Schwefel (bei allen Biomassen) und Chlor bei Hölzern. Es können die folgenden Analysemethoden empfohlen werden:

Tabelle 10.1: Empfohlene Analysemethoden zur Ermittlung der Biomassenzusammensetzung

Element	Methode
Aschegehalt	thermogravimetrische Bestimmung bei 550 °C
Wassergehalt	Trockenschrank bei 106 °C
C, H, N	Elementaranalyse
S	Elementaranalyse, Säureaufschluß + ICP-AES, Bombenaufschluß + Ionenchromatographie
Cl	Bombenaufschluß + Titration ¹ , Bombenaufschluß + Ionenchromatographie ²

¹ bei höheren Konzentrationen, z.B. Stroh ² bei kleinen Konzentrationen, z.B. Holz

Mit diesen Analyseverfahren können auch bei der Biomasseanalyse Wiederhol- und Vergleichbarkeiten erreicht werden, wie sie in einschlägigen Vorschriften für die Untersuchung von Kohlen angegeben sind.

Für die Zerkleinerung von Biomassen zum Einsatz in einer Staubfeuerung sind Hammermühlen grundsätzlich geeignet. Sie erbringen insbesondere für die Zerkleinerung von halmgutartigen Biomassen verfahrenstechnische und energetische Vorteile. Für die Zerkleinerung von Holz benötigen die untersuchten Hammer- und Schneidmühlen etwa die selbe Energiemenge. Hammermühlen sind jedoch für den rauhen Praxisbetrieb aufgrund ihrer Robustheit und Unempfindlichkeit gegenüber Fremdstoffen besser geeignet.

Für die Zerkleinerung von Ganzpflanzen als Stroh-Korn Gemisch sind Schneidmühlen nicht geeignet, hier sind Hammermühlen erforderlich. Aufgrund der unterschiedlichen verbrennungstechnischen Eigenschaften müssen Getreidekörner zur Verfeuerung in einer Staubfeuerung feiner aufgemahlen werden als Stroh. Um das Stroh bei einer gemeinsamen Aufbereitung nicht übermahlen zu müssen und somit Mahlarbeit einzusparen wurden die Ganzpflanzen in

der Hammermühle mit einem groben Einlegesieb zur Vorklassierung und einem hierfür konstruierten nachgeschalteten Sieb zerkleinert. Durch dieses Konzept konnten die unterschiedlichen strömungstechnischen Eigenschaften des Korn- und des Strohanteils genutzt werden. Das Stroh wird gröber aus dem Mahlprozess herausgenommen als das Korn. Dadurch können 7 kWh/t an Mahlenergie eingespart werden.

Grundsätzlich wurden für größere Durchsätze und größere Lochdurchmesser des Einlegesiebes ein sinkender Energiebedarf festgestellt. Mit steigendem Wassergehalt und zunehmender Umfangsgeschwindigkeit der Mahlwerkzeuge steigt der Energiebedarf an, wobei größere Umfangsgeschwindigkeiten feineres Mahlgut bewirken. Für die Praxis bedeutet dies, daß es energetisch günstiger ist, mit hoher Umfangsgeschwindigkeit und größerem Sieblochdurchmesser zu zerkleinern als umgekehrt. Auch die Mahlung trockener Biomassen ist mit deutlich geringerem Energieverbrauch verbunden als die Zerkleinerung von feuchten. Daher kann, unter der Voraussetzung hoher Trocknerwirkungsgrade über 70 %, die technische Trocknung feuchter Biomassen energetisch sinnvoll sein. Aufgrund der großen Investitionen ist sie jedoch wirtschaftlich kaum zu vertreten. Es erscheint sinnvoller durch eine geeignete Logistik und über Zwischenlagerungen den Wassergehalt der Biomassen zu verringern.

Durch Verbrennungsversuche in der halbtechnischen Staubfeuerungsanlage des IVD konnte gezeigt werden, daß der Anspruch an die Mahlfeinheit von Stroh über Holz zu Korn ansteigt, um ein vergleichbares Zünd- und Abbrandverhalten der unterschiedlichen Biomassen zu erreichen. Grund hierfür ist die in gleicher Reihenfolge zunehmende Dichte und abnehmende spezifische Oberfläche der Partikel.

Bei der Mitverbrennung kann die Biomasse etwas gröber eingesetzt werden als in reinen Biomasseflammen, da durch die höhere Temperatur der Kohlegrundflamme die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht ist. Es wurde gezeigt, daß die notwendige Mahlfeinheit des Kornes in eine Reihe mit den erforderlichen Mahlfeinheiten von Kohlen unterschiedlicher Flüchtigengehalte gestellt werden kann. Das Korn stellt hierbei den Brennstoff mit dem höchsten Flüchtigengehalt dar. Der Grund hierfür wird in der ähnlichen Oberflächenstruktur und damit vergleichbaren spezifischen Oberflächen bei entsprechender Korngröße gesehen.

Beim Entgasungs- und Abbrandverhalten konnten zwei unterschiedliche Phänomene beobachtet werden. Während Stroh und Holz unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Form entgasen und verbrannten, wiesen die Getreidekörner ein blähendes Verhalten auf.

Bei der Verbrennung treten bei Biomasseflammen in der Hauptverbrennungszone höhere CO-Konzentrationen auf als bei Steinkohle, da ein Großteil der Kohlenstoffatome bereits in teiloxidiert Form im Brennstoff vorliegen. Bis zum Ende der Brennkammer werden diese jedoch durch die angepaßte Aufbereitung abgebaut, so daß die auftretenden Emissionen mit kleiner 250 mg/m³ sowohl bei der Mitverbrennung als auch bei der Monoverbrennung der Biomasse im gleichen Bereich liegen wie bei der reinen Kohleflamme.

Durch die Aufbereitung mit der Hammermühle und nachgeschaltetem Sichter konnte auch bei der Verbrennung von Ganzpflanzen ein Ausbrand von deutlich größer 99 % und Glührückständen kleiner 5 % erreicht werden.

Für die ungestufte reine Biomasseverbrennung wurden mit zunehmendem Brennstoffstickstoffgehalt steigende Stickoxidemissionen festgestellt. Die Emissionen waren jedoch trotz teilweise deutlich größerem Stickstoffgehalt immer kleiner als bei der reinen Kohleverbrennung. Bei der Mitverbrennung sinken die NO_x -Emissionen immer mit größer werdendem Biomasseanteil, unabhängig von der Menge des eingebrachten Stickstoffes. Als Grund hierfür wird die unterschiedliche Stickstofffreisetzung gesehen, die bei Biomassen vorzugsweise in aminischer Form erfolgt, und so unter reduzierenden Bedingungen direkt in den Reduktionsmechanismus eingreifen kann.

Die niedrigsten NO_x -Emissionen von 100 bis 120 ppm konnten mit einer ungestuften Holzflamme (0,1 Gew% N) erreicht werden. Dieser Bereich konnte auch durch Primärmaßnahmen nicht weiter abgesenkt werden.

Der Einfluß der lokalen Umgebungsbedingungen auf die Stickstofffreisetzung konnte bei verschiedenen Eindüsevarianten am Brenner untersucht werden. Dabei wurden immer dann die niedrigsten NO_x -Emissionen erreicht, wenn der Brennstoff der den größeren Anteil an Stickstoff in die Flamme einbringt zentral in die innere Rezirkulationszone eingebracht wird. Es liegt zwar nahe aus diesem Grund beide Brennstoffe vorgemischt zentral einzublasen, eine Vormischung von Komponenten in pneumatischen Fördersystemen ist jedoch mit einem Betriebsrisiko verbunden und somit für den Kraftwerksbetrieb möglichst zu vermeiden.

Als weitere Stickoxidminderungsmaßnahme wurde die Luftstufung im Feuerraum, auch in Kombination mit den unterschiedlichen Brennerkonfigurationen, untersucht. Bei der Anwendung beider Maßnahmen dominiert unterhalb einer Primärluftzahl von 1 die Luftstufung. Es können keine Unterschiede der Brennerkonfigurationen mehr festgestellt werden. Für die Praxis bedeutet dies, daß bei luftgestuften Flammen auch die geschickte Wahl der Eindüsung in einem Multi-Fuel Brenner nicht unbedingt zu einer weiteren Stickoxidabsenkung führt.

Bei reinen Biomasseflammen greift der Effekt der Luftstufung um so mehr, je größer der Stickstoffgehalt des Brennstoffes ist.

Durch die Mitverbrennung von Biomassen werden die SO_2 -Emissionen immer vermindert. Dies ist durch den geringen Schwefelgehalt der Biomassen und die vermehrte Einbindung des Schwefels in die Biomasseasche zu begründen. So wurde bei einer 50 % Strohflamme 30 % des Schwefels im Feststoff gefunden, bei einer reinen Strohflamme über 40 %. Der größte Anteil hiervon war in der feinen Filterasche zu finden.

Bei der Untersuchung der Reststoffe konnte ein zunehmender Anteil an Grobasche und Schlacke mit zunehmendem Biomasseanteil verzeichnet werden. Der Anteil an Feinstasche aus dem Filter ist für die reine Biomasseflamme wie bei der Kohle mit 10 % der Gesamtasche gering. Es konnte jedoch eine Anreicherung von Schwermetallen und eine Abreicherung an pflanzennährstoffrelevanten Elementen in der feinen Aschefraktion festgestellt werden. Bei

der reinen Biomasseverbrennung, für die das Ausbringen von Verbrennungsaschen als Düngezusatz diskutiert wird, sollte zumindest der kleine Anteil der Feinstfraktion deponiert werden.

Die Weiterverwertung der Asche aus der Mitverbrennung in der Zement und Betonindustrie ist bisher wegen einer fehlenden Erweiterung der DIN EN 450 auf Biomasseaschen nicht geklärt.

Untersuchungen der Mitverbrennung von Biomassen in Großkraftwerken zeigen, daß bei der Mitverbrennung moderater Anteile bis 10 % der thermischen Leistung, je zur Hälfte Holz und Stroh, keine negativen Auswirkungen auf den Anlagenbetrieb zu erwarten sind. Bei der betrachteten Anlage ist die staubförmige Aufbereitung und Einblasung des Staubes in den Kessel die aussichtsreichste Möglichkeit. Es wurde ein Konzept entwickelt bei dem 4 von den 8 vorhandenen Öllanzen einer Ebene durch Biomassebrenner ersetzt werden.

Je nach Anlagengröße erfordert die Anlieferung und das Handling der Biomasse einen nicht unerheblichen logistischen Aufwand, da eine Zwischenlagerung am Kraftwerksstandort aufgrund des Platzbedarfes nur in sehr geringem Umfang möglich ist.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der erforderlichen Investitionen ergab zusätzliche Stromgestehungskosten für den Biomassestrom aus der Mitverbrennung von ca. 7 Pf/kWh. Die Stromgestehungskosten für eine neu zu errichtende reine Biomassefeue-rungsanlage die mit demselben Brennstoffmix befeuert wird, betragen dagegen ca. 21 Pf/kWh. Die Zufeuerung von Biomasse in umgerüsteten Steinkohlekraftwerken ermöglicht damit im Vergleich zu neuzubauenden, ausschließlich mit Biomasse gefeuerten Anlagen eine deutliche Senkung der Strombereitstellungskosten.