

Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen für den Einsatz in Industrie- und Kraftwerksfeuerungen

Prof. Dr.-Ing. H. Seifert¹,

Prof. Dr.-Ing. T. Kolb¹,

Dr.-Ing. H.-J. Gehrman¹,

Prof. Dr.-Ing. M. Beckmann²,

Prof. Dr.-Ing. S. Flamme³,

Prof. Dr.-Ing. R. Scholz⁴

¹ Institut für technische Chemie - Bereich Thermische Abfallbehandlung, Forschungszentrum Karlsruhe

² Institut für Energietechnik, Technische Universität Dresden

³ Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-Management GmbH (INFA)

⁴ Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik, Technische Universität Clausthal

Einleitung: Energie aus Abfall – Was sind Ersatzbrennstoffe?

Ersatzbrennstoff (EBS) ist der Überbegriff für aus Abfall gewonnene Brennstoffe. Die Substitution fossiler Brennstoffe in Hochtemperaturprozessen durch aus Abfall aufbereiteten Ersatzbrennstoffen führt einerseits zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und andererseits zur Schonung der Ressourcen fossiler Brennstoffe [1, 2].

Man unterscheidet Ersatzbrennstoffe, die aus produktionsspezifischen meist Gewerbeabfällen hergestellt werden und Ersatzbrennstoffe, die aus gemischten Siedlungsabfällen aufbereitet werden, i. d. R. durch mechanische oder mechanisch-biologische Verfahren (MBA).

Häufig findet man auch den Begriff des Sekundärbrennstoff (SBS) oder „Solid recovered fuel“ (SRF). Hier handelt es sich um hochkalorische Fraktionen, die bezüglich ihrer chemisch / physikalischen Eigenschaften die Europäische Norm CEN-TS 15359 erfüllen [3]. Nach [4] wird SRF mit einem Heizwert > 22 MJ/kg definiert, der bevorzugt zur Mitverbrennung in kohlebefeuerten Kraftwerkskesseln und Zementdrehrohranlagen eingesetzt wird.

Aufkommen und Verwertungswege

In Deutschland wurden im Jahr 2006 17,7 Mio. t. Hausmüll und Rückläufe aus MBA in 72 Müllverbrennungsanlagen verbrannt [5]. In den 64 MBA's mit einer Kapazität von 6,1 Mio. t wurden ca. 2,4 Mio. t Ersatzbrennstoffe erzeugt, wobei sehr unterschiedliche EBS-Ausbeuten in den verschiedenen Anlagen erreicht werden. So werden nach [6]

Rost-, 1/3 als Wirbelschichtfeuerungen.

Die Situation für hochkalorischen SRF in Europa zeigt Abb. 3 [9]; danach hat Deutschland mit über 40 % den größten Anteil der europäischen SRF-Produktion von insgesamt ~ 5,3 Mio t/a in 2005, wobei nach dieser Quelle nur 1,2 Mio. t in Zementfeuerungen eingesetzt wurden.

Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen

Für den Einsatz fossiler Brennstoffe sowohl in Kraftwerksfeuerungen als auch in industriellen Hochtemperaturprozessen wie z. B. der Grundstoffindustrie liegen umfangreiche Erfahrungen und Kenntnisse vor. Dabei werden die brennstoffcharakterisierenden Eigenschaften in stoffliche Eigenschaften – das sind chemische, mechanische und kalorische Eigenschaften – und in verbrennungstechnische Eigenschaften, das heißt reaktionstechnische Eigenschaften, unterschieden [10].

Stoffliche Eigenschaften

Bei den chemischen Eigenschaften werden entsprechend einer Brennstoff-Immediatanalyse die nicht brennbaren Bestandteile wie Wasser und Asche und die brennbaren Anteile wie flüchtiger und fester Kohlenstoff (C_{fix}) erfasst. Zur Bestimmung solcher Größen gibt es Vorschriften, die in DIN-Normen (z. B. DIN 51720 für Flüchtigenbestimmung) fest geschrieben sind. Detaillierte Kenntnis der chemischen Zusammensetzung erhält man durch die Elementaranalyse der Hauptbestandteile und der Bestimmung der Spurenanteile wie Chlor,

Schwefel, Phosphor und Schwermetalle.

Bei den mechanischen Eigenschaften spielt die Stückigkeit bzw. die Korngrößenverteilung der Brennstoffpartikel und die Schütteeigenschaften wie die Schüttdichte eine für den Verbrennungsablauf entscheidende Rolle. Auch hier existieren Bestimmungsvorschriften, wie z. B. DIN 51705 zur Schüttdichtenbestimmung.

Zu den kalorischen Eigenschaften eines Festbrennstoffes zählen vor allem Heiz- und Brennwert, spezifische Verbrennungsgrößen wie Mindestluftbedarf und –abgasmenge, adiabate Verbrennungstemperatur, spezifische Wärmekapazitäten etc. Die Ermittlung dieser Größen kann ebenfalls nach DIN-Normen, wie z. B. der Heizwert nach DIN 51900 oder anderen Regelwerken beispielsweise der VDI-Richtlinie 3460 [11] durchgeführt werden.

Für die Gruppe der Sekundärbrennstoffe wurden die stofflichen Eigenschaften in den letzten Jahren durch Arbeiten der Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe e. V. (BGS) intensiv beschrieben [12] und durch vorgegebene Grenzwerte sowie Güte- und Prüfbestimmungen in der Gütesicherung RAL-GZ 724 [13] festgeschrieben. Darüber hinaus wurde auch die Bestimmung des biogenen Anteils in festen Ersatzbrennstoffen mit Güte- und Prüfbestimmungen im Gütezeichen RAL-GZ 727 [14] beschrieben. Zur Einhaltung dieser vorgegebenen stofflichen Eigenschaften der Ersatzbrennstoffe ist bereits bei der Produktion sowohl von Sekundärbrennstoffen aus Produktionsabfällen als auch bei der Produktion von heizwertreichen Fraktionen (> 16 MJ/kg) aus Siedlungsabfällen

auf eine entsprechende Qualitätssicherung zu achten [14].

Verbrennungstechnische Eigenschaften

Die verbrennungstechnischen oder reaktionstechnischen Eigenschaften fester Brennstoffe beschreiben vor allem das Zünd- und Abbrandverhalten eines Brennstoffes, das einerseits wieder von den stofflichen Eigenschaften abhängt, andererseits aber vor allem durch die Art des Verbrennungsprozesses und die feuerungstechnischen Parameter bestimmt wird.

So muss z. B. grundsätzlich unterschieden werden, ob ein Brennstoff in einer festen Schüttung wie auf einem Rost, in einem bewegten Bett einer Wirbelschicht oder staubförmig in einer Staubfeuerung verbrannt wird. Bei den feuerungstechnischen Parametern spielt die Menge, Qualität und Führung des Oxidationsmediums – i. d. R. der Verbrennungsluft – die entscheidende Rolle.

Für feste Regelbrennstoffe wurden die verbrennungstechnischen Eigenschaften z. B. für Kohle bereits systematisch untersucht und in Richtlinien beschrieben [15]. Für die verbrennungstechnische Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen insbesondere hinsichtlich Zündung, Ausbrandverlauf, Verschlackung und Korrosion besteht erheblicher Untersuchungsbedarf, da sich die für Regelbrennstoffe bestehenden Methoden und Verfahren auf Grund der wesentlich stärkeren Inhomogenität und Varianz bei der Zusammensetzung der Ersatzbrennstoffe nicht ohne weiteres auf die Ersatzbrennstoffe übertragen lassen.

Dies war die Motivation eines in 2006 gestarteten AiF-Projekts zur „Substitution von Regelbrennstoffen durch Ersatzbrennstoffe“, das gemeinsam von den Institutionen der Autoren bearbeitet wird [16]. Wesentliches Ziel dabei ist die Entwicklung von Methoden zur Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen und der bewertende Vergleich von Ersatzbrennstoffen in bestimmten Anwendungsfällen wie Kraftwerksfeuerungen oder Zementdrehrohren.

Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen im Festbett

Der überwiegende Einsatz von Ersatzbrennstoffen findet in Rostfeu-

erungen statt. Der Abbrandverlauf in einer solchen Feuerung kann durch das Abbrandverhalten einer Brennstoffschüttung unter Vernachlässigung der Quervermischung auf dem Rost beschrieben werden. Dazu wurde im FZK der batchbetriebene Festbettreaktor KLEAA (Abb. 4) entwickelt und modellhaft beschrieben [17]. Erste Ergebnisse wurden bereits auf den Abfalltagen Baden-Württemberg 2006 präsentiert [18].

Die KLEAA-Anlage besteht im Wesentlichen aus der eigentlichen Festbettbrennkammer mit einem Volumen von etwa 10 l, dem darüber liegenden elektrisch beheizten Feuerraum, der Nachbrennkammer

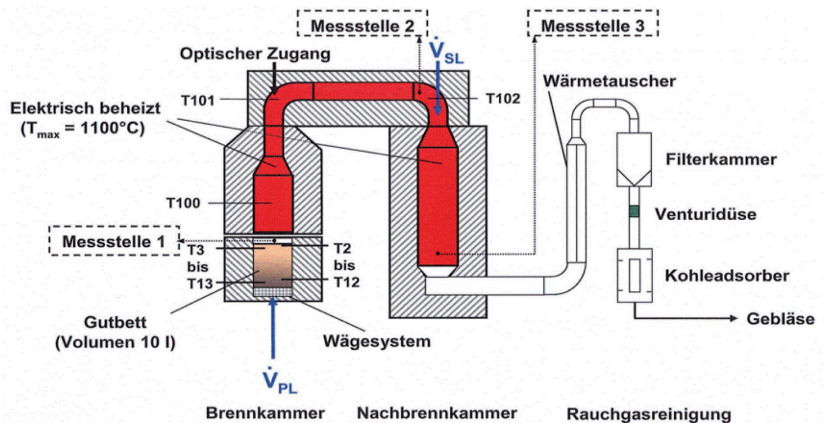


Abb. 4: Schema des Festbettreaktors KLEAA

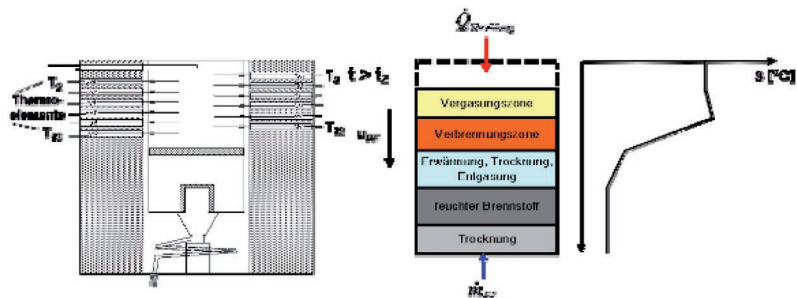


Abb. 5: Schematische Darstellung des Feststoffabbrandes

und der Abgasreinigung. Mit zwölf Thermoelementen ($T_2 - T_{13}$) werden die zeitlichen Temperaturverläufe orts aufgelöst im Gutbett über die gesamte Betthöhe erfasst (Abb. 5). Der Brennstofftopf sitzt auf einer Wägezelle, mit der die zeitliche Massenabnahme des Brennstoffes bestimmt werden kann.

Die von unten in die Brennstoffschüttung zugeführte Luft trocknet den Brennstoff und es bildet sich eine von unten nach oben fortschreitende Trocknungszone aus. Die obere Schicht des Gutbettes wird durch die Strahlungswärme aus dem Feuerraum getrocknet und

entgast. Erreicht die Temperatur in der Gasphase oberhalb der Schüttung die Zündtemperatur und ist die Konzentration der brennbaren Gase innerhalb der Zündgrenzen zündet das Gasgemisch. Aus der Verbrennungszone wird Wärme über Strahlung und Konduktion an die unterhalb der Verbrennungszone liegende Brennstoffschicht übertragen, wodurch diese wiederum getrocknet, entgast und gezündet wird. Es kommt somit zur Ausbildung einer von oben nach unten entgegen der Primärluftströmung fortschreitenden Verbrennungszone. Die Geschwindigkeit, mit der die Verbrennungszone in das Gutbett wandert, hängt

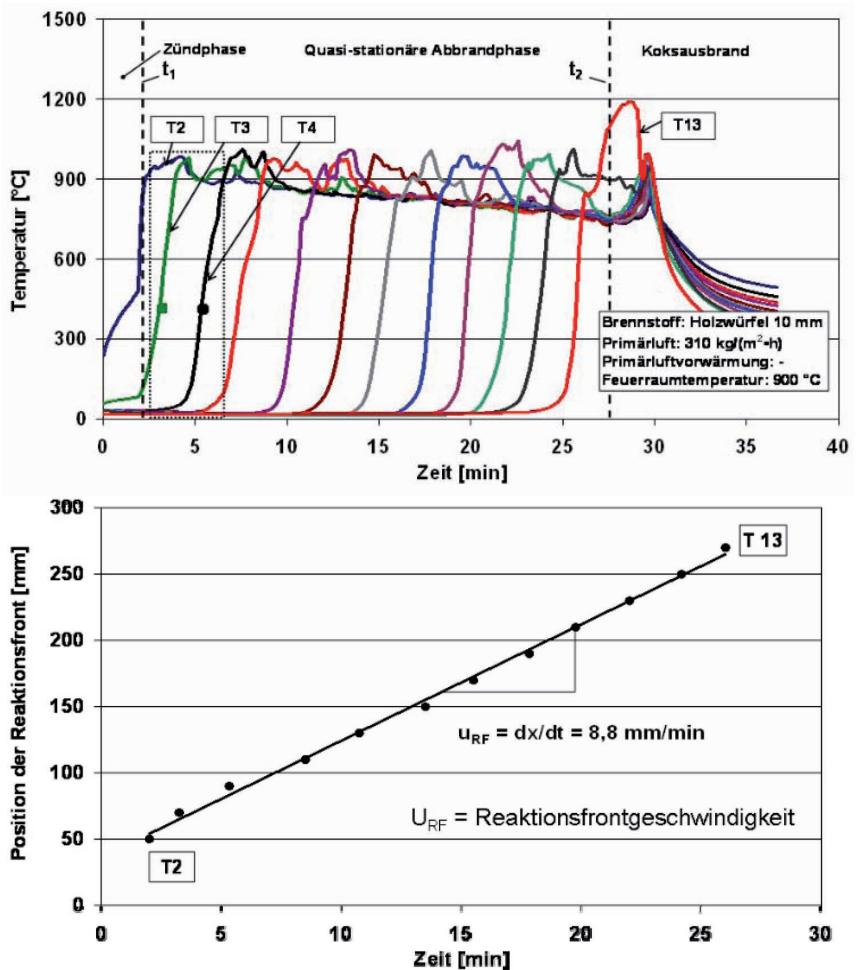


Abb. 6: Ableitung der Kenngrößen an einem Versuchsbeispiel

ab vom Wärmetransport aus der Verbrennungszone in die darunter liegende Schicht sowie vom Trocknungs- und Entgasungsverhalten des Brennstoffes. Nachdem die Flüchtigen in der Verbrennungszone abgebrannt sind, bleibt Koks zurück. Je nach vorherrschenden Bedingungen wie Temperatur, O_2 -Angebot oder auch Reaktivität des Kokes kann dieser innerhalb der Verbrennungszone vollständig umgesetzt werden oder er reichert sich oberhalb der Verbrennungszone an. Wird der über die Primärluft zugeführte Sauerstoff durch die Oxidation der Flüchtigen vollständig verbraucht,

bildet sich oberhalb der Verbrennungszone eine Vergasungszone aus, in der CO_2 und H_2O am Koks reduziert werden. In Abb. 5 sind die beim Abbrand des Feststoffbettes sich ausbildenden charakteristischen Reaktionszonen sowie das entsprechende Temperaturprofil schematisch dargestellt. Der oben beschriebene Abbrandprozess ist quasi-stationär, die Fortschrittsgeschwindigkeit der Verbrennungszone ist ein charakteristisches Maß für den Abbrandprozess. Trifft die Reaktionszone schließlich auf den Rost, werden in der Verbrennungszone die restlichen flüchtigen Bestand-

teile umgesetzt. Der heiße Restkoks reagiert jetzt mit dem O_2 aus der Primärluft und die Bewegungsrichtung der Verbrennungszone kehrt sich um, so dass das Koksbett von unten nach oben ausbrennt. In dieser Phase des Abbrandes wird ein deutlicher Temperaturanstieg im Gutbett beobachtet.

Dies wird erkennbar aus den zeitlich gemessenen Temperaturprofilen, die in Abb. 6 beispielhaft für den Brennstoff Holz dargestellt sind.

Aus dem Zeitpunkt des Anstiegs der lokal gemessenen Temperaturverläufe kann die Position der Reaktionsfront und aus der Steigerung der Positionsgerechten die Reaktionsfrontgeschwindigkeit U_{RF} , als wesentliche Kenngröße zur Beschreibung des Feststoffabbrandes ermittelt werden [17]. Die zeitlich gezündete rostflächenbezogene Brennstoffmasse, die so genannte Zündrate ZR, errechnet sich aus der Multiplikation der Reaktionsfrontgeschwindigkeit mit der Schüttdichte. Eine weitere wesentliche verbrennungstechnische Kennzahl ist die rostflächenbezogene Massenumsatzrate, die aus dem Wägesignal ermittelt wird und die ebenfalls wie die Zündrate u. a. von den stofflichen Brennstoffeigenschaften wie z. B. der Brennstofffeuchte abhängt. Die Massenumsatzrate kann maximal den Wert der Zündrate erreichen, wenn das gesamte Material, das pro Zeiteinheit gezündet wird, auch vollständig abbrennt.

Am Beispiel Holzhackschnitzel unterschiedlicher Feuchte wird deutlich (Abb. 7), dass mit zunehmender Brennstofffeuchte beide Kennzahlen zurückgehen, d. h. die Reaktivität des Brennstoffes nimmt ab.

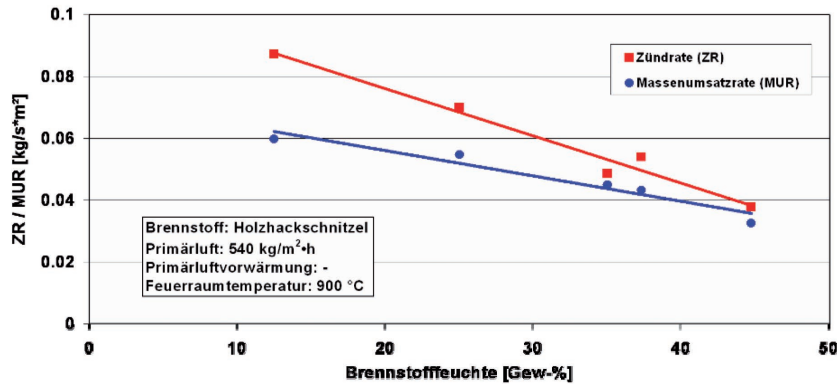


Abb. 7: Einfluss der Brennstofffeuchte auf ZR und MUR

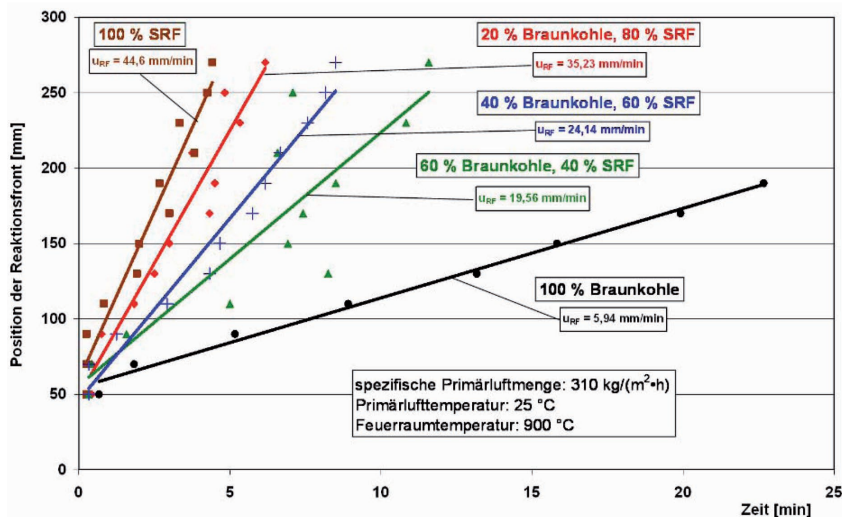


Abb. 8: Position der Reaktionsfront als Funktion der Zeit für verschiedene SRF-Braunkohlemischungen

Allerdings ist der Einfluss der Feuchte auf die Zündrate deutlich stärker, d. h. bei trockenen Holzhackschnitzel wird deutlich mehr Material gezündet als umgesetzt, was zu einer intermediären Koksbildung führt und bei der Dimensionierung von Rostanlagen berücksichtigt werden muss.

Die Methode zur Bestimmung der Reaktionsfrontgeschwindigkeit wurde im Rahmen des AiF-Projektes durch Ringversuche an den Batchreaktoren in Karlsruhe, Weimar und Clausthal mit sehr guter Übereinstimmung abgesichert.

In der Karlsruher Anlage KLEAA wurden die verbrennungstechnischen Kennzahlen für verschiedene Ersatzbrennstoffe ermittelt. Den Vergleich von SRF mit dem Regelbrennstoff Braunkohle zeigt Abb. 8 [19].

Gegenüber Braunkohle zeigt hier der hochkalorische Ersatzbrennstoff SRF ein fast um eine Größenordnung reaktiveres Verhalten, das sich auch bei Mischungen mit einer linear

mit dem Kohleanteil abnehmenden Reaktionsfrontgeschwindigkeit eindeutig wieder findet (Abb. 9).

Mit dieser Methode können Ersatzbrennstoffe für den Einsatz in vorhandenen Rostfeuerungen zusammengestellt oder andererseits können mithilfe von Übertragungsmodellen basierend auf diesen Kennzahlen [20] neue Rostfeuerungsanlagen für den EBS-Einsatz ausgelegt werden.

Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Kraftwerks- und Industriefeuerungen

Neben der Verbrennung von EBS in Monoverbrennungsanlagen, zumeist auf Rost- und in Wirbelschichtfeuerungen werden diese Brennstoffe auch in Kohlekraftwerksfeuerungen (Staubfeuerungen) und Industriefeuerungen z. B. Zementdrehrohren mitverbrannt.

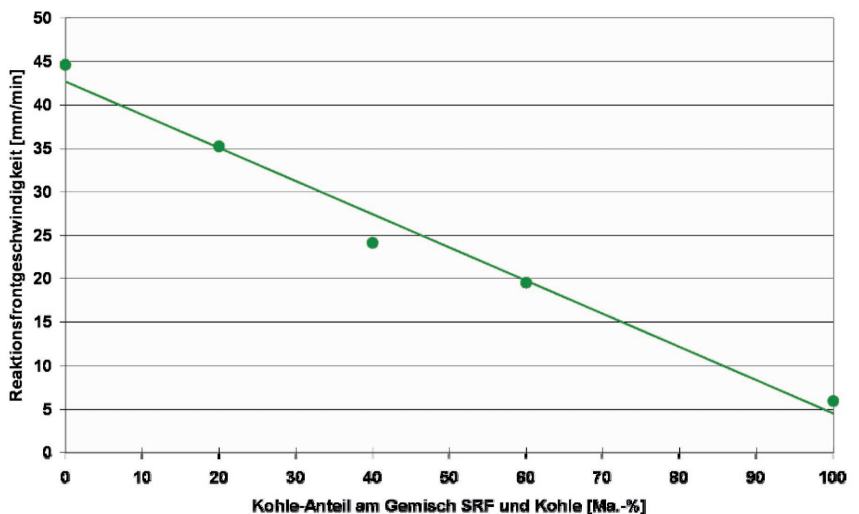


Abb. 9: Einfluss des Kohleanteils auf die Reaktionsfrontgeschwindigkeit in der Mischung mit SRF

Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Staubfeuerungen von Braunkohlekraftwerken

Bei der Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken werden mittlerweile elektrische Wirkungsgrade von bis zu 50 %, in Braunkohlekraftwerken von bis zu 46 % erreicht. Demgegenüber stehen mittlere elektrische Wirkungsgrade von 17 % bzw. max. 30 % bei Müllverbrennungsanlagen, 25 % bei Ersatzbrennstoffkraftwer-

ken und etwa 20 % bei Biomasseanlagen. Durch die Coverbrennung von Ersatzbrennstoffen (EBS) und Biomassen in Kohlekraftwerken können die hohen elektrischen Wirkungsgrade auch für diese Brennstoffe nutzbar gemacht werden. Allerdings führt der Einsatz der alternativen Brennstoffe zu Problemen mit dem Feststoff- und Gasausbrand einerseits und andererseits im Bereich des Kessels zu Anbackungen und Korrosion. Insbesondere durch den

derzeitigen Neubau vieler Kraftwerkskessel in Deutschland und der damit verbundenen öffentlichen Diskussionen zum Einsatz fossiler Energieträger stehen bei dem Einsatz von regenerativen Brennstoffen (Ersatzbrennstoffen mit bis zu 50 Ma.-% biogenem Anteil und Biomassen) für den Anlagenbetreiber Fragen zur Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf die Verfügbarkeit des Kessels im Vordergrund. Daher ist es vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung und Minderung fossiler CO₂-Emissionen von großer Bedeutung, den Einsatz alternativer biomassehaltiger Brennstoffe in Kraftwerken im Hinblick auf das (z. B. von Kohle erheblich abweichende) Abbrand- und Emissionsverhalten zu untersuchen und zu optimieren.



Abb. 10: Eingesetzte Brennstoffe EBS

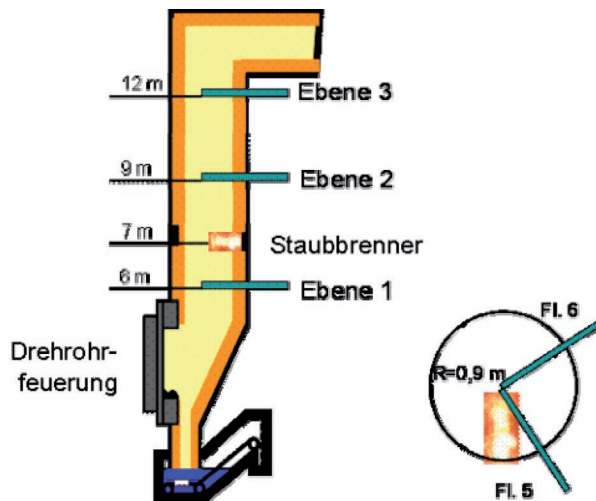


Abb. 11: Längs- und Querschnitt der Staubfeuerungsanlage BRENDA mit Messebenen

In diesem Zusammenhang wurden im Rahmen des o. g. AiF-Vorhabens zwei unterschiedliche Ersatzbrennstoffe, einer aus eher Siedlungsabfällen hergestellt mit einer RAL-Gütesicherung (Abb. 10) und der zweite aus eher produktionsspezifischen Abfällen erzeugt mit einer RAL-Gütesicherung und mit einer Partikelgröße $dp < 4 \text{ mm}$ zusammen mit Braunkohle mit $d_{50} = 49 \text{ }\mu\text{m}$ in einer Staubfeuerung mit Drallerzeuger am Forschungszentrum Karlsruhe eingesetzt.

Der Staubbrenner ist im unteren Teil einer Brennkammer der zu einer Drehrohrfeuerung gehörenden Versuchsanlage integriert (Abb. 11). Er hat eine maximale thermische Leistung von 1 MW.

Ziel der Versuche war es, bei vergleichbaren Betriebseinstellungen zu ermitteln, ob sich bei der Zugabe von EBS das Aus- und Abbrandverhalten der EBS-Kohlemischung im Vergleich zu der reinen Kohlever-

brennung wesentlich ändert. Dazu wurde mit Hilfe wassergekühlter Lanzen der Gasausbrand und die Staubkonzentrationen über der Brennkammerhöhe in drei Messebenen und über dem Querschnitt gemäß Abb. 11 ermittelt.

vor dem Staubbrenner über die Drehrohrfeuerung mit etwa 1,3 MW thermischer Leistung über einen Ölbrenner eingestellt. Die thermische Leistung der Referenzeinstellung mit Kohle betrug 620 kW, die Luftzahl 1,4. Beim Coverbrennungsversuch wurden entsprechend 10 % der um den EBS-Anteil erhöhten Gesamtleistung zusätzlich zur

Bei allen Betriebseinstellungen wurde eine konstante Grundströmung

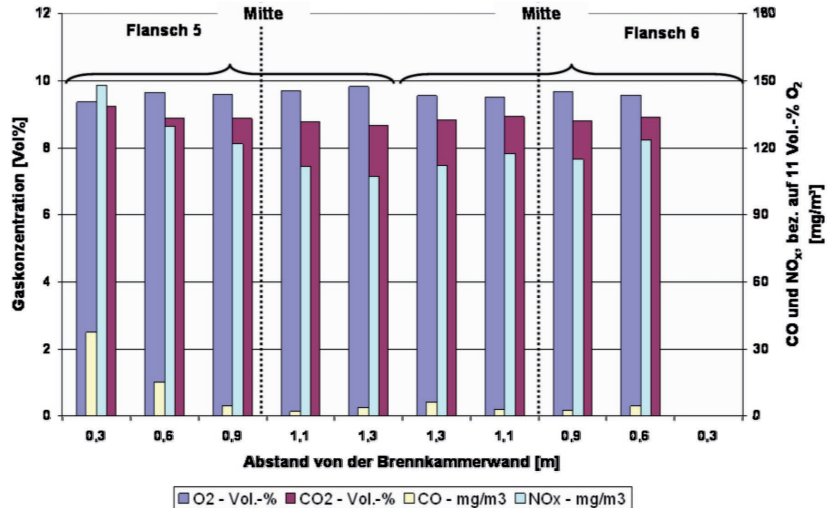


Abb. 12: Verteilung der Gaskonzentrationen über dem Brennkammerquerschnitt in Messebene drei, 5 m oberhalb des Brenners

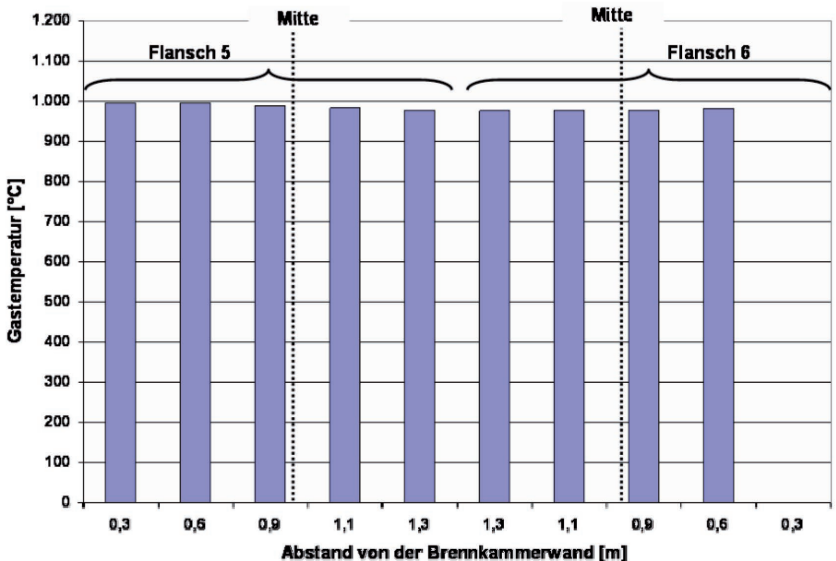


Abb. 13: Verteilung der Gastemperaturen über dem Brennkammerquerschnitt in Messebene drei, 5 m oberhalb des Brenners

Kohle dosiert (70 kW Brennstoffleistung). Exemplarisch seien hier für den Coverbrennungsversuch die Gaskonzentrations- (Abb. 12) und Temperaturprofile (Abb. 13) gezeigt.

Die Brennkammermitte ist jeweils entsprechend durch die gestrichelte Linie angedeutet. Insgesamt ist eine homogene Verteilung der O₂- und CO₂-Konzentrationen über dem Messquerschnitt zu erkennen. Am brennernenahen Flansch 5 fallen die

CO-Konzentrationen von der Wand zur Mitte hin aufgrund des C-Umsatzes entlang der Brennerachse entsprechend ab und bleiben jedoch über dem Brennkammerquerschnitt auf niedrigem Niveau. Die NO_x-Konzentrationen fallen von der Wand in Richtung Brennkammermitte ab und sind an der Wand in Brennernähe am Höchsten, da hier die Flüchtigengfreisetzung der N-Spezies erfolgt und diese mit der verdrahten

Verbrennungsluft direkt umgesetzt werden.

Die Gastemperaturen sind über dem Brennkammerquerschnitt etwa konstant, was 5 m oberhalb des Brenners auf eine sehr gute gleichverteilte Wärmefreisetzung schließen lässt, die zu einem entsprechend guten Gasausbrand führt.

In der nächsten Abb. 14 sind die wichtigsten Messgrößen (Mittelwerte) für beide Versuchseinstellungen vergleichend gegenübergestellt.

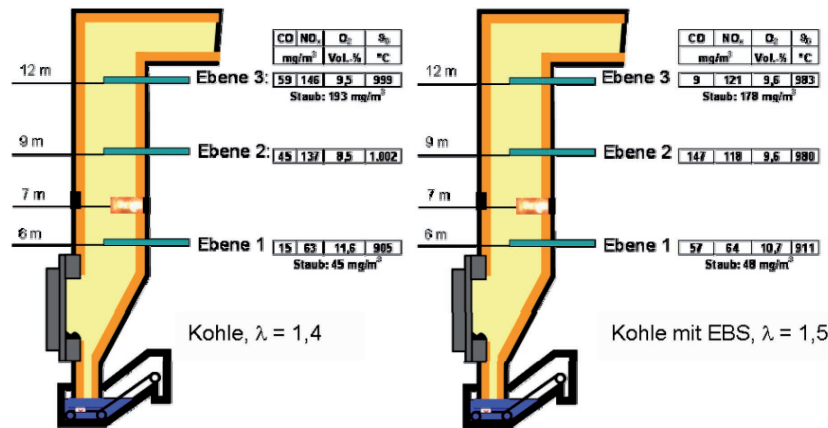


Abb. 14: Vergleich der Spezieskonzentrationen bei der Grundeinstellung mit Kohle und bei der Coverbrennung mit EBS

Eine Verschlechterung der Ausbrandbedingungen durch die Zugabe eines um den Faktor 1000 größeren EBS's trat nicht ein. Im Gegenteil, der CO-Ausbrand verbesserte sich noch etwas bei vergleichbaren Temperatur- und O₂-Verteilungen, vermutlich aufgrund des höheren Flüchtigengehaltes des EBS. Allerdings wurde bei einem Kohleversuch mit einer Luftzahl λ von 1,7 in Messebene 3 vergleichbar geringe CO-Konzentrationen wie beim Coverbrennungsversuch gemessen, so dass insgesamt festgestellt werden kann, dass sich die Ausbrandbedingungen bei der Zugabe von EBS zur Kohle nicht verschlechtern. Eine vollständige Bewertung aller Versuche steht aufgrund der laufenden Auswertungen noch aus. In weiteren Versuchen soll geprüft werden, ob der Ausbrand durch eine Erhöhung des Dralls, durch eine Verbrennungsluftvorwärmung oder durch die Veränderung der Luftzahl weiter verbessert werden kann.

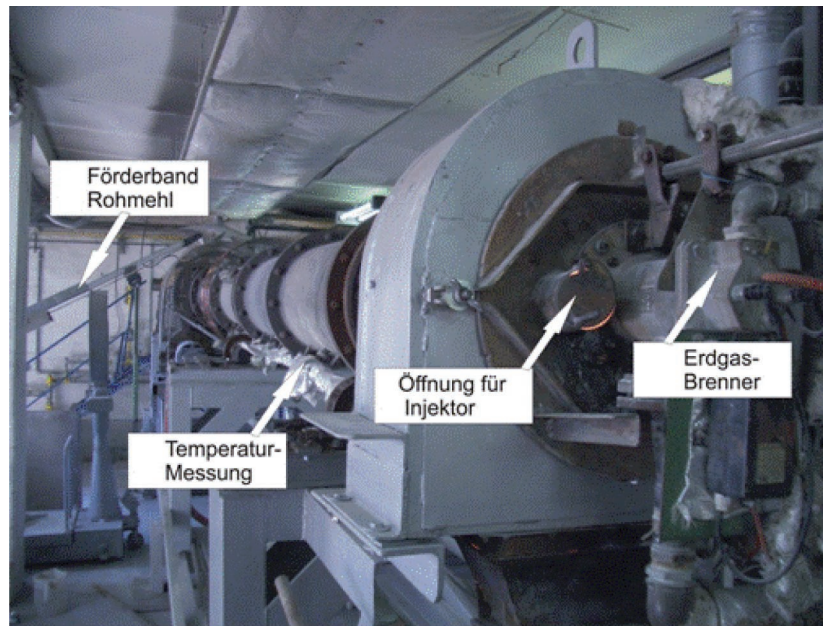


Abb. 15: Ansicht des direkt beheizten Drehrohres für die Pilotversuche

Einsatz von Ersatzbrennstoffen bei der Herstellung von Zementklinker

Ein Arbeitspunkt des AiF-Projektes „Substitution von Regelbrennstoffen durch Ersatzbrennstoffe“ ist es,

die Möglichkeit des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen beim Herstellungsprozess von Zementklinker und den Einfluss auf die Qualität des Zementklinkers zu untersuchen.

Dazu wurden Pilotversuche an der Bauhaus-Universität Weimar in einem direkt beheizten Drehrohrofen (Abb. 15) durchgeführt. Der Drehrohrofen besitzt folgende technische Parameter:

- Lichter Durchmesser: 0,28 m
- Gesamtlänge: 7,4 m
- Ofenneigung: $-1..3^\circ$
- Ofendrehzahl: max. 12 U/min
- Durchsatz: ca. 20..100 kg/h je nach Produkt
- möglicher Temperaturbereich: 150..1.450°C.

Die Ersatzbrennstoffe wurden über eine Dosierschnecke dem Injektor zugeführt und mit Druckluft in die Erdgas-Flamme gefördert. Das Rohmehl wurde vor der Aufgabe granuliert. Die Zugabe der Granalien erfolgte mittels Dosierband und Förderband am Drehrohreintrag.

Der Zementklinker wurde im so genannten Halbtrocken-Verfahren hergestellt.

Zusammenfassend kann zu den Versuchen festgehalten werden, dass Klinker mit einem akzeptablen Gehalt von etwa 3-5 % Freikalk (nasschemisch bestimmt) auch bei Einsatz von Ersatzbrennstoff gebrannt werden kann. Dieser Wert ist insofern als sehr gut einzuschätzen, da das Rohmaterial einen hohen Kalkstandard aufweist, bei dem Freikalk-Werte des Klinkers von 2 % theoretisch nicht unterschritten werden können.

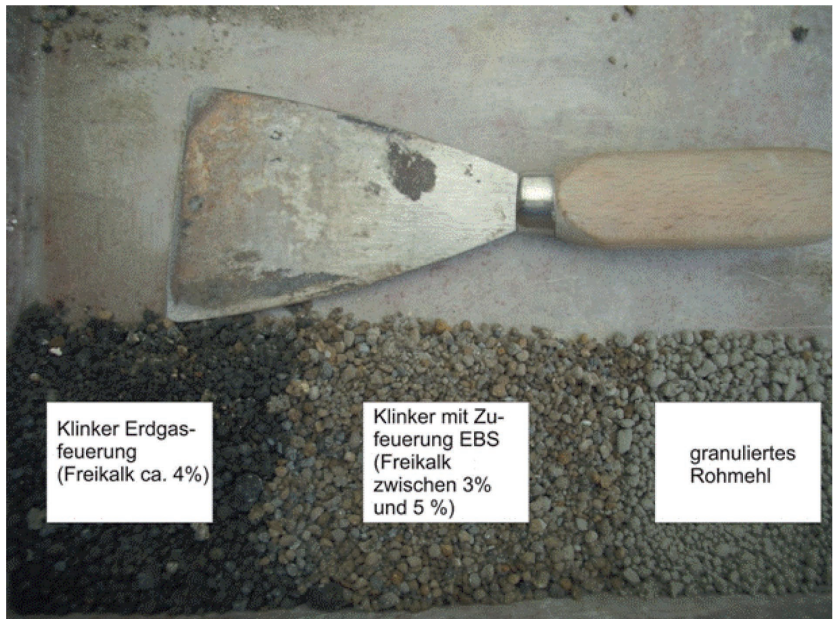


Abb. 16: Rohmaterial (rechts), Klinker mit Zufuehrung von Ersatzbrennstoffen (Mitte) und Zementklinker aus Erdgasfeuerung (ohne Zufuehrung EBS) (links)

Es sei jedoch erwähnt, dass der Klinker braune Verfärbungen aufwies (siehe Abb. 16), was auf reduzierende Bedingungen (Eisenoxid) im Brennprozess schließen lässt. Des Weiteren kam es zu Ausbildung einer Zwei-Flammenfront im Ofen, welche das Temperaturprofil im Ofen stark verändert hat.

Eine erste Schlussfolgerung aus den bisher durchgeführten Versuchen ist, dass die Prozessführung dem eingesetzten Brennstoff weiter angepasst werden muss. In dem für die Pilotversuche verwendeten Drehrohr ist dies nur bedingt möglich, da durch die Geometrie (kleine Abmessungen) Grenzen gesetzt sind. In großtechnischen Anlagen sollten die Probleme der reduzierenden Bedingungen und der Zwei-Flammenfrontbildung allein schon durch die für den Prozess günstigeren geometrischen Abmessungen, bzw. durch die Optimierung der Zuführung der Ersatzbrennstoffe (Brenner) in den Ofen lösbar sein.

Derzeit werden weitere Auswertungen der Pilotversuche im

Hinblick auf die Qualität des Zementklinkers und den Herstellungsprozess an sich (Massen- und Energiebilanz) durchgeführt.

Kosten der EBS-Verwertung

Bei der Zusammenstellung der anfallenden EBS-Verwertungskosten müssen zum einen die Aufbereitungskosten unterschiedlicher Heizwertfraktionen sowie die Entsorgungskosten der verbleibenden Restfraktionen auf der Deponie oder in der Müllverbrennung erfasst werden.

Je nach Einsatzfall unterscheiden sich diese Kostenanteile erheblich (Abb. 17) [21].

Deutlich wird der höhere Aufbereitungs- bzw. Herstellungsaufwand bei der Coverbrennung im Kraftwerk und Zementdrehrohr, der letztlich trotz günstigerer direkter Verwertungskosten für diese Einsatzart die höchsten Gesamtkosten verursacht.

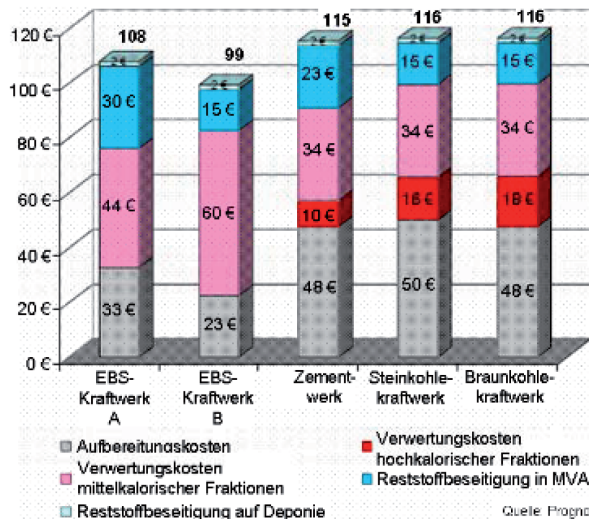


Abb. 17: Bestandteile der Verwertungskosten aufbereiteter Gewerbeabfälle 2006

Zusammenfassung – Ausblick

Ersatzbrennstoffe weisen aufgrund ihrer großen Inhomogenität und Varianz der Zusammensetzung ein weites Qualitätsspektrum auf und werden sowohl in Monoverbrennungsanlagen eingesetzt als auch in Kraftwerks- und Industriefeuerungen mitverbrannt. Die erforderliche Qualitätssicherung bei den stofflichen Eigenschaften ist weit fortgeschritten, bei den verbrennungstechnischen Eigenschaften sind inzwischen belastbare Bestimmungsverfahren entwickelt, die auf der Basis verbrennungstechnischer Kennzahlen einen Vergleich mit Regelbrennstoffen ermöglichen. Zukünftig sollte eine Kennwertvalidierung an Pilot- und Betriebsanlagen mit Schwerpunkt Rost- und Staubschichtfeuerungen, aber auch in Wirbelschichtfeuerungen durchgeführt und ein Klassifizierungssystem erstellt werden. Bei der Herstellung von EBS sollte sowohl auf die Begrenzung kritischer Inhaltsstoffe wie beispielsweise Cl und Hg geachtet und Entwicklungen zur Reduktion der bisher hohen Gesamtproduktionskosten für SRF vorangetrieben werden.

Literatur

- [1] Beckmann, M., Scholz, R.: Energetische Bewertung der Substitution von Brennstoffen durch Ersatzbrennstoffe bei Hochtemperaturprozessen zur Stoffbehandlung; Teil 1+2 in ZKG International 52, 1999
- [2] Seifert, H., Johnke, B.: CO₂-Minderung durch energetische Abfallverwertung, GVC-Jahrestagung, Karlsruhe, 2004

Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen für den Einsatz in Industrie- und Kraftwerksfeuerungen

/ Prof. Dr.-Ing. H. Seifert, Prof. Dr.-Ing. T. Kolb, Dr.-Ing. H.-J. Gehrman, Prof. Dr.-Ing. M. Beckmann, Prof. Dr.-Ing. S. Flamme, Prof. Dr.-Ing. R. Scholz

- [3] DIN CEN-TS 15359, Feste Sekundärbrennstoffe und Klassen (Vornorm) 2006
- [4] www.fead.be/events_docs/Zucchelli.Fiseassoambiente, Cologne, Oct. 2006
- [5] Seifert, H., Vehlow, J.: "Drivers and Obstacles for more energy from waste"-workshop, IEA, Bioenergy TASK 36 "Optimising energy recovery from municipal solid waste", 14. April 2008, Frankfurt
- [6] Thiel, S.: Systematische Analyse der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland, Energie aus Abfall (Hrsg. K.J. Thomé-Kozmiensky, M. Beckmann), Band 1, 2006, S. 63 – 103
- [7] Lechtenböhmer, S.; Nanning, S.; Hillebrand, B.; Buttermann, H.-G.: Einsatz von Sekundärbrennstoffen. Forschungsbericht 20442203/02 zum Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Dessau, 2006, S. 9
- [8] Thiel, S.: Ersatzbrennstoffe in Kohlekraftwerken, Dissertation, TK-Verlag, Neuruppin 2007
- [9] ERFO – European Recovered Fuel Organisation: „SRF: achieving environmental and energy-related goals markets“, June 2006. (estimates refer to SRF derived from High Calorific Fraction of MSW, bulky waste, mixed commercial waste and from production specific wastes)
- [10] Beckmann, M., Thomé-Kozmiensky, K.-J.: Das Ersatzbrennstoffproblem – Aufkommen, Charakterisierung und Einsatz. Ersatzbrennstoffe 5 – Herstellung und Verwertung (Hrsg. K.-J. Thomé-Kozmiensky), 2005, S. 3 – 32
- [11] VDI-Richtlinie 3460, Teil 2
- [12] Glorius, T.: Stand der Gütesicherung von Sekundärbrennstoffen und Bedeutung für die klassische MVA. VDI-Seminar 430407, Neuss 2002
- [13] RAL-GZ724 Gütesicherung „Sekundärbrennstoffe“, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.“, Juni 2001
- [14] Flamme, S.: „Qualitätssicherung in Aufbereitungsanlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen“, Energie aus Abfall, (Hrsg. K.-J. Thomé-Kozmiensky), 2006, s. 431 – 438
- [15] VGB-Richtlinie R210 „Charakterisierung von Kraftwerkskohlen“
- [16] AiF-Projekt, Nr. 14894 BG/4: „Substitution von Regelbrennstoffen durch Ersatzbrennstoffe“
- [17] Bleckwehl, S.; Riegel, M.; Kolb, T.; Seifert, H.: „Kennzahlen zur quantitativen Beschreibung des Abbrandes von Ersatzbrennstoffen“, Ersatzbrennstoffe 5 – Herstellung und Verwertung (Hrsg. K.-J. Thomé-Kozmiensky), 2005, S. 3 – 32
- [18] Gehrman, H.-J., Kolb, T., Seifert, H.: „Charakterisierung der verbrennungstechnischen Eigenschaften fester Brennstoffe“

fe“, Abfalltage Baden-Württemberg, Stuttgart, 26.09.06

- [19] Seifert, H.: Waste-to-Energy: „Ersatzbrennstoffe für den Kraftwerkseinsatz“, Process-Net-Jahrestagung 2007, CIT 9, 2007, S. 1328-1329

- [20] Dissertation Bleckwehl, S.; in Vorbereitung, Universität Stuttgart

- [21] Alwast, H. (Prognos): Ersatzbrennstoffmarkt – Entwicklung in Deutschland – Menge, Preise, Markttendenzen. 19. Kasseler Abfall- und Bioenergieforum, 2007

