

Ersatz- und Sekundärbrennstoffe aus Abfällen

- Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung des Verbrennungsverhaltens

Thomas Marzi¹, Kai Keldenich¹, Klaus Görner²

¹Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT, Oberhausen;

²Lehrstuhl f. Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik LUAT Universität Duisburg-
Essen

Refuse Derived Fuels - Development of a Characterisation Method for the Combustion Behaviour

Abstract

Renewable primary products and refuse derived fuels will gain in importance in combustion technology. While the behaviour of fossil fuels like coal, crude oil and gas is well-known, there are still many uncertainties about the behaviour of refuse derived fuels in combustion plants. Conventional methods for the characterisation of fuels are not sufficient for an estimation, since there is no information about the release of volatile compounds at different temperatures and the calorific value of the volatile compounds.

This article describes the development of a new method for the characterisation and classification of different fuels. The main principle of the method is the examination of the release of volatile compounds at well-defined temperatures. The results provide information about the nature of the released volatile compounds at different temperatures and about their calorific value. The results can be used for the optimisation of plant engineering and construction as well as for line operation.

Abstract deutsch

In der Verbrennungstechnik gewinnt die energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und Ersatz- bzw. Sekundärbrennstoffen, die aus Abfällen oder Reststoffen erzeugt werden, eine immer größere Bedeutung. Während das Verhalten herkömmlicher fossiler Energieträger wie Kohle und Öl in Feuerungen gut untersucht ist, bestehen große Unsicherheiten bei der Einschätzung des Abbrandverhaltens von Ersatz-/ Sekundärbrennstoffen, da sie in ihrer Zusammensetzung stark schwanken und somit ein sehr unterschiedliches Verhalten in der Verbrennung zeigen. Herkömmliche Charakterisierungsmethoden sind für eine Beurteilung von Ersatzbrennstoffen nicht optimal geeignet, da sie keine Aussage über die temperaturabhängige Freisetzung flüchtiger Komponenten und deren Heizwert erlauben.

Im vorliegenden Beitrag wird die Entwicklung einer Methode zur Charakterisierung der feuerungstechnisch relevanten Eigenschaften unterschiedlicher Brennstoffe für Verbrennungsprozesse vorgestellt. Deren Prinzip beruht darauf, die Freisetzung flüchtiger Stoffe in Abhängigkeit von der Temperatur zu bestimmen. Die Ergebnisse erlauben Aussagen zum Heizwert, der bei unterschiedlichen Temperaturen freigesetzten flüchtigen Komponenten sowie zu deren Zusammensetzung. Hieraus lassen sich Aussagen zum Heizwert der, auf einem Verbrennungsrost freigesetzten flüchtigen Stoffe ableiten.

Die Ergebnisse können als Grundlage zur Optimierung des Anlagenbetriebs und zur Auswahl und Herstellung geeigneter Brennstoffe herangezogen werden.

Keywords

refuse derived fuels, characterisation of fuels, volatile compounds, fixed carbon, heating value, combustion, pyrolysis, firing system, MARS[®] plant, decentral plant concepts

Ersatzbrennstoffe, Sekundärbrennstoffe, Brennstoffcharakterisierung, Flüchtige Bestandteile, fixer Kohlenstoff, Heizwert, Verbrennung, Pyrolyse, Feuerungssysteme, MARS[®]-Anlage, dezentrale Anlagenkonzepte

1 Biomasse- und Ersatzbrennstoffe als Energieträger - Herausforderung für die Verbrennungstechnik

1.1 Brennstoffe aus Biomassen, Ersatz- und Sekundärbrennstoffe

Knapper werdende Ressourcen fossiler Rohstoffe lassen Engpässe und Preisanstiege für konventionelle Energieträger erwarten, deren erste Anzeichen schon heute deutlich spürbar sind. Eine zentrale Aufgabe von Forschung und Innovation muss es somit sein, die effiziente Bereitstellung und Nutzung umweltgerechter und kostengünstiger Energie dauerhaft zu gewährleisten. Bei der Suche nach Alternativen zu fossilen Brennstoffen richtet sich die Aufmerksamkeit mit Biomasse und Brennstoffen, die aus Abfällen erzeugt werden, wieder verstärkt auf Materialien, die im Prinzip bereits im vorindustriellen Zeitalter genutzt wurden, jedoch jetzt unter den Vorgaben einer modernen Anlagentechnik neu bewertet werden müssen. Die energetische Nutzung von Biomasse gilt als kohlendioxidneutral, obwohl, ebenso wie bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen, Kohlendioxid entsteht. Bei nachhaltiger Erzeugung der Biomasse wird jedoch - im Gegensatz zu einer Energiewirtschaft mit fossilen Energieträgern - eine äquivalente Menge Kohlendioxid durch nachwachsende Biomasse wieder gebunden, so dass im Idealfall der Erdatmosphäre nur so viel Kohlendioxid zugeführt wird, wie ihr die Pflanzen zuvor in der Wachstumsphase entnommen haben.

Brennstoffe, die aus Abfällen oder sekundären Rohstoffen hergestellt werden, bezeichnet man als Ersatzbrennstoffe oder Sekundärbrennstoffe. Sie sollen - wie die Bezeichnung Ersatzbrennstoff bereits deutlich macht - fossile Brennstoffe in bestimmten Prozessen als Regelbrennstoff ersetzen. Heute substituieren Ersatzbrennstoffe bereits kohlenstoffhaltige Rohstoffe in Zementwerken, Hoch- und Kupolöfen. Für den Aufbau einer nachhaltigen Energiewirtschaft ist jedoch ihre Verwertung durch Mitverbrennung in Braun- und Steinkohlekraftwerken und dezentralen Monoverbrennungsanlagen anzustreben. Ein Beispiel für eine dezentrale Anlage stellt das MARS[®]-Anlagenkonzept dar, das im Folgenden beschrieben wird.

1.2 MARS[®]-Anlage (Modulare Anlage zur Rückstandsoptimierten Stoffbehandlung)

Die MARS[®]-Anlage (Modulare Anlage zur Rückstandsoptimierten Stoffbehandlung) baut auf einem modular strukturierten Anlagenkonzept zur energetischen Verwertung von Biomassen und Ersatz-/Sekundärbrennstoffen auf (Abbildung 1). In der am Standort Essen der Universität Duisburg-Essen betriebenen Versuchsanlage mit einer thermischen Leistung von 0,99 MW können Verbrennungsversuche mit einem Durchsatz von maximal 450 kg/h durchgeführt werden. Die MARS[®]-Versuchsanlage wird vom Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT sowie dem Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT) der Universität Duisburg-Essen betrieben (GÖRNER ET AL. 2004).

Die variable Kombination und Auslegung der einzelnen Module ermöglicht die Konzeption maßgeschneiderter Anlagen für spezielle Verbrennungsaufgaben, um z. B. heizwertreiche Fraktionen energetisch vor Ort zu verwerten und Energie dezentral bereitzustellen. Die Versuchsanlage verfügt zur Anpassung an Heizwerte von 8.000 bis 16.000 kJ/kg über einen wassergekühlten Vorschubrost und eine Gleichstromfeuerung. Die quasi-trockene Rauchgasreinigung setzt sich aus Quench, Gewebeentstauber mit automatischer Abreinigung sowie einem Katalysator mit zusätzlichem Ozongenerator und Quecksilbersorption zusammen. Weiterhin verfügt die Anlage über eine Einrichtung zur Zudosierung von Trockensorptionsmitteln mit der Additive wie Kalkhydrat, Naturzeolite, Aktivkohle oder eine Mischung aus unterschiedlichen Additiven in den Rauchgasstrom zudosiert werden können. Über den vorhandenen Wärmetauscher lässt sich die Wärme auskoppeln.

1.3 Feuerungstechnische Eigenschaften von Ersatzbrennstoffen

Die Herstellung von Ersatzbrennstoffen wird durch gesetzliche Vorgaben begünstigt. So dürfen in Deutschland nach der Abfallablagerungsverordnung seit dem 1. Juni 2005 Abfälle, die einen vorgegebenen organischen Kohlenstoffgehalt überschreiten, nicht mehr deponiert werden (ABFABLV, 2002). Neben Biomassen, die ergänzend zum Holz auch unkonventionelle Materialien wie Grasschnitt, Olivenkerne, Stroh und vieles andere mehr enthalten können, stehen Stoffe, die bisher kostengünstig auf Deponien abgelagert wurden, als potenzielle, wirtschaftlich interessante Brennstoffe zur Verfügung. Diese Rahmenbedingungen führen dazu, dass eine Vielzahl neuer Brennstoffe und Brennstoffmischungen auf den Markt gelangen. Im Vergleich zu den bisher eingesetzten fossilen Energieträgern ist die Qualität dieser Materialien größeren Schwankungen unterworfen, und es ist zunächst nicht bekannt, wie sich die neuen Brennstoffe in einer Feuerung verhalten. Qualitätssicherungsmaßnahmen (BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT SEKUNDÄRBRENNSTOFFE, 2001) zielen meist auf die Einhaltung von Umweltstandards ab

und lassen keine ausreichenden Aussagen zum Verhalten der Brennstoffe in einer Feuerungsanlage zu. Hieraus ergeben sich neue Herausforderungen für Planung, Bau und Betrieb von Verbrennungsanlagen. Zu deren Lösung wird ein Verfahren benötigt, das das Verhalten von Brennstoffen in unterschiedlichen Feuerungssystemen beschreibt und Brennstoffe ebenso eindeutig charakterisiert wie ein menschlicher Fingerabdruck seinen Träger. Mit Hilfe eines solchen »Brennstoff-Fingerprints« können Abweichungen zum Regelbrennstoff bereits im Vorfeld erkannt und bewertet werden. Letzteres ermöglicht eine Vergrößerung der nutzbaren Brennstoffvielfalt.

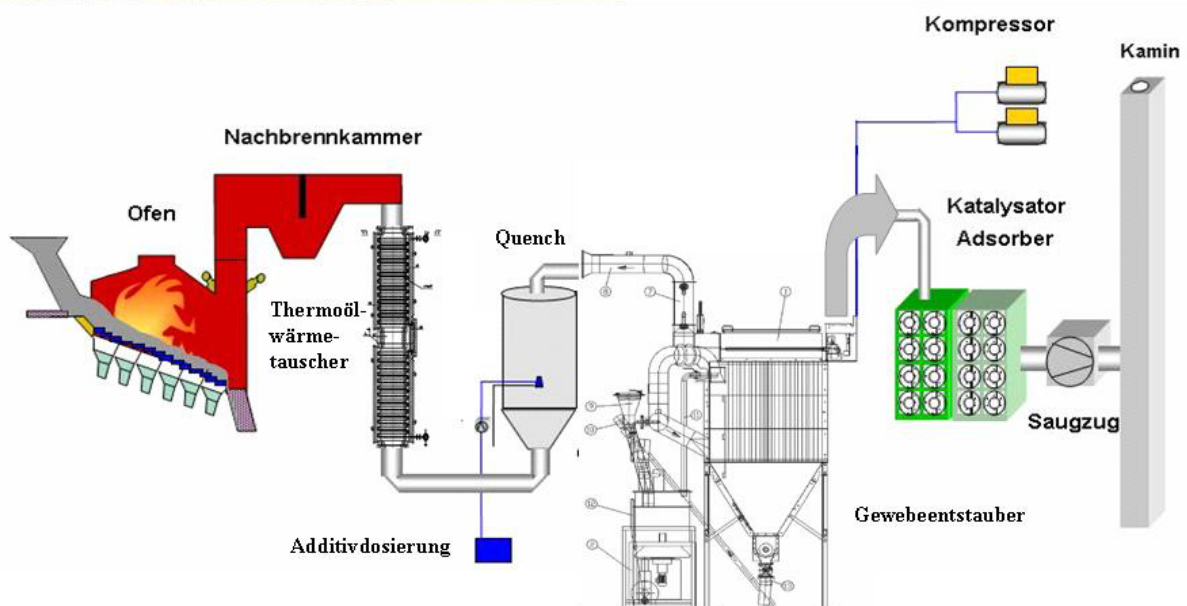


Abbildung 1 Aufbau der MARS®-Anlage

2 Verbrennungsprozesse und konventionelle Brennstoffprüfung

2.1 Verbrennungsprozesse in Rostfeuerungsanlagen

Bei der Verbrennung eines Feststoffs wird durch Energiezufuhr der Brennstoff thermisch zersetzt. Dabei werden chemische Bindungen in der Struktur des Brennstoffs aufgebrochen und die gebildeten Produkte freigesetzt. Diese werden, da sie gasförmig

aus dem Brennstoff austreten, auch als »flüchtige Bestandteile« oder »Flüchtige« bezeichnet und bilden bei einem entsprechenden Mischungsverhältnis mit Sauerstoff ein entzündliches Gasmisch. Während des Entgasungsprozesses bildet sich im Brennstoffbett die so genannte Koksphase, die sich sehr viel schlechter entzündet als die flüchtigen Bestandteile. Je nach Verhältnis von Flüchtigen- und Koksanteil sind andere Anforderungen an die Anlagengestaltung und Prozessführung zu stellen. Dies ist beim Einsatz neuer Brennstoffe besonders bedeutsam, da bei Biomassen und Ersatzbrennstoffen die flüchtigen Bestandteile in der Regel von weit größerer Bedeutung sind als bei Kohlen.

Für Biomassen und Ersatzbrennstoffe bietet sich in vielen Fällen der Einsatz einer so genannten »Rostfeuerungsanlage« an. In einer solchen Anlage wird der Brennstoff durch die Bewegung von Rostsegmenten über den Rost transportiert und geschürt. Dabei wird dem Brennstoff die so genannte Primärluft zugeführt. Der Brennstoff durchläuft auf dem Rost unterschiedliche Zonen. Unmittelbar nach der Aufgabe des Brennstoffs auf den Rost beginnt die Trocknung, gefolgt von ersten Zersetzungsreaktionen, durch die die Flüchtigen gebildet und freigesetzt werden. Diese Flüchtigen verbrennen zum Teil direkt durch Reaktion mit der Primärluft, teilweise gelangen sie in den Nachverbrennungsbereich, wo sie mit weiterer Luft (Sekundärluft) gemischt werden und im Idealfall vollständig verbrennen. Nach der Entgasung des Brennstoffs setzt die Reaktion des Koksrückstandes bei höheren Temperaturen ein. Unterschiedliche Anteile und Heizwerte von flüchtigen Bestandteilen und Koks sowie die Temperaturen, bei denen die flüchtigen Bestandteile freigesetzt werden, erfordern unterschiedlich abgestufte Primär- und Sekundärluftmengen. Die Verbrennung kann durch die Anordnung der Luftdüsen und die Feuerraumgeometrie (Luftführung) optimiert werden.

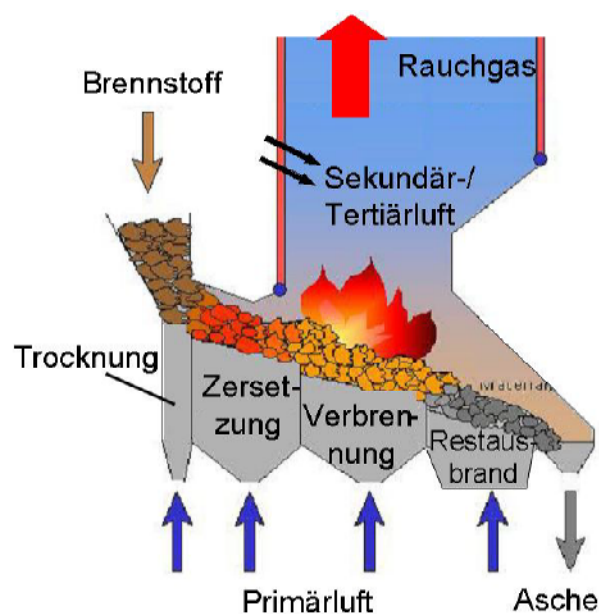


Abbildung 2 Ideale Verteilung von Verbrennungszuständen bei einer Rostfeuerung

2.2 Konventionelle Brennstoffprüfung

Die gängigen Methoden zur Brennstoffuntersuchung wurden in erster Linie für fossile Energieträger entwickelt und konnten mit einer umfangreichen Datenbasis aus Betriebserfahrungen abgeglichen werden. Aus diesem Grund lassen sich aus den Ergebnissen, die aus den genannten Untersuchungsmethoden erhalten werden, realistische Rückschlüsse auf das Verhalten von Kohlen in einer Verbrennungsanlage ziehen. Bei Biomassen und Ersatzbrennstoffen mit ihren sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen liegen diese Erfahrungen jedoch meist nicht vor.

Zur Charakterisierung von Kohlen wurden bereits eine Reihe genormter Verfahren entwickelt. Eines dieser Verfahren (DIN 51990 1-3) zielt auf die Bestimmung des Heizwertes ab, also der Wärmemenge, die aus einer bestimmten Masse des Brennstoffs freigesetzt wird. Dabei wird jedoch nur eine pauschale Aussage zur umgesetzten Energie bei einer vollständigen Verbrennung des Brennstoffs abgeleitet. Wie sich der Heizwert auf die flüchtigen Bestandteile und den Koksanteil aufteilt, ist nicht bekannt. Ebenso wird bei der konventionellen Bestimmung der flüchtigen Bestandteile (DIN 51720) lediglich die Masse der Flüchtigen ermittelt. Um welche Stoffe es sich bei ihnen handelt, welchen Heizwert sie haben und wie sie sich bei verschiedenen Zersetzungstemperaturen unterscheiden, wird dabei nicht bestimmt. Dass die alleinige Betrachtung des Heizwertes zur Charakterisierung des Verbrennungsverhaltens nicht ausreicht, wird von Experten immer wieder betont (KOCK, 2003, SEEGER ET AL., 2003, SCHOLZ ET AL., 1999). Ein aussagekräftiger Fingerprint eines Brennstoffs muss vielmehr Informationen zu Art, Menge und Heizwert der bei unterschiedlichen Temperaturen freigesetzten flüchtigen Bestandteile enthalten.

3 Der Brennstoff-Fingerprint

3.1 Vorgehensweise

Da der Verbrennungsvorgang eine Überlagerung aus Zersetzungs- und Oxidationsschritten darstellt, kann das Verbrennungsverhalten durch die gestufte Betrachtung dieser Prozesse untersucht werden. Die Abnahme des Brennstoff-Fingerprints erfolgt deshalb nach dem in Abbildung 3 dargestellten Prinzip.

Im ersten Schritt wird die zu untersuchende Probe unter Sauerstoffmangel bei unterschiedlichen Temperaturen zersetzt. Aufgrund der komplexen Zusammensetzung des gebildeten Substanzgemisches ist eine analytische Charakterisierung nur eingeschränkt und mit hohem Aufwand möglich. Deshalb werden die flüchtigen Bestandteile in einem zweiten Schritt verbrannt und das Produktspektrum hierdurch so vereinfacht, dass nur noch die Produkte Kohlendioxid (CO_2), molekularer Stickstoff (N_2) und Wasser (H_2O) vorliegen, die anschließend automatisiert erfasst und bestimmt werden. Hieraus erhält

man Informationen zur Zusammensetzung der Flüchtigen bei unterschiedlichen Temperaturen, d.h. zu ihrem Kohlenstoff-, Stickstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt. Aus der Zusammensetzung der flüchtigen Bestandteile kann ihr Heizwert berechnet werden (BOIE, 1957).

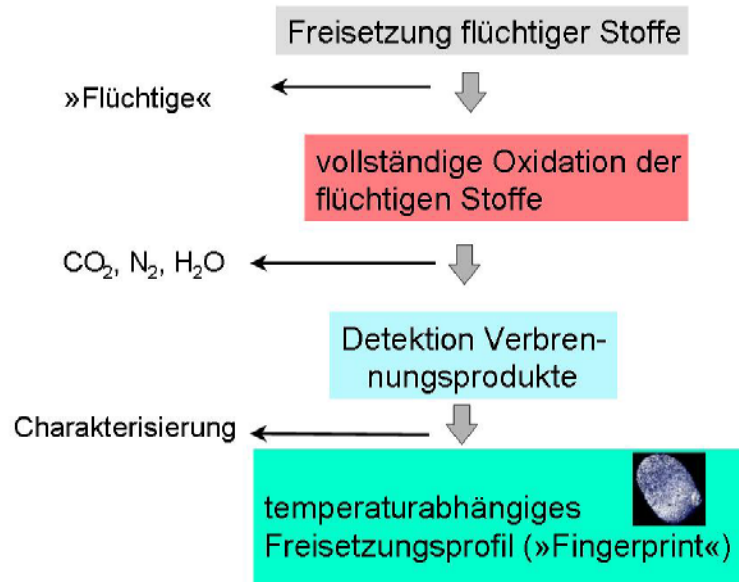


Abbildung 3 Messprinzip

Durch die anschließende Oxidation der Zersetzungsrückstände werden schließlich auch Daten zur Zusammensetzung und zum Heizwert des Koksanteils ermittelt. Diese Informationen ergeben zusammen den »Fingerprint« des Brennstoffs. Er enthält Angaben zur

- Heizwertverteilung auf Flüchtige und Koksphase und zur
- Freisetzungsrate der Flüchtigen bei unterschiedlichen Temperaturen

Damit die Methode in nahezu jedem Brennstofflabor automatisiert eingesetzt werden kann, wurde ein handelsüblicher Elementaranalysator messtechnisch modifiziert.

3.2 Fingerprint für unterschiedlich Brennstoffe

Abbildung 4 zeigt die abgenommenen Fingerprints für die beispielhaft ausgewählten Brennstoffe Braunkohle und Holz sowie einen aus Gewerbeabfall erzeugten Brennstoff. Es wird deutlich, dass der Anteil, den die flüchtigen Bestandteile am Gesamtheizwert haben, sehr unterschiedlich ist. Er ist bei der Braunkohle am geringsten und weist den höchsten Wert beim Brennstoff aus Gewerbeabfall auf. Neben dem Verhältnis von Flüchtigen und Koks-Anteil ist entscheidend, bei welchen Temperaturen die Flüchtigen aus den Brennstoffen freigesetzt werden. Bezogen auf den Heizwert, wird bei der Braunkohle ein relativ großer Anteil der Flüchtigen erst in einem relativ hohen Tempera-

turbereich freigesetzt. Dieser Anteil ist beim Brennstoff aus Gewerbeabfall kaum von Bedeutung, während auch beim Holz im höheren Temperaturbereich noch bedeutende Anteile heizwerthaltiger Stoffe aus dem Brennstoff freigesetzt werden.

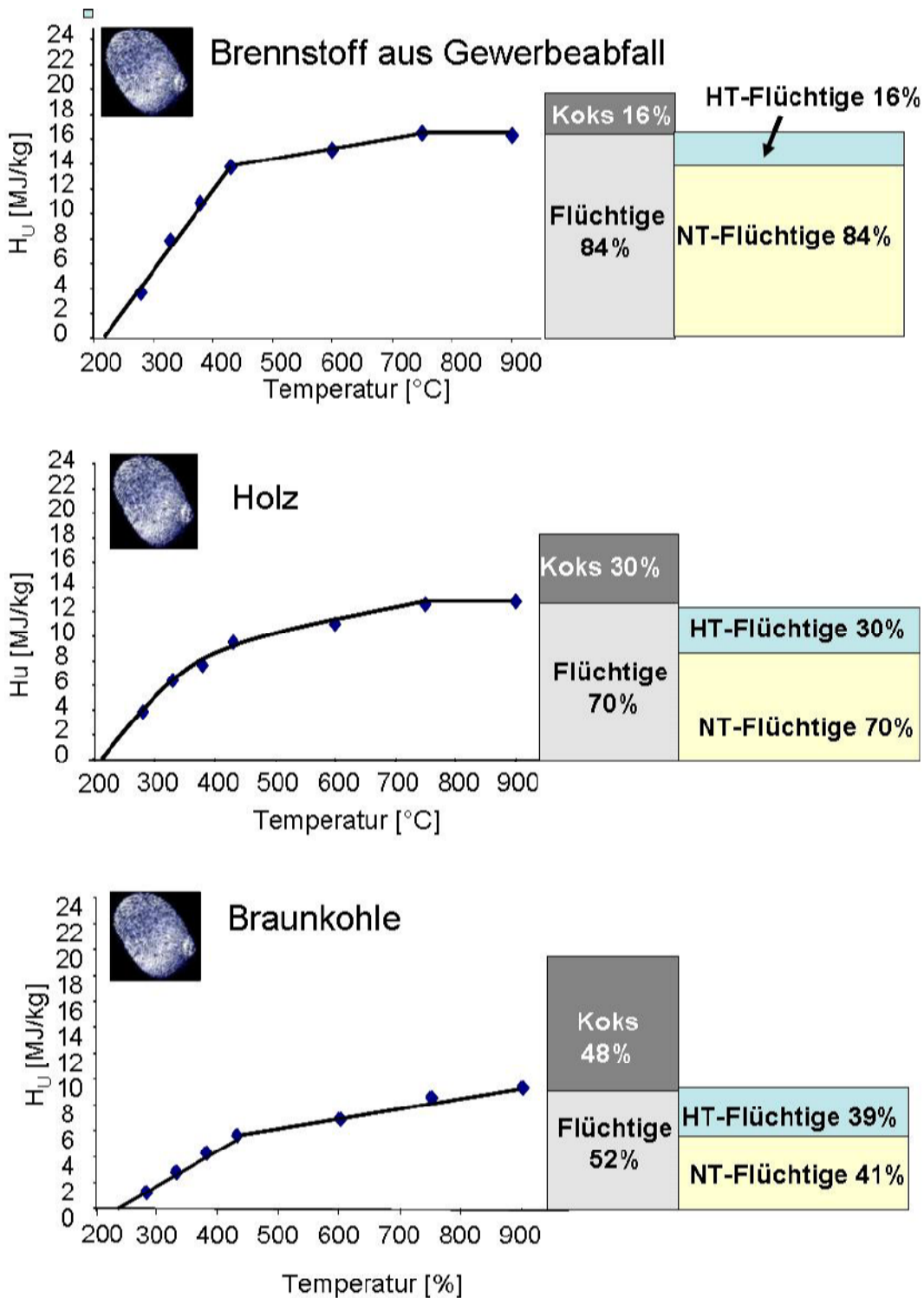


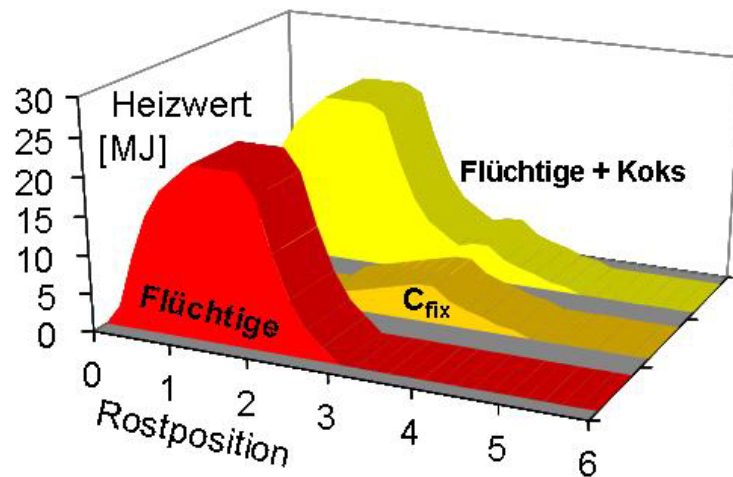
Abbildung 4 Brennstoff-Fingerprint für unterschiedliche Brennstoffe [H_u = unterer Heizwert, HT-Flüchtige= Flüchtige die erst bei höheren Temperaturen (> 430°C) freigesetzt werden, NT-Flüchtige= Flüchtige, die schon bei niedrigeren Temperaturen (< 430°C) freigesetzt werden] (alle Werte beziehen sich auf den trockenen Brennstoff)

Aus den Daten lassen sich qualitative und quantitative Aussagen zum Verbrennungsverhalten der Brennstoffe ableiten: Bei Brennstoffen mit hohem Koksanteilen und/oder relativ großen Mengen flüchtiger Bestandteile, die erst bei hohen Temperaturen freigesetzt werden (Braunkohle), ist bei vergleichbarer Korngröße ein langsamerer Ausbrand zu erwarten als bei Brennstoffen, die einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen haben und diese auch in einem niedrigen Temperaturbereich freisetzen (Brennstoff aus Gewerbeabfall). Das Holz ist in seinen Brennstoffeigenschaften zwischen Braunkohle und dem untersuchten Brennstoff aus Gewerbeabfall anzusiedeln.

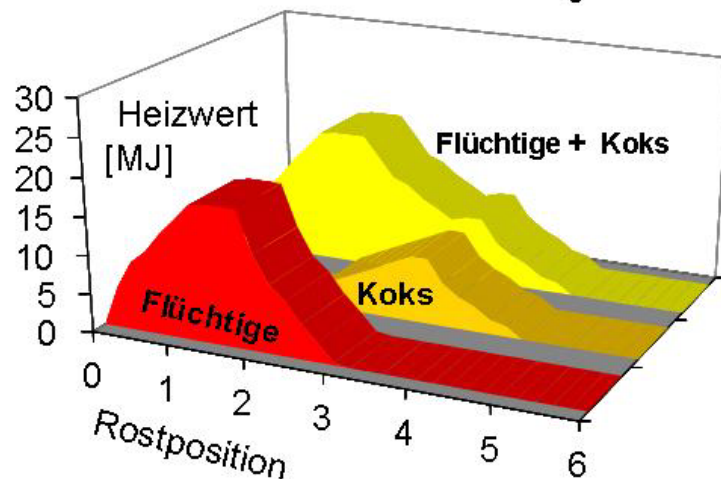
3.3 Übertragung der Messergebnisse auf einen Verbrennungsrost

Quantitative Informationen lassen sich ableiten, indem die Daten aus den Fingerprints auf das rechnerische Modell einer Verbrennungsanlage übertragen werden. Zur Visualisierung der Daten wurde deshalb in einem ersten Schritt ein Modell für das Brennbett einer Rostfeuerungsanlage mit einer festliegenden Temperaturverteilung aufgestellt, das in einem weiteren Schritt noch auf ein iterativ ermitteltes Temperaturfeld erweitert werden soll. Bei Annahme eines bestimmten Verbrennungsszenarios (Durchsatz, Feuerraum hold-up und Verweilzeit) wird das Heizwertinventar aus Flüchtigen und Koksverbrennung für unterschiedliche Positionen des Brennbetts abgeleitet. Die Ergebnisse sind beispielhaft in Abbildung 5 für die Brennstoffe Braunkohle und Holz sowie den aus Gewerbeabfall erzeugten Brennstoff dargestellt. In der Abbildung entspricht Rostposition »0« der Stelle, an der der Brennstoff in die Anlage eingebracht wird. An Position »6« findet der Ascheaustrag aus dem Brennraum statt. Dargestellt sind der Heizwert der in unterschiedlichen Rostzonen freigesetzten flüchtigen Bestandteile, der Heizwert aus der Koksverbrennung sowie die Überlagerung der beiden Prozesse. Das Verbrennungsszenario wurde an die Auslegungsdaten der MARS[®]-Anlage angepasst.

Beim Brennstoff aus Gewerbeabfall wird der größte Teil der heizwertreichen Verbindungen zwischen Rostposition 1 und 2 freigesetzt und die Zone, in der die Flüchtigen freigesetzt werden, überschneidet sich nur wenig mit der Zone, in der die Koksverbrennung stattfindet. Der Hauptteil des Heizwertinventars ist beim Gewerbeabfall auf die flüchtigen Bestandteile zurückzuführen. Beim Holz wird im Vergleich zum Gewerbeabfall ein größerer Teil der Flüchtigen erst bei höheren Temperaturen freigesetzt. Hierdurch und durch die vermehrte Koksbildung beim Holz überlagern sich die Zonen für die Koksverbrennung und die Flüchtigenfreisetzung deutlich mehr als beim Gewerbeabfall. Eine noch intensivere Überlagerung dieser Zonen ist bei der Braunkohle festzustellen. Hier werden die flüchtigen Bestandteile wesentlich langsamer freigesetzt als bei Holz und Gewerbeabfall. Besonders beim Gewerbeabfall treten unmittelbar nach der Brennstoffaufgabe bereits relativ viele heizwertreiche Verbindungen auf.

(a) Brennstoff aus
Gewerbeabfall

(b) Holz



(c) Braunkohle

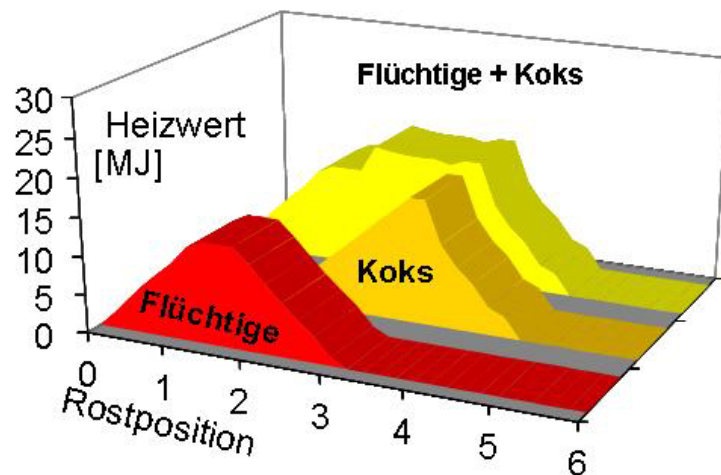


Abbildung 5 Heizwertfreisetzung auf einem Rost für unterschiedliche Brennstoffe (alle Werte beziehen sich auf den trockenen Brennstoff). Angepasst an die Auslegungsdaten der MARS®-Anlage liegen dem Szenario folgende Annahmen zugrunde: Durchsatz: 0,5 t/h, Hold-up Feuerraum: 0,38 t, Verweilzeit 45 min)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde die Entwicklung einer Methode dargestellt, mit der die temperaturabhängige Freisetzung flüchtiger Bestandteile sowie deren Zusammenset-

zung und Heizwert untersucht werden kann. Aus den Ergebnissen lassen sich wichtige Informationen über das Entgasungsverhalten von Brennstoffen in einem Verbrennungsprozess ableiten und Optimierungen im Anlagenbetrieb und bei der Auslegung von Anlagen vornehmen. Zusätzlich werden die klassischen Brennstoffparameter wie Aschegehalt, Flüchtige, fixer Kohlenstoff (C_{fix}), Heizwert und Elementarzusammensetzung mit erfasst. Die Ergebnisse wurden beispielhaft auf den Verbrennungsprozess in der Rostfeuerungsanlage MARS[®] angewendet.

Als Weiterführung der Arbeiten ist eine Erfassung von Chlor- und Schwefelverbindungen sowie die Implementierung kinetischer Daten zum Ausbrandverhalten vorgesehen. Mittelfristig werden die experimentellen Daten mit einem Verbrennungs- und Feuerraummodell gekoppelt, in dem die Temperaturverteilung auf dem Rost iterativ mit dem Heizwert des Brennstoffs verknüpft ist.

Ziel ist die Ableitung feuerungstechnisch relevanter Kenndaten, die als Qualitätsparameter in die Gütesicherung einfließen können. In diesem Zusammenhang müssen Werkzeuge entwickelt werden, mit denen auf Basis der abgeleiteten Kenndaten das Verhalten von Brennstoffen in unterschiedlichen Feuerungssystemen simuliert werden kann.

5 Literatur

- | | | |
|--|------|--|
| AbfAbIV | 2002 | Abfallablagereungsverordnung (Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen) vom 20. Februar 2001 (BGBl. I, Seite 305); geändert durch Artikel 2 V vom 24. Juli 2002 (BGBl. I, Seite 2807) |
| Boie, W. | 1957 | Vom Brennstoff zum Rauchgas, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig |
| Bundesgütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe | 2001 | Güte- und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe, Berlin |
| DIN 51720 | 2001 | Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen |
| DIN 51900-1 | 2004 | Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bombenkalorimeter und Berechnung des Heizwertes - Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren |
| DIN 51900-2 | 2003 | Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bombenkalorimeter und Berechnung des Heizwertes – Verfahren mit isothermen Wassermantel |

- | | | |
|------------------------------------|------|--|
| DIN 51900-3 | 2005 | Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe – Bestimmung des Brennwertes mit dem Bombenkalorimeter und Berechnung des Heizwertes – Verfahren mit adiabatischem Material |
| Görner; K., Keldenich, K. | 2004 | Thermische Nutzung von festen Biomassen und Abfällen im Projekt MARS, 14. DVV Kolloquium, Wien, 18.-20.11.2004 |
| Kock, O. | 2003 | Potentiale regenerativer Festbrennstoffe und die Notwendigkeit der Charakterisierung ihres Brennverhaltens, Chemie-Ingenieur-Technik 75, S. 905ff |
| Scholz, R. , Beckmann, M. | 1999 | Kriterien zur Substitution von Regelbrennstoffen durch Ersatzbrennstoffe, in K. Wiemer, M. Kern (Hrsg), Bio- und Restabfallbehandlung III Baeza-Verlag Witzenhausen |
| Seeger, H., Kock, O. , Urban, A.I. | 2003 | Experimentelle Bestimmung des Verbrennungsverhaltens von Abfällen; in Urban, Bilitewski, Faulstich (Hrsg), 8. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung, Schriftenreihe des Fachgebiets Abfalltechnik Universität Kassel ISBN 3-937022-01-5 |

Anschrift der Verfasser

Dr. Thomas Marzi

Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Osterfelderstraße 3

46047 Oberhausen

Tel.: +49 (0)208/8598-1230 Fax: +49 (0)208/8598-1424

E-mail: thomas.marzi@umsicht.fraunhofer.de

www.umsicht.fraunhofer.de

Dr. Kai Keldenich

Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT

Osterfelderstraße 3

46047 Oberhausen

Tel.: +49 (0)208/8598-1167 Fax: +49 (0)208/8598-1424

E-mail: kai.keldenich@umsicht.fraunhofer.de

www.umsicht.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner
Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik
Leimkugelstraße 10
45141 Essen
Tel.: +49 (0)201 183-7510 Fax: +49 (0)201 183-7513
E-mail: klaus.goerner@uni-due.de
www.luat.uni-due.de