

# Probleme beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kleinen dezentralen Anlagen

Dipl.-Ing. K. Schroer  
Dr.-Ing. P. Gillmann  
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Görner

**23. Deutscher Flammentag**  
12./13.09.2007  
Berlin  
VDI-Berichte Nr. 1988, 2007  
S. 475-480



**Lehrstuhl für  
Umweltverfahrenstechnik  
und Anlagentechnik**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. K. Görner



### **Copyright**

Dieser Beitrag ist geistiges Eigentum der Autoren und des Lehrstuhls für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik der Universität Duisburg-Essen.

Er darf nur in der umseitigen Form zitiert werden.

Die Verwendung von Bildern, Tabellen und Ergebnissen bedarf der Zustimmung der Autoren oder des Lehrstuhls.

**Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik  
und Anlagentechnik  
Universität Duisburg-Essen**

Leimkugelstraße 10

45141 Essen

Tel.: +49 (0)201 183-7511

Fax: +49 (0)201 183-7513

[www.luat.uni-duisburg-essen.de](http://www.luat.uni-duisburg-essen.de)

Lehrstuhlinhaber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

## **Probleme beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kleinen dezentralen Verbrennungsanlagen**

Dipl.-Ing. **K. Schroer**, AOR, Dr.-Ing. **P. Gillmann**,  
Prof. Dr.-Ing. habil. **K. Görner**,  
Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT),  
Universität Duisburg-Essen, Essen

### **Kurzfassung**

Am Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik der Universität Duisburg-Essen wurden Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von Sekundärbrennstoffen auf einem wassergekühlten Vorschubrost durchgeführt. Transport- und Abbrandvorgänge im Brennraum wurden mit Hilfe einer Infrarot-Flächenkamera (IR-Kamera) erfasst und visualisiert. Im Rahmen dieser Versuche zeigte sich, dass der eingesetzte Sekundärbrennstoff, auf Grund des hohen Anteils an Flüchtigen, unmittelbar nach Eintritt in den Feuerraum pyrolysierte und nahezu vollständig in der Gasphase ausbrannte. Bedingt durch den raschen Abbrand sowie durch den geringen Aschegehalt kam es zu einer sehr geringen Brennstoff- und Aschebedeckung des Verbrennungsrostes. Dies verursachte einen starken Wärmeeintrag in Rostkühlsystem. Anhand der gesammelten Erfahrungen wurden Veränderungen an der Rostverbrennungsanlage vorgenommen, die es ermöglichen vergleichbare Brennstoffe einzusetzen.

### **Einleitung**

Die Wirtschaftlichkeit dezentraler Energiewandlungsanlagen ist verknüpft mit den Entsorgungskosten, dem Bedienaufwand, den Wartungs- und Instandhaltungskosten sowie dem Wirkungsgrad der Anlage. Um diesen Umständen genüge zu tragen ist es notwendig, Verfahren zu entwickeln, die ein breites Brennstoffband mit hohem Wirkungsgrad bei geringem Bedienaufwand verarbeiten können. In vielen Fällen ist ein konstantes Brennstoffangebot in der notwendigen Größe nicht vorhanden. Vielmehr bestehen jahreszeitliche oder produktionsbedingte Schwankungen in der Brennstoffqualität, was zu unterschiedlichen Belastungen der Verbrennungsanlage führt. Im Handling heterogener Brennstoffe haben sich die verschiedenen Arten von Verbrennungsrosten bewährt. Zur Abdeckung eines möglichst breiten Heizwert-Spektrums eignen sich in besonderer Weise wassergekühlte Rostsysteme. Hochkalorische Fraktionen lassen sich ebenso verbrennen wie niederkalorische Fraktionen. Im Fall hochkalorischer Brennstoffe wird überschüssige Wärme durch die Wasserkühlung der

Roststäbe abgeführt und gibt dem Bediener die Möglichkeit, die Primärluft in einem weiten Bereich unabhängig von der Roststabtemperatur zu variieren. Für den Fall niederkohlrischer und feuchter Brennstoffe lässt sich der Rost beheizen und trägt zur Trocknung der Brennstoffe bei, wodurch ein besseres Zündverhalten erreicht wird.

Bei der Verbrennung von Monofractionen mit hohem Flüchtig-Anteil geraten Rostsysteme bislang an ihre Einsatzgrenzen. Zu geringe Brennstoff-Transportgeschwindigkeiten auf dem Rost lassen eine Hauptbrennzone in unmittelbarer Nähe zum Aufgabeschacht entstehen und verhindern eine gleichmäßige Rostbedeckung. Des Weiteren werden große Mengen flüchtiger Bestandteile sowie CO und Ruß auf einer kleinen Fläche freigesetzt, was zu Strahlenbildung führt und eine Vermischung der Verbrennungsgase mit Sauerstoff zur Nachverbrennung erschwert.

Die Verwendung einer Infrarotkamera zur Erfassung der Brennstoffbett-Oberflächentemperatur bietet sich die Möglichkeit, das Brennstoffverhalten und die Brennstoffgeschwindigkeit auf dem Rost zu erfassen und zu bewerten. Anhand dieser Daten werden Methoden zur Roststeuerung untersucht sowie Möglichkeiten für eine Optimierung der Brennraumgeometrie beurteilt.

### Anlagenbeschreibung

Der Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik der Universität Duisburg-Essen verfügt über eine halbtechnische Abfall- und Biomasseverbrennungsanlage (**Bild 1**) an der Untersuchungen zum Verbrennungsverhalten von Biomassen, Abfällen und Sekundärbrennstoffen durchgeführt werden.

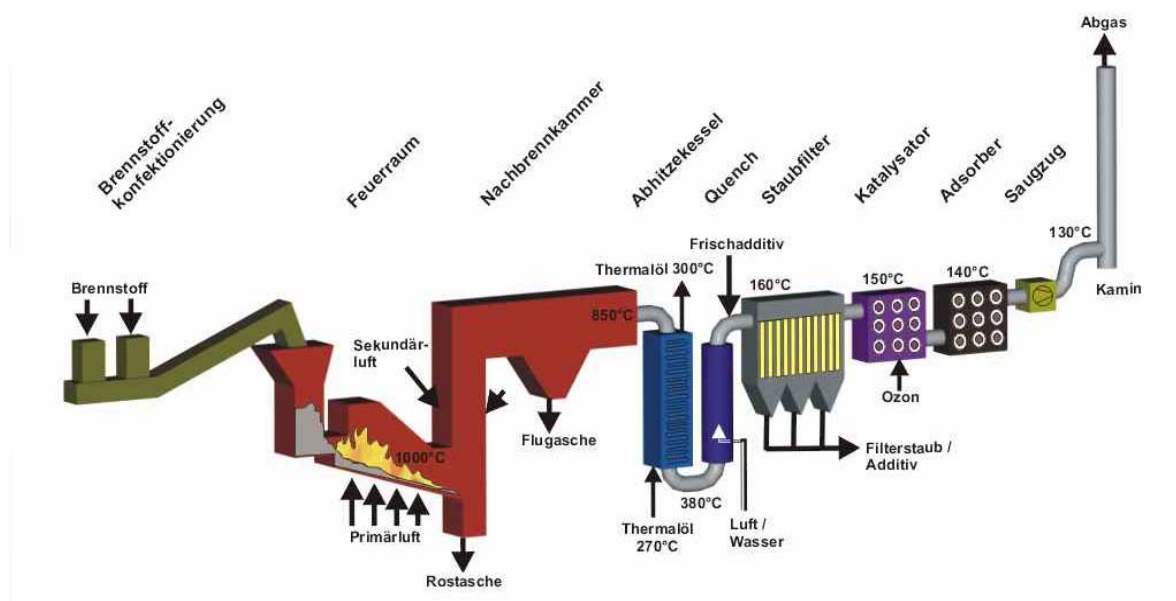


Bild 1: MARS Anlagenschema

Die wassergekühlte Rostfeuerung ist für eine thermische Leistung unterhalb 1 MW ausgelegt. Der Heizwert der verwendeten Brennstoffe kann zwischen 7 MJ/kg und 24 MJ/kg betragen, wobei ein Mittelwert von ca. 12 MJ/kg bei der Auslegung berücksichtigt wurde. Der Verbrennungsrost hat eine Länge von 4,3 m und eine Breite von 1,19 m. Die gesamte Rostfläche beträgt 5,11 m<sup>2</sup>. Über die Rostlänge sind vier Primärluftzonen verteilt. Das Rauchgas wird im Gleichstrom mit dem Brennstoff geführt und am Ende des Feuerraumes nach oben in die Nachbrennkammer geleitet. Die Rostasche wird in einen Entascher (Wasserbad mit Stegkettenförderer) abgeworfen und von dort in einen bereitgestellten Container transportiert. In der ausgemauerten Nachbrennkammer erreicht das Abgas eine Verweilzeit von über 2 Sekunden - nach Sekundärluftzugabe - bei einer Mindest-Temperatur von 850°C.

### Verbrennungsversuche

Die Versuchsanlage ist vor Beginn der Versuche mit Hilfe eines Heizöl-EL-Stüzbrenners auf die nötige Temperatur aufgeheizt worden. Als Brennstoff kam eine vorsortierte Mischung aus Kunststoffolie und Papier zum Einsatz. Der Anlieferungszustand war trocken und in Big-Bags verpackt. Die Versuche wurden mit einem konstanten Brennstoffmassenstrom von ca. 250 kg/h begonnen. Die Primär- und Sekundärluftmengen sind im Laufe des Versuchsbetriebes an die Verbrennungsbedingungen angepasst worden. Eine IR-Kamera zeichnete die Lage der Hauptbrennzonen sowie die Bewegung des Brennstoffbettes während des Versuchs durch eine Öffnung in der Brennkammerdecke auf. In **Bild 2** ist eine Infrarotaufnahme des Brennstoffbettes zu Beginn des Versuchs sowie eine Temperaturverteilung entlang der eingezeichneten Schnittlinie dargestellt. Der dargestellte Bereich erstreckt sich über nahezu die gesamte Rostlänge. Aufgabeseitig (links) beginnt die Ansicht ab der zweiten Roststabweihe und endet am Ascheabwurf (rechts). Die gemessenen Temperaturen sind entsprechend der unten links abgebildeten Farbskala zugeordnet. Man sieht, dass im Bereich der Brennstoffaufgabe die höchsten Temperaturen (um 1000 °C) herrschen. Diese sinken nach ca. ¼ der Rostlänge rasch auf Temperaturen um 700 °C ab und verändern sich im weiteren Verlauf bis zum Ascheabwurf nur gering. Der hellgrau bis weiß dargestellte Bereich markiert die Hauptbrennzonen mit der intensivsten Verbrennung. Rechts von der Hauptbrennzonen sieht man, dass die Temperatur rasch ab fällt, was ein Zeichen für einen schnellen Abbrand des Brennstoffs ist. Des Weiteren lassen die gleichmäßig niedrigen Temperaturen im restlichen Rostbereich auf eine geringe Ascheschichtdicke schließen.

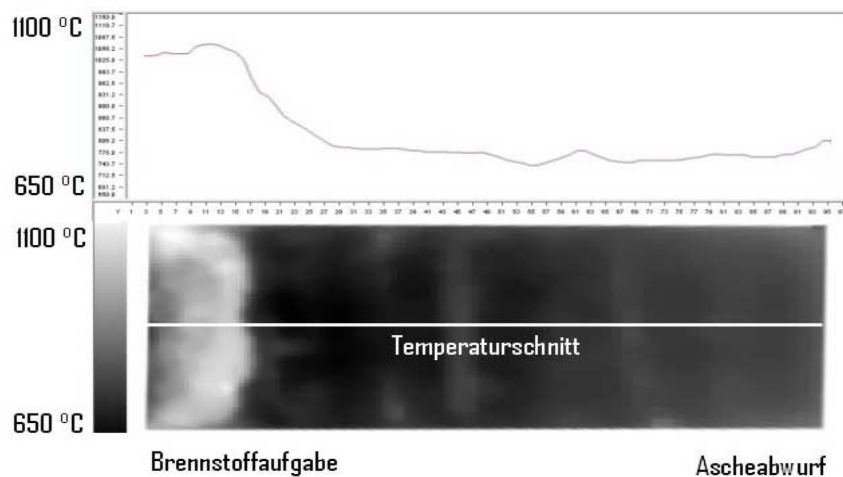


Bild 2: IR-Ansicht des Brennstoffbettes

Im weiteren Verlauf des Versuchs sind der Brennstoffmassenstrom und die Rostschiebergeschwindigkeit erhöht worden, um eine gleichmäßigere Rostbedeckung zu erreichen. Das Brennstoffbett reagierte darauf wie in **Bild 3** zu sehen. Man erkennt die IR-Aufnahme des Brennstoffbettes zu einem späteren Versuchszeitpunkt sowie eine Temperaturverteilung entlang der eingezeichneten Schnittlinie. Die Hauptbrennzone hat an

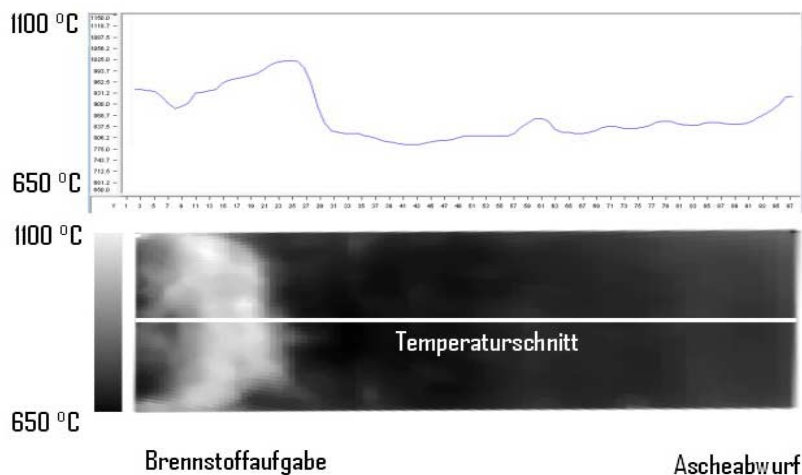


Bild 3: Brennstoffbett nach Aufgabehuberrhöhung

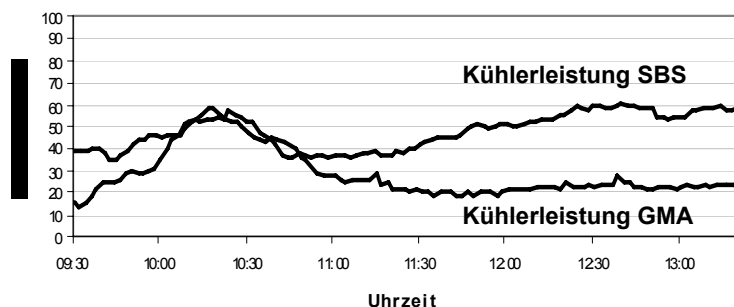
Dies deckt sich mit visuellen Beobachtungen während des Versuchs. Eine höhere Aschebedeckung zeichnet sich im Allgemeinen durch eine heterogenere Temperaturverteilung, hervorgerufen durch unterschiedliche Erwärmung aus der Umgebung, aus.

Größe gewonnen, befindet sich aber immer noch in unmittelbarer Nähe zur Brennstoffaufgabe. Man kann ebenfalls erkennen, dass die Oberflächentemperatur am Ende der Hauptbrennzone, wie schon zuvor beobachtet, rasch abnimmt. Im restlichen Rostbereich stellt sich wieder eine Temperatur von ca. 700 °C ein.

Eine Erhöhung des Brennstoffmassenstroms sowie eine Steigerung der Rostschiebergeschwindigkeit führten nicht zu einer befriedigenden Verlagerung der Hauptbrennzone. Vielmehr führte die zusätzliche Brennstoffaufgabe zum Erreichen der maximalen thermischen Belastung der Anlage. Dies äußerte sich in sehr hohen Brennraum- sowie

Nachbrennkammertemperaturen und führte zu verstärkter Verschmutzung und Verschlackung der Feuerraum- und Nachbrennkammerwände.

Um weitere Schäden an der Ausmauerung der Anlage zu vermeiden wurde der Brennstoffmassenstrom wieder reduziert. Mit Hilfe des Diagramms in **Bild 4** lässt sich erkennen, dass sich die geringe Brennstoff- und Aschebedeckung des Rostes sowie die hohen

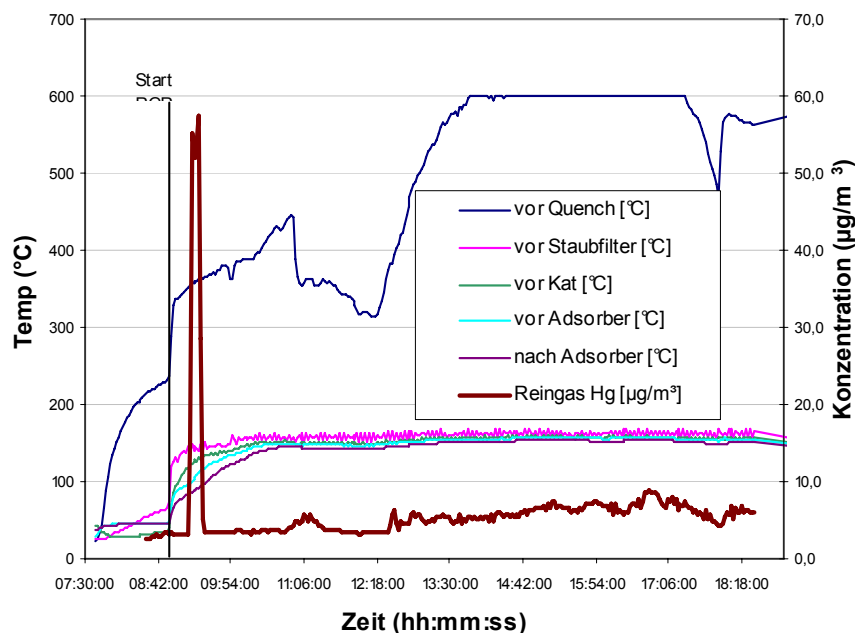


Brennraumtemperaturen ebenfalls auf die Rostkühlung auswirkten. In der Darstellung ist die Leistung des Rostkühlwasser-Rückkühlers über der Zeit aufgetragen. Zu Beginn der Anfahrphase erkennt man eine höhere Kühlerleistung bei GMA als bei SBS. Diese resultiert aus

Bild 4: Vergleich der Rostkühlleistung zwischen SBS und Gewerbeabfall

einer geringeren Wärmeabgabe der Anlage über Nacht sowie aus einer größeren, in der Ausmauerung gespeicherten Wärmemenge. Dennoch ist die abgegebene Wärmemenge beim Versuch mit SBS ab ca. 10:50 Uhr größer als beim Versuch mit GMA.

Während der Anfahrvorgänge im Rahmen dieser Versuchsreihe wurden im Reingas Quecksilber-Peaks registriert. Nach Untersuchung der möglichen Quellen wurden Ascheab-



lagerungen im Hochtemperaturbereich der Wärmeauskopplung und Rauchgasreinigung (RGR) als Ursache ausgemacht. In **Bild 5** sind Temperaturen der RGR sowie die Hg-Konzentration (fett) zu sehen. Man sieht deutlich den Hg-Peak nach Inbetriebnahme der RGR.

Bild 5: RGR-Temperaturen und Hg-Reingaskonzentration

## **Ergebnisse / Zusammenfassung**

Bei der Durchführung von Verbrennungsversuchen einer Monofraktion Sekundärbrennstoff auf dem wassergekühlten Vorschubrost einer halbtechnischen Versuchsanlage ergaben sich verschiedene verfahrenstechnische Probleme.

Auf Grund der intensiv und schnell ablaufenden Pyrolyse und Zündung des Brennstoffes kam es zu einer Stabilisierung der Hauptbrennzone in unmittelbarer Nähe zum Aufgabeschacht. Des Weiteren ließ sich die Lage der Hauptbrennzone nicht ausreichend durch Anpassung der Rostschiebergeschwindigkeiten, Primärluftmengen und Brennstoffmassenstrom beeinflussen. Der hohe Flüchtigen-Anteil des Brennstoffs führte zu einem lokal ablaufenden Abbrand in der Gasphase, verbunden mit lokal hohen Temperaturen die sich in vermehrter Verschmutzung und Verschlackung äußerten. Die geringe Asche-Schichtdicke auf dem Rost führte zu einem hohen Wärmeeintrag in das Rostkühlsystem.

Die Auswertung der gesammelten Daten und Erfahrungen ergab verschiedene Ansätze zur Vermeidung oder Begrenzung der aufgetretenen Probleme. Bei der Planung von Neuanlagen ist einen ausreichender konstruktiver Schutz gegen ein Rückschlagen des Feuers in den Aufgabeschacht zu gewährleisten. Dies kann unter anderem durch die Verwendung geeigneter Fördereinrichtungen (z.B. Schnecken) geschehen. Der Einsatz von Förderschnecken zur Brennkammerbeschickung wirkt sich, durch deren kompaktierende Wirkung, ebenfalls positiv auf den Verbrennungsablauf aus. Der kompaktierte Brennstoff bildet Agglomerate und brennt so langsamer aus.

Der rasch ablaufenden Pyrolyse sowie der weitgehenden Verbrennung in der Gasphase ist durch geeignete Rostdimensionierung und Brennkammergestaltung Rechnung zu tragen. Die Fördergeschwindigkeit des Rostes muss ausreichend hoch sein, um das Brennstoffbett ggf. zu entzerren. Die Versuchsanlage am LUAT ist beispielsweise mit einer optimierten Rostschieber-Geschwindigkeitsregelung nachgerüstet worden, die es erlaubt höhere Rostgeschwindigkeiten bei unveränderter Geschwindigkeits-Auflösung zu fahren. Bei der Gestaltung der Brennkammer für vergleichbare Brennstoffe ist darauf zu achten, dass im Bereich der Trocknung, Pyrolyse und Zündung nicht zu viel Wärme durch die Abgasführung oder das Zündgewölbe in den Brennstoff eingebracht wird.

Wie sich gezeigt hat, sind Temperaturwechsel in der Lage Spurenelemente wie Hg aus Ablagerungen in Rohrleitungen und Apparaten freizusetzen. Diese Freisetzungen besitzen das Potential nachgeschaltete Abgasreinigungsverfahren zu überlasten und so zu einer Erhöhung der Hg-Emissionen bei zu tragen.