

Innovatives Konzept ermöglicht Brennerleistungen von 5 bis 9 kW NO_x-armer Kleinleistungs-Ölbrenner

Am Institut für Energie- und Stofftransport der RWTH Aachen wurde im Rahmen eines vom IWO geförderten Forschungsvorhabens ein Brennerkonzept für niedrige Brennerleistungen zwischen 5 und 9 kW für den Einsatz von Heizöl EL entwickelt. Erstmals wird hierbei eine neuartige Mischeinrichtung eingesetzt, welche die Optimierung von Brennern mit zwei Betriebszuständen ermöglicht. Die NO_x-Emission des neuen Brenners beträgt bei 5 kW Brennerleistung 60 mg/kWh und liegt damit deutlich unter dem für den Blauen Engel für Ölbrenner-Kessel-Units geforderten Grenzwert.

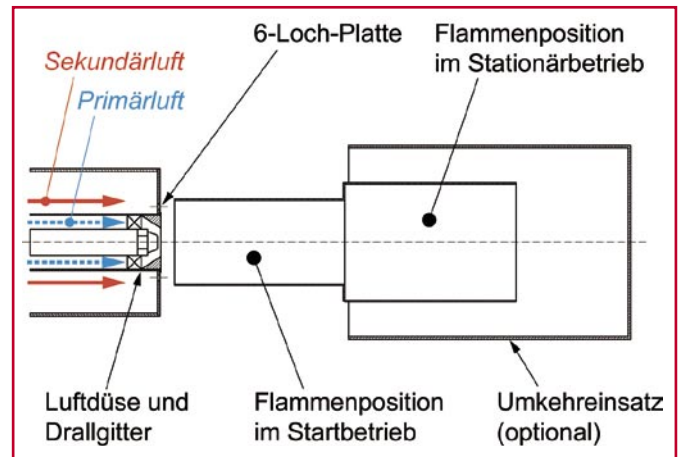


Bild 1 Brenneraufbau und Luftströme

Der Energiebedarf moderner Wohngebäude ist in den vergangenen Jahren aufgrund der verbesserten Wärmedämmung stetig gesunken, entsprechend ist das Marktpotenzial für Ölbrenner mit kleiner Brennerleistung gestiegen. Aktuelle marktgängige Ölbrenner sind jedoch vielfach für Leistungen > 10 kW ausgelegt und entsprechen damit nicht den gestellten Anforderungen. Vor dem Hintergrund dieser Problematik wurde am Institut für Energie- und Stofftransport (EST) der RWTH Aachen ein Verbrennungskonzept für einen Ölbrenner mit einer niedrigen Brennerleistung zwischen 5 und 9 kW entwickelt und ein Brennerprototyp untersucht. Das Forschungsprojekt wurde gefördert vom Institut für wirtschaftliche Oelheizung (IWO) in Hamburg.

Dass bislang derartige Kleinleistungsbrenner nicht marktgängig sind, liegt unter anderem daran, dass die herkömmliche Brennertechnologie vielfach nicht erlaubt, die Leistung unter Beibehaltung des Brennerkonzeptes zu reduzieren, ohne einen Anstieg der Emissionen oder Ölzerstäubungs-Probleme in Kauf nehmen zu müssen. Die Ursache ist, dass auch bei Einsatz der aktuellen Zerstäubungstechnologie wie Druckzerstäubungsdüsen mit dem geringen Nenndurchsatz 0,4 gal/h sowie Ölpumpen mit getakteter Brennstoffzufuhr zur Realisierung niedriger Leistungen geringe Öldrücke zwischen 6 bar und 10 bar eingestellt werden müssen. Bei derart niedrigen Öldrücken kann es zu einer niedrigen Sprayquali-

tät mit relativ großen Tropfen kommen, die bis in die Verbrennungszone gelangen. Hieraus können erhöhte NO_x- und CO-Emissionen resultieren.

Bei dem neu entwickelten Brenner wird die genannte herkömmliche Zerstäubungstechnologie eingesetzt. Um das Eindringen von Öltröpfen in die Flamme zu vermeiden, wurde der Verbrennungszone eine Verdampfungszone vorgeschaltet. Diese ist als Rohr gestaltet, welches stromauf des Flammenrohres montiert ist. Im Verdampfungsrohr erfolgen die vollständige Verdampfung des Flüssigbrennstoffs sowie die Mischung von Brennstoff, Verbrennungsluft und rezirkuliertem Abgas vor Eintritt des Gemisches in die Verbrennungszone. Durch Abgasrezirkulation sowie die Vormischung der Stoffströme werden niedrige NO_x- und CO-Emissionen erzielt.

Um bei Brennern eine möglichst niedrige NO_x-Emissionen zu erzielen, muss zwecks Herabsetzung der Flammentemperatur ein großer Abgasstrom in die Verbrennungszone rezirkuliert werden. Die allgemeine Problematik ist, dass ein Brenner mit sehr starker Abgasrezirkulation im kalten Kessel in der Regel nicht oder nur schlecht gestartet werden kann. Die Lösung dieses Konfliktes kann – als Kompromiss – der Betrieb des Brenners mit einer konstanten, nur geringen Abgasrezirkulation sein. Alternativ kann der Brenner in zwei unterschiedlichen Betriebszuständen für den Start- und den Stationärbetrieb gefahren werden. Für den Start wird

dabei eine geringe Abgasrezirkulation eingestellt, für den Stationärbetrieb eine starke. Dieser Weg wurde bei dem hier vorgestellten Brenner gewählt.

Als Maßnahmen für die Veränderung der Größe des Abgasrezirkulationsstromes sind die mechanische Verringerung der Rezirkulationsspaltbreite und der Einsatz eines Sperrluft-Stromes bekannt. Die erstgenannte Maßnahme erfordert die Bewegung von Bauteilen in heißen Bereichen des Brenners und ist daher problematisch. Der Einsatz eines Sperrluft-Stromes ist aufgrund der im Allgemeinen erforderlichen hohen Fertigungsgenauigkeit ebenfalls problematisch. Eine weitere Möglichkeit zur Veränderung der Größe des Abgasrezirkulationsstromes stellt der Einsatz einer neuen Mischeinrichtung dar, die am EST entwickelt wurde und die beim neuen Brenner erstmals eingesetzt wird. Diese so genannte Duo-Mischeinrichtung beinhaltet axial eine innere Vorrichtung zur Zufuhr von Primärluft und konzentrisch dazu eine äußere Vorrichtung zur Zufuhr von Sekundärluft (Bild 1).

Die innere und die äußere Vorrichtung sind unabhängig voneinander und können separat für die Zufuhr der Verbrennungsluft genutzt werden. Der wesentliche Vorteil dieses Konzeptes besteht darin, dass jede einzelne Teil-Mischeinrichtung für einen Betriebszustand optimiert werden kann, ohne dass hinsichtlich des anderen Betriebszustandes Kompromisse eingegangen werden müssen. So kann auch der Fertigungsaufwand für

die gesamte Mischeinrichtung verringert werden. Die erforderliche Umschaltung der Luftströme kann problemlos in kalten Bereichen des Brenners erfolgen.

Brennerkonzept

Brenneraufbau und Luftführung

Die charakteristischen Merkmale im Aufbau des Brenners sind die neu entwickelte Duo-Mischeinrichtung sowie die Kombination des Flammenrohrs mit einem Verdampfungsrohr (Bild 1). Die Mischeinrichtung dient zur Zufuhr von Verbrennungsluft und Brennstoff sowie zur Aufnahme der Zündelektroden. Sie besteht aus einem inneren, axial angeordneten Bereich, sowie einem äußeren Bereich, der konzentrisch zum inneren positioniert ist.

Innerer und äußerer Bereich sind voneinander unabhängig, d.h. die hindurchströmenden Luftströme können beliebig eingestellt werden. Die Verbrennungsluft kann dem Brenner als Primär- und Sekundärluft zugeführt werden. Die Primärluft durchströmt den inneren Bereich der Mischeinrichtung, die Sekundärluft den äußeren. Insgesamt besteht die Mischeinrichtung dieses Brenners somit aus zwei eigenständigen Teil-Mischeinrichtungen. Hierin spiegelt sich wider, dass der Brenner in zwei unterschiedlichen Betriebsweisen eingesetzt wird. Jede einzelne Mischeinrichtung ist hierbei einer Betriebsweise zugeordnet.

Bei dem im Folgenden geschilderten Brenner wird die innere Mischeinrichtung für den Startbetrieb und die äußere für den Stationärbetrieb eingesetzt. Andere Zuordnungen sind ebenfalls denkbar. Durch den Vorteil, dass jede einzelne Teil-Mischeinrichtung für ihren jeweiligen Einsatzzweck optimiert werden kann, kann den deutlich unterschiedlichen Anforderungen, die an Start- und Stationärbetrieb gestellt werden, optimal begegnet werden. Demgegenüber stellt eine herkömmliche Mischeinrichtung, die für den Stationärbetrieb ausgelegt wird, die jedoch einen sicheren Brennerstart ebenfalls gewährleisten soll, nur einen Kompromiss dar. Beim vorliegenden Brenner kommt die dargestellte Mischeinrichtung erstmals zum Einsatz. Die innere Mischeinrichtung, die von der Primärluft durchströmt wird, besteht aus einer Luftpöuse mit Drallgitter; die äußere Mischeinrichtung zur Zufuhr der Sekundärluft wird durch eine 6-Loch-Blende gebildet.

Der Brenner besitzt wie herkömmliche Brenner ein Flammenrohr. Im vorliegen-

den Fall ist diesem Flammenrohr stromauf ein Verdampfungsrohr vorgeschaltet. Das Verdampfungsrohr weist einen geringeren Durchmesser als das Flammenrohr auf. Zwischen Verdampfungsrohr und Mischeinrichtung ist ein Spalt angebracht, welcher die Rezirkulation von Abgas in das Verdampfungsrohr ermöglicht. Das Flammenrohr mündet in einen Umkehr-einsatz, in welchem die Verbrennungsabgase umgelenkt werden. Dies dient dazu, die Temperaturen von Flammenrohr und rezirkulierendem Abgas anzuheben, was bei dem derzeit untersuchten Brenner aufgrund der niedrigen Brennerleistung noch erforderlich ist.

Stationärbetrieb

Im Stationärbetrieb wird der Brennstoff in das Verdampfungsrohr zerstäubt. Die Verbrennungsluft wird vollständig als Sekundärluft durch die 6-Loch-Blende zugeführt. Der hohe Austrittsimpuls der Sekundärluft bewirkt eine starke Abgasrezirkulation in das Verdampfungsrohr. Im Verdampfungsrohr werden Brennstoff, Sekundärluft und heißes Abgas gemischt. Aufgrund der hohen Abgastemperatur wird der Flüssigbrennstoff vollständig verdampft.

Der hohe Abgasanteil im Gemisch bewirkt, dass die Flamme sich im Verdampfungsrohr nicht stabilisieren kann. Das vollständig gasförmige, homogene Gemisch tritt unverbrannt aus dem Verdampfungsrohr aus. Die Flammenstabilisierung sowie der Gemischausbrand erfolgen nach dem Querschnittsprung im großvolumigen Flammenrohr. Die heißen Verbrennungsabgase durchströmen

den Umkehr-einsatz, ein Teil der Abgase rezirkuliert in das Verdampfungsrohr. Zur Realisierung dieses Betriebszustands sind die Luftaustrittsöffnungen der 6-Loch-Blende entsprechend ausgeführt.

Startbetrieb

Ein Start, insbesondere ein Kaltstart des Brenners im geschilderten Stationärbetriebs-Modus ist nicht möglich, da die Flamme im kalten Flammenrohr nicht stabilisiert werden kann, dazu muss dieses zunächst aufgeheizt werden. Beim Start des Brenners wird die Flamme im Verdampfungsrohr stabilisiert, was durch die Unterdrückung der Abgasrezirkulation erzielt wird. Hierzu wird der Brennstoff wie im Stationärbetrieb in das Verdampfungsrohr eingesprüht. Der Großteil der Verbrennungsluft wird als Primärluft durch Drallgitter und Luftpöuse geführt. Beide Bauteile sind so ausgeführt, dass nur eine geringe Abgasrezirkulation in das Verdampfungsrohr erfolgt. Diese wird darüber hinaus dadurch verringert, dass ein kleiner Teilstrom der Verbrennungsluft als Sekundärluft durch die 6-Loch-Blende zugeführt wird, wodurch Druckgradienten im Verdampfungsrohr gemindert werden.

Durch die Verringerung der Abgasrezirkulation und die Verdrallung der Primärluft wird eine sichere Stabilisierung der Flamme im Verdampfungsrohr erzielt. Die heißen Abgase durchströmen das Flammenrohr und den Umkehr-einsatz und heizen diese auf. Sind die für den Stationärbetrieb erforderlichen Temperaturen erreicht, kann in den Stationärbetriebs-Modus umgeschaltet werden. Hierzu wird

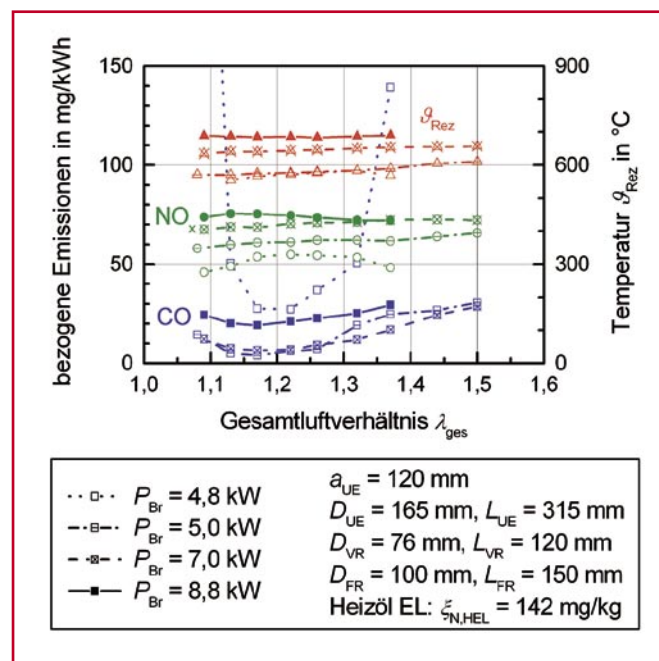


Bild 2 NO_x- und CO-Emissionen sowie Abgasrezirkulations-Temperaturen bei Variation der Brennerleistung

allein die Einstellung der Luftströme entsprechend dem Stationärbetriebs-Modus geändert. Infolgedessen tritt die Flamme aus dem Verdampfungsrohr aus und stabilisiert sich im Flammenrohr.

Es ist hervorzuheben, dass es aufgrund der Unabhängigkeit der inneren Mischeinrichtung von der äußeren möglich ist, Luftdüse und Drallgitter hinsichtlich eines optimalen Startbetriebs auszuführen, ohne Kompromisse hinsichtlich des Stationärbetriebs eingehen zu müssen.

NO_x- und CO-Emissionen im Stationärbetrieb

Variation der Brennerleistung

Der entwickelte Brenner wurde verschiedenen Untersuchungen im Prüfflammrohr unterzogen. In Bild 2 sind die NO_x- und CO-Emissionen sowie die Temperaturen des rezirkulierenden Abgases dargestellt, die im Stationärbetrieb mit getakteter Brennstoffzufuhr unter Variation der Brennerleistung ermittelt wurden. Die Brennerleistung wurde durch Verstellung des Öldrucks zwischen P_{Br} = 4,8 und 8,8 kW variiert. Die Breite des Rezirkulationsspalt war s_{Rez} = 5 mm.

Die NO_x-Emission beträgt etwa 75 mg/kWh bei der Brennerleistung P_{Br} = 8,8 kW und sinkt bei Reduzierung der Leistung auf etwa 55 mg/kWh bei P_{Br} = 4,8 kW. Damit werden die NO_x-Grenzwerte des Blauen Engels für Ölbrenner-Kessel-Units von 110 mg/kWh deutlich unterschritten. Die Abnahme der NO_x-Emission mit sinkender Brennerleistung ist darauf zurückzuführen, dass die Energiedichte im Flammenrohr und demzufolge die Verbrennungstemperatur abnimmt.

Bei Brennerleistungen zwischen 5,0 und 8,8 kW liegt die CO-Emission unter 25 mg/kWh und damit ebenfalls unter dem Grenzwert für den Blauen Engel. Lediglich bei der Brennerleistung P_{Br} = 4,8 kW kommt es bei einem Gesamtluftverhältnis λ_{ges} < 1,15 sowie bei λ_{ges} > 1,3 zu einer erhöhten CO-Emission, was auf zu niedrige Temperaturen in der Verbrennungszone und bei λ_{ges} < 1,15 auf eine unvollständige Gemischbildung zurückzuführen ist.

Variation der Breite des Rezirkulationsspalt

Die Rezirkulation von Abgas in das Verdampfungsrohr ist bei dem entwickelten Brenner von besonderer Bedeutung hinsichtlich einer optimalen Brennstoffverdampfung und der Minderung der

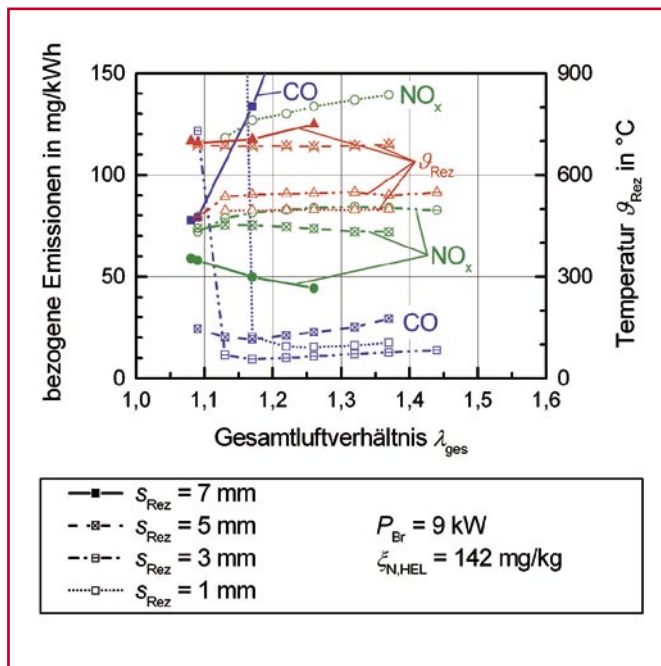


Bild 3 NO_x- und CO-Emissionen sowie Abgasrezirkulations-Temperaturen bei Variation der Rezirkulationsspalt-Breite

NO_x-Emission. Die Größe des rezirkulierenden Abgasstromes wird unter anderem durch die Breite des Rezirkulationsspalt zwischen Mischeinrichtung und Verdampfungsrohr (Bild 1) beeinflusst. Die Breite dieses Spaltes wurde variiert, um den Einfluss auf die NO_x- und CO-Emissionen zu studieren.

In Bild 3 ist zu erkennen, dass die NO_x-Emission mit zunehmender Spaltbreite deutlich abnimmt von etwa 130 mg/kWh bei s_{Rez} = 1 mm auf etwa 50 mg/kWh bei s_{Rez} = 7 mm. Dies ist auf eine starke Zunahme des rezirkulierenden Abgasstromes zurückzuführen, welche eine Verringerung der Flammentemperatur

bewirkt. Zugleich führt jedoch diese Temperaturabnahme infolge eines unzureichenden Ausbrands zu einer hohen CO-Emission bei der Spaltbreite s_{Rez} = 7 mm. Bei Spaltbreiten von 3 mm ≤ s_{Rez} ≤ 5 mm werden sowohl niedrige NO_x- als auch niedrige CO-Emissionen erzielt.

NO_x- und CO-Emissionen im Startbetrieb

Kaltstart

Die innere Teil-Mischeinrichtung mit Luftdüse und Drallgitter kann speziell auf den Startbetrieb angepasst werden. Bei den Untersuchungen wurden beispielsweise der Durchmesser der Luftdüse und

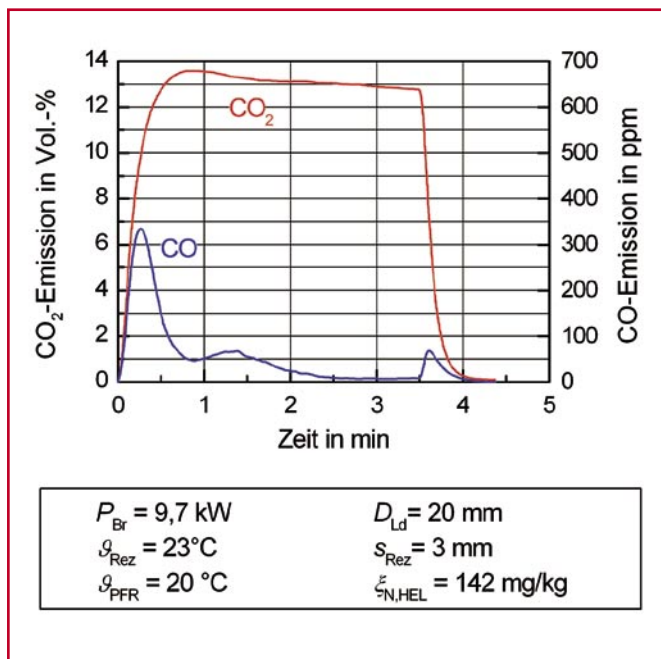


Bild 4 CO-Emission beim Kaltstart

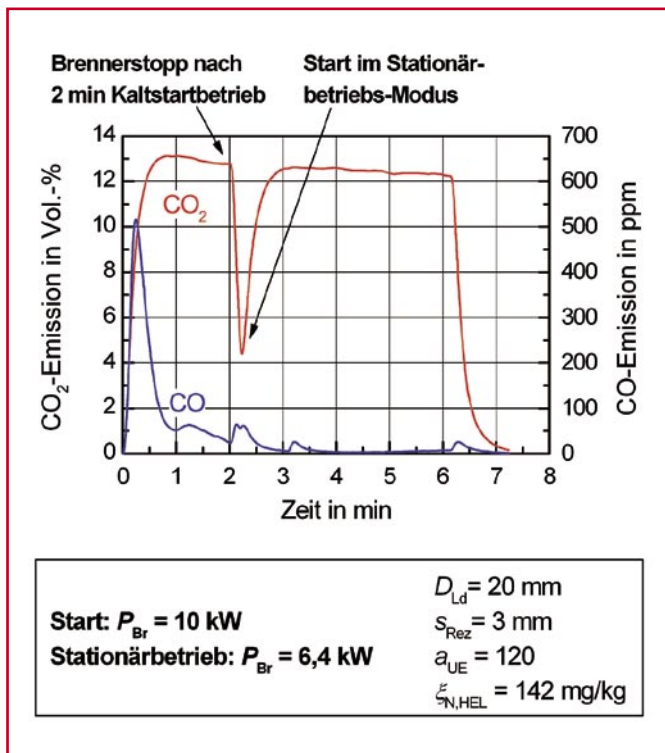


Bild 5 CO-Emission bei Umschaltung Start-/Stationärbetrieb

Ein Brennerprototyp wurde am Prüfflammrohr untersucht. Bei Brennerleistungen zwischen 5 und 9 kW lagen die NO_x - und CO-Emissionen im Stationärbetrieb deutlich unter den für den Blauen Engel für Ölbrenner-Kessel-Units geforderten Grenzwerten. Beispielsweise beträgt die NO_x -Emission 60 mg/kWh bei der Brennerleistung 5 kW ($\xi_{\text{N,HEL}} = 142 \text{ mg/kg}$). Aufgrund des Einsatzes der speziellen Mischeinrichtung ist es möglich, den Brenner auch im kalten Kessel sicher und emissionsarm zu starten.

Da das zugrunde liegende Brennerkonzept bewusst einfach gestaltet wurde und keine besonderen Anforderungen an eine spezielle Betriebsumgebung des Brenners zu erfüllen sind, sind vielfältige Einsatzmöglichkeiten denkbar. Von besonderer Bedeutung ist darüber hinaus, dass das neue Brennerkonzept auf dem Einsatz herkömmlicher Brennerkomponenten oder sehr einfacher Bauteile beruht, was hinsichtlich einer wirtschaftlichen Bewertung des Konzeptes von großer Bedeutung ist. ←

der Drallgitterwinkel variiert. Bild 4 zeigt die CO- und CO_2 -Emissionen des Brenners bei einem Kaltstart im Prüfflammrohr mit der Temperatur $\vartheta_{\text{PFR}} = 20^\circ\text{C}$.

Beim Kaltstart des Brenners wird die Flamme sicher im Verdampfungsrohr stabilisiert. Die maximale CO-Emission beträgt etwa 330 ppm (Bild 4). Die CO-Emission sinkt nach Erreichen des CO-Peaks innerhalb von etwa 30 s unter 50 ppm. Durch eine Optimierung der Geometrie von innerer Mischeinrichtung und Verdampfungsrohr können noch niedrigere Werte erreicht werden.

Umschaltung Start-/Stationärbetrieb

Bei einem Brenner mit einer geringen Leistung von 5 kW wird die Starthäufigkeit deutlich niedriger sein als bei einem Brenner höherer Leistung. Trotzdem sind die Emissionen im Startbetrieb sowie während oder nach der Umschaltung vom Start- in den Stationärbetrieb auch bei einem Kleinleistungs-Brenner von Bedeutung.

In ersten Tests wurde der Umschaltvorgang hinsichtlich der CO-Emissionen untersucht. Insbesondere ist hierbei die Wahl des richtigen Umschaltzeitpunktes bedeutsam. Wird der Brenner zu lange im Startbetriebs-Modus betrieben, werden unnötig viel Stickoxide emittiert, da im Startbetriebs-Modus die NO_x -Emission aufgrund der verringerten Abgaszirkulation höher ist als im Stationärbetrieb.

Wird dagegen zu früh umgeschaltet, so ist unter Umständen die Temperatur im Flammenrohr, wo die Flamme während des Stationärbetriebs stabilisiert wird, nicht ausreichend hoch, so dass eine erhöhte CO-Emission oder sogar das Verlöschen der Flamme die Folgen sein können.

In Bild 5 ist die CO-Emission während des Startbetriebs und der Umschaltung in den Stationärbetrieb dargestellt. Die Umschaltung erfolgte hierbei aufgrund des Prototyp-Charakters des entwickelten Brenners manuell. Die Kurvenverläufe zeigen, dass bei einer Umschaltung nach 2 min die Temperaturen bereits ausreichend hoch sind, um beim Umschaltvorgang eine niedrige CO-Emission von maximal 50 ppm zu erzielen.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde am Institut für Energie- und Stofftransport ein Ölbrenner für kleine Brennerleistungen zwischen 5 und 9 kW entwickelt. Als Brennstoff wird Heizöl EL verwendet. Wesentlich ist der Einsatz eines Verdampfungsrohres, wodurch die vollständige Verdampfung des Flüssigbrennstoffs vor Eintritt in die Verbrennungszone gewährleistet wird. Erstmals wurde dabei eine neu entwickelte Mischeinrichtung des EST eingesetzt, welche die gezielte Optimierung eines Brenners mit zwei Betriebszuständen ermöglicht.



Prof. Dr.-Ing. Heinrich Köhne, Institut für Energie- und Stofftransport, RWTH Aachen www.est.rwth-aachen.de



Dr.-Ing. Andreas Munko



Dr.-Ing. Frank Kleine Jäger