

Technik der quasi homogenen Verbrennung von Heizöl EL

Von der Fakultät Energietechnik der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Stephan Herrmann

aus Waiblingen

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. Heinz Bach

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Maas

Tag der Einreichung:

13. November 2001

Tag der mündlichen Prüfung:

03. Juni 2002



Kurzfassung

Der Wettbewerb unter den Systemen zur Heizung und Trinkwassererwärmung zwingt die Hersteller von Ölfeueuranlagen neben traditionellen Entwicklungszielen wie Zuverlässigkeit, Emissionsverhalten und Energieausnutzung auch bislang vernachlässigte Produktanforderungen wie Regelbarkeit, Platzbedarf und Betriebsgeräusche künftig stärker zu berücksichtigen. Vor allem der Absenkung der unteren Leistungsgrenze, die für Zerstäubungsbrenner gegenwärtig bei etwa 15 kW liegt, kommt vor dem Hintergrund eines stetig abnehmenden Heizenergiebedarfs eine wachsende Bedeutung zu. Unter diesen Randbedingungen liefert der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte vormischende Flächenbrenner für Heizöl EL einen vielversprechenden Lösungsansatz, der die Möglichkeit zur Dosierung kleinster Brennstoffströme mit dem günstigen Emissionsverhalten, der Leistungsvariabilität und dem nahezu geräuschlosen Betrieb dieser Brennerbauart verbindet.

Nach dem Vorbild vormischender Gasbrenner wurde bislang die vollständige Verdampfung des flüssigen Brennstoffes und die anschließende homogene Mischung mit der Luft als Voraussetzung für den Einsatz flüssiger Brennstoffe in einem Flächenbrenner betrachtet. Experimentelle Untersuchungen an einem vormischenden Flächenbrenner haben allerdings gezeigt, dass bereits eine Umsetzung des flüssigen Brennstoffes in kleinste Tropfen ausreicht, um ein Gemisch zu bilden, das im Hinblick auf seine Verbrennungseigenschaften einem rein gasförmigen Gemisch ähnlich ist und damit als „quasi homogen“ zu beurteilen ist.

Zur Erzeugung des Aerosols wird ein überhitzter Brennstoffstrahl über eine verschleißbare Düse in den Vormischbereich des Brenners eingespritzt. Durch die Druckabsenkung am Düsenaustritt bilden sich innerhalb des von Luft umschlossenen Einspritzstrahls Dampfblasen, die zusammen mit den an den Strahlgrenzen wirksamen Scherkräften den Brennstoff zerteilen. Durch das Zusammenwirken von kinetischer und thermischer Fragmentierung bilden sich im Vergleich zu herkömmlichen Zerstäubungsverfahren erheblich kleinere Tropfen.

Die Einspritzvorrichtung ist als volumengesteuertes Dosiersystem ausgelegt. Eine Kolbenpumpe fördert den Brennstoff aus einem Vorratstank zum Brennstoffheizer, an dessen Austritt die Einspritzdüse angeordnet ist. Bei konstantem Hubvolumen ergibt sich der eingespritzte Brennstoffstrom aus der Hubfrequenz der Kolbenpumpe. Vor dem Brennerstart erwärmt ein elektrisches Heizelement den Brennstoffheizer auf die geforderte Einspritztemperatur. Nach einer kurzen Betriebszeit des Brenners liefert die heiße Reaktionszone die zur Aufheizung des Brennstoffes notwendige Energie. Das elektrische Heizelement ist entweder ausgeschaltet oder wird zur Einhaltung einer vorgegebenen Einspritztemperatur taktend betrieben. Um die Ausscheidung koksartiger Substanzen aus der flüssigen Brennstoffphase zu vermeiden, wird der Brennstoff unter Druck erwärmt.

Zur technischen Bewertung des vorgestellten Lösungsansatzes wird ein Versuchsbrenner mit einer Feuerungsleistung von 2-10 kW entwickelt und anhand der Kriterien: Schadstoffemissionen, Flammenstabilität, Regelbarkeit, elektrischer Energiebedarf, Geräusche und Zuverlässigkeit untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Stickstoffoxidemissionen und die Geräusche des Flächenbrenners erheblich unter dem Niveau herkömmlicher Zerstäubungsbrenner liegen.

Abstract

In addition to the traditional development goals like reliability, emission behaviour and energetic efficiency, the competition between the systems used for warming heating and drinking water is compelling the manufacturers of oil-fired heating systems to take increasingly into account product requirements such as adjustability, space requirements and operating noises, which have in the past been ignored. Above all, increasing importance is placed on reducing the lower power limit - which is at the moment around 15 kW for spray burners - against the background of a continuously falling need for heating energy. On the basis of these constraints, the pre-mixing surface burner for EL heating oil, developed as part of this work, provides a promising approach to a solution which links the possibility of metering minimal fuel mass flow rates with favourable emission behaviour, output dynamics and the virtually noiseless operation of this type of burner.

In the past, based on the experience gained from using pre-mixing gas burners, the complete vaporisation of the liquid fuel and the subsequent homogeneous mixing with the air was seen as a precondition for the use of liquid fuels in a surface burner. However, experimental tests using a pre-mixing surface burner showed, that the conversion of a liquid fuel into small drops is sufficient to create a mixture which, in terms of its combustion characteristics, is similar to a purely gaseous mixture and can therefore be defined as "quasi homogeneous".

To create the aerosol a superheated fuel jet is injected into the pre-mixing section of the burner via a closeable nozzle. As a result of the reduction in pressure at the nozzle outlet, vapour bubbles form within the injected jet, which is surrounded by air. The rapid growth of these vapour bubbles tears the liquid open. In addition, the kinetic forces of the internal turbulence and the shear forces cause the liquid film to break up along the edges of the jet. In contrast to traditional methods of atomizing a liquid fuel much smaller drops are formed as a result of the overlaying of thermal and kinetic jet fragmentation.

The injection device is designed as a volume-controlled metering system. A piston pump moves the fuel from a storage tank to the fuel heater. The injection nozzle is located at the outlet end of the fuel heater. Given a constant stroke volume the quantity of fuel which is injected is determined by the stroke frequency of the piston pump. Before the burner starts operating an electrical heating element heats the fuel to the required injection temperature. After the heater has operated for a brief period of time the hot reaction zone supplies the energy needed to heat up the fuel. The electrical heating element is either switched off, or activated at intervals in order to maintain a pre-set injection temperature. The fuel is heated under pressure in order to prevent the depositing of coke-like substances resulting from the liquid fuel phase.

In order to provide a technical evaluation of the approach, a test burner with a power output of 2-10 kW was developed and examined on the basis of the following criteria: pollutant emission, flame stability, modulating operation, electrical energy requirement, noises and reliability. The results show that the nitrogen oxide emission and the surface burner noise level are considerably lower than those of conventional spray burners.

Inhalt

Formelzeichen

1	Einleitung	1
2	Analyse herkömmlicher Ölbrenner	7
2.1	Zerstäubungsbrenner	7
2.2	Schichtungsbrenner	18
3	Lösungsansatz	22
3.1	Bisherige Ansätze	22
3.2	Tropfenbildung	25
3.3	Stabilität der Tropfenverteilung	29
3.4	Tropfenverbrennung	36
3.4.1	Betrachtungen am Einzeltröpfen	37
3.4.2	Betrachtungen am Tropfenkollektiv	48
4	Thermische Stabilität von Heizöl EL	53
4.1	Versuchseinrichtung	59
4.2	Ergebnisse	60
5	Brennerentwurf	63
5.1	Einspritzvorrichtung	63
5.2	Gemischaufbereitung	66
5.3	Steuerung	69
6	Brennerprüfstand	77
6.1	Prüfkessel	77
6.2	Brennstoffversorgung	78
6.3	Rauchgasanalyse	78
7	Einflussfaktoren und Versuchsergebnisse	82
7.1	Einflussfaktoren auf die Schadstoffemissionen im stationären Betrieb	82
7.1.1	Eigenschaften des Reaktionskörpers	87
7.1.2	Luftverhältniszahl	101
7.1.3	Feuerraum	103
7.2	Emissionen während der Start- und Abschaltphase	107
7.3	Flammenstabilität	118
7.4	Bedarf an elektrischer Energie	120
7.5	Geräusche	124
7.6	Zuverlässigkeit	126
8	Zusammenfassung	132

9	Literatur	141
Anhang		
A 1	Beurteilungskriterien	167
A 1.1	Schadstoffemissionen	167
A 1.2	Flammenstabilität	181
A 1.3	Regelbarkeit	187
A 1.4	Bedarf an elektrischer Energie	188
A 1.5	Geräusche	199
A 1.6	Zuverlässigkeit	210
A 2	Stoffdaten	213
A 3	Bestimmung der mittleren Tropfentemperatur während der Aufheizphase ...	217
A 4	Bestimmung der Luftverhältniszahl	219
A 5	Umrechnung der Emissionseinheiten	222
A 6	Bestimmung des Umwandlungsgrades des Brennstoffstickstoffs	224
A 7	Brennstoffanalyse	225
A 8	Emissionsmessung während der Start- und Abschaltphase des Brenners	226
A 9	Eigenschaften der untersuchten Reaktionskörper	231
A 10	Oberflächenstruktur der untersuchten Reaktionskörper	233
A 11	Betriebsmodi des Flächenbrenners	235
A 12	Patentanmeldungen	236