

3. Aachener Kolloquium Heizwärme aus Ölverbrennung

H.Köhne, K.Lucka (Hrsg.). Aachen: Shaker, 2000 (Berichte aus der Verbrennungstechnik, Bd.9)
ISBN 3-8265-7904-6

Luftunterstützte Dralldüse für kleine Brennerleistungen

Dipl.-Ing. Zoltán Faragó, Dipl.-Ing. Bernhard Knapp*
Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, 74239 Hardthausen

Eine Modifizierung der Außenkontur der Druckdralldüse und die Unterstützung des Ölzerfalles durch Verbrennungsluft verbessern die Zerstäubung. Der Druck der benötigten Zerstäuberluft beträgt 20 – 25 mbar, der Volumenstrom liegt bei 5 – 30 % des Verbrennungsluftbedarfes. Eine modifizierte 0.5-Gallone/Stunde-Düse (GPH) ermöglicht die Ölzerstäubung für 7 – 30 kW Brennerleistung, während eine 0.75-GPH-Düse für den Leistungsbereich von ca. 8 – 45 kW verwendet werden kann. So lassen sich die Verstopfungsgefahr der Düse und die elektrische Leistungsaufnahme des Brenners reduzieren und die Verbrennungsqualität erhöhen.

1 Einführung

Mit den kleinsten handelsüblichen Dralldüsen ist die Zerstäubung eines flüssigen Brennstoffstroms unterhalb von ca. 0,8 – 1 kg/h äußerst problematisch. Dies entspricht einer Brennerleistung von ca. 10 – 12 kW. Es besteht jedoch der Bedarf, diesen Wert um einen Faktor von etwa 2 zu reduzieren. Die Aufgabe des als IWO-Projekt Nr. 2000-8 geförderten Vorhabens ist, eine Druckdralldüse zu entwickeln, die bei einer Verminderung der elektrischen Leistungsaufnahme des Brenners die Verstopfungsgefahr der Zerstäuberdüse im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik verringert und gleichzeitig eine regelbare Brennerleistung von ca. 7 ± 1 kW bis ca. $17,5 \pm 2,5$ kW ermöglicht.

Die theoretische Voraussetzung für die Düsenentwicklung ist eine über zwei Dekaden durchgeführte kontinuierliche Erforschung der Heizölzerstäubung mit Druckdralldüsen und der Mischungsaufbereitung bei Haushaltsbrennern [1 – 10]. Die Motivation dabei war stets, die Dralldüsen zu verbessern und den Anwendungsbereich in Richtung kleinerer Brennerleistung zu erweitern. Der kontinuierlich gewachsene Wissensstand führte schließlich zur Verbesserung der Zerstäubung mit Druckdralldüsen und zu mehreren Patenten [11 – 13].

2 Stand der Technik der Brennstoffzerstäubung mit Druckdralldüsen

Abbildung 1 zeigt eine Prinzipskizze der Zerstäubung mit Druckdralldüsen. Der Brennstoff gelangt durch einen tangential ange-

ordneten Kanal (oder durch mehrere Kanäle) in die Drallkammer. Die stark rotierende Flüssigkeit bildet hinter der Düsenöffnung einen Filmkegel, der in einem bestimmten Abstand zur Düse in Tropfen zerfällt. Bei Rücklaufdralldüsen wird ein Teil der rotierenden Flüssigkeit aus der Drallkammer durch eine Rücklaufbohrung (gestrichelt dargestellt) in den Brennstoffbehälter zurückgeführt. Bei Duplexdüsen ist die Anzahl der in die Drallkammer führenden Drallkanäle variabel.

Der zeitliche Mittelwert der intakten Länge des rotierenden Flüssigkeitskegels wird in Abbildung 1 mit i , der des zur Zerstäubung benötigten Zerfallswegs mit z und der des Filmkegelwinkels mit α gekennzeichnet. In dieser Arbeit bezeichnen die Termini „intakte Länge“ und „Zerfallsweg“ jeweils die axialen Komponenten.

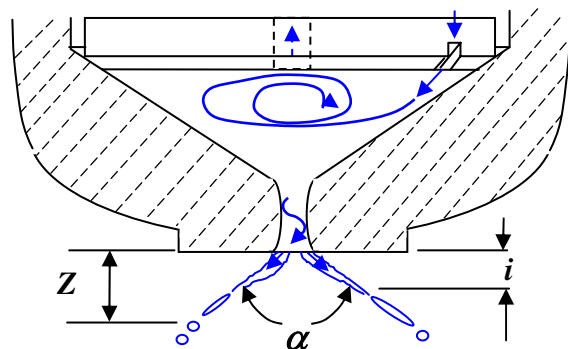


Abbildung 1: Prinzipskizze der Zerstäubung mit Druckdralldüsen.

Abbildung 2 zeigt die für diese Arbeit relevanten Abmessungen der Druckdralldüse für kleine Brennerleistungen. Dabei steht b für

die Breite bzw. Tiefe des zur Drallkammer führenden Drallkanals. L ist die Länge der Düsenbohrung. Die Düsenbohrung ist meist trompetenförmig ausgebildet. Die engste Stelle wird dabei mit d_i , der Durchmesser in der Austrittsebene mit d_o bezeichnet. D_1 bezeichnet den Durchmesser der Stirnfläche der Düse, D_2 ist der Außendurchmesser des Düsenkörpers. 0,5-GPH-Düsen sind die kleinsten handelsüblichen Düsen, deren Verstopfungsgefahr in den für die Heizungsbranche akzeptablen Grenzen liegt. Der Wert für b beträgt bei diesen Düsen ungefähr $150 \mu m$, die engste Stelle der Düsenbohrung d_i liegt in der Regel um $180 \mu m$.

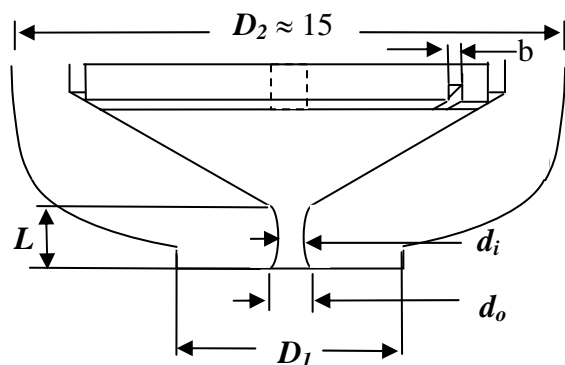


Abbildung 2: Konstruktionsskizze einer Druckdralldüse.

Das Heizöl wird bei Haushaltsbrennern in einem Druckbereich von $10 - 25 \text{ bar}$ dem Brenner zugeführt. Der vom Düsenhersteller empfohlene Mindestdruck beträgt in der Regel 7 bar .

Zur Illustration der Zerstäubungsmechanismen sind in den Abbildungen 3 – 8 Skizzen des Zerfallvorganges angefertigt. Die Öltemperatur beträgt dabei 70°C . Diese Zeichnungen entstanden nach sorgfältigem Studieren von tausenden Kurzzeitfotos über den Zerstäubungsvorgang. Die aufgezeigten Mechanismen sind in [14] ausführlich beschrieben. Bei abnehmendem Öldruck nehmen die intakte Flüssigkeitslänge i , der Zerfallsweg Z und die Tropfengröße auch dann zu, wenn sich der Mechanismus des Filmzerfalls trotz Reduzierung des Öldruckes nicht ändert.

Die Sprayqualität ist bei der in Abbildung 3 gezeigten Zerstäubung gut, bei der Zerstäubung nach Abbildung 4 gerade noch befriedigend und bei der Spraybildung nach Abbildungen 5 und 6 unzureichend.

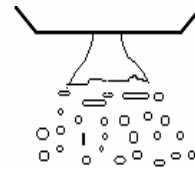


Abbildung 3: Heizölzerstäubung mit einer 0,5-GPH-Düse bei 25 bar Zerstäubedruck.

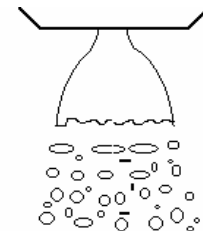


Abbildung 4: Heizölzerstäubung mit einer 0,5-GPH-Düse bei 7 bar Zerstäubedruck.

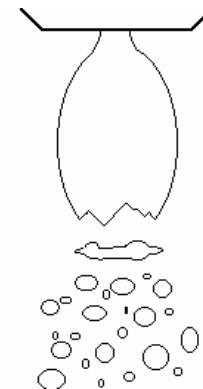


Abbildung 5: Heizölzerstäubung mit einer 0,5-GPH-Düse bei $5,5 \text{ bar}$ Zerstäubedruck.

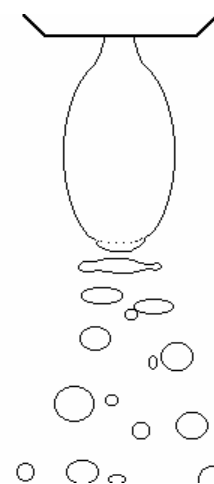


Abbildung 6: Heizölzerstäubung mit einer 0,5-GPH-Düse bei 4 bar Zerstäubedruck.

Unterhalb eines Druckniveaus von ca. 4 – 6 bar tritt eine Änderung der Zerfallmechanismen ein, die bei weiterer Druckreduzierung zu einem noch schnelleren Wachstum der Tropfen führt, wie dargestellt in Abb. 7.



Abbildung 7: Heizölzerstäubung mit einer 0,5-GPH-Düse bei 1,5 bar Zerstäuberdruck.

Die Abbildungen 5 – 7 zeigen den Zerstäubungsvorgang in einem Druckbereich, der unterhalb des empfohlenen liegt, und für den Fall, dass die zu zerstäubende Flüssigkeit nicht an dem Düsenkörper haften bleibt. Abbildung 8 präsentiert Fälle, bei denen Flüssigkeit an der Düse haftet. Ob Flüssigkeit an der Düse haftet oder nicht, hängt oft von schwer kontrollierbaren Sekundäreffekten ab.

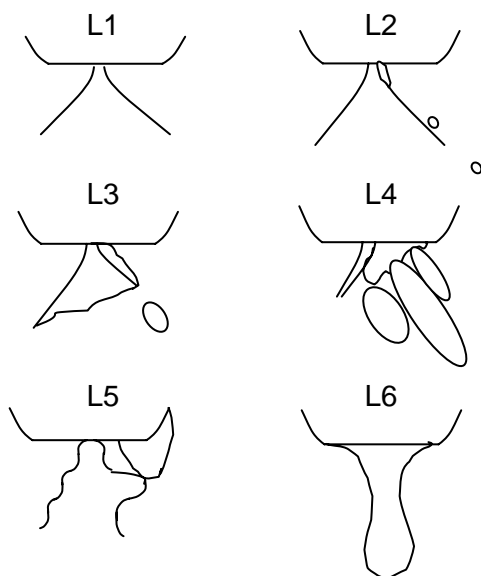


Abbildung 8: Häufige Ligamentformationen durch Flüssigkeitshaftung an der Stirnfläche.

Das Bild L1 (Ligamentformation 1) in Abbildung 8 zeigt die Zerstäubung ohne Ligamentbildung an der Stirnfläche. Bei einer 0,5-GPH-Düse ist dies der Normalfall oberhalb ca. 5 – 7 bar Öldruck.

Bei L2 findet eine periodische Tropfenbildung an der Bohrungskante statt. Dies kann bei jedem Ölversorgungsdruck vorkommen, wenn die Düsenaustrittsbohrung oder die Kante zwischen Bohrung und Stirnfläche eine grobe Oberfläche bzw. eine leichte Beschädigung aufweist. Die sich dabei bildenden Tropfen sind groß und verschlechtern die Sprayqualität. Dieser Zerstäubungsfehler ist in der Praxis häufig zu beobachten. In der Regel führt die Ligamentbildung nach L2 zur erhöhten Schadstoffbildung bei der Verbrennung.

L3 zeigt eine periodische Ligamentbildung an der Düsenkante. Wenn die Zerstäubung mit einer Düse bereits bei einem Versorgungsdruck oberhalb ca. 10 bar eine Ligamentbildung nach L2 aufweist, besteht die Tendenz, dass die Flüssigkeitshaftung mit der Reduzierung des Öldruckes zunimmt und Ligamentformationen nach L3 – L6 auftreten. L3 führt zu starker Rußbildung und nach wenigen Betriebsstunden zur Störabschaltung. Das Spray ist bei L4 (permanente Ligamentbildung am Bohrungsrand) nicht mehr zündfähig.

Wird der Brenner abgeschaltet, hört der Ölstrom nicht guillotinentartig auf, sondern innerhalb einer mehrere Millisekunden dauernden Zeit. Dabei tritt kurzzeitig eine der Ligamentformationen L2 – L6 auf, und es haftet sich dabei ein Öltropfen an die Stirnfläche der Dralldüse. Wenn nach dem nächsten Brennerstart dieser Tropfen mit dem zu zerstäubenden Filmkegel periodisch in Berührung kommt, entsteht die als L5 bezeichnete Ligamentbildung. Die Folgen sind eine erhöhte Schadstoffbildung bei der Verbrennung und eine mögliche Verrußung des Brenners. Bei einem Ölversorgungsdruck oberhalb ca. 10 bar geht die Ligamentformation L5 in der Regel in L1 über.

Die Außenkontur der handelsüblichen Druckdralldüsen fördert die Ligamentbildung an der Stirnfläche. Wenn nun bei Luftzufuhr eine Strömungsablösung mit einem Zirkulationswirbel stattfindet, wie dargestellt in Abbildung 9, wird der beim Brennerabschalten gebildete und an der Stirnfläche der Düse haftende Öltropfen beim nächsten Einschalt-

ten durch die Luftzirkulation an der gesamten Düsenkontur verschmiert. Hierdurch kann die in den Bildern L2 – L5 gezeigte Ligamentbildung zu einem permanenten Zustand in einem breiten Förderdruckbereich werden.

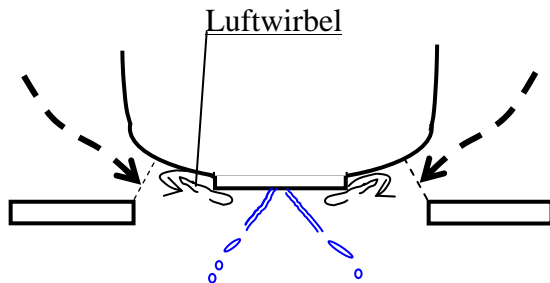


Abbildung 9: Bildung von Luftwirbeln an der Kontur handelsüblicher Druckdralldüsen.

3 Prinzip der luftunterstützten Dralldüse

Die luftunterstützte Druckdralldüse weist eine modifizierte Außenkontur und eine der Bedürfnissen der Zerstäubung angepasste Zufuhr von Zerstäuberluft entlang der Düse auf, wie dargestellt in Abbildung 10.

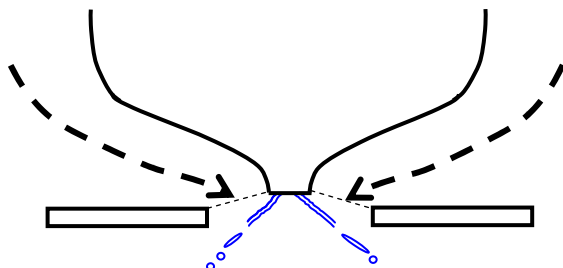


Abbildung 10: Konstruktionsprinzip der luftunterstützten Druckdralldüse.

Die luftunterstützte Druckdralldüse besitzt im Vergleich zu handelsüblichen Düsen eine verkleinerte Stirnfläche. Die Zerstäuberluft wird so an der Düse entlanggeführt, dass **a)** keine Strömungsablösung an der Düsenkontur stattfindet, **b)** die Zerstäuberluft an der Kante der Stirnfläche die möglicherweise dort haftende Flüssigkeit zerstäuben kann und **c)** die Zerstäuberluft den zu zerstäubenden Filmkegel erreicht und so den Zerstäubungsvorgang verbessert.

Eine Verdrallung der Zerstäuberluft, wie gezeigt in Abbildung 11, verbessert erheblich die Zerstäubung. Der durch gestrichelte Pfeile dargestellte Luftstrom gelangt mit ei-

ner tangentialen Geschwindigkeitskomponente in die Luftdrallkammer. Die Zerstäuberluft wird durch die Zentralbohrung (gestrichelter Zentralkreis) der Zerstäubung zugeführt. Durch die anderen Bohrungen gelangt die für die Zerstäubung nicht benötigte Luft in den Brenner. Die Auslegung der Dralleinrichtung und konstruktive Beispiele werden in [14] ausführlich behandelt.

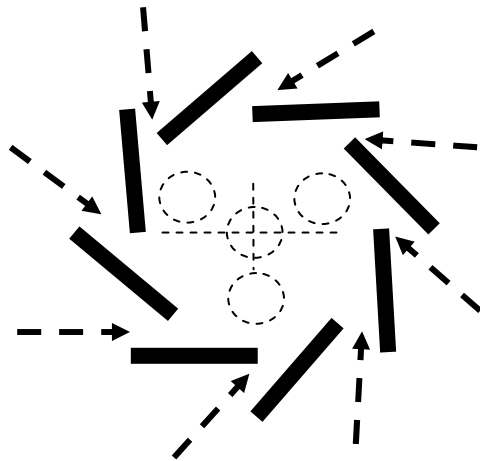


Abbildung 11: Verdrallung der Zerstäuberluft.

Abbildung 12 stellt einen Brenner mit der luftunterstützten Dralldüse dar.

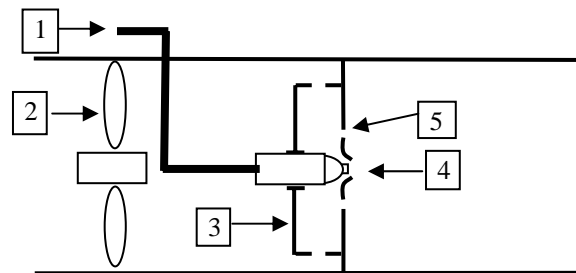


Abbildung 12: Skizze eines Brenners mit der vorgeschlagenen Dralldüse. 1) Brennstoffzufuhr, 2) Luftgebläse, 3) Dralleinrichtung nach Abbildung 11, 4) Zufuhr der Zerstäubungsluft nach Abbildung 10, 5) Zufuhr der restlichen Verbrennungsluft.

4 Versuchsergebnisse

Um die Wirksamkeit der beschriebenen Maßnahmen zu verifizieren, wurden an verschiedenen Hohlkegeldüsen der Firma Steinen mit modifizierter Außenkontur Untersuchungen durchgeführt. Die Düsenspezifika-

onen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Die angewandten Umrechnungsfaktoren der Leistungs- und Massenstromangaben gemäß mittlerer Dichte und Heizwert von Heizöl EL sind in der letzten Zeile der Tabelle aufgelistet.

Wegen der großen Anzahl der untersuchten Düsen wurde auf eine traditionelle Spraydiagnose mit Messung der Tropfengrößenverteilung verzichtet. Die Untersuchung der Sprayqualität besteht aus Erstellung und Auswertung von digitalen Hochgeschwindigkeitsbildern über den Zerstäubungsvorgang. Zu jedem Versuchspunkt wurden ca. 30 Bilder ausgewertet und je zwei Bilder festgehalten. Die Bilder wurden mit einer Belichtungszeit von ca. 70 ns mit einem Nanolight Driver der Firma *High Speed Photo Systems* gemacht. Zur Bildbearbeitung und Analyse wurde das Software Paket von *OPTIMAS* eingesetzt.

Die Beurteilungskriterien für die Zerstäubung sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Untersuchungsergebnisse (Sprayqualität als Funktion des Öldruckes bzw. der Brennerleistung) sind in den Tabellen 3 – 6 zu sehen. Jede Düse wurde zunächst ohne Zerstäubungsluft, d.h. im Sinne der herkömmlichen Zerstäubung, im Druckbereich der Ölzufuhr von 7 bar bis zum maximal einstellbaren Förderdruck von 23 ± 2 bar untersucht. Anschließend wurden die Zerstäubungsversuche im reduzierten Leistungsbe- reich mit Luftunterstützung durchgeführt. Das Druckniveau der Zerstäuberluft lag für die Düsen 0.45 – 0.65 GPH im Bereich von 20 – 23 mbar. Bei der 0.75 GPH Düse musste der Luftdruck auf 44 mbar erhöht werden, um die Zerstäubungsqualität auch für eine Brennerleistung unterhalb von 10 kW hinreichend zu verbessern. Der Volumenstrom der Zerstäubungsluft beträgt 2 – 2,4 m³/h; bei der 0.75 GPH Düse musste der Volumenstrom auf 2,8 m³/h erhöht werden.

Werksangabe				gemessene Werte		
Düsentyp Steinen	Charakter	Nennleistung GPH (\equiv kW) bei 7 bar	Spray winkel	Leistung bei 7 bar kg/h \equiv kW	Filmwinkel bei 7 bar	geeignet für Blaubrenner im Leistungsbereich
0.45 60° H	Hohlkegel	0,45 (\equiv 16,3)	60°	1,3 \equiv 15,4	80°	15 – 25 kW
0.5 80° H	Hohlkegel	0,5 (\equiv 18,0)	80°	1,43 \equiv 17	80°	20 – 27 kW
0.6 80° H	Hohlkegel	0,6 (\equiv 21,8)	80°	1,7 \equiv 20,2	80°	27 – 31 kW
0.65 80° H	Hohlkegel	0,65 (\equiv 23,6)	80°	1,84 \equiv 21,8	70°	30 – 38 kW
0.75 80° H	Hohlkegel	0,75 (\equiv 27,1)	80°	2,2 \equiv 26,1	60°	38 – 45 kW
1 GPH \equiv 3,06 kg/h Ölmassenstrom \equiv 36 kW Brennerleistung						

Tabelle 1: Zusammenstellung der untersuchten Düsen. Die gemessenen Werte gelten für unpräparierte Düsen bei einer Öltemperatur von ca. 70° C.

Spraybild	Orientierungs- wert für die maximale Tropfengröße D _{max}	Eignung des Ölsprays für schadstoffarme Verbrennung mit einem Blaubrenner
sehr gut	D _{max} < 90 μm	sehr gut
gut	D _{max} \approx 100 μm	gut
befriedigend	D _{max} < 130 μm	nur bei einer optimalen Brennerkonstruktion möglich
mangelhaft	D _{max} \approx 150 μm	schwierig
schlecht	D _{max} > 180 μm	nicht möglich
?	?	Die eingestellte Optik lässt eine Beurteilung nicht zu. Das Spraybild ist nach Beobachtung mittels Stroboskop schlecht und ist für eine schadstoffarme Verbrennung wahrscheinlich nicht geeignet.

Tabelle 2: Beurteilungskriterien für die Zerstäubung.

Düse Steinen 0.45 60° H			
	Öldruck <i>bar</i>	Leistung <i>kW</i>	Spray- bild
ohne Luft- zufuhr	23	24,9	sehr gut
	12	19,6	sehr gut
	7	15,4	sehr gut
mit Luft- zufuhr 2,2 <i>m³/h</i> 20 <i>mbar</i>	7	15,4	sehr gut
	5	13,7	sehr gut
	3,7	11,9	sehr gut
	3,2	11,2	sehr gut
	2,9	10,7	sehr gut
	2,6	9,5	sehr gut
	2,2	9,4	sehr gut
	1,8	8,7	sehr gut
	0,9	6,4	sehr gut
	0,62	5,6	schlecht

Tabelle 3: Zerstäubung mit 0.45 GPH Düse.

Düse Steinen 0.5 80° H			
	Öldruck <i>bar</i>	Leistung <i>kW</i>	Spray- bild
ohne Luft- zufuhr	23	27,3	sehr gut
	11,5	21,0	sehr gut
	7	17,0	befried.
mit Luft- zufuhr 2,1 <i>m³/h</i> 22 <i>mbar</i>	7	17,1	sehr gut
	3,6	13,1	sehr gut
	3	11,9	sehr gut
	1,6	9,1	sehr gut
	1	7,7	sehr gut
	0,7	6,5	gut
	0,5	5,9	schlecht

Tabelle 4: Zerstäubung mit 0.5 GPH Düse.

Düse Steinen 0.6 80° H			
	Öldruck <i>bar</i>	Leistung <i>kW</i>	Spray- bild
ohne Luft- zufuhr	21,5	30,9	gut
	14	27,3	gut
	9,1	22,4	befried.
	7	20,2	mangelh.
	5,6	17,8	mangelh.
mit Luft- zufuhr 2,0 <i>m³/h</i> 23 <i>mbar</i>	12,6	25,5	sehr gut
	9	22,2	sehr gut
	7	20,2	sehr gut
	5,1	17,6	sehr gut
	3,1	14,2	gut
	1,8	11,3	gut
	1,3	9,9	befried.
	0,75	8,3	befried.
	0,62	7,5	befried.

Tabelle 5: Zerstäubung mit 0.6 GPH Düse.

Düse Steinen 0.65 80° H			
	Öldruck <i>bar</i>	Leistung <i>kW</i>	Spray- bild
ohne Luft- zufuhr	21,5	30,9	gut
	14	27,3	gut
	9,1	22,4	befried.
	7	20,2	mangelh.
mit Luft- zufuhr 2,4 <i>m³/h</i> 22 <i>mbar</i>	12,6	25,5	sehr gut
	9	22,2	sehr gut
	7	20,2	sehr gut
	5,1	17,6	sehr gut
	0,75	8,3	befried.
	0,62	7,5	befried.

Tabelle 6: Zerstäubung mit 0.65 GPH Düse.

Düse Steinen 0.75 80° H			
	Öldruck <i>bar</i>	Leistung <i>kW</i>	Spray- bild
ohne Luft- zufuhr	24,5	47,5	gut
	18	40,4	befried.
	11,7	33,2	?
	8,5	28,5	?
	5,7	23,7	?
mit Luft- zufuhr 2,0 <i>m³/h</i> 23 <i>mbar</i>	3,2	17,8	?
	11,6	33,2	gut
	8,6	28,5	gut
	6,6	26,1	gut
	4,9	22,6	gut
	3,4	19,0	gut
	2,9	17,6	befried.
	2,1	15,4	mangelh.
	1,5	13,1	mangelh.
	0,75	9,9	mangelh.
mit Luft- zufuhr 2,8 <i>m³/h</i> 44 <i>mbar</i>	1,0	11,3	befried.
	0,75	9,9	gut
	0,73	9,7	gut
	0,55	8,9	gut
	0,4	7,7	befried.

Tabelle 7: Zerstäubung mit 0.75 GPH Düse.

Die Größe des untersuchten Zerfallbereiches beträgt bei allen Düsen 6 x 6 mm. Mit zunehmender Düsenkapazität werden beim Zerfall alle Flüssigkeitsstrukturen (intakte Länge, Zerfallsweg, etc.) und die Tropfen größer. Bei der 0.75 GPH Düse erwies sich in einigen Fällen die 6 x 6 mm Bildgröße als zu klein: So erscheinen in der Tabelle 7 einige Fragezeichen. In der Spalte *Spraybild* bedeutet ?, dass die Tropfengröße aus den digitalen Bildern nicht mehr beurteilt werden kann.

5 Schlussfolgerungen

Die in dieser Arbeit vorgeschlagene Luftunterstützung der Brennstoffzerstäubung mittels entsprechender Modifikation der Düsenkontur ermöglicht eine Verkleinerung der Tropfengröße bei gleichzeitiger Verminderung des Ölförderdruckes und Vergrößerung der Bohrungs- und Kanalabmessungen der Düse. Der Druck der Zerstäuberluft muss dabei ca. 20 mbar übertreffen. Der Volumenstrom der benötigten Zerstäuberluft liegt je nach Betriebsparameter im Bereich von 5 – 30 % der Verbrennungsluft.

Werden die modifizierten Druckdralldüsen in einem regelbaren Brenner im Regelbereich 1 : 3 eingesetzt und liegt der Öldruck bei der großen Brennerstufe bei 20 – 25 bar, so entspricht der benötigte Volumenstrom der Zerstäuberluft für die kleine Brennerstufe ca. 20 % des Verbrennungsluftbedarfes der reduzierten Stufe. Wird der Regelbereich auf ca. 1 : 5 erhöht, erhöht sich der Bedarf an Zerstäuberluft bei der kleinen Stufe auf ca. 33 % der Verbrennungsluft.

Ein regelbarer Ölbrenner im Leistungsbereich 7 – 30 kW kann demnach mit einer 0,45 oder einer 0,5 GPH Düse verwirklicht werden, indem für die Unterstützung der Zerstäubung ein Luftstrom auf dem Druckniveau von $p > 20$ mbar zur Verfügung gestellt wird. Soll der gleiche Leistungsbereich mit einer 0,6 – 0,65 GPH Düse erreicht werden, muss das Druckniveau der Luftunterstützung auf 30 – 40 mbar erhöht werden. Steht Zerstäubungsluft auf dem Druckniveau von 50 mbar zur Verfügung, kann ein regelbarer Brenner im Leistungsbereich von 8 – 45 kW mit einer 0,75 GPH Düse realisiert werden.

Mit dem vorgeschlagenen Zerstäubungsverfahren können auch nicht regelbare Ölbrenner betrieben werden. Das Druckniveau der Ölzufuhr wird dabei je nach Düse (0,6 – 0,75 GPH) und Brennerleistung (15 – 35 kW) auf 2 – 10 bar gesenkt, jedoch muss ca. 20 % der Verbrennungsluft auf dem Druckniveau von ca. 20 mbar zur Unterstützung der Zerstäubung zur Verfügung stehen. Das vorgeschlagene Verfahren führt insgesamt zur Reduzierung der Stromaufnahme des Brenners, es vermindert die Verstopfungsgefahr der Düse und verbessert die Verbrennungsqualität.

6 Referenzen

[1] Z. Faragó: Kraftstoffaufbereitung und Verbrennung in Brennern; Symposium Kraftstoffe; Wehrwissenschaftliches Institut für Materialuntersuchungen, Erding, 1985

[2] W. Buschulte, Z. Faragó: Regelbare Ölbrenner für Hausheizungen im Leistungsbereich von 5 bis 25 kW; VDI GVC – Hochtemperaturtechnik, Bonn 1986

[3] W. Buschulte, W. Wedekamm: Theoretische und experimentelle Untersuchungen von Ölbrennerdüsen; Schadstoffarme Hausheizungen: Systemanalyse; Gentner Verlag Stuttgart, MAN Neue Technologie, 1976

[4] Zoltán Faragó: Untersuchungen über Anforderungen an Brennstoffzerstäubersysteme für Kleinstölbrenner; DFVLR Interner Bericht IB 643 – 81/10, 1981

[5] Julie Parent, Z. Faragó: Theoretical and experimental study on the atomization of fuel oil and simulation fluids with simplex swirl atomizer, DFVLR IB 643 – 86/13, 1986

[6] T. Schork, Z. Faragó: Berechnungen zur Filmaufbereitung und Filmbewegung einer Druckdralldüse; DFVLR Forschungsbericht, DFVLR – FB 87 – 25, 1987

[7] T. Schork, Z. Faragó: Calculation on Film Preparation and Film Motion of a Swirl Atomizer, ESA – TT – 1096, 1988

[8] Z. Faragó, A. Baumann: Stabilitätskriterien zur Berechnung der Filmaufbereitung mit Druckdralldüsen; DFVLR, 1990

[9] Wolfgang Möllenbruck: Strömungsprobleme von leichtem Heizöl in Ölfeueuranlagen; DLR IB 643 – 90/14, 1990

[10] Thierry Ribera, Zoltán Faragó: Experimental Investigation on Novel Swirl Atomizers, DLR IB 645 – 96/17, 1996

[11] E. Goller, H. Eickhoff, A. Kayser (Erfinder): Brenner für einen mit diesem eine Einheit bildenden Heizkessel für Wasser; Patentschrift, DE 3608698 C2, 1986

[12] Z. Faragó, T. Schork (Erfinder): Dralldüse zum Zerstäuben einer Flüssigkeit; Patentschrift P 3742015 mit korrespondierenden Patenten in Europa und USA, 1987

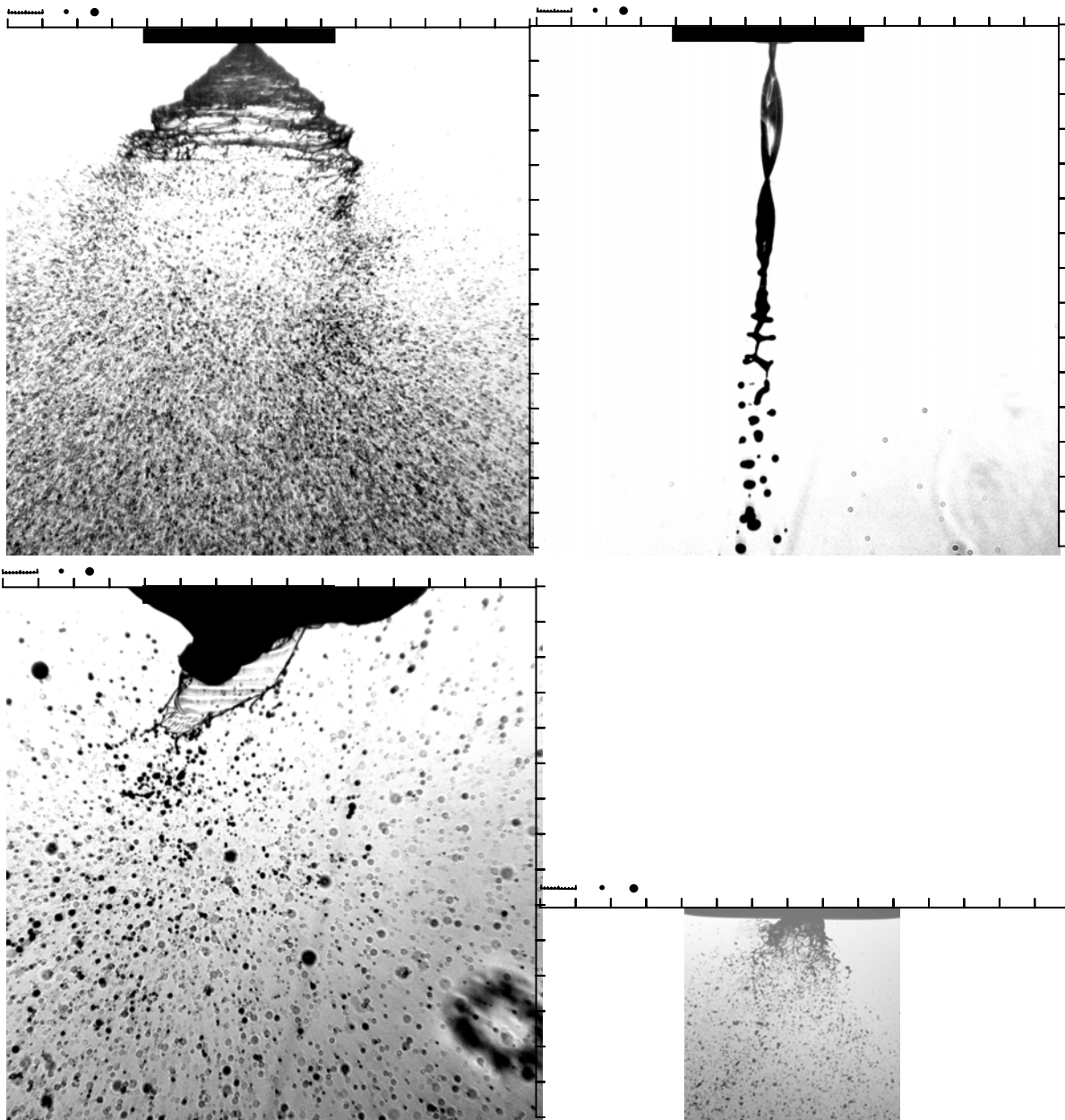
[13] Z. Faragó, B. Knapp, F. Fraulob (Erfinder): Heizölzerstäubung mittels Druckdralldüsen; Patentan Nr.100 24977, 2000

[14] Z. Faragó, B. Knapp: Luftunterstützte Druckdralldüse; Projektbericht zum IWO-Projekt Nr. 2000-8 und DLR-Interner-Bericht IB 645 – 2000/19, 2000

ANHANG

Zerstäubungsbilder – Bilderrahmen mit *mm*-Maßstab und Tropfenmaßstab von 100 und 200 μm ; Düse: Steinen 0.4 GPH 80° H; Brennstoff: Heizöl EL 70°C

oben links:	Öldruck 7,5 <i>bar</i> ,	Brennerleistung 17 <i>kW</i>	herkömmliche Zerstäubung
oben rechts:	Öldruck 0,9 <i>bar</i> ,	Brennerleistung 6 <i>kW</i>	herkömmliche Zerstäubung
unten links:	Öldruck 1,1 <i>bar</i> ,	Brennerleistung 6,2 <i>kW</i>	herkömmliche Zerstäubung
unten rechts:	Öldruck 0,9 <i>bar</i> ,	Brennerleistung 5,8 <i>kW</i>	luftunterstützte Zerstäubung
	Luftdruck 23 <i>mbar</i> , Luftstrom 2,4 <i>m³/h</i>		



Die Verfasser danken dem Institut für wirtschaftliche Ölheizung e.V. für die Unterstützung dieses Vorhabens.

* Email: zoltan.farago@dlr.de