

## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

### Allgemeine Betrachtungen

Homogene und heterogene Verbrennung

Fette und magere Verbrennung

Wie hoch muss mindestens der Luftüberschuss sein?

Brennstoff-Partikelgröße und Verbrennungsqualität

### Heizölfeuerungen

Sprayverbrennung, Gelbbrenner

Heizölverbrennung mit Blaubrenner

Spraycharakterisierung

Brennstoffzerstäubung

### Zerstäubung von Heizöl EL mit Druckdralldüse

Tropfenverdampfung, D<sup>2</sup>-Gesetz

Ölbrenner

### Feststofffeuerungen

Brennstoffaufbereitung bei Feststoffverbrennung

Klassifizierung der Feststofffeuerungen

## Zerstäubung von Heizöl EL mit Druckdralldüse – Fortsetzung

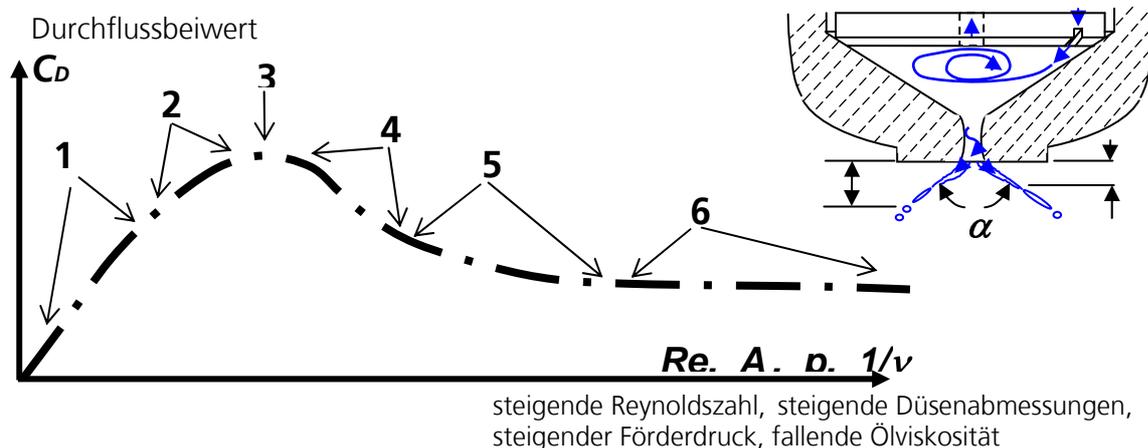


Abbildung 12: Durchflusskennlinie von Druckdralldüsen

Der Durchflussbeiwert (Einschnürungsbeiwert) bei einer Querschnittsänderung durchströmter Rohre ist das Verhältnis des durchströmten Querschnitts zum geometrischen Querschnitt. Bei ausgebildeter viskositätsfreier Strömung ist der Durchflussbeiwert unabhängig von der Reynoldszahl. Die Durchflusskennlinie einer Druckdralldüse weist mit steigender Reynoldszahl folgende Bereiche aus. **Bereich 1**, Sprühbild nach Abbildung 13, typisch für ca. 5 – 10 ms nach Brennschluss; In diesem Bereich steigt der Durchflussbeiwert linear mit der Reynoldszahl. Keine Zerstäubung! **Bereich 2**, Sprühbild nach Abbildung 14, typisch für ca. 3 – 4 ms nach Brennerschluss; Der Anstieg des Durchflussbeiwerts mit steigender Reynoldszahl schwächt sich ab. Strahlenbildung, keine Zerstäubung! **Bereich 3**, Sprühbild nach Abbildung 15, typisch für ca. 1 – 2 ms nach Brennerschluss; Maximum des Durchflussbeiwerts. Beginnende, äußerst schlechte Zerstäubung. **Bereich 4**, Sprühbild nach Abb. 16, 0,3 – 0,5 GPH-Düse bei  $7 < p < 10$  bar Förderdruck; In dem Engquerschnitt der Düse bildet sich ein Luftkern, der Durchmesser des Luftkerns wächst stark mit steigender Reynoldszahl. Schlechte Zerstäubung. **Bereich 5**, Sprühbild nach Abb. 17, 0,3 – 0,5 GPH-Düse bei  $10 < p < 15$  bar Förderdruck; Der Luftkern im Engquerschnitt der Düse wird von der Reynoldszahl nur schwach beeinflusst. Gute Zerstäubung. **Bereich 6**; Sprühbild nach Abbildung 18; 0,3 – 0,5 GPH-Düse bei  $30 \text{ bar} < p$  Förderdruck, oder 0,5 – 1,0 GPH-Düse bei  $15 < p < 30$  bar Förderdruck, oder Düsen über 1 GPH bei  $10 \text{ bar} < p$  Förderdruck. Ideale Zerstäubung, keine Viskositätsabhängigkeit, Gültigkeitsbereich der Gleichungen (1 – 6).

## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

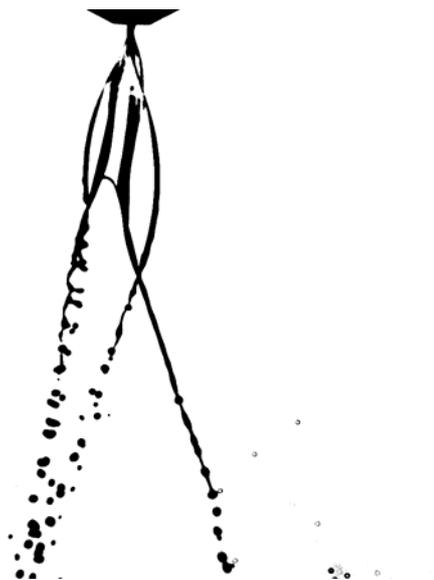
[www.farago.info](http://www.farago.info)

$C_D = U_{\text{Düsenaustritt}} / U_{\text{theoretisch}} = (\text{Durchsatz gemessen}) / ((2p/\rho)^{0,5} \rho(A_{\text{Düsenaustritt}}))$  mit  
 $u$ : Geschwindigkeit,  $p$ : Förderdruck,  $\rho$ : Dichte,  $A$ : Fläche der Düsenaustrittsbohrung und  
 $U_{\text{theoretisch}} : (2p/\rho)^{0,5}$ .



**Abbildung 13:** Sprühbild einer Druckdralldüse ca. 5 – 10 ms nach Brennerschluss.

Falls zwischen Ölpumpe und Dralldüse in der Ölleitung eine Luftblase eingeschlossen ist, dehnt sich diese nach Abschalten des Brenners aus und treibt mehrere hundert Millisekunden lang Heizöl nach obigem Sprühbild in den Feuerraum. Heizöl, das nach dem Brennerschluss in den Feuerraum gelangt, macht sich beim nächsten Einschalten als Brennerstart-Schadstoffemission bemerkbar. Vorkehrung: nach der Montage den Brenner ohne Zündung mehrere mal ein- und ausschalten und das heraustretende Heizöl auffangen; Brenner in Kerzenstellung starten.



**Abbildung 14:** Sprühbild einer Druckdralldüse ca. 3 – 4 ms nach Brennerschluss

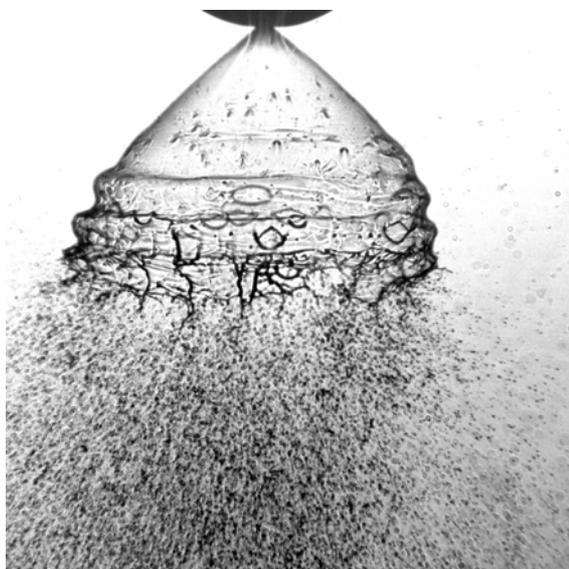
Der rotierende Vollstrahl bildet einen Kegel nach dem Düsenaustritt.

## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen



**Abbildung 15:** Sprühbild einer Druckdralldüse ca. 1 – 2 ms nach Brennerschluss

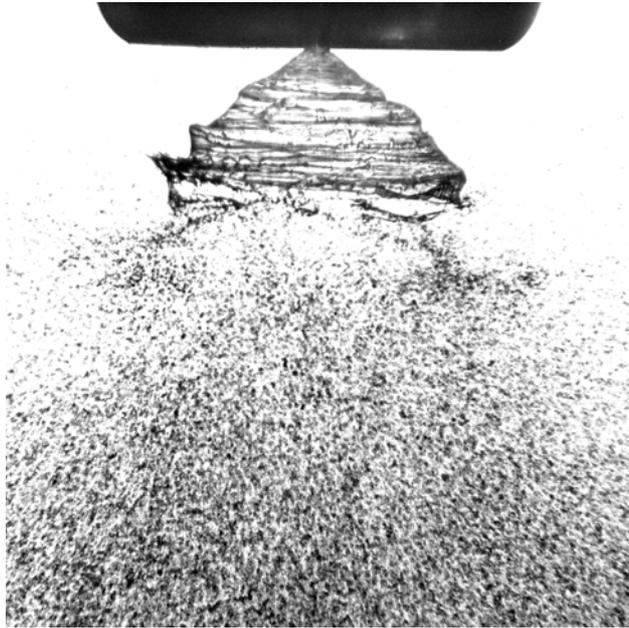
Der in Abbildung 15 dargestellte Ölfilmkegel wird auch als „Zwiebel“ bezeichnet. Ein Luftkern bildet sich im Düsenaustritt, dessen Durchmesser mit zunehmendem Förderdruck größer wird.



**Abbildung 16:** Sprühbild einer 0,3 – 0,5 GPH-Düse bei einem Förderdruck von ca. 7 – 10 bar.

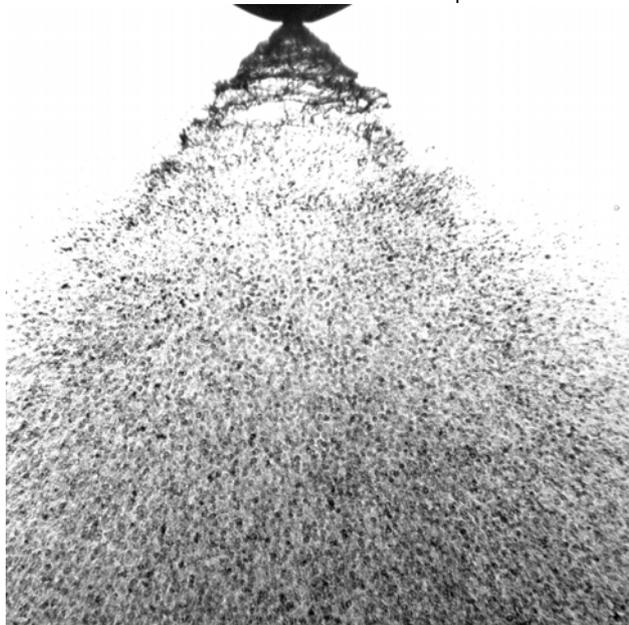
Dieser Filmkegel wird auch als „Tulpe“ bezeichnet. Das in Abbildung 16 gezeigte Sprühbild ist typisch bei der Ölzerstäubung mit Düsen von 0,3 bis 0,5 GPH in Hausheizungen. Der Durchflussbeiwert in Abbildung 9 zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Viskosität. Dementsprechend weist die Brennerleistung kleiner Heizungsanlagen ölqualitäts- und temperaturabhängige Schwankungen auf, die trotz Ölvorwärmung nicht ganz behoben werden können.

## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen



**Abbildung 17:** Sprühbild einer 0,3 – 0,5 GPH-Düse bei einem Förderdruck von ca. 10 – 15 bar.

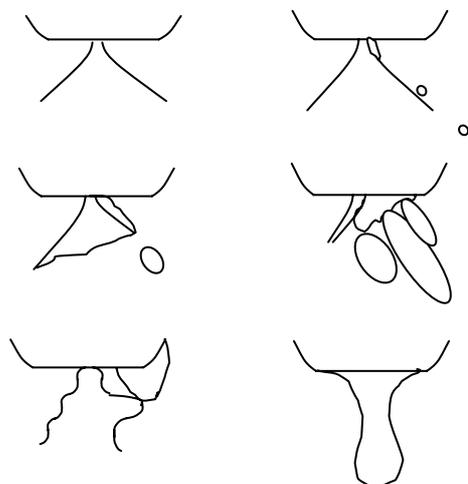
Der Durchflussbeiwert in Abbildung 12 zeigt eine schwache Abhängigkeit von der Viskosität. Die Brennerleistung kleiner Anlagen, die mit einem Förderdruck von über 10 bar betrieben werden, sind dementsprechend nicht mehr so stark von der Heizölqualität beeinflusst.



**Abbildung 18:** Sprühbild der Ölzerstäubung mit einer Druckdralldüse im quasiviskositätsfreien Betriebsbereich

Der Durchflussbeiwert in Abbildung 12 zeigt keine Abhängigkeit von der Viskosität, Reynoldszahl oder Förderdruck. Die Umrechnung des Durchsatzes nach Gleichungen (1) bis (6) ergibt exakte Werte, eine Schwankung der Ölviskosität macht sich nicht bemerkbar auf die Brennerleistung oder Zerstäubungsqualität.

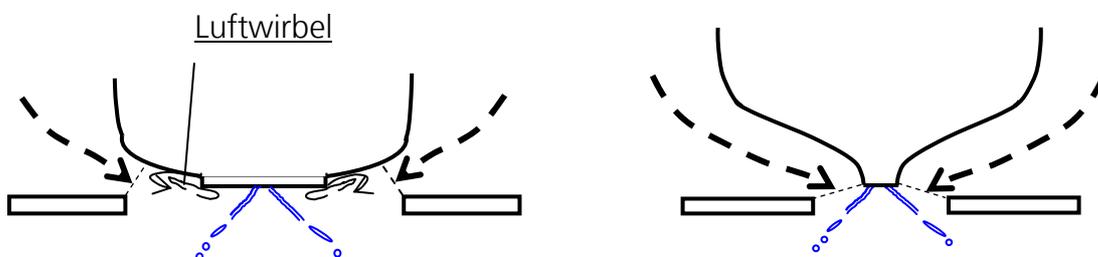
## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen



Die Sprühbilder in den Abbildungen 13 bis 18 zeigen Druckdralldüsen, deren Konturen fehlerfrei und tadellos poliert sind. Wenn die Oberfläche der Düse die geringste Verschmutzung oder Beschädigung aufweist, entstehen bei abnehmendem Öldruck typische Ereignisse, wie dargestellt in Abbildung 19. Das Bild links oben zeigt die normale Zerstäubung. Bei einem Fehler an der Düsenstirnfläche entsteht das Sprühbild wie dargestellt im oberen rechten Bild. Bei Abnahme des Förderdruckes verschlechtert sich die Zerstäubung wie in den mittleren Bildern. Die unteren zwei Bilder zeigen andere typische Fehlermöglichkeiten der Zerstäubung bei zu niedrigem Zerstäubedruck.

**Abbildung 19:** Typische Fehler der Ölzerstäubung mit Druckdralldüsen bei zu niedrigem Zerstäubedruck.

Je kleiner die Düsenkapazität, umso größer ist der notwendige Mindestdruck, um die in Abbildung 19 gezeigten Fehlermöglichkeiten zu vermeiden. Bei einer Düse von 0,5 GPH (ca. 1,5 kg/h) können die gezeigten Fehler unterhalb von ca. 3 bar auftreten. Ist die Düsenoberfläche verschmutzt, erhöht sich der erforderliche Mindestdruck. Bei einer 0,3 GPH Düse ist der erforderliche Mindestdruck deutlich höher.



**Abbildung 20** Herkömmliche (linkes Bild) und verbesserte Düsenaustrittskontur (rechtes Bild)

Der Grund für die in Abbildung 19 gezeigten Fehler der Zersprühung ist die aerodynamisch ungünstige Düsenkontur. An der Düsenkante entstehen Luftablösungen, wie gezeigt im linken Bild in Abbildung 20. Die Luftablösung übt eine Saugwirkung auf den Sprühkegel aus und verhindert die rotationsymmetrische Kegelformbildung. Wird die Düsenaußenkontur hingegen aerodynamisch optimiert (rechtes Bild), kann ein optimaler Filmkegel auch bei stark reduzierten Öldrücken entstehen. Die Verbrennungsluft unterstützt in diesem Fall die Zerstäubung: Daher lautet die Bezeichnung dieser Zerstäubung „luftunterstützte Druckdralldüse“. Die Luftunterstützung führt zu einer deutlichen Verringerung der erreichbaren Brennerleistungen, ohne die Kanalabmessungen der Düse zu reduzieren, wie gezeigt in Abbildung 21.

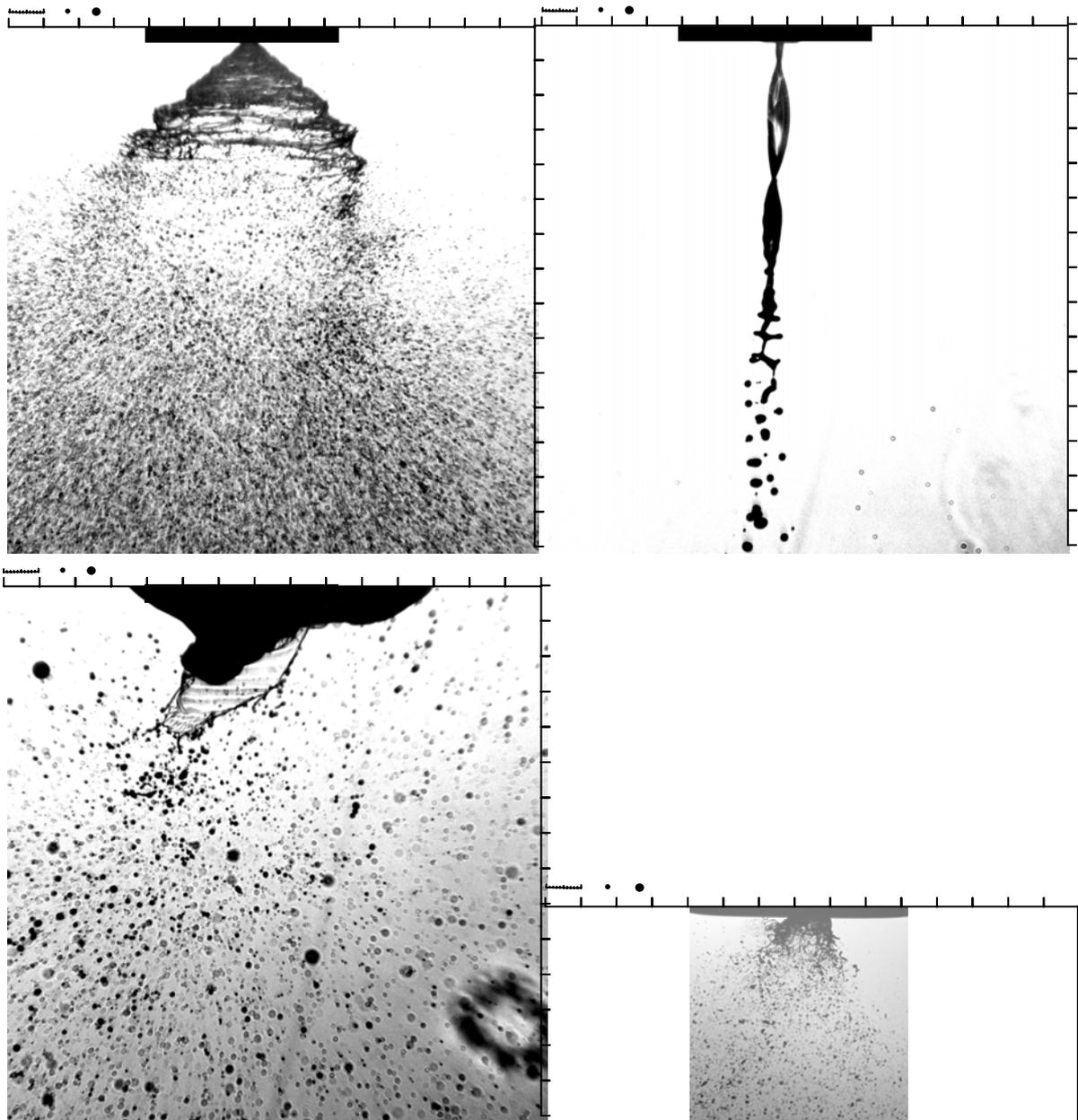
## 4 – Heizöl- und Feststofffeuerungen

[www.farago.info](http://www.farago.info)

In Abbildung 21 zeigen die Bilder

oben links: Öldruck 7,5 bar, Brennerleistung 17 kW herkömmliche Zerstäubung,  
oben rechts: Öldruck 0,9 bar, Brennerleistung 6 kW herkömmliche Zerstäubung,  
unten links: Öldruck 1,1 bar, Brennerleistung 6,2 kW herkömmliche Zerstäubung,  
unten rechts: Öldruck 0,9 bar, Brennerleistung 5,8 kW **luftunterstützte** Zerstäubung

Luftdruck 23 mbar, Luftstrom 2,4 m<sup>3</sup>/h



**Abbildung 21:** Vergleich herkömmlicher und luftunterstützter Druckdralldüsen

Quelle für die Abbildungen 13-21: Faragó, Knapp: Luftunterstützte Dralldüse; 3. Aachener Kolloquium: Heizwärme aus Ölverbrennung; Schaker Verlag, Aachen, 2000

(siehe auch: <http://www.farago.info/job/Spray/aachen.htm>)