

# Charakterisierung und Modellierung der Strahlgeometrie und des Strahlabrisses eines Rotationszerstäubers

HOLGER SITZLER, STEFAN PALZER UND KARL SOMMER\*

## 1 Problemstellung

Zum Erzeugen eines engen Tropfengrößenspektrums aus hochviskosen Flüssigkeiten wie Konzentraten oder Hydrokolloidlösungen werden vor allem Rotationszerstäuber angewendet. Diese können sowohl in einem Sprühkühlungs- als auch in einem Sprühtrocknungsprozess eingesetzt werden. Die Qualität der Endprodukte hängt dabei zum einen stark von der Zufuhrmenge und vom Zufuhrort der zur Erstarrung bzw. Trocknung eingesetzten Kalt- oder Warmluft ab. Zum anderen ist jedoch die Geometrie des aus dem Zerstäuber austretenden Flüssigkeitsstrahles sowie der damit verbundene Ort des Tropfenabrisses von größter Bedeutung. Die Dicke des Flüssigkeitsstrahles am Abrissort ist ausschlaggebend für die resultierende Tropfengröße.

Die existierenden Modelle sind entweder recht kompliziert und wenig benutzerfreundlich [1], oder sie ermöglichen nur die Modellierung der Geometrie des Strahles innerhalb eines Winkelbereiches von bis zu 90°. Ziel dieser Arbeit ist es, auf der Grundlage eines kinematischen Ansatzes die Strahlgeometrie und die Strahldicke zu modellieren und ausgehend von der Arbeit von WEBER [2] den Ort des Strahlerfalles abzuschätzen. Die berechneten Werte werden mit den Messwerten verglichen.

## 2 Theoretische Grundlagen

FATH [3] unterteilt den Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles in zwei unterschiedliche Prozesse: den Primärzerfall und den Sekundärzerfall. Der Primärzerfall beschreibt das Ablösen von einzelnen Tropfen, Fäden und Tropfenhaufen von einem Flüssigkeitsstrahl, während der Sekundärzerfall die Bildung von Satellitentropfen und die Tropfenkoaleszenz beschreibt. Im Folgenden wird der Primärzerfall betrachtet, der in Abhängigkeit von der Reynolds-Zahl in die Bereiche Abtropfen, Zertropfen, Zerwellen und Zerstäuben eingeteilt wird. Beim untersuchten Zerstäubungsaggregat handelt es sich um einen Rotationszerstäuber, der als perforierter Hohlzylinder mit Bohrungsdurchmessern von 0,4 mm ausgebildet ist. Derartige Viellochzylinder werden im Bereich des Zertropfens eingesetzt. Beim Zertropfen ergeben sich engere Tropfengrößenspektren als beim Zerstäuben.

In dieser Arbeit wird ein eigenes Modell im System eines außenstehenden Beobachters, basierend auf kinematischen Gesetzmäßigkeiten, entwickelt und auf seine

Brauchbarkeit hin untersucht. Im Modell wird davon ausgegangen, dass einzelne Strahlelemente vorliegen. Es wird zunächst unterstellt, dass auf die aus der Düse ausgetretenen Fluidelemente keine beschleunigenden [4] bzw. verzögernden Kräfte wirken (s. Abb. 1).

Der Strahl wird somit zunächst als eine Aneinanderreihung von einzelnen, unabhängigen Fluidelementen betrachtet. Die Fluidelemente verlassen die Düsenbohrung zum Zeitpunkt  $t$  mit der radialen Geschwindigkeit  $v_r$  und der tangentialen Geschwindigkeit  $v_t$ . Sobald dieses Fluidteilchen die Bohrung verlassen hat, sollen auf das Teilchen keine vom rotierenden System herrührenden Kräfte mehr wirken. Aufgrund des Luftwiderstandes und der Viskosität des zu zerstäubenden Fluides wird dieses Fluidelement abgebremst. Für die Berechnung des Luftwiderstandes wird eine kugelförmige Form der Fluidelemente angenommen.

Zur Beschreibung der Bewegung der Fluidelemente wurden kartesische Koordinaten verwendet. Der Ursprung des raumfesten  $x,y$ -Systems wurde auf die Rotationsachse des Düsenzylinders gelegt. Die Bahn des Strahls resultiert aus einer Parameterdarstellung der  $x$ - und  $y$ -Koordinate mit  $t$  als Parameter ( $x, y = f(t)$ ). Zu berücksichtigende Parameter sind der Massenstrom der Flüssigkeit  $MS$ , die Drehzahl  $n$ , die Dichte des Fluides  $\rho_f$ , die Viskosität des Fluides  $\eta$ , die Viskosität der Luft  $\eta_L$ , der Bohrungsradius  $D$  und der Zylinderradius  $Ro$ . Folgende Zusammenhänge werden für die Modellierung der Teilchenbewegung verwendet<sup>1)</sup>:

$$\dot{V} = \frac{MS}{\rho_f} \quad (1)$$

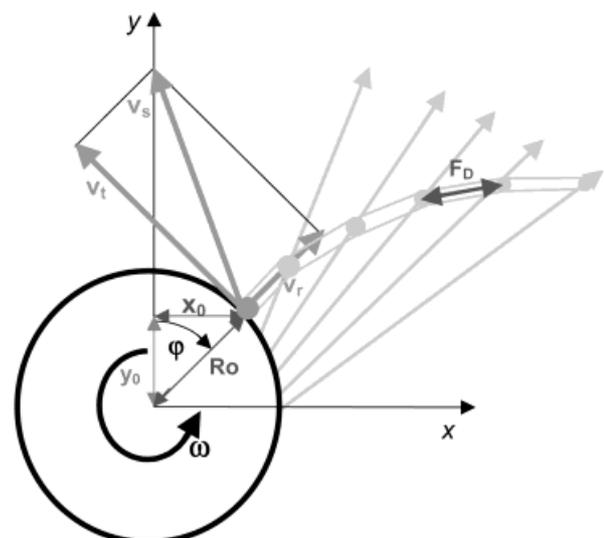
$$v_r = \frac{\dot{V}}{A} \quad (2)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

$$v_t = Ro \omega \quad (4)$$

$$\varphi = \omega t \quad (5)$$

Abbildung 1. Geschwindigkeitskomponenten beim horizontalen Austritt eines Fluidelementes aus der Bohrung des Rotationszerstäubers.



\* Dipl.-Ing. H. SITZLER, Dr.-Ing. S. PALZER, Prof. Dr.-Ing. K. SOMMER, Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, TU München-Weihenstephan, Am Forum 2, D-85350 Freising-Weihenstephan.

1) Eine Zusammenstellung der Formelzeichen befindet sich am Schluss des Beitrags.

Der Winkel  $\varphi$  läuft im Uhrzeigersinn. Die Düse dreht sich gegen den Uhrzeigersinn. Da die Tropfenbildung bei der Betriebsweise des Zerstäubers im Modus Fadenzerrfall (laminarer Strahlzerfall) erfolgt, wird eine laminare Strömung des Fluides vorausgesetzt. Bei laminarer Strömung ist die Widerstandskraft einer Kugel, verursacht durch die Umgebungsluft, nach STOKES proportional zur Teilchengeschwindigkeit:

$$F_W = 6 \pi v r \eta_L = m a_L \tag{6}$$

Daraus resultiert die durch die Luft auf das Fluidelement wirkende Verzögerung  $a_L$ .

$$a_L = -\frac{F_W}{m} = -\frac{6 \pi r \eta_L}{m} v = -\frac{9 r \eta_L}{2 \rho_f r^2} v = -k v \tag{7}$$

Das negative Vorzeichen impliziert die Verzögerung des Fluidelementes. Die Integration liefert für  $v$  folgenden Zusammenhang:

$$v = v_0 e^{-k t} \tag{8}$$

Damit ergibt sich für den Ort an dem sich das Fluidelement befindet folgende Gleichungen:

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v_0 e^{-k t} dt = x_0 + \frac{v_0}{k} (1 - e^{-k t}) \tag{9}$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t v_0 e^{-k t} dt = y_0 + \frac{v_0}{k} (1 - e^{-k t}) \tag{10}$$

Die radiale Geschwindigkeitskomponente  $v_r$  und die tangentielle Geschwindigkeitskomponente  $v_t$  sind in Abhängigkeit vom Austrittsort räumlich ausgerichtet. d. h. benachbarte Fluidelemente entfernen sich zusehens voneinander, wodurch sich eine Dehnung und somit eine zunehmende Spannung im entsprechenden Strahlbereich ergibt. Dies kann durch eine resultierende Kraft  $F_D$  zwischen zwei Fluidelementen modelliert werden. Diese Kraft  $F_D$  berechnet sich in Abhängigkeit von der Dehnrates und der Dehnviskosität. Die Dehnviskosität entspricht bei den vorliegenden Scherraten aufgrund der Fluidcharakterisierung (Newton'sches Fließverhalten im untersuchten Massenstrombereich) dem Dreifachen der Scherviskosität. Die Kraft  $F_D$  bremst die einzelnen Fluidelemente ab. Die auftretende Dehnung wird jedoch für jedes Fluidelement erst nach Ermitteln seiner Position ohne gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Flüssigkeitselemente nachträglich als Korrekturglied berücksichtigt [5]. Aufgrund der Dehnung der Fluidteilchen werden die einzelnen Fluidelemente nach folgendem Schema abgebremst, s. Abb. 2.

Die verzögernd wirkende Kraft, die aus denen im Fluid auftretenden Spannungen resultiert, kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

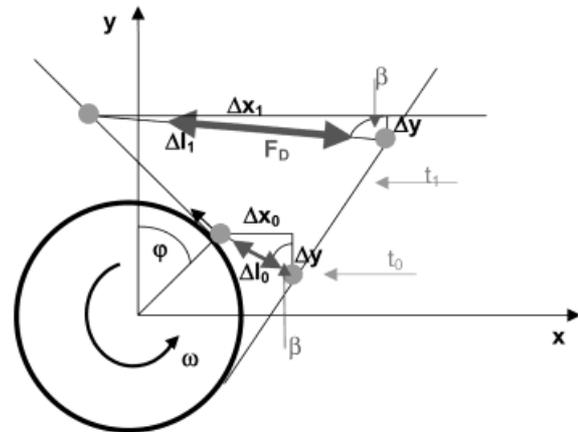
$$F_D = A_{y,z} \sigma_D = m a_D \tag{11}$$

$$\sigma_D = 3 \eta \dot{\epsilon} \tag{12}$$

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\Delta t} = \frac{\epsilon}{t_1 - t_0} \tag{13}$$

$$\Delta \varphi = \omega \Delta t \tag{14}$$

Abbildung 2. Durch die Bewegung zweier Fluidelemente resultierende Kraft  $F_D$ , die eine Verzögerung verursacht.



$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \left| \frac{l_1 - l_0}{l_0} \right| \tag{15}$$

$$l_0 = \sqrt{(\Delta x_0)^2 + (\Delta y_0)^2} \tag{16}$$

$$l_1 = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta y_1)^2} \tag{17}$$

$$\Delta x_0 = |x_1 - x_0| \tag{18}$$

$$\Delta y_0 = |y_1 - y_0| \tag{19}$$

$$\beta = \arctan \left( \frac{\Delta x_1}{\Delta y_1} \right) \tag{20}$$

$$a_D = \frac{\pi D^2 3 \eta \dot{\epsilon}}{4 m} \tag{21}$$

Die resultierenden x-, und y- Koordinaten ergeben sich zu

$$x_{Res} = \left[ x_0 + \left[ \frac{v_x (1 - e^{-k t})}{k} \right] \right] + [0,5 [a_D \sin(\beta) t^2]] \tag{22}$$

$$y_{Res} = \left[ y_0 + \left[ \frac{v_y (1 - e^{-k t})}{k} \right] \right] + [0,5 [a_D \cos(\beta) t^2]] \tag{23}$$

In Gl. (22) bzw. Gl. (23) stellt der erste Summand die berechnete Koordinate unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes dar, während der zweite Summand dem aus der Dehnung des Strahls resultierenden Korrekturglied entspricht.

### 3 Ermittlung des Zerfallortes

MEHRHARD [6] und WALZEL [7] verwenden wie die meisten anderen Autoren, die sich mit der Problematik des Strahlzerfalls beschäftigten, eine auf der Grundlage der Weber'schen Zerfallszeit basierende Beziehung. Nach WEBER [1] zeigt der Strahl aus der Düse kurz nach der Düse keine sichtbaren Störungen. Erst nach einer längeren Wegstrecke tritt eine Wellung ein. Die Einschnürungen wachsen und bringen den Strahl zum Zertropfen. Laut WEBER [1] kann die Zeit  $T_Z$  bis zur Tropfenabschnürung durch folgende Gleichung abgeschätzt werden:

$$T_Z = 12 \left[ \left( \sqrt{\frac{8 \rho_f d_s^3}{\sigma}} \right) + 6 \frac{\eta d_s}{\sigma} \right] \quad (24)$$

WEBER [1] geht von einem konstanten Strahldurchmesser aus. Bei Rotationszerstäubern nimmt der Strahldurchmesser jedoch mit zunehmender Entfernung

Abbildung 3.  
Versuchsanlage.

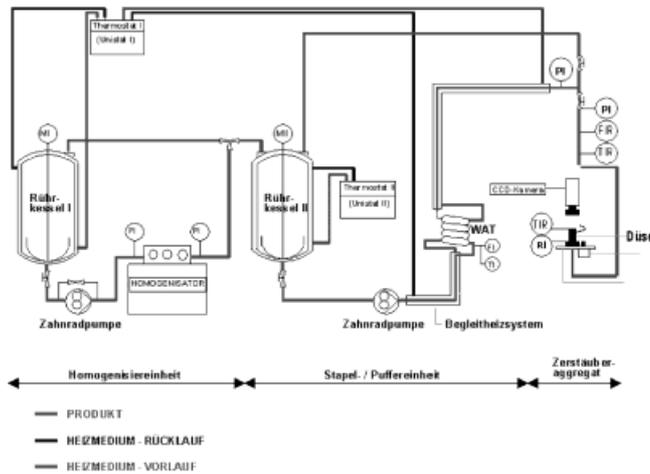
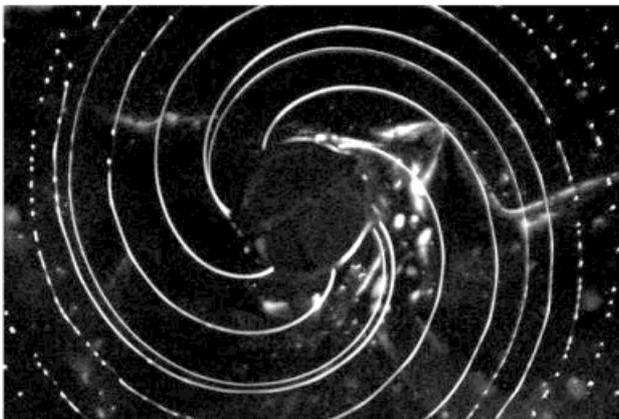
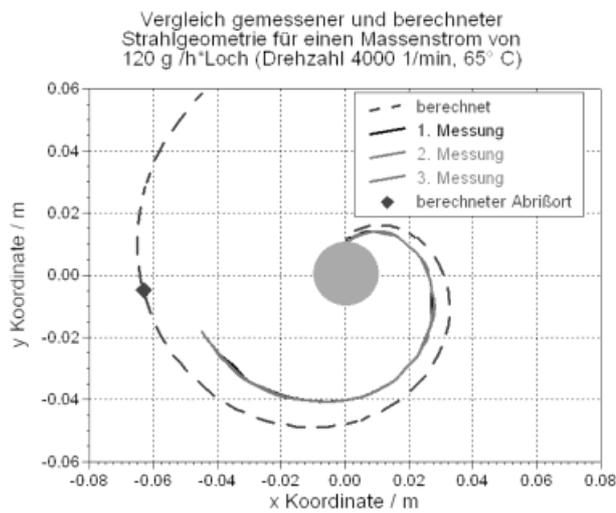


Abbildung 4.  
Vergleich gemessener und berechneter Strahlgeometrie für einen Massenstrom von 120 g/h Loch (Drehzahl 4000 1/min, 65 °C).



vom Austrittsort ab. Für jedes Fluidelement wird die Zeit  $T_j$  vom Austritt aus der Düsenbohrung bestimmt und zu verschiedenen Zeiten auftretende Durchmesser  $d_{si}$  gemittelt. Der sich ergebende mittlere Durchmesser des Fluidelements wird in die Beziehung nach WEBER eingesetzt und die Zerfallszeit  $T_{zi}$  berechnet ( $d_{si}$  und  $T_j$  werden bestimmt  $\rightarrow T(d_m) \leftrightarrow T_{tat}$ ).

$$T_{Zi} = 12 \left[ \left( \sqrt{8 \rho_f \left( \frac{\sum_{i=1}^j d_{si}}{j} \right)^3 \sigma^{-1}} \right) + 6 \eta \left( \frac{\sum_{i=1}^j d_{si}}{j} \right) \sigma^{-1} \right] \quad (25)$$

Sobald das Alter des Elements gleich der berechneten Zeit zur Tropfenabschnürung  $T_Z$  ist, wird unterstellt, dass sich die Tropfen vom Strahl lösen.

#### 4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau zur Untersuchung des Strahlabrissortes von Flüssigkeitsfäden besteht im Wesentlichen aus einer Stapel- und Puffereinheit zur Regulierung des Zulaufstromes zum Zerstäuber, einer Temperiervorrichtung und

Abbildung 5.  
Vergleich gemessener und berechneter Strahlgeometrie für einen Massenstrom von 190 g/h Loch (Drehzahl 4000 1/min, 65 °C).

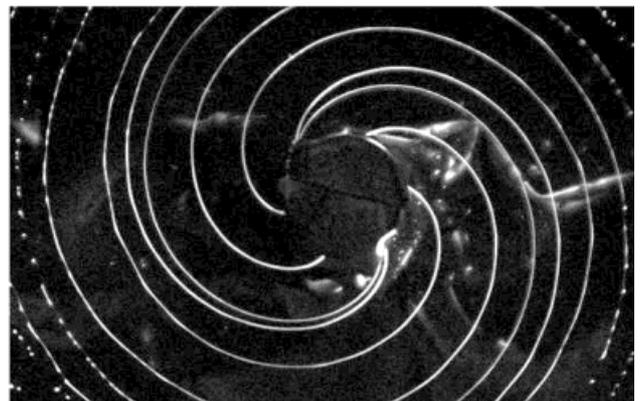
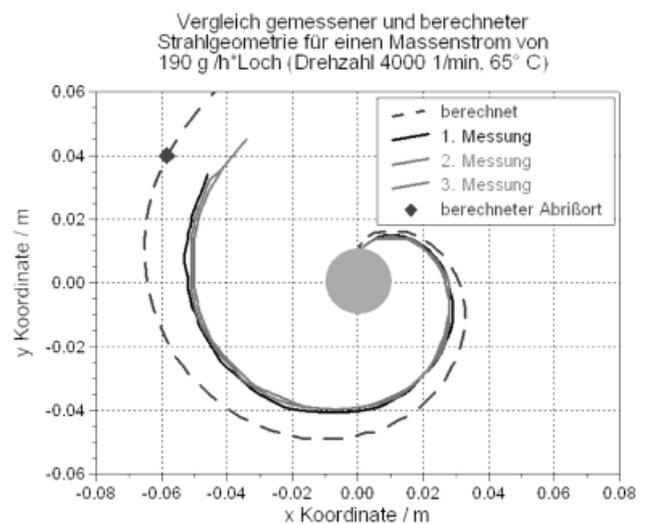


Abbildung 6. Vergleich gemessener und berechneter Strahlgeometrie für eine Drehzahl von 2500 1/min (Massenstrom 154 g/h Loch, 65 °C).

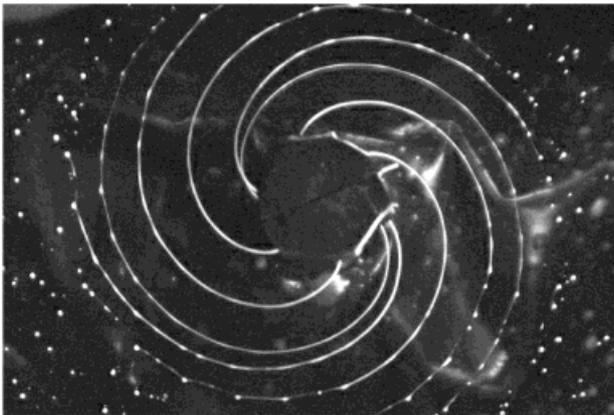
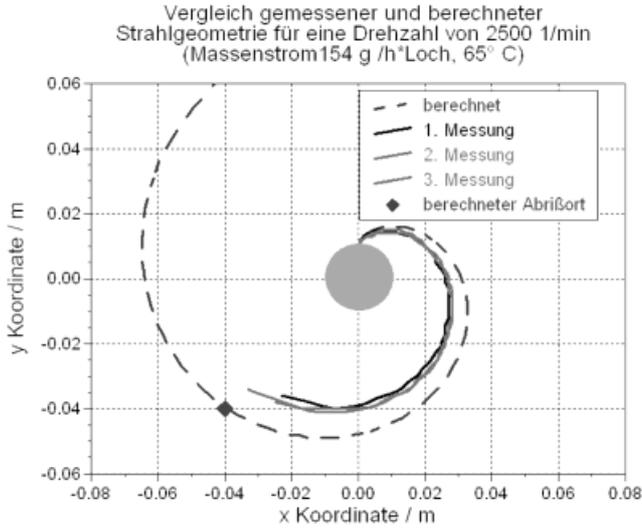
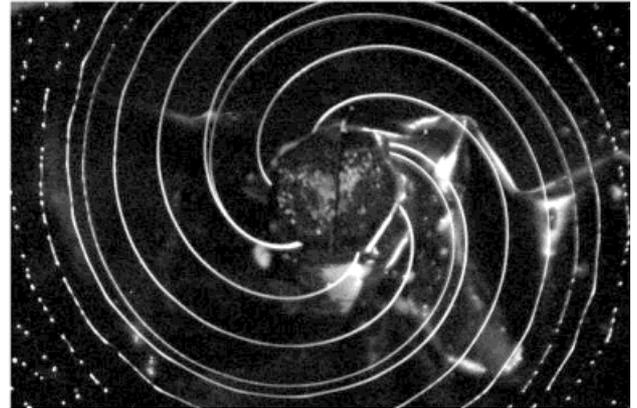
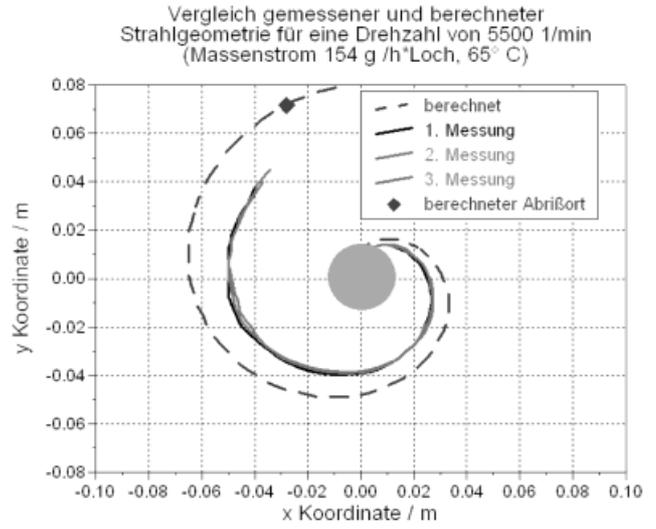


Abbildung 7. Vergleich gemessener und berechneter Strahlgeometrie für eine Drehzahl von 5500 1/min (Massenstrom 154 g/h Loch, 65 °C).



einem frequenzgesteuerten Zerstäubungszylinder, siehe Abb. 3. Es können Drehzahlen von max. 6000 min<sup>-1</sup> realisiert werden. Durch die Anordnung vom perforierten Hohlzylinder und darüber angebrachter CCD-Kamera ist es möglich, die austretenden Flüssigkeitsfäden und den Strahlabriss photographisch zu untersuchen.

Zur Visualisierung der Flüssigkeitsfäden und abgeschnürten Tropfen wird eine digitale Schwarz-Weiss-Kamera mit einem Interline Transfer CCD Progressive Scan Sensor incl. Frame-Grabberkarte und Bildverarbeitungssoftware verwendet. Die Bildpunktzahl beträgt 1300 × 1030 mit einer Bildpunktgröße von 6,7 μm × 6,7 μm. Zur Aufnahme von Temperaturen und Massenströmen wird das Programm LABWORLDISOFT eingesetzt.

### 5 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden sind die aus den Digitalaufnahmen entnommenen Strahlverläufe den berechneten Verläufen gegenübergestellt. Zusätzlich ist in die Diagramme der berechnete Abrissort eingezeichnet. Der gemessene Abrissort entspricht dem Endpunkt der gemessenen Strahlverläufe. Gezeigt sind jeweils zwei Sprühbilder bei variierendem Massenstrom bzw. bei unterschiedlichen Drehzahlen.

Abb. 4 zeigt den Strahlverlauf bei einem niedrigeren Massenstrom von 120 g pro Loch und Stunde. Der berechnete Strahlverlauf nähert den gemessenen Strahlverlauf zufriedenstellend an. Die verzögernde Wirkung der gegenseitigen Beeinflussung einzelner Teile des Strahles ist offensichtlich in Wirklichkeit größer als die im Modell beinhaltet Korrektur. Richtiger wäre es, die durch die Wechselwirkung einzelner Teile des Strahles bewirkte Verzögerung derselben schon vor Integration der entsprechenden kinematischen Gleichung zu berücksichtigen. Aus den genannten Gründen liegt der gemessene Strahlverlauf innerhalb des berechneten Verlaufes.

Dies gilt auch für die in Abb. 5 gezeigten Strahlverläufe, welche bei einem Massenstrom von 190 g/Loch und Stunde beobachtet werden. Bei einem Massenstrom von 120 g/Loch und Stunde liefert das Modell einen erst zu einer etwas späteren Zeit stattfindenden Strahlabriss, während bei einem Massenstrom von 190 g/Loch und Stunde berechneter und gemessener Strahlabriss sehr gut übereinstimmen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Erhöhung des Massenstromes einen Strahlabriss zu einem späteren Zeitpunkt bewirken.

Bei höheren Massenströmen bildet sich ein längerer zusammenhängender Strahlabschnitt aus, und der ei-

Tabelle 1.  
Vergleich gemessener und berechneter Zerfallszeiten und der Strahldurchmesser beim Zerfall.

	120 g/Loch h	190 g/Loch h	2500 1/min	5500 1/min
gemessene Zerfallszeit	0,013 s +/- 0,001 s	0,016 s +/- 0,001 s	0,019 s +/- 0,001 s	0,012 s +/- 0,001 s
berechnete Zerfallszeit	0,014 s	0,016 s	0,020 s	0,013 s
berechneter Strahldurchmesser beim Zerfall	46 $\mu\text{m}$	51 $\mu\text{m}$	65 $\mu\text{m}$	41 $\mu\text{m}$

gentliche Abriss erfolgt erst in etwas größerer Entfernung vom Mittelpunkt des Zerstäubers. Die Abbn. 6 und 7 zeigen die Strahlverläufe bei Drehzahlen von 2500 und 5500 Umdrehungen pro Minute. Auch hier stimmen sowohl der berechnete Ort des Strahlabrisses als auch der berechnete Strahlverlauf sehr gut mit den Messwerten überein. Bei höheren Drehzahlen zerfällt der Strahl schon nach kürzerer Zeit als bei niedrigen Drehzahlen, aber die Entfernung des Zerfallsortes vom Mittelpunkt des Zerstäubers ist infolge der geänderten Tangentialgeschwindigkeit auch größer.

Bemerkenswert ist, dass unabhängig vom Massenstrom durch den Zerstäuber und unabhängig von dessen Drehzahl sich stets eine ähnliche Strahlgeometrie ausbildet. Lediglich der Ort des Zerfalles und die Strahldicke ändern sich in Abhängigkeit von diesen Betriebsparametern. Tab. 1 zeigt nochmals die gemessenen und die berechneten Zerfallszeiten sowie die berechneten Strahldurchmesser der 4 Versuchsreihen.

## 6 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit war, mit Hilfe einer CCD-Kamera Sprühbilder beim Zerstäuben einer strukturviskosen Hydrokolloidlösung mit einem Rotationszerstäuber aufzunehmen. Die messtechnische Erfassung konzentrierte sich auf die Ermittlung des Strahlverlaufs und das Lokalisieren der Zerfallsstelle.

Variiert wurde der Massenstrom und die Drehzahl des Rotationszerstäubers. Des Weiteren wurde ein Modell zum Berechnen des Strahlverlaufs und des Strahlabrisses erstellt. Der Vergleich zwischen Experiment und Modell bestätigt die Zuverlässigkeit und Gültigkeit des Modells für die Berechnung des Strahlzerfalles und der Strahlgeometrie von Rotationszerstäubern.

Eingegangen am 24. Oktober 2000 [K 2793]

dm	[m]	mittlerer Strahldurchmesser
$F_W$	[N]	Luftwiderstand
$F_z$	[N]	Zentrifugalkraft
$g$	[-]	Konstante
$h$	[-]	Konstante
$i$	[-]	Laufvariable
$j$	[-]	Maximalwert der Laufvariable
$k$	[1/s]	Konstante
$m$	[kg]	Masse
MS	[kg/s]	Massenstrom
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Drehzahl
$r$	[m]	Kugelradius bzw. Strahlradius
Ro	[m]	Düsenradius
$t$	[s]	Zeit
$t_0$	[s]	Zeitpunkt bei der das Flüssigkeitselement die Düse verlässt
$T_z$	[s]	Zerfallszeit (Abrisszeit) nach Weber
$v_0$	[m/s]	radiale Austrittsgeschwindigkeit $v_r(t_0)$
$v_r$	[m/s]	radiale Geschwindigkeitskomponente
$v_s$	[m/s]	resultierende Austrittsgeschwindigkeit
$v_t$	[m/s]	tangentiale Geschwindigkeitskomponente
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Volumenstrom
$x$	[m]	$x$ -Koordinate
$xres_i$	[m]	berechnete $x$ -Koordinate zum Zeitpunkt $t_i$
$y$	[m]	$y$ -Koordinate
$yres_i$	[m]	berechnete $y$ -Koordinate $t_i$
$\beta$	[°]	Winkel
$\eta$	[Pas]	Scherviskosität
$\eta_L$	[Pas]	Viskosität der Luft
$\varphi$	[°]	Winkel
$\sigma$	[N/m]	Oberflächenspannung
$\omega$	[1/s]	Winkelgeschwindigkeit
$\rho_f$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte der Flüssigkeit

## Formelzeichen

$A$	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche Bohrung
$a_D$	[m/s <sup>2</sup> ]	Verzögerung aufgrund der Dehnung
$a_L$	[m/s <sup>2</sup> ]	Verzögerung durch den Luftwiderstand
$D$	[m]	Bohrungsdurchmesser (Durchmesser der Düsenbohrung)
$d_s$	[m]	Strahldurchmesser
$d_{si}$	[m]	Strahldurchmesser in Abhängigkeit vom Index $i$ der Laufvariable

## Literatur

- [1] PIESCHE, M. Fluidodynamische Analyse der Flüssigkeitsstrahl-Ausbildung im Zentrifugalfeld und Stabilitätsuntersuchung zum Strahlzerfall, Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) 3; MS 1665/88.
- [2] WEBER, C. Über den Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles, Z. Angew. Mathematik und Mechanik 11 (1931) 2, S. 136/154.
- [3] Charakterisierung des Strahlauflbruchprozesses bei der instationären Druckzerstäubung (Hergsg.: FATH,

- A.; LEIPERTZ, A.), Berichte zur Energie- und Verfahrenstechnik, Schriftenreihe Heft 97.3, 1997.
- [4] SCHMIDT, P.  
Auslegung rotierender poröser Zerstäubungskörper, Verfahrenstechnik 8 (1974) 7, S. 209/212.
- [5] SITZLER, H.  
Charakterisierung von Sprühbildern eines Zerstäubers u. a. mit Hilfe einer CCD-Kamera, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, TU München-Weihenstephan 2000.
- [6] MEHRHARDT, E.; BRAUER, H.  
Zerstäubung von Flüssigkeiten mit rotierenden Scheiben/Flüssigkeitsauflösung, Tropfengrößen und Tropfengrößenverteilungen, Fortschr.-Berichte der VDI, Reihe 3 Nr. 52, VDI Verlag, Düsseldorf 1979.
- [7] WALZEL, P.  
Zerstäuben von Flüssigkeiten, Chem.-Ing.-Tech. 62 (1990) 12, S. 983/994.

## Numerische Simulation von Tropfendeformation durch Verwendung eines Variationsprinzips\*

CHRISTOPH HARTMANN UND ANTONIO DELGADO \* \*

### 1 Problemstellung

Zweiphasenströmungen spielen in der Lebensmittel- und Biotechnologie eine zentrale Rolle. Hierzu zählen die Behandlung von Wasser-Öl-Emulsionen, die Homogenisierung von Milch, aber auch die modellhafte Betrachtung von Strömungen in und um lebende Zellen.

Für die oft bei niedrigen Reynolds-Zahlen bewegten Medien stellt sich die Frage nach der Deformation der suspendierten Tropfen. Die Deformation hat einen bedeutenden Einfluss auf die Tropfenbewegung, den Stoffübergang zwischen den beiden Phasen [1], sowie die Zerstörung bzw. Koaleszenz mehrerer Tropfen.

Bei der Hochdruckbehandlung von Lebensmitteln wird beispielsweise durch die unterschiedliche Kompressibilität der beteiligten Medien eine Auftriebsbewegung induziert, die zu einer Entmischung führen kann. Des Weiteren sind mechanische Spannungen auf die Oberflächen von Blasen und Tropfen für Koaleszenz und Zerfall verantwortlich. Insbesondere bei der Betrachtung von biosensitiven Medien stellt sich die Frage, welcher Art und wie hoch die auftretenden Spannungen auf die Oberfläche sind.

In dem vorliegenden Beitrag wird eine Berechnungsmethode vorgestellt, die eine Analyse sowohl der Tropfendeformation als auch der auf die Tropfen wirkenden mechanischen Spannungen erlaubt und ohne die Ermittlung der lokalen Hauptkrümmungen auskommt.

\* Vortrag anlässlich der internen Arbeitssitzung des DECHEMA/GVC-Fachausschusses „Mehrphasenströmungen“, 28. Febr. 2000 in Bamberg.

\* \* Dr.-Ing. C. HARTMANN, Prof. Dr.-Ing. habil. A. DELGADO, Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation, TU München, Weihenstephaner Steig 23, D-85350 München.