

Laseroptische Extinktionsmessung für Sprays

Schnelle und sichere Erfassung der Sprühcharakteristik von Düsen



► Prof. Dr. M. Löffler-Mang
Hochschule für Technik und Wirtschaft
des Saarlandes

Die Messung der räumlichen Verteilung der Flüssigkeitsmenge spielt eine große Rolle im Entwicklungsprozess einer Düse sowie in der Charakterisierung ihres Sprühverhaltens. Daher ist die genaue Kenntnis der Verteilung sowohl für den Entwickler als auch für den Kunden, der speziell für seine Anwendung die passende Düse sucht, von großem Vorteil.

Konventionelle Methoden zur Bestimmung der Sprühcharakteristik sammeln die Flüssigkeit in Messröhrchen und werten anschließend aus. Nachteil dieser Methoden ist die geringe Auflösung, sowie die Bearbeitung zweier Schritte. Dies trägt dazu bei, dass die vollständige Aufnahme der Flüssigkeitsverteilung einer Voll- oder Hohlkegeldüse wirtschaftlich nicht zu realisieren ist, sondern normalerweise nur ein Schnitt durch die Düse gemessen wird.

Mit Hilfe eines optischen Verfahrens können die Nachteile beseitigt werden. Durch die berührungslose Messmethode kann sowohl auf die Messröhrchen als auch auf die Auswertung der Flüssigkeitsmenge verzichtet werden, da sofort ein digitalisiertes Messergebnis vorliegt. Des Weiteren kann durch höhere Genauigkeit in der Messung unmittelbar in den Entwicklungsprozess der Düse eingegriffen werden und durch die Möglichkeit der Tomografie sollte auch die vollständige Messung von Voll- oder Hohlkegeldüsen möglich werden.

Im Zuge des hier vorgestellten Forschungsprojektes wurden mit Hilfe eines laseroptischen Sensors, welcher nach dem Extinktionsverfahren die Durchlichtabschwächung im Spray messen kann (LEXS), Untersuchungen bzgl. der Abhängigkeiten des Signals in verschiedenen Sprays gemacht. Als Ergebnis wurde eine Messmethode entwickelt, mit deren Hilfe man die Sprayabmessungen (Strahlbreite und Strahlwinkel) und die räumliche Verteilung der Flüssigkeitsmenge von kleineren bis mittleren Flachstrahldüsen in zunächst einer Dimension messen kann.

Stand von Wissenschaft und Technik

Derzeitige Methoden zur Bestimmung der Flüssigkeitsverteilung einer Düse greifen fast immer auf das gleiche Prinzip zurück. Die Flüssigkeit wird in Messröhrchen gesammelt und danach durch verschiedene Verfahren ausgewertet. Die Auflösung der Messung wird hierbei durch den Durchmesser der Messröhrchen begrenzt. Das Sammeln der Flüssigkeit in den Messröhrchen

geschieht je nach Messung auf verschiedenen Wegen. Bei Hohl- und Vollkegeldüsen wird die Anordnung der Messröhrchen in den Sprühkegel der Düse gestellt (vgl. Abb. 1). Dabei erhält man einen Schnitt durch den Sprühkegel. Bei Flachstrahldüsen wird entweder die Anordnung kontinuierlich durch den Strahl hin- und hergefahren oder man sammelt die gesamte Flüssigkeit auf einem Trichter oder Rillenblech, welches die Flüssigkeit in die Messröhrchen transportiert.

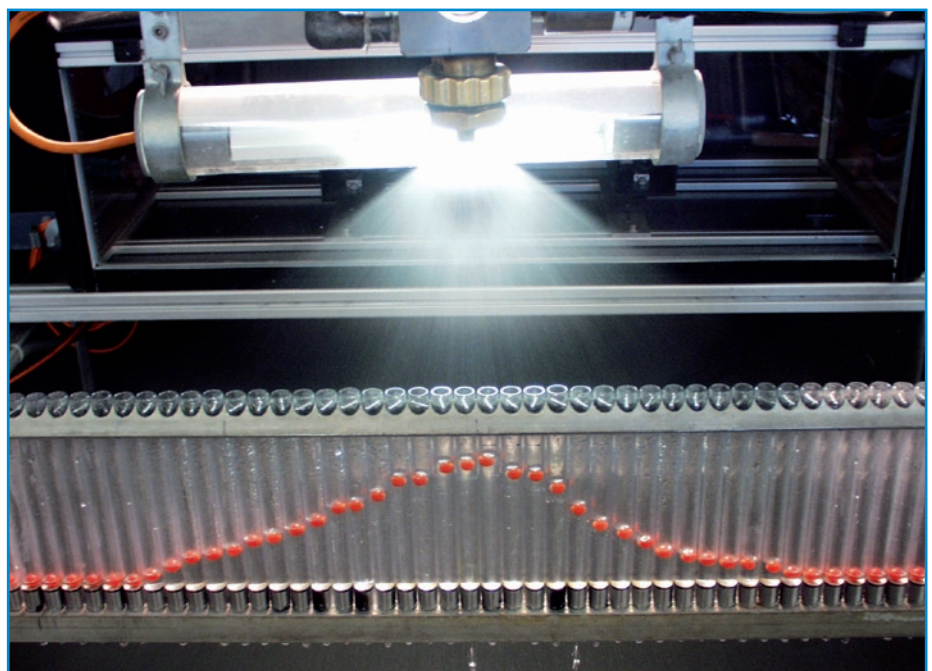
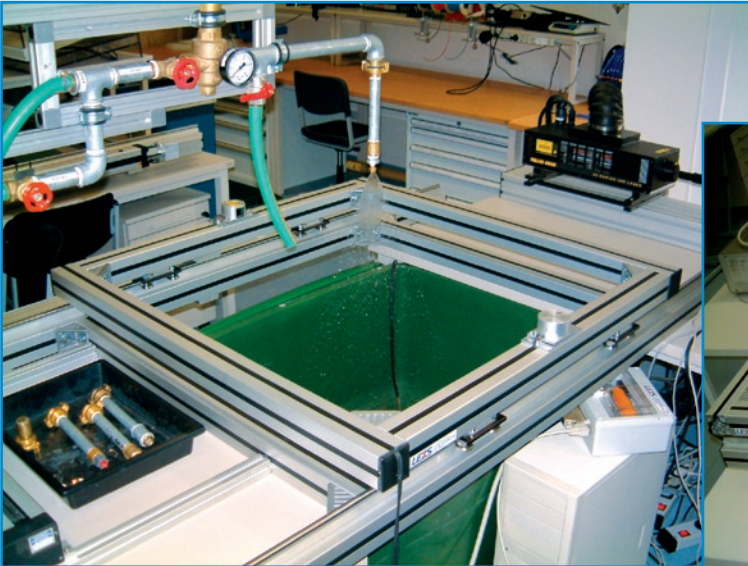
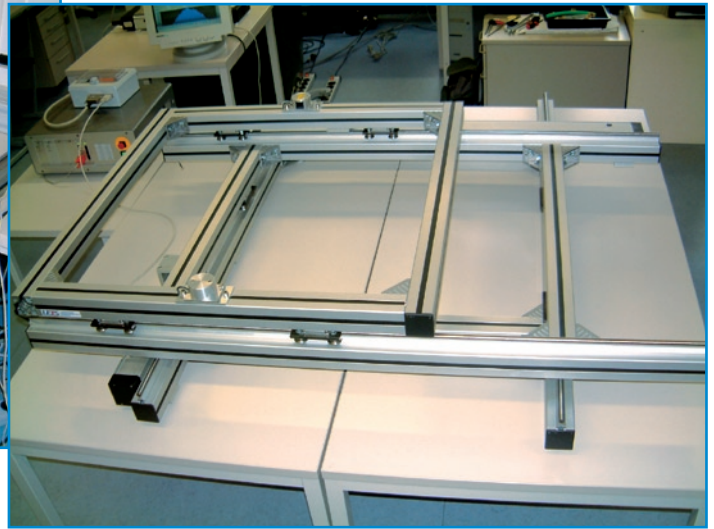


Abb. 1: Konventionelle Messmethode.



▲ Abb. 2: Prüfstand mit Düse und Messsystem.

▶ Abb. 3: Messsystem auf 2D-Schlitten.

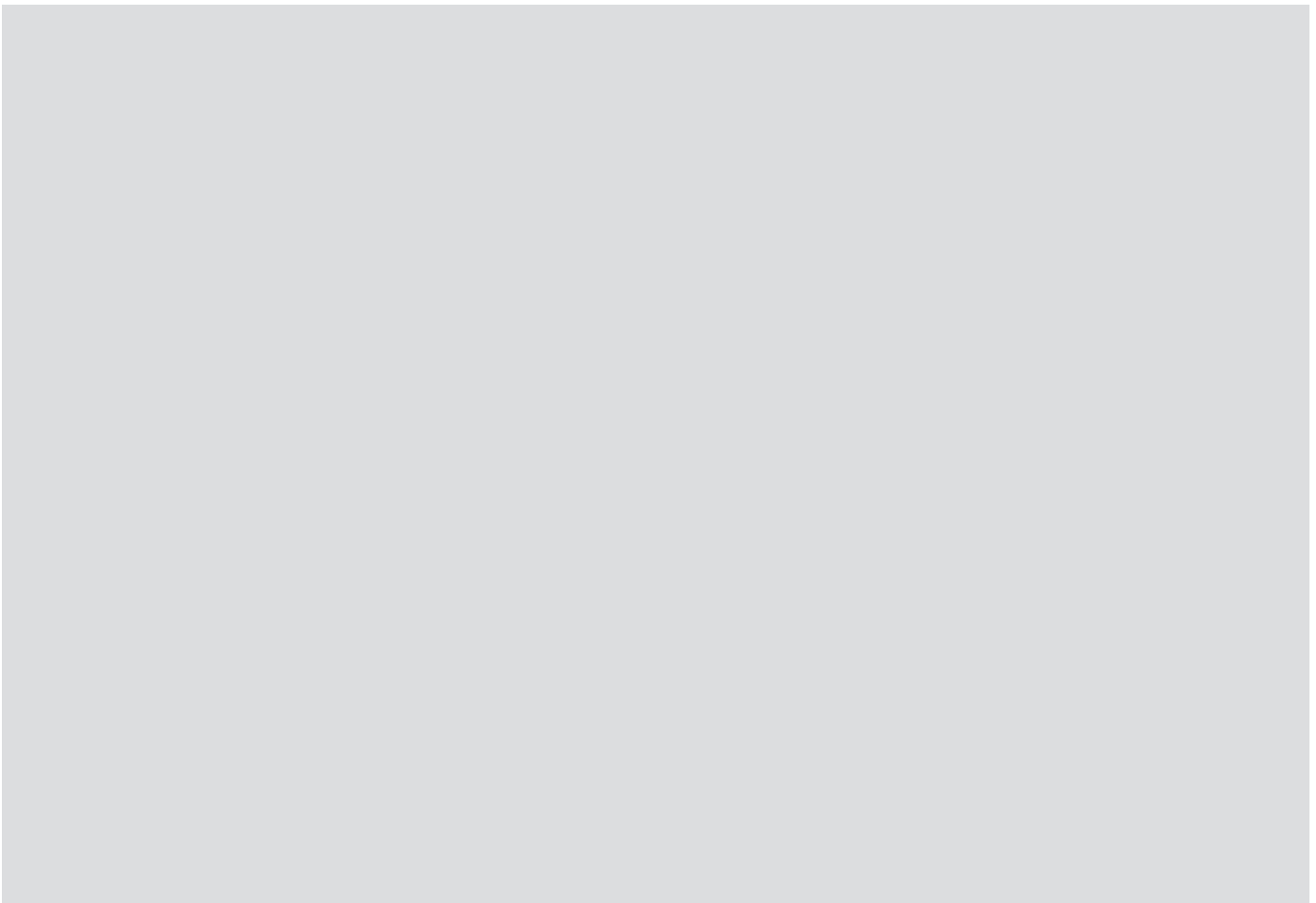


Zur Auswertung der Flüssigkeitsverteilung werden verschiedene Verfahren angewandt. Eine geeignete Methode ist die Aufnahme der Verteilung per Digitalkamera und anschließender Auswertung des aufgenommenen Bildes. Dabei geben rote Kunststoffbällchen, welche für die Software gut auszuwerten sind und auf der Flüssigkeit

in den Röhrchen schwimmen, die Position der Wasseroberfläche und somit die Füllhöhe an (vgl. Abb. 1). Weitere Methoden sind die Auswertung der Füllhöhe per Ultraschallsignal oder durch Widerstandsmessung.

Alle Messungen geben ein Messprotokoll aus. Hier können Druck, Spritzhöhe, d.h. die Entfer-

nung der Messebene von der Düse, Messstellenabstand und Volumenstrom der Düse eingegeben werden. Auch ein Schwellwert zur Bestimmung der Sprühstrahlbreite kann vor der Messung festgelegt werden. Als Ergebnis erhält man ein Diagramm welches die Füllhöhe in den Röhrchen sowie integrale Ergebnisse der Messung zeigt.



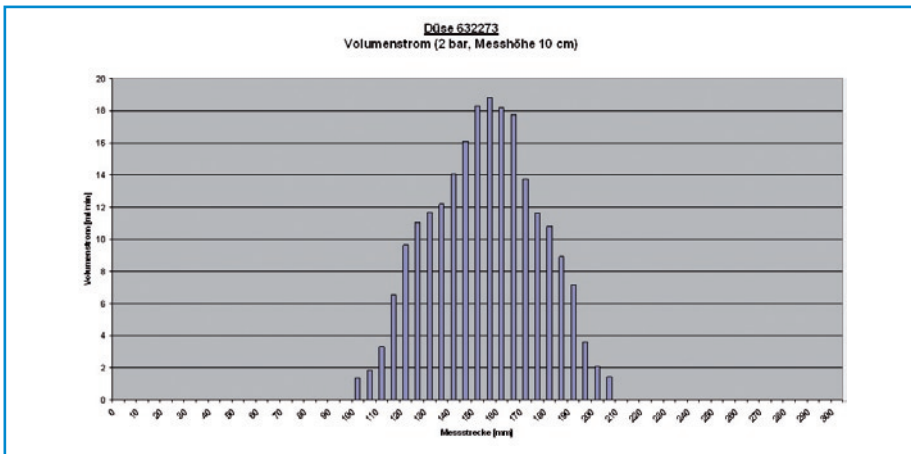


Abb.4: Flüssigkeitsverteilung für eine Flachstrahl Düse.

Das beschriebene prinzipielle Vorgehen zur Bestimmung der Flüssigkeitsverteilung wurde in einer Telefonbefragung von vielen namhaften Düsenherstellern in Europa bestätigt (Lechler, BETE, Delavan, Everloy, Spraying Systems, Schlick).

Theorie, Methodik und Versuchsaufbau

Grundlegende Idee für die Sensorentwicklung war eine Extinktionsmessung, also die Abschwächung eines Lichtstrahles mit einer gewissen räumlichen Ausdehnung durch die Tropfen im Spray. Hierbei ist klar, dass die Abschwächung proportional zur Anzahl der Tropfen einer bestimmten Größe und zu ihrem Querschnitt ist. Das kann vereinfacht in folgender Form geschrieben werden

$$A_{Ext} = C_1 n(D) D^2$$

mit: A_{Ext} Abschwächung durch Extinktion
 $n(D)$ Tropfenanzahl einer bestimmten Größe
 D^2 Tropfenquerschnitt
 C_1 Konstante

Das Gesamtsignal setzt sich schließlich aus dem Integral über alle Tropfengrößenklassen zusammen.

Die gesuchte Größe ist aber nicht die Lichtabschwächung durch Extinktion, sondern die Flüssigkeitsverteilung im Spray. Darunter versteht man entweder die Flüssigkeitsmenge V_c , die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem Volumen befindet

$$V_c = C_2 n(D) D^3$$

oder die Menge V_j , die in einer bestimmten Zeitdauer mit der Geschwindigkeit $v(D)$ durch eine Kontrollfläche hindurchtritt

$$V_j = C_3 n(D) v(D) D^3$$

Offensichtlich ist also eine Kenntnis der Tropfengrößenverteilung eine wichtige Voraussetzung bei der Ableitung der Flüssigkeitsverteilung aus dem Extinktionssignal. Deshalb wurden bei der hier vorgestellten Sensorentwicklung zwei Methoden zur Unterstützung eingesetzt. Dies waren die Ultrakurzzeit-Fotografie und die Phasen-Doppler Methode (PDPA).

Als Versuchseinrichtung für das Forschungsprojekt wurde an der HTW ein Zerstäubungsstand mit einem geschlossenen Wasserkreislauf aufgebaut, siehe Abb. 2. Auf einem Grundgerüst ist ein mit Schrittmotoren steuerbarer Koordinatentisch befestigt. Dieser bietet die Möglichkeit, Düsen über der Sprühöffnung in einer Richtung sowie in der Höhe zu bewegen. Der Kreislauf wird angetrieben von einer Pumpe mit einem maximalen Druck von 6,3 bar und einem Durchfluss von bis zu 2400 l/h. Die Düsen sind je nach Anschlussgewinde an verschiedene Rohrstücke angeschraubt, welche über eine Kupplung mit dem Anschlussarm verbunden werden. So bietet sich die Möglichkeit, verschiedene Düsen recht schnell am Teststand auszutauschen.

LEXS wurde mit Hilfe eines kommerziellen laseroptischen Sensors realisiert. Dieser misst die Abschwächung eines Laserlichtbandes, welches von einem Sender über eine Laserdiode ausgestrahlt und in einem Empfänger von einer Fotodiode empfangen wird. Die Wellenlänge des Lichtes beträgt 780 nm und ist mit dem Auge normalerweise nicht mehr zu sehen. Dabei unterscheidet sich der Sensor derart von einer gewöhnlichen Lichtschranke, dass er ein aufgeweitetes, paralleles Lichtband aussendet, das in sich homogen ausgebildet ist. Damit erfolgt die Messung integral über einen bestimmten Raumbereich.

Das Sensorsignal wird zunächst über einen zugehörigen Verstärker auf ein Ausgangssignal von 5 Volt eingestellt. Das Ausgangssignal ist proportional zu der abgeschatteten Fläche im Lichtband. Ist das Lichtband ganz unterbrochen, liefert der Verstärker ein Ausgangssignal von 1 Volt.

Der Sprühstand bietet eine Sprühfläche von ca. 70 x 70 cm². Sender und Empfänger des Sensors sind jeweils in der Mitte der gegenüberliegenden Seiten auf einem in zwei Richtungen verfahrenbaren Schlitten ca. 80 cm voneinander entfernt angeordnet (Abb. 3).

Die Analogspannung des Sensors wird über eine A/D-Karte in ein digitales Signal umgewandelt und an den Rechner weitergegeben. Das Auslesen der Schnittstelle, Programmierung der A/D-Karte, Auswertung und Darstellung werden über LabView vorgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

Nach der Aufnahme der Signale in 5 mm Schritten (jeweils um die Lichtbandbreite versetzt) liegen Rohdaten zur Weiterbearbeitung vor. Zunächst wird eine Korrektur mit Gewichtung der Ergebnisse durch den in der Zerstäubungstechnik üblichen Sauterdurchmesser durchgeführt, um die tatsächliche Verteilung zu erhalten. Nun wird das Maximum der Daten gesucht und alle Werte auf dieses normiert. Dann werden alle Werte, die kleiner als 5% vom Maximum sind gleich Null gesetzt. Das ist eine übliche Definition, um die Strahlbreite und den Strahlwinkel zu berechnen.

Die gewonnenen Daten können schließlich in einem Diagramm ausgegeben werden. Für eine quantitative Auswertung der räumlichen Verteilung der Flüssigkeitsmenge werden die Messwerte aufintegriert und jeder Messwert durch den Gesamtwert dividiert. Das Ergebnis gibt den Anteil des gesamten Volumenstroms an. Durch eine Multiplikation mit dem gesamten Volumenstrom der Düse [l/min] erhält man den Anteil des Volumenstroms an dieser Stelle im Spray. Für eine ausgewählte Flachstrahl Düse ergibt sich

nach dieser Auswertung das folgende Diagramm für einen Düsenabstand von 10 cm (Abb. 4).

Mit der hier als Standard-Sensor definierten Anordnung mit einer Lichtbandbreite von 5 mm ist prinzipiell noch eine Steigerung der Auflösung zu erreichen, in dem man jeweils nur um eine Schrittweite von z.B. 1 mm verfährt. Damit werden die Flanken des Sprühstrahles ebenfalls mit einer Auflösung von 1 mm wiedergegeben, allerdings benötigt man für diese Messung dann die fünffache Zeit.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass LEXS eine ganze Reihe von Vorteilen im Vergleich zu der bisherigen Methode des Auffangens eines Sprays mit Röhrrchen und anschließender Auswertung bietet.

Zunächst einmal wird durch die optische Methode ein Eingriff in das untersuchte Spray vermieden. Damit ist auch eine Untersuchung in einem laufenden Prozess möglich und durch Fenster sogar ein eingeschlossenes Spray analysierbar. Des Weiteren ist die Messung mit LEXS voll automatisierbar und damit objektiv, sie ist nicht von der durchführenden Person abhängig.

Darüber hinaus ist die räumliche Auflösung von LEXS mindestens um den Faktor drei besser als die bisherige Standardauflösung. Mit einer feineren Abrasterung des Sprays ist die Auflösung sogar auf den Faktor zehn zu verbessern. In Richtung kleinster Volumenströme liefert LEXS noch sinnvolle Ergebnisse, wo man selbst mit kleinen Spezialröhrrchen auf konventionelle Weise nur noch mit enormem Zeitaufwand oder gar nichts mehr messen kann. Für alle untersuchten Düsen konnten die Verteilungen aufgenommen und sowohl die Strahlbreite als auch der Strahlwinkel bestimmt werden. Die Übereinstimmung der gemessenen Verteilungen im Vergleich zur konventionellen Röhrrchenmethode war in aller Regel besser als 5 %.

Während der Versuche zur vorliegenden Arbeit wurde die Einsatzgrenze von LEXS nicht erreicht. Die größte Sprühdichte, die am Versuchsstand der HTW erzeugt werden konnte, war das Spray einer Vollkegeldüse mit einem Durchsatz von 16 l/min; an der dichtesten Stelle lieferte dieses Spray eine Abschattung von ca. 60 % bezogen auf maximale Abschattung. Auch für das Spray mit dem kleinsten verfügbaren Volumenstrom von nur 4 ml/min lieferte LEXS sinnvolle und reproduzierbare Ergebnisse.

Insgesamt handelt es sich um eine schnelle Methode, die eine vollständige Charakterisierung des Sprays von sehr vielen Düsen innerhalb weniger Minuten ermöglicht.

Schließlich ist anzumerken, dass das Potential von LEXS noch nicht ausgeschöpft ist. Zum einen wird es voraussichtlich gelingen, aus den Signalschwankungen zumindest eine Schätzung des mittleren Tropfendurchmessers (z.B. des Sauterdurchmessers) vorzunehmen. Zum anderen erscheint es machbar, durch eine tomographische Anordnung und Auswertung den Einsatzbereich auch auf Hohlkegel- und Vollkegeldüsen auszuweiten und eine 2D- oder sogar 3D-Analyse solcher Sprays zu ermöglichen. Insgesamt könnte LEXS als neue, schnelle, genaue, einfache und auch preiswerte Methode in absehbarer Zeit an vielen Stellen eingesetzt werden.

► KONTAKT

Prof. Dr. Martin Löffler-Mang
Fachbereich GIS
Hochschule für
Technik und Wirtschaft
des Saarlandes, Saarbrücken
Tel.: 0681/5867-247
Fax: 0681/5867-414
loeffler-mang@htw-saarland.de