

# Intelligente Düsenteknik

**Wissenschaftlich fundiert, an der Praxis orientiert**

**Rheologie, Spraymesstechnik, CFD und  
Ähnlichkeitstheorie zur Optimierung  
verfahrenstechnischer Prozesse  
und Produktionsabläufe**

## Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Vorwort .....                                 | 1  |
| 2. Rheologie .....                               | 3  |
| 2.1. Die Viskosität.....                         | 3  |
| 2.2. Die Oberflächenspannung.....                | 5  |
| 2.3. Die Dichte.....                             | 7  |
| 3. Spraymesstechnik .....                        | 8  |
| 4. CFD, Ähnlichkeitstheorie und Kennfelder ..... | 13 |
| 5. Praktische Vorgehensweise .....               | 17 |
| 6. Literaturempfehlung.....                      | 18 |
| 7. Rechtliche Hinweise, Copyright .....          | 19 |
| 8. Impressum.....                                | 20 |

## 1. Vorwort

Düsen und Zerstäuber spielen in vielen verfahrens- und produktionstechnischen Prozessen eine wichtige Rolle.

Das Beschichten von Oberflächen, die Verbrennung von Treibstoffen oder das Kühlen von Gasen sind nur einige wenige Beispiele dafür, dass grundlegende Prozessschritte ohne eine geeignete Düsentechnik nicht realisierbar sind.

Leider wird der Düsentechnik häufig bei der Planung beziehungsweise Erweiterung einer Anlage oder einer Maschine nicht rechtzeitig und umfassend der erforderliche Stellenwert eingeräumt. Man verlässt sich darauf, dass eine geeignete Düse aus dem Katalog der bekannten Düsenhersteller leicht zu finden sein wird.

Von Glück kann man anschließend sprechen, wenn dieses dann auch tatsächlich gelingt. Die Erfahrung hingegen zeigt, dass oft große Probleme entstehen, wenn nach der Konzeption und Fertigstellung des neuen Verfahrens oder bei der Inbetriebnahme die gewählte Düsentechnik nicht den Anforderungen genügt.

Die Ursachen für die auftretenden Probleme sind vielfältig. Häufig ist das von den Düsen gelieferte Tropfengrößenspektrum sehr ungünstig. Sowohl zu grobe als auch zu feine Tropfenanteile im Spray können dazu führen, dass die angestrebte Produktqualität nicht erreicht wird. Unerwünscht hohe Anteile an besonders feinen Tropfen verursachen beispielsweise die sogenannte 'Overspray-Problematik'. Die vermeidbare Verunreinigung von Maschinen- oder Anlagenteilen sowie ein Wertstoffverlust und gegebenenfalls lungengängige Tropfen sind die Folge.

Im ungünstigen Fall scheitert somit das gesamte Projekt vollständig. Dann nämlich, wenn sich eine Flüssigkeit oder Suspension mit den gewählten Düsen überhaupt nicht zerstäuben lässt.

Dieses tritt in der Praxis besonders dann oftmals auf, wenn eine Düse für eine Flüssigkeit mit höherer Viskosität als der von Wasser verwendet werden soll. Die Daten in Herstellerkatalogen beziehen sich in der Regel auf Wasser als zu zerstäubendem Fluid. Insbesondere bei den Einstoff-Druckdüsen existiert ein direkter Zusammenhang zwischen dem Flüssigkeitsdruck und dem Volumenstrom. Kommen höher viskose Fluide zum Einsatz, stimmen die Tabellenwerte aus Katalogen nicht mehr. Auch das Sprühbild ändert sich! Im Extremfall bis hin zum Versagen der Düse.

Das Klären wichtiger Rand- und Betriebsparameter sowie deren Wechselwirkungen mit der gesamten Anlagen- beziehungsweise Maschinenteknik müssen also am Anfang einer intelligenten Düsentechnik stehen. Das isolierte und gelöste Betrachten der Düsentechnik alleine führt nicht selten zu nachträglichen Änderungen des gesamten Konzeptes. Verbunden mit einem hohen zeitlichen und pekuniären Aufwand!

Dieses zu vermeiden ist unser vorrangiges Ziel. Daher stehen nicht nur Spezialisten für die Zerstäubungstechnik für Sie bereit. Sondern darüber hinaus auch für die Themenbereiche Verfahrenstechnik, Strömungsmechanik, Strömungsmesstechnik und Rheologie.

Gehen wir jetzt gemeinsam den Weg zu Ihrer optimalen Lösung mit einer intelligenten Düsentechnik!

Ihr

Thomas Richter

-2-

IBR Zerstäubungstechnik GmbH  
Auf der Horst 10  
D-48147 Münster

☎ +49 (0) 251-2 87 99 53-0  
[info@duesen.biz](mailto:info@duesen.biz)  
[www.duesen.biz](http://www.duesen.biz)

## 2. Rheologie

Die Rheologie befasst sich mit dem Fließ- und Verformungsverhalten von Materie. In der Düsentechnik interessiert natürlich insbesondere das Verhalten von Flüssigkeiten, Suspensionen und Gasen.

Bereits die Erfahrung lehrt, dass beispielsweise Honig bei identischen Randbedingungen anders aus einer beliebigen Öffnung fließt als Wasser. Und auch das „Zerstäubungsverhalten“ wird sich natürlich unterscheiden.

In verfahrens- und produktionstechnischen Prozessen müssen oft Flüssigkeiten zerstäubt werden, deren rheologische Eigenschaften sich von denen von Wasser unterscheiden. Hinzu kommt, dass die Temperatur, -bei Gasen auch im nennenswerten Umfang der Druck-, eine wichtige Rolle spielt.

Die rheologischen Eigenschaften, die spezifische Stoffeigenschaft darstellen, müssen also unbedingt bekannt sein, um in Betracht kommende Düsensysteme auswählen zu können. In der gesamten Düsentechnik spielen die nachfolgend kurz beschriebenen Eigenschaften eine besonders wichtige Rolle.

### 2.1. Die Viskosität

Die Viskosität ist ein Maß für die innere Reibung, die eine Flüssigkeit oder ein Gas einer aufgezwungenen Bewegung entgegen setzt. Sie ist maßgeblich verantwortlich für den sogenannten Druckverlust, den ein Fluid bei der Strömung verursacht.

Das bekannteste Beispiel hierfür ist die Rohströmung einer Flüssigkeit; Pipeline. Pumpen sind erforderlich, um beispielsweise Öl über eine definierte Wegstrecke zu fördern. Selbst wenn keine geodätische Höhe zu überwinden ist, muss der Ölströmung durch die Pumpen Energie zugeführt werden, um die Reibungsverluste zu kompensieren.

Selbstverständlich treten auch in Düsen diese 'Reibungsverluste' auf. Soll eine hoch viskose Flüssigkeit mit einem bestimmten Volumenstrom durch eine kleine Düsenbohrung strömen, bedarf es hierzu unter Umständen nennenswerter Flüssigkeitsdrücke. Unter Umständen kommen bestimmte Düsentypen wie die Einstoff-Druckdüsen gar nicht zur Lösung einer anstehenden Aufgabe in Betracht.

Daher ist es zwingend erforderlich, im Vorfeld zur Düsenwahl die Viskosität der Flüssigkeit in Verbindung mit dem Volumenstrom zu kennen!

Die Viskosität einer Flüssigkeit (oder eines Gases) ist also aus zerstäubungstechnischer Sicht sicherlich die wichtigste Stoffeigenschaft.

Ein weiteres Problem tritt bei speziellen Fluiden wie Schmelzen oder Suspensionen häufig auf. Es existieren Flüssigkeiten, deren Viskosität sich nicht nur mit der Temperatur sondern zudem auch noch mit der Fließgeschwindigkeit oder der Zeit ändert.

Derartige Flüssigkeiten bezeichnet man als nicht-newton'sche Fluide. Liegen solche Flüssigkeiten vor, sollten unbedingt rheologische Messungen der Viskosität unter realistischen Bedingungen erfolgen.



*Temperierbares Rotationsviskosimeter zur Messung der Viskosität an newtonschen- und nicht-newtonschen Flüssigkeiten*

Im speziell ausgestatteten Rheologie-Labor bestimmen wir gerne für Sie die Viskosität newtonscher- oder nicht-newtonscher Flüssigkeiten.

Selbstverständlich auch als Funktion der jeweiligen Temperatur. So kann auch bei komplizierten Flüssigkeiten sichergestellt werden, dass die zur Wahl, Auslegung oder Optimierung eines Düsensystems erforderlichen und reproduzierbaren Daten zur Verfügung stehen.

Keinesfalls sollte man sich hier auf Vergleichsmessungen mit Wasser verlassen!

## 2.2. Die Oberflächenspannung

Diese ebenfalls zu den Stoffeigenschaften zählende Oberflächenspannung spielt für die Durchströmung einer Düse selbst keine Rolle. Von Bedeutung ist sie jedoch für das Aufbrechen von Flüssigkeitsstrahlen, Lamellen oder dem Nachzerteilen von Tropfen.

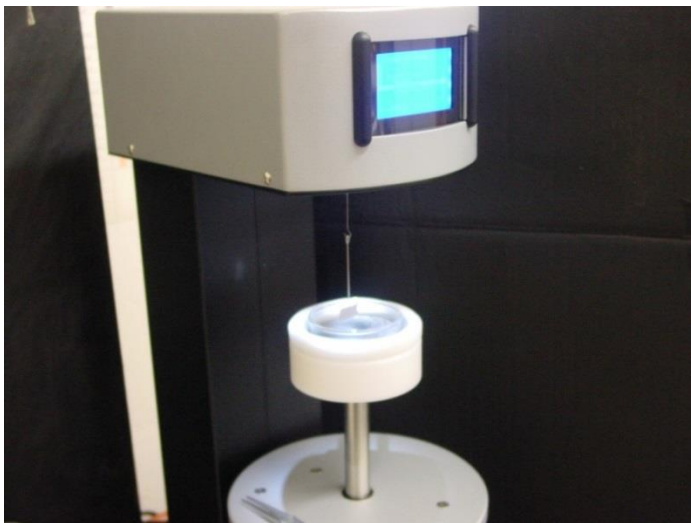
In einem Tropfen führt die Oberflächenspannung zu einem sogenannten stabilisierenden Innendruck  $p_i$ .

Dieser Innendruck ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass sich kleine Tropfen nicht einfach durch ein mit hoher Geschwindigkeit strömendes Gas (Zweistoff-Düse) weiter zerteilen lassen.

Der stabilisierende Innendruck kann bei kleinen Tropfen beachtliche Größenordnung annehmen, wie das nachfolgende **Beispiel** zeigt.

Wassertropfen mit  $D = 1 \mu\text{m}$ , Oberflächenspannung  $\sigma = 0,072 \text{ N/m}$ :

$$p_i = \frac{4 \cdot \sigma}{D} = \frac{4 \cdot 0,072}{1 \cdot 10^{-6}} = 2,88 \cdot 10^5 \text{ [Pa]} \approx 2,9 \text{ [bar]}$$



*Tensiometer zur Messung der Oberflächenspannung*

Sofern die Kenntnis der Oberflächenspannung bei der Wahl oder der Auslegung eines Zerstäubungsverfahrens, wie beispielsweise bei Rotationszerstäubern, erforderlich ist, bestimmen wir diese Größe selbstverständlich gerne in Ihrem Auftrag ebenfalls in unserem Rheologie-Labor!

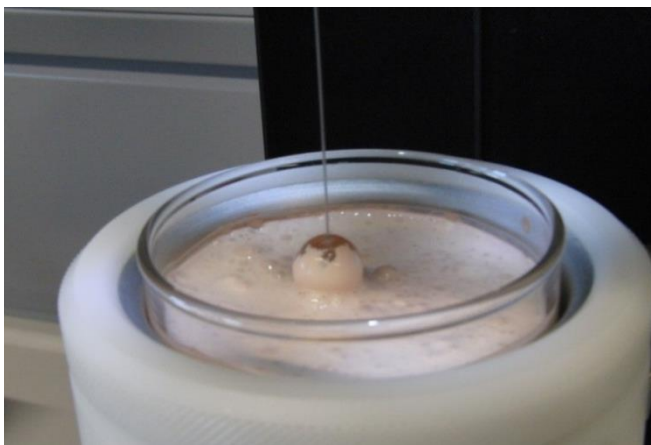


### 2.3. Die Dichte

Die Dichte  $\rho$  einer strömenden Flüssigkeit in Verbindung mit dem Differenzdruck  $\Delta p$  ist insbesondere bei den Einstoff-Druckdüsen von Bedeutung. Sie bestimmt die maximal mögliche Ausströmgeschwindigkeit aus einer Bohrung.

Diese maximale Strömungsgeschwindigkeit, und somit auch der maximal mögliche Volumenstrom, treten dann auf, wenn eine Flüssigkeit im *gedachten Idealfall* reibungsfrei strömen kann. Die Viskosität wird also bei dieser Grenzwertbetrachtung nicht berücksichtigt.

Dennoch ist diese Grenzwertabschätzung sehr hilfreich! Mit ihr ist es möglich zu beurteilen, ob beispielsweise ein gewünschter Volumenstrom an einer Düse bei einer vorgegebenen Druckdifferenz überhaupt theoretisch erreicht werden kann.



*Dichte-Kit am Tensiometer*

Selbst für rheologisch sehr anspruchsvolle Flüssigkeiten bestimmen wir gerne für Sie die Dichte  $\rho$  von Flüssigkeiten als Funktion der Temperatur!

**TIPP:** Mit dem [Online-Rechner für Düsen](#) können Sie maximale Strömungsgeschwindigkeiten berechnen!

### 3. Spraymesstechnik

Ein wichtiges und unverzichtbares Werkzeug auf dem Weg zu einer intelligenten Düsenteknik stellt die Spraymesstechnik dar.

Technische Düsensysteme erzeugen bis auf wenige Ausnahmen ein Spray, welches aus verschiedenen großen Tropfen besteht. Es ist somit nicht möglich, einen einzigen Tropfendurchmesser zu benennen und damit die gesamte Sprayeigenschaft zu charakterisieren.

#### **An dieser Stelle sprechen wir einen ausdrücklichen Hinweis aus!**

Gelegentlich trifft man auf die Aussage:

*„Ich kenne den mittleren Tropfendurchmesser oder den Sauterdurchmesser.  
Das reicht doch aus.“*

Dieses ist definitiv falsch, sofern nicht tatsächlich das Spray nur Tropfen eines einzigen Durchmessers aufweist. Und das trifft bei technischen Zerstäubern so gut wie nie zu. Welche Aussagekraft besitzt also beispielsweise die Angabe  $D_{50} = 48 \mu\text{m}$ ?

**Keine!** Denn zwei vollkommen unterschiedliche Sprays können durchaus einen identischen mittleren Tropfendurchmesser von  $48 \mu\text{m}$  besitzen. Aber dennoch gänzlich andere Fein- oder Grobanteile besitzen. Zudem ist mit dieser Angabe keine Aussage darüber möglich, wie klein die feinsten und wie groß die größten Tropfen tatsächlich sind.

Und weitere Aspekte sind unbedingt zu berücksichtigen!

- Welche Flüssigkeit wurde bei der Messung zerstäubt? Wasser oder ein abweichendes Original-Fluid?
- Sind die zugrunde liegenden Betriebsbedingungen genau definiert?
- In welchem Abstand von der Düsenmündung wurde gemessen und welches Messverfahren kam zum Einsatz?
- Bei welcher Umgebungstemperatur und Feuchte wurde gemessen?
- Wurde der mittlere Tropfendurchmesser oder der Sauterdurchmesser durch eine Anzahl-, Massen- oder Volumenverteilung ermittelt?

Bereits hier wird deutlich, dass reproduzierbare und verlässliche Aussagen zu Eigenschaften von Sprays nur dann getroffen werden können, wenn die Messbedingungen genau definiert sind **und** das vollständige Tropfengrößenspektrum ermittelt wurde.

Dank moderner laseroptischer Messmethoden ist es jedoch möglich, die erforderlichen Informationen berührungs- und beeinflussungsfrei zu erhalten. Für nicht allzu hohe Volumenströme an Düsen kommt häufig das Laserbeugungsspektrometer zum Einsatz. Die Funktionsweise ist stark vereinfacht dargestellt wie folgt.



*Laserbeugungsspektrometer*

Das Spray aus einer beliebigen Düse wird durch einen Laserstrahl hindurch geleitet. Hierbei werden die betroffenen Bereiche des Laserstrahles gebeugt, was aufgrund der Verwendung einer speziellen Optik zu einem sogenannten Beugungsmuster führt.

Eine Software ermittelt hieraus die vollständige Tropfengrößenverteilung und berechnet die charakteristischen Tropfendurchmesser wie beispielsweise den mittleren Tropfendurchmesser, den 10%- und 90%-Wert der Verteilung sowie den Sauter-durchmesser. Ferner werden die Anteile an Tropfen in definierten Größenklassen angegeben.

### Result: Analysis Report

| Sample Details               |                         |                                  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Sample ID:                   | Run Number: 49          | Measured: Wed 23. Jul 2014 10:59 |  |  |  |  |  |
| Sample File:                 | Record Number: 49       | Analysed: Wed 23. Jul 2014 11:01 |  |  |  |  |  |
| Sample Path: C:\SIZERS\DATA\ | Result Source: Analysed |                                  |  |  |  |  |  |
| Sample Notes:                |                         |                                  |  |  |  |  |  |

| System Details                   |                       |               |                     |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| Range Lens: 300 mm               | Beam Length: 14.30 mm | Sampler: None | Obscuration: 31.9 % |
| Presentation: \$\$\$A            | [Fraunhofer]          |               | Residual: 0.314 %   |
| Analysis Model: Compressed Range |                       |               |                     |
| Modifications: None              |                       |               |                     |

| Result Statistics         |                             |                             |                                  |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Distribution Type: Volume | Concentration = 0.0074 %Vol | Density = 1.005 g / cub. cm | Specific S.A. = 0.7254 sq. m / g |
| Mean Diameters:           | D (v, 0.1) = 3.24 um        | D (v, 0.5) = 16.58 um       | D (v, 0.9) = 63.22 um            |
| D [4, 3] = 26.22 um       | D [3, 2] = 8.23 um          | Span = 3.618E+00            | Uniformity = 1.128E+00           |

| Size Low (um) | In % | Size High (um) | Under% | Size Low (um) | In % | Size High (um) | Under% |
|---------------|------|----------------|--------|---------------|------|----------------|--------|
| 0.49          | 0.00 | 0.58           | 0.00   | 10.48         | 4.49 | 12.21          | 40.84  |
| 0.58          | 0.00 | 0.67           | 0.00   | 12.21         | 4.55 | 14.22          | 45.40  |
| 0.67          | 0.03 | 0.78           | 0.03   | 14.22         | 4.59 | 16.57          | 49.99  |
| 0.78          | 0.15 | 0.91           | 0.18   | 16.57         | 4.63 | 19.31          | 54.62  |
| 0.91          | 0.30 | 1.06           | 0.47   | 19.31         | 4.68 | 22.49          | 59.30  |
| 1.06          | 0.47 | 1.24           | 0.95   | 22.49         | 4.75 | 26.20          | 64.04  |
| 1.24          | 0.69 | 1.44           | 1.64   | 26.20         | 4.82 | 30.53          | 68.86  |
| 1.44          | 0.94 | 1.68           | 2.58   | 30.53         | 4.89 | 35.56          | 73.75  |
| 1.68          | 1.22 | 1.95           | 3.81   | 35.56         | 4.79 | 41.43          | 78.54  |
| 1.95          | 1.52 | 2.28           | 5.33   | 41.43         | 4.54 | 48.27          | 83.08  |
| 2.28          | 1.82 | 2.65           | 7.15   | 48.27         | 4.12 | 56.23          | 87.20  |
| 2.65          | 2.11 | 3.09           | 9.26   | 56.23         | 3.59 | 65.51          | 90.79  |
| 3.09          | 2.37 | 3.60           | 11.64  | 65.51         | 2.98 | 76.32          | 93.76  |
| 3.60          | 2.61 | 4.19           | 14.24  | 76.32         | 2.35 | 88.91          | 96.11  |
| 4.19          | 2.88 | 4.88           | 17.12  | 88.91         | 1.74 | 103.58         | 97.85  |
| 4.88          | 3.22 | 5.69           | 20.34  | 103.58        | 1.18 | 120.67         | 99.03  |
| 5.69          | 3.57 | 6.63           | 23.90  | 120.67        | 0.72 | 140.58         | 99.75  |
| 6.63          | 3.90 | 7.72           | 27.80  | 140.58        | 0.25 | 163.77         | 100.00 |
| 7.72          | 4.17 | 9.00           | 31.98  | 163.77        | 0.00 | 190.80         | 100.00 |
| 9.00          | 4.38 | 10.48          | 36.35  | 190.80        | 0.00 | 222.28         | 100.00 |

*Auszug aus dem Messprotokoll einer Sprayanalyse mit dem Beugungsspektrometer*

Es liegt auf der Hand, dass nun auch verlässliche Informationen zu den kleinsten und größten Tropfen in einem Spray vorliegen. Die Messungen sind natürlich möglichst mit dem Originalfluid unter realistischen Betriebsbedingungen durchzuführen.

Messungen mit dem Laserbeugungsspektrometer sind in den meisten Fällen auch direkt vor Ort und somit bei unseren Auftraggebern möglich. Wie bei allen optischen Messverfahren muss selbstverständlich eine optische Zugänglichkeit zur Messstelle vorhanden sein.

Weisen Düsen einen hohen Volumenstrom auf oder sind hoch auflösende Messungen in 3-D erforderlich, kommt alternativ das Phasen-Doppler-Anemometer, kurz PDA genannt, zum Einsatz.



*Phasen-Doppler-Anemometer, PDA.  
Tropfengrößen und Geschwindigkeiten hoch  
auflösend in 3-D messen.*

Dieses stationäre Gerät erlaubt es, nicht nur die Tropfengrößen, sondern auch die Tropfengeschwindigkeiten hoch auflösend in 3-D zu messen.

Mittels einer PC-gesteuerten Traversier-Einrichtung werden vorgegebene Positionen im Spray angesteuert und vermessen.

Somit ergibt sich ein vollständiges Bild der Sprayeigenschaften inklusive eventueller Rezirkulationsgebiete. Naturgemäß ist diese Messmethode mit PDA aufwendiger als Messungen mit dem Laserbeugungsspektrometer.

Zur Untersuchung und Optimierung komplexerer Aufgabenstellungen beispielsweise in der Verbrennungstechnik, dem Quentchen oder bei speziellen Beschichtungsaufgaben stellt das PDA jedoch ein enorm leistungsfähiges Instrument dar.

Gelegentlich wird kritisch hinterfragt, ob tatsächlich laseroptische Spraymesstechniken zum Einsatz kommen müssen. Dieses auch vor dem Hintergrund, dass derartige Messreihen selbstverständlich auch mit einem gewissen Aufwand verbunden sind.

Diese Frage lässt sich nur nach eingehender Erörterung der Aufgabenstellung und Zielsetzung endgültig klären. Aus diesem Grund ist es immer sehr hilfreich und unbedingt empfehlenswert, die gesamte Aufgabenstellung mit unseren Ingenieuren und Physikern im Vorfeld eingehend zu erörtern.

Liegen Probleme mit dem Overspray von Düsen vor oder kommt es zu unerwünschten Tropfenabscheidungen an Anlagen- oder Maschinenbauteilen, ist eine Tropfengrößenspektren-Messung häufig sehr nützlich. Ebenso dann, wenn eine flexible und intelligente Düsentechnik gefordert wird, welche auf sich verändernde Betriebsbedingungen reagieren muss.

Welches Spraymessverfahren dann eingesetzt werden soll, hängt von den technischen Randbedingungen und dem erforderlichen Informationsumfang ab, den die Messungen liefern sollen.

Hier erhalten Sie selbstverständlich eine umfassende und zielführende Beratung!

-12-

#### 4. CFD, Ähnlichkeitstheorie und Kennfelder

Düsen und Zerstäuber sind immer als integraler Bestandteil eines Gesamtprozesses zu verstehen. Daher wäre es ein fataler Fehler, die von der Düsentechnik gelieferten Sprayeigenschaften nicht in Wechselwirkung mit der gesamten Betriebstechnik zu sehen.

*Hierzu nur einige wenige Beispiele aus der täglichen Praxis.*

- Bei der Beschichtung einer Oberfläche spielt nicht nur das Tropfengrößenspektrum eine Rolle. Hinzu kommt der Sprayimpuls sowie die Verfahrensgeschwindigkeit der Düsen beziehungsweise der zu beschichtenden Oberflächen. Zu berücksichtigen sind ferner sekundäre Einflüsse wie Luftströmungen oder Einbauten. Beim Coaten von Oberflächen in der Pharma- oder Nahrungsmittel-Industrie kommen weitere Aspekte hinzu. Typisches Stichwort: CIP – Cleaning in Place.
- Bestimmte Sprayanteile müssen häufig von Abscheidern aus Strömungen abgetrennt werden. Eine intelligente Düsentechnik kann hier zu einer beträchtlichen Entlastung der Abscheider und einer Kosteneinsparung beitragen.
- Betriebsbedingungen variieren. Entweder sind wechselnde Volumenströme zu zerstäuben oder rheologische Eigenschaften von Flüssigkeiten ändern sich. Kennfelder von Düsen erlauben eine Anpassung der Betriebsparameter von Zerstäubern in physikalisch möglichen Bereichen.
- Der Einbau und die Positionierung von Düsensystemen in Rohrleitungen oder Apparaten beeinflusst den Stoff- und Wärmeübergang.

Bereits diese Beispiele belegen eindrücklich, dass unter einer intelligenten Düsenteknik deutlich mehr zu verstehen ist als das einfache Auswählen einer Düse oder eines Zerstäubers anhand nur einiger Daten.

Die numerische Strömungssimulation, **CFD**, als Ergänzung und Tool kommt im Bereich der intelligenten Düsenteknik zum Einsatz, wenn beispielsweise Tropfenverdampfungen oder Bewegungen von Tropfen in Apparaten beziehungsweise Maschinen berechnet und optimiert werden sollen.

Ebenso lassen sich Strömungen in Düsen selbst sowie Tropfenbildungsmechanismen mit dieser Methode ausgestalten. Die IBR Zerstäubungstechnik GmbH setzt hierbei sowohl kommerzielle als auch selbst entwickelte Module ein, um zielführend zu Ergebnissen zu gelangen. Besonderen Stellenwert besitzen hierbei die realitätsnahe Turbulenzmodellierung und die simulationsgerechte Ergebnisaufbereitung.

Ein weiteres ergänzendes Tool für die intelligente Düsenteknik ist die **Ähnlichkeitstheorie** beziehungsweise Dimensionsanalytik.

Wie in vielen Bereichen der Verfahrenstechnik und insbesondere in der Strömungsmechanik üblich, werden dimensionslose Kennzahlen zur Beschreibung und Berechnung komplizierter und wechselwirkender Vorgänge genutzt. Die bekannteste dimensionslose Kennzahl ist sicherlich die Reynolds-Zahl, kurz Re.

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} [-]$$

v ist die Strömungsgeschwindigkeit in m/s

d ist der Rohrinne Durchmesser in m

$\rho$  ist die Dichte der Flüssigkeit bzw. des Gases in kg/m<sup>3</sup>

$\eta$  ist die dynamische Viskosität der Flüssigkeit bzw. des Gases in Pa s



Mit dem Betrag der Reynolds-Zahl lässt sich beispielsweise allgemeingültig bestimmen, ob eine Rohrströmung laminar oder turbulent ist.

In der gesamten Düsentechnik werden dimensionslose Kennzahlen genutzt. Nur mit ihrer Hilfe ist es möglich, die komplizierten strömungs- und zerstäubungstechnischen Zusammenhänge allgemeingültig darzustellen. Und natürlich Scale-up beziehungsweise Scale-down Berechnungen rasch durchzuführen!

Gleichzeitig ist es möglich und natürlich auch empfehlenswert, mittels dimensionsloser Kennzahlen erforderliche Versuchsreihen zu planen. Hieraus resultiert ein enormes Einsparpotenzial!

Denn nicht alle beteiligten Parameter (Düsendurchmesser, Viskosität, Druck, etc.) müssen einzeln variiert werden. Vielmehr reicht es aus, eine gewünschte Variationsbreite für die dimensionslosen Kennzahlen vorzusehen.

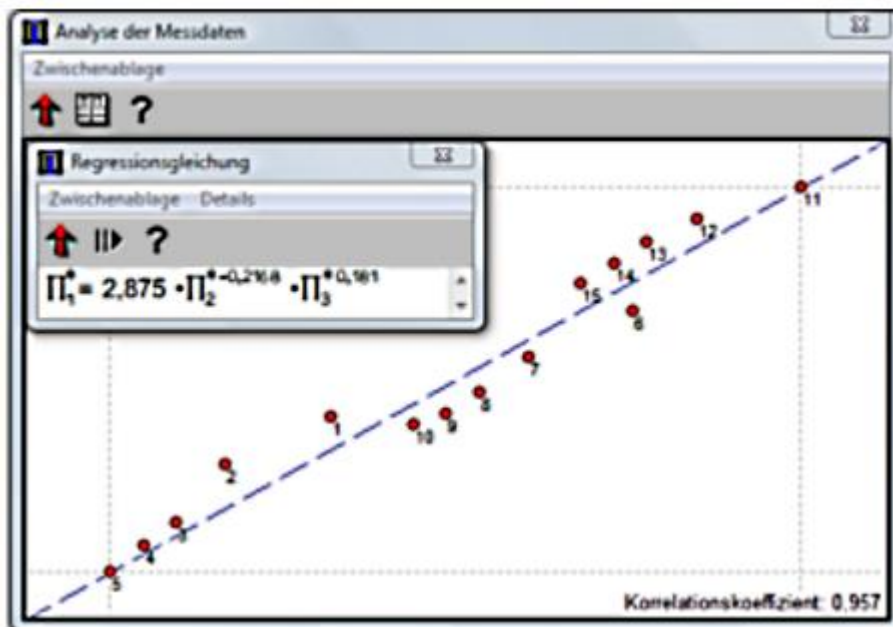
Noch ein weiterer und ganz praktischer Vorteil:

Anstelle des Originalfluides können bei Bedarf leicht Modellfluide verwendet werden, die sich in labortechnischen Sprayversuchen erheblich leichter handhaben lassen.

Das Herleiten der dimensionslosen Kennzahlen für eine bestimmte Fragestellung ist nicht ganz trivial. Ein tieferes Verständnis der Dimensionsanalytik sowie praktische Erfahrungen sind hier erforderlich. Selbstverständlich erledigen diese Aufgabe Mitarbeiter der IBR Zerstäubungstechnik GmbH für Sie. Diese verfügen über das notwendige Know-how und haben unter anderem an Universitäten und Fachhochschulen als Dozenten die Ähnlichkeitstheorie gelehrt.

Mit dimensionslosen Kennzahlen lassen sich besonders effizient **Kennfelder für die intelligente Düsenteknik** erstellen.

Dank einer eigens entwickelten Software sind somit schnell Berechnungsgleichungen zur Maschinen- beziehungsweise Anlagensteuerung verfügbar. Nachfolgend ein einfaches Beispiel für eine Turbulenzdüse.



$$\Pi_1 = \frac{D_{50}}{D} [-]$$

$$\Pi_2 = \frac{D \cdot \Delta p}{\sigma} [-]$$

$$\Pi_3 = \frac{\eta^2}{\sigma \cdot \rho \cdot D} [-]$$

Dank der angegebenen Berechnungsgleichung kann nun auf wechselnde Betriebsbedingungen düsentekhnisch reagiert werden, wenn sich zum Beispiel die Viskosität und/oder Dichte des zu zerstäubenden Fluides ändern.

Selbstverständlich lassen sich auch erheblich komplexere Zusammenhänge als im Beispiel gezeigt mit der Dimensionsanalytik als Kennfelder darstellen!

## 5. Praktische Vorgehensweise

Gleichgültig, ob es sich um die Erweiterung und Modernisierung einer bestehenden Anlage handelt oder es um ein neues Verfahren oder Produkt geht. Die einzelnen Schritte unterscheiden sich nur marginal.

1. Genaue Analyse der Aufgabenstellung. Ausgangssituation - Randbedingungen – Variable Betriebsbereiche – Zielsetzung.
2. Wechselwirkungen mit verbundenen verfahrens- beziehungsweise produktionstechnischen Schritten. Einbauten, Strömungen, Temperaturen, etc.
3. Rheologie der an dem Zerstäubungsprozess beteiligten Fluide. Bandbreite für die Viskosität, Volumenstrombereiche, etc.
4. Beurteilung, ob das Tropfengrößenspektrum oder der Sprayimpuls eine besondere Rolle spielt. Eventuelle Overspray-Problematik, unerwünschtes Abscheiden grober Tropfen, Abscheider und Filter, etc.
5. Wahl der in Betracht kommenden Düsenteknik. Prüfung, ob Standard-Düsen geeignet sein können. Eventuell labortechnische Messung und Prüfung unter realitätsnahen Bedingungen. Gegebenenfalls Entwicklung innovativer Düsentekniken.
6. Kennfeld-Erstellung zur Düsensteuerung falls erforderlich und gewünscht. Ebenfalls bei Bedarf CFD-Berechnung zur weiteren Strömungsführung.
7. Integration der Düsenteknik, Inbetriebnahme.

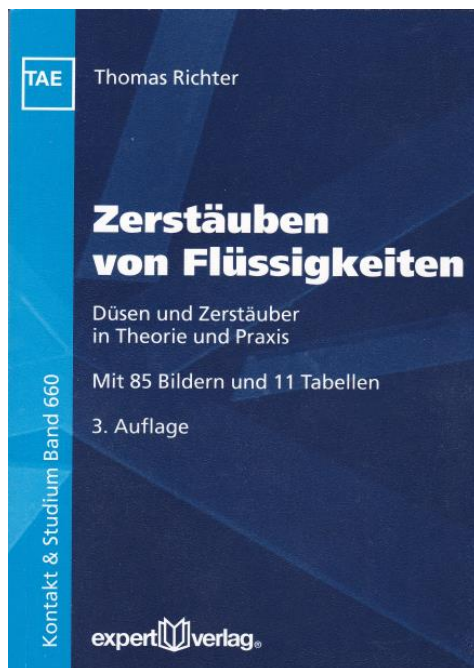
Selbstverständlich übernimmt das Team der IBR Zerstäubungstechnik GmbH gerne auf Wunsch die komplette Aufgabe von der Analyse bis hin zur Inbetriebnahme für Sie!

## 6. Literaturempfehlung

Sie möchten sich intensiver mit der Düsentechnik befassen oder einfach ein Fachbuch zum Nachlesen greifbar haben? Gerne!

Ausführlichere Darstellungen zu Düsen, zur Rheologie und zur Spraymesstechnik finden Sie in den deutschsprachigen Fachbüchern aus unserem Haus.

Die Bücher sind bei bekannten Buchhändlern auch online verfügbar.



Thomas Richter

Zerstäuben von Flüssigkeiten – Düsen und  
Zerstäuber in Theorie und Praxis

3. Auflage 2012  
expert-Verlag , Renningen  
ISBN 978-3-8169-3122-5



Günter Wozniak

Zerstäubungstechnik  
Prinzipien, Verfahren, Geräte

Springer-Verlag 2003  
ISBN 3-540-41170-4

## 7. Rechtliche Hinweise, Copyright

Diese Publikation wurde sorgfältig erstellt und geprüft. Dennoch können wir ausdrücklich keine Gewähr für die Vollständigkeit und Fehlerfreiheit geben. Änderungen und Ergänzungen behalten wir uns ausdrücklich vor.

Das Copyright der Texte und Abbildungen liegt bei der IBR Zerstäubungstechnik GmbH. Diese Publikation darf nicht zum Download von einer anderen Webseite oder URL als [www.duesen.biz/intelligente-duesentechnik.pdf](http://www.duesen.biz/intelligente-duesentechnik.pdf) angeboten werden. Auch nicht in Teilen.

Eine externe Verlinkung auf die oben genannte Adresse ist gestattet.

-19-

Die PDF-Datei darf als vollständige Datei per E-Mail oder als Ausdruck weitergeleitet werden. Änderungen und/oder das Entfernen von Texten und Metatags und/oder Bildern sind nicht gestattet.

Bei Zitaten aus dieser Publikation ist der Titel „Intelligente Düsenteknik - Wissenschaftlich fundiert, an der Praxis orientiert“, der Autor „IBR Zerstäubungstechnik GmbH“ und die Quelle „[www.duesen.biz/intelligente-duesentechnik.pdf](http://www.duesen.biz/intelligente-duesentechnik.pdf)“ anzugeben.

## 8. Impressum

IBR Zerstäubungstechnik GmbH  
Auf der Horst 10  
D-48147 Münster  
Telefon: +49 251-2879953-0  
Telefax: +49 251 -28799539  
Kontakt per E-Mail:  
[Webmaster](mailto:info@duesen.biz) (info [at]duesen.biz)

Vertretungsberechtigter Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Thomas Richter VDI  
Registergericht: Amtsgericht Münster  
Registernummer: HRB 12937  
Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a Umsatzsteuergesetz:  
DE813432012  
Inhaltlich Verantwortlicher nach Telemediengesetz (TMG)  
Dipl.-Ing. Thomas Richter VDI  
Anschrift: siehe oben  
Tel.: siehe oben  
Fax: siehe oben  
E-Mail: siehe oben

IBR<sup>®</sup> Zerstäubungstechnik GmbH ist eingetragenes und geschütztes Markenzeichen der IBR Zerstäubungstechnik GmbH, Deutschland.