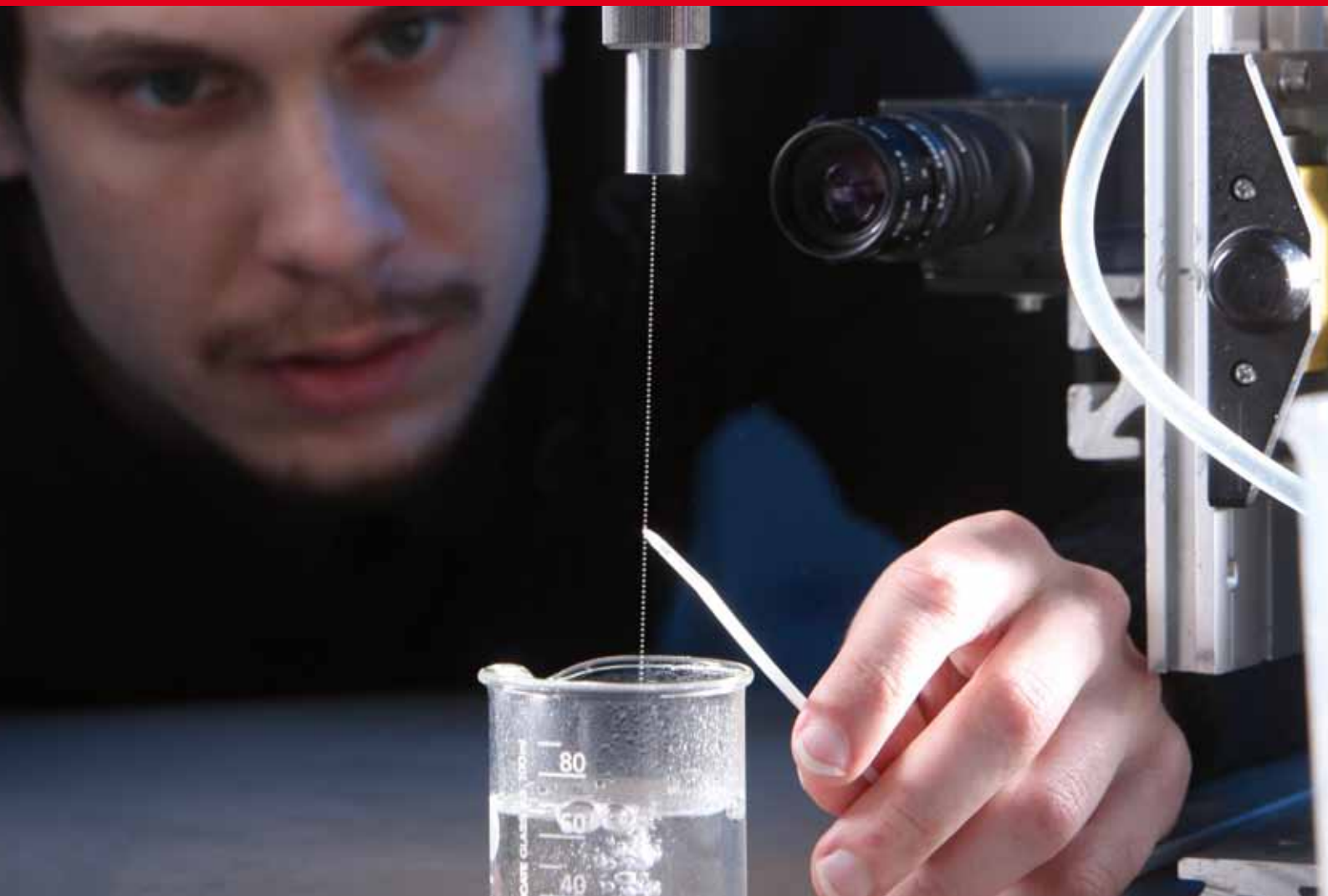
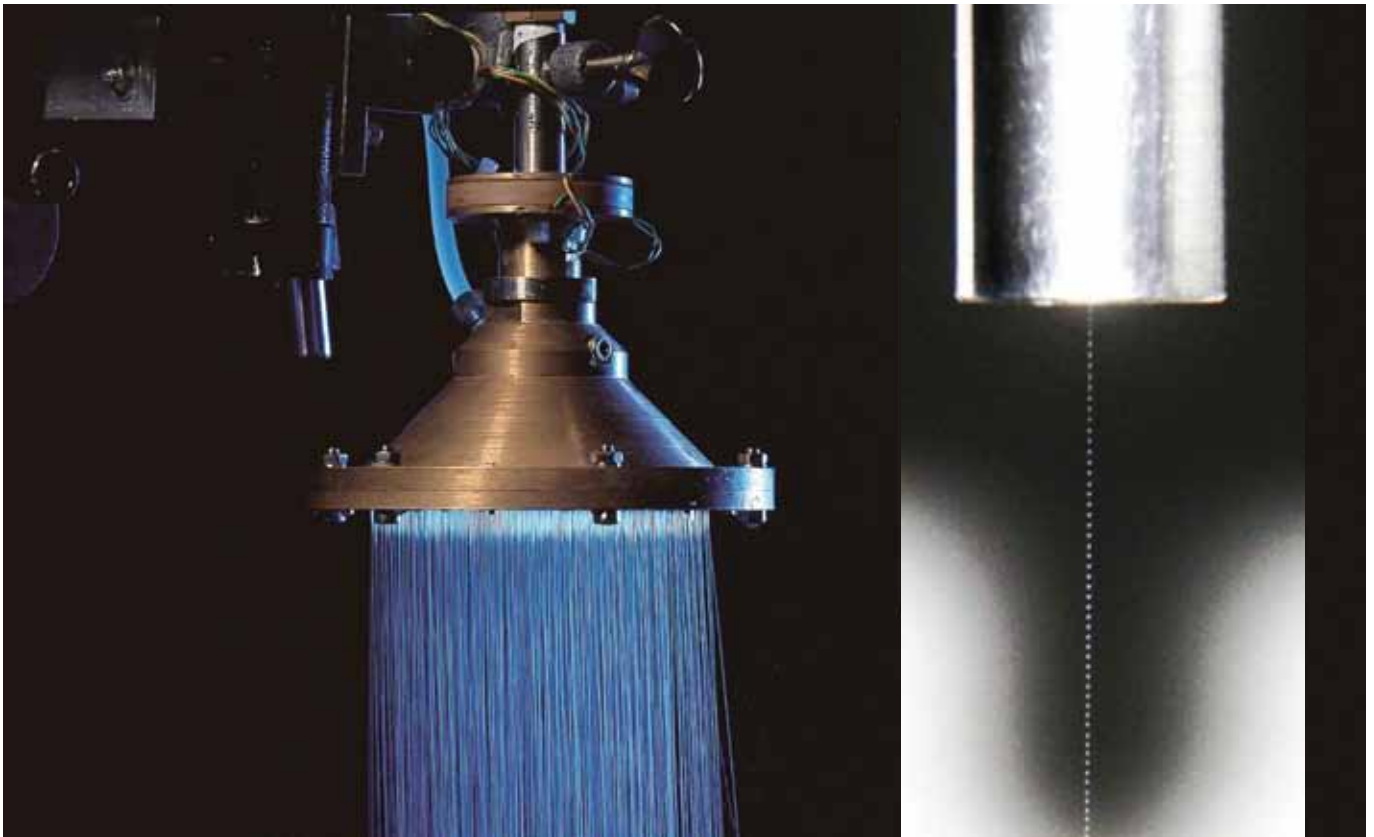




MONODISPERSER TROPFENGENERATOR FÜR INDUSTRIELLE & UNIVERSITÄRE ANWENDUNGEN





SEITE 3 | EINLEITENDE BEMERKUNGEN – MONODISPERSER TROPFENGENERATOR

SEITE 4 | VERFAHREN UND ANWENDUNGSBEREICHE

SEITE 5 | FMP-PRODUKTE

SEITE 7 | GENERELLE SPRAYENTWICKLUNGEN

SEITE 8 | ÜBER DIE FMP TECHNOLOGY GMBH



„Durch langjährige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in dem Bereich der Spraytechnik hat sich die FMP TECHNOLOGY GMBH theoretische und experimentelle Kenntnisse erworben, die sich anwenden lassen, um bestehende Sprayverfahren zu analysieren und zu verbessern sowie neuartige Verfahren zur Sprayerzeugung bereit zu stellen. Dabei gehen wir nicht rein experimentell vor, sondern basieren unsere Entwicklungen auf theoretisch fundiertem Wissen.“

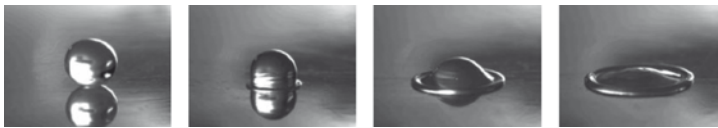
Prof. Dr. Dr. h.c. Franz Durst

Geschäftsführender Gesellschafter der FMP TECHNOLOGY GMBH



Monodisperse Tropfengenerator,
Typ MTG-01-G1

Eine große Zahl an Industriezweigen setzt in unterschiedlichen Produktionsprozessen und -anlagen zerstäubte Flüssigkeiten ein. Die Zerstäubung der Flüssigkeiten erfolgt größtenteils durch Düsen, die polydisperse Sprays ungesteuert erzeugen, so dass das entstehende Spektrum des Tropfendurchmessers nicht gezielt beeinflusst werden kann. Auf diese Weise entstehen Tropfengrößenverteilungen, die sich im Regelfall nicht optimal für den Prozessablauf eignen, da die kleinsten und größten Tropfendurchmesser stark voneinander abweichen.



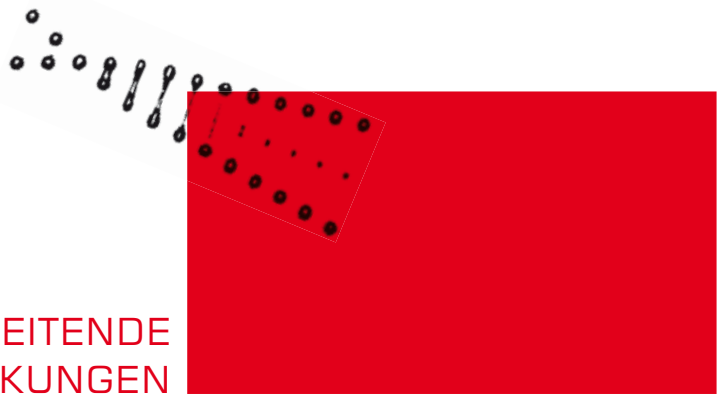
Die Technik der monodispersen Sprayerzeugung ermöglicht hingegen eine gezielte Herstellung monodisperser oder diskret polydisperser Sprays mit einstellbaren Tropfendurchmessern. Die Technik dieser Tropfenbildung basiert dabei auf dem Rayleigh'schen Zerfall laminarer Flüssigkeitsstrahlen. Dieser Mechanismus lässt sich durch die Einbringung vibratorischer Störungen in Flüssigkeitsstrahlen gezielt und leicht steuern, um Tropfen bekannter Größen zu erzeugen.

Grundsätzlich gilt, dass der Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles in Tropfen auftritt, wenn die Wellenlänge einer Verformung der Strahloberfläche größer ist als der Umfang des Strahles. Durch die entwickelte Technik ist es möglich, einen kontrollierten Strahlzerfall durch Aufbringen definierter Störwellen zu erzeugen. Dabei ist es wichtig, dass Störsignale geringer Amplituden ausreichend sind, um den Strahlzerfall zu kontrollieren. Vibrationen mit der Frequenz f produzieren bei einer bestimmten Strahlgeschwindigkeit U Störwellen mit der Wellenlänge $\lambda = U/f$. Die Störwelle führt zu einer regelmäßigen Produktion gleich großer Tropfen mit vorhersagbarem Durchmesser d , wenn die dimensionslose Wellenlänge $k = \pi D / \lambda$ zwischen 0,3 und 0,9 liegt. Der optimale Zerfall erfolgt bei $k = 0,7$.

$$d = \left(\frac{3UD^2}{2f_G} \right)^{1/3}$$

U = Geschwindigkeit
 D = Durchmesser Düse
 f_G = Generatorfrequenz

EINLEITENDE BEMERKUNGEN

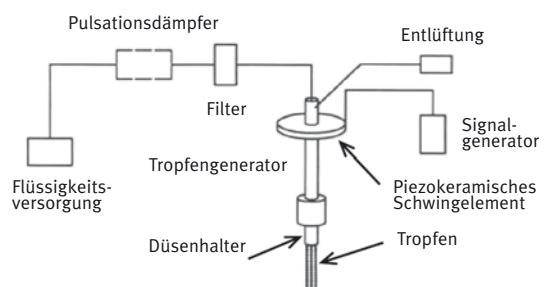
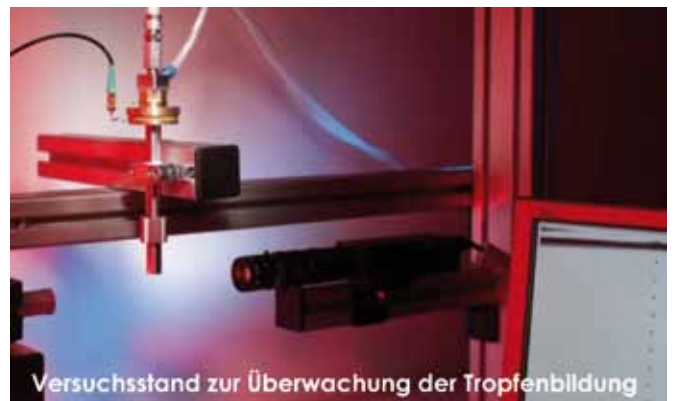


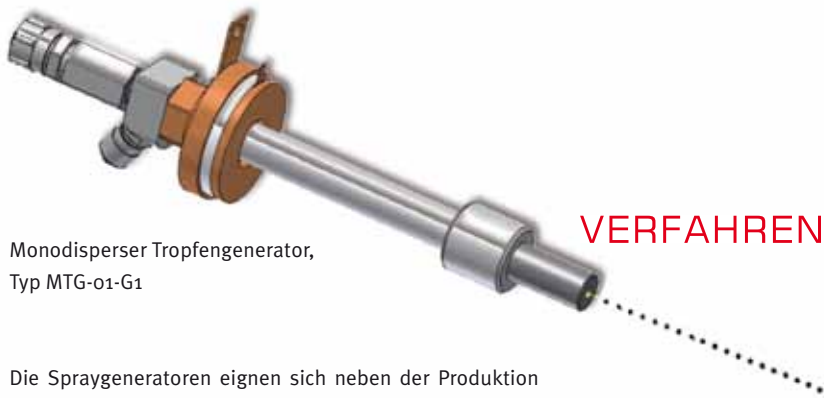
MONODISPERSE TROPFENGENERATOR

Die exakte Berechnung der entstehenden Tropfendurchmesser ermöglicht eine zielgerichtete Auslegung der Düsen und eine einfache Bestimmung geeigneter Betriebsparameter.

Die FMP TECHNOLOGY GMBH verfügt über patentierte Verfahren, um sowohl Teilchen konstanter Größe herzustellen, als auch Teilchenverteilungen mit diskreten Durchmessern mittels unterschiedlicher Lochblenden-durchmesser zu produzieren. Das Verfahren der Tropfenerzeugung durch angeregten Strahlzerfall ermöglicht die gesteuerte Erzeugung monodisperser oder diskret polydisperser Sprays mit einstellbaren Tropfendurchmessern.

Tropfengeneratoren, wie sie untenstehend abgebildet sind, können durch den Einsatz von Düsenplatten, mit einer mittig angeordneten Mikrobohrung spezieller Geometrie, bis zu 10.000 monodisperse Einzeltröpfchen pro Sekunde erzeugen. Durch die Anpassung des Düsendurchmessers kann der Generator gezielt die gewünschten Tropfendurchmesser erzeugen. Dabei gilt: $d = 1,89 D$.

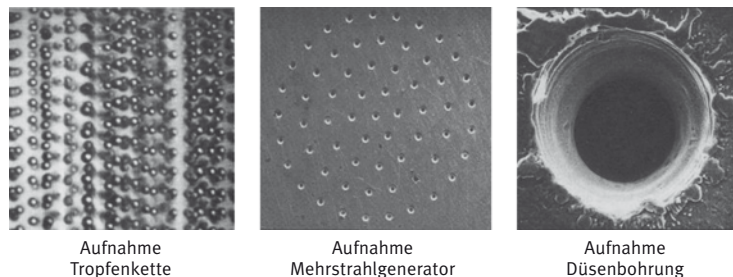




Monodisperser Tropfengenerator,
Typ MTG-01-G1

Die Spraygeneratoren eignen sich neben der Produktion von Einzeltropfen auch für die Realisierung großer Tropfenströme. Diese können auf den gewünschten Durchsatz ausgelegt werden, indem sehr viele Bohrungen in einer Düse über eine Verteilerkammer gleichmäßig mit Flüssigkeit versorgt werden und dadurch voneinander getrennte Tropfenketten ausbilden.

Die Verteilerkammer sorgt dabei für einen gleichmäßigen Durchfluss durch alle Düsenbohrungen. Es wurden bereits Tropfengeneratoren mit bis zu 613 Einzeldüsen angefertigt und erfolgreich getestet. Die theoretische Auslegung dieser Mehrstrahlgeneratoren basiert ebenso auf dem Rayleigh'schen Zerfall eines Flüssigkeitsstrahles. Erreichbare Flüssigkeitsdurchsätze liegen bei solchen Düsen derzeit bei etwa 250 Liter pro Stunde, in Abhängigkeit der gewünschten Tropfendurchmesser.



Aufnahme
Tropfenkette

Aufnahme
Mehrstrahlgenerator

Aufnahme
Düsenbohrung

Das Ergebnis eines Rayleigh'schen Strahlerfalls, der durch periodische Störungen gesteuert wird, ist eine monodisperse Tropfenkette. Diese ist im Wesentlichen durch drei Parameter charakterisiert:



wobei U die Tropfengeschwindigkeit, d_p der Tropfendurchmesser und δ_p der Abstand der einzelnen Tropfen zueinander ist.

Nach diesem Grundprinzip der Spraysteuerung lässt sich die Durchflussrate bestimmen:

$$\dot{V} = n \frac{\pi}{6} d^3 f_G \quad (\text{Tropfenvolumenstrom})$$

n bezeichnet dabei die Anzahl der Düsenbohrungen und f_G die Erregerfrequenz der Piezokeramik. Dies gilt für den

gesamten Betriebsbereich des Generators, der aus der Bedingung für die Instabilität eines Fluidstrahls resultiert:

$$\lambda = \frac{U}{f_G} \geq \pi D$$

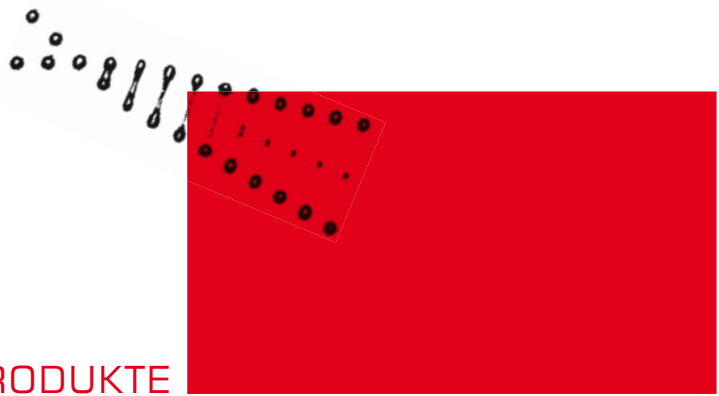
λ bezeichnet hier die Wellenlänge des aufgetragenen Störsignals und D den Bohrungsdurchmesser der Düse. Mit diesem Wissen lässt sich die Tropfenbildung gezielt steuern.



Monodisperser Mehrstrahl-Generator

ANWENDUNGSBEREICHE

- Beschichtung von Einzeltropfen und Tropfenbahnen
- Produktion von Granulaten
- Testzwecke
- Landwirtschaftliche Anwendungen
- Kontrollierte Dosierung von Flüssigkeiten
- Spraykühlung
- Rapid Prototyping – Die genau steuerbaren Tropfendurchmesser werden mittels flüssiger Metallschmelze-Tropfen genutzt, um gezielt Formkörper aus Tropfen aufzubauen
- Pharmazie – Erzeugung von Polymerpartikeln als Medikamententräger
- Sprühtrocknung – Produktion qualitativ hochwertiger Trockenprodukte mit engster Partikelgrößenverteilung
- Kalibrierung von Messgeräten für Tropfengrößen- und Geschwindigkeitsmessungen
- F&E-Aufgaben in der Produktionstechnik



FMP-PRODUKTE

TROPFENGENERATOR



Im Zusammenhang mit dem Generator für monodisperse Tropfen liefert die FMP TECHNOLOGY GMBH nicht nur das Grundgerät und die zugehörige Elektronik, sondern auch den Druckbehälter mit der notwendigen Filtrationseinrichtung. Düsenplatten mit Einzellöchern unterschiedlicher Größe bzw. Platten mit mehreren Löchern stehen gleichermaßen zur Verfügung. Ferner auch eine Stroboskop-Kamera-Einrichtung, um die Einzeltropfen kinematographisch zu visualisieren.

- Vibratorische Anregung der Strahlen zur Erzeugung der Tropfenbildung über piezoelektrisches Element
- Vorhersagbare, gesteuerte Erzeugung monodisperser Tropfen oder gezielte Produktion polydisperser Sprays mit vorgegebenem Tropfendurchmesserspektrum
- Erzeugung von Mikrotropfen von 40 µm bis 1000 µm
- Gut kontrollierbares Verdampfungs- und Verbrennungsverhalten der Tropfen
- Gleiches, bekanntes dynamisches Verhalten für alle Tropfen

ANSTEUERELEKTRONIK



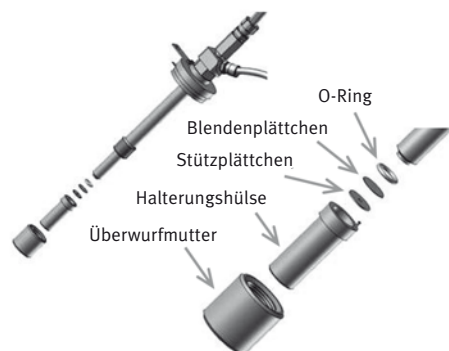
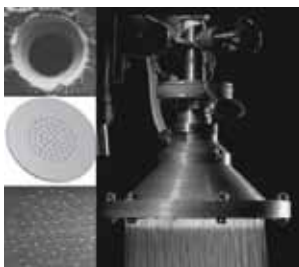
Frequenzbereich:
0,5 Hz bis 5 MHz

Signalformen:
Sinus, Dreieck, Rechteck, positiver und negativer Impuls, variable Symmetrie

Signalein- und ausgänge:
SYNC OUT; VCO IN; OCV OUT; EXT IN

- Geeignete Elektronik für die Ansteuerung des Piezoschwingers und leichte Eingabe der Frequenz und Amplitude des Erregersignals für die Tropfenbildung
- Triggern der CCD-Kamera und des Stroboskops um die Tropfenbildung optimal zu visualisieren

DÜSENPLATTEN



- Variabel einsetzbare Düsenplatte für die Erzeugung von Tropfen unterschiedlicher Durchmesser
- Düsen besitzen spezielle Einlaufkontur, um optimalen Durchfluss und Tropfenbildung zu gewährleisten
- Auslegung der Anzahl und Anordnung der Düsenbohrungen für gewünschte Tropfendurchmesserspektren und geforderten Durchsatz

FMP-PRODUKTE

FLUIDVERSORGUNG



Max. Eingangsdruck: 10 bar
Zul. Betriebsdruck: 6 bar
Nutzhalt: 4,9 Liter
Zul. Betriebstemperatur:
(min.) +10°C bis (max.) +50°C

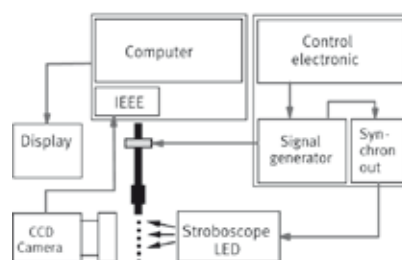
- Druckbehälter inklusive Druckregelinheit und Filter standardmäßig im Lieferumfang
- Gewährleistet kontinuierliche und pulsationsfreie Fluidversorgung
- Einstellung des Systemdrucks über Manometer mit Druckregler

DURCHFLUSSMESSGERÄT



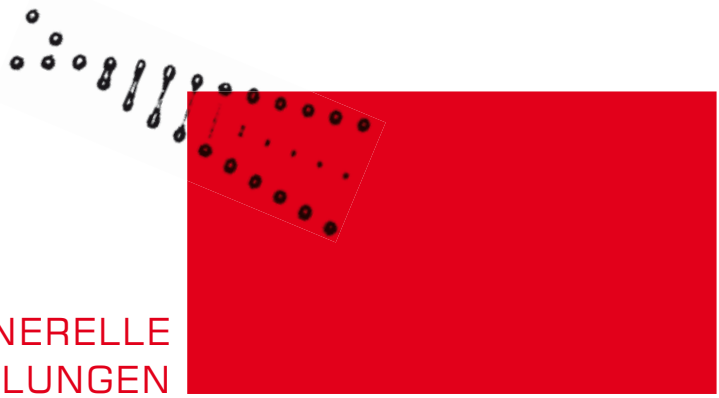
- Präzises Messgerät, um kleinste Volumenströme 0,005 - 1,75 l/min zu messen und somit gewünschte Tropfendurchmesser einstellen zu können
- Programmierbarer Flow-Controller zur Anzeige des Momentan-Durchflusses und des Gesamt-Durchflusses
- Es stehen Volumstrommessgeräte im Bereich von 0 - 1,5 l/min zur Verfügung

KAMERA MIT STROBOSKOP



- Kamerasystem zur Prozessüberwachung, bestehend aus CCD-Kamera mit Mikroskop-Objektiv sowie Stroboskop
- Möglichkeit zur Überwachung der Tropfenbildung mit handelsüblichem PC
- Gleichzeitiges Triggern von Stroboskop und Kamera erlaubt die Visualisierung der Tropfen

GENERELLE SPRAYENTWICKLUNGEN



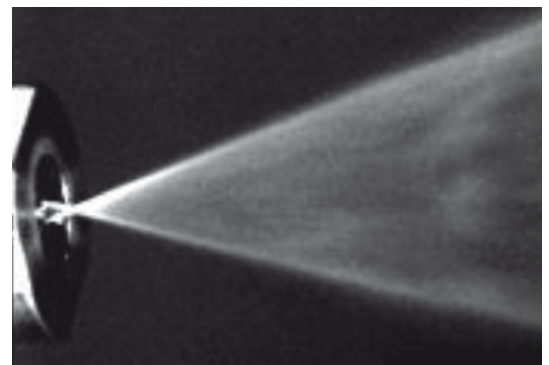
DOPPELSTRAHL-SPRAYS

Generell gilt, dass Turbulenz innerhalb eines Fluidstrahles zur Deformation der Oberfläche führt und damit, in der Regel, in der Bildung von Störungen resultiert. Diese werden durch aerodynamische Vorgänge am Strahlrand verstärkt und führen zur Ablösung von Tropfen. Mit diesem Wissen gelang es, einen Spraymechanismus zu entwickeln, bei dem die Zerstäubung des Fluids aus dem Impulsaustausch zweier aufeinanderprallender Fluidstrahlen resultiert. Dabei werden zwei Fluidstrahlen so ausgerichtet, dass sie unter einem bestimmten Winkel aufeinandertreffen. Die durch den Impulsaustausch eingebrachte Turbulenz führt dabei zum Zerfall der beiden Strahlen in feine Tropfen und zur Ausbreitung eines Spraykegels. Je nach Düsendurchmesser, Aufprallwinkel, angelegtem Druck und Fluideigenschaften können mit diesem Mechanismus Sprays mit vorhersagbaren Tropfen-Größen generiert werden.



FMP-Versuchsstand zur Untersuchung von Sprays

Die Produktion von Flüssigkeitströpfchen, d.h. die **Sprayerzeugung**, erfordert nicht nur geeignete Düsen, die leicht bedienbar sind, sondern auch fundierte Kenntnisse der möglichen Mechanismen, die für die Sprayerzeugung zur Anwendung gebracht werden können. Je nach geforderter Tropfengröße müssen unterschiedliche Mechanismen der Sprayerzeugung eingesetzt werden. Einige eignen sich nur, um **polydisperse Tropfenverteilungen** zu produzieren. Andere eignen sich wiederum zur Herstellung **monodisperser Tropfenverteilungen**, also der Erzeugung von Tropfen gleicher Größe. Mono- und polydisperse Sprays finden in der Industrie, in der Medizin und im Umfeld von Menschen weit verbreitete Anwendungen.



Doppelstrahlspraymechanismus



„Unsere hochqualifizierten Ingenieure und innovativen Produkte helfen, die Qualitätsansprüche verlässlich zu erfüllen, die heute an die Hersteller und Anwender der Spraytechnik gestellt werden. Moderne, numerische Berechnungsmethoden stellen dabei sicher, dass ohne zeitaufwändige Empirik sichere Aussagen darüber getroffen werden können, wie Spraydüsen ausgelegt werden müssen, um optimale Tropfengrößen zu erzielen.“

Dipl.-Ing. Martin Gillert

Gründer & Geschäftsführer der FMP TECHNOLOGY GMBH

Die FMP TECHNOLOGY GMBH wurde mit den folgenden Preisen ausgezeichnet:

- Gründerpreis Mittelfranken
- Bayerischer Gründerpreis
- IHK-Gründerpreis
- Preisträger in der Standortinitiative von Wirtschaft und Bundesregierung „Deutschland - Land der Ideen“
- Innovation-Champion beim Würzburger Automobilgipfel
- Großer Preis des Mittelstandes



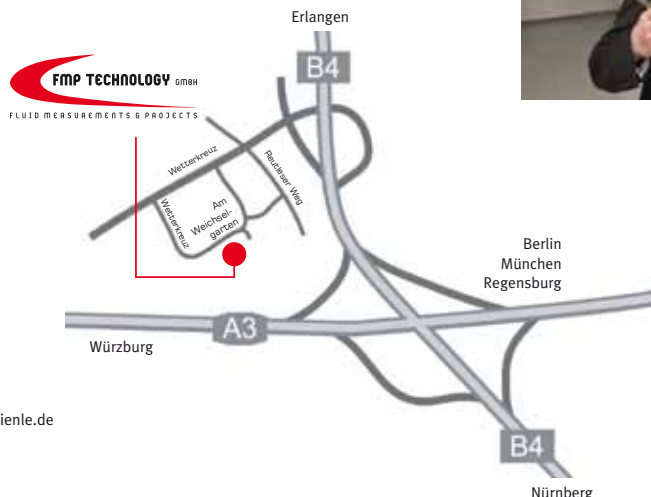
QUELLEN

- [1] G. Brenn, F. Durst, C. Tropea: Monodisperse Sprays for Various Purposes - Their Production and Characteristics. Part. Part. Syst. Charact. 13 (1996) 179-185.
- [2] G. Brenn, T. Helpö, F. Durst: A new apparatus for the production of monodisperse sprays at highflow rates. Chem. Eng. Sci., Vol.52, No.2 (1997) 237-244.
- [3] R. Brodkey: The Phenomena of Fluid Motions. New York: Dover Publications, 1967.
- [4] F. Puschmann: Experimentelle Untersuchung der Spraykühlung zur Qualitätsverbesserung durch definierte Einstellung des Wärmeübergangs. Magdeburg, 2003.

IMPRESSUM

Copyright © 2011
FMP TECHNOLOGY GMBH
 Fluid Measurements & Projects
 Am Weichselgarten 34
 D – 91058 Erlangen
 Fon: +49 (0) 9131 – 932 868 - 0
 Fax: +49 (0) 9131 – 932 868 - 99
 Email: info@fmp-technology.com
 Web: www.fmp-technology.com

Herstellung | FMP TECHNOLOGY GMBH
Fotografie | Kurt Fuchs, www.fuchs-foto.de
Gestaltung | lars kienle werbung, www.larskienle.de
Nachdruck | Alle Rechte vorbehalten.
 Kein Teil darf ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt werden.



ÜBER DIE FMP TECHNOLOGY GMBH

Im Jahr 2006 wurde die FMP TECHNOLOGY GMBH aus dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik der Universität Erlangen mit dem Ziel gegründet, wissenschaftliche Entwicklungen aufzugreifen und auf deren Basis neuartige, innovative Produkte zu entwickeln und zu vermarkten.

In den unterschiedlichen Geschäftsbereichen der FMP TECHNOLOGY GMBH, die alle auf strömungsmechanischen Grundlagen basieren, konnten bahnbrechende Entwicklungen insbesondere für die Beschichtungs- und Trocknungstechnik durchgeführt werden.

In der Beschichtungstechnik betrifft eine Entwicklung der FMP TECHNOLOGY GMBH neuartige Beschichtungsdüsen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Beschichtungsdüsen können erstmalig unterschiedlichste Flüssigkeiten mit nur einer Beschichtungsdüse ohne Qualitätseinbußen verarbeitet werden. Gegenwärtig auf dem Markt verfügbare Beschichtungsdüsen müssen hingegen grundsätzlich für ein konkretes Beschichtungsfluid speziell ausgelegt werden, sodass Anwender bisher in zahlreiche, verschiedenartige Beschichtungsdüsen investieren mussten. Dieser Mehraufwand kann mit der von FMP TECHNOLOGY GMBH entwickelten Beschichtungsdüse vermieden werden.

