

ICS 17.060; 55.130

**Charakterisierung von zerstäubten Flüssigkeiten –
Bestimmung der relativen Volumenstromdichteverteilung im Spray;
Text Deutsch und Englisch**

Characterization of atomized fluids –

Determination of the relative volume flux density distribution in sprays;

Text in German and English

Caractérisation des fluides atomisés –

Détermination de la distribution de densité relative du flux volumique dans les aérosols;

Texte en allemand et anglais

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer PAS erstellt.

Gesamtumfang 31 Seiten

Dieses Dokument wurde durch die im Vorwort genannten Verfasser erarbeitet und verabschiedet.

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Anforderungen an die Messtechnik.....	6
5 Durchführung der Messung	7
5.1 Allgemeines	7
5.2 Definition der Messrasterebenen.....	7
5.2.1 Allgemeines	7
5.2.2 Definition der Messfläche.....	7
5.3 Ausrichtung des Messgerätes.....	8
5.4 Angabe der Messunsicherheit.....	8
5.4.1 Allgemeines	8
5.4.2 Messfehler speziell bei der Erfassung von Tropfen.....	9
5.5 Überprüfung des Messgerätes	11
6.1 Allgemeines	11
6.2 Darstellung der Volumenstromdichte.....	13
Literaturhinweise.....	15

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in Workshops und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die vorliegende DIN SPEC (PAS) ging aus dem Projekt „Charakterisierung der Größe und Geschwindigkeit des Volumendurchflusses und der Konzentration von Tropfen in Sprays“ im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Initiative „Innovation mit Normen und Standards (INS)“ hervor.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgten durch die nachfolgend genannten Initiator(en) und Verfasser:

- AOM-Systems GmbH
Aaron Oberthür, Dr. Meiko Hecker
- BASF Coatings GmbH
Dr. Daniel Briesenick, Kai Schäfer
- BETE Deutschland GmbH
Oliver Kalweit
- Dr. Felix Brinckmann
- FH Esslingen
Prof. Joachim Domnick
- Fraunhofer für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Dr. Oliver Tiedje
- TU Darmstadt
Prof. Cameron Tropea
- DLR Göttingen
Dr. Robert Konrath, Tobias Tjaden

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen.

DIN SPEC sind nicht Teil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann der Workshop weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Benutzung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass der Workshop für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Einleitung

Die Charakterisierung der relativen Volumenstromdichte von zerstäubten Beschichtungsstoffen in einem Spray oder einer tropfenbeladenen Strömung steht im Zentrum vieler verfahrenstechnischer und regulatorischer Aufgaben.

Vor allem für Beschichtungsprozesse ist die Volumenstromdichteverteilung von besonderer Bedeutung. Dort steht das Ausbringen einer definierten Materialmenge auf eine Fläche im Zentrum der Anwendungen. Beispielsweise bei dem Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln in der Agrarindustrie oder bei Lackiervorgängen, aber auch bei der Gaskühlung, bei der eine Strömung möglichst gleichmäßig mit einem zerstäubten Stoff beaufschlagt werden soll.

Im Lackierbereich wird beispielsweise die räumliche Verteilung der Materialmenge klassischerweise nicht im Spray, sondern auf dem Substrat durch das Spritzbild beschrieben.

Zwar lässt sich der integrierte Volumenstrom auch mit Durchflussmessgeräten bei der Stoffzuführung bestimmen, dieser liefert jedoch keinerlei Aussage über das orts aufgelöste Profil sowie über die Homogenität des Sprays. Daher sind solche Messverfahren ungeeignet um die relative Volumenstromdichte in Sprays zu bestimmen.

Durch einen Standard zu der Charakterisierung der Volumenstromdichte von zerstäubten Flüssigkeiten in Sprays und tropfenbeladenen Strömungen soll der Industrie eine deutliche bessere Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle ermöglicht werden. Außerdem wird eine Reduktion des Sicherheitspuffers des Beschichtungsstoffes erwartet.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende DIN SPEC beschreibt ein Verfahren zur Charakterisierung der Volumenstromdichte technischer Sprays wie sie in verfahrenstechnischen Prozessen oder der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die Erfassung der Volumenstromdichte erfolgt aus direkt messbaren Parametern: Tropfengröße und -Geschwindigkeit sowie Zählrate und Fläche. Weiter werden Anforderungen an die räumliche Auflösung des Verfahrens sowie die zulässige Messunsicherheit aufgestellt.

Da die Messung das Spray nicht beeinflussen darf, sind nach bisherigem Kenntnisstand nur optische Messverfahren einsetzbar.

Diese DIN SPEC gilt für Anwendungen mit Tropfendurchmessern zwischen 1 µm und 1 000 µm. Zudem wird spezifiziert, welche Eigenschaften ein Verfahren aufweisen muss, um sowohl transparente Tropfen, als auch Tropfen, für die ein messbarer Anteil des einfallenden Lichts absorbiert wird, zu detektieren. Des Weiteren wird angenommen, dass die Tropfen sphärisch sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN ISO 9276-1, *Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen — Teil 1: Grafische Darstellung*

DIN ISO 9276-2, *Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen — Teil 2: Berechnung von mittleren Partikelgrößen/-durchmessern und Momenten aus Partikelgrößenverteilungen*

DIN SPEC 91325, *Charakterisierung von Sprays und Sprühprozessen durch die Messung der Größe und der Geschwindigkeit nicht-transparenter Tropfen*

ASTM E 799-03, *Standard Practice for Determining Data Criteria and Processing for Liquid Drop Size Analysis*

ASTM E 1260-03, *Standard Test Method for Determining Liquid Drop Size Characteristics in a Spray Using Optical Nonimaging Light-Scattering Instruments*

ASTM E 1620, *Standard Terminology Relating to Liquid Particles and Atomization*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ASTM E 1620 und DIN SPEC 91325 und die folgenden Begriffe.

3.1

Spritzen

Zerstäubung von Flüssigkeit

BEISPIEL Nasslackieren, Spritzlackieren, usw.

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere übliche Definitionen finden sich in DIN 32781 oder in DIN EN 13355.

3.2

Sprühen

Zerstäubung von trockenen Partikeln

BEISPIEL Pulverbeschichten, Pulversprühen, usw.

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine weitere übliche Definition findet sich in DIN EN 12921-3.

3.3

Spray

Sprüh, Spritz
zerstäubtes Material

Anmerkung 1 zum Begriff: Mehrphasenströmung aus Beschichtungsstoff und Gas, siehe auch DIN SPEC 91343.

3.4

nicht-invasive Messtechnik

Messtechnik, die den Prozess, auf den sie angewendet wird, nicht beeinflusst

3.5

Hauptströmungsrichtung

Richtung in einem Spray, die die Mehrzahl der Tropfen aufweist, wobei oft die Mündung der Düse in diese Richtung weist

3.6

Absorption

Prozess, bei dem die Materie Photonen von einfallendem Licht aufnimmt und sie in andere Energieformen, wie z. B. Wärme, umwandelt

[QUELLE: DIN EN 62607-3-1:2014-12, 3.3]

Anmerkung 1 zum Begriff: Absorption von Licht beinhaltet Streuung desselben und die Aufnahme von innerer Energie.

3.7

Volumenstromdichteverteilung

Volumen, das über die Zeit betrachtet eine Referenzfläche (in Betrag und Richtung) passiert

3.8

Volumen-Messverfahren

Messverfahren, das ein Volumen mit mehreren Tropfen zu einem Zeitpunkt misst

4 Anforderungen an die Messtechnik

Die Messtechnik muss Tropfengröße und Tropfengeschwindigkeit nach DIN SPEC 91325 erfassen können. Dabei wird es sich häufig um eine optische Messtechnik handeln, die unter anderem:

- nicht-invasiv arbeitet;
- während des Sprühprozesses anwendbar sein muss;
- auf einem Zählverfahren basierend;
- orts aufgelöst arbeitet;

Um die Volumenstromdichteverteilung eines Sprays zu charakterisieren, muss das Spray auf einer für die Anwendung relevanten Messfläche (siehe 5.2.2) erfasst werden. Sollte eine Messtechnik dies beispielsweise aufgrund von einem zu kurzen Arbeitsabstand oder zu kleinem dynamischen Messbereich nicht leisten können, darf die Messtechnik nicht für die Messung eingesetzt werden.

Das Messvolumen eines Messsystems und die Messfläche in Hauptströmungsrichtung im Spray müssen bekannt sein.

Es existieren auch mechanische und optische Messverfahren, die nach dem Prinzip der Patternation arbeiten und in der Lage sind die relative Volumenstromdichte zu erfassen. Allerdings muss bei mechanischen Patternatoren isokinetisch abgesaugt werden bzw. das Verfahren muss so gestaltet werden, dass die Teilchenbahnen nicht beeinflusst werden. In diesem Fall sind Patternatoren als vergleichende Messtechnik einsetzbar. Allerdings sind mechanische Patternatoren nicht für anhaftende Substanzen wie Lacke geeignet und liefern, ebenso wie optische Patternatoren, weder Tropfengrößen- noch Tropfengeschwindigkeitsverteilungen.

5 Durchführung der Messung

5.1 Allgemeines

Für die Durchführung der Messung von Tropfengrößen und Geschwindigkeiten in zerstäubten Flüssigkeiten gelten die Anforderungen nach DIN SPEC 91325.

Für die Definition der Messfläche siehe 5.2.2.

ANMERKUNG In der Oberflächenbeschichtung ist vor allem die Auftragsmengenverteilung auf der zu beschichtenden Fläche von Interesse. In anderen industriellen Anwendungen ist die Vermeidung der Wandbeaufschlagung wichtig. Beide Größen lassen sich aus der Volumenstromdichteverteilung ableiten.

ANMERKUNG In der Praxis benötigte Messgrößen für beispielsweise tropfenbeladene Rohrströmungen sind Tropfengröße, Strahlwinkel, Volumenstrom und Wandbeaufschlagung.

5.2 Definition der Messrasterebenen

5.2.1 Allgemeines

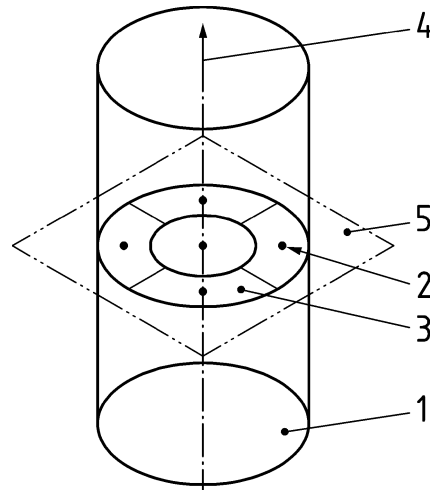
Nach DIN SPEC 91325 sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- a) Ein Spray wird in einer oder mehreren Ebenen charakterisiert, in denen die Messpunkte liegen.
- b) Die Messrasterebenen sollten senkrecht zur Symmetrie- oder Hauptachse des Zerstäubers liegen.
- c) Die Messrasterebenen werden durch Ihren Abstand zur Austrittsöffnung des Zerstäubers beschrieben und müssen in einem definierten Koordinatensystem angegeben werden.
- d) Der minimale Messabstand ist anhand der Zerfallslänge der Flüssigkeit beim Austritt aus dem Zerstäuber zu bestimmen.

5.2.2 Definition der Messfläche

Der Umriss der Messfläche wird dadurch definiert, dass ein für die Anwendung ausreichender Prozentsatz des Volumenstromes erfasst wird. Dieser kann beispielsweise durch vorhergehende Messungen iterativ bestimmt werden.

BEISPIEL Bei der Messung der Volumenstromdichteverteilung einer Rohrströmung an nur einem Messpunkt ist die Messfläche beispielsweise kreisförmig und durch den Rohrdurchmesser ausreichend beschrieben. Bei Messungen mit mehreren gleichmäßig verteilten Messpunkten könnte die Aufteilung der Messfläche wie in Bild 1 aussehen.



Legende

- 1 Kontur der tropfenbeladenen Rohrströmung
- 2 Messpunkt P_m
- 3 Messfläche A_m
- 4 Hauptströmungsrichtung
- 5 Messebene (senkrecht zur Hauptströmungsrichtung 4)

Bild 1 — Aufteilung der Messfläche in einer tropfenbeladenen Rohrströmung

5.3 Ausrichtung des Messgerätes

Um den Volumenstrom über eine Referenzfläche (in Betrag und Richtung), in Abhängigkeit der Tropfengröße auf einer beliebig orientierten Fläche erfassen zu können, muss die Messtechnik alle drei Geschwindigkeitskomponenten eines Partikels erfassen können.

Bei Strömungsfeldern ohne dominierende Hauptrichtung, müssen ebenfalls alle drei Geschwindigkeitskomponenten erfasst werden.

DIN SPEC 91325 legt bereits fest, dass mindestens die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu der definierten Messebene erfasst werden muss, um Flussdichten durch die Messebene zu bestimmen.

Ist die Hauptströmungsrichtung nicht bekannt, müssen vorhergehende Messungen zur Ermittlung der Hauptströmungsrichtung und zur Ausrichtung des Messgerätes vorgenommen werden. Außerdem wird durch die Vormessungen die Mindestanzahl der Geschwindigkeitsmessungen bestimmt.

Sollte eine Hauptströmungsrichtung ohne erhebliche Richtungsschwankungen gegeben sein und wird außerdem als Referenzfläche eine Fläche senkrecht zur Hauptströmungsrichtung gewählt, so genügt ein Messverfahren, dass nur eine Geschwindigkeitskomponente erfasst.

Grundvoraussetzungen für die Messung beschreibt DIN SPEC 91325.

5.4 Angabe der Messunsicherheit

5.4.1 Allgemeines

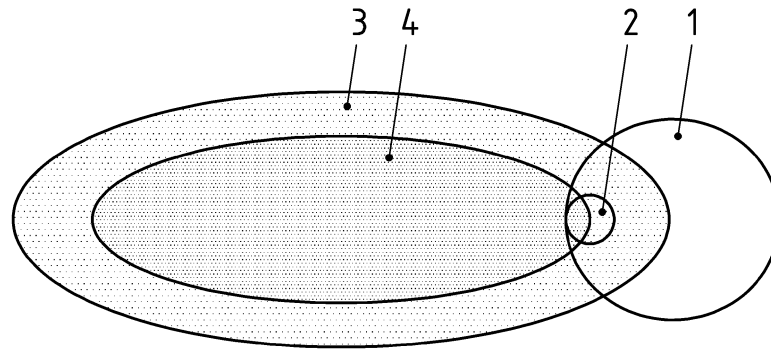
Nach DIN SPEC 91325 muss die Messunsicherheit angegeben werden.

BEISPIEL Die Messunsicherheit der Mittelwerte kann in Übereinstimmung mit DIN 1319 angegeben werden.

5.4.2 Messfehler speziell bei der Erfassung von Tropfen

Um mit den hier betrachteten Techniken Informationen über die Tropfen zu erhalten, wird in der Regel davon ausgegangen, dass es sich um sphärische Tropfen handelt. Die mit dieser Annahme einhergehenden Messfehler sind abhängig von der eingesetzten Messtechnik und werden hier nicht weiter betrachtet.

Die Detektionsfläche bei optischen Technologien ist in der Regel teilchengrößenabhängig. Für kleine Tropfen ist die Detektionsfläche kleiner als für große (siehe Bild 2). Deshalb werden häufiger große Tropfen gezählt. Es muss eine Korrektur der Detektionsfläche für jede Tropfengröße erfolgen.

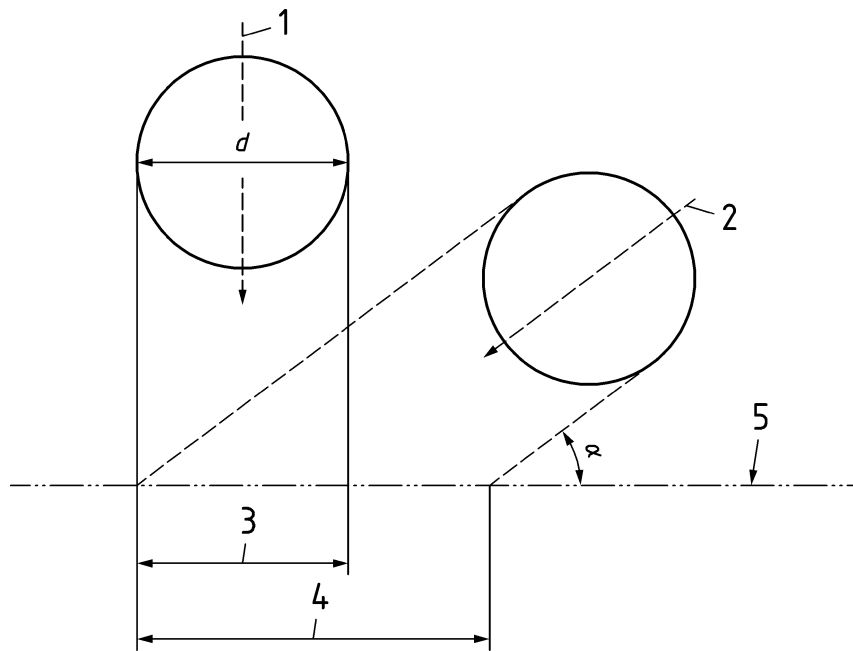


Legende

- 1 Tropfen 1
- 2 Tropfen 2
- 3 Effektive Detektionsfläche von Tropfen 1
- 4 Effektive Detektionsfläche von Tropfen 2

Bild 2 — Tropfengrößenabhängige Detektionsfläche

Da jedes Teilchen, das auf eine Detektionsebene trifft, eine eigene, von seiner Richtung abhängige Detektionsfläche hat, ist es nötig Geschwindigkeit und Richtung des Teilchens zu erfassen. Dies hat zur Folge, dass Teilchen verschiedener Flugrichtungen verschiedene Detektionsvolumen haben, siehe Bild 3. Bei den hier geforderten Zählverfahren führt das zu einer veränderten Häufigkeitsverteilung. Die Messergebnisse müssen um diesen Effekt korrigiert werden.



Legende

- 1 Tropfen A und seine Trajektorie (senkrecht)
- 2 Tropfen B und seine Trajektorie (schräg)
- 3 Detektionsfläche Tropfen A
- 4 Detektionsfläche Tropfen B (mit Länge x)
- 5 Detektionsebene von der Seite

Bild 3 — Richtungsabhängige Detektionsfläche

Bild 3 illustriert, dass die Detektionsfläche von Tropfen A deutlich kleiner ist als die Detektionsfläche von Tropfen B. Damit reduziert sich die Häufigkeit mit der Tropfen B detektiert wird.

Sowohl Geschwindigkeit als auch Richtung müssen für jeden Tropfen bekannt sein um den richtungsabhängigen Detektionsfehler korrigieren zu können. Die Ausprägung dieses Fehlers hängt stark vom Messgerät und dessen Messvolumen ab und muss individuell bestimmt werden.

BEISPIEL Der Fehler in der Tropfengrößen-Häufigkeitsverteilung kann durch den Faktor K korrigiert werden.

$$K = \frac{d}{x}$$

Dabei ist d der Tropfendurchmesser und x die Länge der Detektionsfläche eines Tropfens in der Detektionsebene. x berechnet sich nach

$$x = \frac{d}{\sin(\alpha)}$$

Wobei α der Einfallswinkel des Tropfens auf der Detektionsebene ist. Werden zwei parallele Detektionsebenen genutzt, wie Beispielsweise bei manchen Time-Shift- oder Laser-2-Focus-Verfahren, ist α begrenzt auf

$$0^\circ \leq \alpha \leq \tan^{-1}\left(\frac{h}{b}\right)$$

Der Abstand zwischen den zwei Detektionsebenen wird dabei durch h beschrieben und die Breite der Lichtschnitte durch b .