

ICS 17.060; 17.080; 55.130

**Charakterisierung von Sprays und Sprühprozessen durch die Messung der Größe und der Geschwindigkeit nicht-transparenter Tropfen;
Text Deutsch und Englisch**

Characterization of sprays and spraying processes by measuring the size and velocity of non-transparent droplets;
Text in German and English

Caractérisation des sprays et pulvérisations par la mesure de la taille et de la vitesse des gouttes non-transparentes;
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 28 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	6
5 Durchführung der Messung.....	6
5.1 Definition der Messrasterebenen	6
5.1.1 Orientierung der Messrasterebenen	6
5.1.2 Lage der Messrasterebenen	6
5.1.3 Minimaler Abstand der Messrasterebenen zum Zerstäuber	7
5.1.4 Anordnung / Empfehlung zum Messraster	7
5.2 Ausrichtung des Messgerätes.....	8
5.2.1 Betriebsparameter des Zerstäubers	8
5.2.2 Umgebungsbedingungen	8
5.2.3 Ablauf der Messung.....	8
5.2.4 Angabe der Messunsicherheit.....	8
5.2.5 Bereitstellung der Rohdaten.....	8
5.3 Überprüfung des Messgerätes	8
6 Datenauswertung.....	9
6.1 Berechnung von mittleren Tropfengrößen	9
6.2 Berechnung von charakteristischen Tropfengrößen.....	9
6.3 Berechnung der Verteilungsbreite.....	9
6.4 Grafische Darstellung von Tropfengrößenverteilungen.....	9
6.5 Berechnung von Massenflusssichten	9
6.6 Berechnung von globalen Größen.....	9
6.6.1 Globale Tropfengrößenverteilungen.....	9
6.6.2 Globale mittlere Tropfengrößen	10
6.6.3 Globale charakteristische Tropfengrößen	10
6.7 Volumenverteilung und Flusssichteverteilung	11
6.7.1 Allgemeines	11
6.7.2 Umrechnung einer Flusssichteverteilung in eine Volumenverteilung.....	11
6.7.3 Umrechnung einer Volumenverteilung in eine Flusssichteverteilung.....	11
7 Messprotokoll.....	12
7.1 Einheiten	12
7.1.1 Tropfengrößen	12
7.1.2 Lage der Messebenen und Messpositionen	12
7.2 Inhalt	12
Anhang A (informativ) Beispiele für Lage und Orientierung der Messrasterebenen bei verschiedenen Zerstäubertypen	13
Literaturhinweise	14

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 ging aus dem Projekt „Charakterisierung von nicht-transparenten Tröpfchen und Partikeln in Sprays und Strömungen“ im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (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
Dr. Lars Opfer, Dr. Meiko Hecker
- Technische Universität Darmstadt / Fachgebiet SLA
Prof. Dr. Cameron Tropea
- Fraunhofer IPA
Dr. Oliver Tiedje
- LacTec GmbH
Dr. Felix Brinckmann
- BASF Coatings GmbH
Kai Schäfer

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. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Einleitung

In vielen industriellen Sprühprozessen sind die Eigenschaften des Sprays entscheidend für die Qualität des Endergebnisses. Hierbei spielen neben anderen Parametern insbesondere die Tropfengrößen und Tropfengeschwindigkeiten eine sehr wichtige Rolle.

So ist es beispielsweise bei der Sprühlackierung und der Sprühtrocknung entscheidend, dass Ausreißer aus den mittleren Tropfengrößenverteilungen und Geschwindigkeitsverteilungen frühzeitig detektiert und im Anschluss vermieden werden. Ansonsten sind ungeeignete Sprühergebnisse oder Qualitätsverluste bis hin zum Ausschuss von Produkten die Folge.

Außerdem ergibt die Fähigkeit gleichzeitig Tropfengröße und -geschwindigkeit zu messen Aufschluss über Flusssichten im Spray, insbesondere über die Massenflusssichte, die für viele Anwendungen, z. B. Beschichtung, einen maßgeblichen Prozessparameter darstellt.

Gängige Messverfahren zur Spraycharakterisierung sind nicht oder nur sehr eingeschränkt in der Lage die in dem Anwendungsbereich geforderten Eigenschaften zu erfüllen. Daher sind diese nicht geeignet um den gestiegenen Anforderungen an die industrielle Prozessüberwachung gerecht zu werden.

In der Summe bringt die Anwendung der Spezifikation erhebliches Potenzial zur Prozessoptimierung und Qualitätssicherung für die Industrie.

1 Anwendungsbereich

Die DIN SPEC legt ein Verfahren zur Charakterisierung von technischen Sprays bzw. den Tropfen oder benetzten Partikeln aus denen sich das Spray zusammensetzt fest. Hierfür sind Leitlinien zur Messung der Größe nahezu sphärischer Tropfen definiert worden, für welche die Größe alleine durch den Durchmesser bestimmt wird. Diese DIN SPEC beinhaltet Anforderungen an die räumliche Auflösung des Verfahrens. Weiterhin sind Richtlinien für die Erfassung der Tropfengeschwindigkeiten und der damit verbundenen Massenstromdichte des Sprays vorgegeben. Darüber hinaus werden Empfehlungen für die zulässige Messunsicherheit des Verfahrens geliefert.

Die DIN SPEC gilt für Anwendungen mit Tropfendurchmessern zwischen ca. 1 µm und 1 mm. Zudem wird spezifiziert, welche Eigenschaften ein optisches Verfahren aufweisen muss, um sowohl transparente Tropfen, als auch Tropfen, für die ein messbarer Anteil des einfallenden Lichts absorbiert wird zu detektieren.

Es sind Richtlinien für die Erfassung von Tropfen definiert worden, deren Durchmesser oder Geschwindigkeit stark von den mittleren oder charakteristischen Werten des gesamten Sprays abweichen, sogenannte „Ausreißer“.

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*

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

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 die folgenden Begriffe.

3.1

Zerfallslänge

Abstand von der Austrittsöffnung des Zerstäubers, in dem der Flüssigkeitszerfall vollständig abgeschlossen ist und die entstandenen Tropfen eine nahezu sphärische Form angenommen haben

3.2

Detektionsvolumen

Volumen, innerhalb dessen ein Partikel vom Messgerät registriert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Größe des Detektionsvolumens ist i. A. eine Funktion des Partikeldurchmessers sowie weiterer Einstellparameter des Messgerätes.

3.3

Messrasterebene

Ebene innerhalb des Sprays, in der die einzelnen Messpositionen liegen

3.4

lokale Größe

physikalische Größe, die an einer einzelnen Messposition ermittelt wird

3.5

globale Größe

physikalische Größe, die aus einer gewichteten Mittelung über mehrere Messpositionen ermittelt wird

4 Anforderungen

Die eingesetzte Messtechnik muss nicht-invasiv arbeiten.

Das Verfahren sollte direkt während des Betriebs der Sprühprozesse anwendbar sein. Nach aktuellem Stand der Technik wird diese Anforderung nur von optischen Messtechniken erfüllt.

Für das hier beschriebene Verfahren gilt ein Tropfen als nicht-transparent, wenn Messtechniken, die auf der Lichtbrechung an der Grenzfläche zwischen Luft und Flüssigkeit beruhen, nicht nutzbar sind.

ANMERKUNG Dies trifft vor allem auf Flüssigkeiten mit hohen Absorptionskoeffizienten zu, bei denen die Intensität des durch einen Tropfen transmittierten Lichts sehr stark abgeschwächt wird. Insbesondere die häufig verwendete Phasen-Doppler-Technik kann in diesem Fall in der Regel nicht zum Einsatz kommen.

Die eingesetzte Messtechnik muss auf einem Zählverfahren basieren. Das bedeutet, dass Tropfen, die das Messvolumen passieren, einzeln und unabhängig voneinander erfasst werden. Dabei wird jedem erfassten Tropfen Größe und Geschwindigkeit zugeordnet. Somit ist auch eine Korrelation von Größe und Geschwindigkeit möglich. Nur anhand eines solchen Zählverfahrens lassen sich Ausreißer aus der Tropfengrößenverteilung eindeutig erkennen.

Zusätzlich muss die Messung lokal, d. h. orts aufgelöst, erfolgen. Das Detektionsvolumen muss dementsprechend klein gegenüber räumlichen Änderungen der Sprayeigenschaften sein. Die Charakterisierung eines größeren Bereichs oder des gesamten Sprays wird über die Verschiebung entweder des Detektionsvolumens oder des Zerstäubers erreicht, so dass eine geeignete Positioniereinheit verfügbar sein sollte.

In der Regel weisen optische Zählverfahren eine Abhängigkeit des Detektionsvolumens von der Tropfengröße auf. Für das eingesetzte Messverfahren sollte diese Abhängigkeit bekannt sein, um die ermittelten Tropfengrößenverteilungen und mittleren Tropfengrößen entsprechend zu gewichten.

5 Durchführung der Messung

5.1 Definition der Messrasterebenen

5.1.1 Orientierung der Messrasterebenen

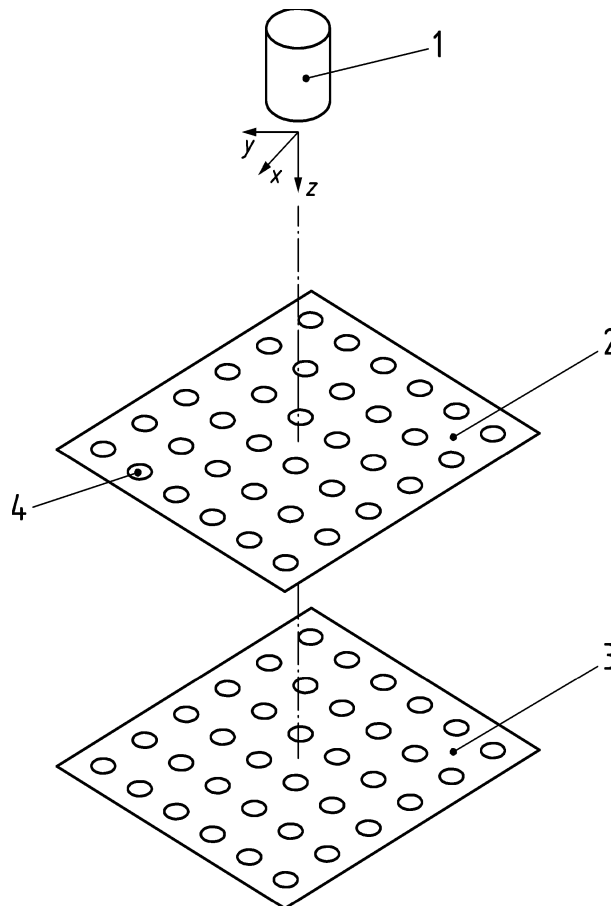
Das Spray wird in einer oder mehreren Ebenen charakterisiert, in denen die Messpositionen liegen. Es wird empfohlen, dass die Ebenen senkrecht zur Symmetrie- oder Hauptachse des Zerstäubers liegen. Zusätzlich wird empfohlen, das verwendete Koordinatensystem auch an dieser Achse auszurichten.

5.1.2 Lage der Messrasterebenen

Eine Messrasterebene wird anhand ihres Abstandes zur Austrittsöffnung des Zerstäubers beschrieben.

ANMERKUNG Diese Austrittsöffnung gilt für druckgetriebene oder pneumatische Zerstäuber. Bei Rotationszerstäubern wird die Glockenkante verwendet.

Die Lage der Messrasterebenen ist innerhalb eines definierten Koordinatensystems anzugeben. Es ist mindestens eine Messrasterebene zu definieren. Bild 1 zeigt beispielhaft die Anordnung zweier Messrasterebenen. In einigen Fällen kann auch eine Messrasterlinie in der Messebene ausreichend sein.



Legende

- 1 Zerstäuber
- 2 Messrasterebene 1
- 3 Messrasterebene 2
- 4 Messposition

Bild 1 — Lage der Messrasterebenen

Empfehlungen zur Anordnung der Messrasterebenen für verschiedene Zerstäubertypen sind in Anhang B zu finden.

5.1.3 Minimaler Abstand der Messrasterebenen zum Zerstäuber

Bei der Definition der Messrasterebenen ist die Zerfallslänge der Flüssigkeit beim Austritt aus dem Zerstäuber zu beachten. Die Abstände der zerstäubernahen Messrasterebenen dürfen die Zerfallslänge nicht unterschreiten, da im Zerstäuber nahen Bereich noch kein vollständig ausgebildetes Spray vorliegt. Insbesondere die Forderung nach sphärischen Tropfen kann hier signifikant verletzt werden. Die Zerfallslänge hängt vom eingesetzten Zerstäuber, den Betriebsparametern und den Eigenschaften der Flüssigkeit ab. Die Zerfallslänge kann mit bildgebenden Methoden ermittelt werden.

5.1.4 Anordnung / Empfehlung zum Messraster

Die Messpositionen, an denen das Spray charakterisiert wird, sind innerhalb mindestens einer Messebene zu platzieren. Es wird empfohlen, die Ausdehnung des Sprays über die räumliche Verteilung der Volumenstromdichte zu beschreiben. Die Grenzen des Sprays können so definiert werden, dass dort ein bestimmter Anteil der maximalen Volumenstromdichte unterschritten wird.

5.2 Ausrichtung des Messgerätes

Bei Erfassung einer oder mehrerer Geschwindigkeitskomponenten wird empfohlen, den Sensor so auszurichten, dass mindestens die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu den definierten Messebenen aufgelöst wird. Auf diese Weise können Flusssichten durch die Messebene bestimmt werden.

5.2.1 Betriebsparameter des Zerstäubers

Vor Beginn der Messung muss die einwandfreie Funktion des Zerstäubers sichergestellt werden. Der Zerstäuber muss frei von Verstopfungen, Verschleiß, Korrosion und anderen Defekten sein. Während der gesamten Dauer der Messung müssen die Betriebsparameter des Zerstäubers konstant gehalten werden.

5.2.2 Umgebungsbedingungen

In den Spritzbereich eingebrachte Objekte sowie Richtung und Geschwindigkeit evtl. vorhandener Kabinenluft sind zu dokumentieren.

5.2.3 Ablauf der Messung

Das Zentrum des Messvolumens ist in sequentieller Reihenfolge auf alle vorher definierten Messpositionen auszurichten. Vor Beginn der Datenakquisition an einer Messposition ist sicherzustellen, dass mechanische Systemschwingungen, die aus der Positionierung des Messvolumens oder des Zerstäubers resultieren, vollständig abgeklungen sind.

5.2.4 Angabe der Messunsicherheit

Die Messgenauigkeit des Messsystems ist anzugeben. Die Messunsicherheit abgeleiteter Größen ist nach den allgemeinen Prinzipien der Statistik anzugeben.

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

5.2.5 Bereitstellung der Rohdaten

Nach Beendigung der Messung müssen jedem erfassten Tropfen mindestens die folgenden Parameter eindeutig zugeordnet werden können:

- Tropfengröße;
- Tropfengeschwindigkeit (mindestens eine Komponente);
- Messebene;
- Messposition.

Bei instationären Prozessen, z. B. bei nicht kontinuierlich betriebenen Zerstäubern, ist zusätzlich die Ankunftszeit der Tropfen, bezogen auf eine Referenzzeit (beispielsweise Beginn der Messung), im Messvolumen zu dokumentieren.

5.3 Überprüfung des Messgerätes

Die Form von flüssigen Tropfen ist nicht konservierbar, was die Kalibration bzw. Überprüfung des Messgerätes mit einem Primärstandard unmöglich macht. In Übereinstimmung mit ASTM E1260-03 bieten sich folgende Sekundärstandards als Ersatz an:

- Monodisperser Tropfengenerator;
- Sphärische Glaspartikel mit bekanntem Durchmesser.

6 Datenauswertung

6.1 Berechnung von mittleren Tropfengrößen

Die Berechnung von mittleren Tropfengrößen erfolgt nach DIN ISO 9276-2. Hierbei muss unter Umständen die messgerätspezifische Gewichtung von Tropfengrößen berücksichtigt werden.

6.2 Berechnung von charakteristischen Tropfengrößen

Charakteristische Tropfengrößen, zu denen beispielsweise der volumenbezogene Median $D_{V0.5}$ gehört, werden in Übereinstimmung mit ASTM E799-03 benannt und berechnet.

6.3 Berechnung der Verteilungsbreite

Die Breite der Tropfengrößenverteilung ist ein Maß für die Polydispersität des Sprays und kann beispielsweise durch die relative Spannbreite b beschrieben werden. Diese wird in Übereinstimmung mit ASTM E799-03 wie folgt berechnet:

$$b = \frac{D_{V0.9} - D_{V0.1}}{D_{V0.5}} .$$

6.4 Grafische Darstellung von Tropfengrößenverteilungen

Die grafische Darstellung von Tropfengrößenverteilungen erfolgt nach DIN ISO 9276-1.

6.5 Berechnung von Massenflussdichten

Aus den gemessenen Volumenstromdichten können Massenstromdichten errechnet werden. Allerdings ist die Dichte eines Tropfens im Allgemeinen nicht bekannt und kann sich aufgrund von Verdampfungsvorgängen ändern. Die Berechnung von Massenstromdichten und Massenströmen sollte sich daher immer auf eine festzulegende Referenzdichte beziehen.

6.6 Berechnung von globalen Größen

6.6.1 Globale Tropfengrößenverteilungen

Die Berechnung von globalen Größenverteilungen erfolgt aus einer gewichteten Mittelwertbildung über alle Messpositionen einer Messebene:

$$\hat{p}_{i,\text{global}} = \sum_j^J w_j A_j p_{ij} ;$$

wobei $\hat{p}_{i,\text{global}}$ die nicht normierten Ordinatenwerte des Histogramms für die jeweiligen Tropfengrößenklassen i sind. Die Auswahl der Wichtungsfaktoren w_j ist abhängig von der Art der eingesetzten Messtechnik sowie der betrachteten Verteilung und kann Bild 2 entnommen werden. Der Index j kennzeichnet die Messposition und läuft von 1 bis zur Anzahl der Messpositionen in der betrachteten Messebene J . A_j sind die zu den betrachteten Messpositionen gehörenden Flächen (siehe Bild 3). Das globale Histogramm sollte wieder normiert werden, so dass die Fläche insgesamt eins oder 100 % ergibt. Hierfür wird der Normierungsfaktor C verwendet:

$$C = \sum_i^M \Delta D_i \hat{p}_{i,\text{global}} ;$$