

SALZSPRÜHNEBELVERTEILUNG IN KORROSIONSPRÜFKAMMERN

Dr.-Ing. Qiaoyan Ye

Salzsprühnebelverteilung in Korrosionsprüfkammern

Qiaoyan Ye

Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik
Fraunhofer IPA, Stuttgart

Workshop

Mit numerischer Simulation Lackierprozesse verbessern

22. November 2012, Fraunhofer IPA, Stuttgart

© Fraunhofer IPA



Inhalt

- Einleitung
 - Problemstellung
 - Ziel der numerischen Simulation
 - Experimentelle Bestimmung der Eckdaten für die numerische Modellierung
 - Visualisierung des Zerstäubungsvorgangs
 - Messung der Partikelgrößenverteilung
 - Spritzstrahlgeometrie sowie Partikelgeschwindigkeit
 - Numerische Methoden
 - Numerische Untersuchungen der Salznebelverteilung in einer Sprühkammer
 - Luftströmungsfeld in der Kammer
 - Berechnung der Tropfenströmung mit Einzelklassen der Tropfen
 - Berechnung des Sprühstahls mit Einzeldüse
 - Tropfenströmung mit 12 Düsen und Ist-Zustand der Düsenanordnung
 - Diskussion: Highlights der Prozessoptimierung
 - Zusammenfassung & Ausblick
-

2

© Fraunhofer IPA



Einleitung

■ Problemstellung

- Eine Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit bei Korrosionstests zur Überprüfung der Beschichtungsqualität ist eine gleichmäßige Verteilung des Salznebels in der Kammer während der Salzsprühphase
- Wichtige Einflussfaktoren auf die Salznebelverteilung:
 - Zerstäubungsfeinheit
 - Luftströmungsfeld
 - Tröpfchenbewegung

■ Ziel der Untersuchungen:

Die relevanten Parameter für verschiedene Düsen werden durch optische Messtechnik und numerische Simulationen untersucht, um die Salznebelverteilung in Kammern vorherzusagen, Anlagen sowie Prozessparameter optimieren zu können

- Auftragsarbeit mit Fa. Daimler 2012 - Korrosionsprüfzentrum

3

© Fraunhofer IPA

Experimentelle Untersuchungen

- Überblick der Zerstäuber, z. B. Schlick, LUC Düse usw.



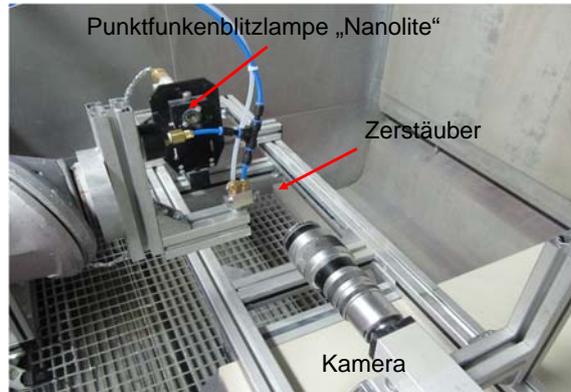
4

© Fraunhofer IPA

Experimentelle Untersuchungen

Charakterisierung des Sprühstrahles

- Visualisierung des Zerstäubungsvorgangs (NanoLite-Messung)



5

© Fraunhofer IPA

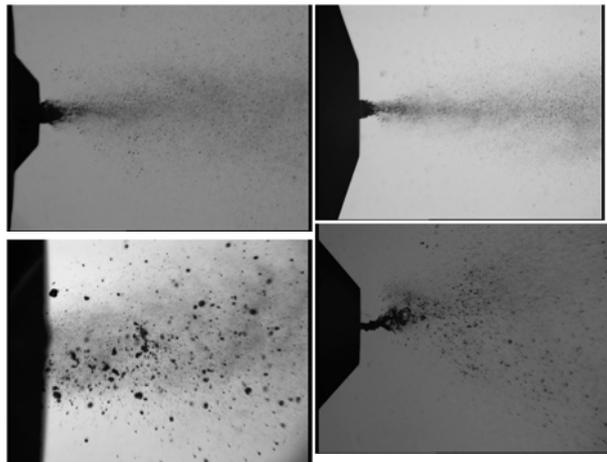
Fraunhofer
IPA

Experimentelle Untersuchungen

➤ Zerstäubungsvisualisierung

Zerstäubungsvorgang hängt ab von

- Zerstäuber-Typ
- Betriebsparameter, nämlich Solemenge sowie Zerstäubungsluft



6

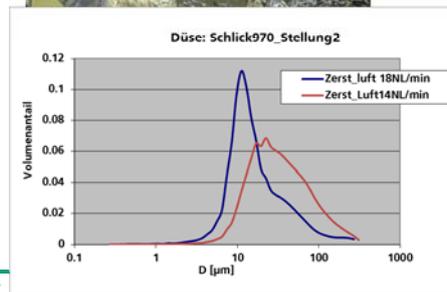
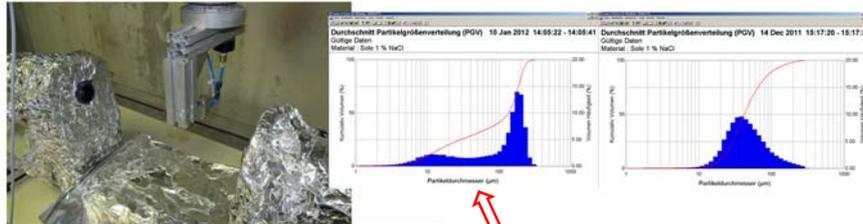
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Experimentelle Untersuchungen

■ Quantitative Bestimmung des Sprühstrahles

➤ Partikelgrößenverteilung (PGV) mit der Laserbeugungsmethode



schlechte Zerstäubung

➤ Einfluss der Zerstäuberluft auf PGV

- $Dv50 = 13 \mu\text{m}$ für 18 NL/min
- $Dv50 = 28.1 \mu\text{m}$ für 14 NL/min

7

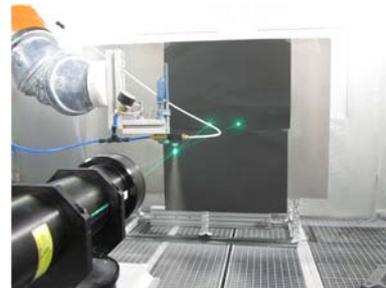
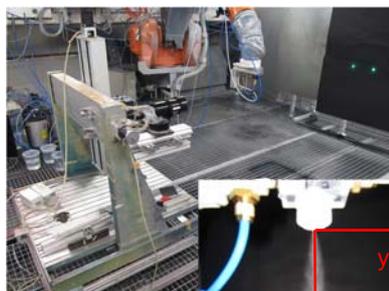
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

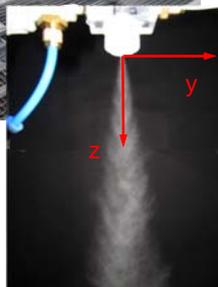
Experimentelle Untersuchungen

■ Quantitative Bestimmung des Sprühstrahles

➤ Tropfengeschwindigkeitsmessung mit LDA



➤ Ermittlung des Sprühstrahlwinkels



➤ Partikelgeschwindigkeiten auf verschiedenen axialen Ebenen ($z = 5, 14.5, 50 \text{ mm}$) wurden gemessen

8

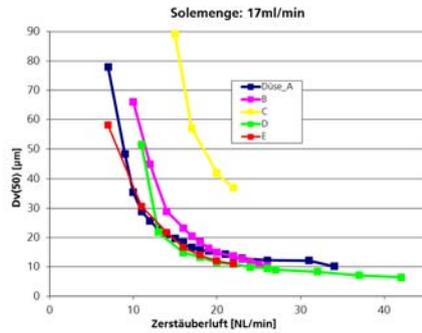
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

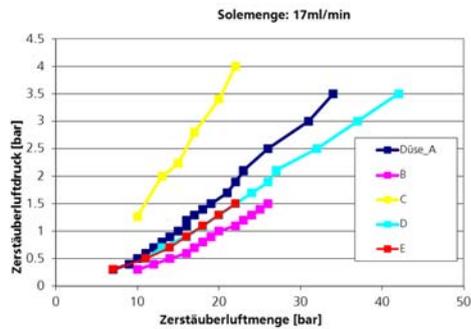
Experimentelle Untersuchungen

■ Quantitative Bestimmung des Sprühstrahles

- Tropfengrößenverteilungen von verschiedenen Düsen



Tropfen-Mitteldurchmesser $Dv(50)$ in Abhängigkeit von der Zerstäuberluftmenge



Zerstäuberluftdruck gegen Luftmenge

9

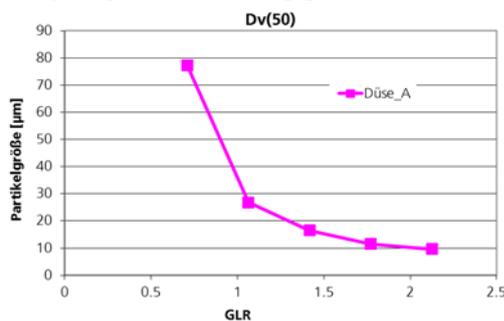
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Experimentelle Untersuchungen

■ Quantitative Bestimmung des Sprühstrahles

- Tropfengröße in Abhängigkeit von den Betriebsparametern



GLR: Verhältnis von Luftmassenstrom zu Solemassenstrom

❖ Fazit

- Salzsprühstrahl sowie Zerstäuberleistung können mit Hilfe der experimentellen Methode charakterisiert werden
- Die experimentellen Ergebnisse liefern wichtige Informationen für die weitergehende Simulation der Salznebelverteilung in Kammern

10

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Numerische Methoden

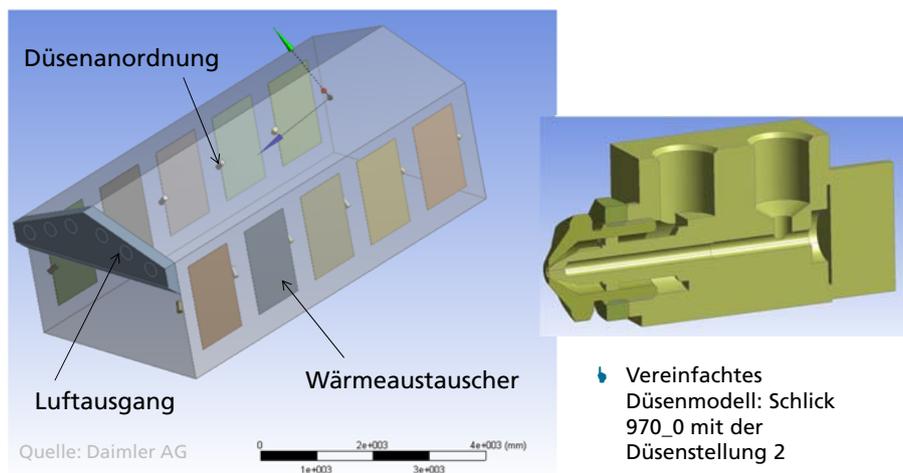
- Strömungssimulation
 - Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie
 - Turbulenzmodell (Realizable $k-\epsilon$) für turbulente Strömungen in der Lackieranlage, einschließlich der vom Zerstäuber erzeugten Freistahlströmung
- Tropfenbahnberechnung (DPM-Modell) in der Kammer
 - *Lagrangian particle tracking*
 - stochastische Flugbahnen
 - Verwendung gemessener Partikelgrößenverteilungen
 - Wechselwirkung zwischen zweiphasigen Strömungen (Gas-Tropfen- sowie Gas-Feststoff-Strömung)
- Quasi-stationärer Zustand in Salzsprühkammern wird betrachtet
 - Stationäre turbulente Strömung
 - konstante Luftfeuchte
 - Tropfenabdunstung wird vernachlässigt

11

© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- CAD- sowie Gittermodell einer Korrosionstestkammer

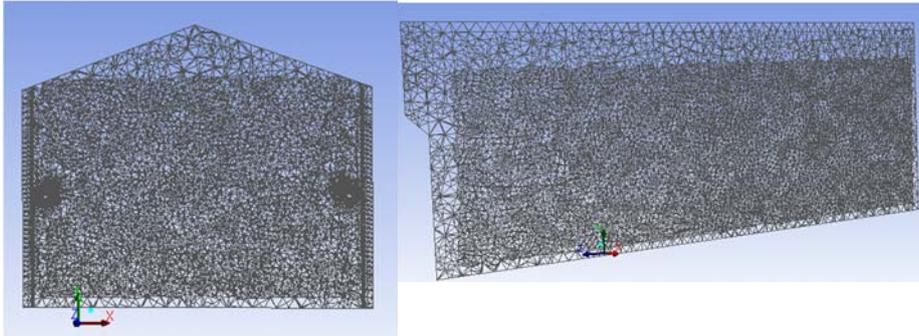


12

© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Gesamtgittermodell im Querschnitt bei $z = 3000$ mm und $x = 0$
 - Anzahl der Gitterelemente: ca. 4.27 Millionen
 - 12 Pistolen befinden sich auf der linken und rechten Seite der Kammer



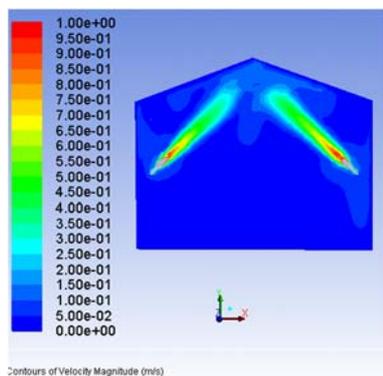
- Simulationsparameter:
 - Düsenluftmenge: 16 NL/min
 - Konstante Temperatur: 25 °C
 - Düsenstellung: 2

13

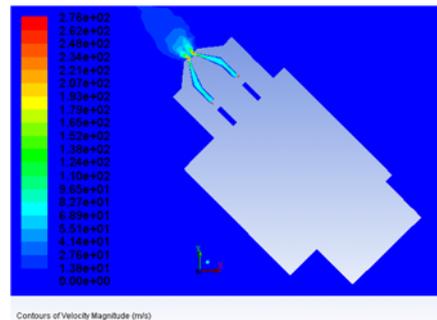
© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Simulationsergebnisse (ohne Sole)
 - Luftgeschwindigkeit (m/s) in der Kammer



- Geschwindigkeitskonturen in der Ebene $z = 3000$ mm im Bereich 0 – 1 m/s sind dargestellt



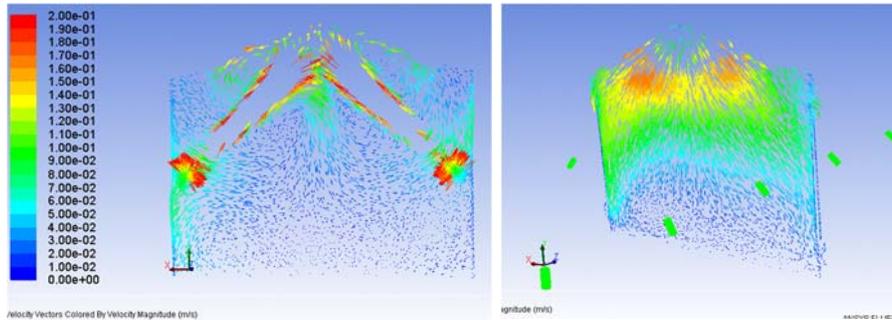
- Geschwindigkeitskonturen im Bereich des Düsenaustrittes, maximale Austrittsgeschwindigkeit: ca. 280 m/s

14

© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Simulationsergebnisse (ohne Sole)
 - Luftgeschwindigkeitsvektoren im Bereich $0 - 0.2 \text{ m/s}$ in der Kammer



↳ Geschwindigkeitsvektoren in der Ebene $z = 3000 \text{ mm}$

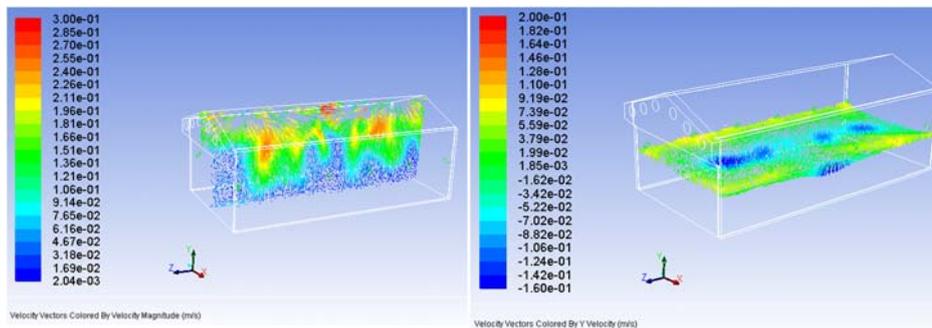
↳ Geschwindigkeitsvektoren in der Ebene $z = 3725 \text{ mm}$ zwischen zwei Düsen

15

© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Simulationsergebnisse (ohne Sole)
 - Luftgeschwindigkeitsvektoren im Bereich $0 - 0.3 \text{ m/s}$ in der Kammer



↳ Geschwindigkeitsvektoren ($0 - 0.3 \text{ m/s}$) in der Ebene $x = 0$

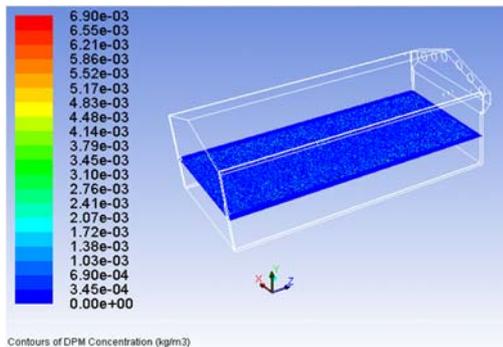
↳ y-Geschwindigkeitskomponente ($0 - 0.2 \text{ m/s}$) in der Ebene $y = 1000 \text{ mm}$, 1 m oberhalb des Bodens

16

© Fraunhofer IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Berechnung der Tropfenströmung in der Kammer für Einzelklassen von Tropfen
 - Randbedingungen für die Partikelphase
 - Partikel-Anfangsposition: $y = 1 \text{ m}$, $-1.6 \text{ m} < x < 1.6 \text{ m}$, $z = 0 - 7.4 \text{ m}$, in diesem Bereich werden Partikel zunächst homogen verteilt
 - Partikel-Anfangsgeschwindigkeit: 0 m/s
 - Einzelklassen der Partikel: $100, 50, 40, 30, 20, 10, 5 \mu\text{m}$ wurden eingesetzt



Partikelkonzentration (kg/m³) in der Injektions-ebene $y = 1000 \text{ mm}$, 1 m oberhalb des Bodens

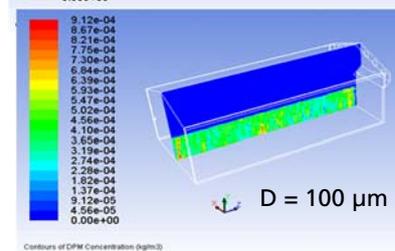
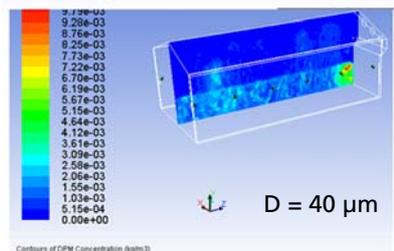
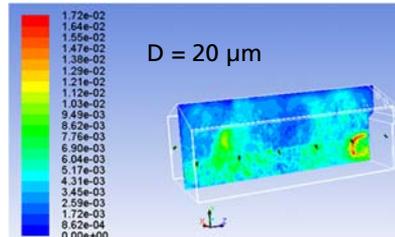
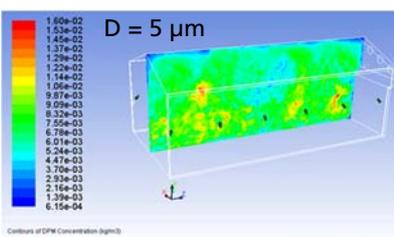
17

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Berechnung der Tropfenströmung in der Kammer für Einzelklassen von Tropfen
 - Partikelkonzentrationsverteilung (kg/m³) in der Ebene $x = 0$



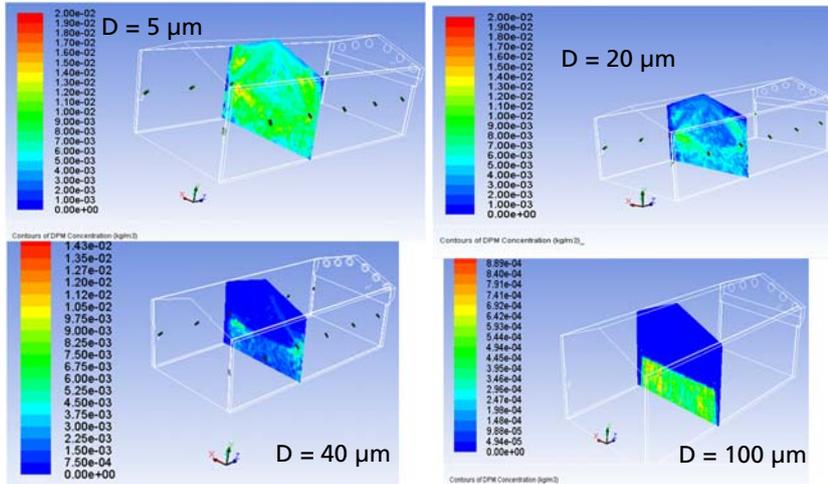
18

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Berechnung der Tropfenströmung in der Kammer für Einzelklassen von Tropfen
 - Partikelkonzentrationsverteilung (kg/m³) in der Ebene z = 3000 mm



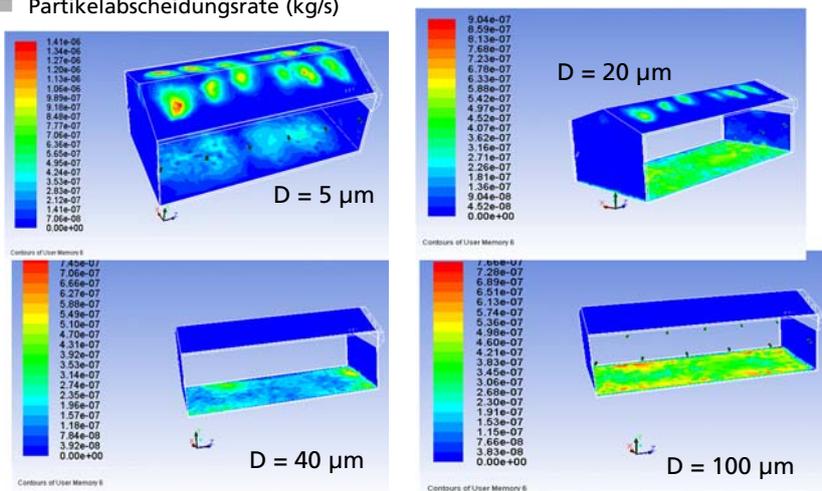
19

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Berechnung der Tropfenströmung in der Kammer für Einzelklassen von Tropfen
 - Partikelabscheidungsrate (kg/s)



20

© Fraunhofer IPA

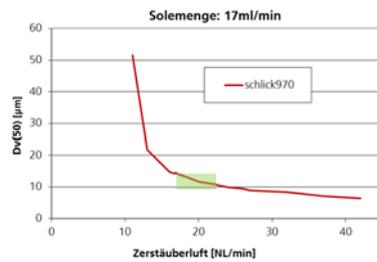
Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

■ Berechnung der Tropfenströmung in der Kammer für Einzelklassen von Tropfen

■ Fazit

- Kleine Tropfen ($< 10 \mu\text{m}$) können der Kabinenströmung folgen, verteilen sich überall in der Kammer und deponieren vor allem auf dem Kammerdach sowie dem Boden in dieser Testphase
- Große Tropfen ($> 40 \mu\text{m}$) folgen schlecht der Kabinenströmung und deponieren hauptsächlich auf dem Boden
- Für Sole-Spritzkammern braucht man sowohl kleine Tropfen als auch eine gewisse Anzahl großer Tropfen
- Tropfengrößenverteilungen mit einem $Dv50$ von ca. $10 - 15 \mu\text{m}$ sollen für weitergehende numerische Untersuchungen eingesetzt werden



- Tropfengröße in Abhängigkeit von der Zerstäuberluft, damit kann optimale Zerstäuberluft ausgewählt werden

21

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

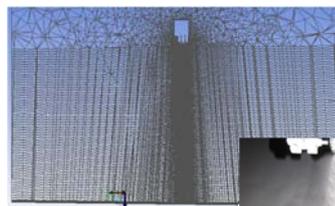
Numerische Simulation der Salznebelverteilung

■ Berechnung des Spritzstrahles mit einzelner Düse

- Ermittlung der Injektionsparameter anhand der experimentellen Ergebnisse

- Gemessene Tropfengrößenverteilung
- Tropfenanfangsgeschwindigkeiten und Spritzwinkel wurden an LDA-Messwerte und Spritzbildinformation angepasst

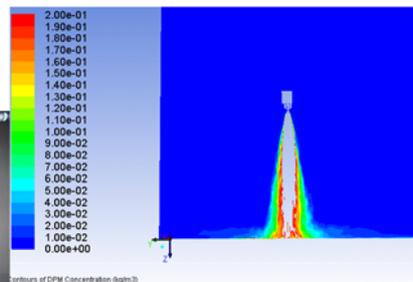
- Simulationsergebnisse:



Gittermodell



- Tropfenkonzentrationsverteilung (kg/m^3)



- Foto vom Spritzwinkel (0.7 bar)

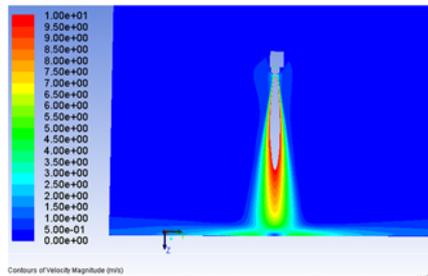
22

© Fraunhofer IPA

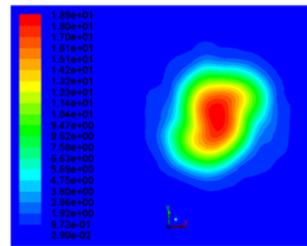
Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

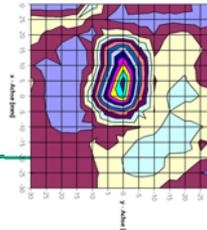
- Berechnung des Spritzstrahles mit einzelner Düse
 - Simulationsergebnisse:
 - Luftströmungsfeld mit Effekt von Tropfenströmung



Geschwindigkeitsfeld bei $x = 0$



Konturen axialer Geschwindigkeit (m/s) bei $z = 50$ mm



Gemessene axiale Geschwindigkeitskonturen bei $z = 50$ mm

23

© Fraunhofer IPA

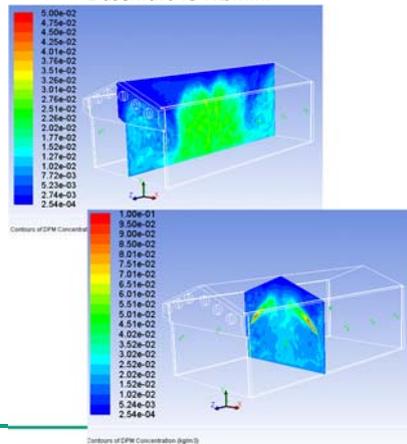
Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

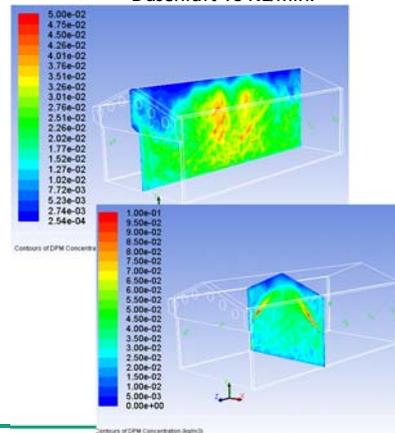
- Tropfenströmung mit 12 Düsen und Ist-Zustand der Düsenanordnung
 - Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen zwei Luftmengen: 13 und 18 NL/min

Tropfenkonzentrationsverteilung (kg/m^3)

Düsenluft 13 NL/min:



Düsenluft 18 NL/min:



24

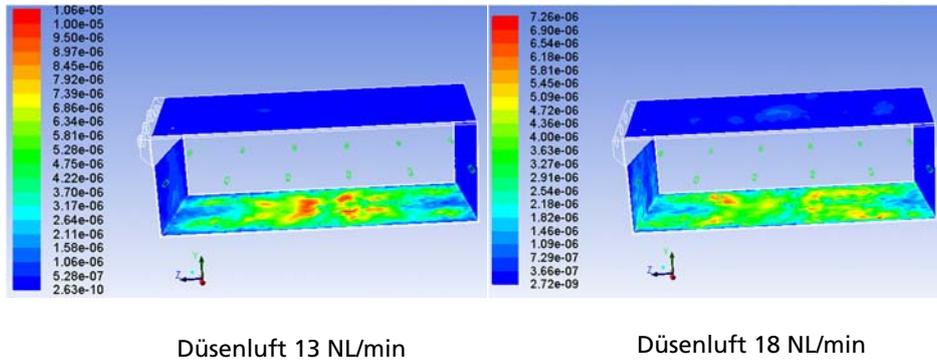
© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Numerische Simulation der Salznebelverteilung

- Tropfenströmung mit 12 Düsen und Ist-Zustand der Düsenanordnung
 - Vergleich der Simulationsergebnisse zwischen zwei Luftmengen: 13 und 18 NL/min

Tropfenabscheidungsrate auf dem Kabinenboden (kg/s)



25

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Diskussion

- Highlights der Prozess- und Anlagenoptimierung
 - Auswahl des Leistungszerstäubers
 - Gewisse feine Zerstäubung
 - Stabiler Zerstäubungsvorgang
 - Möglichst breiter Sprühwinkel
 - Niedrige Zerstäubungsluft und Druckverbrauch
 -
 - Durchführung von numerischen Simulationen in den Salzkammern mit Düsenströmung und Tropfenphase, um die Salznebelverteilung zu bestimmen und den Prozess darüber hinaus optimieren zu können:
 - Düsenanordnung
 - Verwendung von Umluftbetrieb? Wo, wie und wieviel?
 - Betriebsparameter
 -
 - Frühzeitige Durchführung der numerischen Simulationen
 - Problementdeckung
 - Mehrere Freiheiten für die Anlagenoptimierung

26

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Experimentelle sowie numerische Untersuchungen zur Salzsprühnebelverteilung in Korrosionsprüfkammern wurden durchgeführt
- Charakterisierung der von verschiedenen Zerstäubern erzeugten Sprühstrahlen
 - NanoLite-Messung zur Visualisierung des Zerstäubungsvorganges
 - Partikelgrößenverteilung
 - Partikelgeschwindigkeit und Spritzstrahlwinkel
- Numerische Simulation der Salznebelverteilung in einer leeren Sprühkammer
 - Strömungsfeld (m/s)
 - Partikelkonzentrationsverteilung (kg/m³)
 - Partikelabscheidungsrate (kg/s)

Ausblick

- Simulation der Salznebelverteilung mit Prüfbauteilen in der Sprühkammer
- Anlagen- sowie Prozessoptimierung

MIT NUMERISCHER SIMULATION LACKIERPROZESSE VERBESSERN

