

Trockneroptimierungen im Green Carbody-Projekt

Dr. Karlheinz Pulli

Trockneroptimierungen im Green Carbody-Projekt

Karlheinz Pulli

Abteilung Beschichtungssystem- und Lackiertechnik
Fraunhofer IPA, Stuttgart

Workshop

Numerische Simulation von Lackierprozessen

20. März 2014, Fraunhofer IPA, Stuttgart

© Fraunhofer IPA



Inhalt

- Ziele und Nutzen der Simulation

- Durchführung der Simulation
 - Konvektionstrocknung eines Objektes im Kammertrockner

- Anwendung der Simulation
 - Optimierung der Werkstück-Aufhängung
 - Steuerung des Wärmeeintrags durch strömungstechnische Maßnahmen
 - Aufheizung einer kompletten PKW-Karosserie

- Zusammenfassung und Ausblick

Ziele und Nutzen der Simulation

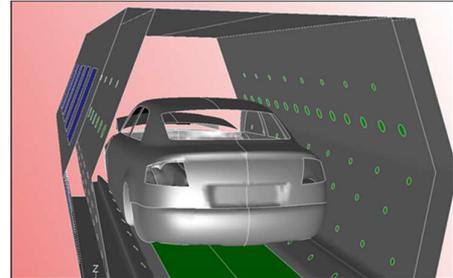
■ Ziele

- Objektangepasste Trocknerauslegung
- Reduzierung des Energieaufwandes
- Verhinderung von Beschichtungsfehlern
- Bestandteil der digitalen Fabrik und somit effektives Werkzeug zur Optimierung von Fertigungsprozessen und Fabrikabläufen (virtuelle Lackieranlage)



■ Nutzen

- Reduzierung der Trocknungszeit
- Energieeinsparung
- Erhöhung des Teiledurchsatzes
- Gleichmäßige Werkstückaufheizung
- Schnelle Anpassung neuer Produkte und Fertigungsanlagen



3

© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**
IPA

Durchführung der Simulation

- Modellierung der Objekte und der Trockner (CAD-Aufbereitung, Vernetzung der Oberflächen und Volumen, Festlegung der Randbedingungen)
- Durchführung der Strömungssimulation und Aufheizsimulation unter Berücksichtigung der Turbulenz, Temperatur und Strahlung
 - Für die Turbulenzmodelle haben sich die *K-Epsilon*- und *K-Omega*-Modelle bewährt
 - Für das Strahlungsmodell wird das *Discrete Ordinate*-Modell (DO-Modell) eingesetzt
 - Aufheizsimulation wird instationär berechnet mit $\Delta t = 0.5 \text{ sec}$
- Für die Aufheizsimulation mit Lack wird zusätzlich ein neu entwickeltes UDF-Trocknungsmodul im Simulationsprogramm eingesetzt (Programmierte Erweiterung für das Simulationsprogramm)
- Je nach Modellgröße auch schnelle Ergebnisse mit Parallelprozessoren möglich

4

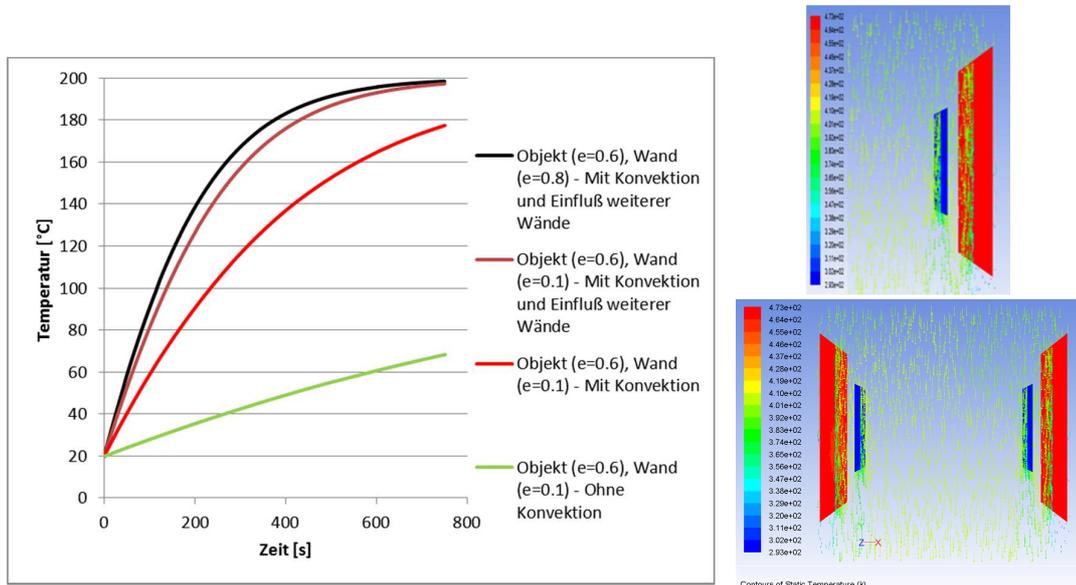
© Fraunhofer IPA

 **Fraunhofer**
IPA

Durchführung der Simulation

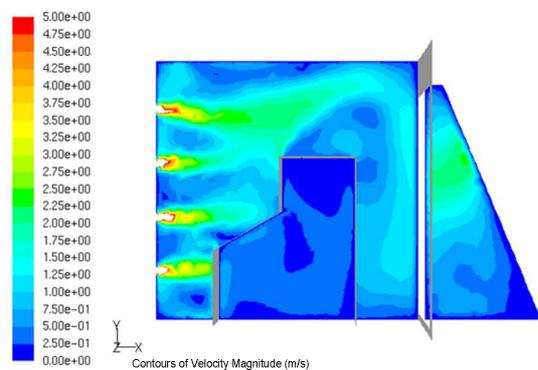
Einfluss der Strahlung

- Berücksichtigt werden die Emissivitäten der Objekte und der Trocknerwände

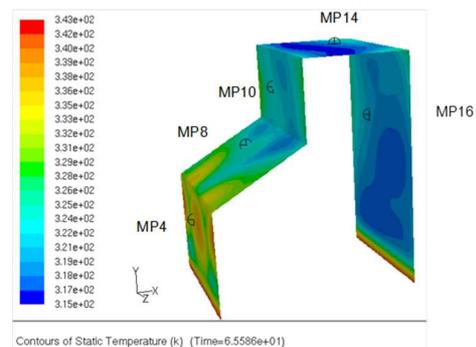
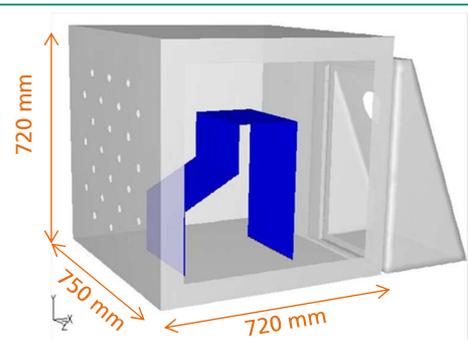


Konvektionstrocknung eines Objektes im Kammertrockner

Simulation der Aufheizung eines stilisierten 3D-Führerhauses



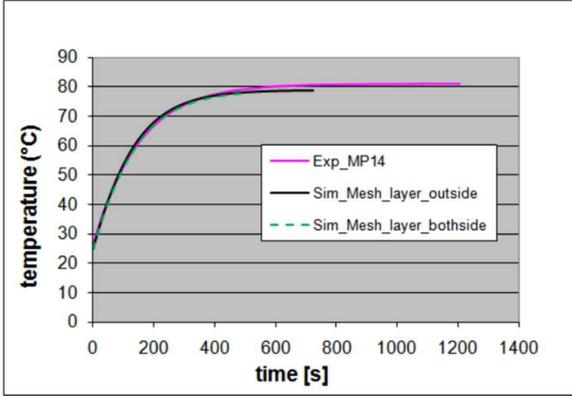
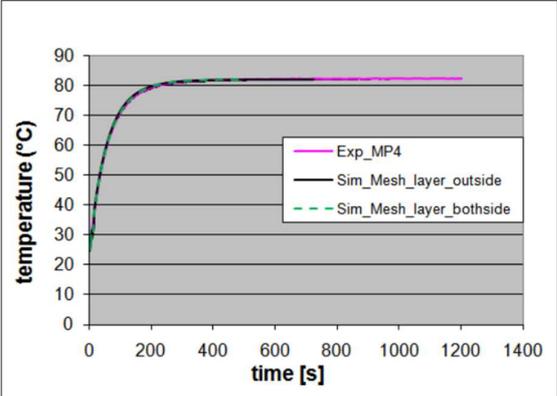
Geschwindigkeitsfeld in der Ebene z=0
(Querschnitt entlang Strömungsrichtung)



Temperaturfeld auf der Werkstückoberfläche

Konvektionstrocknung eines Objektes im Kammertrockner

Simulation der Aufheizung eines stilisierten Führerhauses
Vergleich der Aufheizkurven Simulation-Experiment



Anwendung der Simulation: Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Randbedingungen:

Motorblock im IPA-Trockner (Objekt mit unterschiedlichen Wandstärken)

Ausgangstemperatur: 293 K

Endtemperatur am Hauptgehäuse: 338 K (ca. 65 °C).

Soll-Aufheizzeit: 50 min.

Bedingung: **Anordnung** des **Motorblocks** im Trockner (Positionierung) so wählen, dass mit einem Luftvolumenstrom von 20000 m³/h nach 50 Minuten Aufheizzeit die gewünschte Endtemperatur erreicht wird.

Ausgangsposition: Objekt in Trocknerraummitte angeordnet.

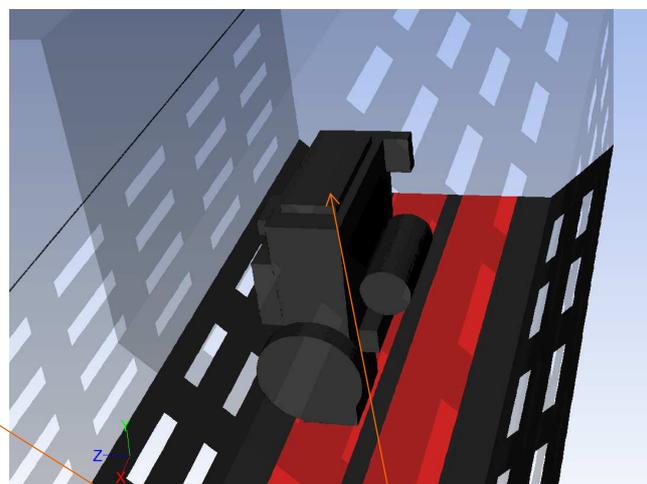
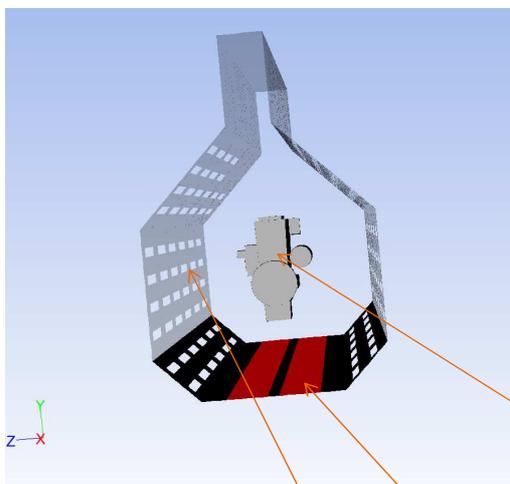
Optimierte Anordnung: Objekt von Ausgangsposition weg verschoben, um Anströmung durch die Düsen zu verstärken, indem möglichst viele Düsen direkt und gleichmäßig auf das Objekt blasen.

9

© Fraunhofer IPA

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Motorblock mittig im IPA-Trockner (Höhe = 4 m, Breite = 2.5 m, Länge = 6 m) ausgerichtet – Ausgangsposition



Abluftkanäle

Steuerbare Düsenkanäle

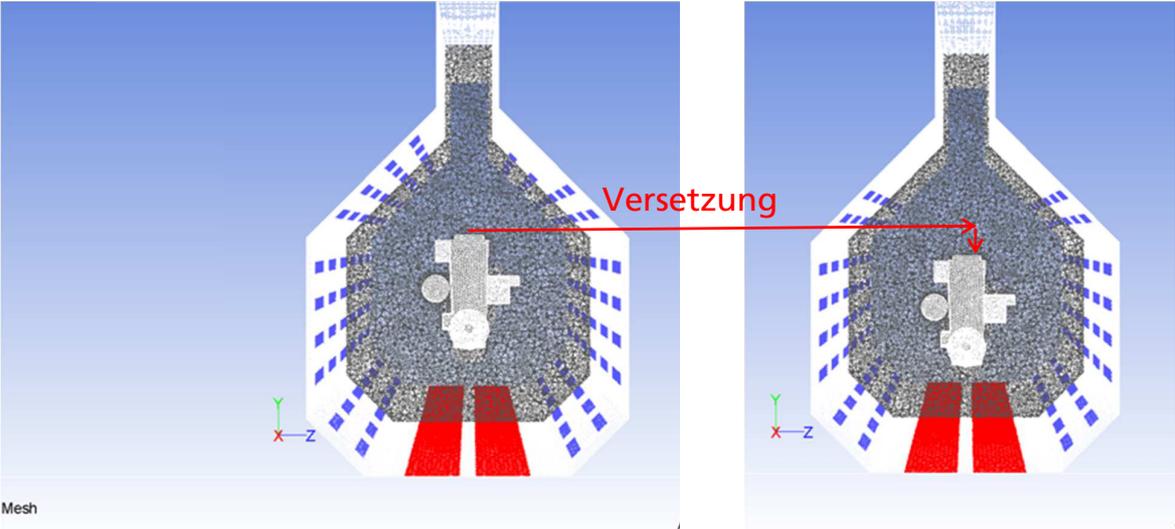
Motorblock-Modell mit
verschiedenen Wandstärken

10

© Fraunhofer IPA

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Vernetzung des Motorblocks und des Trocknungsraumes im IPA-Trockner

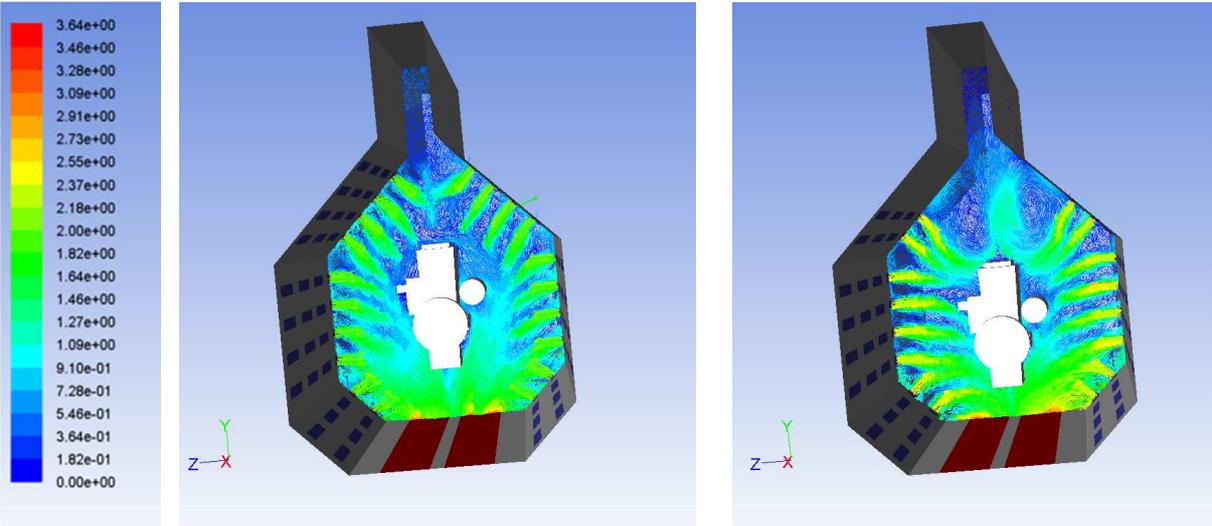


Ausgangsposition

Optimierte Anordnung

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Strömungsvektoren im Trockner (Querschnitt)



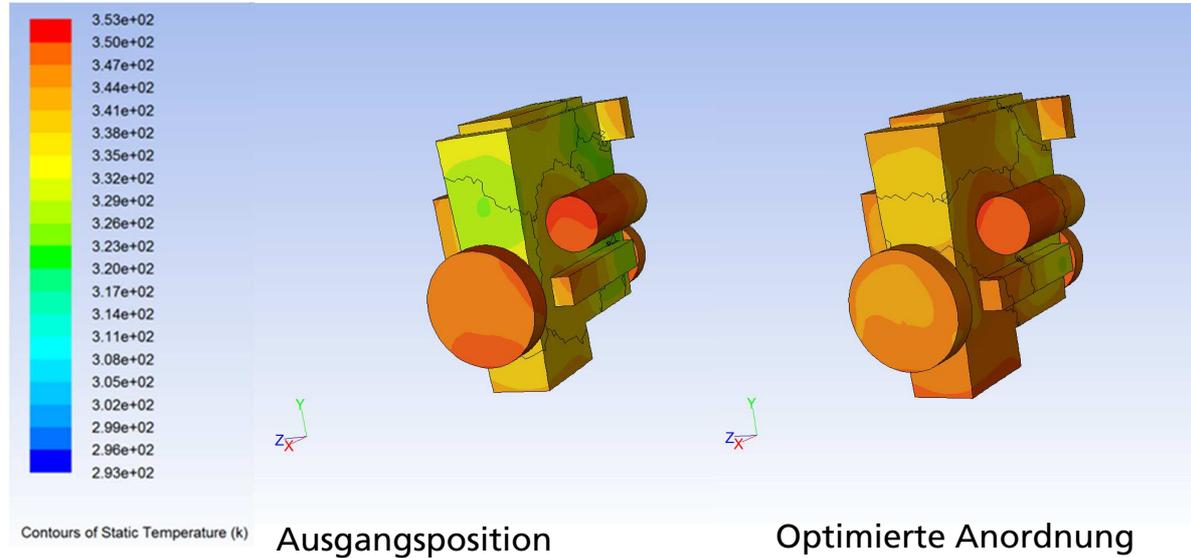
Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s)

Ausgangsposition

Optimierte Anordnung

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Temperaturkonturen (Objektoberfläche),
Anfangstemperatur: 293 K (20 °C), Endtemperatur: 338 K (65 °C),
t = 3000 sec

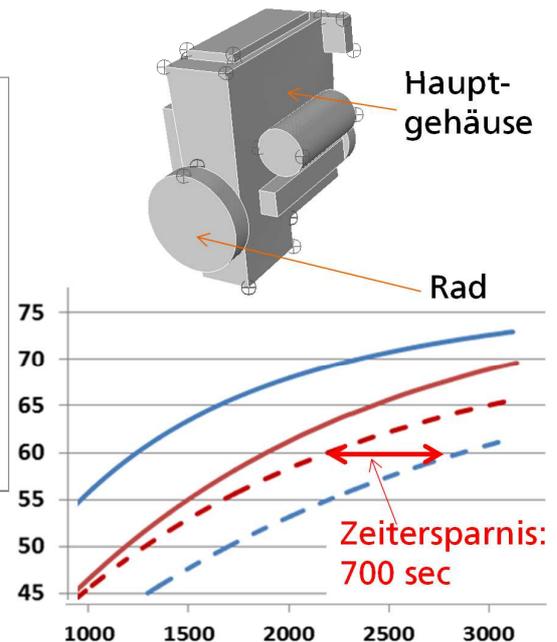
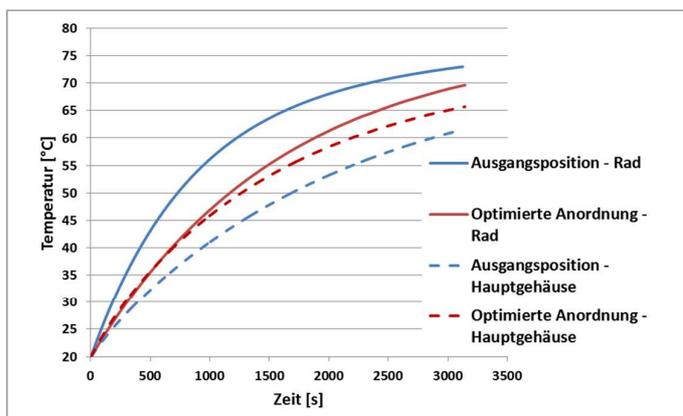


13

© Fraunhofer IPA

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Ergebnisse (Aufheizkurven)



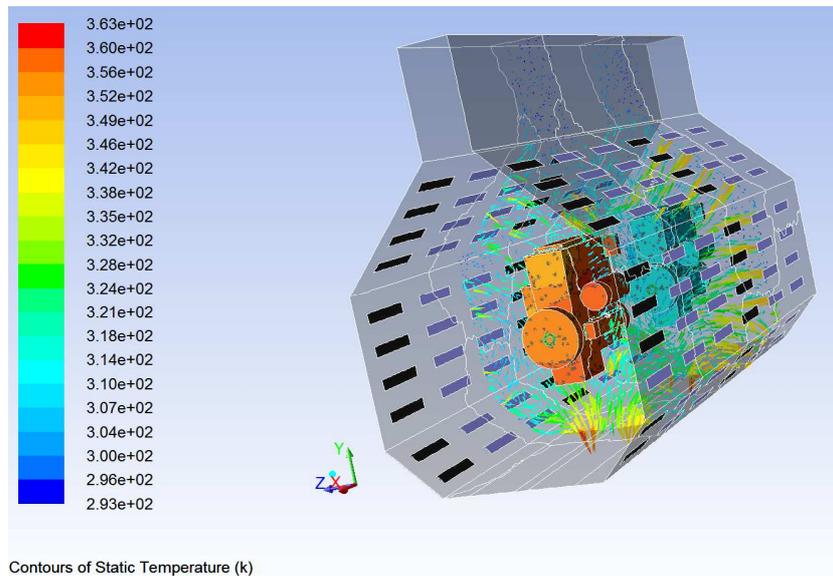
Anfangstemperatur: 293 K (20 °C), Endtemperatur 338 K (65 °C), t = 3000 sec

14

© Fraunhofer IPA

Optimierung der Werkstück-Aufhängung

Option: Zusätzliche Steuerung der Anströmdüsen

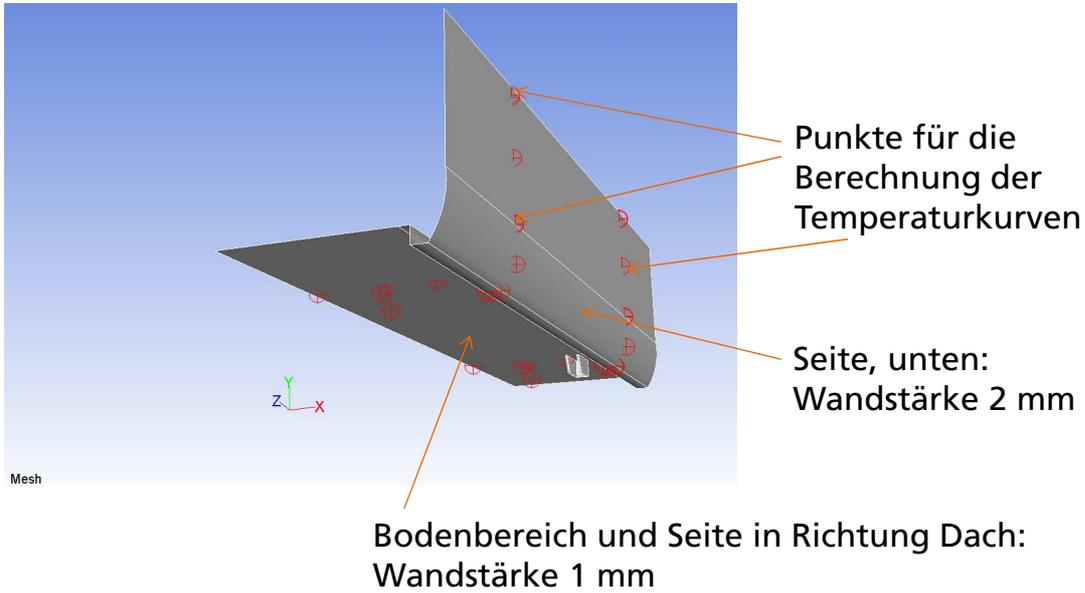


- Weitere Vergleichmäßigung der Aufheizung
- Weitere Reduzierung lokaler Überhitzungen
- Weitere Verkürzung der Trocknungszeit

Anwendung der Simulation: Steuerung des Wärmeeintrags durch strömungstechnische Maßnahmen

Steuerung des Wärmeeintrags

Anwendungsbeispiel: Kritische Karosseriebereiche mit unterschiedlichen Wandstärken (Trocknermodell ausgeblendet)



17

© Fraunhofer IPA

Steuerung des Wärmeeintrags

Aufheizung beim Ausgangszustand (Darstellung der Temperaturkontur an der Objektoberfläche, Trockner ausgeblendet)

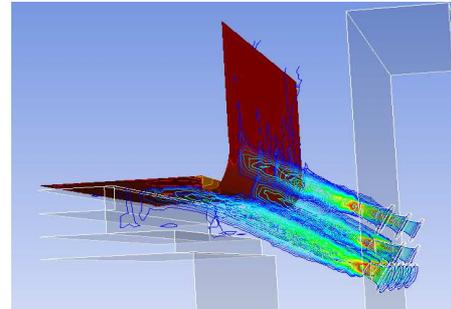
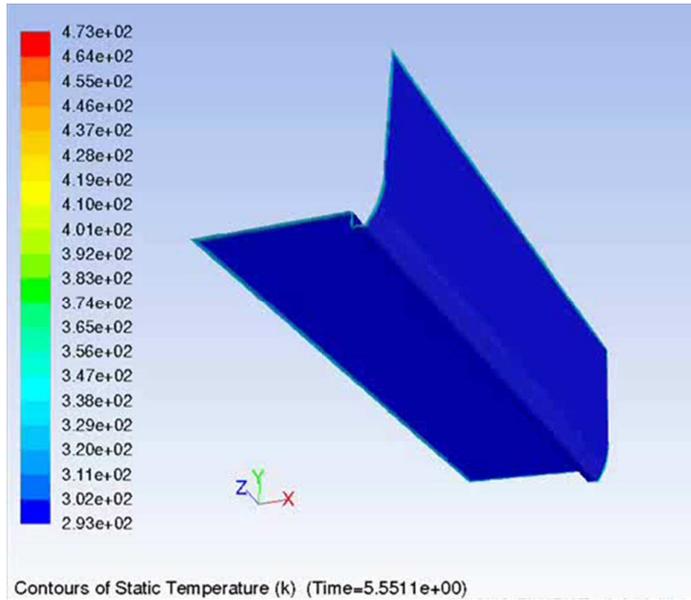


18

© Fraunhofer IPA

Steuerung des Wärmeeintrags

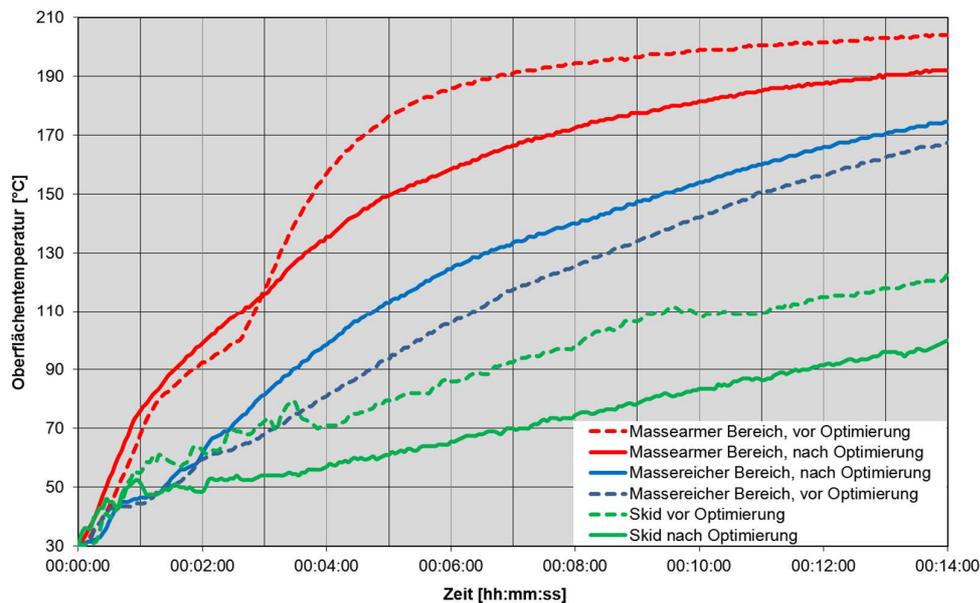
Vergleichmäßigung der Aufheizung durch strömungstechnische Maßnahmen (neue Düsenkonzepte, Maßnahmen zur Reduzierung der Skiderwärmung)



Zustand nach Optimierung

Steuerung des Wärmeeintrags

Ergebnisse der Aufheizkurven aus der Praxis



Quelle:
Daimler AG /
Eisenmann AG

Anwendung der Simulation: Aufheizung einer kompletten PKW-Karosserie

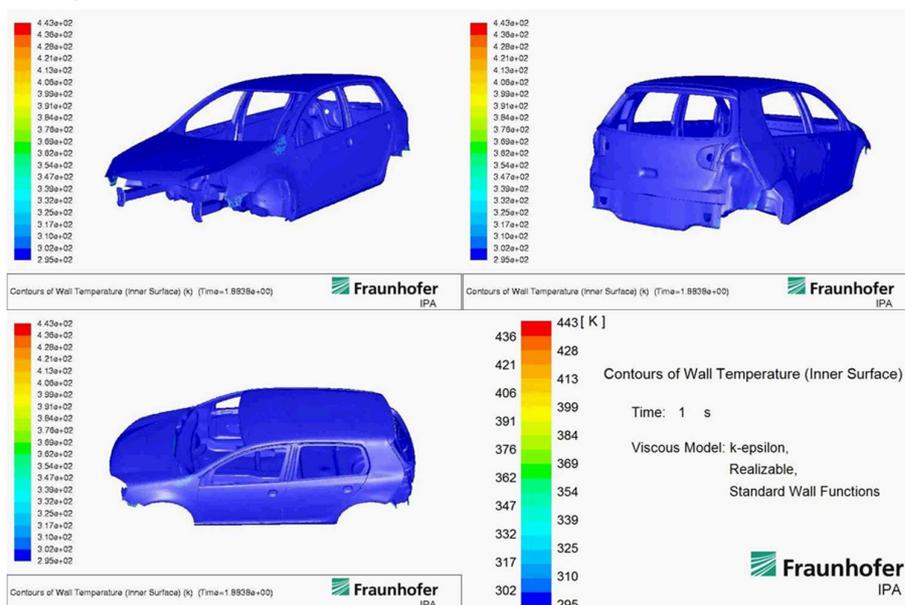
21

© Fraunhofer IPA



Aufheizung einer kompletten PKW-Karosserie

Verschiedene Ansichten der Karosse (Trocknerraum ausgeblendet),
Temperaturkonturen auf Karosse



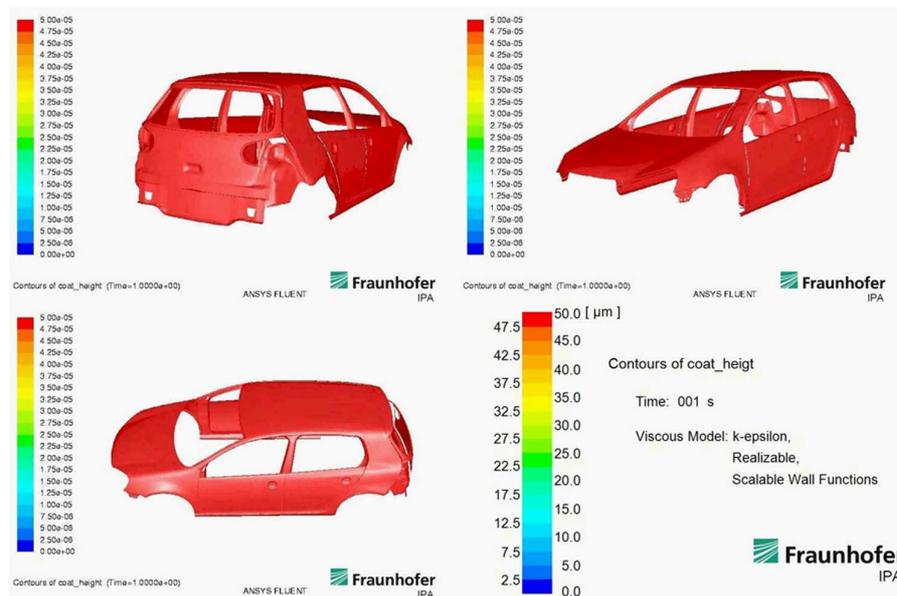
22

© Fraunhofer IPA



Aufheizung einer kompletten PKW-Karosserie

Verschiedene Ansichten der Karosse (Trocknerraum ausgeblendet),
Schichtdickenverlauf auf Karosse



23

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA

Zusammenfassung und Ausblick

- Simulationsprogramm für die Lacktrocknung in Konvektionsöfen ist verfügbar
- Vorhersage des räumlichen und zeitlichen Temperaturverlaufs und der Lösemittelverdampfung auf dem lackierten Objekt
- Anwendung des Simulationsmodells im Teilprojekt „Neue Trocknerkonzepte für energieeffizienten Betrieb“ im Verbundprojekt InnoCaT 5 „Energieeffiziente Lackierung von Karosserien“ (Innovationsallianz „Green Carbody Technologies“ InnoCaT)
 - Wirtschaftlich umsetzbare Maßnahmen zur Energieeinsparung in bestehenden Trockneranlagen („Brownfield“)
 - Energieeffiziente Trocknerkonzepte in Verbindung mit der Planung neuer Lackieranlagen („Greenfield“)
 - Karosserietransport (getaktet, skidlos)
 - Schleusen- und Tunnelgestaltung
 - „Boxenkonzept“

24

© Fraunhofer IPA

Fraunhofer
IPA



**Stuttgarter
Produktionsakademie**

NUMERISCHE SIMULATION VON LACKIERPROZESSEN

LACKIERPROZESSE PLANEN UND VERBESSERN

Seminar SPA 063
20. März 2014
Stuttgart