



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF  
**Agroscope**



**School of  
Engineering**

IEFE Institut für Energiesysteme  
und Fluid-Engineering

# **CADFEM Users' Meeting**

# **Mehrkomponenten Strömungsanalyse**

# **in einem Mastgeflügelstall**

## **Simulation und Validierung**

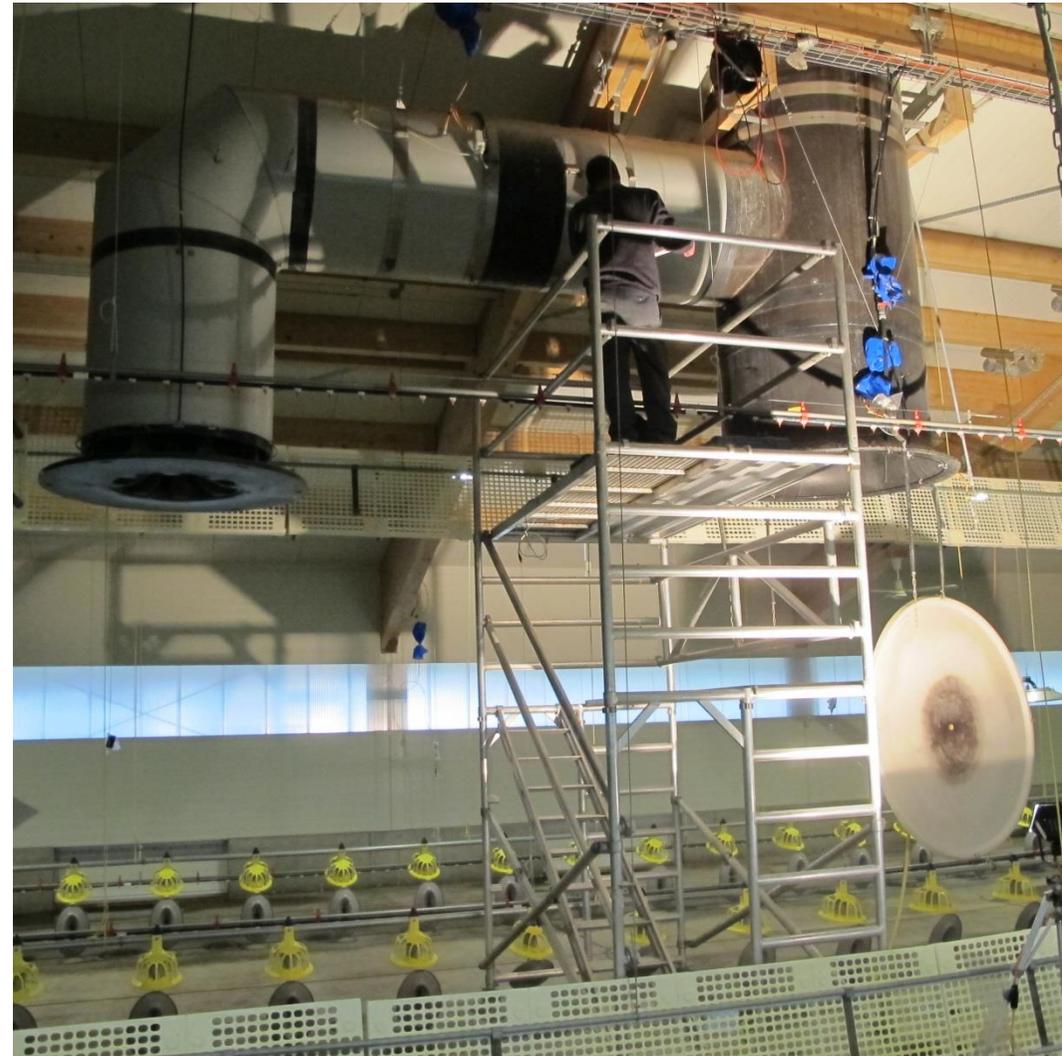
Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering

Prof. Dr. Frank Tillenkamp, Martin Schneider, Martin König, Lorenz Brenner

16. Juni 2016

# Ausgangslage

- Mastgeflügelstall Ottoberg
- Lüftungskonzept mit Wärmerückkopplung

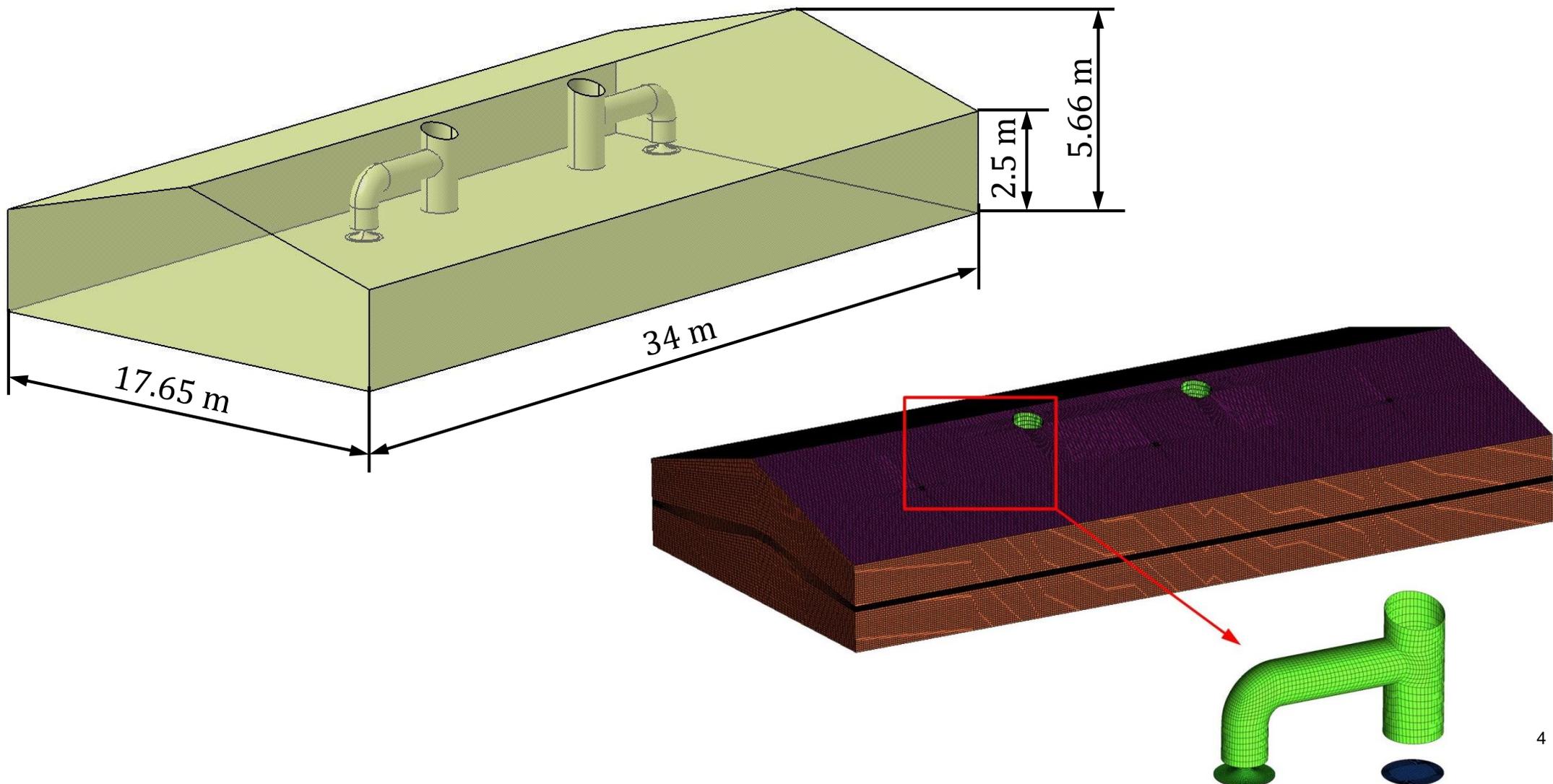


# Ziele & Vorgehen

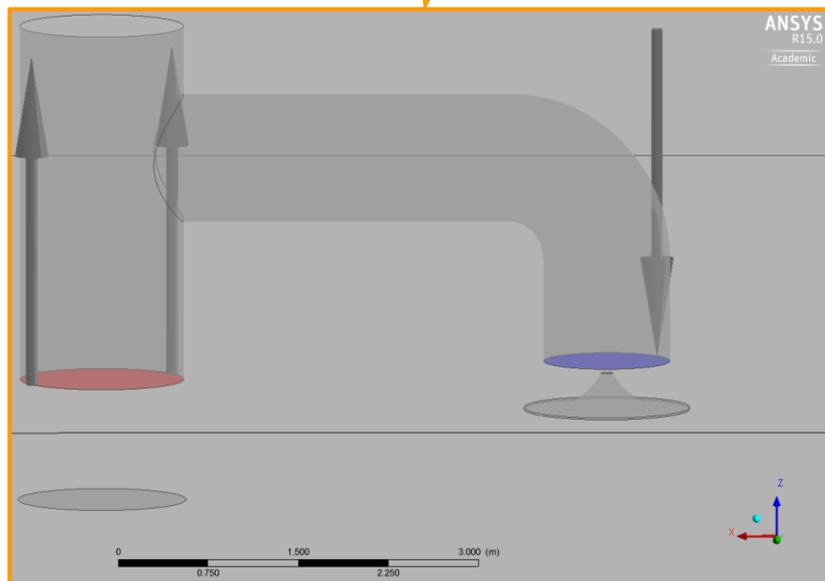
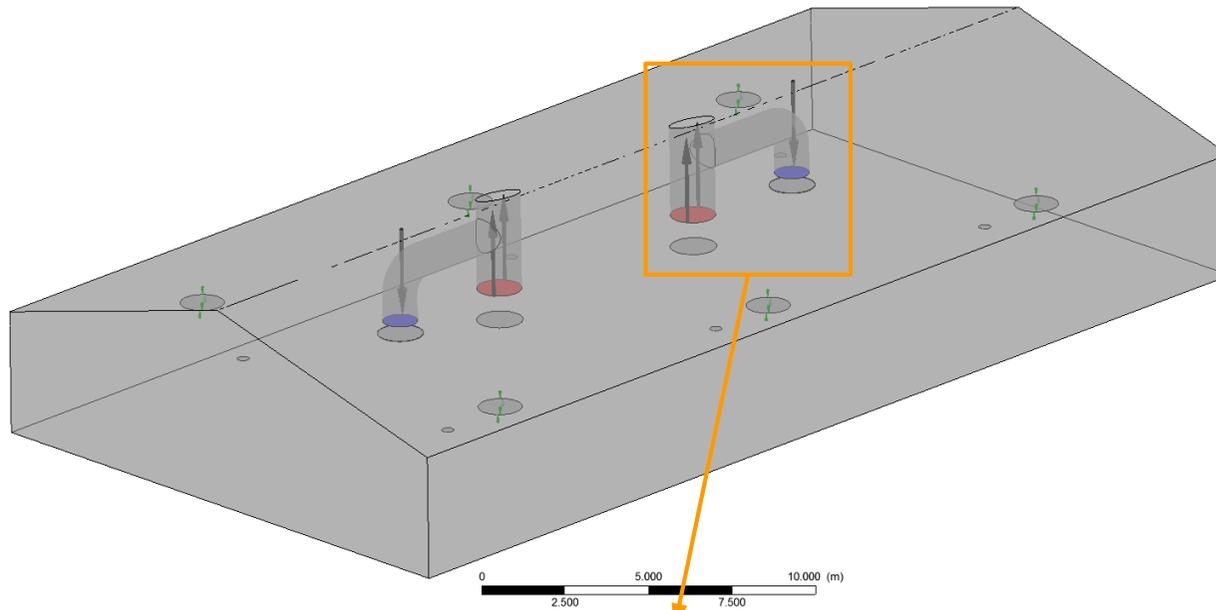
- Ziele
  - Energiebilanz des gesamten Stalles über mehrere Monate
  - Evaluierung der Machbarkeit einer CFD-Simulation und Untersuchung des Strömungsverhaltens im Stall
- Vorgehen CFD
  - Vernetzung der vereinfachten Geometrie
  - Referenzsimulation des leeren Stalles und Validierung
  - Komplettsimulation des Stalles während der Mast und Abgleich mit Messwerten

# Geometrie und Vernetzung

- Vereinfachte Geometrie
- Strukturiertes Hexaeder-Berechnungsnetz (ca. 4 Mio. Elemente)



# Referenzmodell Stall

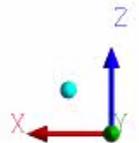
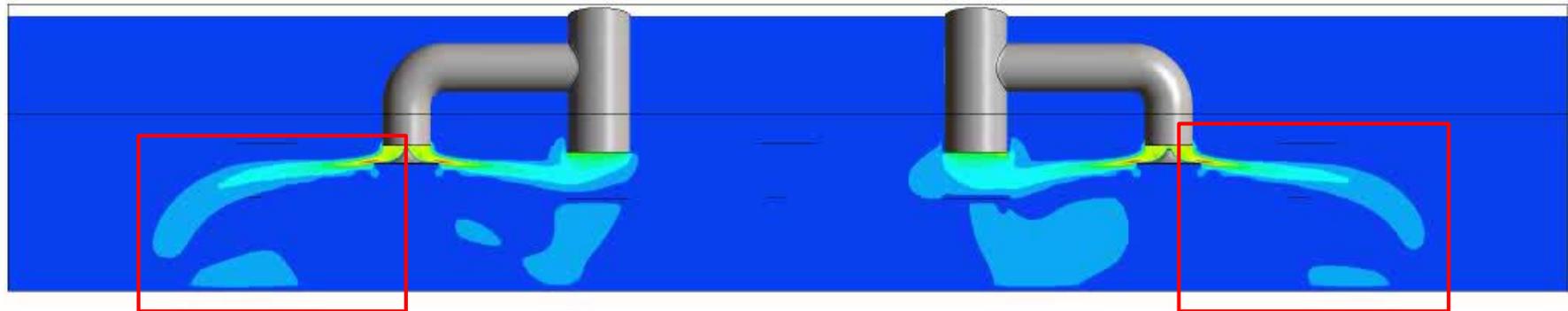
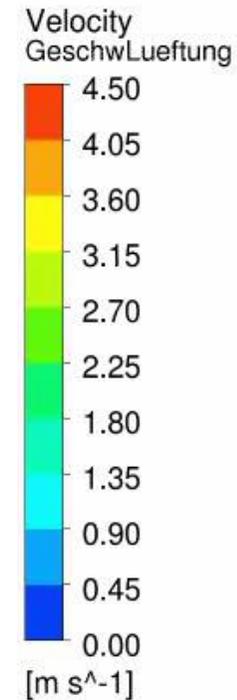


## Randbedingungen [1]:

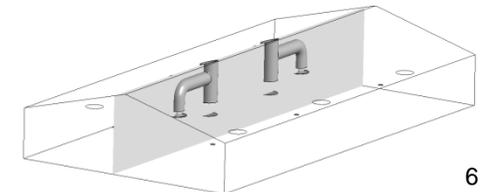
- **1-Phasen, stationäre (1. Schritt) & transiente (2. Schritt) Simulation**
- **Fluid:** Luft
- **Isotherme Simulation bei 14.1 °C**
- **Referenzdruck:** 0.95 bar
- **Referenzdichte:**  $1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- **Druck im Stall (Relativdruck):** 0 bar
- **Absolutdruck:** 0.95 bar
- **Turbulenzmodell:**  $k - \epsilon$
- **Einlass:** Geschwindigkeit von  $2.91 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (blau)
- **Auslass:** Relativdruck von 0 bar (rot)
- **Wand:** reibungsbehaftet, adiabat

# Resultate Geschwindigkeitsverteilung

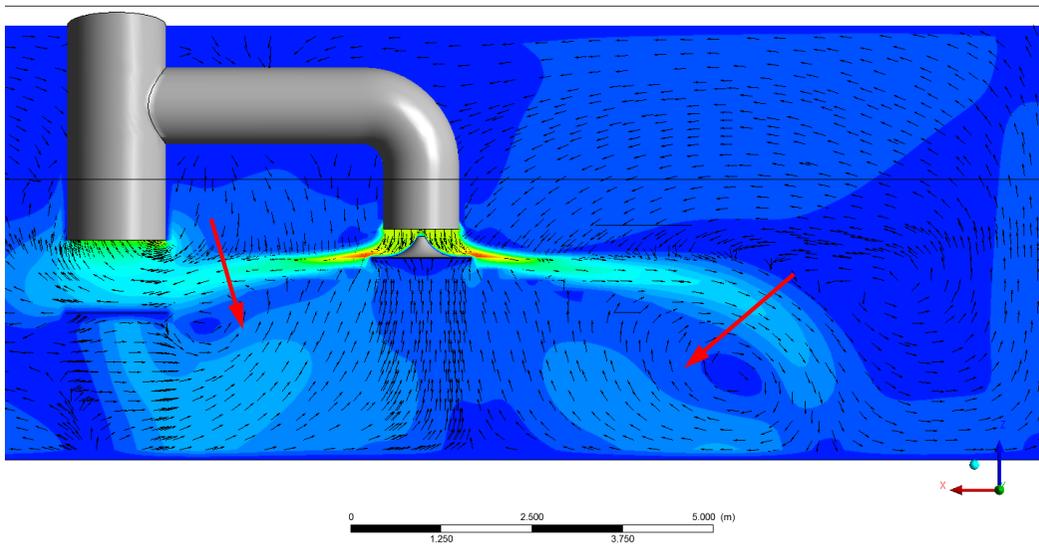
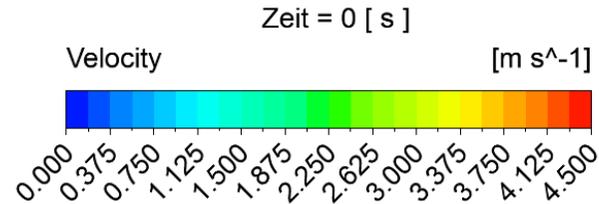
Zeit = 0 [ s ]



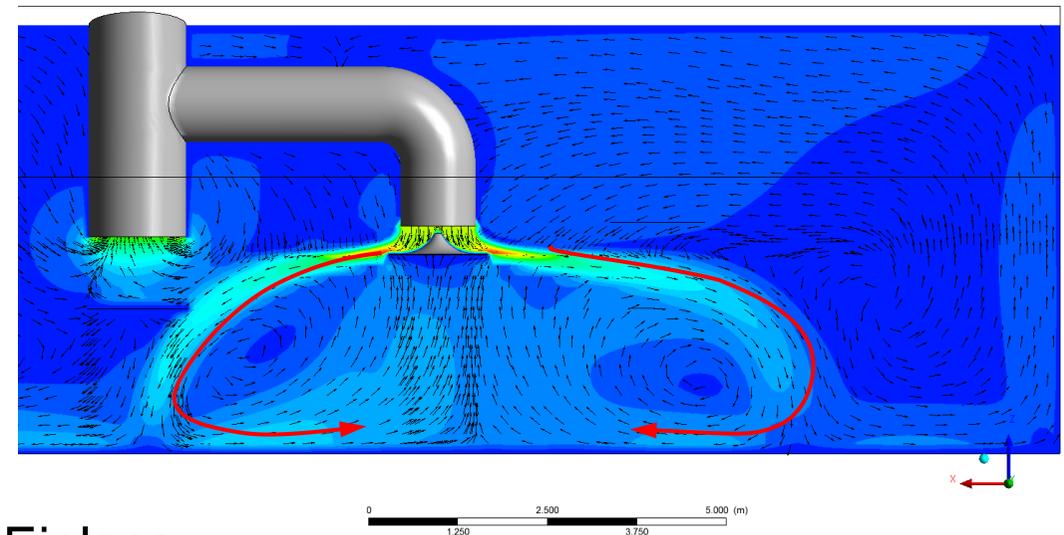
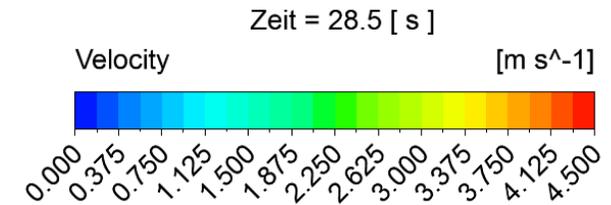
- Instationäres Strömungsverhalten
- Teilweise Kurzschluss zwischen Ein- und Auslass
- Wirbelstrukturen erkennbar (rote Markierungen)



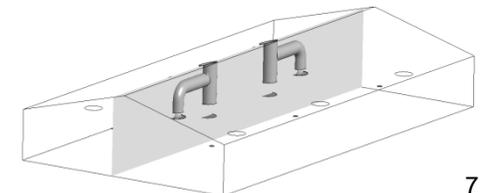
# Resultate Geschwindigkeitsverteilung



28.5 s

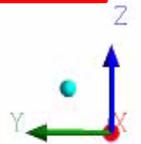
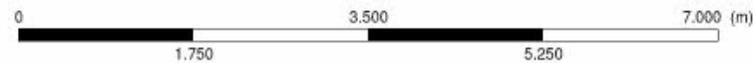
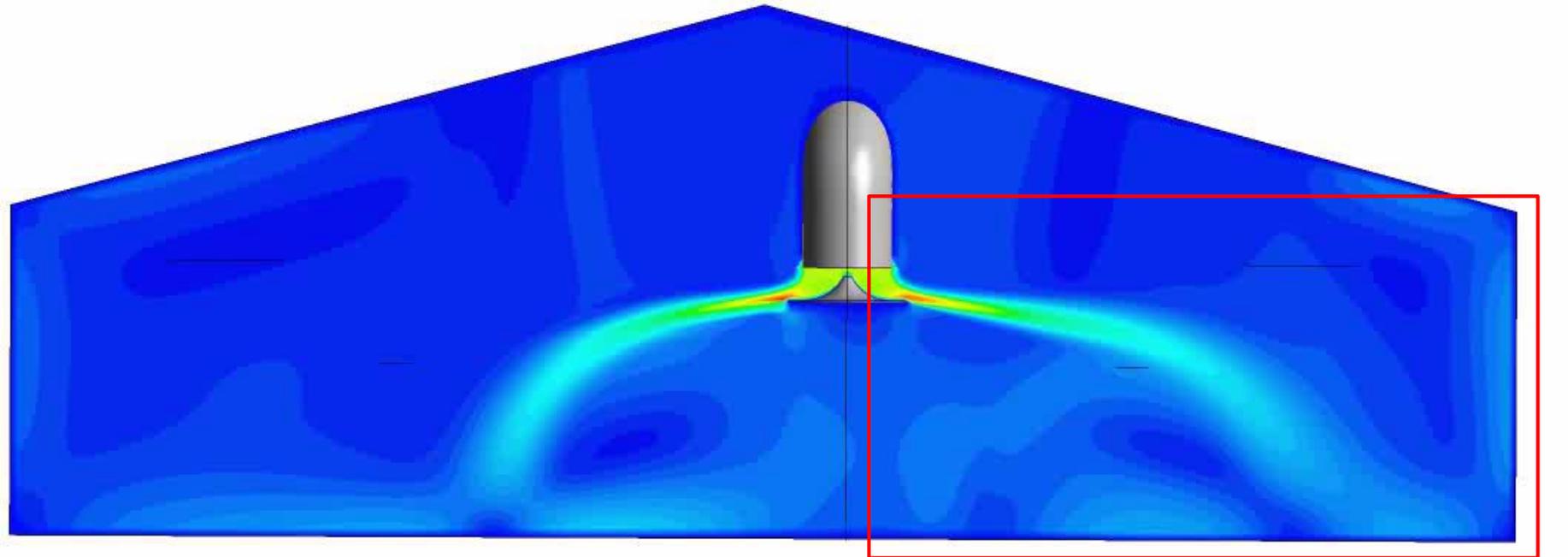
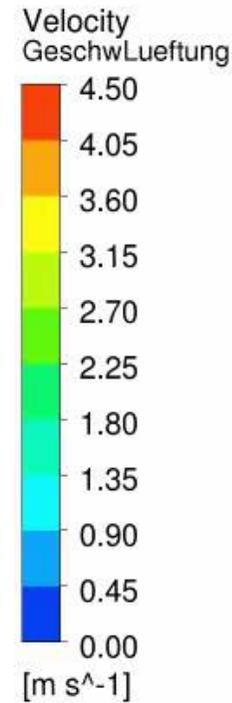


- Verschiebung des grossen Wirbels beim Einlass
- Kurzschluss zum Auslass wird teilweise unterbrochen
- ca. 60 s pro Zyklus

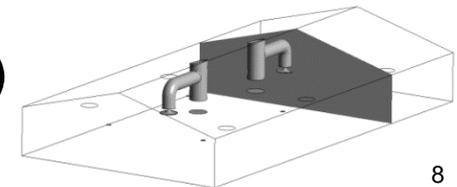


# Resultate Geschwindigkeitsverteilung

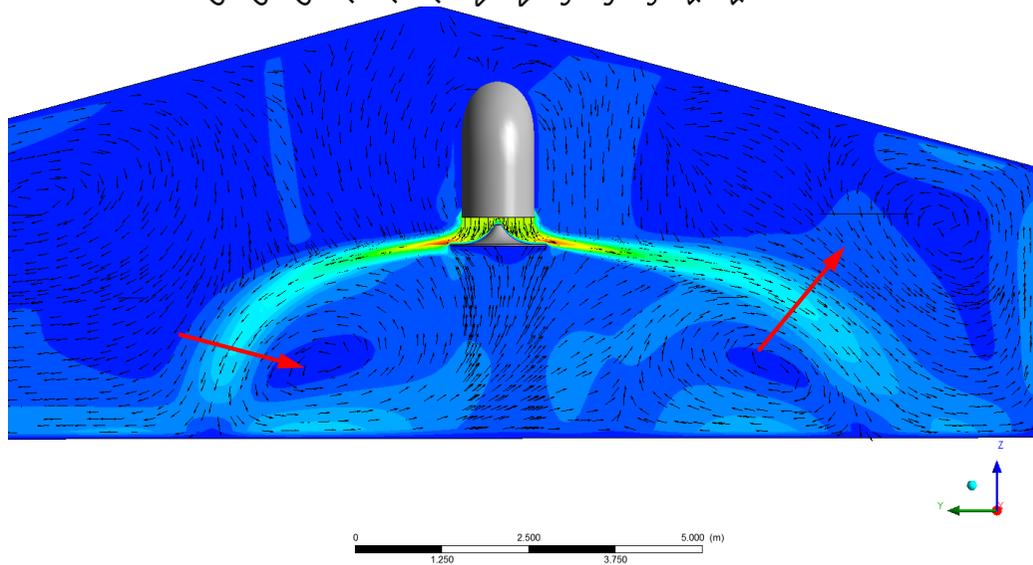
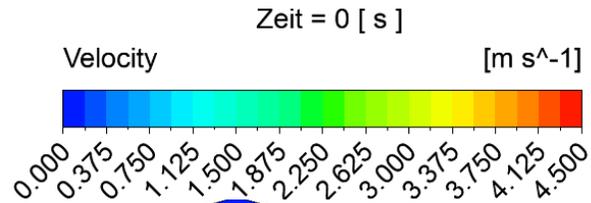
Zeit = 0 [ s ]



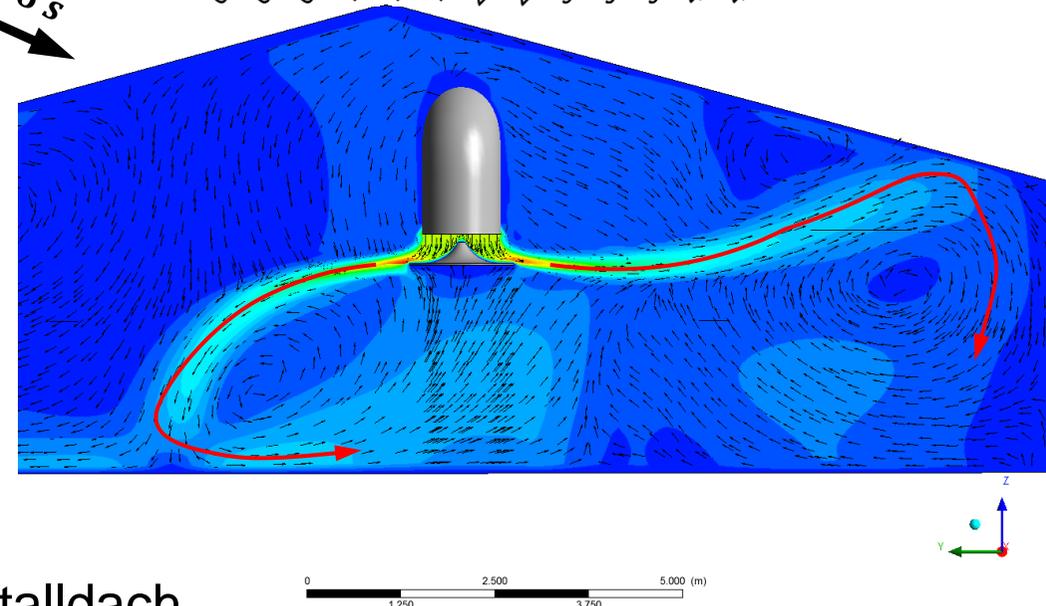
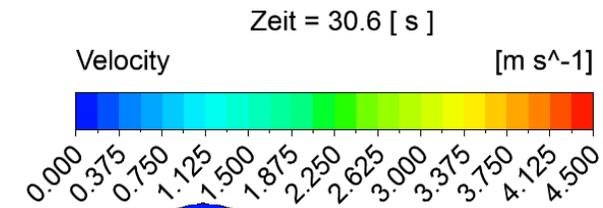
- Instationäres Strömungsverhalten
- starke Fluktuation der Wirbel auf der rechten Seite (rote Markierung)
  - Sogwirkung durch nahe Dachschräge



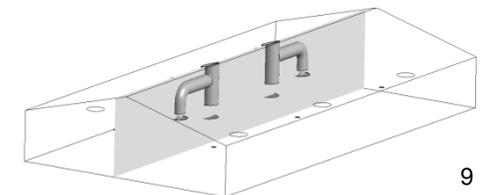
# Resultate Geschwindigkeitsverteilung



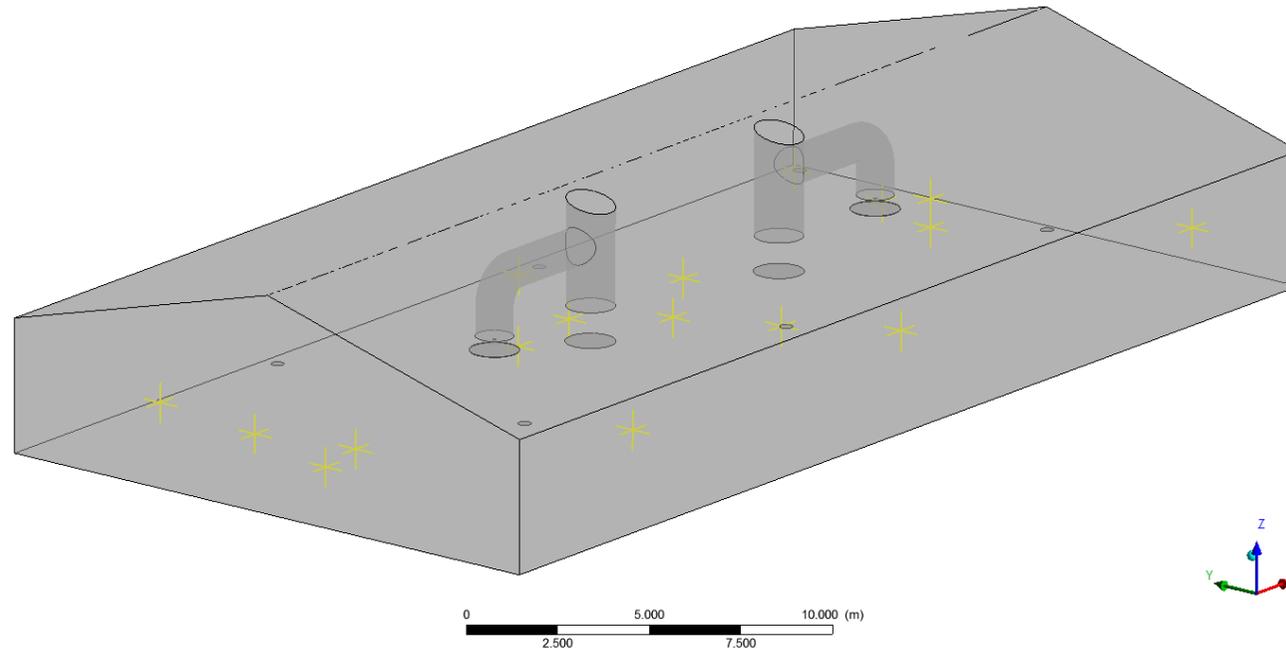
30.6 s



- Verschiebung des grossen Wirbels zum Stalldach
- Kleinere instationäre Effekte auf der linken Seite
- ca. 60 s pro Zyklus

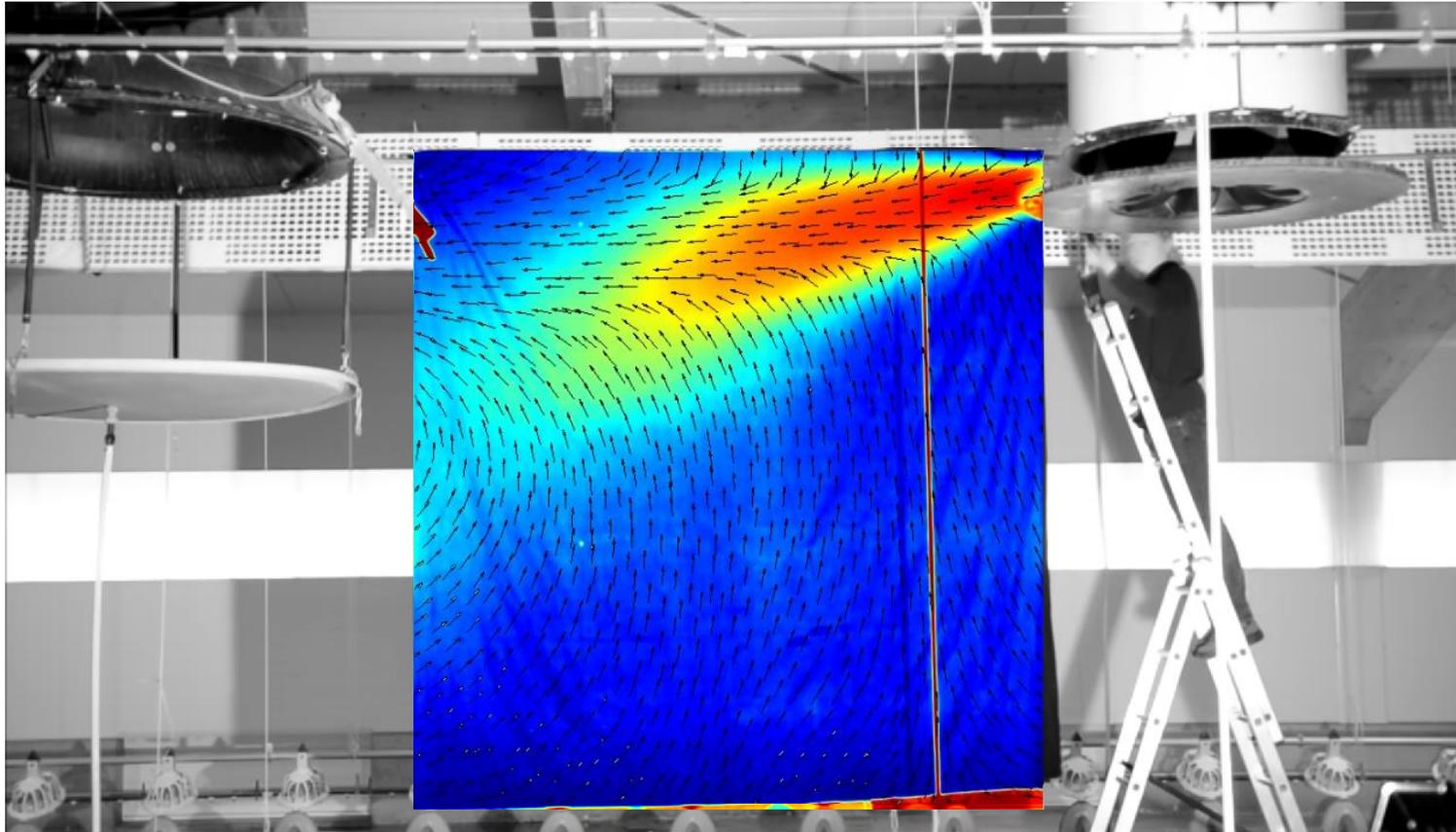


# Validierung Simulation (quantitativ) Messpunkte (Geschwindigkeit)



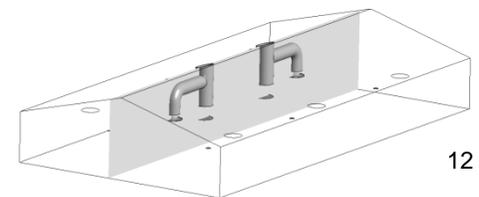
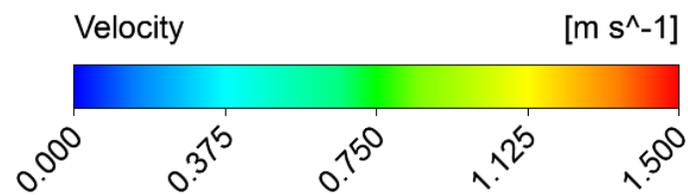
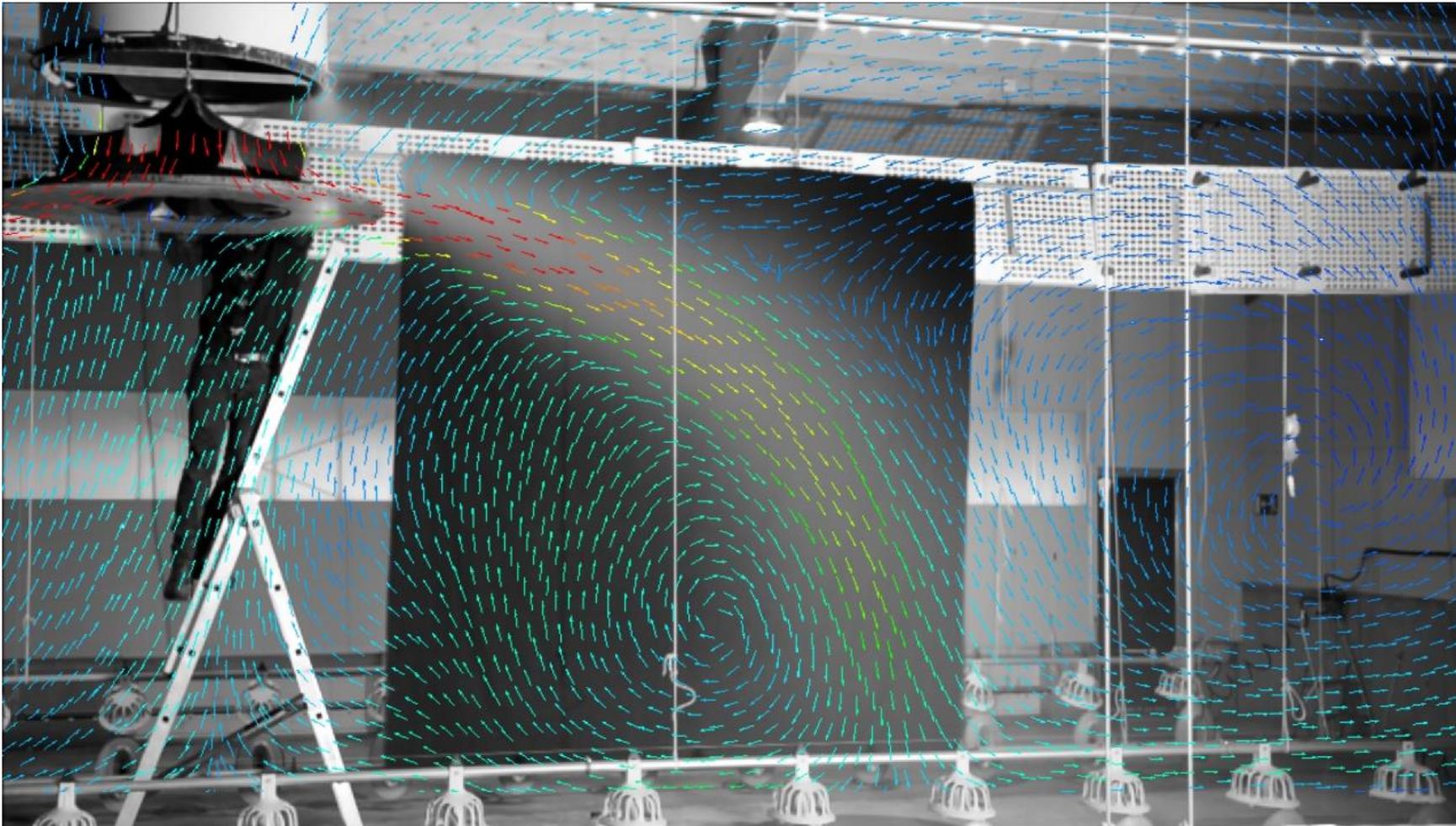
- 17 Messungen im Stall und CFD Monitor Points wurden gegenübergestellt
  - Vereinzelt grössere Abweichungen vorhanden ( $> 15\%$ )
  - Mögliche Gründe
    - Sehr tiefe Strömungsgeschwindigkeiten (max.  $0.5\text{ m/s}$ )
    - Toleranz des Anemometers ( $\pm 0.3\text{ m/s}$ )
    - Strömung ist instationär
- keine genaue Aussage machbar, Geschwindigkeitsbereich ist jedoch plausibel

# Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung

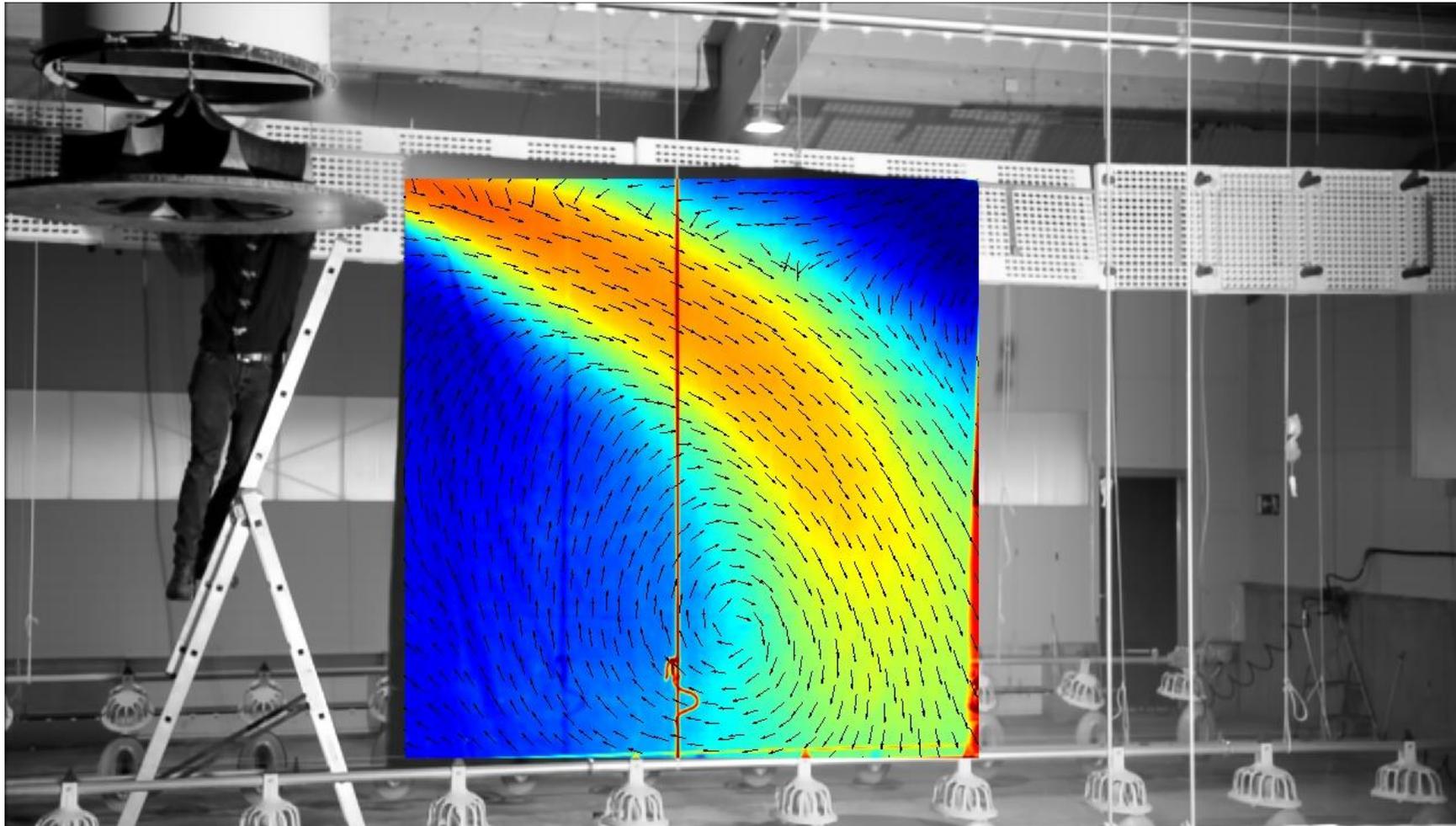


- Mittelung der Videoaufnahme und Umwandlung in Graustufenbild
- Bild zuschneiden und einfärben  
→ Farbskala wiedergibt Helligkeit (rot = hell, viel Rauch; blau = dunkel, wenig Rauch)
- Vektorplot aus CFD Simulationen einfügen

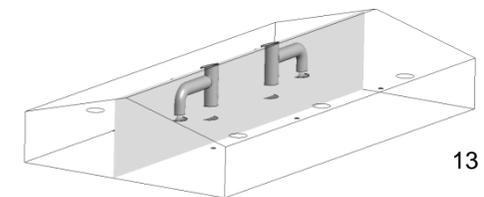
# Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung



# Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung



→ Gute Übereinstimmung des Strömungsfeldes  
aus Versuch und CFD-Analyse



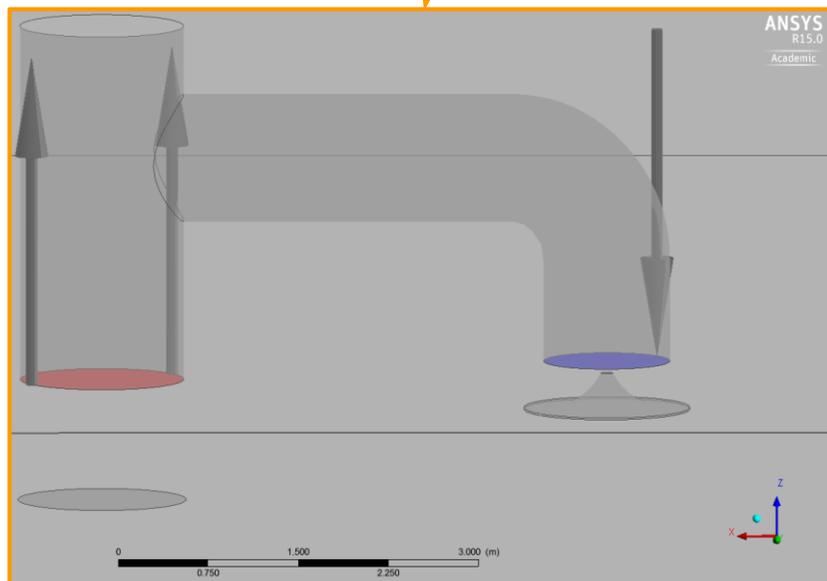
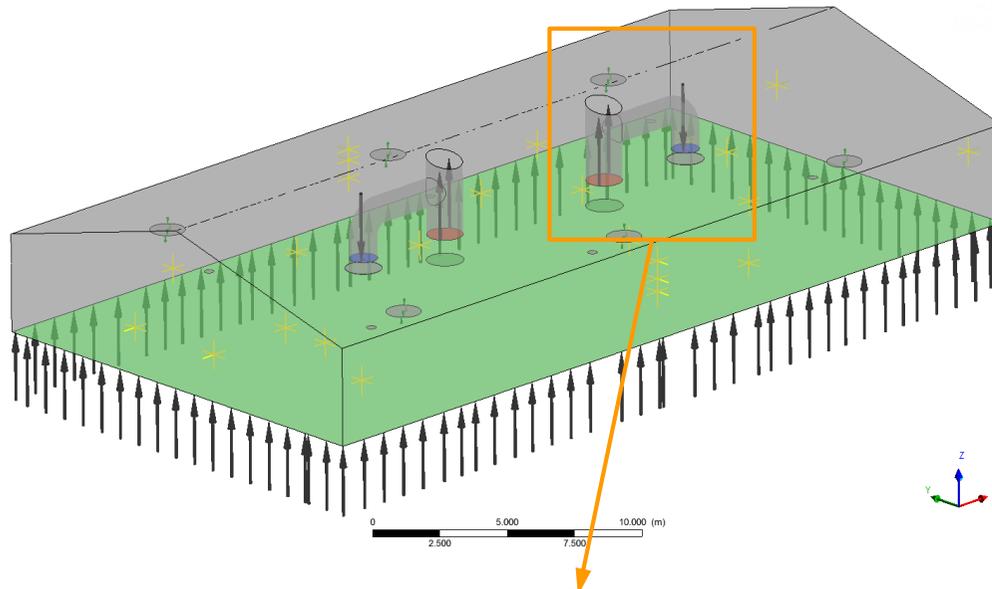
# Zusammenfassung / Fazit

## Referenzsimulation

- Isotherme Simulation
- Instationäre Strömung mit starken Fluktuationen
- Tiefe Strömungsgeschwindigkeiten im Raum
- Strömungsvisualisierung mit Rauchlanze

**➔ Simulation erfolgreich validiert**

# Randbedingungen Komplettmodell Stall



## Randbedingungen:

- **2-Komponenten, stationäre (1. Schritt) & transiente (2. Schritt) Simulation**
- **Fluide:** Luft & CO<sub>2</sub> (ideale Gase)
- **Thermische Simulation**
- **Referenzdruck:** 94'827 Pa
- **Druck im Stall (Relativdruck):** 0 Pa
- **Absolutdruck:** 94'827 Pa
- **Turbulenzmodell:**  $k - \varepsilon$
- **Einlass:** Massenstrom von  $3.12 \frac{kg}{s}$  (blau), nur Luft bei 11.99 °C
- **Boden (Hühner):** Massenstrom von  $0.013 \frac{kg}{s}$  (grün), nur CO<sub>2</sub> bei 32 °C, inklusive Wärmestrom von  $149.4 \frac{W}{m^2}$
- **Auslass:** Relativdruck von 0 Pa (rot)
- **Wand:** homogene Wandtemperatur von 24.6 °C
- **Monitorpoints:** Positionen entsprechen den verteilten Messmitteln im Stall

# Randbedingungen Komplettsimulation

- Daten des Tag 28 der letzten Mast (23.10.2014, 21:19 – 22:20) dienen als Grundlage für die Randbedingungen
- Bestimmung der Wärmeabgabe der Hühner [2]:

$$\dot{Q} = n \cdot 10.62 \cdot m^{0.75} \cdot (1 + 0.02 \cdot (20 - T))$$

- $\dot{Q}$  = Abgegebener Wärmestrom der Hühner [W]
- $n$  = Anzahl Hühner [-]
- $m$  = Gewicht eines Huhns [kg]
- $T$  = Raumtemperatur [°C]

- Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses der Hühner [3]:

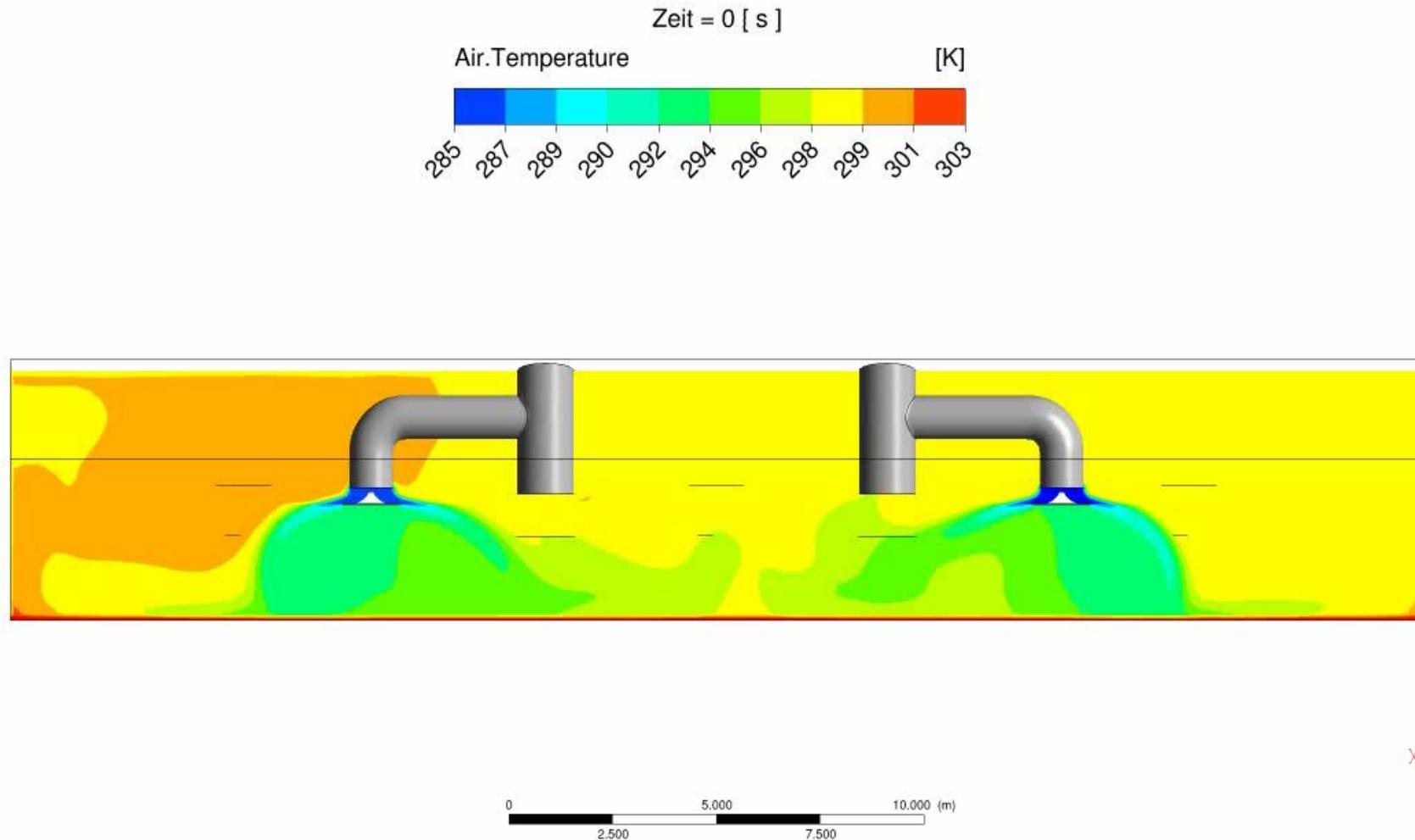
$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{Q} \cdot 1.85 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{CO_2}$$

- $\dot{m}_{CO_2}$  = Massenstrom CO<sub>2</sub> [kg/h]
- $\dot{Q}$  = Abgegebener Wärmestrom der Hühner [W]
- $\rho_{CO_2}$  = Dichte CO<sub>2</sub> bei Körpertemperatur der Hühner [kg/m<sup>3</sup>]

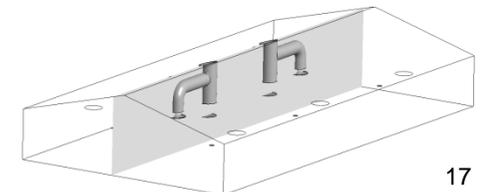
[2] S. Pedersen et al., Climization of Animal House. Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsen, Denmark, 2002.

[3] J.J.R. Feddes et al., Odour Emissions from Poultry Manure/Litter and Barns. Poultry Industry Council, University of Alberta, Edmonton, Canada, 2004.

# Resultate Komplettsimulation Temperaturverteilung

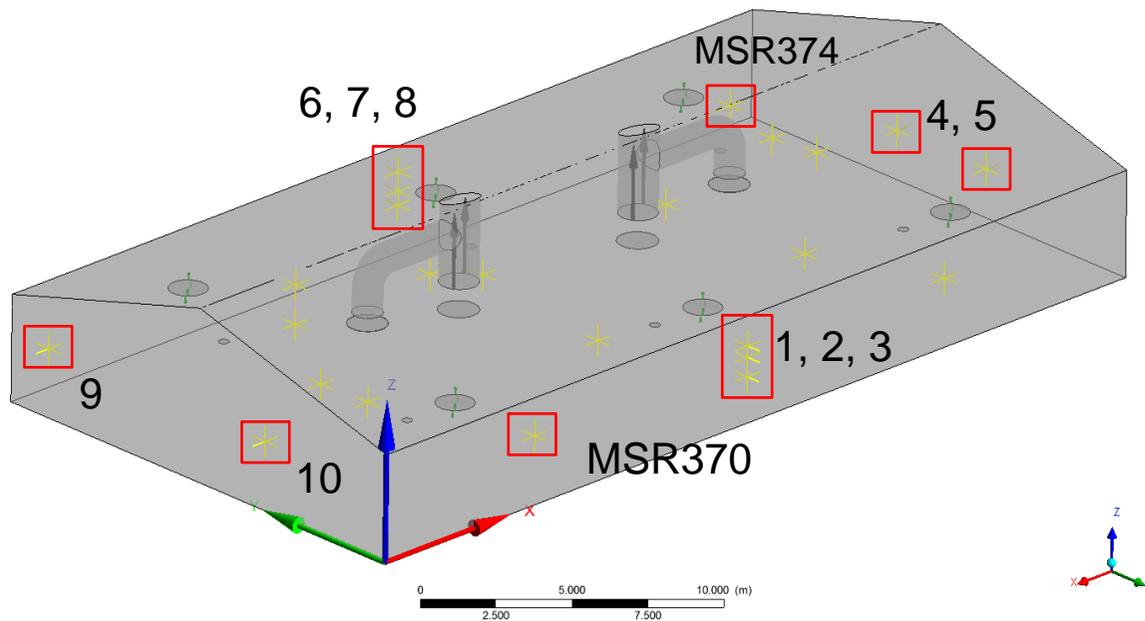


- Durchschnittstemperatur im Stall beträgt 25.4 °C
- Kurzschlusseffekte Ein- / Auslass kleiner



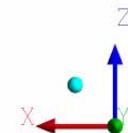
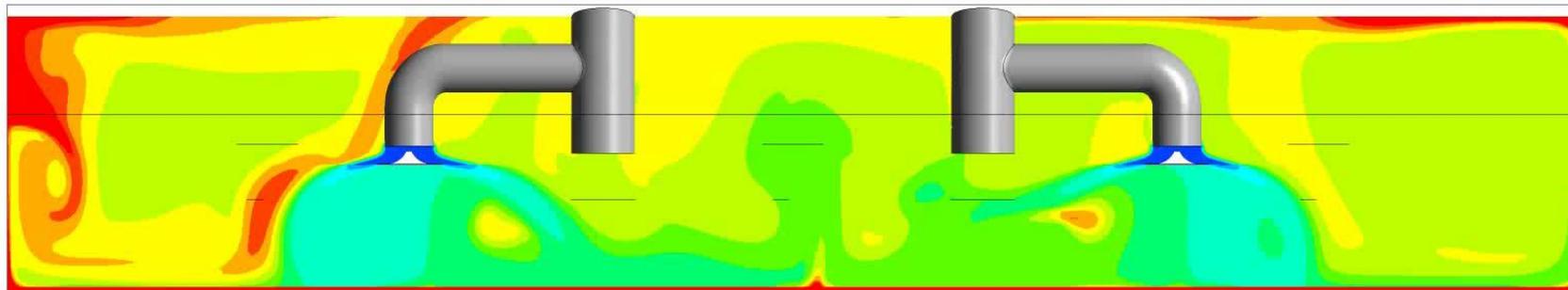
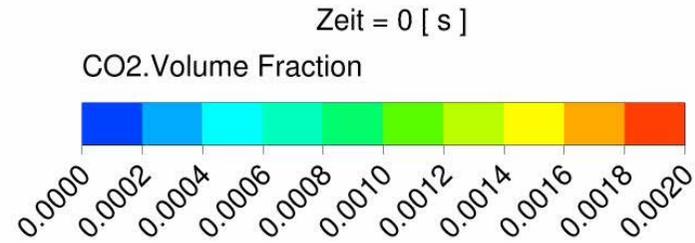
# Resultate Komplettsimulation Temperaturverteilung

- Resultate der Simulation stimmen gut mit den Messwerten überein  
→ Maximale Abweichung: 13.34 %

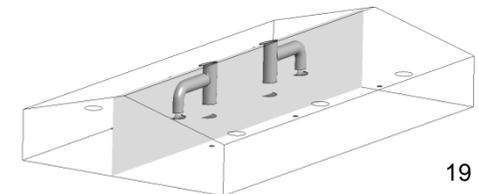


Messort	Temperatur (Stall gemessen) [°C]	Temperatur (Stall simuliert) [°C]	rel. Abweichung [%]
<i>MSR370</i>	25.12	25.33	0.87
<i>MSR374</i>	25.09	25.51	1.66
<i>Temp1</i>	25.33	26.01	2.68
<i>Temp2</i>	23.14	26.10	12.78
<i>Temp3</i>	23.27	26.37	13.34
<i>Temp4</i>	25.15	26.05	3.57
<i>Temp5</i>	25.20	25.64	1.75
<i>Temp6</i>	24.93	25.21	1.12
<i>Temp7</i>	23.06	25.37	10.01
<i>Temp8</i>	25.33	25.53	0.78
<i>Temp9</i>	24.99	27.10	8.48
<i>Temp10</i>	25.45	26.40	3.76

# Resultate Komplettsimulation CO<sub>2</sub>-Verteilung

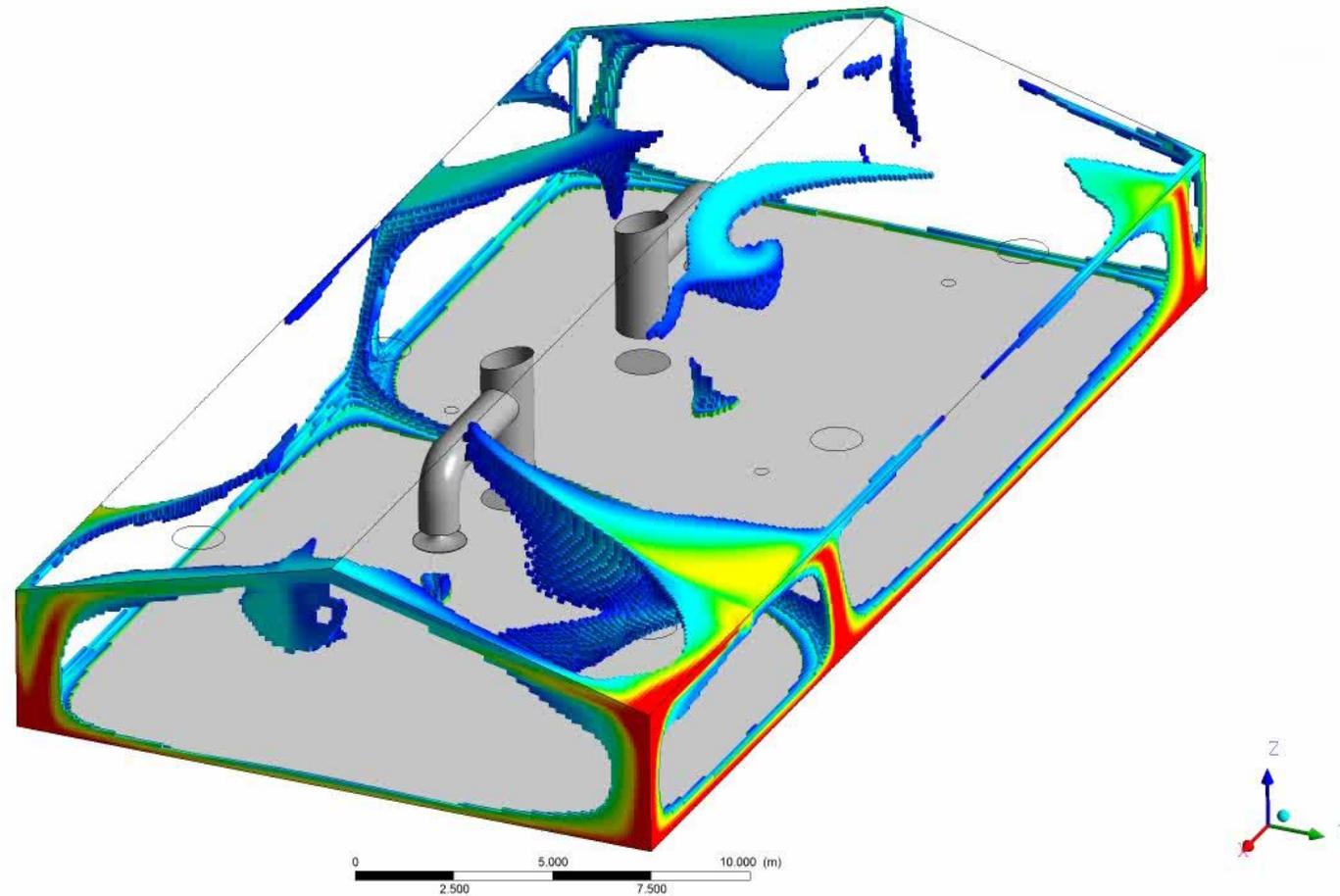
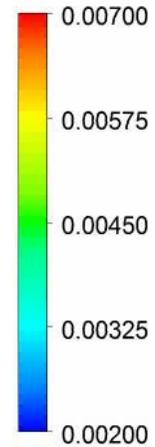


- Mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration im ganzen Stall: ca. 1882 ppmv
- Hohe Konzentrationen an den Stallwänden und der Decke



# Resultate Komplettsimulation CO<sub>2</sub>-Verteilung

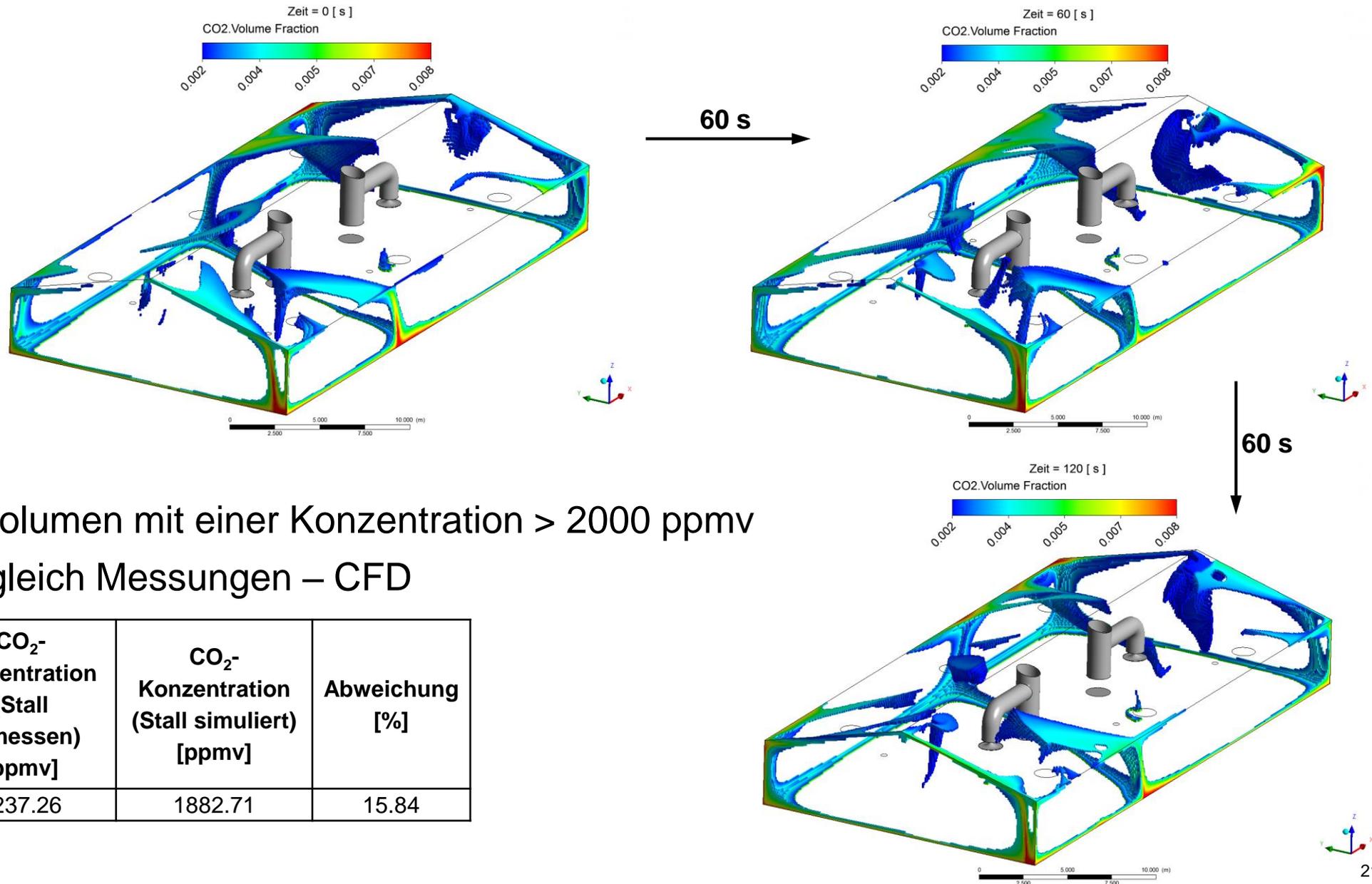
CO<sub>2</sub> Volume Fraction  
CO<sub>2</sub>



Zeit = 0 [ s ]

- Isovolumen mit CO<sub>2</sub>-Konzentration über 2000 ppmv
- Hohe Konzentrationen an den Stallwänden und der Decke

# Resultate Komplettsimulation CO<sub>2</sub>-Verteilung



- Isovolumen mit einer Konzentration > 2000 ppmv
- Vergleich Messungen – CFD

CO <sub>2</sub> - Konzentration (Stall gemessen) [ppmv]	CO <sub>2</sub> - Konzentration (Stall simuliert) [ppmv]	Abweichung [%]
2237.26	1882.71	15.84

# Zusammenfassung / Fazit Komplettsimulation

- Thermische Simulation
- 2-Komponenten Strömung mit Luft und CO<sub>2</sub>
- Instationäre Strömung mit kleinen Fluktuationen
- Tiefe Strömungsgeschwindigkeiten im Raum
- Durchschnittstemperaturen im Raum ca. 25 °C
  - Simulationsdaten stimmen gut mit Messwerten überein
- Plausible CO<sub>2</sub>-Verteilung
  - Etwas grössere Abweichung der Konzentration von den Simulationsdaten gegenüber den Messwerten (empirischer Ansatz evtl. zu knapp)

**➔ Grundsätzlich Simulationen in Mastgeflügelställen gut umsetzbar**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

**Fragen?**