



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

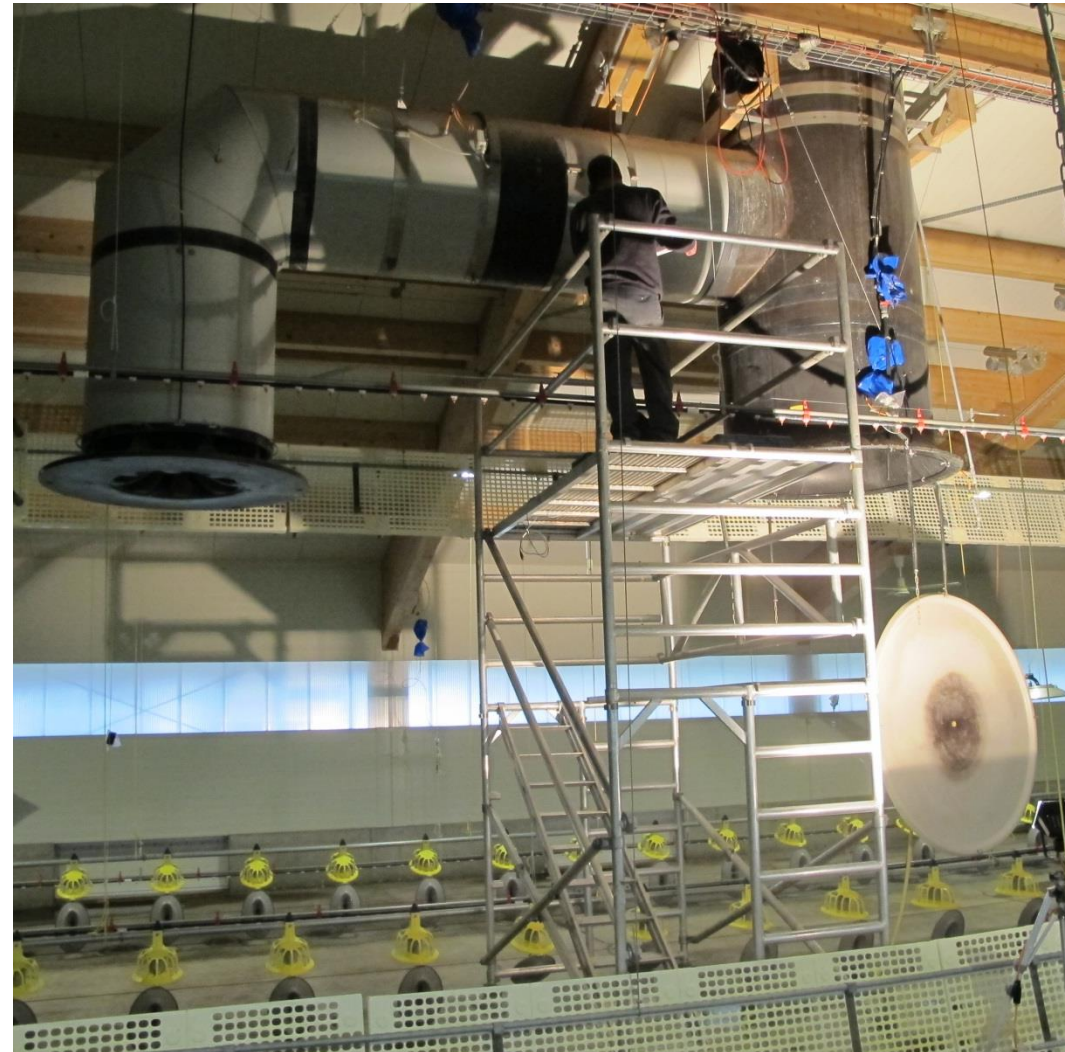
Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering

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

16. Juni 2016

Ausgangslage

- Mastgeflügelstall Ottoberg
- Lüftungskonzept mit Wärmerückkopplung

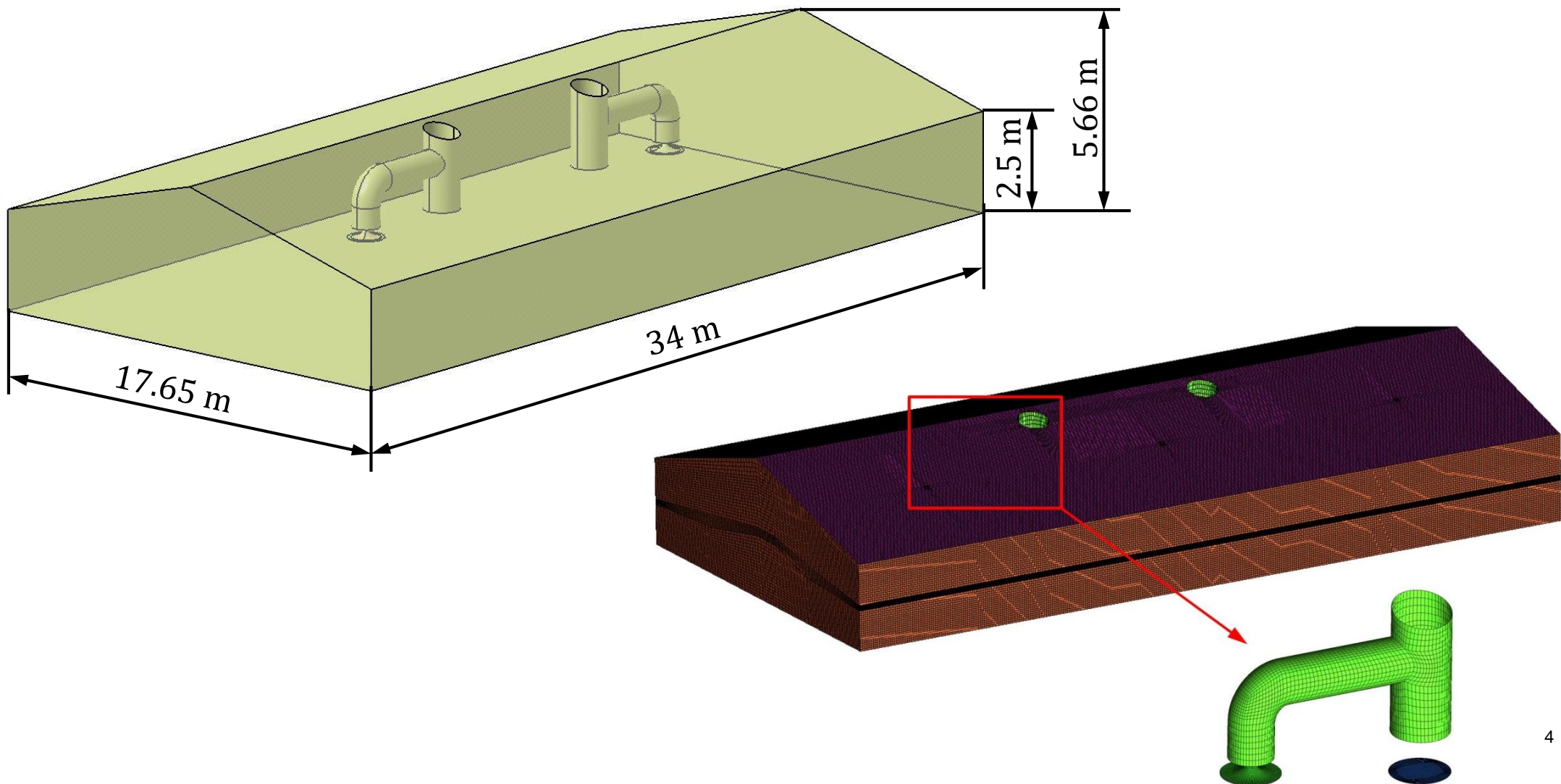


Ziele & Vorgehen

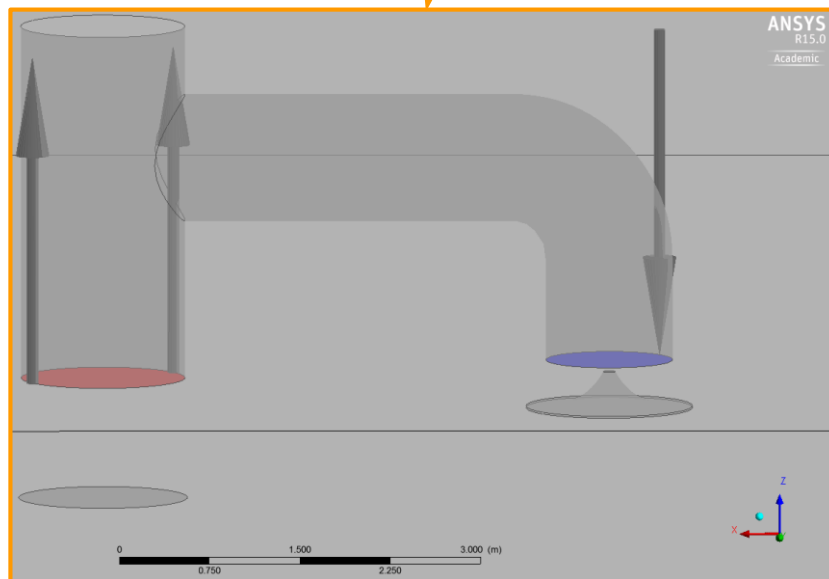
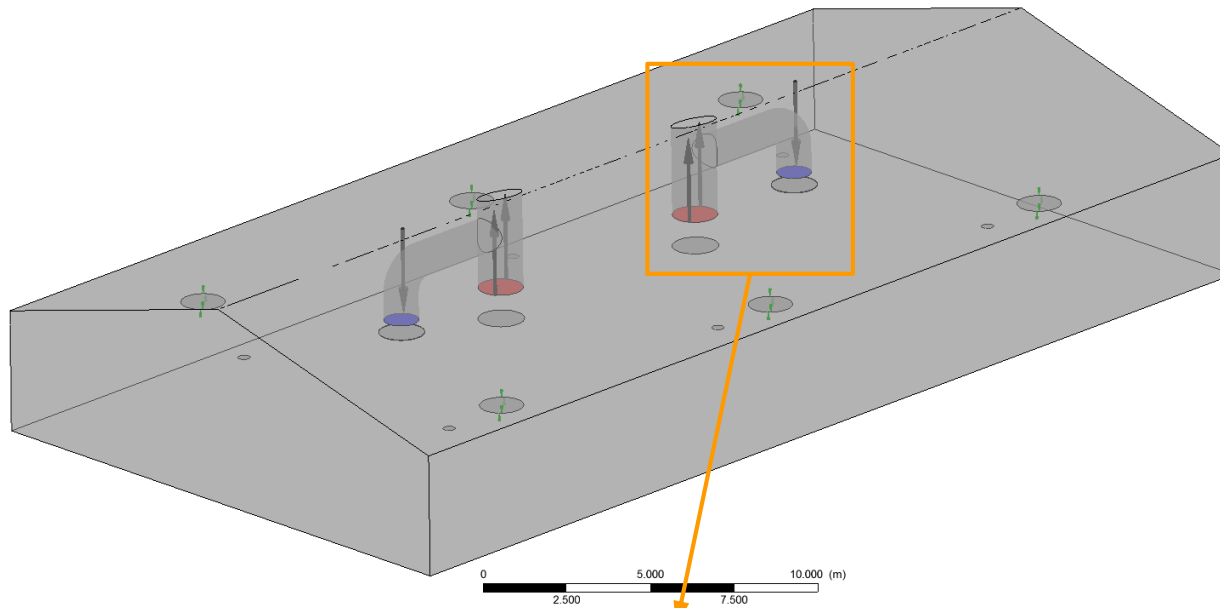
- Ziele
 - Energiebilanz des gesamten Stalles über mehrere Monate
 - Evaluierung der Machbarkeit einer CFD-Simulation und Untersuchung des Strömungsverhaltens im Stall
- Vorgehen CFD
 - Vernetzung der vereinfachten Geometrie
 - Referenzsimulation des leeren Stalles und Validierung
 - Komplettsimulation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

Geometrie und Vernetzung

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



Referenzmodell Stall

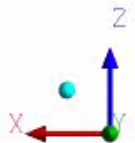
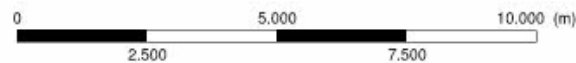
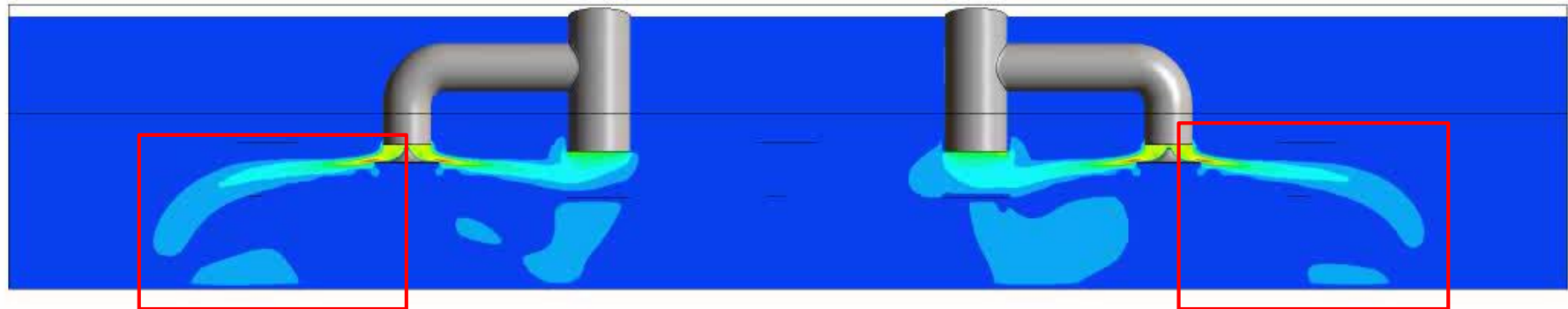
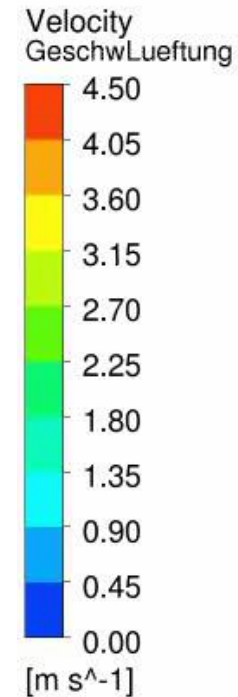


Randbedingungen [1]:

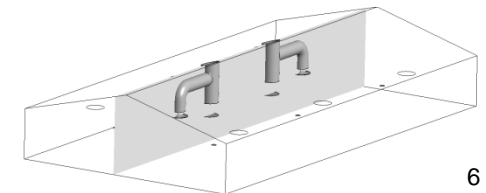
- **1-Phasen, stationäre (1. Schritt) & transiente (2. Schritt) Simulation**
- **Fluid:** Luft
- **Isotherme Simulation bei 14.1 °C**
- **Referenzdruck:** 0.95 bar
- **Referenzdichte:** $1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- **Druck im Stall (Relativdruck):** 0 bar
- **Absolutdruck:** 0.95 bar
- **Turbulenzmodell:**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

Resultate Geschwindigkeitsverteilung

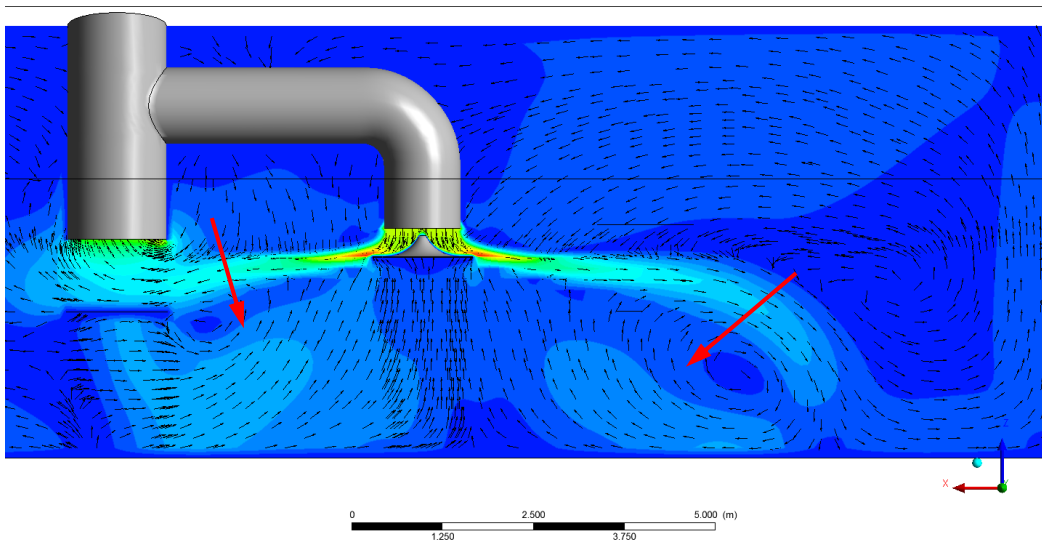
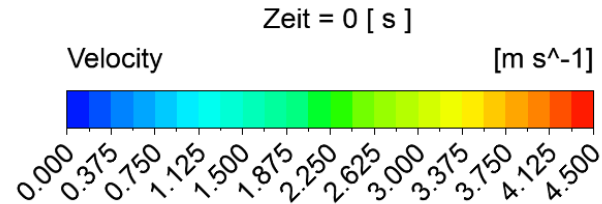
Zeit = 0 [s]



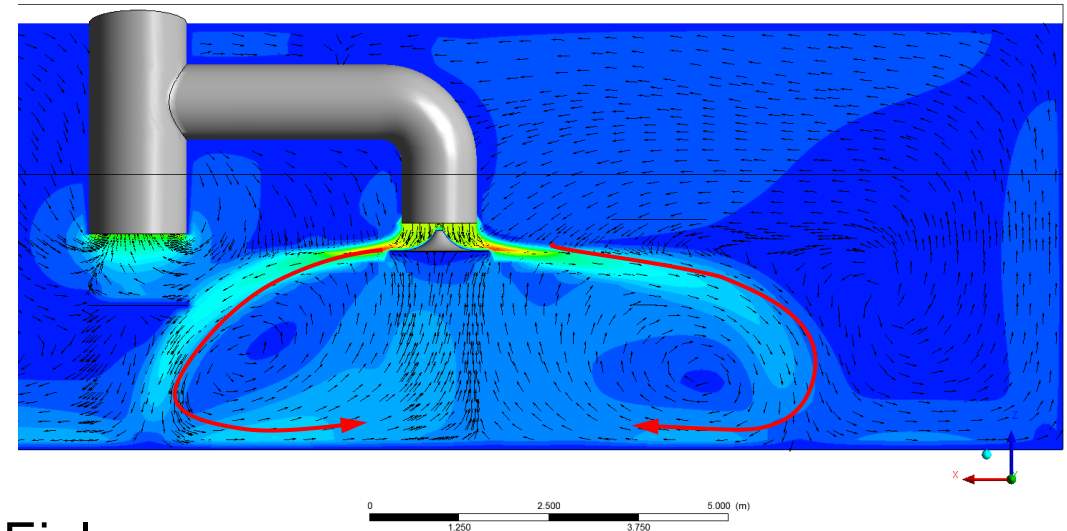
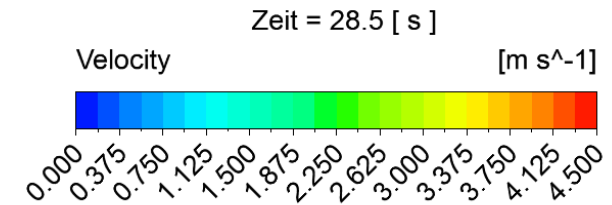
- Instationäres Strömungsverhalten
- Teilweise Kurzschluss zwischen Ein- und Auslass
- Wirbelstrukturen erkennbar (rote Markierungen)



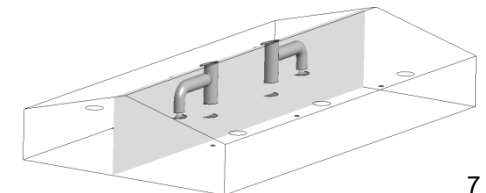
Resultate Geschwindigkeitsverteilung



28.5 s

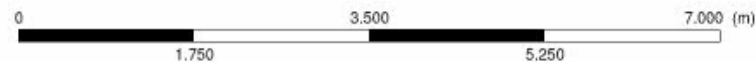
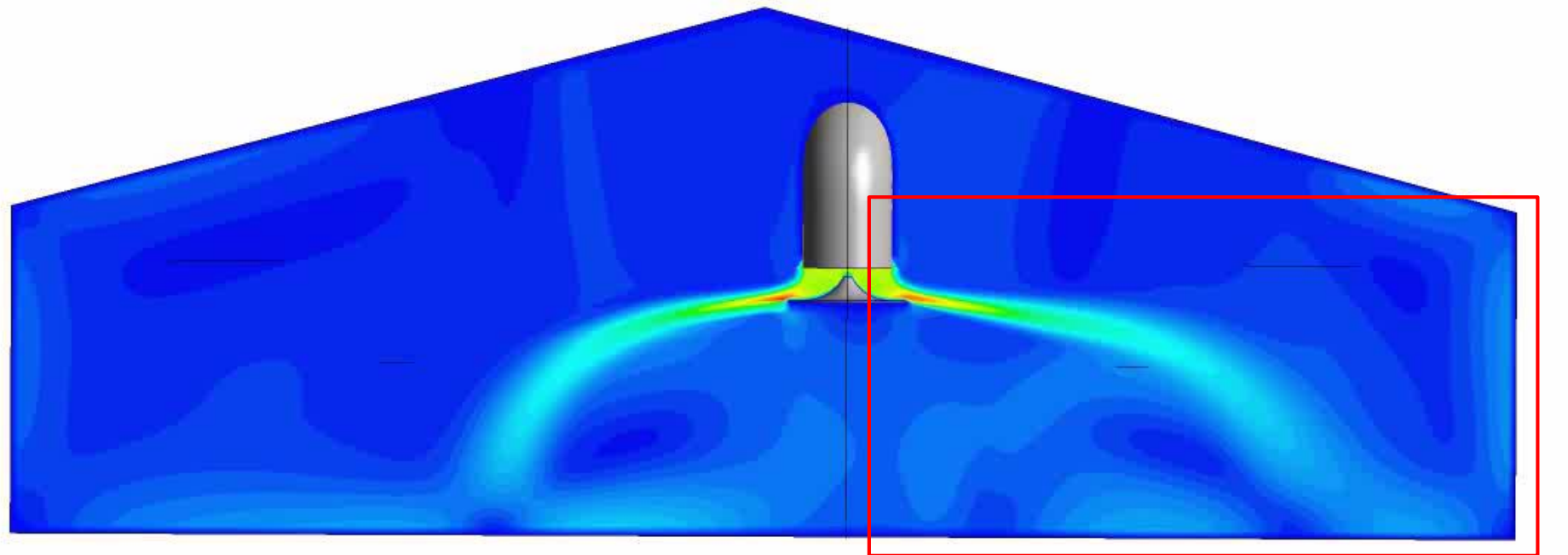
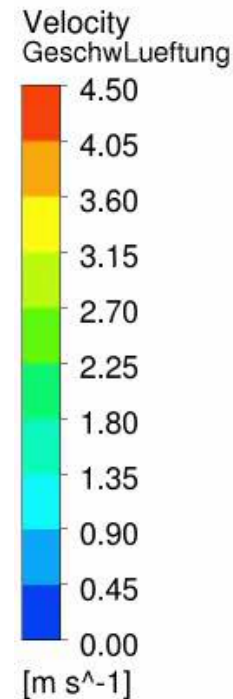


- Verschiebung des grossen Wirbels beim Einlass
- Kurzschluss zum Auslass wird teilweise unterbrochen
- ca. 60 s pro Zyklus

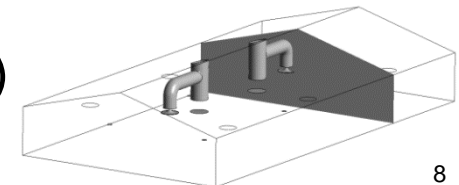


Resultate Geschwindigkeitsverteilung

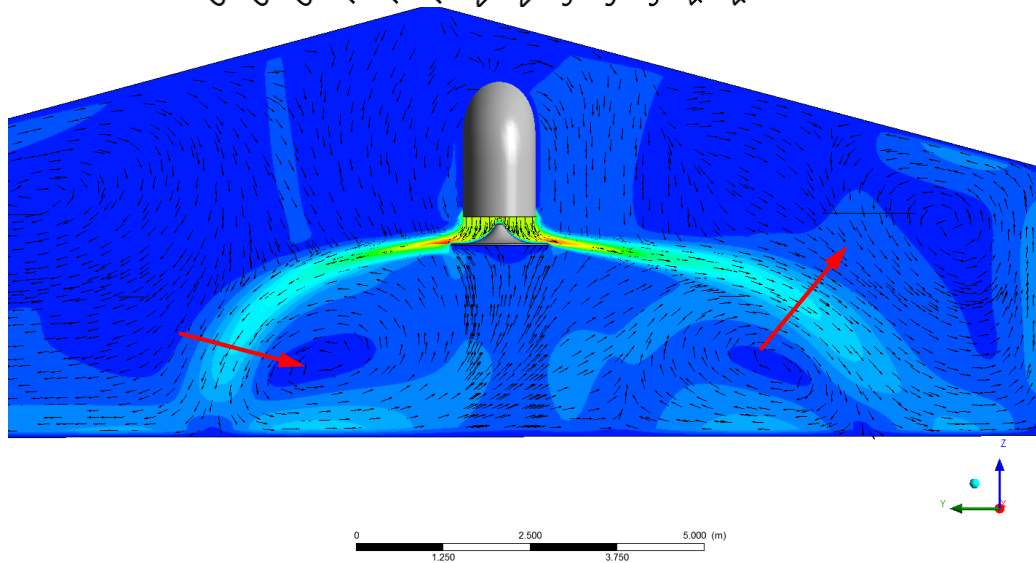
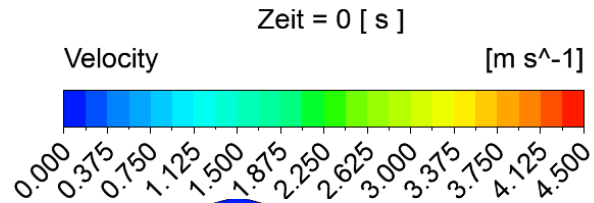
Zeit = 0 [s]



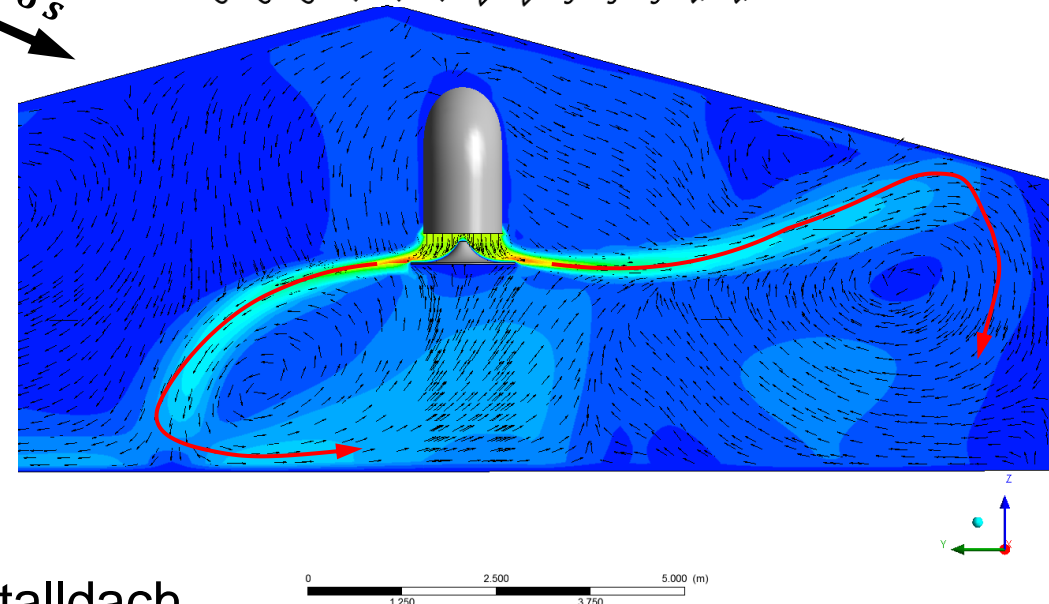
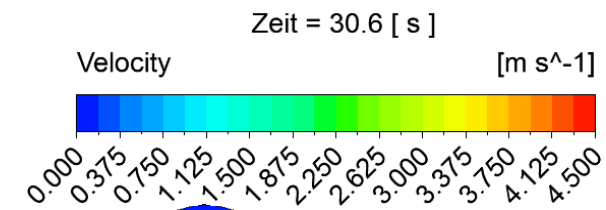
- Instationäres Strömungsverhalten
- starke Fluktuation der Wirbel auf der rechten Seite (rote Markierung)
 - Sogwirkung durch nahe Dachschräge



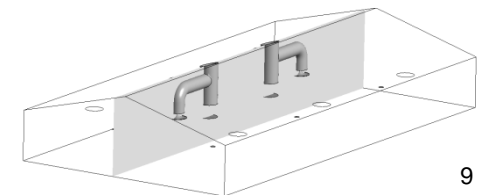
Resultate Geschwindigkeitsverteilung



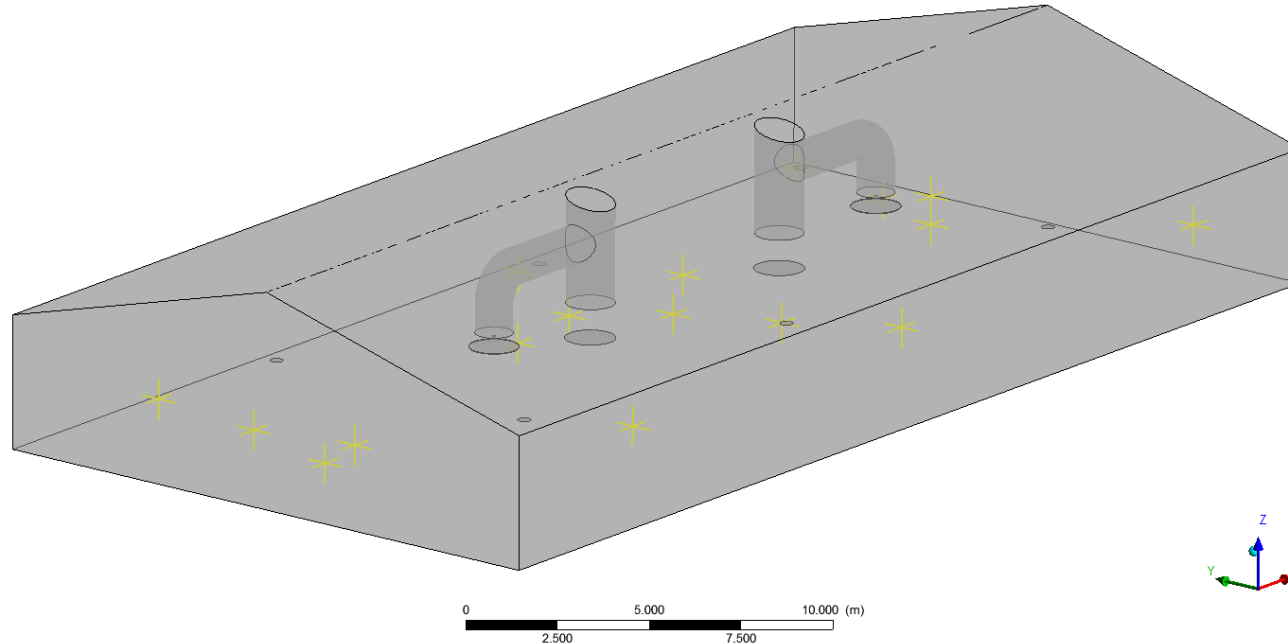
30.6 s



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

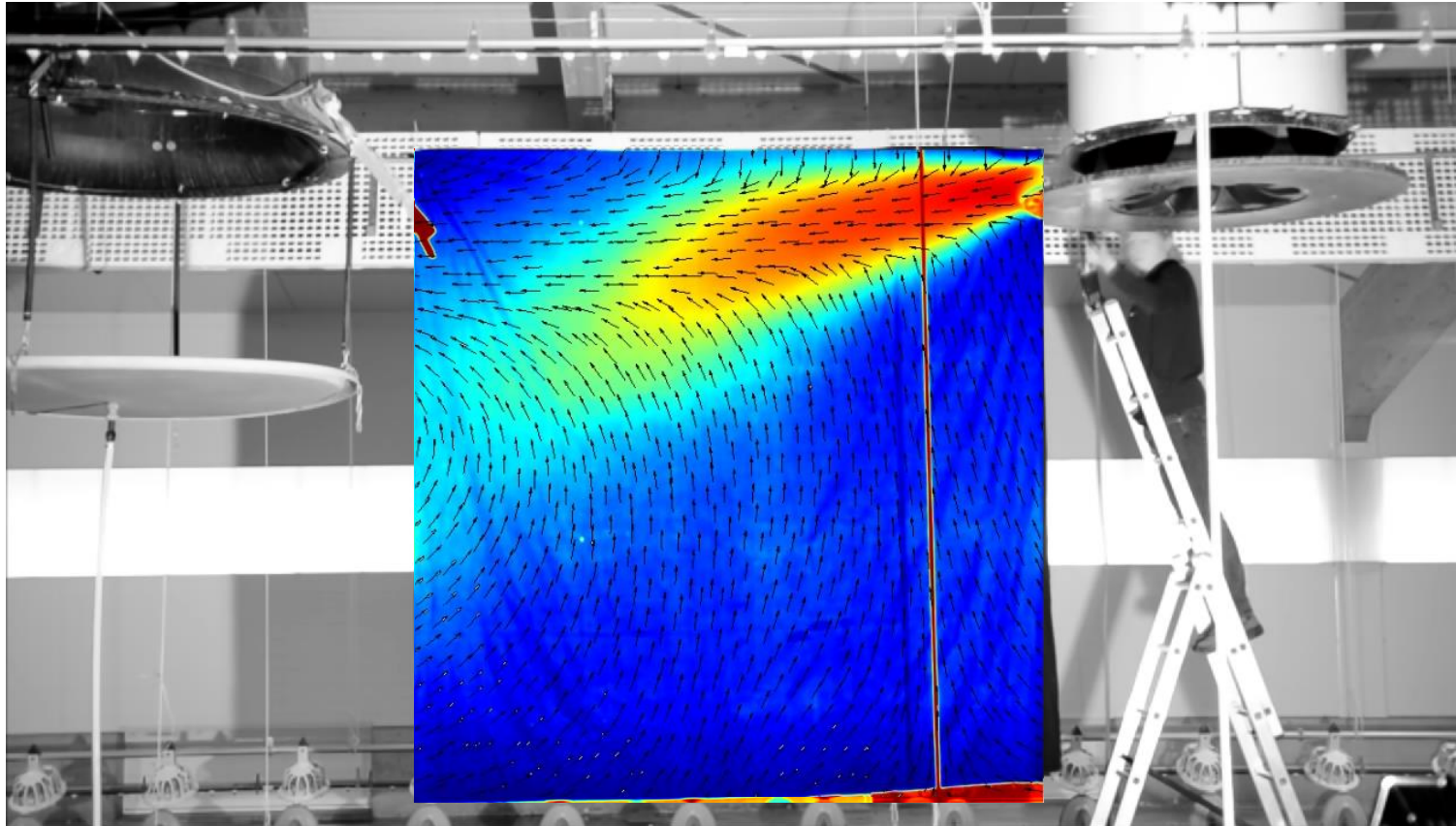


Validierung Simulation (quantitativ) Messpunkte (Geschwindigkeit)



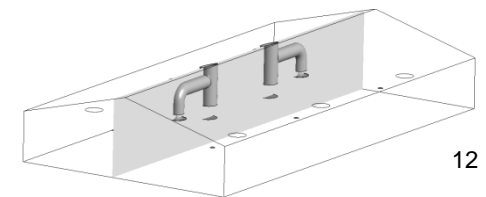
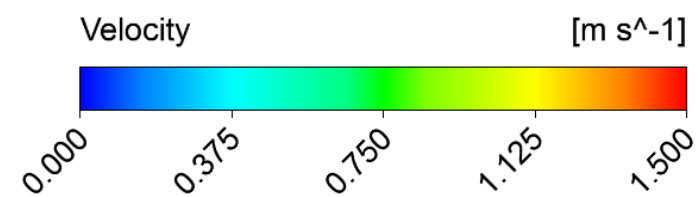
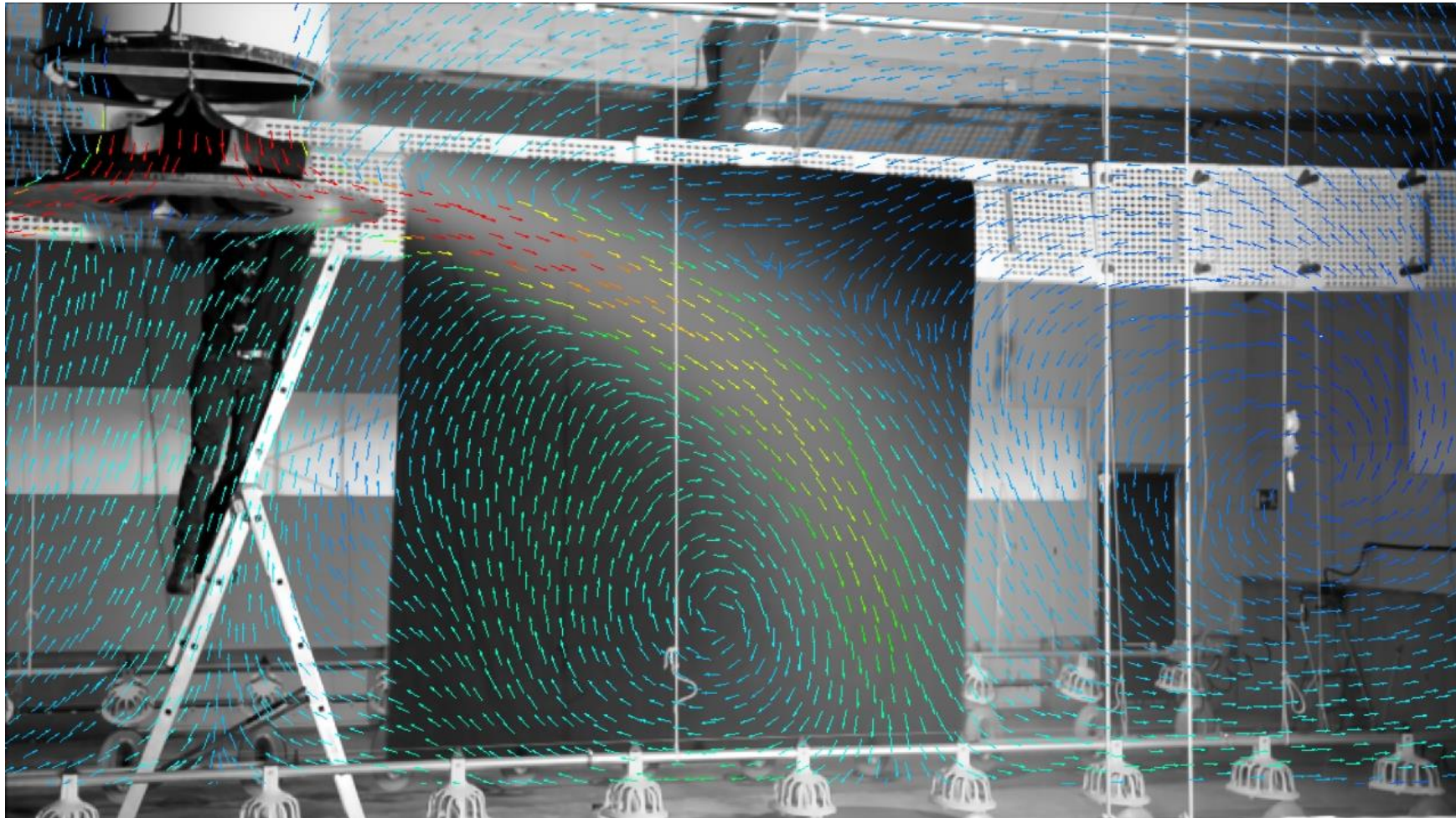
- 17 Messungen im Stall und CFD Monitor Points wurden gegenübergestellt
 - Vereinzelt grössere Abweichungen vorhanden ($> 15\%$)
 - Mögliche Gründe
 - Sehr tiefe Strömungsgeschwindigkeiten (max. 0.5 m/s)
 - Toleranz des Anemometers ($\pm 0.3\text{ m/s}$)
 - Strömung ist instationär
- keine genaue Aussage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

Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung

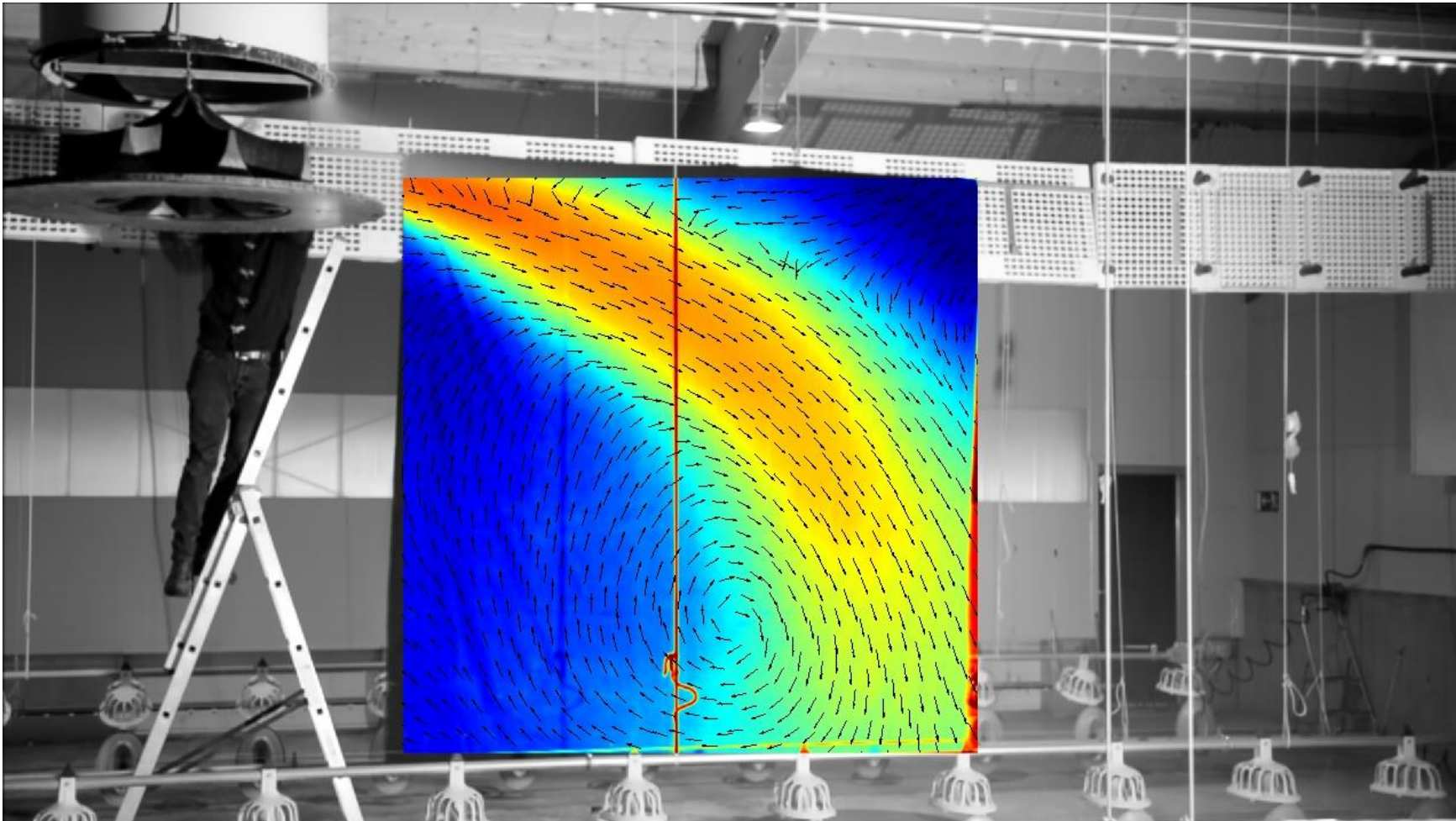


- Mittelung der Videoaufnahme und Umwandlung in Graustufenbild
- Bild zuschneiden und einfärben
→ Farbskala wiedergibt Helligkeit (rot = hell, viel Rauch; blau = dunkel, wenig Rauch)
- Vektorplot aus CFD Simulationen einfügen

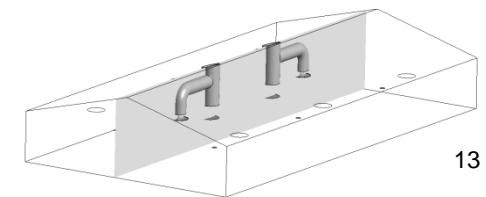
Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung



Validierung Simulation (qualitativ) Strömungsvisualisierung



→ Gute Übereinstimmung des Strömungsfeldes
aus Versuch und CFD-Analyse



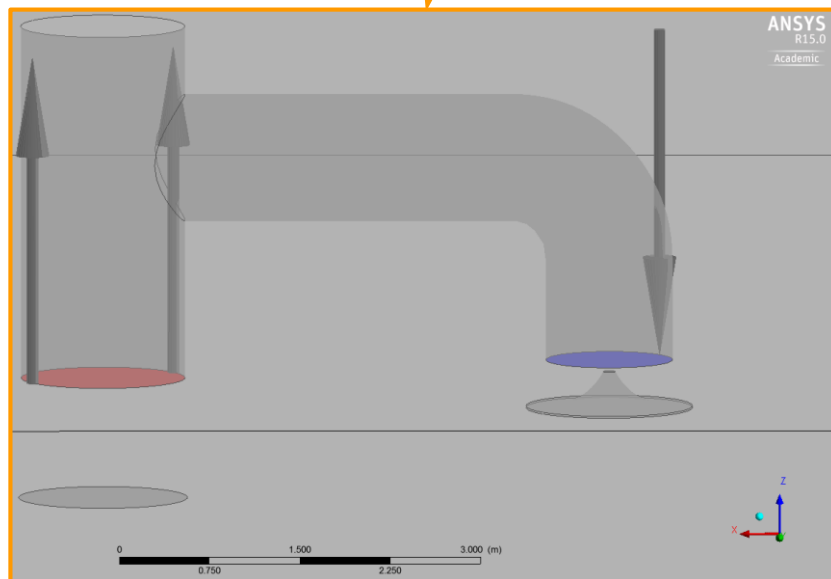
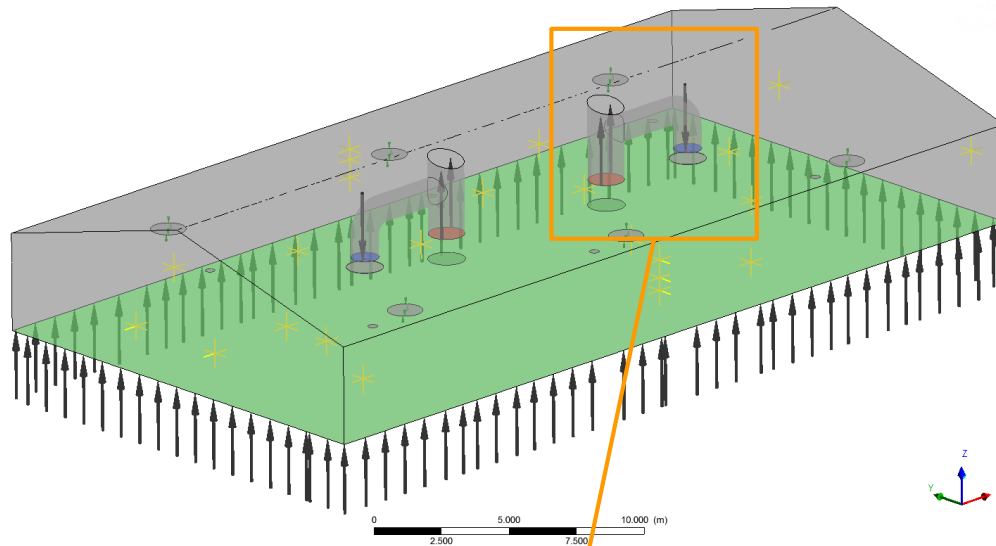
Zusammenfassung / Fazit

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 & CO₂ (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 CO₂ 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 CO₂-Ausstosses der Hühner [3]:

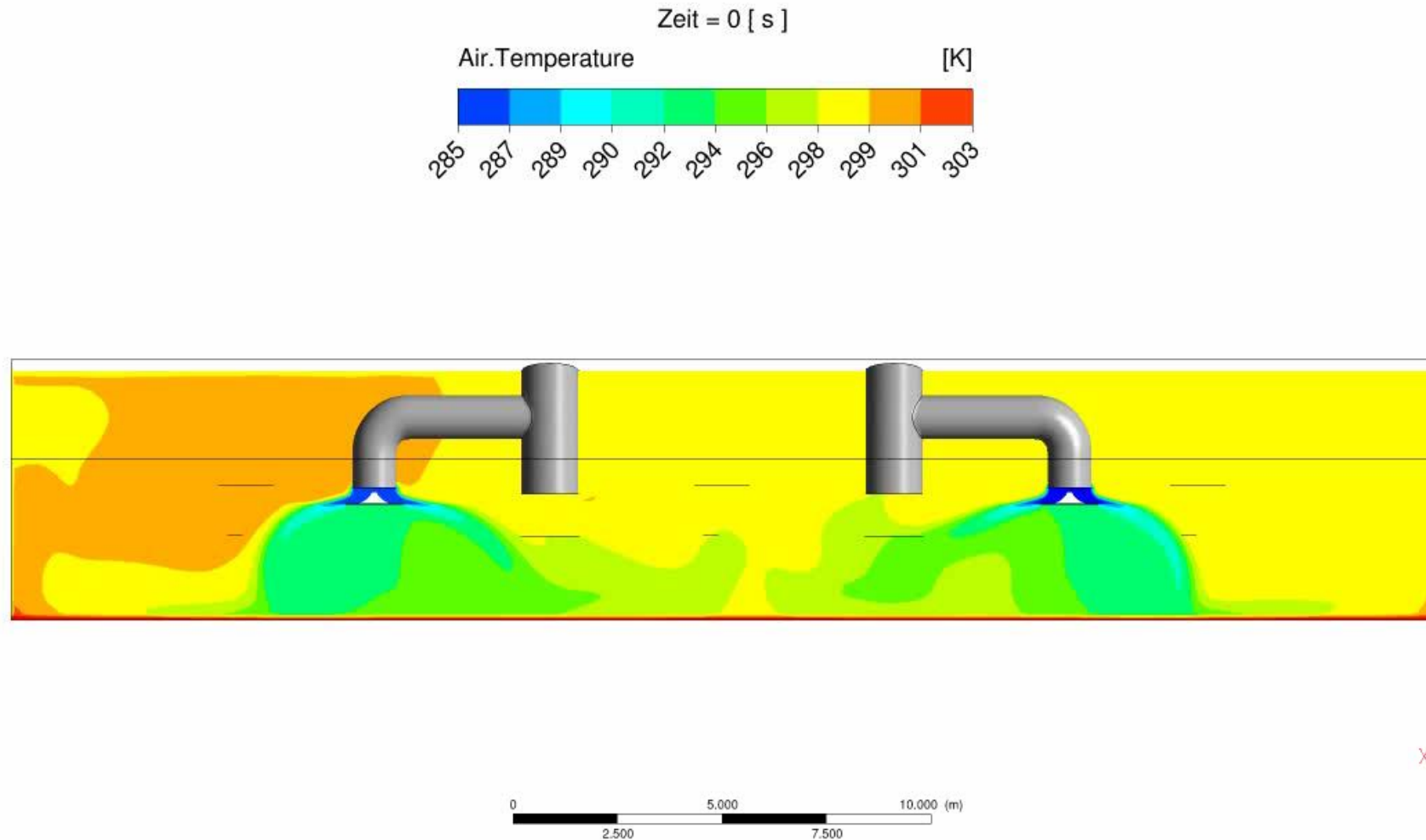
$$\dot{m}_{CO_2} = \dot{Q} \cdot 1.85 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_{CO_2}$$

- \dot{m}_{CO_2} = Massenstrom CO₂ [kg/h]
- \dot{Q} = Abgegebener Wärmestrom der Hühner [W]
- ρ_{CO_2} = Dichte CO₂ bei Körpertemperatur der Hühner [kg/m³]

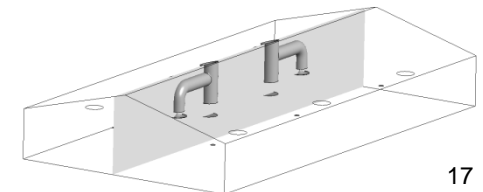
[2] S. Pedersen et al., Climization of Animal House. Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsen, Denmark, 2002.

[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

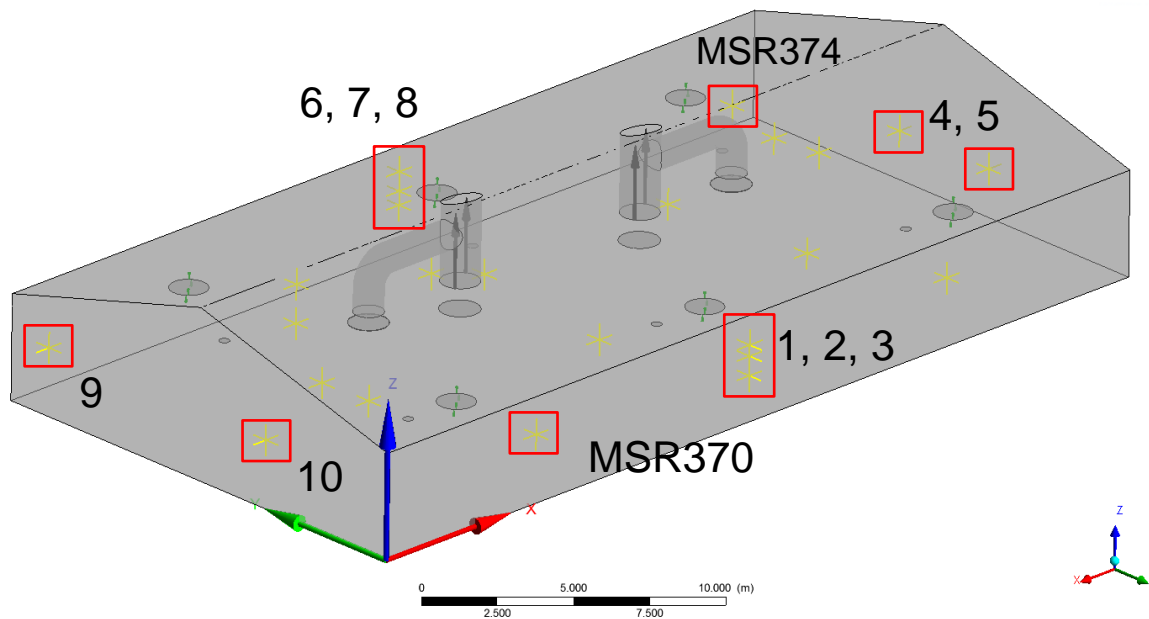


- Durchschnittstemperatur im Stall beträgt 25.4 °C
- Kurzschlusseffekte Ein- / Auslass kleiner



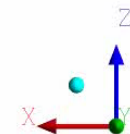
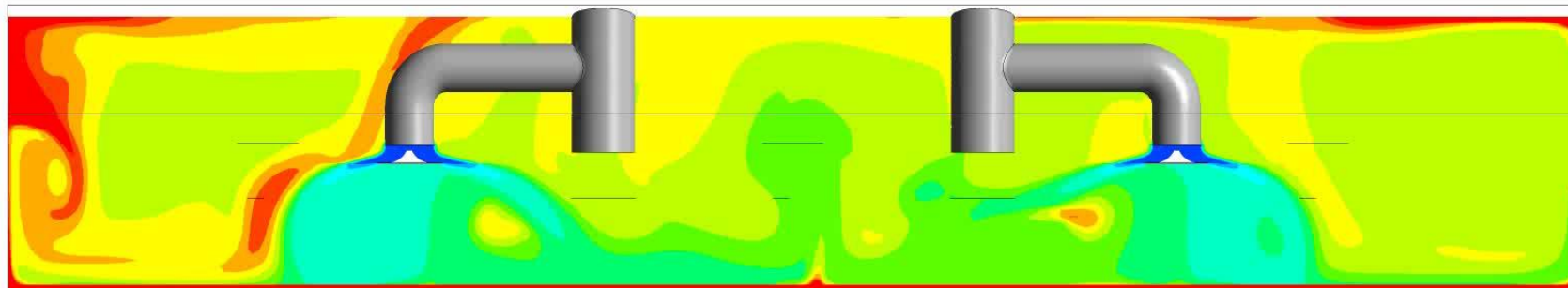
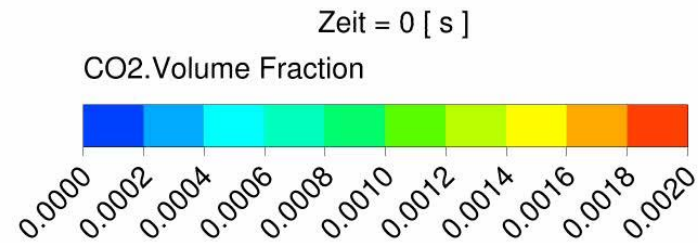
Resultate Komplettsimulation Temperaturverteilung

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

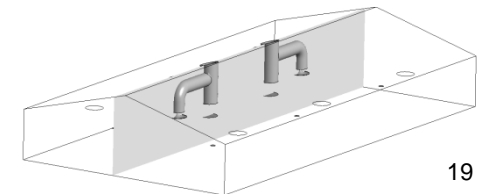


Messort	Temperatur (Stall gemessen) [°C]	Temperatur (Stall simuliert) [°C]	rel. Abweichung [%]
MSR370	25.12	25.33	0.87
MSR374	25.09	25.51	1.66
Temp1	25.33	26.01	2.68
Temp2	23.14	26.10	12.78
Temp3	23.27	26.37	13.34
Temp4	25.15	26.05	3.57
Temp5	25.20	25.64	1.75
Temp6	24.93	25.21	1.12
Temp7	23.06	25.37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

Resultate Komplettsimulation CO₂-Verteilung

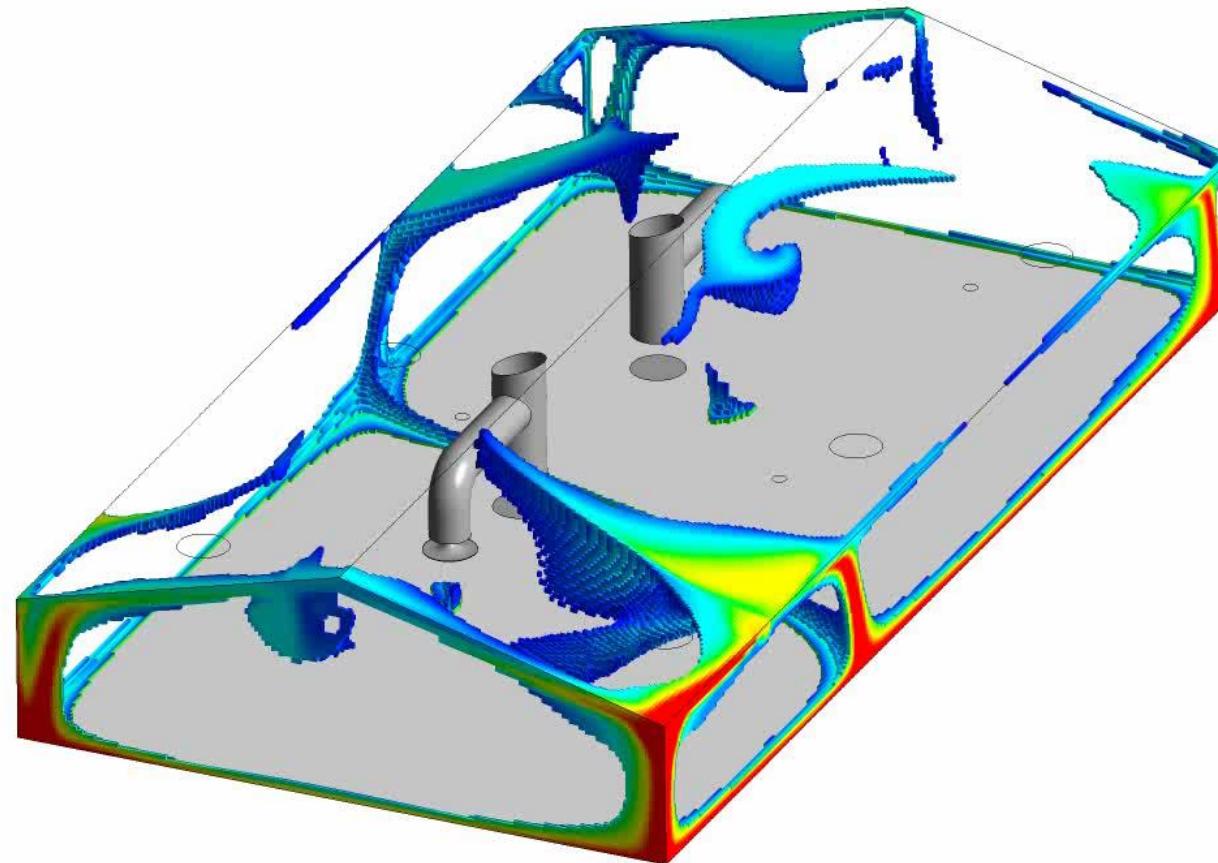
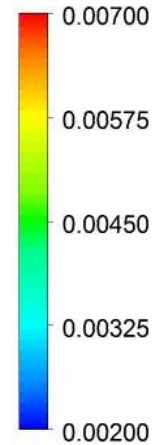


- Mittlere CO₂-Konzentration im ganzen Stall: ca. 1882 ppmv
- Hohe Konzentrationen an den Stallwänden und der Decke



Resultate Komplettsimulation CO₂-Verteilung

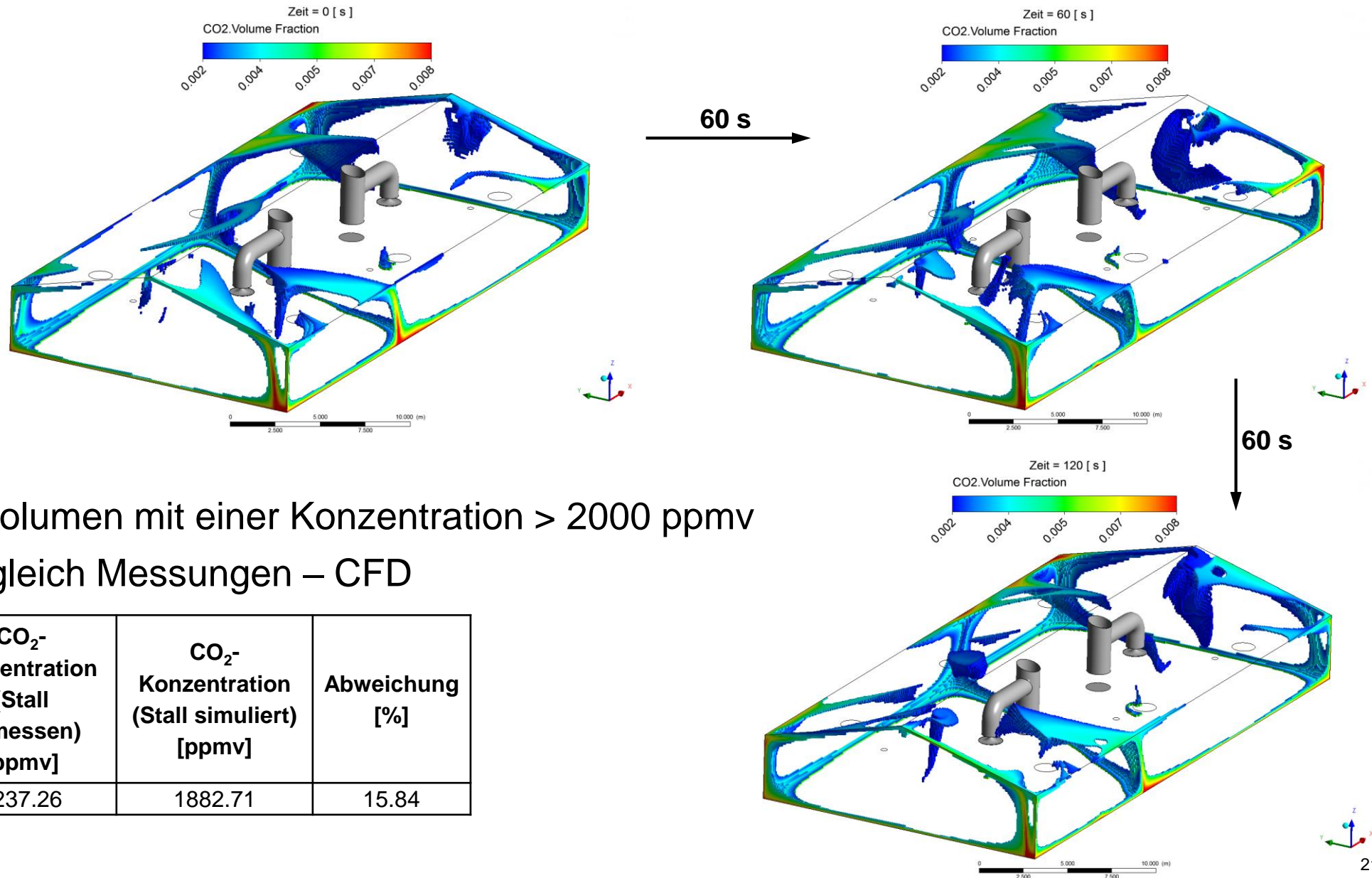
CO₂ Volume Fraction
CO₂



Zeit = 0 [s]

- Isovolumen mit CO₂-Konzentration über 2000 ppmv
- Hohe Konzentrationen an den Stallwänden und der Decke

Resultate Komplettsimulation CO₂-Verteilung



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

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

Zusammenfassung / Fazit Komplettsimulation

- Thermische Simulation
- 2-Komponenten Strömung mit Luft und CO₂
- Instationäre Strömung mit kleinen Fluktuationen
- Tiefe Strömungsgeschwindigkeiten im Raum
- Durchschnittstemperaturen im Raum ca. 25 °C
 - Simulationsdaten stimmen gut mit Messwerten überein
- Plausible CO₂-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?