

Raumströmung bei instationärem Betrieb von RLT-Anlagen

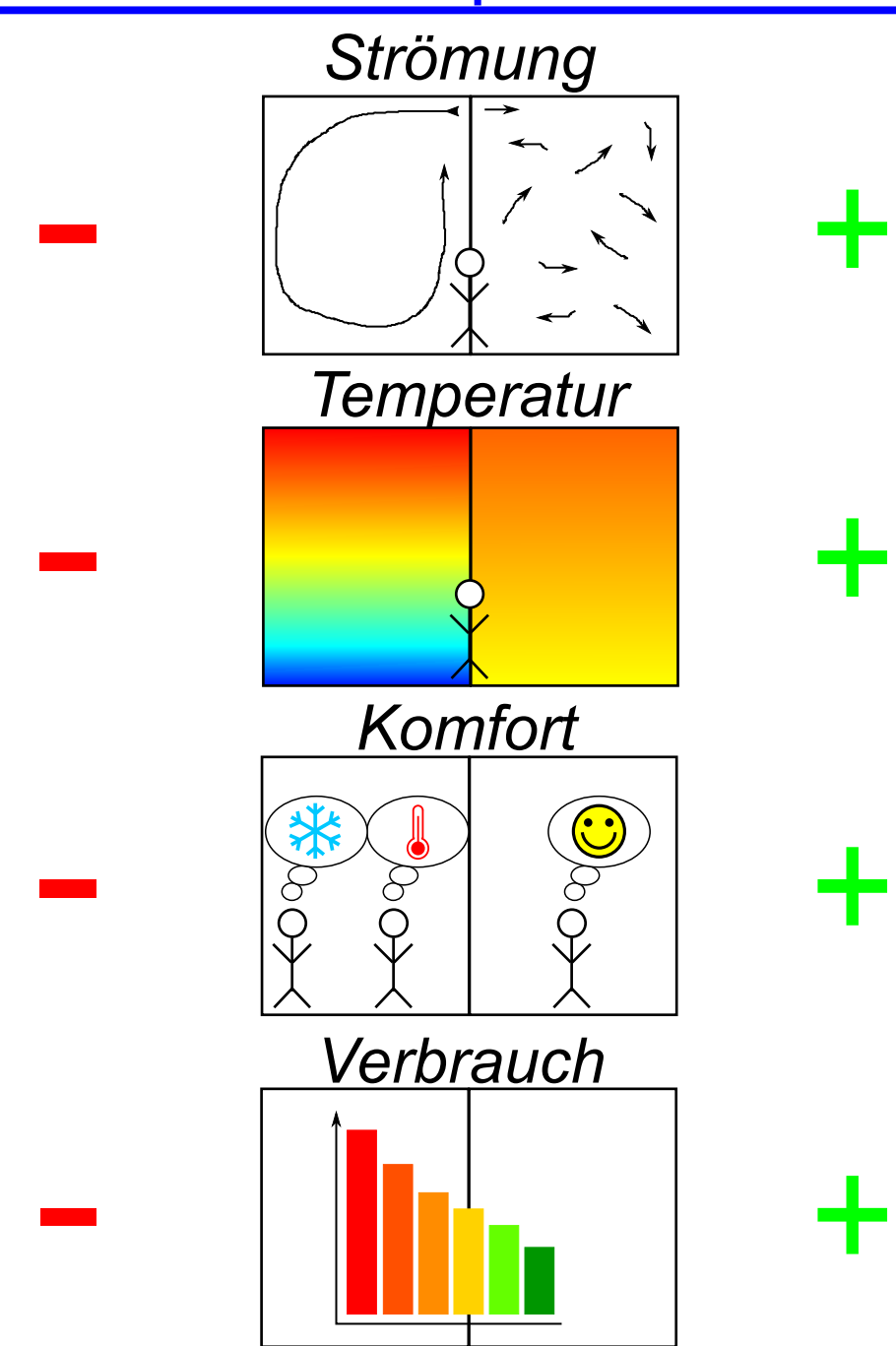
Experimentelle und numerische Untersuchungen mit PIV und CFD

Eva Mesenhöller; Steffen Jacobs; Peter Vennemann

Hintergrund

Stationär

Instationär



Steigende Bedeutung von RLT-Anlagen

- dichtere Bauweise & bessere Dämmung
- Klimawandel: höhere Außentemperaturen
- Luftqualität & Schadstoffentfernung

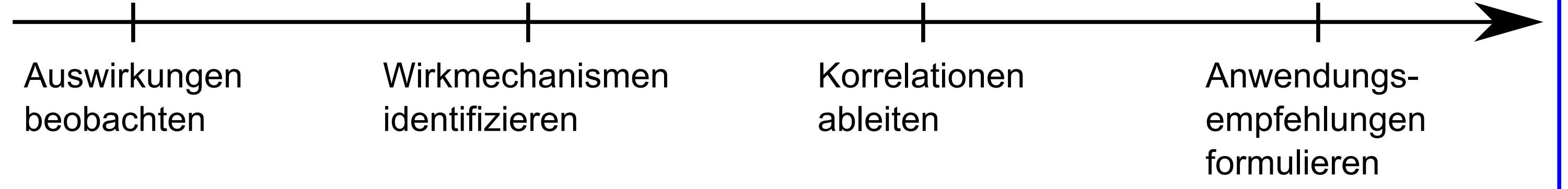
Energie & RLT-Anlagen

- ca. 4 % Anteil am dt. Stromverbrauch
- Energiebedarf durch RLT-Anlagen steigt

Instationärer Betrieb

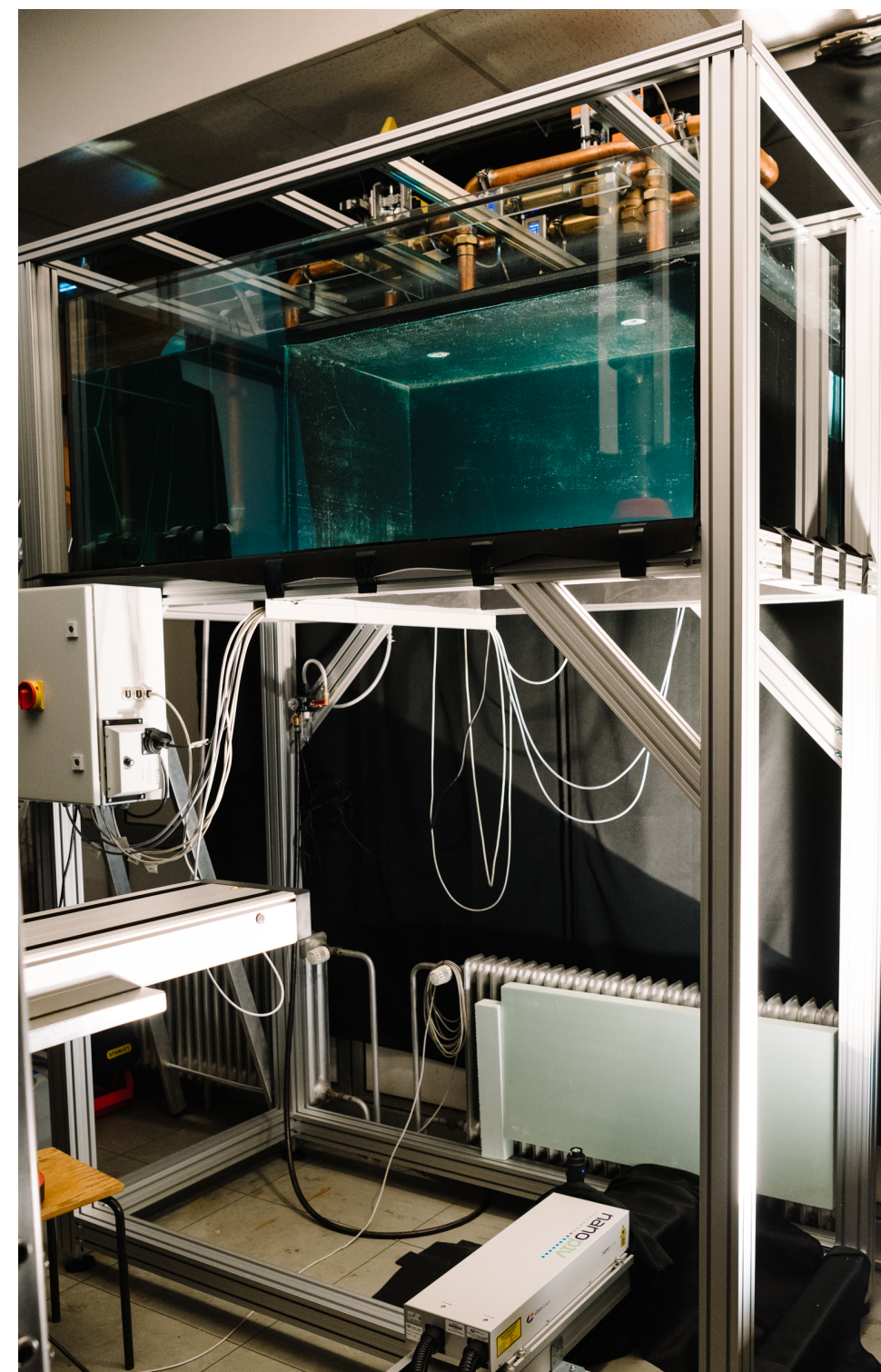
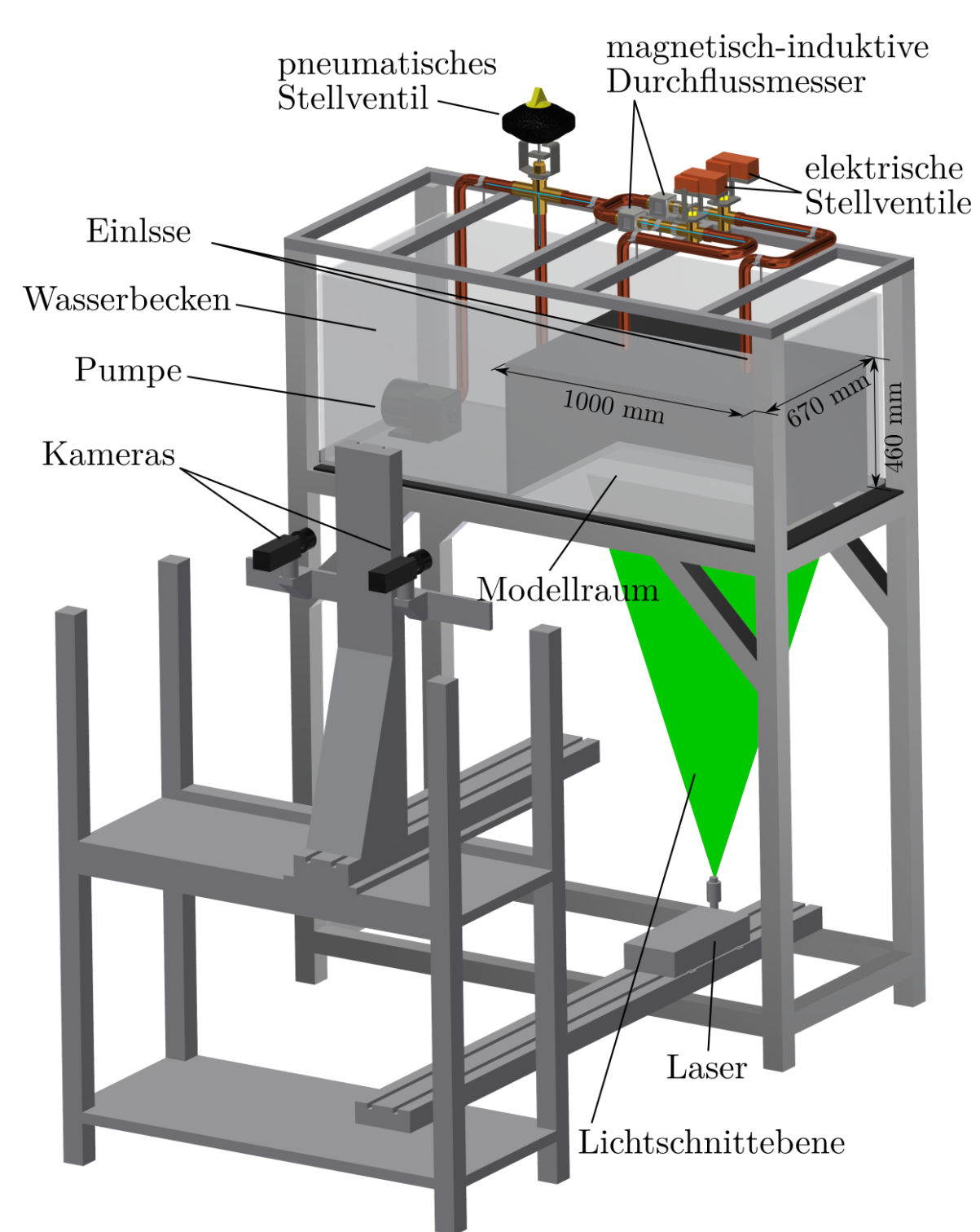
- unbekannte Wirkmechanismen
- fehlende Planungsgrundlagen

Ziele



- Ableitung funktionaler Zusammenhänge zwischen Lüftungsparametern & Strömungsgrößen
 - Identifikation von Wirkmechanismen (z. B. Wirbeleigenschaften [1])
 - Parametrierung der Signalform (Offset, Amplitude, Periode, Typ)
-
- Entwicklung von Dimensionierungsgrundlagen & Anwendungsempfehlungen
 - Ableitung sinnvoller Simulationsparameter und -modelle

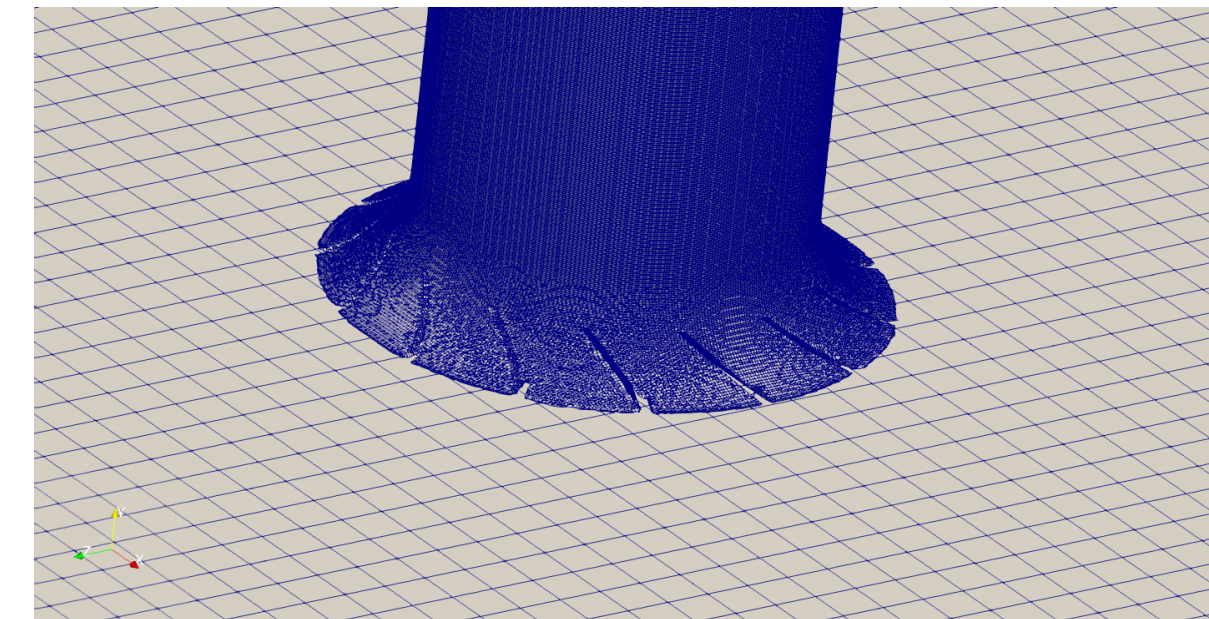
Methodik



Experimentelle Untersuchungen mit Particle Image Velocimetry (PIV)

- Reynolds-skaliertes Modell des realen RLT-Prüfraums
- Untersuchung grundlegender Strömungsstrukturen ohne thermischen Einfluss
- Vergleich stationär / instationär bei drei verschiedenen Luftwechseln (LW)
- Variation von Signalform, Amplitude, Periodendauer & Auslaststyp

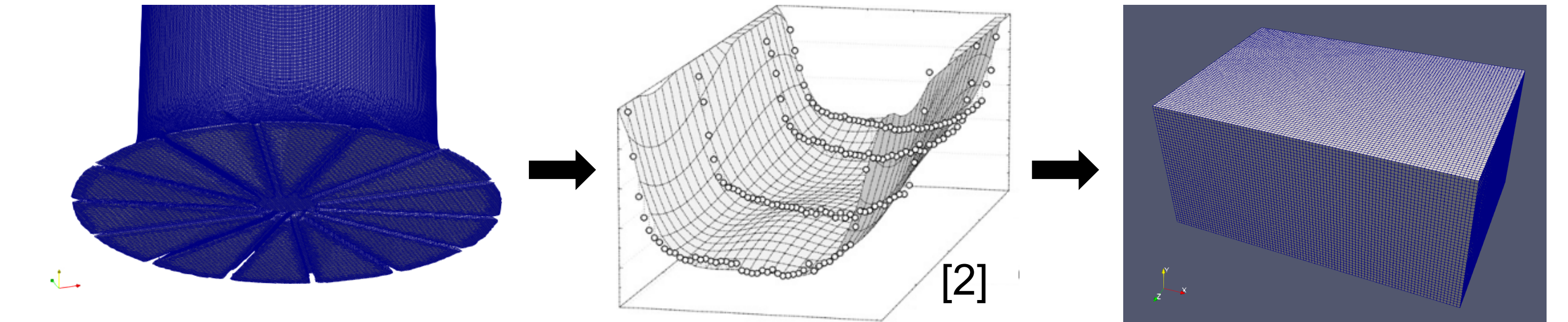
Numerische Untersuchungen (CFD) mit OpenFOAM



Herausforderung: große Skalenunterschiede zwischen Auslass und Raum
→ stark heterogene Zellgrößen im Gitter

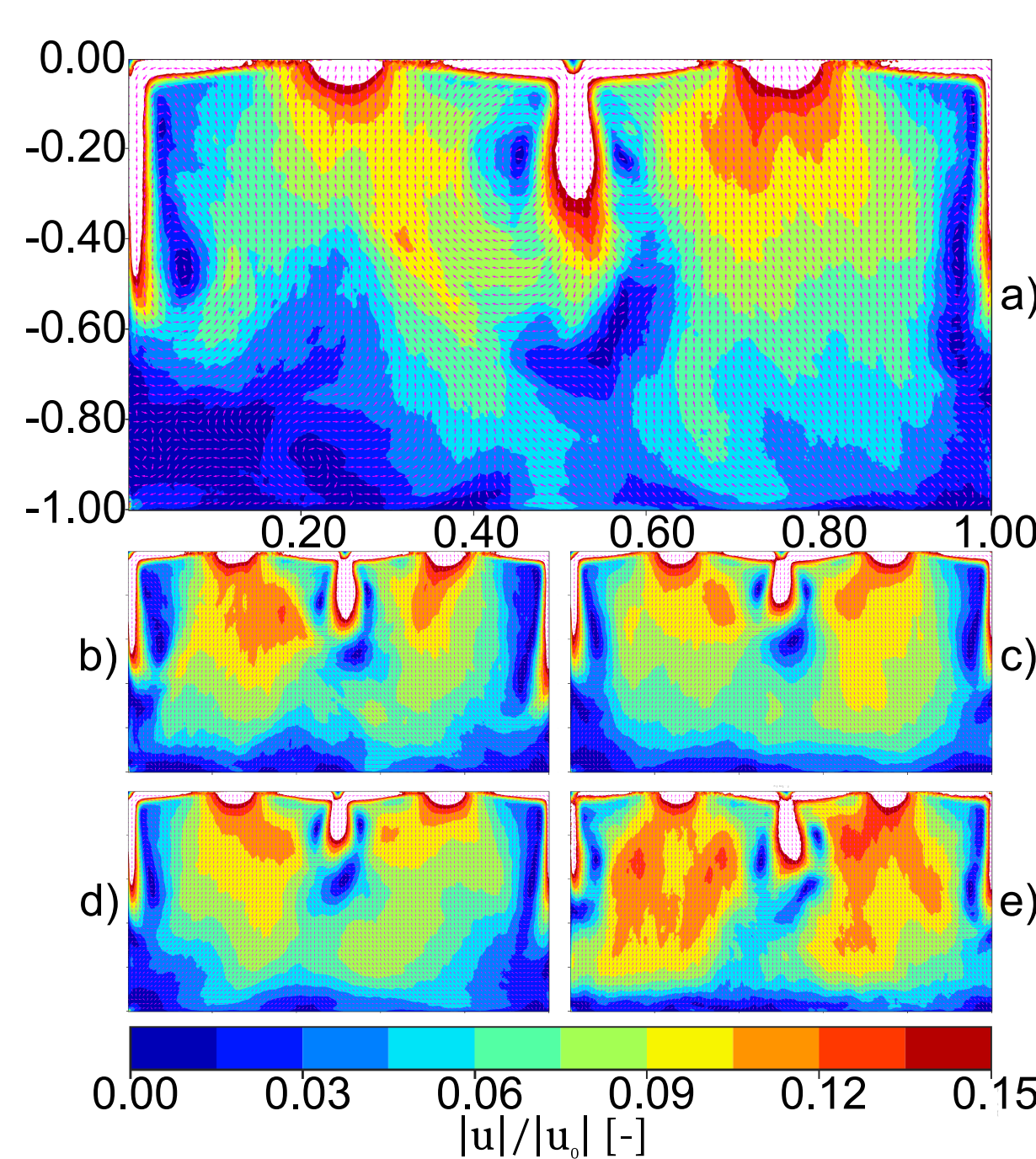
Lösungsansatz: Micro-Macro-Level-Approach (MMLA)

→ getrennte Simulation von Düse & Raum, Datenübergabe per Mapping



- ideal: zeitaufgelöste Simulationsmethodik – Detached Eddy Simulation (DES)
→ sehr ressourcenintensiv
- praxisnah: Reynolds Average Navier-Stokes (RANS)-Ansatz mit Wirbelviskositätsmodell für Parameterstudie; Reynolds-Spannungsmodell (RSM) für Detailuntersuchungen

Ergebnisse



Auswirkungen instationärer Betriebsweisen in gemittelten Geschwindigkeitsfeldern:

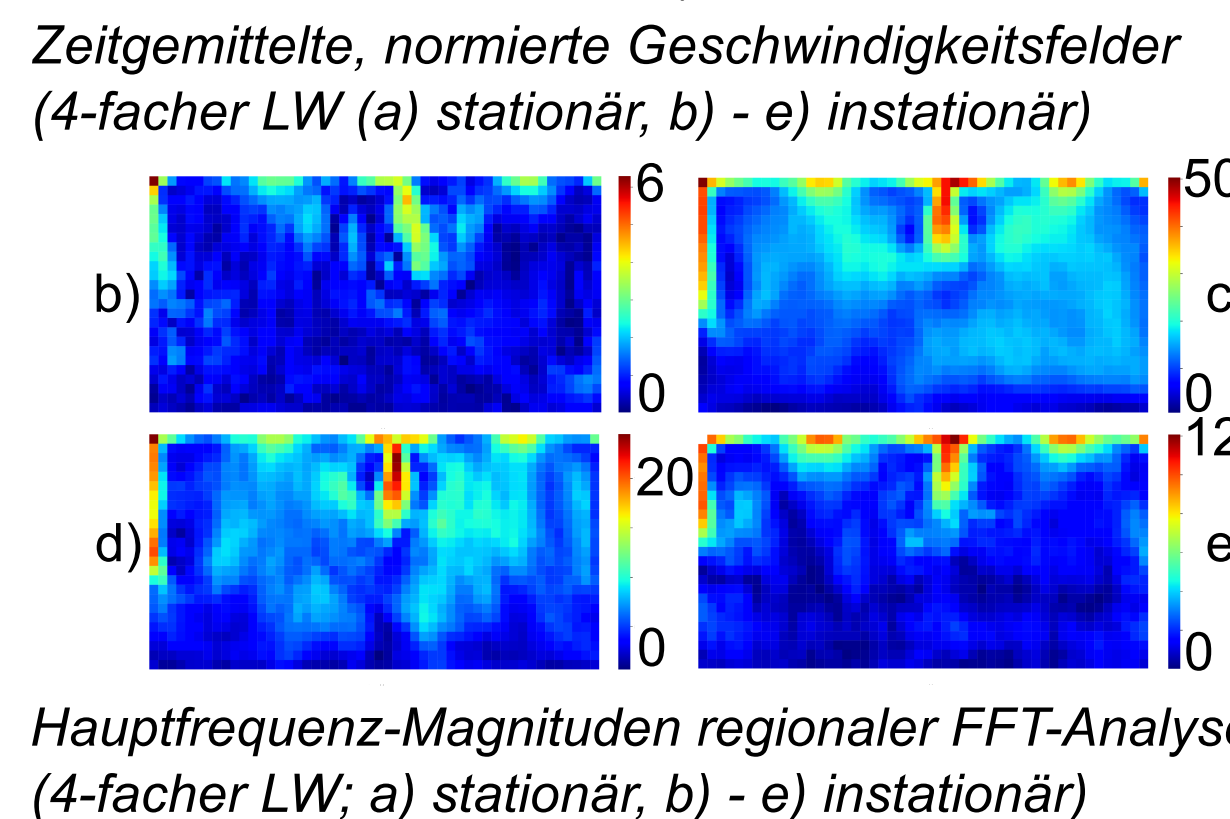
- mittlere Geschwindigkeiten ↑
- Verteilungsbreite der Geschwindigkeiten ↓
- Bereiche geringer Geschwindigkeiten ↓

FFT-Analyse gesamtes Geschwindigkeitsfeld:

- Volumenstrom-Variation: Hauptfrequenz
- Periodendauer konstant:
↑ FFT-Magnitude für ↑ Amplitude
- Luftwechsel konstant:
↑ FFT-Magnitude für ↑ Periodendauer

FFT-Analyse regionaler Geschwindigkeiten:

- Hauptfrequenz beeinflusst Aufenthaltsbereich
- ↑ FFT-Magnitude für ↑ Periodendauer

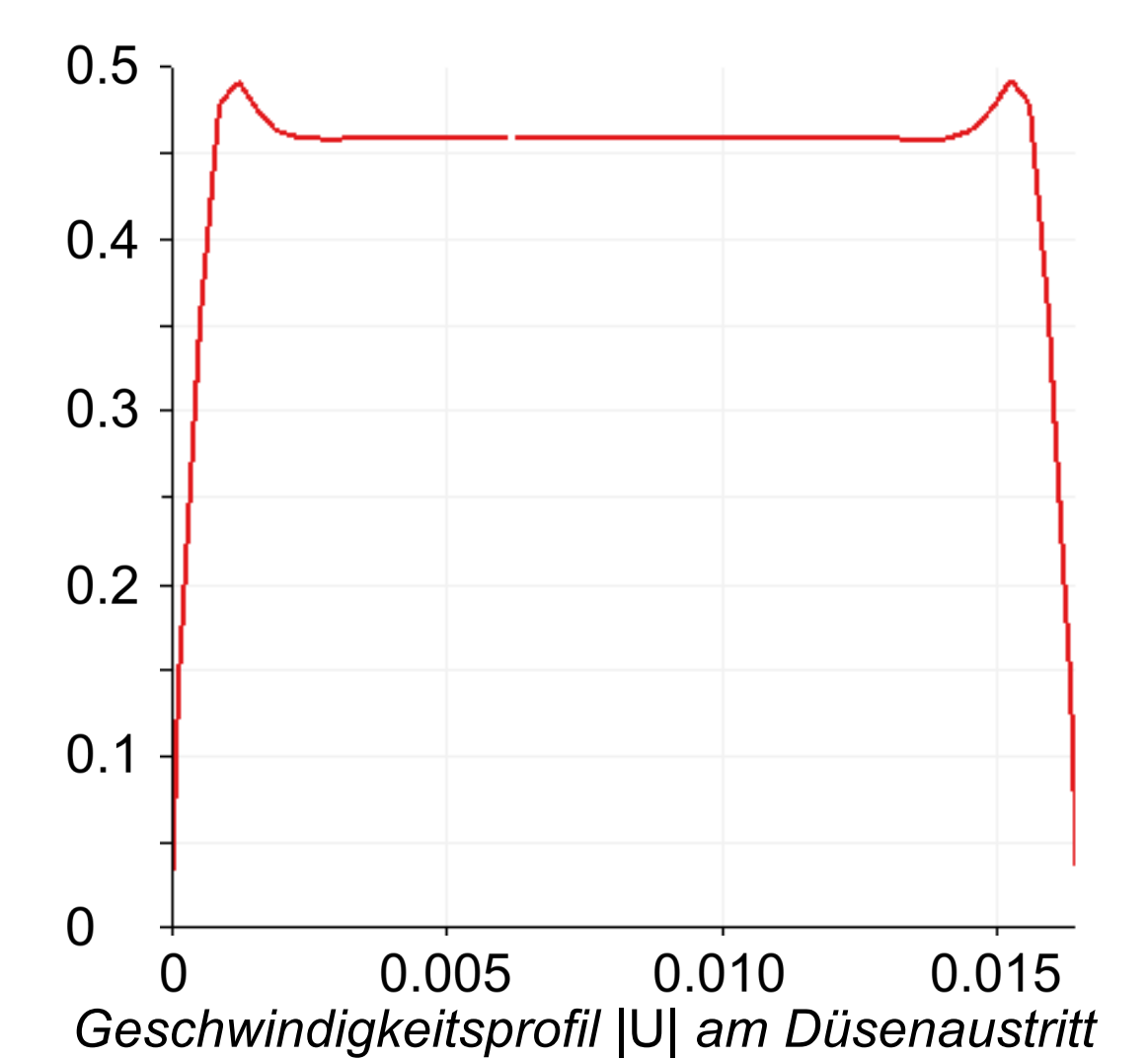
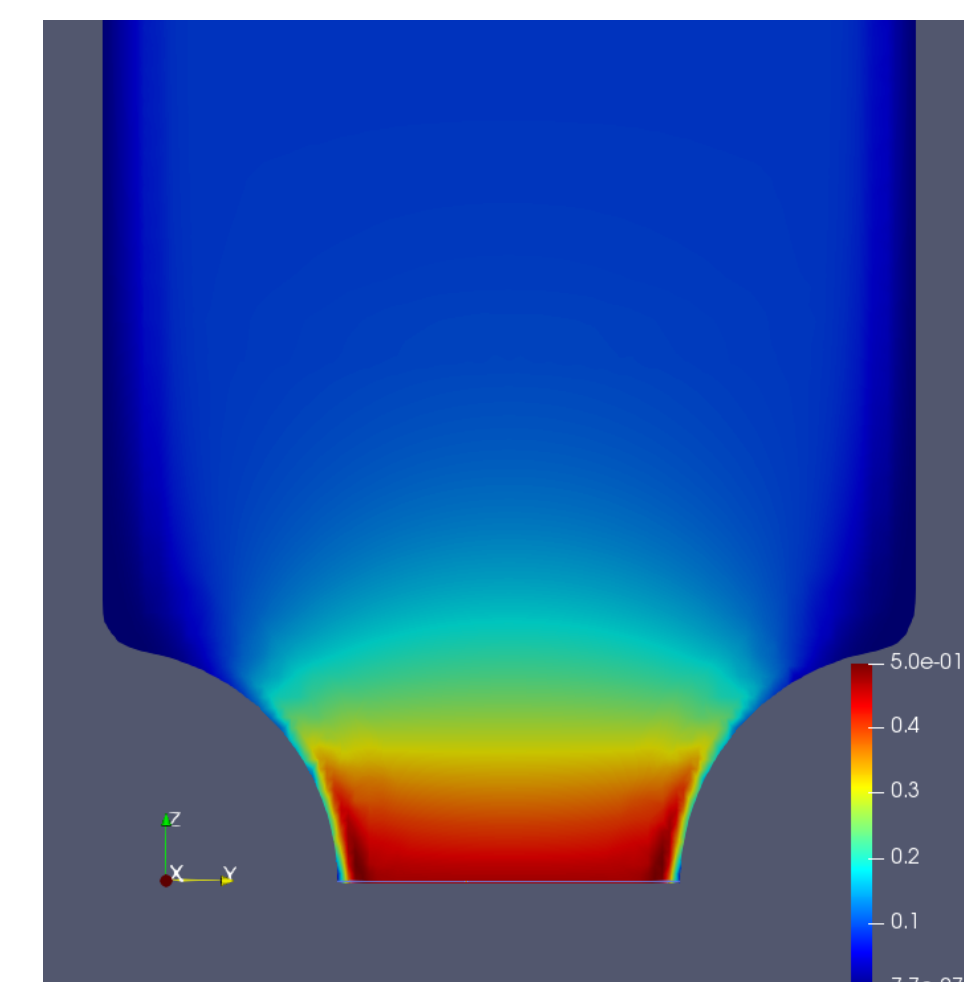


Numerisches Gitter:

- Rechengitter beeinflusst die Simulationszeit direkt über die CFL-Bedingung
→ Gitter so grob wie möglich und so fein wie nötig
- Gitterentwicklung für Drallauslass schwierig aufgrund feiner Strukturen & scharfer Kanten

Simulationsergebnisse:

- Strömung in der Düse wird in Wandnähe stärker beschleunigt
→ Effekt wurde auch auf dem deutschen Luft- und Raumfahrtkongress [3] präsentiert



Ausblick

- Parameterstudien & Detailsimulationen mittels CFD-Simulationen
- Auswirkungen unter nicht-isothermen Bedingungen (Heizfall, Kühlfall)
- Untersuchung gegenläufiger Zuluftströme, ungleich langer Perioden, etc.

Quellen

- [1] Fallenius BEG., Sattari A., Fransson, JHM., Sandberg M. *Experimental study on the effect of pulsating inflow to an enclosure for improved mixing*. Int J Heat Fluid Flow. 2013; 44: 108-119.
- [2] Cehlin M., Moshfegh B. *Numerical modeling of a complex diffuser in a room with displacement ventilation*. Build Environ. 2010; 45(10): 2240-2252.
- [3] Send W. *Geschwindigkeit eines Windkanals nach Betz mit Lasertriangulation - vergleichende Messungen*. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal-Oberth e.V.. 2021.