



HyMeAS

Entwicklung von simulationsgestützten Detektionsverfahren von Wasserstoffaustritt in geschlossenen Räumen”

Auftraggeber:

BMWE

Projektleiter:

Dr. Catrin Bludszuweit-Philipp

Bearbeiter:

Dr. Catrin Bludszuweit-Philipp

Datum:

29.01.2026

Version:

V1.0

Ziele des Teilvorhabens

Ziele des Teilvorhabens

Erkenntnisse zu Ausbreitungs- und Mischungsvorgängen von Wasserstoff

- **Simulationen** können neben Messungen helfen, diese **Prozesse besser zu verstehen**
- Dies betrifft insbesondere **Abhängigkeiten und Wechselwirkungen** mit anderen **Einflussgrößen**

Effiziente Vorbereitung und Optimierung der Experimente

- Simulationen zur **vorab-Analyse** der Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge in Meßräumen
- **Vorhersage** verschiedener Szenarien

Validierung der Simulationsmodelle mit Messdaten

- **Feedback von Messungen** an Simulationen
- **Validierung und Weiterentwicklung** der Simulationsmodelle für **realitätsnahe Modellierungen**

Methodenentwicklung zur Ortung und Mengenbestimmung der Wasserstoff-Leakage

- Entwicklung einer neuartigen Methode für **simulationsgestützte „Rückverfolgung“** des ausgetretenen Wasserstoffs
- Rückschlüsse **auf Mengen des freigesetzten Gases** und **Ortung** anhand von **Messdaten** im Raum

Vorversuche zum Ausbreitungsverhalten von Wasserstoff

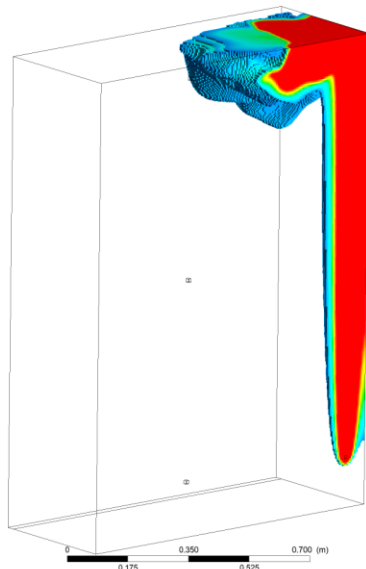
1. Versuchskammer GTE

Strömungssimulation Testkammer

- Dimensionen entsprechend Vorgaben von GTE
- Einströmung von 100% Wasserstoff “unten rechts”
- Wärmequelle der Sensoren (3 x 1W)
- Annahme: ideales Gas (Dichteabhängigkeit von Druck und Temperatur)

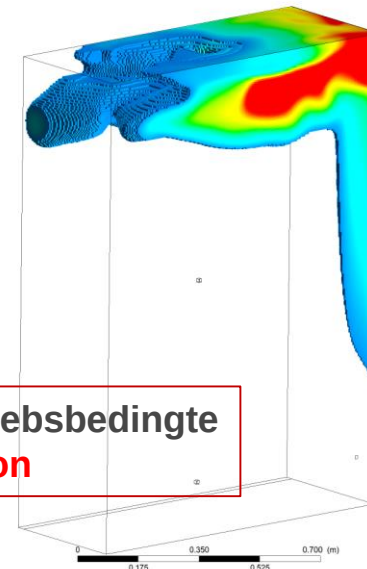
Ausbreitung Wasserstoff

H2.Mass Concentration
Volume 1
1.000e-04
7.500e-05
5.000e-05
2.500e-05
0.000e+00
[kg m⁻³]



t1

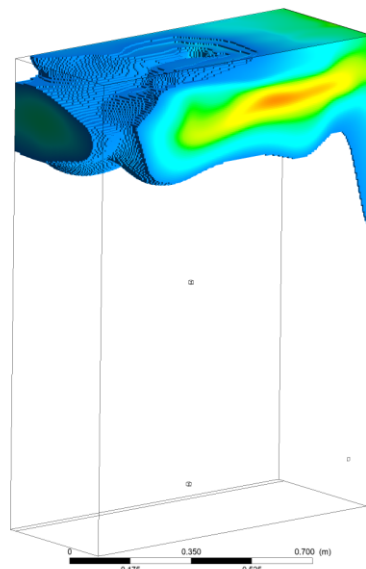
H2.Mass Concentration
Volume 1
1.000e-04
7.500e-05
5.000e-05
2.500e-05
0.000e+00
[kg m⁻³]



t2

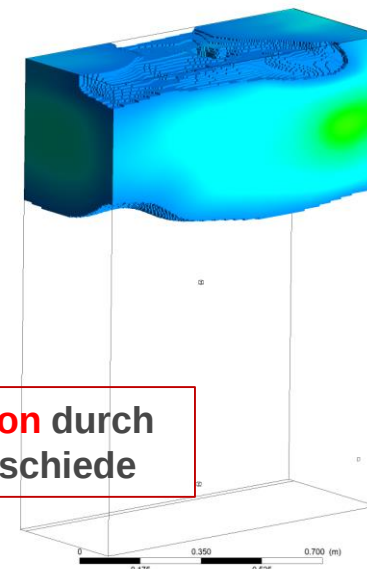
→ vorwiegend auftriebsbedingte
Konvektion

H2.Mass Concentration
Volume 1
1.000e-04
7.500e-05
5.000e-05
2.500e-05
0.000e+00
[kg m⁻³]



t3

H2.Mass Concentration
Volume 1
1.000e-04
7.500e-05
5.000e-05
2.500e-05
0.000e+00
[kg m⁻³]



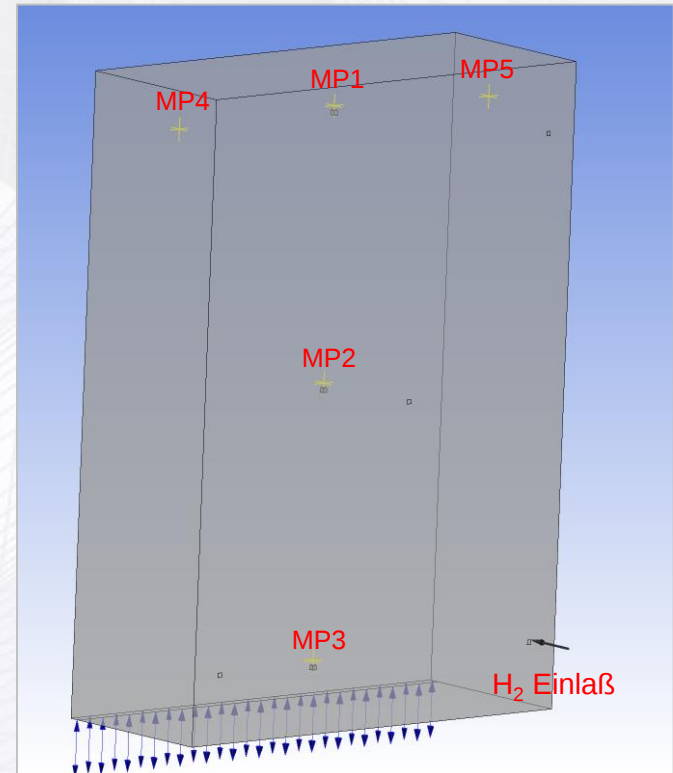
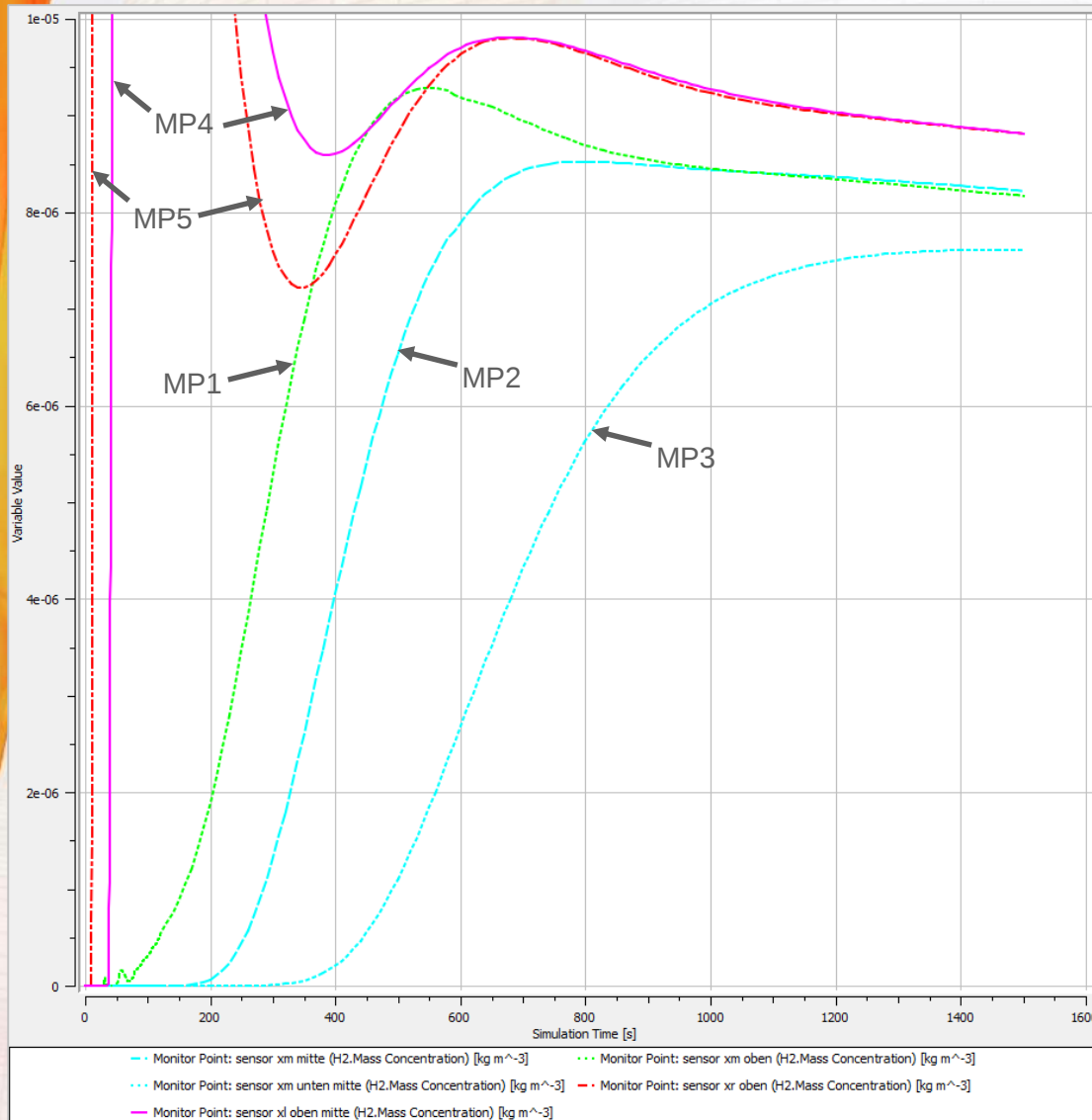
t4

→ vorwiegend **Diffusion** durch
Konzentrationsunterschiede

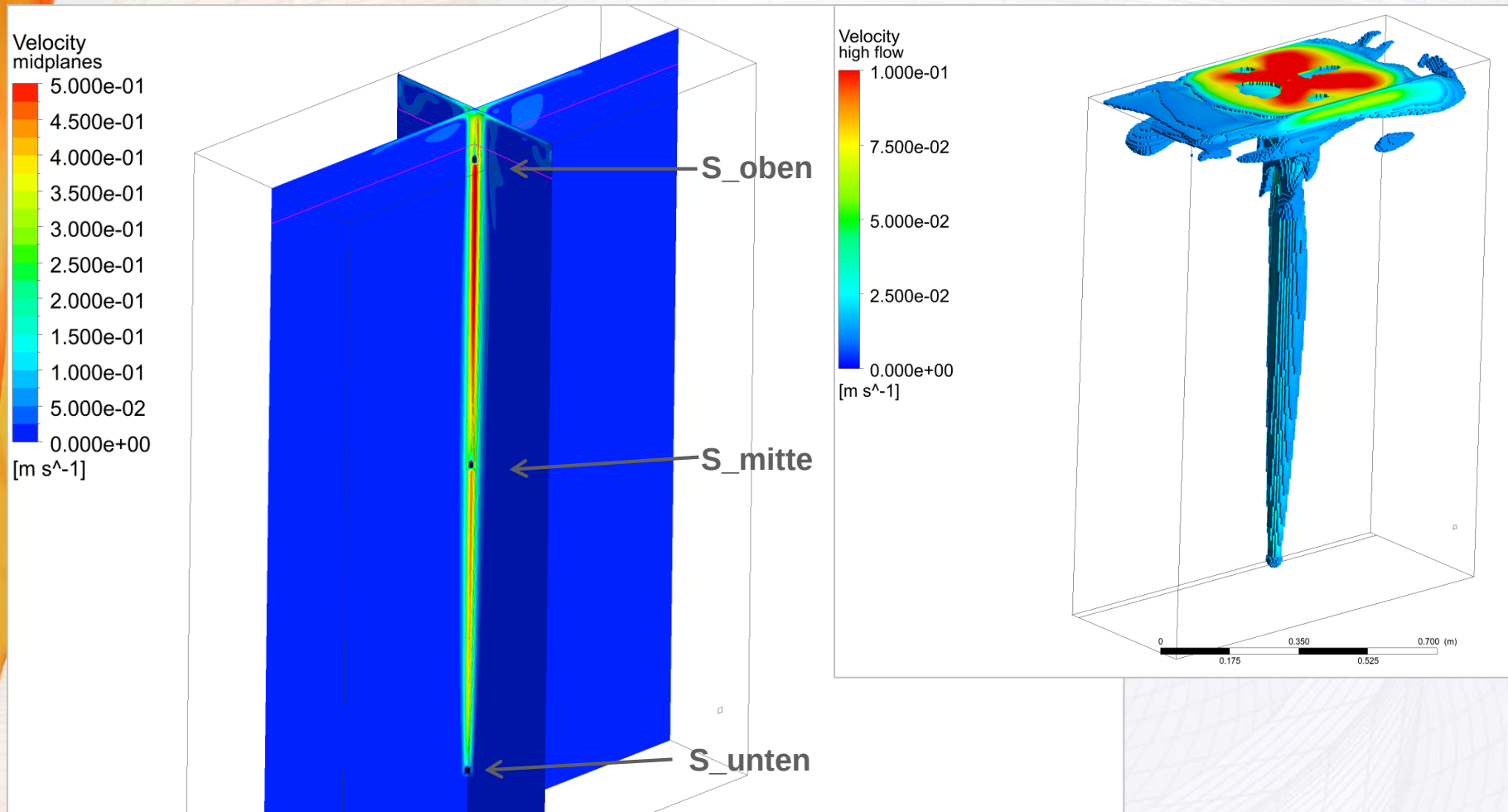
Ausbreitung Wasserstoff



→ Zeitliche Ausbreitung von Wasserstoff an einzelnen Monitor-Punkten

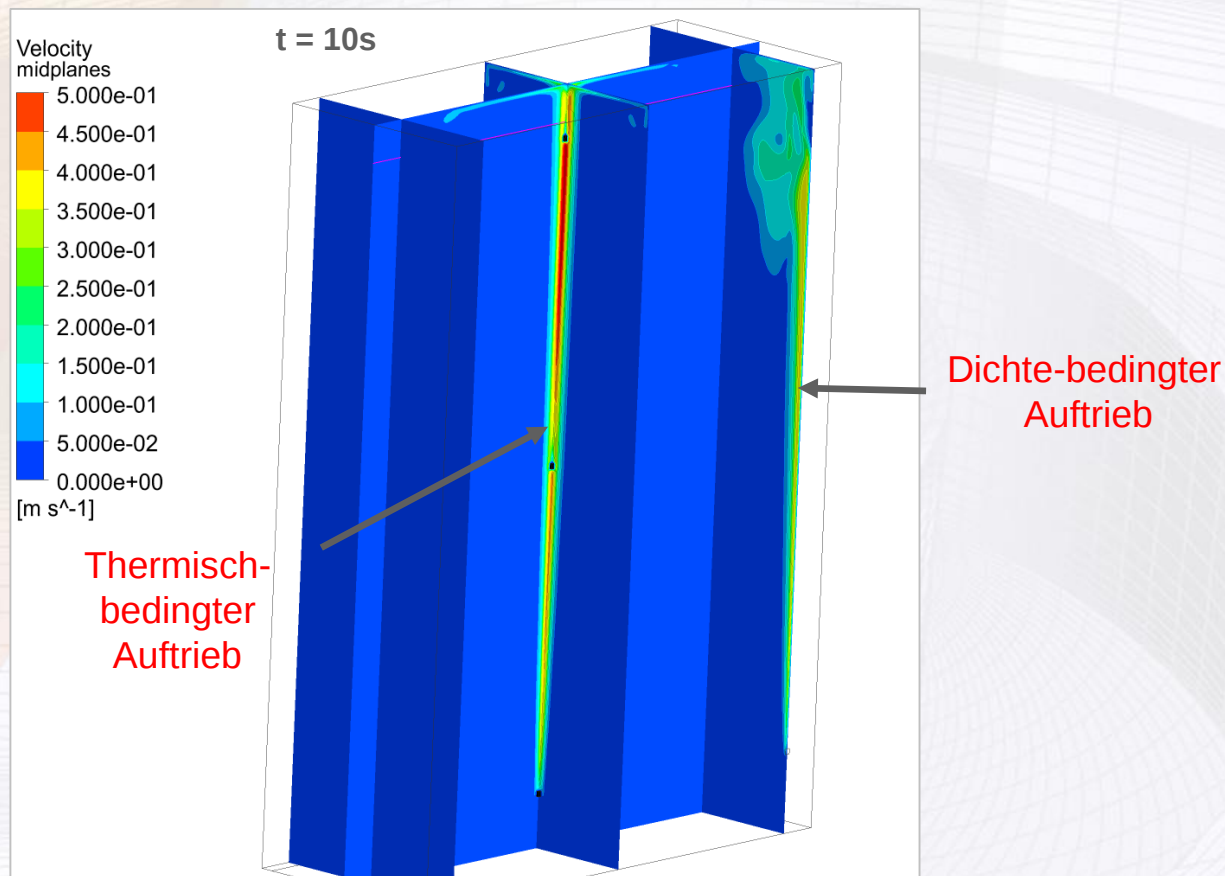


Thermische Konvektion



→ **Thermisch bedingter Auftrieb** infolge Wärmeabgabe von Sensoren

Geschwindigkeiten



→ **Thermisch bedingte Auftriebsgeschwindigkeiten** infolge Wärmeabgabe von Sensoren relativ konstant über Meßzeitraum

→ **Dichte-bedingte Auftriebsgeschwindigkeiten** nur relevant während H₂ Einblasung, geringfügig kleiner als thermisch-bedingte Geschwindigkeiten

Schlussfolgerungen

- **Schnelle Konvektion infolge großer Dichteunterschiede (dominant während Einspritzung von Wasserstoff)**
- **Diffusion zum Konzentrationsausgleich (deutlich langsamer als Konvektion)**
- **Sensoren als Wärmequelle beeinflussen Luftgeschwindigkeit und Wasserstoffausbreitung infolge thermischer Konvektion**
- **Thermische Quellen und Luftströmungen beeinflussen Wasserstoffausbreitung deutlich**
- **Notwendigkeit genauer Randbedingungen für Simulation durch Temperatur- und Geschwindigkeitsmessungen**

Vorversuche zum Ausbreitungsverhalten von Wasserstoff

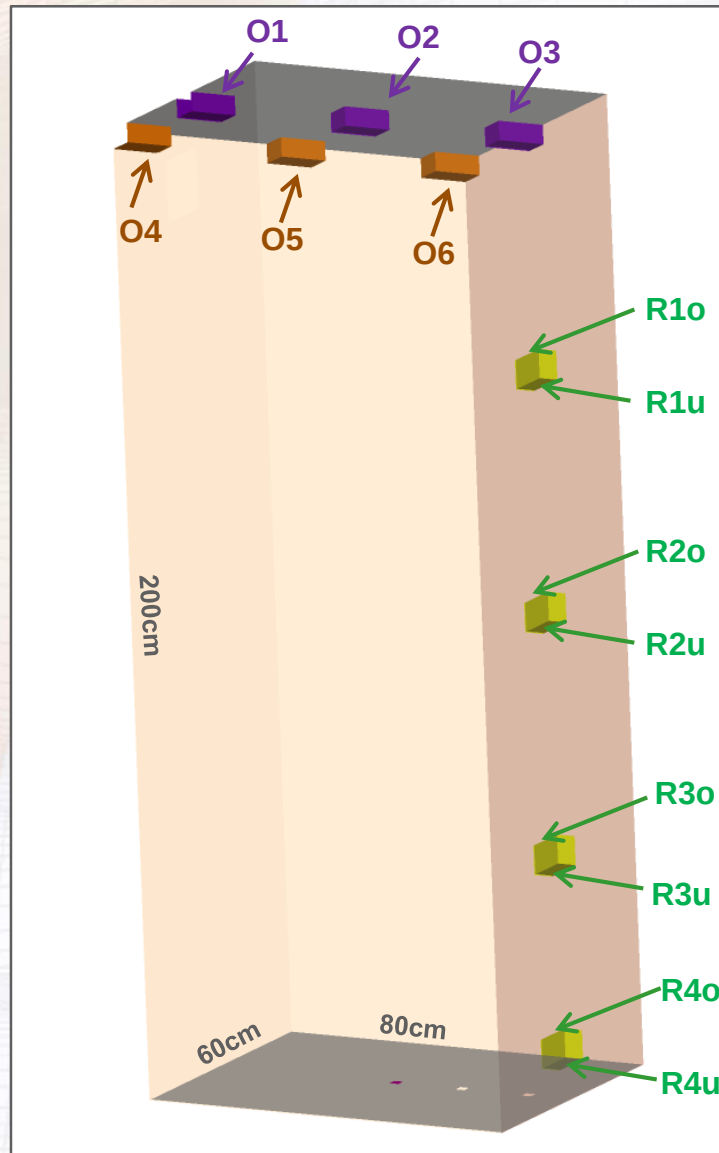
2. Meßraum HSW

Strömungssimulation Meßraum HSW

- Dimensionen des Meßraums: 0,8m x 0,6m x 2,0m
- Einströmung von 100% H₂ mit 20°C vom Raumboden (2x2cm) an 3 Orten:
 - 1) 40cm von rechts (Mitte)
 - 2) 25 cm von rechts
 - 3) 10 cm von rechts
- Annahmen: - ideales Gas (Dichteabhängigkeit von Druck und Temperatur)
- turbulente Strömung
- Volumenstrom des einströmenden H₂-Gases: 3 l/min (6 l/min) über 60s
- initiale Geschwindigkeit im Raum: 0 m/s; initiale Temperatur: 20°C
- Platzierung von H₂-Sensoren (Sensormaße: 6cm x 10cm x 4cm):
 - 6 Sensoren an der Raumdecke (O1 – O6)
 - 4 Sensoren an der rechten Wand auf unterschiedlichen Höhen (R1 – R4) mit Meßfühlern jeweils auf der Ober- und Unterseite
- Zusätzliches Einbringen von Strömungshindernissen in Raummitte auf verschiedenen Höhenebenen

Meßraum HSW

Sensoranordnung



6 H₂-Sensoren an Decke:

lange Mittellinie: O1 – O3

Hintere Kante: O4 – O6

4 H₂-Sensoren rechter Wand:

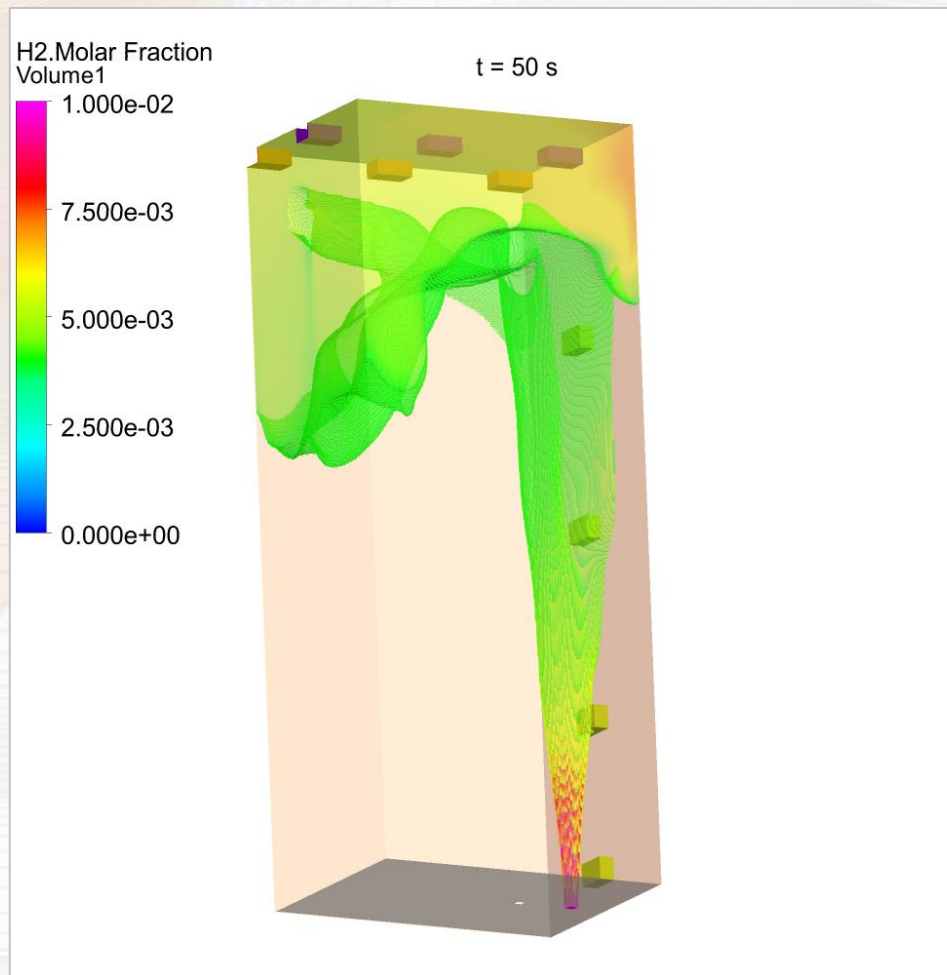
R1 – R4

an Oberseite (o)

an Unterseite (u)

Ausbreitung Wasserstoff

Zeitreihen in 5s - Schritten



Dargestellt sind Volumen mit molarer Wasserstoffkonzentration $> 0,4\%$ (400 ppm).

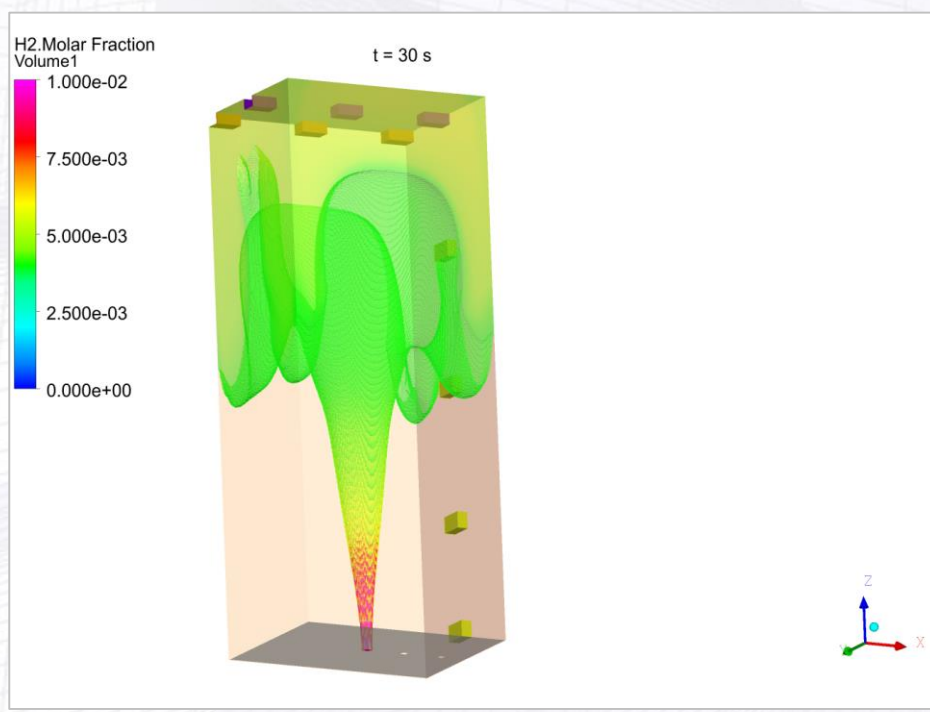
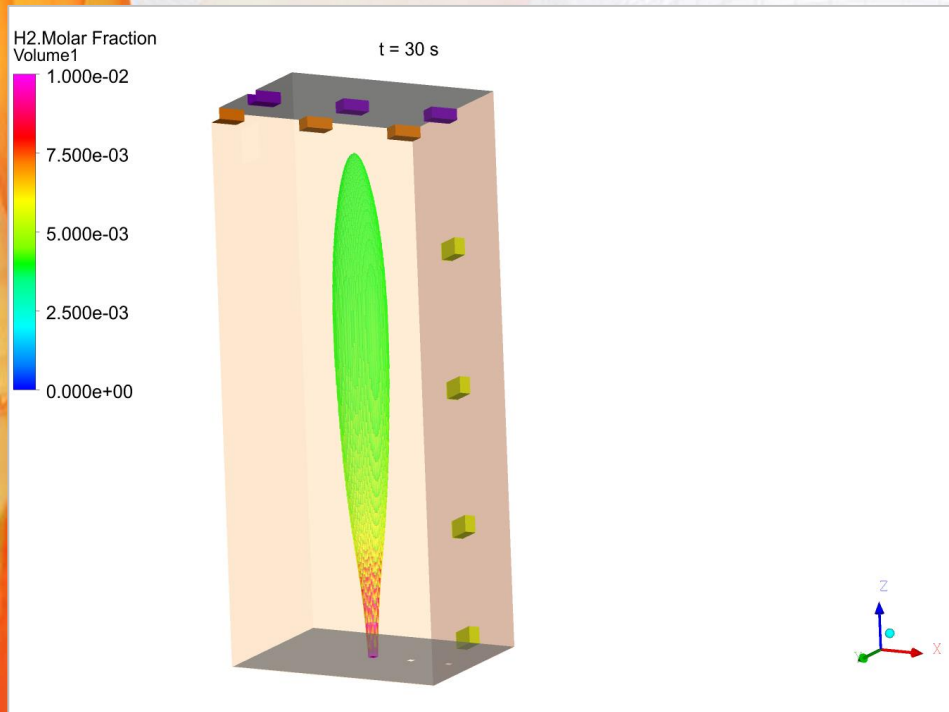
Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung Mitte nach 30s

3 l/min

vs.

6 l/min



Dargestellt sind Volumen mit molarer Wasserstoffkonzentration > 0,4%.

Ausbreitung Wasserstoff

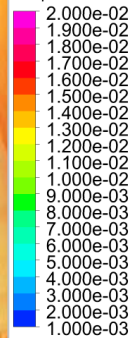
Einströmung Mitte nach 30s

3 l/min

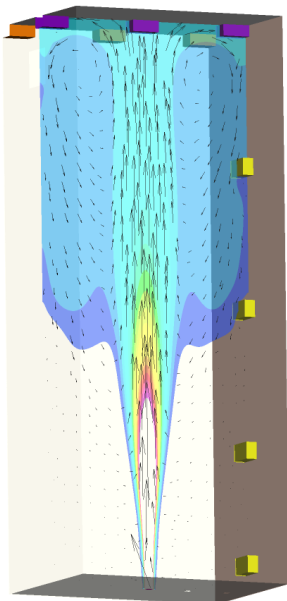
vs.

6 l/min

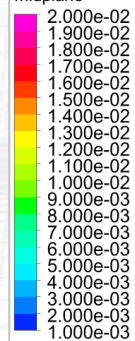
H2,Molar Fraction
midplane



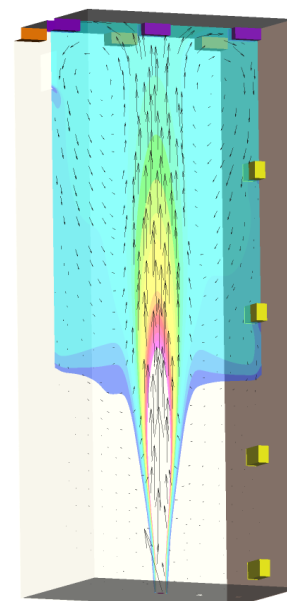
t = 30 s



H2,Molar Fraction
midplane



t = 30 s



Dargestellt sind Wasserstoffkonzentration (0,1% - 2,0%)
und Geschwindigkeitsvektoren.

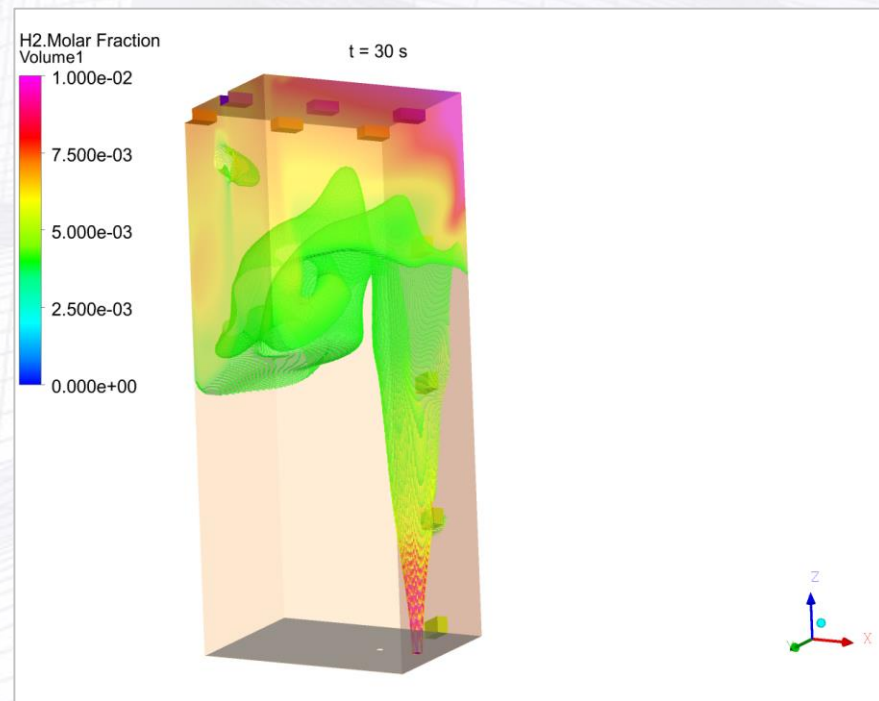
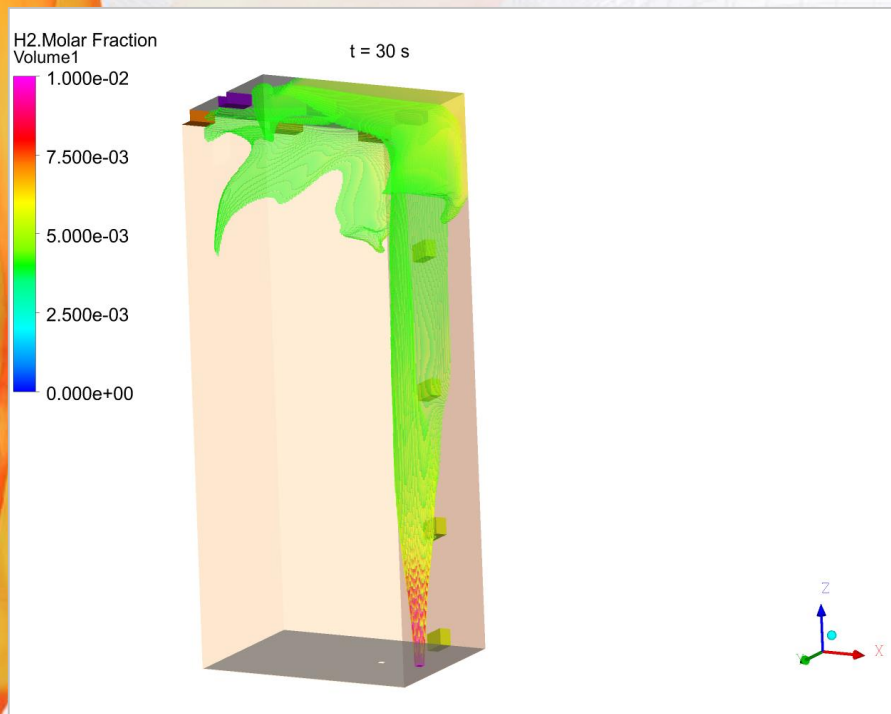
Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung 10cm rechts nach 30s

3 l/min

vs.

6 l/min



Dargestellt sind Volumen mit molarer Wasserstoffkonzentration > 0,4%.

Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung 10cm rechts nach 30s

3 l/min

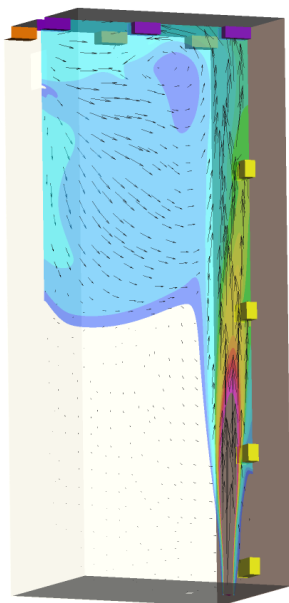
vs.

6 l/min

H2.Molar Fraction
midplane

2.000e-02
1.900e-02
1.800e-02
1.700e-02
1.600e-02
1.500e-02
1.400e-02
1.300e-02
1.200e-02
1.100e-02
1.000e-02
9.000e-03
8.000e-03
7.000e-03
6.000e-03
5.000e-03
4.000e-03
3.000e-03
2.000e-03
1.000e-03

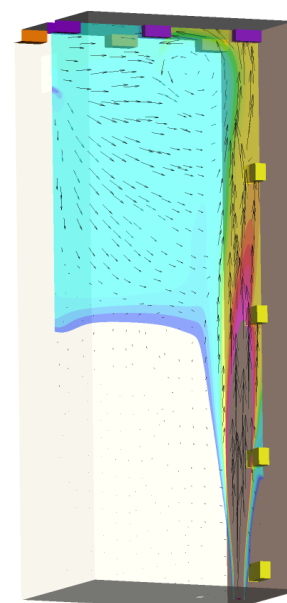
t = 30 s



H2.Molar Fraction
midplane

2.000e-02
1.900e-02
1.800e-02
1.700e-02
1.600e-02
1.500e-02
1.400e-02
1.300e-02
1.200e-02
1.100e-02
1.000e-02
9.000e-03
8.000e-03
7.000e-03
6.000e-03
5.000e-03
4.000e-03
3.000e-03
2.000e-03
1.000e-03

t = 30 s



Dargestellt sind Wasserstoffkonzentration (0,1% - 2,0%)
und Geschwindigkeitsvektoren.

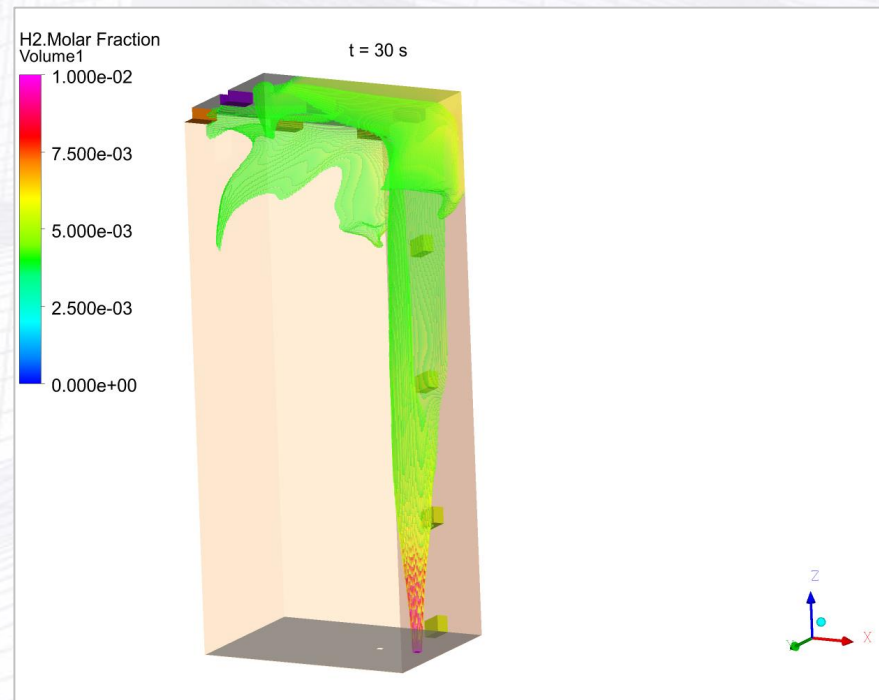
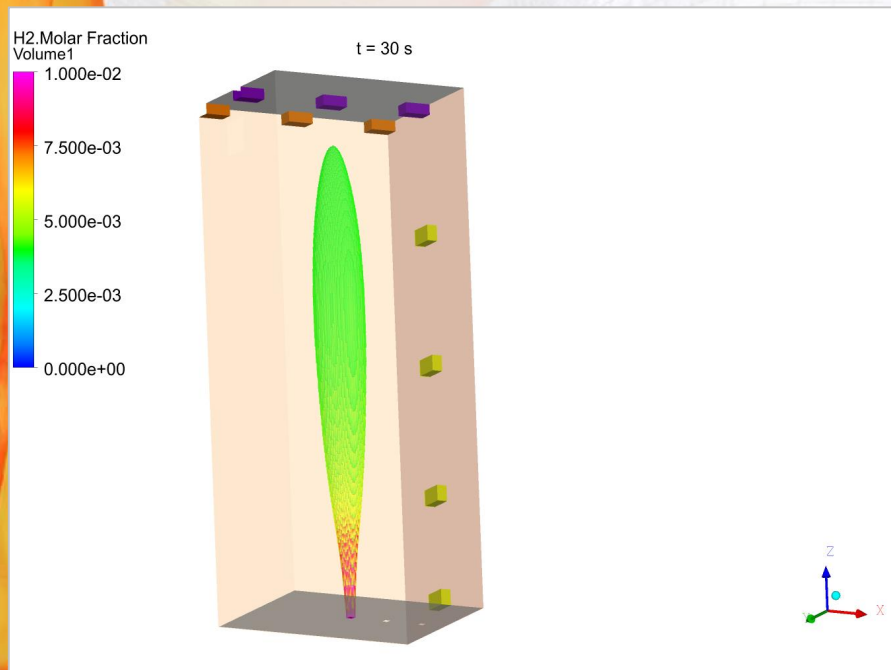
Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung 3 l/min nach 30s

Mitte

vs.

10cm rechts



Dargestellt sind Volumen mit molarer Wasserstoffkonzentration > 0,4%.

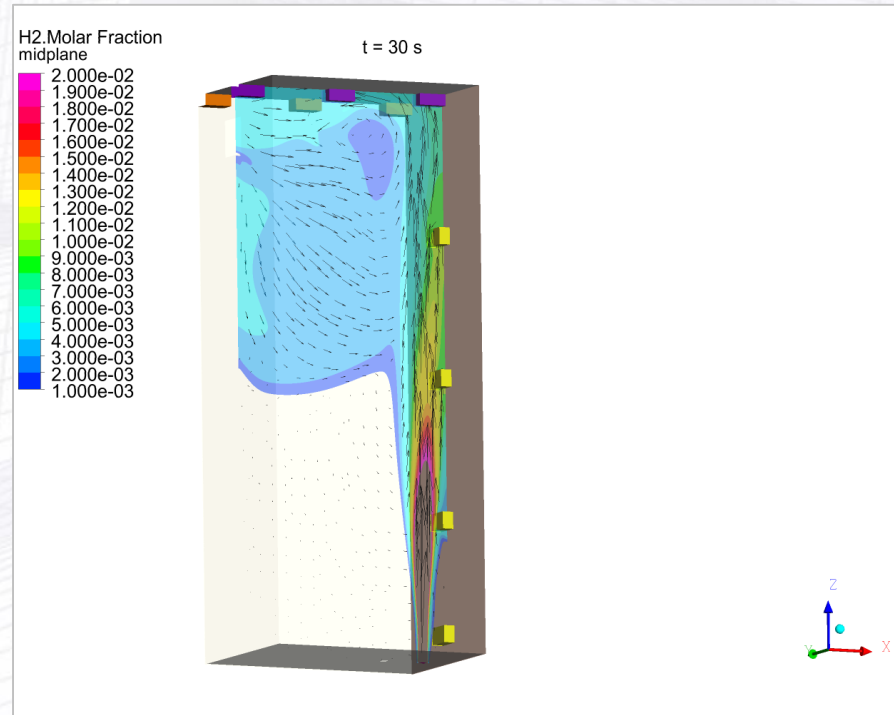
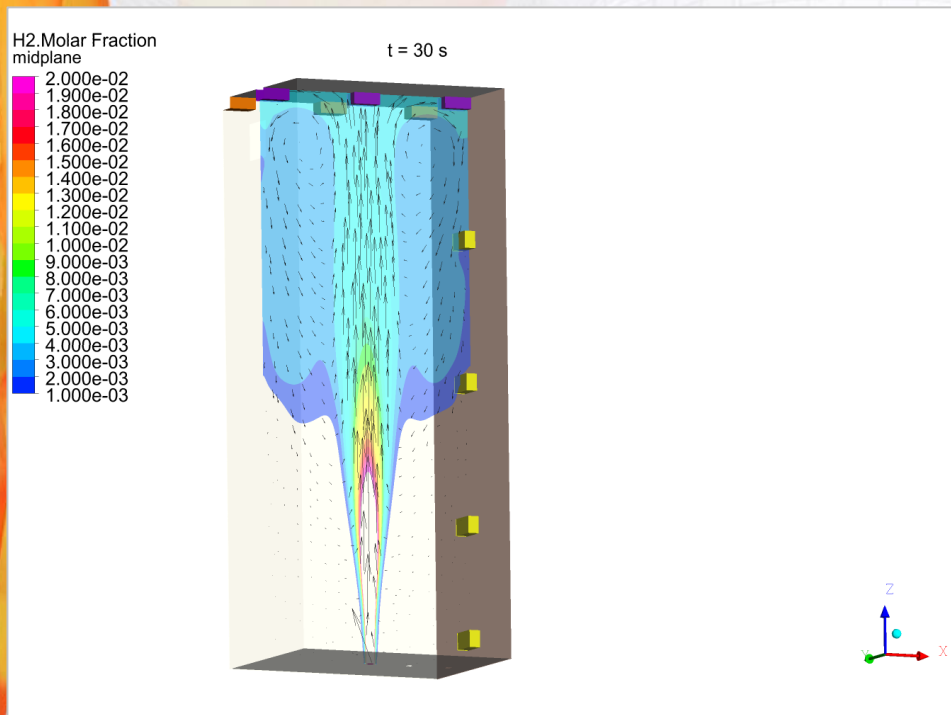
Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung 3 l/min nach 30s

Mitte

vs.

10cm rechts



Dargestellt sind Wasserstoffkonzentration (0,1% - 2,0%)
und Geschwindigkeitsvektoren.

Ausbreitung Wasserstoff

Einströmung 3 l/min Mitte nach 30s

ohne Hindernis

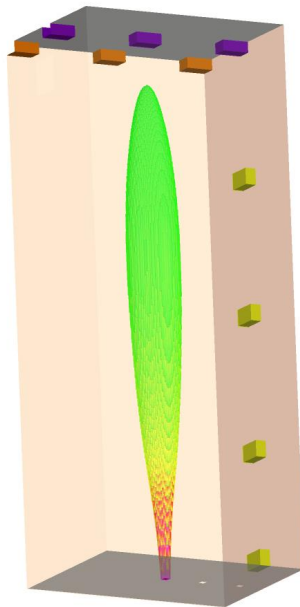
vs.

Hindernis auf h=50cm

H2.Molar Fraction
Volume1

1.000e-02
7.500e-03
5.000e-03
2.500e-03
0.000e+00

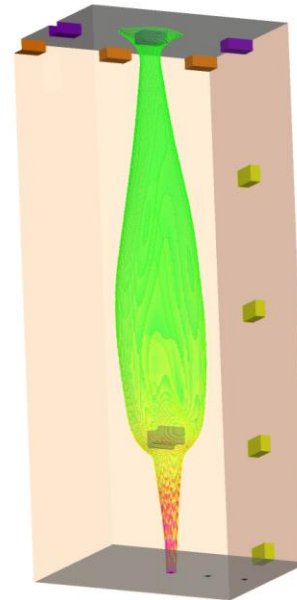
t = 30 s



H2.Molar Fraction
Volume1

1.000e-02
7.500e-03
5.000e-03
2.500e-03
0.000e+00

t = 30 s



Dargestellt sind Volumen mit molarer Wasserstoffkonzentration > 0,4%.

Ausbreitung Wasserstoff

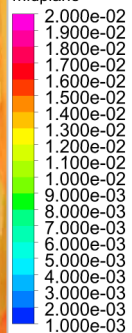
Einströmung 3 l/min Mitte nach 30s

ohne Hindernis

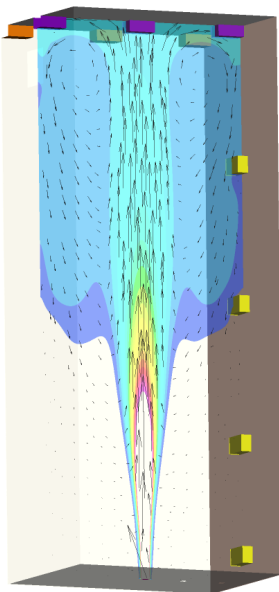
vs.

Hindernis auf h=50cm

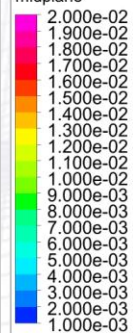
H₂ Molar Fraction
midplane



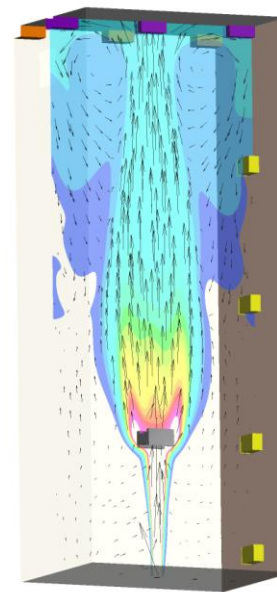
t = 30 s



H₂ Molar Fraction
midplane



t = 30 s



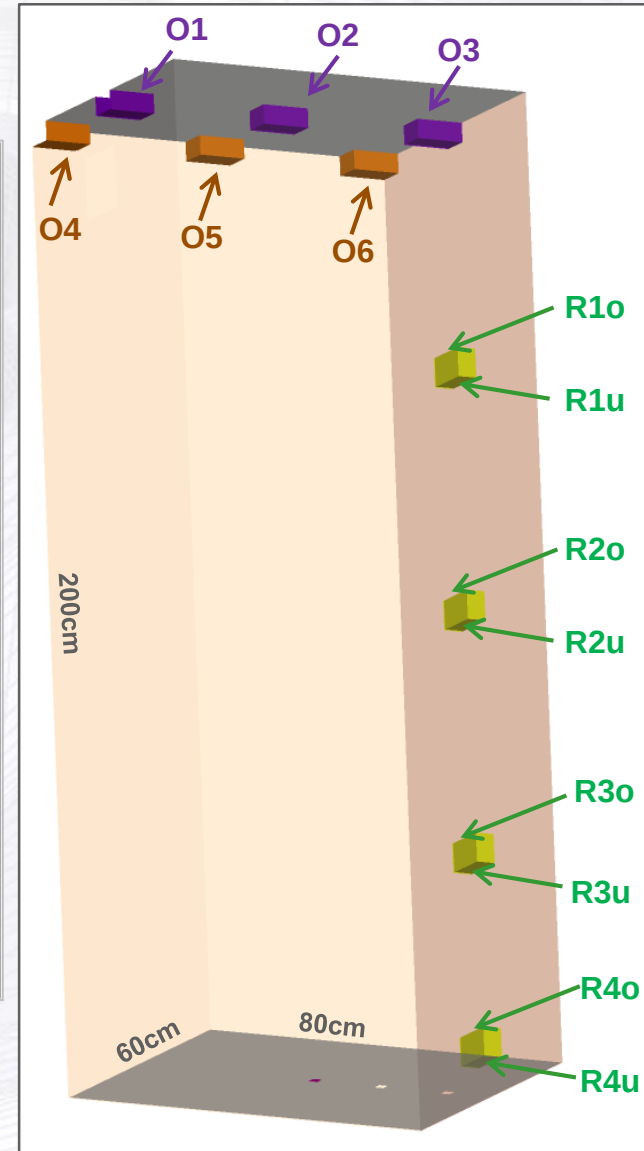
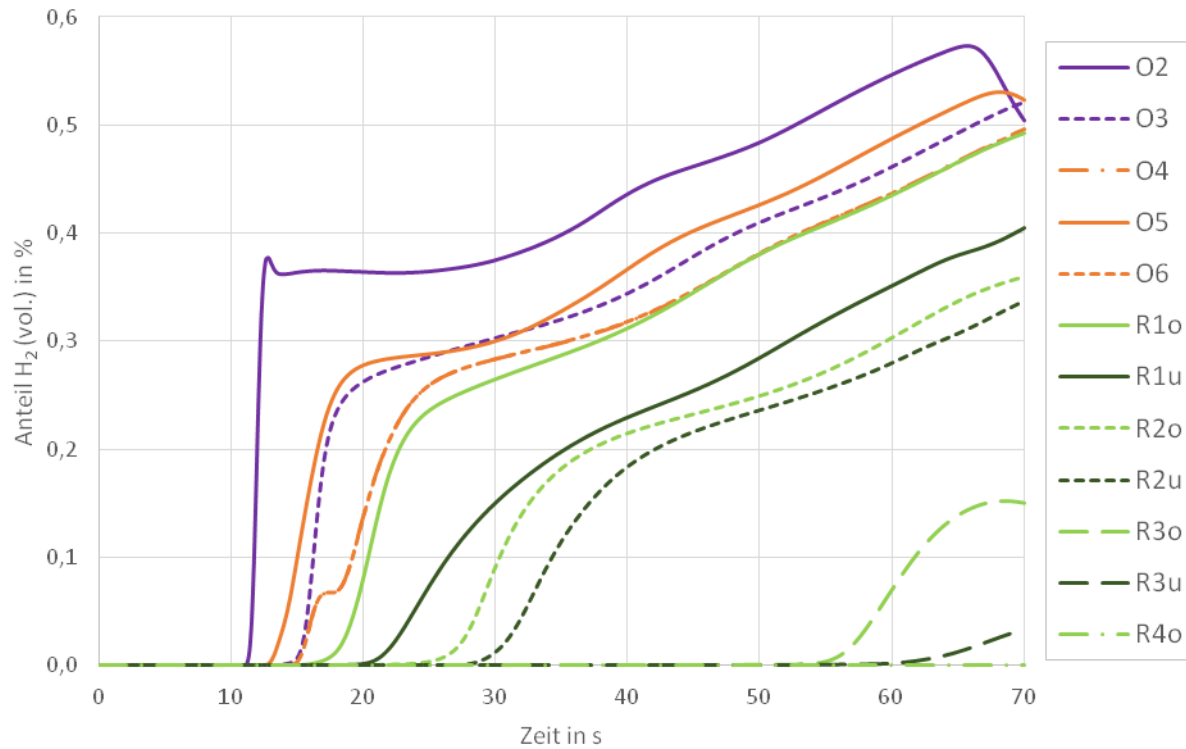
Dargestellt sind Wasserstoffkonzentration (0,1% - 2,0%)
und Geschwindigkeitsvektoren.

Ausbreitung Wasserstoff



Mitte 3 l/min

3 l/min H₂ Einlass mittig

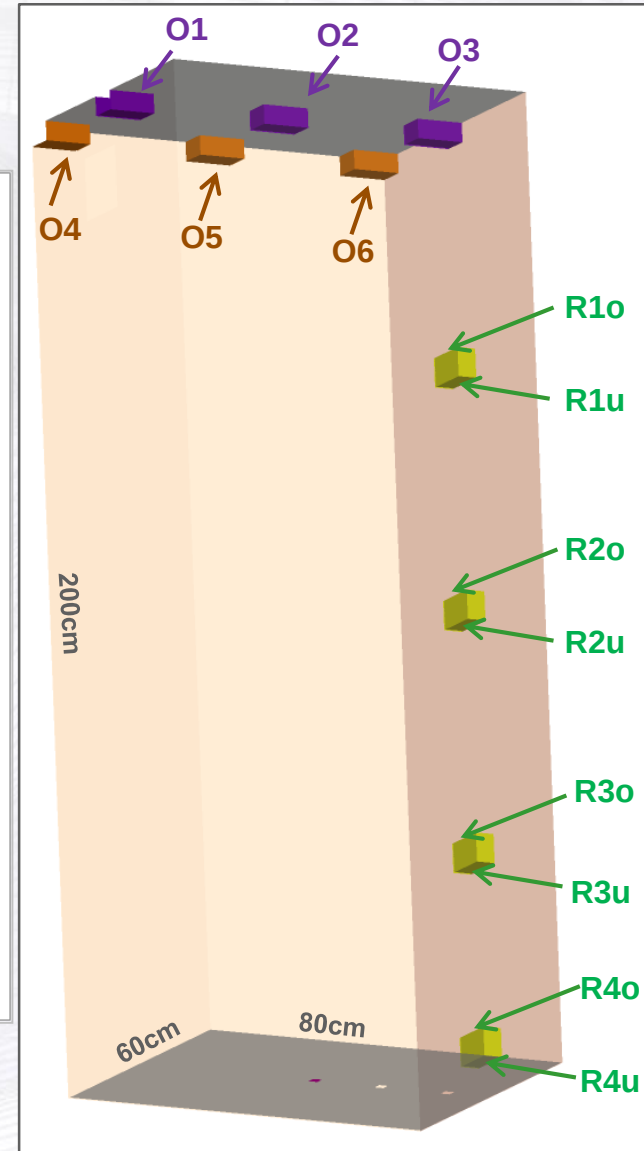
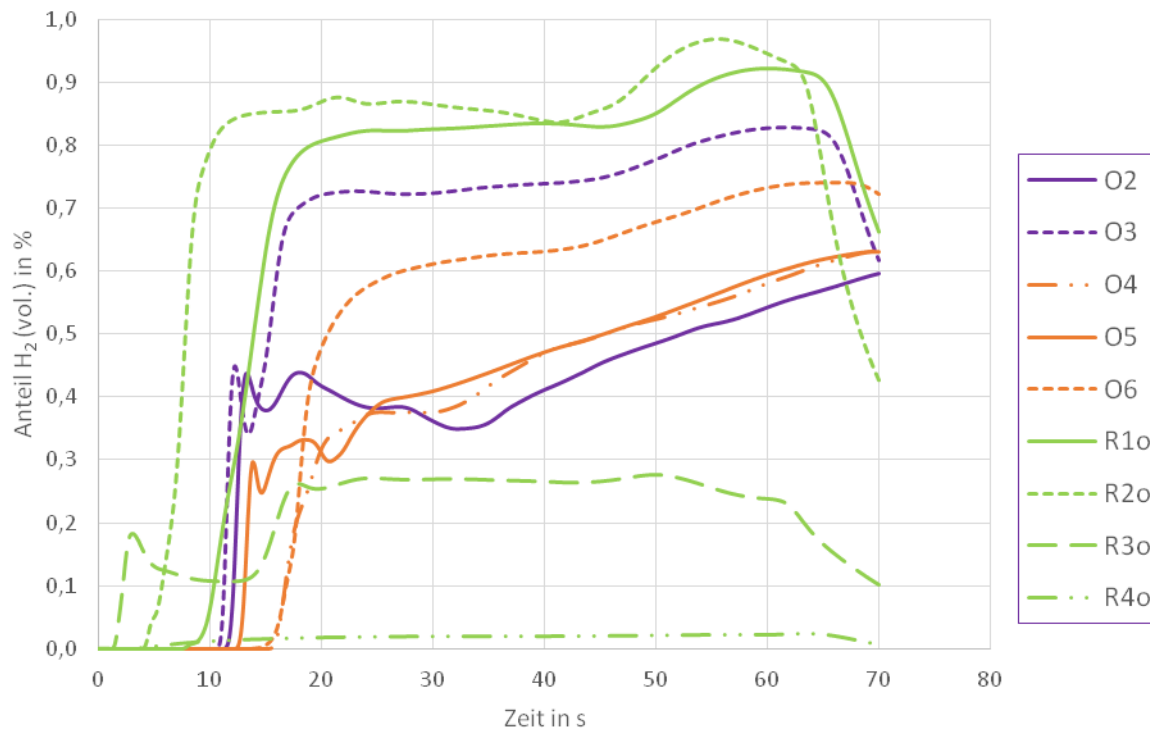


Ausbreitung Wasserstoff



10cm rechts 3 l/min

3 l/min H₂ Einlass 10cm rechts

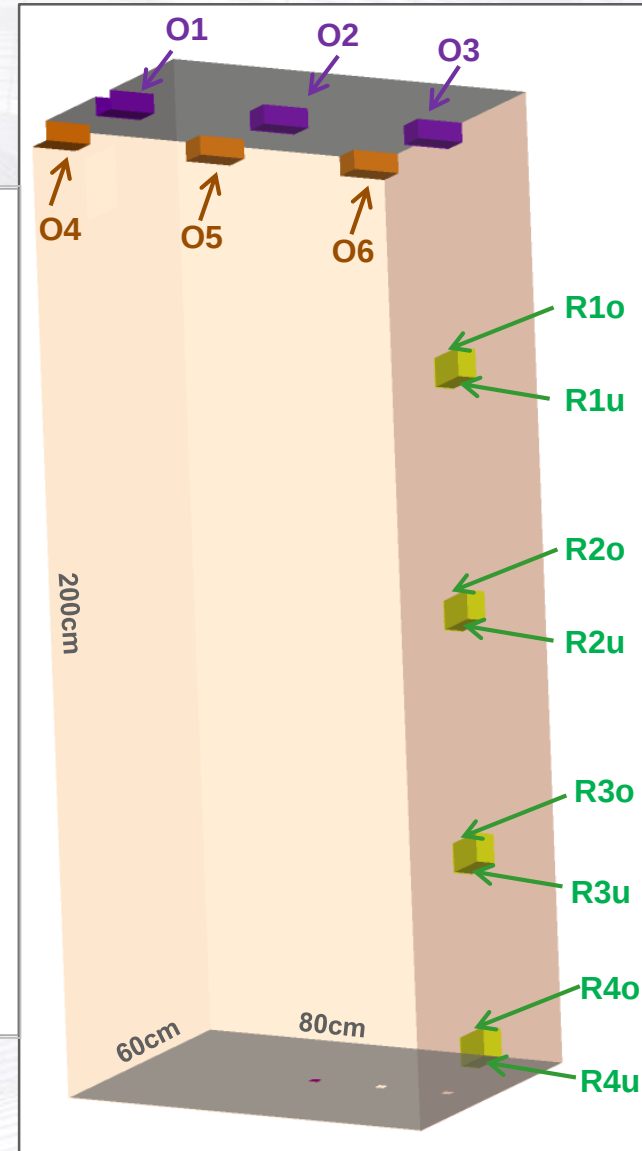
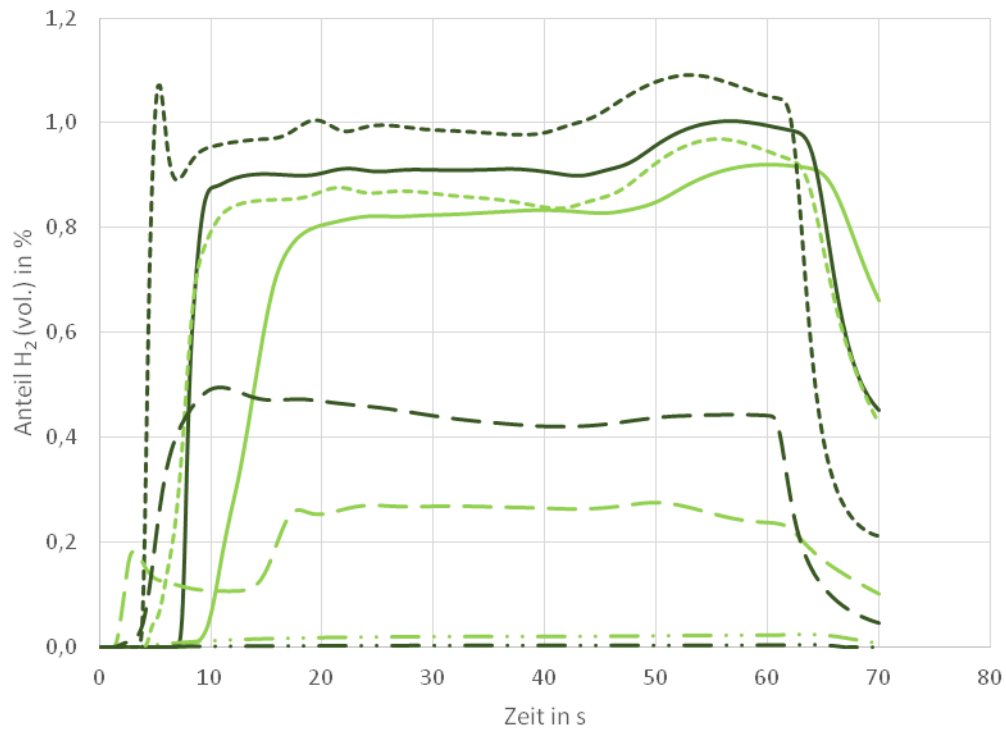


Ausbreitung Wasserstoff



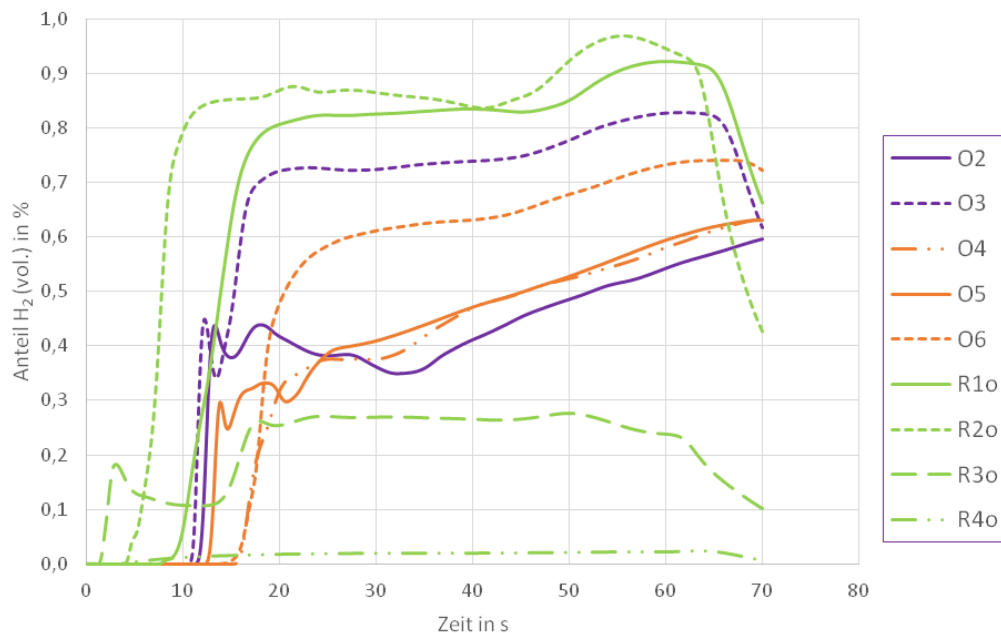
10cm rechts 3 l/min

3 l/min H₂ Einlass 10cm rechts

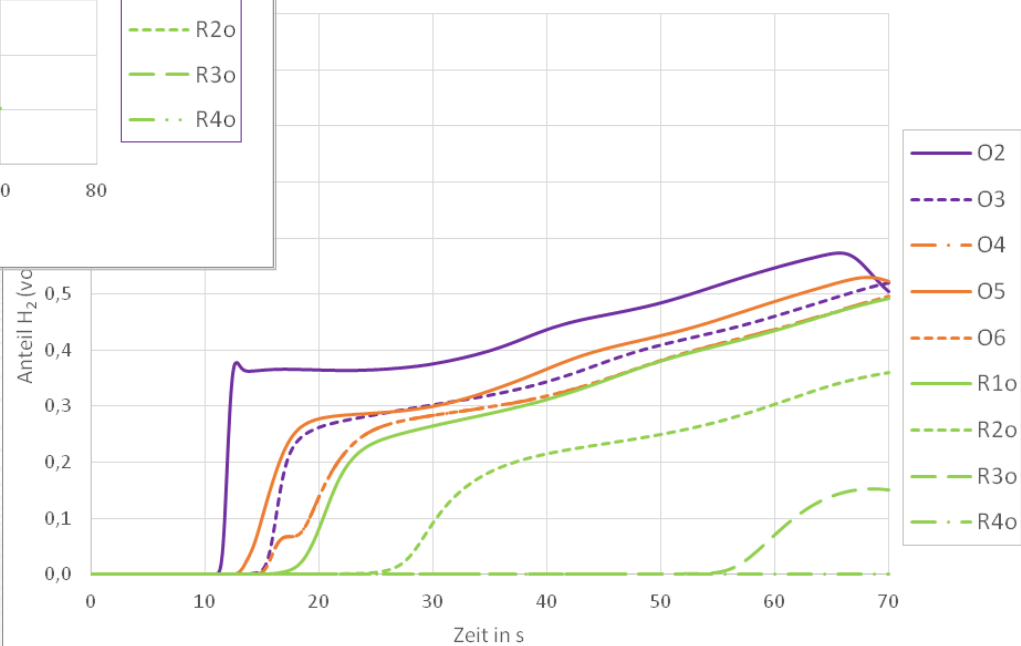


Ausbreitung Wasserstoff

3 l/min H₂ Einlass 10cm rechts



3 l/min H₂ Einlass mittig



Arbeitspakete 4 & 5

**Entwicklung von Mess- und Auswerteverfahren
für die Ermittlung der freigesetzten
Wasserstoffmenge**

&

**für die Ermöglichung von Rückschlüssen auf die Art
/ den Ort der Leakage**

Einflußparameter (Auswahl)

Geometrie

- Raummaße und –geometrische Besonderheiten
- Lage der H₂-führenden Einrichtungen (als potentielle Leckage-Orte)
- Strömungshindernisse

Leckage-Szenarien

- Größe der Leckage-Öffnung
- Druckverhältnisse (z.B. Leitungen)
- Mögliche Gesamtmenge H₂ bis Shutdown

Ventilation

- Auslässe (Ort, Größe)
- Passive und aktive Ventilation
- Luftwechsel

Thermische Bedingungen

- Temperatur des austretenden Wasserstoffs
- Raumtemperatur und Wandtemperaturen (Außenwände, Einrichtungen, Maschinen)

Ausblick

Geplante weitere Vorgehensweise

Detaillierte Analysen und
Variantenuntersuchungen



Abgleich zwischen
Simulation und Experimenten



Konzepte für Sensornetz-
Geometrien



Verfahren zur Ortung und
Mengenermittlung