

The background features a complex network of thin, light blue lines that form a grid-like pattern, with some lines curving and overlapping. A single, solid red circle is positioned in the upper left quadrant, serving as a focal point. The overall aesthetic is technical and modern.

Tool Chain for Safety Evaluation of Hydrogen Applications

EnInnov2024 -18. Symposium Energieinnovation

Martin Krennböck, **Thomas Stöhr**, Julius Rauh, Markus Sartory,
Alexander Trattner

COMET

Competence Centers for
Excellent Technologies

The logo consists of a red circle containing the word "Hy" in white, with a small blue dot above the "y". To the right of the circle, the word "centra" is written in blue. Below this, the text "HYDROGEN CENTER AUSTRIA" is written in a smaller, blue, sans-serif font.

Hycentra
HYDROGEN CENTER AUSTRIA

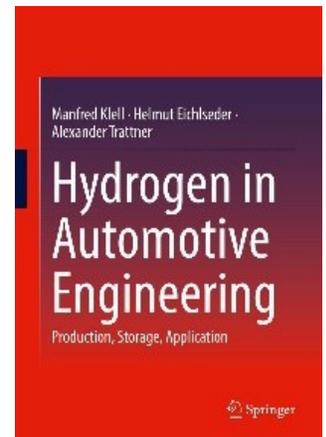
Österreichs Forschungszentrum für Wasserstofftechnologien



**Außeruniversitäre Forschungsgesellschaft
an der Technischen Universität Graz (TUG)**

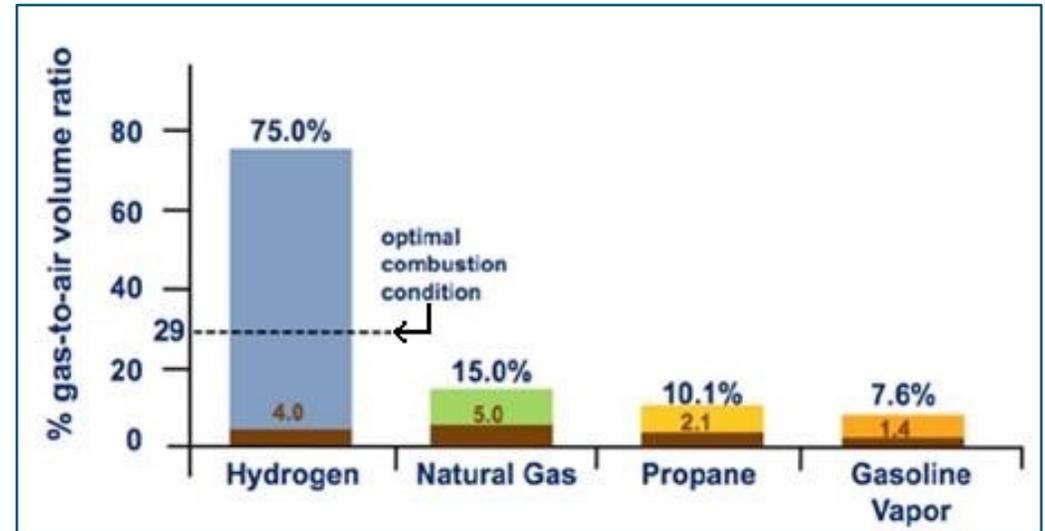


- **100+ Forschende** aus Maschinenbau, Physik, Chemie, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik
- **70+ Projekte** erfolgreich abgeschlossen
- **18+ Jahre** an Expertise
- Modernste Versuchs- & Betankungsinfrastruktur
- **Lehre** an der **TU Graz**
- **Internationales Netzwerk**

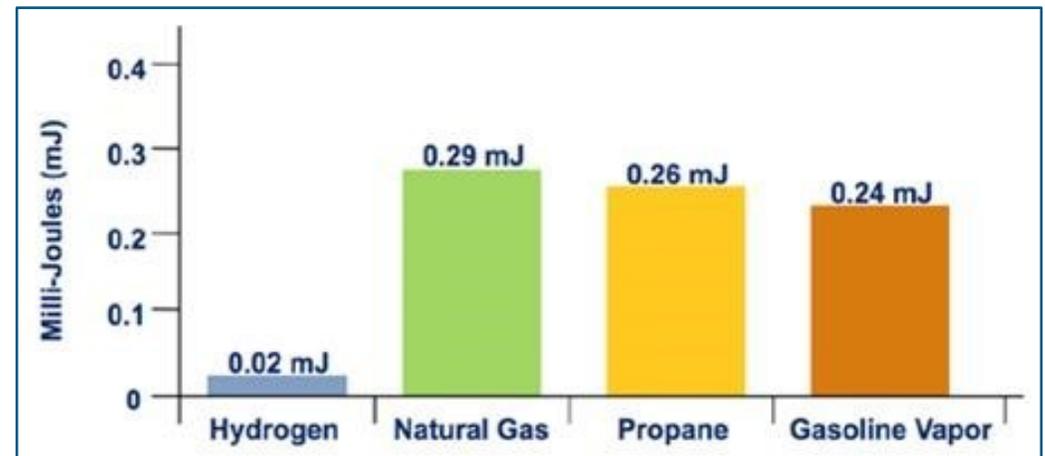


Sicherheitsrelevante Eigenschaften Wasserstoff:

- Farbloses, geruchloses Gas
- Keine toxischen Effekte
- Geringste Dichte aller Gase (14-mal leichter als Luft)
- Hohe Diffusionsneigung
- Niedrige Schmelz- und Siedetemperatur
- Leicht entzündbar
- Bildet mit Luft in einem weitem Mischungsbereich zündfähige Gemische mit hoher Flammengeschwindigkeit und hoher Verbrennungstemperatur
- Kennzeichnung/Gefahrenhinweise Wasserstoff, verdichtet
 - H220: Extrem entzündbares Gas
 - H280: Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren



Explosionsfähige Atmosphären im Vergleich [1]



Zündenergien [2]

Quelle: [1] <https://h2tools.org/hydrogen-compared-other-fuels>

[2] Klell, Eichlseder, Trattner – Hydrogen in Automotive Engineering, 2023

Gleichzeitig folgende Trends bei Wasserstofftechnologien sichtbar:

- Druckniveau für GH2 steigt stetig:
> 1 000 bar mittlerweile Standard
- Mobiler Einsatz von H2-Technologien werden häufiger
- Haushaltsanwendungen für CO2-freien Inselbetrieb erhältlich: Kombi aus Ely/Verdichtung/Speicher/BZ
- Integration von Elektrolyseuren in Bestandsanlagen wie bspw. Raffinerien, Stahlerzeugung etc.



1. Sicherer Betrieb muss gewährleistet werden
2. Treffsichere Aussagen für Behördengespräche



[1]



[1]

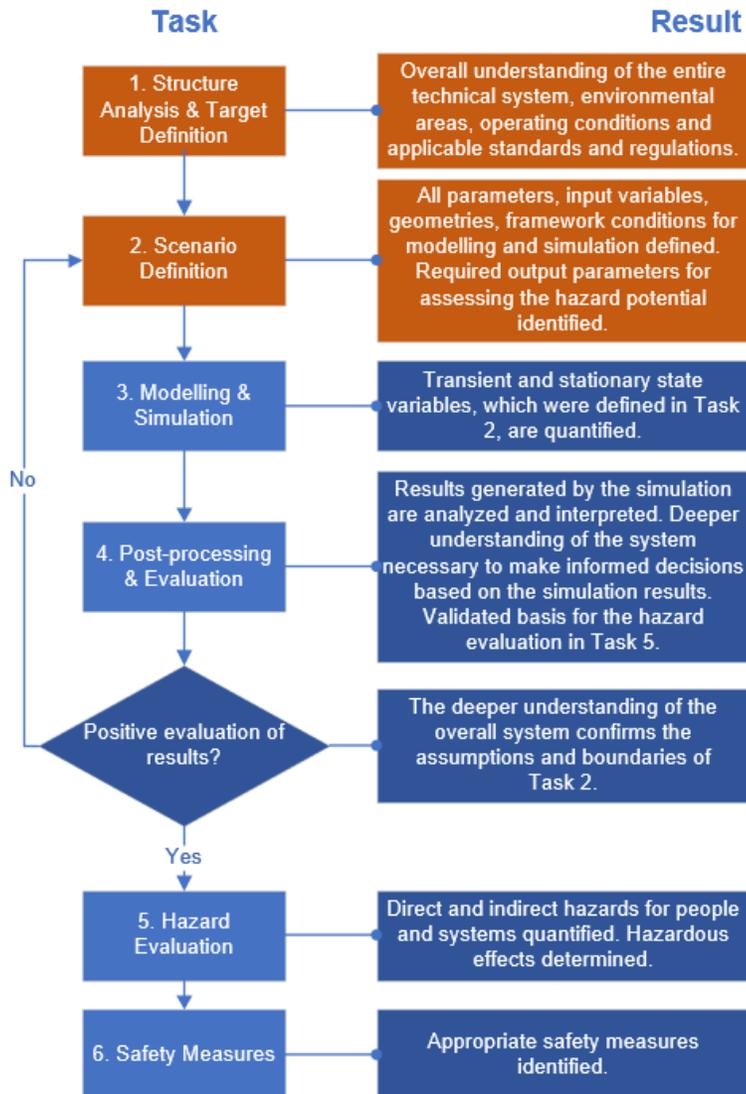


[2]



[3]

Tool Chain for Safety Evaluation

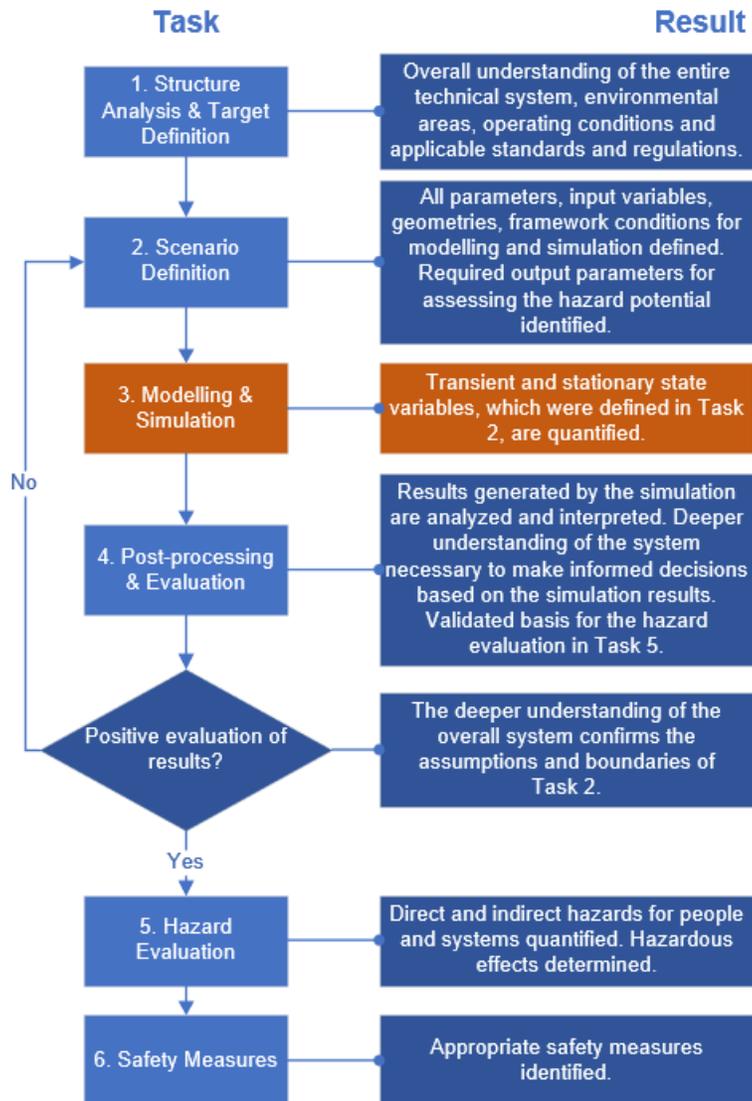


1) Analyse des Systems:

- das gesamte technische System verstehen
- die Umwelt – und Aufstellbedingungen
- die Betriebsbedingungen und -zustände und
- geltende Normen und Vorschriften

2) Definition möglicher Worst-Case Scenarios, um alle relevanten Parameter wie Eingangsvariablen und Geometrien für die Simulation oder erforderliche Ausgangsvariablen für die Risikobewertung zu bestimmen. Methoden:

- What-If-Method and Structured What-If-Method (SWIFT)
- FMEA - Failure Mode and Effect Analysis
- HAZOP Analysis – Hazard and Operability Analysis
- Bow-Tie Analysis
- LOPA – Layer of Protection Analysis
- QRA – Quantitative Risk Assessment



3) Modellierung und Simulation:

1-D Submodelle für Komponenten

Tank blowdown model based

- Conservation of energy between point 1 and 2
- Non-adiabatic system
- Assumption of reaching $M_2 = 1$

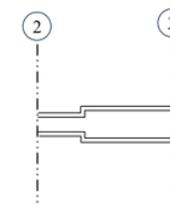


Hydrogen pressure vessel

Pipe enlargement model

- Compressible flow
- Iterative solution
- Pressure loss calculated using (1)

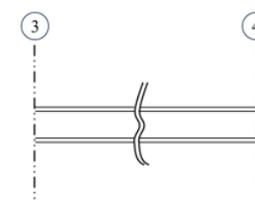
$$\Delta p = \left(1 - \frac{A_2}{A_3}\right) \frac{\bar{\rho}}{2} u_2^2 \quad (1)$$



Pipe enlargement

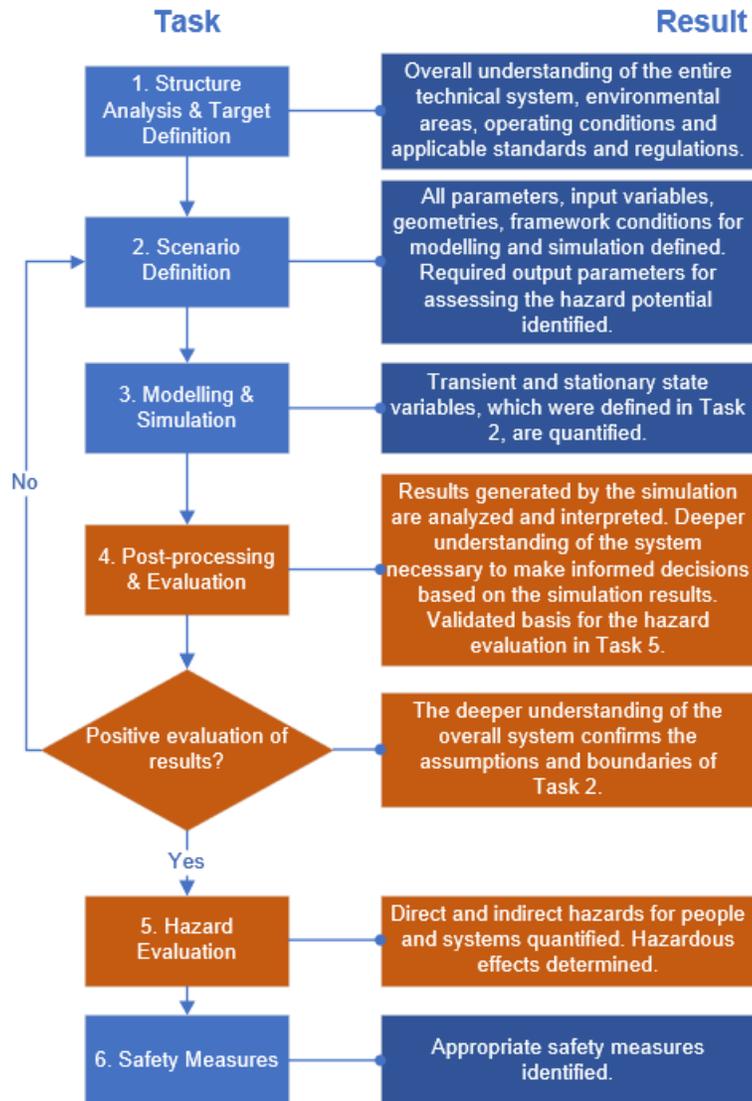
Pipeflow model

- Adiabatic
- Compressible flow
- Wall friction is considered (Karman-Moodey-Colebrook equation)



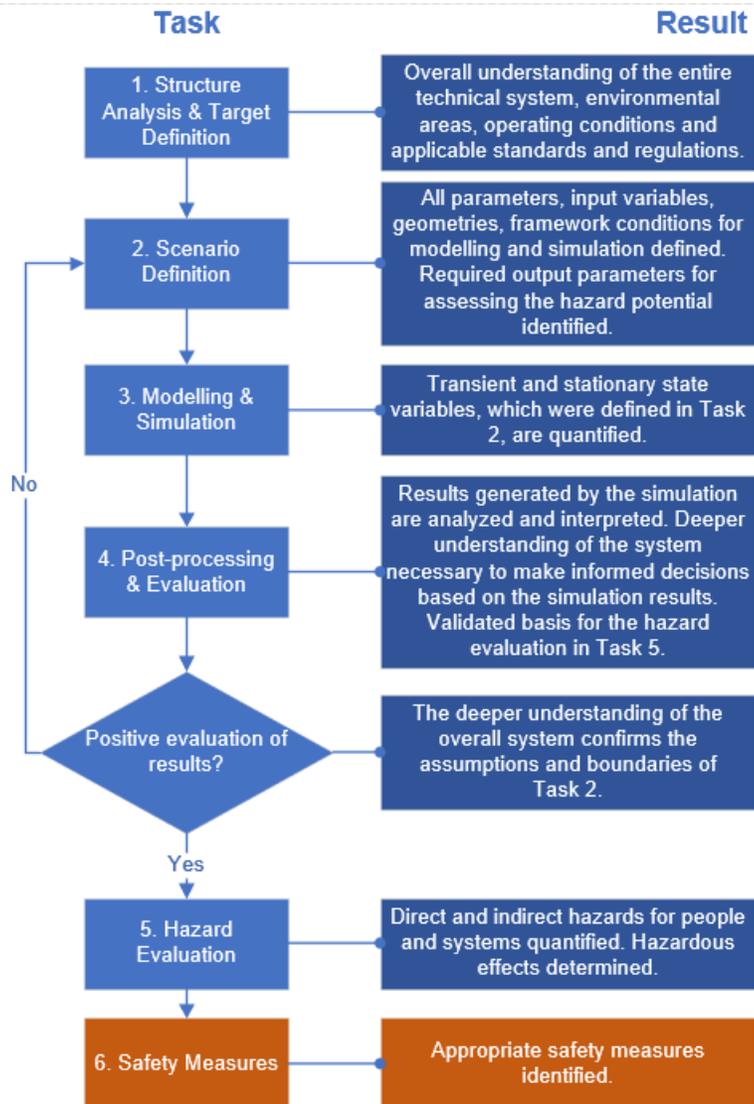
Pipe flow

- CFD-Simulation von stationären und transienten Zustandsgrößen der Ausströmung



4) Post-Processing und 5) Gefahrenanalyse

- Ausbreitung von H₂ und Bildung explosiver Gemische
- Ausbreitung der Druckwelle und mögliche Reflexionen (Risiko der Selbstentzündung)
- Temperatur von Wasserstoff (Risiko der Selbstentzündung)
- H₂-Masse des zündbaren Gemischs
- Bewertung der Explosionswirkung und des Schadenspotenzials unter Verwendung von TNT-Äquivalent, TNO Multi Energy Modell, Baker-Strehlow-Tang
- Auswirkungen der Druckwelle auf die Gesundheit der Menschen
- Bewertung von Schutzmaßnahmen wie Explosionsklappen, Wirbelplatten usw.
- Bewertung des Trümmerfluges



6) Ableitung von Sicherheitsmaßnahmen

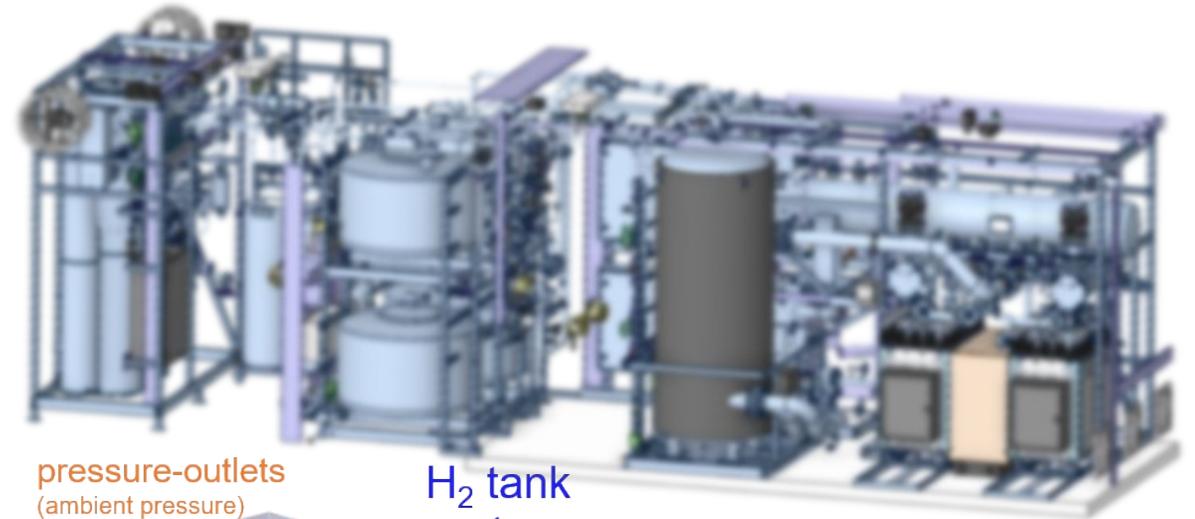
- Effektive Platzierung von Gasetektoren in Kombination mit Notbelüftung in abgeschlossenen Bereichen
- Positionierung und Dimensionierung von Explosionsklappen oder Explosionsschutztüren
- Festlegung von Sicherheitsabständen für
 - Explosionsradius
 - Druckwellen
 - Trümmerflug etc.
- Eintrittsverbote für Einrichtungen und automatische Abschaltprotokolle
- Strukturelle oder technische Maßnahmen wie Änderung der Geometrie von Belüftungsöffnungen, Reduzierung des Durchflusses in Belüftungsleitungen, Einbau von Drallblechen oder Bau von Trennwänden

Evaluierung des Gefahrenpotentials eines 2,5MW Elektrolyseurs im Regelbetrieb

- Bewertung des Gefährdungspotentials aufgrund plötzlicher Wasserstoffleckage im Elektrolysebehälter
- Verteilung von Wasserstoff im Falle eines Rohrbruchs
- Wirksamkeit der Sicherheitsausrüstung und Überwachung
- Auswirkungen der Druckwelle
- Abschätzung der Explosionsintensität (TNT-Äquivalent)

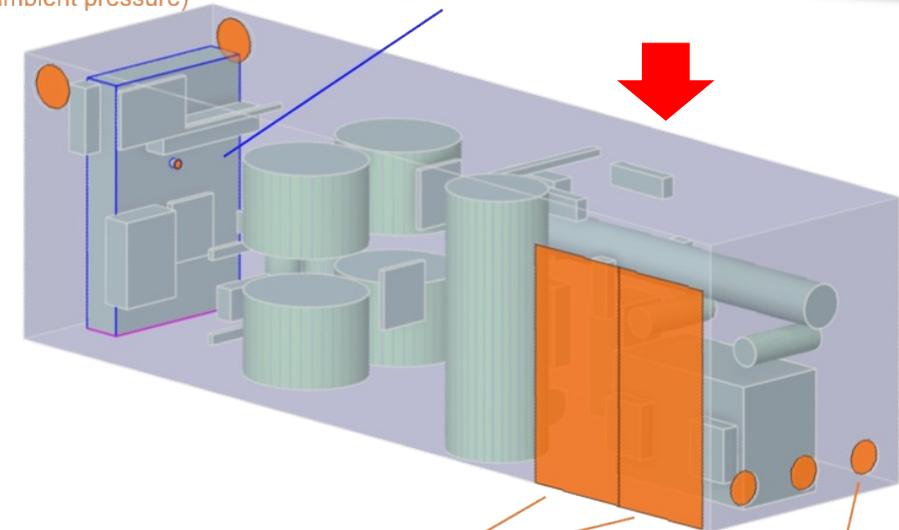
Worst-Case-Scenario:

- System im Regelbetrieb, H₂- Sensorik und Belüftung aktiv
- 35 bar aufgrund eines plötzlichen Wasserstofflecks (Rohrbruch ohne Rissbildung) mit 80 mm kreisrunder Bruchfläche
- 3kg H₂ max. Freisetzungspotential treten aus



pressure-outlets
(ambient pressure)

H₂ tank



wall / pressure-outlet
(switches when opening force is applied,
has ambient pressure when door is opened)

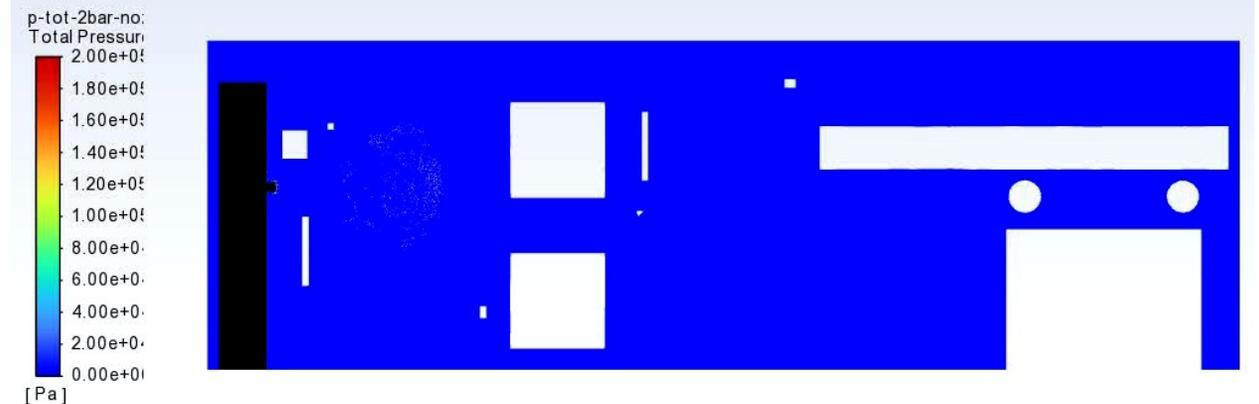
pressure-inlets
(Pressure-profile according
to stationary simulation)

- Stationäre Belüftung kann die Bildung eines Ex-Gemischs nicht verhindern
- 65% des gesamten H₂-Freisetzungspotentials als Ex-Gemisch im Raum
- Explosion höchst wahrscheinlich
- Dabei wird Container deformiert aber nicht zerstört
- Druckwelle öffnet Explosionsklappen am Elektrolyse-Container und tritt durch diesen hindurch
- Druckwelle schleudert die Türen auf und kann Personen verletzen

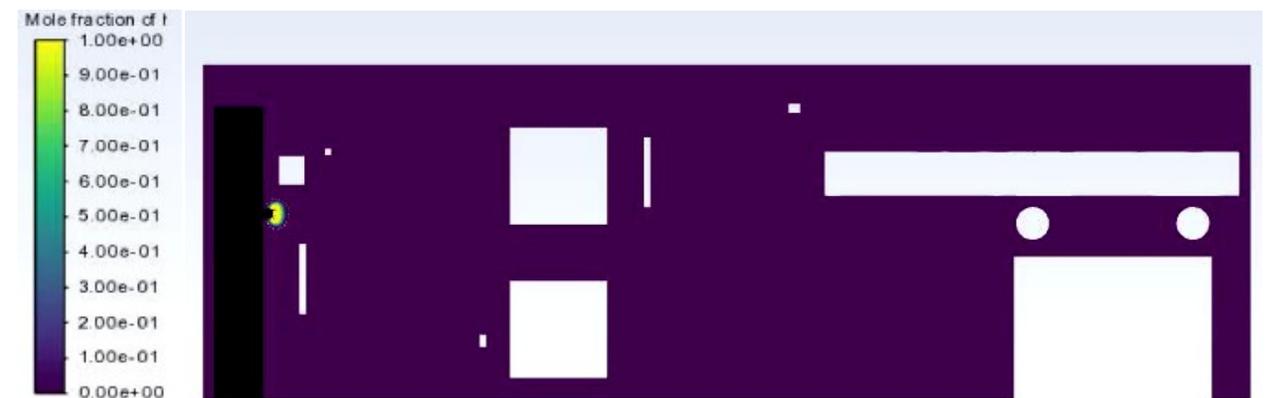
Kernergebnisse:

- Mindestabstände zwischen Elektrolyseuren angepasst
- Zugangsbeschränkung bei Produktion

Druckwelle

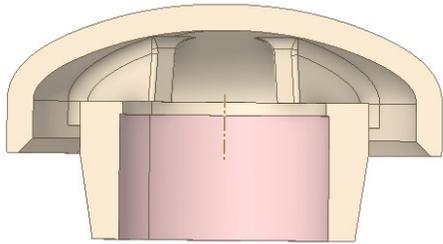


H₂ Ausbreitung im Raum

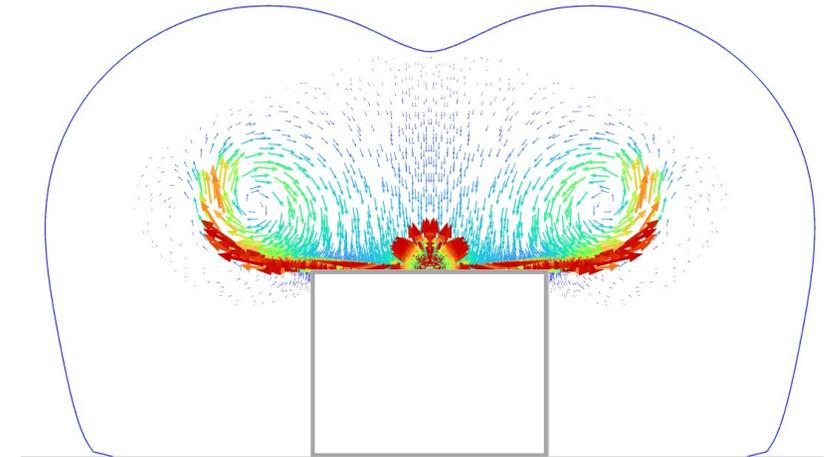
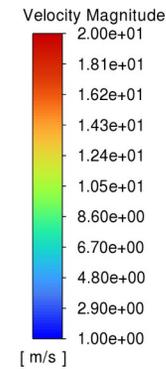


H₂-Verteilung in Atmosphäre

Individuelle Ausbläsergeometrie



H₂-Ausbreitung und Explosionsgrenze (blau)



DVGW G442 Ausbläser Typ C

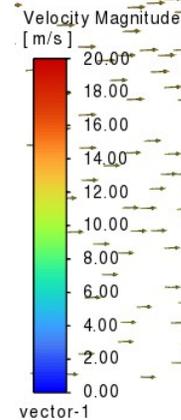
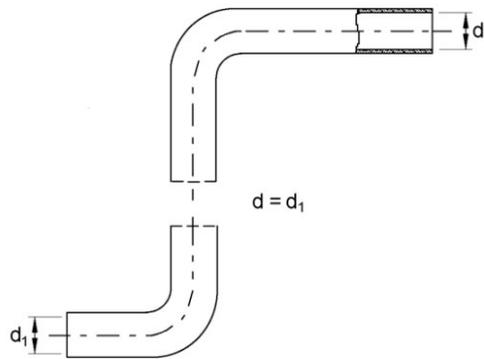
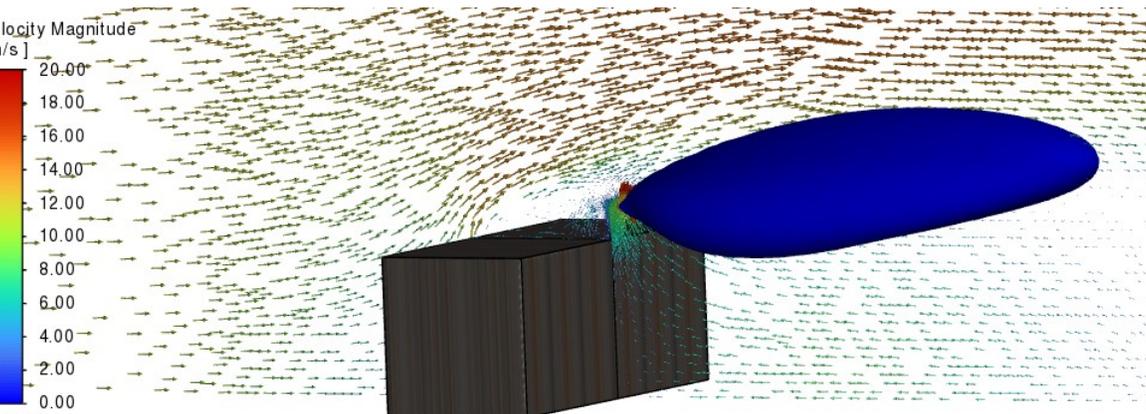


Bild 4 – Typ C – horizontales Ausblasen, z. B. über einen 90°-Bogen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Contact ●

DI Dr.techn. Thomas Stöhr

HyCentA Research GmbH

Inffeldgasse 15

A-8010 Graz

stoehr@hycenta.at

www.hycenta.at



 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 **Bundesministerium**
Arbeit und Wirtschaft



Competence Centers for
Excellent Technologies