

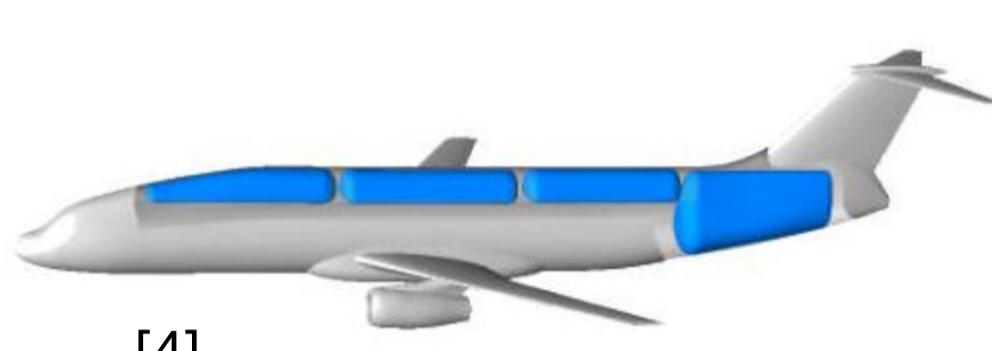
Mobile Leckageprüfung und –lokalisierung für H2-Antriebskonzepte in der Luftfahrt



C. Masuhr, T. Schüppstuhl
Institut für Flugzeug-Produktionstechnik
Technische Universität Hamburg



Quelle: Airbus



[4]

- Notwendigkeit effiz. Leckageprüfung für H2-Systeme in der Luftfahrt
- Sicherheit [1]
 - Empfehlungen und rechtliche Vorgaben [3,4,5]
 - Komplexität steigt [1]

- Spez. Anforderungen der Leckageprüfung in der Luftfahrt
- Detectionsgrenzen gering
 - Dokumentationspflichten (z.B. genauer Ort einer Leckage)
 - Zugänglichkeit des Bauraums [5]

Condition Monitoring

Leckage Inspektion

Mobile Leckageinspektion mittels Sniffer-Sensorik

- Für mobile Anwendungen die einzige wirtschaftliche Variante mit geringer Detektionsgrenze [6]
- Kontrolle aller relevanten Oberflächen & Leckagelokalisierung
- Unterscheidungsmerkmale mobiler Gassensorttechnologien
 - Messbereich
 - Messverzögerung
 - Genaugkeit
- Hauptanforderungen Prozessführung
 - Geschwindigkeit
 - Abstand
 - Sensortrajektorie**

Quelle: IFPT



Quelle: Dräger

Versuchsdurchführung Datenakquise: Mobile Datenaufnahme für eine Leckagelokalisierung mittels Sniffer-Sensorik

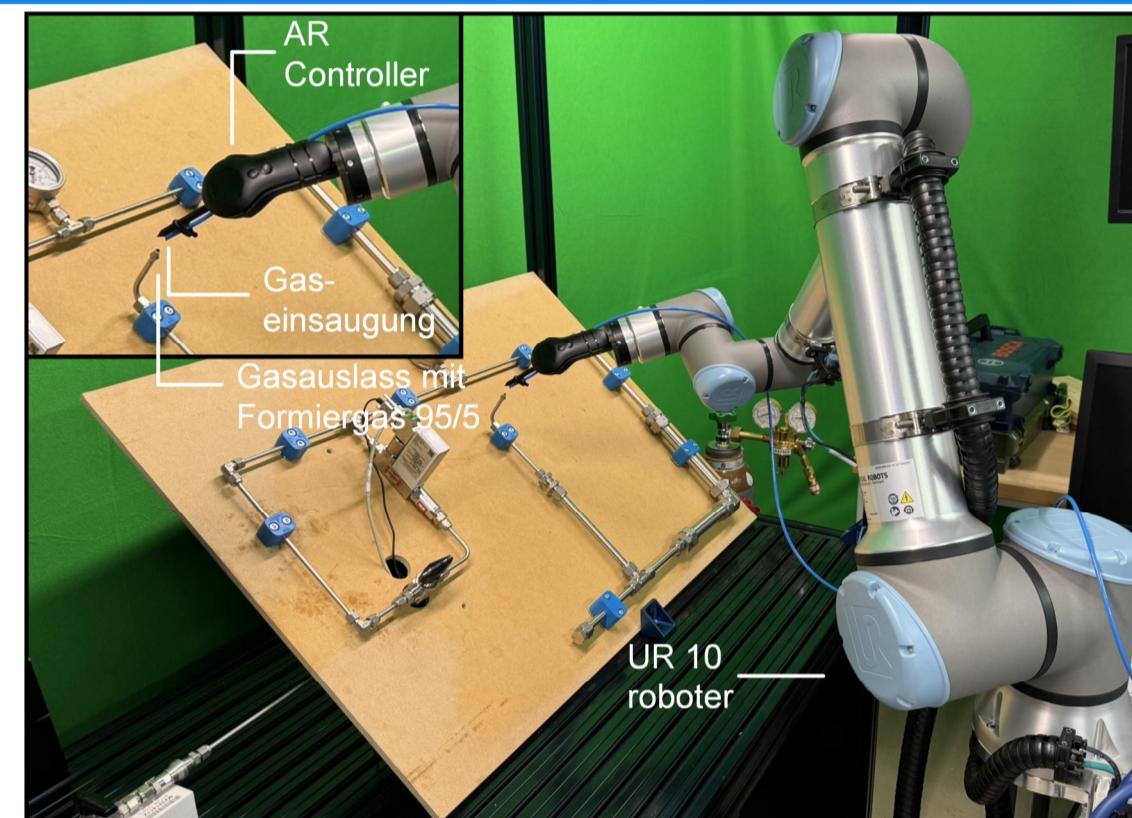


Abbildung 3:
Versuchsaufbau

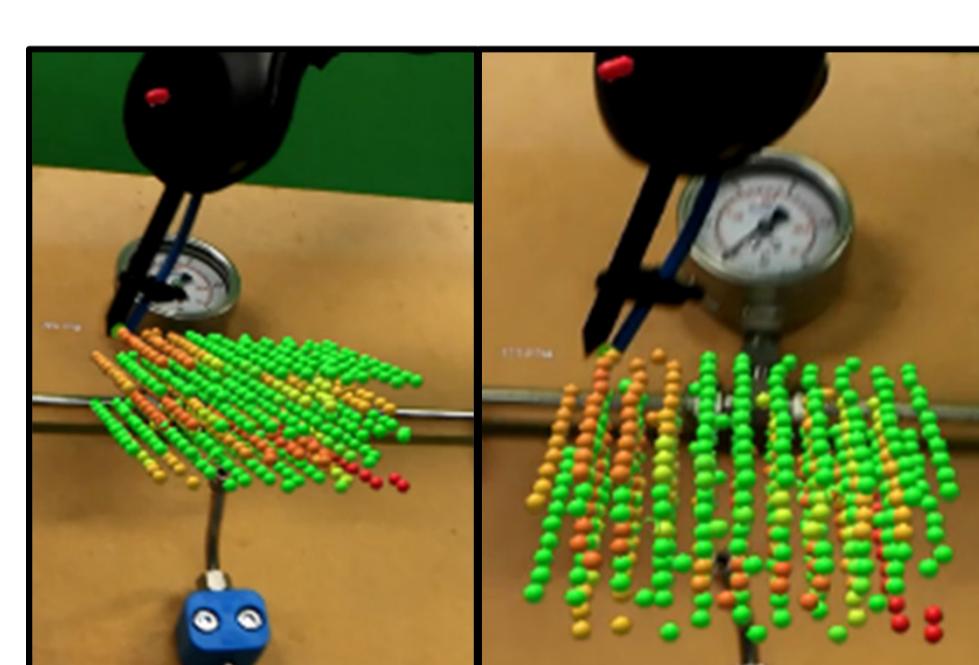


Abbildung 4:
Messdaten des H2-Sensors für das autom. Abfahren eines Würfels mit 10 cm Kantenlänge in der AR-Applikation

- Haupt-Einflussparameter auf die Erzeugung von Rohdaten**
- Messverzögerung und Abklingzeit
 - Prozessführung (Anhalten oder durchgehende Messung)
 - Ansauggeometrie

Ergebnisse der Datenakquise:
Rohdaten sind aktuell noch nicht nutzbar und müssen angepasst werden

→ Hohes Potenzial effiziente Lokalisierung durch eine Dataauswertung zu beschleunigen

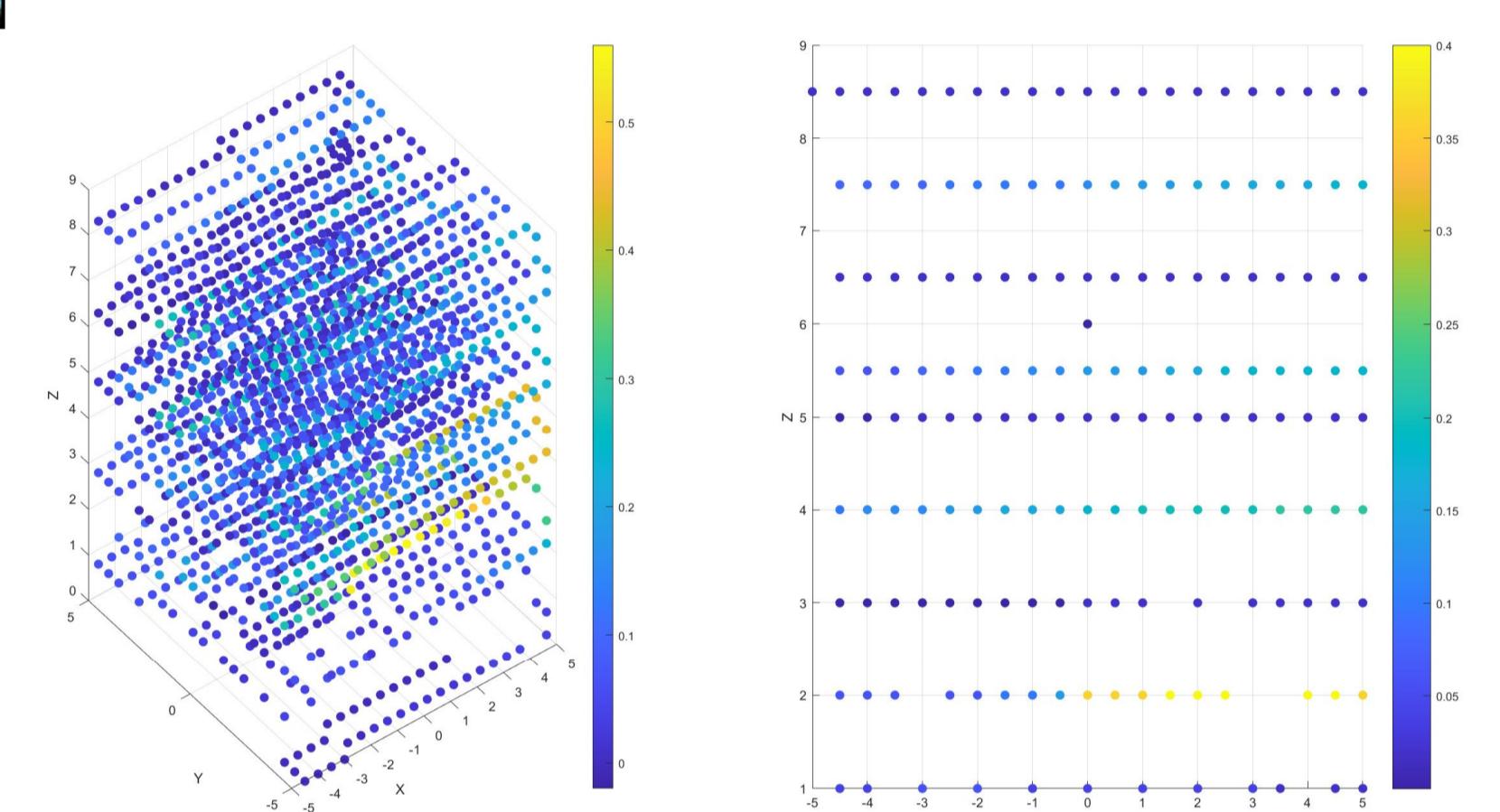


Abbildung 5:
Messdaten des H2-Sensors für das autom. Abfahren eines Würfels mit 10 cm Kantenlänge

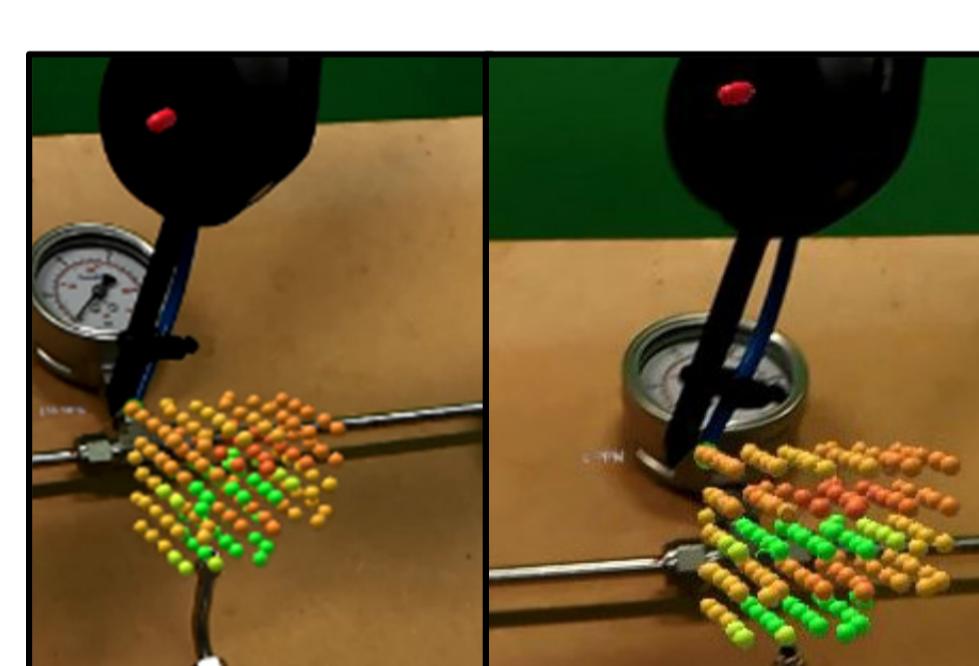


Abbildung 6:
Messdaten des H2-Sensors für das autom. Abfahren eines Würfels mit 5 cm Kantenlänge in der AR-Applikation

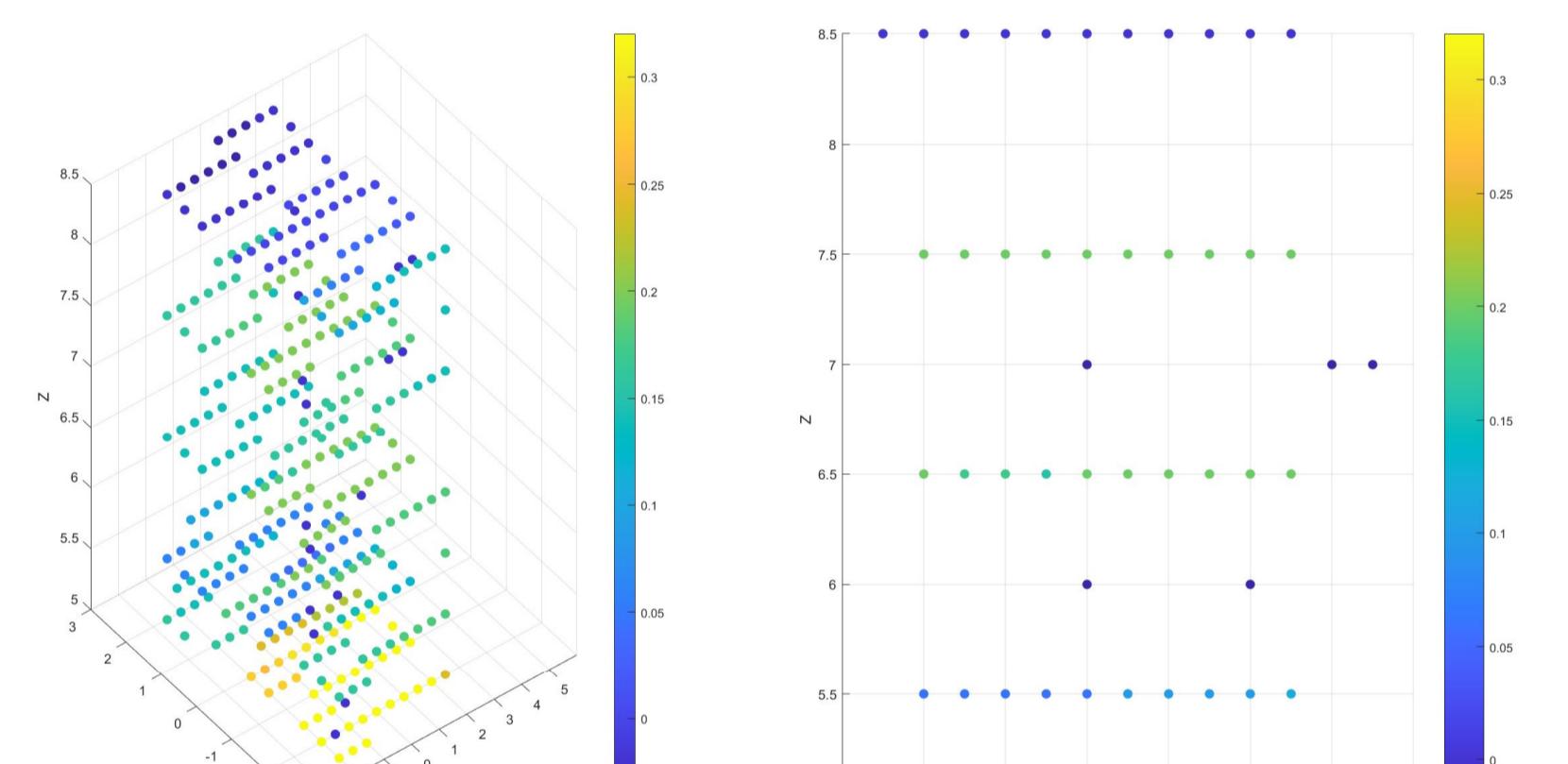


Abbildung 7:
Messdaten des H2-Sensors für das autom. Abfahren eines Würfels mit 5 cm Kantenlänge

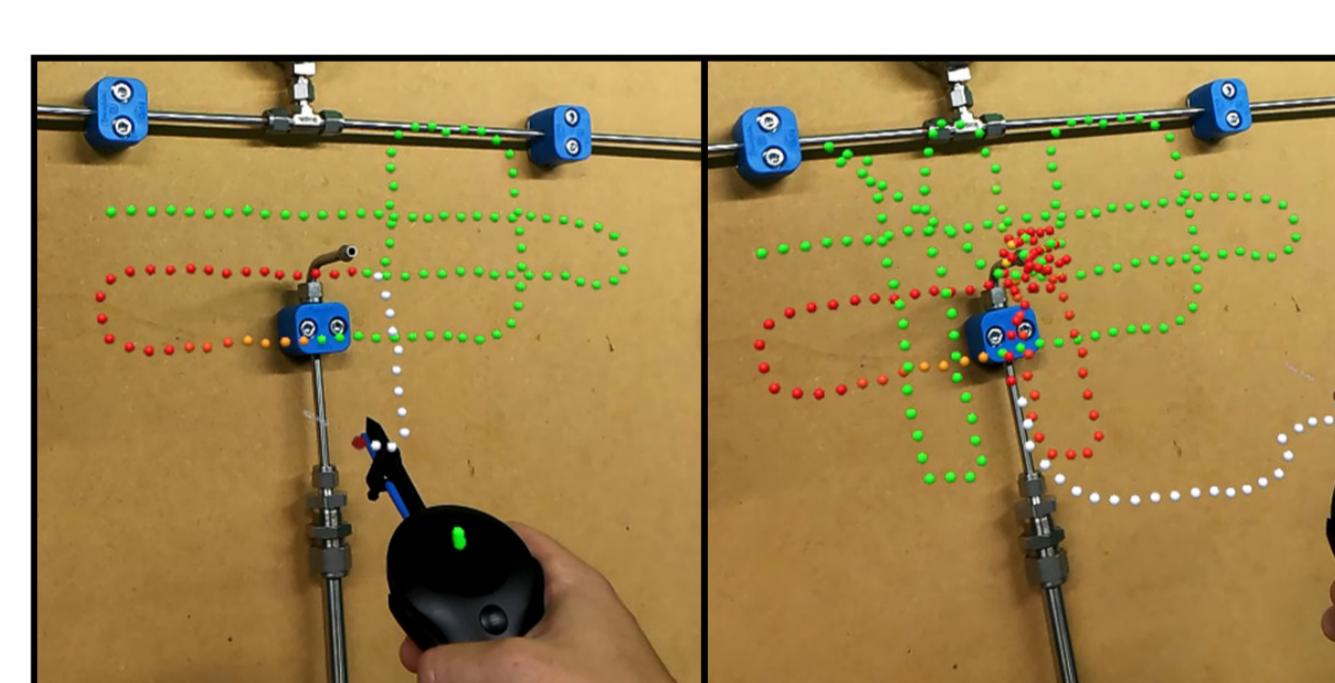


Abbildung 8:
Manuelle Leckagelokalisierung am Beispiel der Ausströmung aus einem offenen Rohrquerschnitt

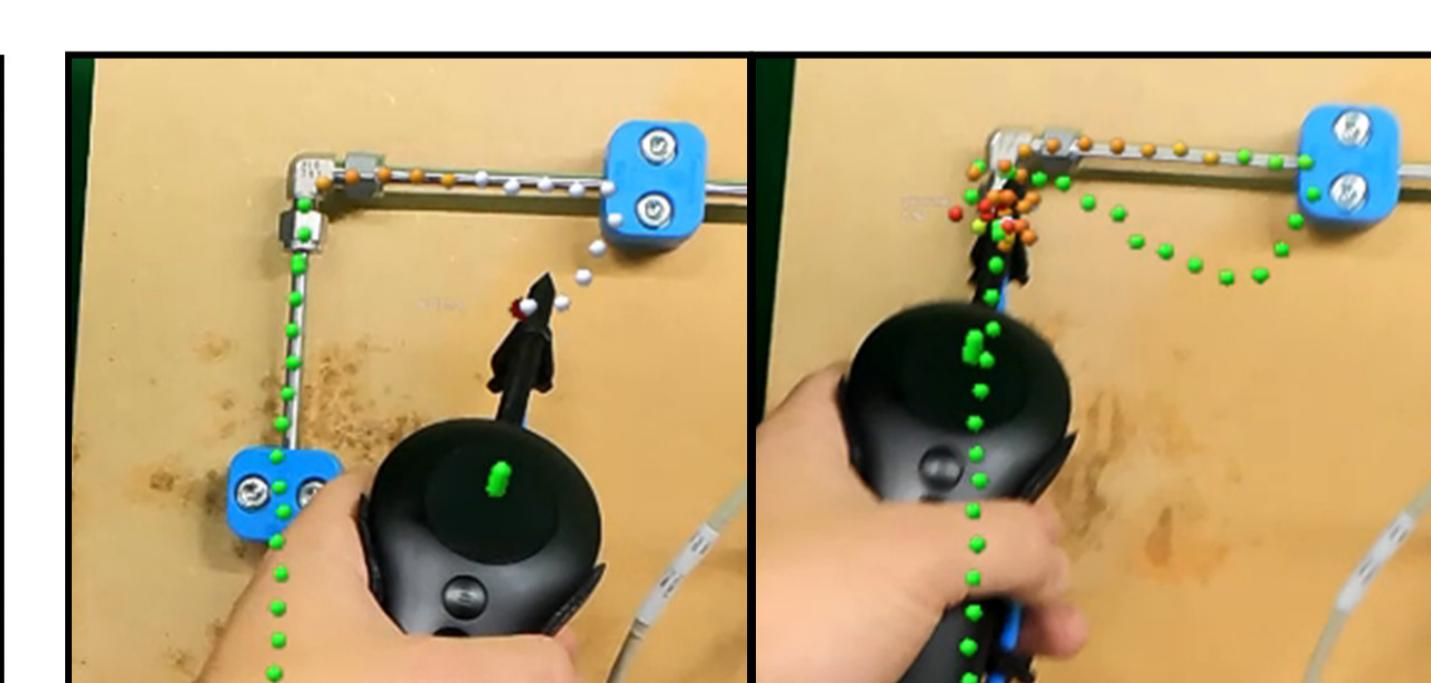


Abbildung 9:
Manuelle Leckagelokalisierung am Beispiel der Ausströmung aus einem un dichten Rohrverbinder

Effizienzsteigerung durch Automatisierung der mobilen Leckageprüfung

Mobile Robotik

- Existierende Anwendungen roboterbasierter Leckageprüfungen in der Industrie



Quelle: Agramkow

Quelle: IFPT

- Kosten für eine mobile Robotik sind für die meisten Anwendungsfälle zu hoch
→ Anwendungsbeispiel: Prüfung Enapter Multicore
- Geringe Flexibilität für den Anwendungsfall
- Limitierte Erreichbarkeit

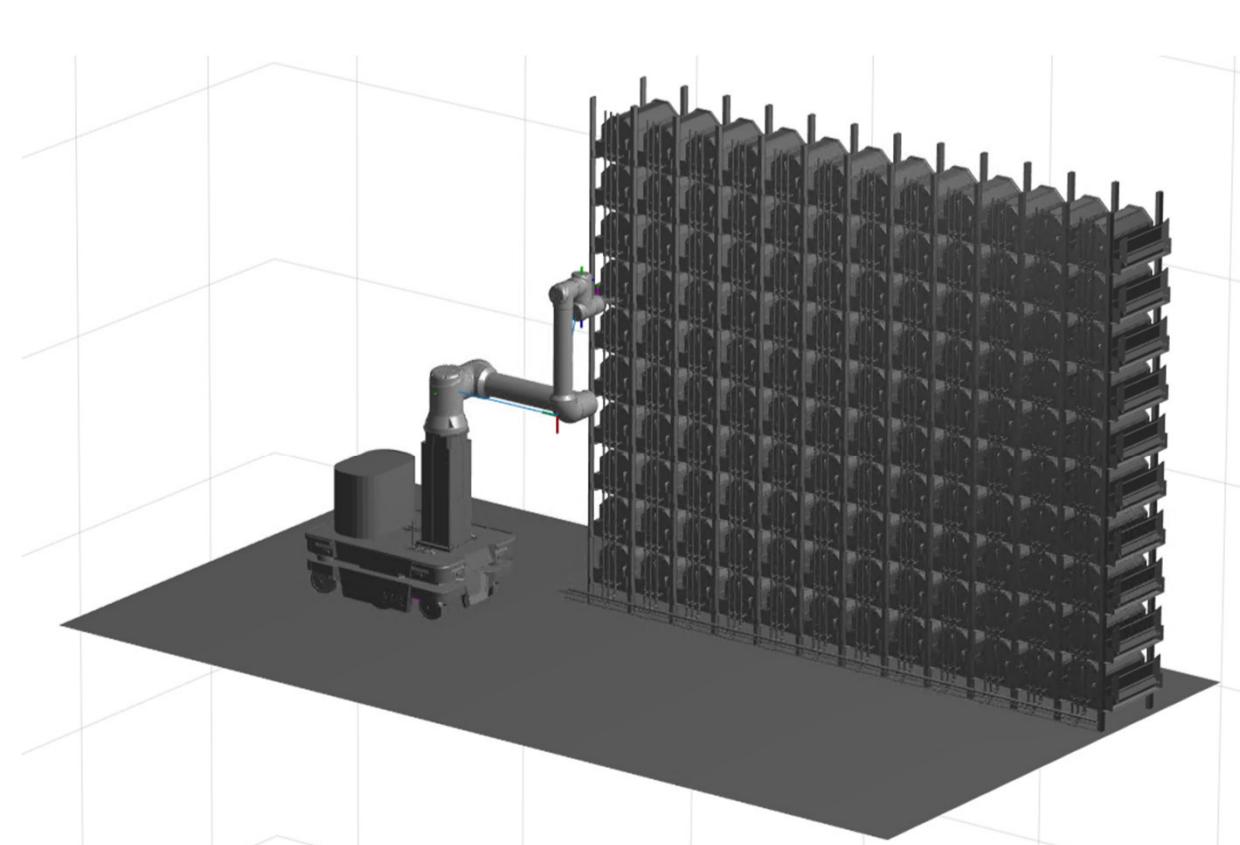


Abbildung 1:
Simulation einer Mobilen Leckageprüfung eines Elektrolyseurs

Assistenzsysteme

- Die manuelle Prozessführung ist insb. durch die Sensoreigenschaften fehleranfällig
- Assistenzsysteme können die Prozesssicherheit erhöhen und die Effizienz steigern
 - Einhaltung von Sensortrajektorien oberhalb von Dichtflächen
 - Dokumentation
 - Leckagelokalisierung

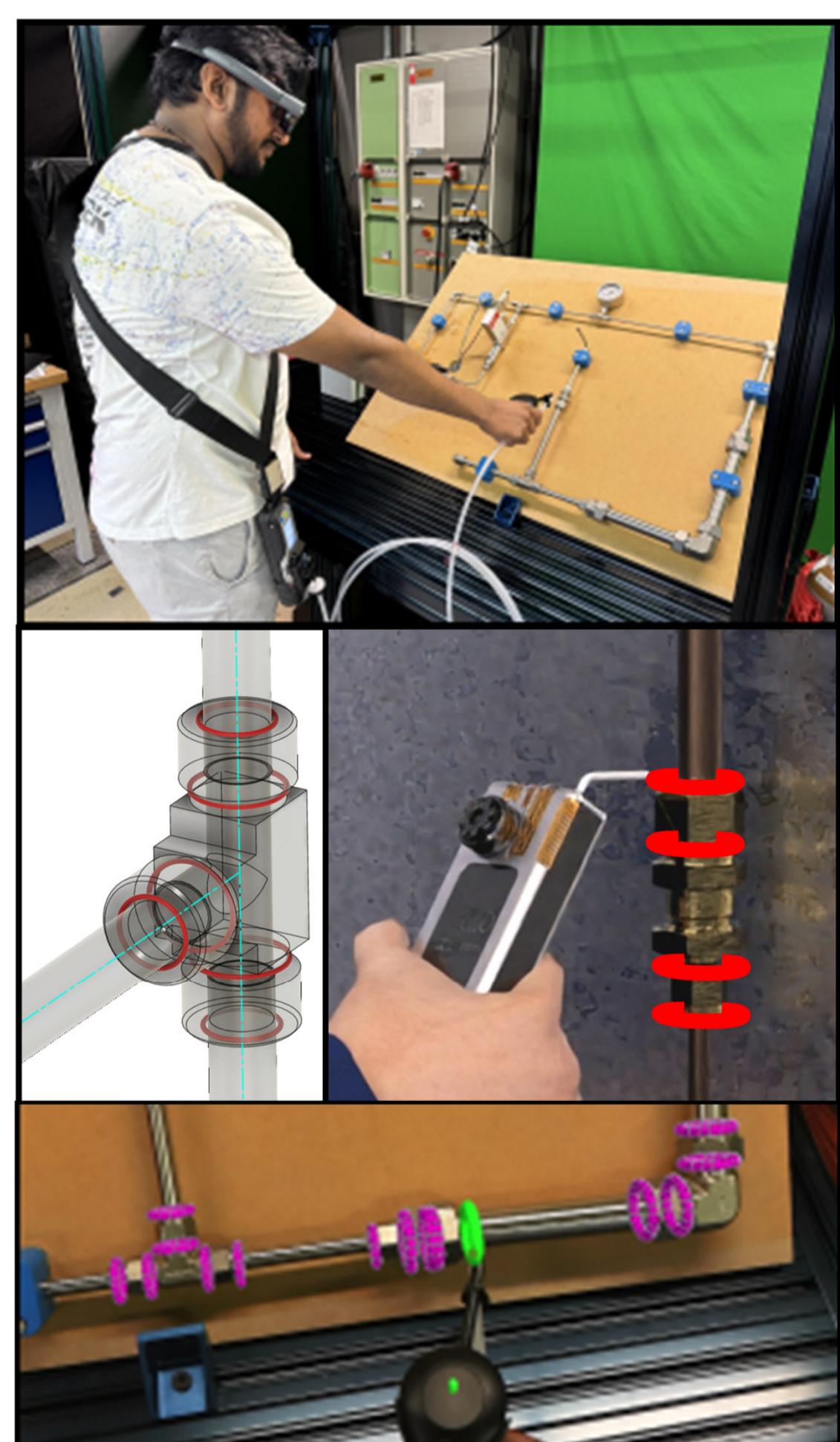
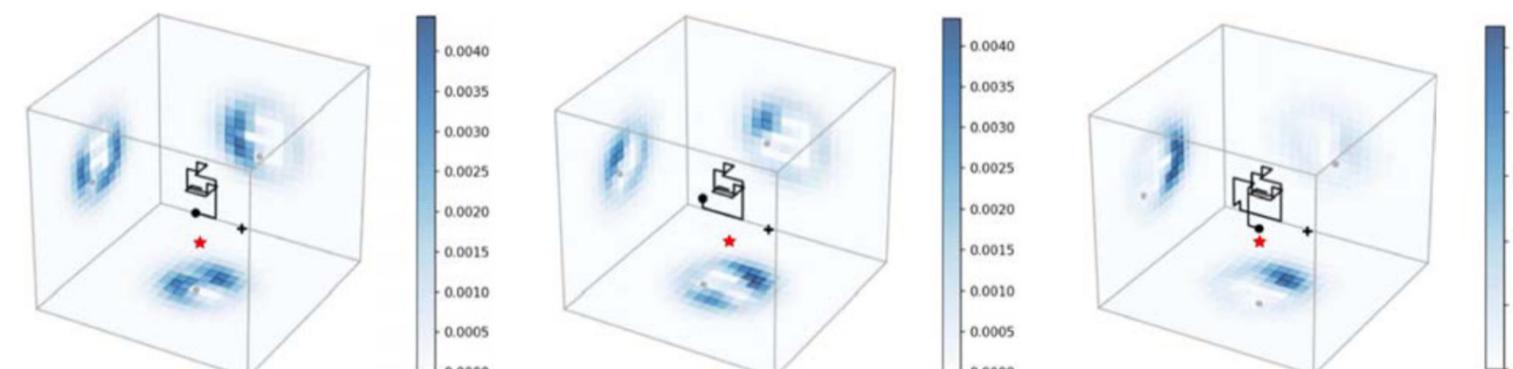


Abbildung 2:
AR-Assistenzsystem für das Einhalten von Sensortrajektorien eines manuell geführten Gassensors

[7]

Datenanalyse Leckagelokalisierung: Übersicht über Gas Source Localization (GSL) Ansätze



number of search steps = 60 number of search steps = 80 number of search steps = 100

Gradient climbing Infotaxis(2D) Infotaxis(3D)+PF

37.65% 70.35% 97.65%

[8]

Tabelle 1:
Auswahl von Algorithmen für die Lokalisierung von Gasleckagen

	CFD	Topologische Ansätze	Dirktionale Suchverfahren	Probabilistische Modelle	Kernel DH+VDDM	MC Kernel DMV	GMRF	Parallelfilter	Explorative Ansätze	Heuristische Ansätze	Maschinelles Lernen	Informationstheoretische Ansätze
Einsetzbarkeit kleine Leckagen	✓	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	o	o	✓
Umschärfe in den Rohdaten kompensieren	✓	x	x	✓	x	✓	x	✓	x	o	✓	✓
Lightweight & nahe Echtzeit Berechnung	x	✓	✓	x	✓	x	x	✓	✓	o	x	
Lokalisierung im 3D-Raum	✓	x	x	✓	✓	✓	x	✓	x	o	✓	
Kontinuierliche Messung ohne Stillstand möglich	✓	x	x	x	x	✓	✓	x	o	✓	✓	
Hohe Suchgeschwindigkeit	x	✓	✓	x	x	x	o	o	✓	o	o	
Einfluss von Geometrie auf die Strömung berücksichtigt	✓	x	x	x	x	x	x	✓	x	x	o	/o

Legende
✓ = Erfüllt die Anforderung
x = Erfüllt die Anforderung nicht
o = Teilweise erfüllt / eingeschränkt anwendbar

GEFÖRDERT VON



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

- Quellen:**
- [1] Meissner, Robert, et.al., „Towards Climate-Neutral Aviation: Assessment of Maintenance Requirements for Airborne Hydrogen Storage and Distribution Systems“ (2023) <https://doi.org/10.1016/j.jhydene.2023.04.058>
 - [2] Europäische Kommission: Fly the Green Deal. Europe's Vision for Sustainable Aviation. policy, Luxemburg: Publ. Off. of the Europ. Union, ISBN 978-92-76-43368-2
 - [3] Energy Supply Device Aviation Rulemaking Committee: Energy Supply Device ARC Recommendation Report, DOT/FAA/TC-19/16, (2017)
 - [4] Cryoplane, Liquid Hydrogen Fueled Aircraft – System Analysis, GRD1-1999-10014 (2003)
 - [5] Adler, E. J.; Martins, J. R.: Hydrogen-powered aircraft: fundamental concepts, key technologies, and environmental impacts. Progress in Aerospace Sciences, Bd. 141, PII: S0376042123000386, S. 10022 (2023)
 - [6] Masuhr, Christian, et.al., „Leakage inspection for the scale-up of hydrogen electrolyzers: A case study and comparative analysis of technologies“, (2023) https://doi.org/10.1007/978-3-031-38241-3_56
 - [7] Hanser Assistenzsysteme, 2024 (Accepted)
 - [8] He, Duan, et.al., „Gas Source Localization for UAV Using Infotaxis-Based Three-Dimensional Algorithm and Particle Filtering“, (2024) <https://doi.org/10.23919/CCCS3176.2024.10662172>.

