

Versuche zur Ortung von Wasserstoffleckagen durch ein Sensorsystem an der Raumdecke

Institut für Sicherheitstechnik/Schiffssicherheit.de

Friedrich-Barnewitz-Str. 4c
18119 Rostock-Warnemünde

Mail: institut@schiffssicherheit.de
Web: schiffssicherheit.de

Dr. Werner Frühlingsdorf
Dr. Dana Meißner

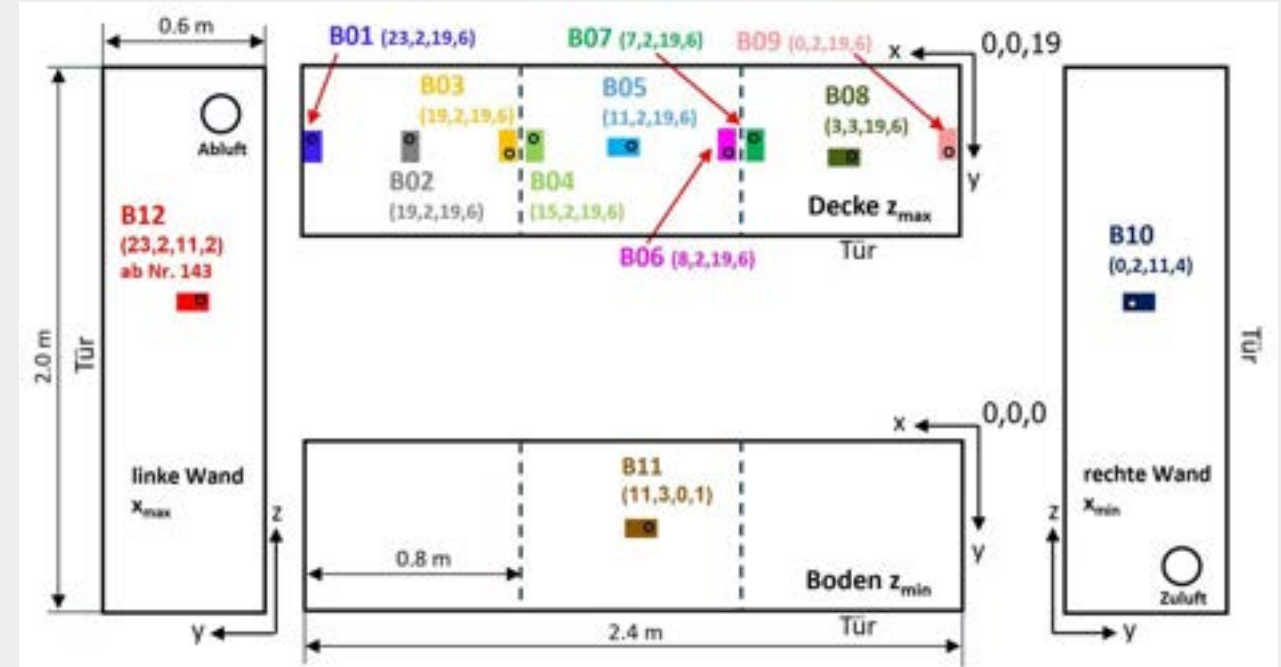
Juni 2026



Es soll untersucht werden, ob für die Ortung von Wasserstoff-Leckagen in geschlossenen Räumen eine dreidimensionale Sensorverteilung im Raum notwendig ist oder ob ein 2D-Sensorennetz an der Raumdecke ausreicht.

Überlegung:

Wasserstoff steigt sehr schnell (ca. 7 m/s) senkrecht an die Decke (wenn keine Strömung im Raum) und verteilt sich erst dann. → Ist eine Ortung der Leckage durch einfache Fällung des Lotes vom zuerst an der Decke reagierenden Sensor möglich?



Messvolumen (ca. 3 m³)

Durchführung:

- Messungen im ca. 3 m³ Messvolumen (2,4 m breit, 2,0 m hoch, 0,6 m tief)
- 9 Messpunkte (jeweils Kombi elektrochemischer Sensor + Wärmeleitungssensor) in einer Reihe an der Decke
- Messungen mit He/H₂ = 60 / 40 und Formiergas N₂/H₂ = 80 / 20

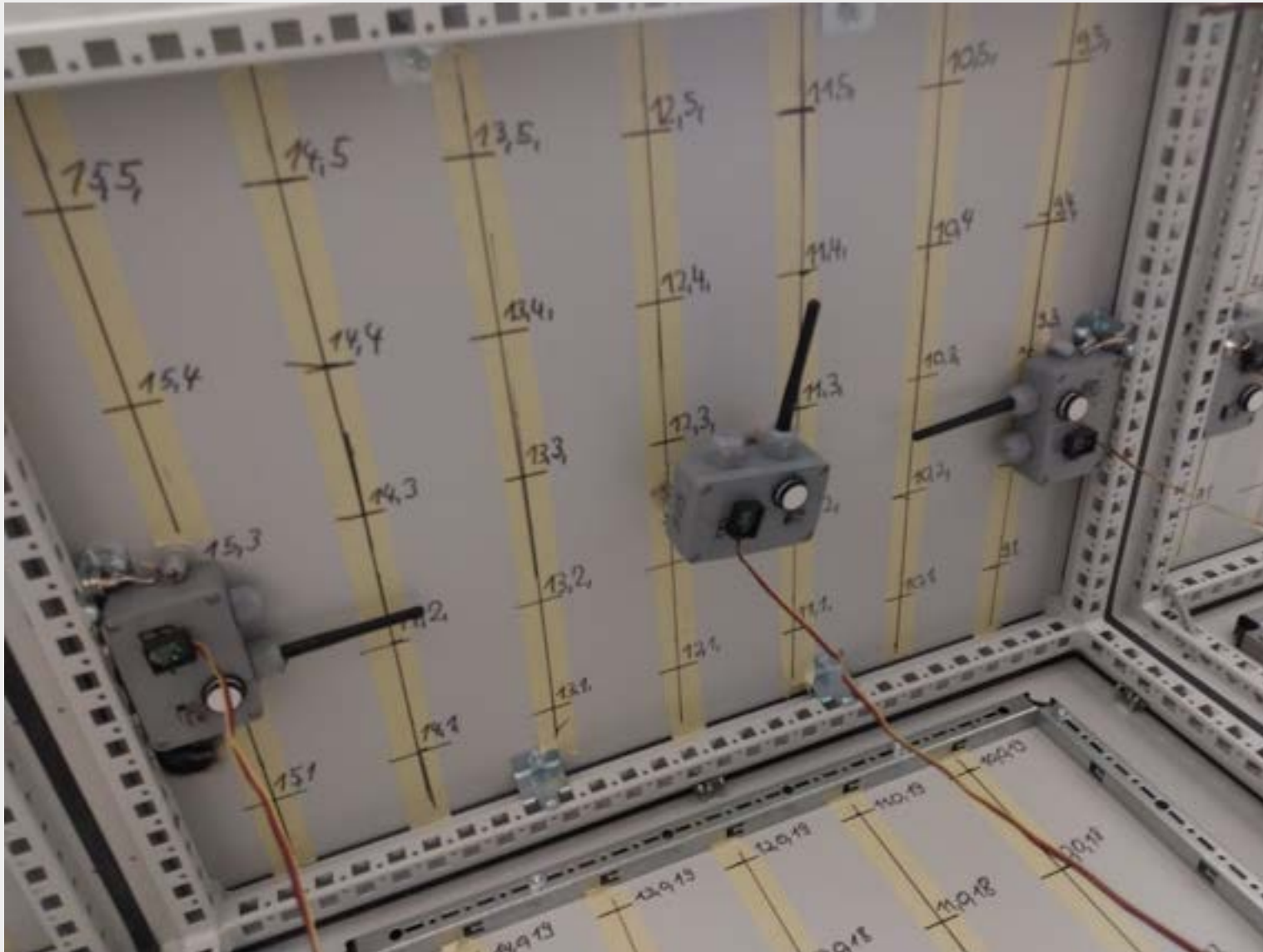


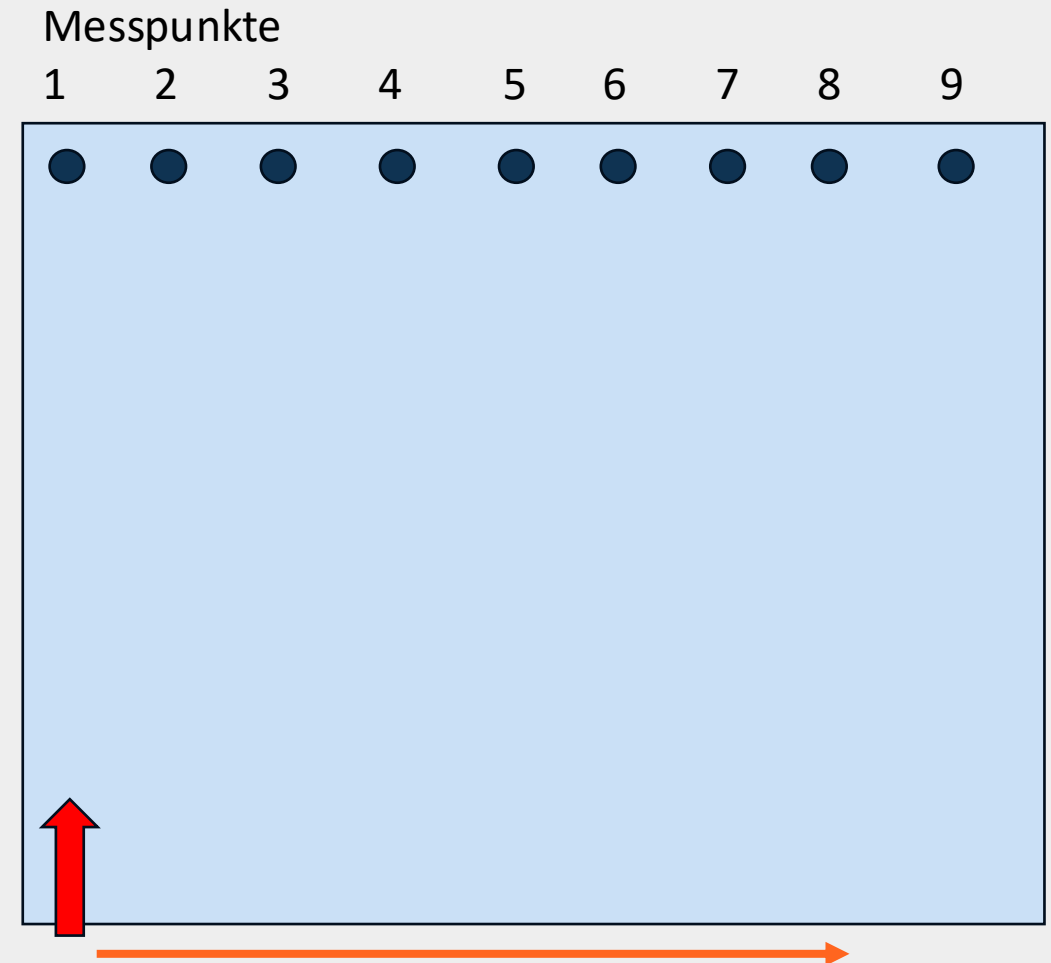
Bild:

Anordnung der Sensoren an der
Decke im Messvolumen

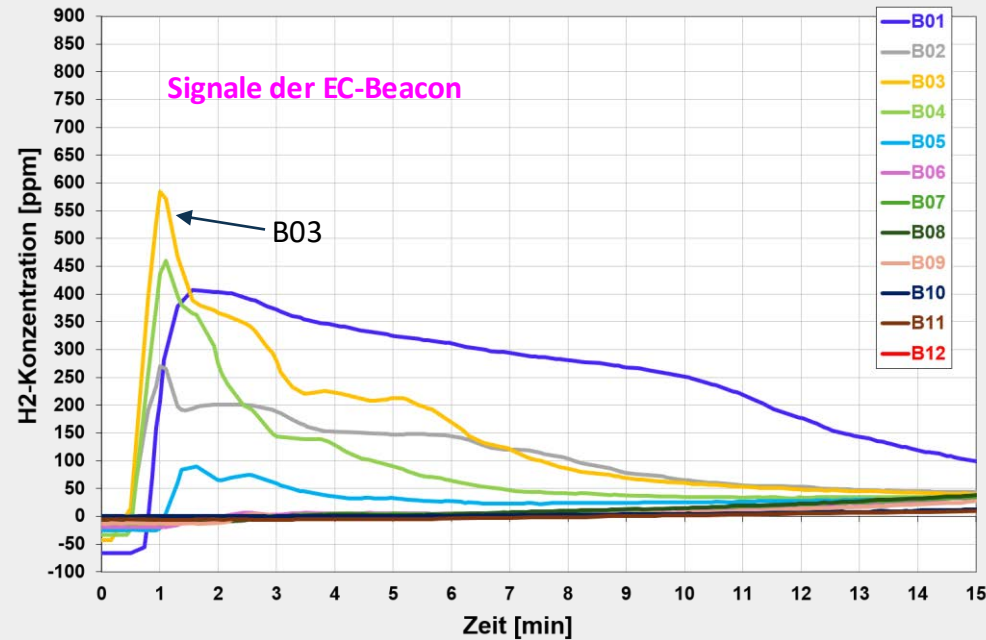
Messpunkte: Kombination
elektrochemischer Sensor
(„Beacon“ → runde weiße
aktive Fläche) und
Wärmeleitungssensor
(schwarzes Kästchen)

Versuchsreihe 1

- Eindüsung von 500 ml Gasgemisch $\text{He} / \text{H}_2 = 60 / 40$ der Reihe nach jeweils unterhalb eines Messpunktes (1 - 9) vom Boden des Messvolumens aus in Richtung der Decke des Messvolumens
- keine Strömung, keine Hindernisse im Messvolumen
- Eindüsgeschwindigkeit langsam (30 s) oder schnell (2 s)



Eindüsposition der Reihe nach unter den einzelnen Messpunkten im Messvolumen, Richtung nach oben



Versuche mit 500 mL Gasgemisch, Eindüsen in 30s,
Eindüsrichtung nach oben Richtung Decke

Bild: Sensormuster der EC-Beacons bei Eindüsung des Gases
genau **unter dem Messpunkt 3**
→ EC-Sensor am Messpunkt 3 an der Decke reagiert zuerst

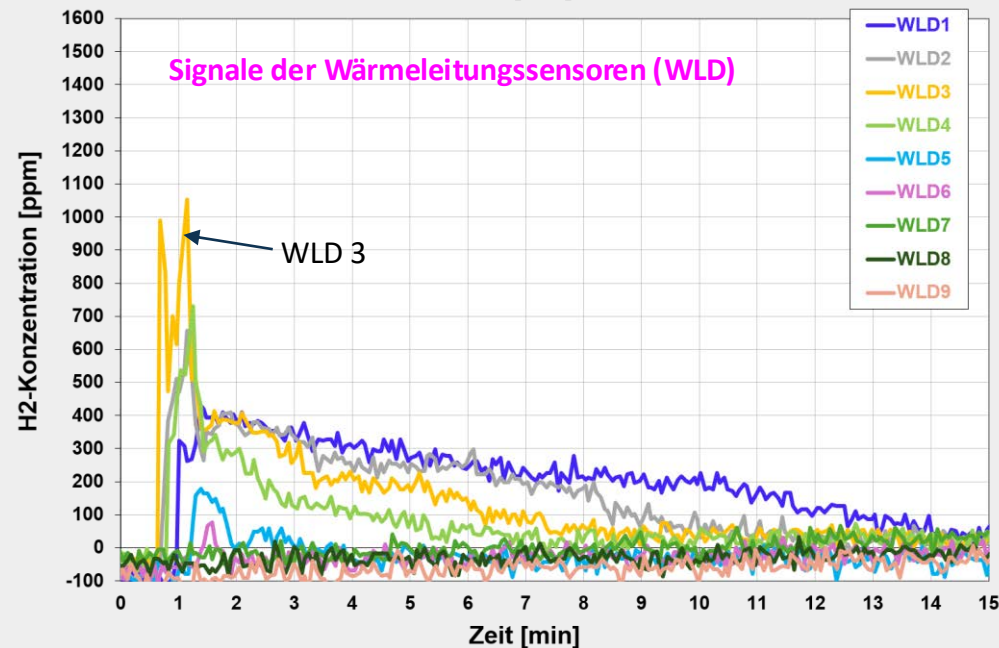
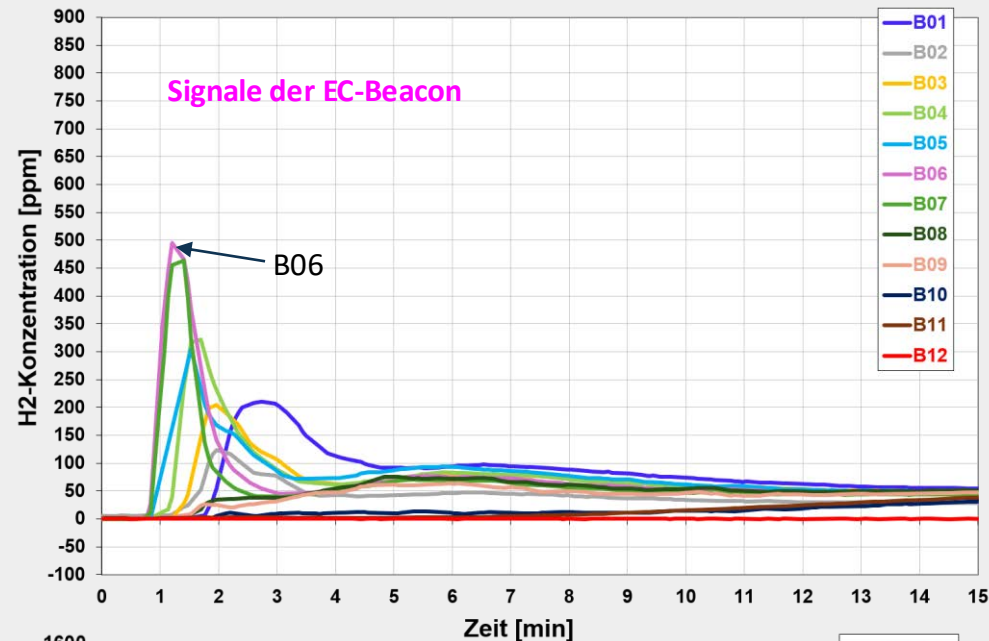


Bild: Sensormuster der WLD-Sensoren bei Eindüsung des Gases
genau **unter dem Messpunkt 3**
→ WLD-Sensor am Messpunkt 3 an der Decke reagiert zuerst

(Werte für alle WLD korrigiert wegen He- Querempfindlichkeit!
Die H₂-Konzentration entspricht 40 % der gemessenen
Gaskonzentration (40 %: Raumanteil von H₂ in He 60 / H₂ 40).



Versuche mit 500 mL Gasgemisch, Eindüsen in 30s,
Eindüsrichtung nach oben Richtung Decke

Bild: Sensormuster der EC-Beacons bei Eindüsung des Gases
genau **unter dem Messpunkt 6**
→ EC-Sensor am Messpunkt 6 an der Decke reagiert zuerst,
EC-Sensor 7 sehr kurz danach

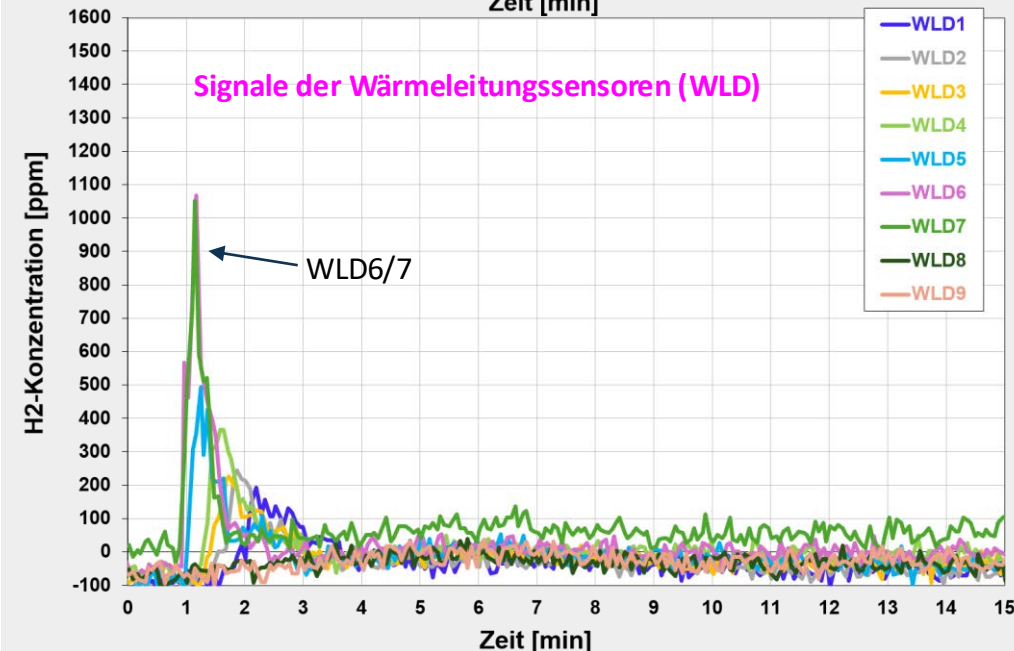


Bild: Sensormuster der WLD-Sensoren bei Eindüsung des Gases
genau **unter dem Messpunkt 6**
→ WLD-Sensor am Messpunkt 6 an der Decke reagiert zuerst,
WLD-Sensor 7 sehr kurz danach

(Werte für alle WLD korrigiert wegen He- Querempfindlichkeit!
Die H₂-Konzentration entspricht 40 % der gemessenen
Gaskonzentration (40 %: Raumanteil von H₂ in He 60 / H₂ 40).

Eindüsen unter Messpunkt	Geschwindigkeit Eindüsen von 500 ml Gasgemisch [s]	Beacon zuerst	Beacon höchste Konz [ppm]
1	30	B01	B1 620
	2	B03	B04 450
2	30	B02	B01 400
	2	B02	B03 320
3	30	B03	B03 580
	2	B03	B03 370
4	30	B04	B04 460
	2	B04	B03 400
5	30	B05	B05 850
	2	B06	B07 320
6	30	B06	B06 500
	2	B07	B04 350
7	30	B06	B07 530
	2	B07	B07 370
8	30	B08	B07 420
	2	B08	B07 550
9	30	B09	B09 860
	2	B09	B07 500

Eindüsen unter Messpunkt	Geschwindigkeit Eindüsen von 500 ml Gasgemisch [s]	WLD zuerst	WLD höchste Konz [ppm]
1	30	W1	W1 1600
	2	W1 + W2	W3 1020
2	30	W2	W2 700
	2	W2	W2 850
3	30	W3	W3 1050
	2	W3	W3 1000
4	30	W3 + W4	W3 950
	2	W4	W4 1550
5	30	W5	W5 1580
	2	W5	W7 650
6	30	W6	W6 1080
	2	W6 + W7	W7 620
7	30	W7	W7 740
	2	W6 + W7	W6 1300
8	30	W8	W8 500
	2	W8 + W9	W9 880
9	30	W9	W9 1110
	2	W9	W9 1600

zuerst reagierender
Sensor ist genau über
der Eindüs-Position

zuerst reagierender
Sensor ist eine
Position links oder
rechts über der
Eindüs-Position

Zuerst reagierender
Sensor ist mehr als
eine Position links
oder rechts über der
Eindüs-Position

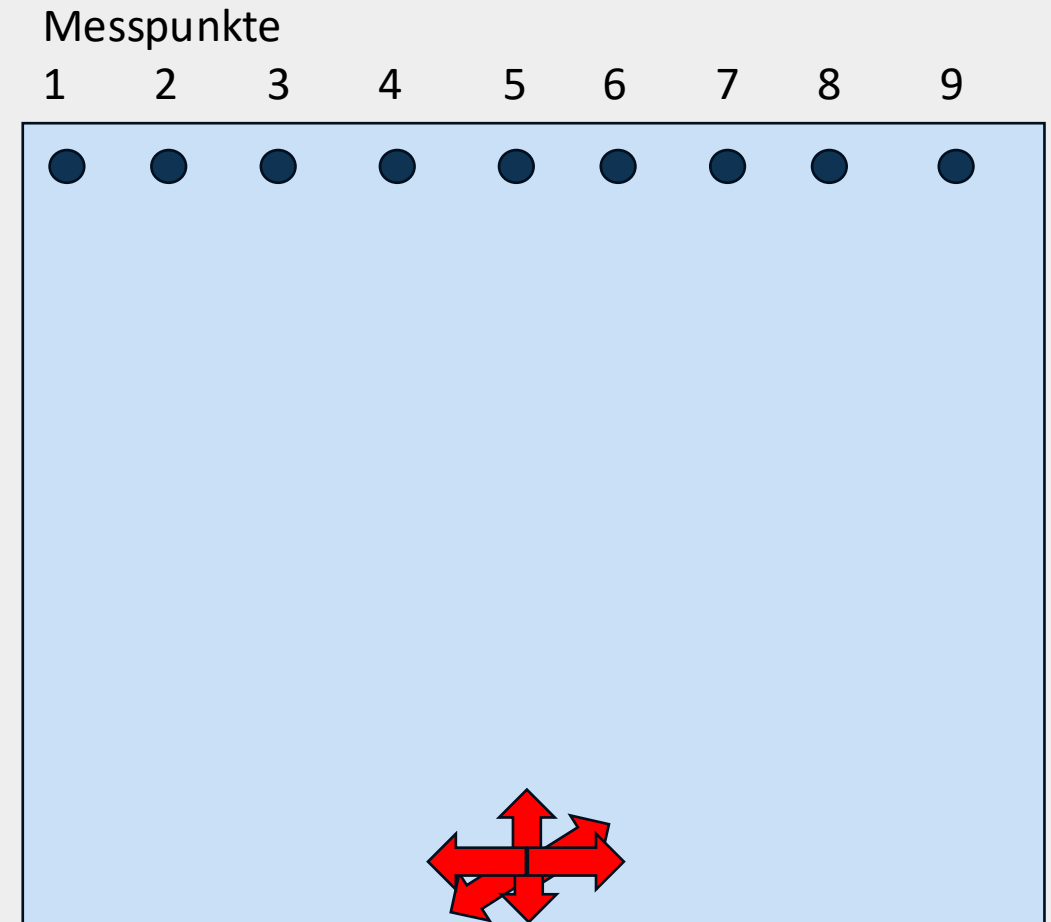
Auswertung:

EC-Sensoren: in den allermeisten Fällen reagiert der Sensor, der sich direkt über der Eindüs-Position befindet, zuerst. In vielen Fällen zeigt dieser Sensor auch die größte H_2 -Konzentration an.

WLD-Sensoren: in allen Fällen reagiert der Sensor, der sich direkt über der Eindüs-Position befindet, zuerst. In den meisten Fällen zeigt dieser Sensor auch die größte H_2 -Konzentration an.

Versuchsreihe 2

- Eindüsung von 500 ml Gasgemisch **He / H₂ = 60 / 40** immer unter Messpunkt 5 vom Boden des Messvolumens, Variation der Eindüsrichtung
- keine Strömung, keine Hindernisse im Messvolumen
- Eindüsgeschwindigkeit langsam (30 s) oder schnell (2 s)



Eindüsposition immer am Boden des Messvolumens,
immer unter Messpunkt 5, Variation der Eindüsrichtung

Eindüs- richtung	Eindüs- geschwin- digkeit [s]	Beacon zuerst	Beacon höchste Konz
Nach oben	30	B05	B05 850
	2	B06	B07 320
Nach links	30	B05	B06 360
	2	B05	B05 190
Nach rechts	30	B05	B06 355
	2	(B10) B08	B07 260
Nach vorn	30	B04	B04 290
	2	B05	B01 305
Nach hinten	30	B05	B06 360
	2	B06 + B07	B07 210
Nach unten	30	B05	B05 340
	2	B03	B04 260

Eindüs- richtung	Eindüs- geschwin- digkeit [s]	WLD zuerst	WLD höchste Konz
Nach oben	30	W5	W5 1580
	2	W5	W7 650
Nach links	30	W5	W5 460
	2	W5	W4 240
Nach rechts	30	W5	W5 620
	2	W9	W4 330
Nach vorn	30	W5 + W7	W4 440
	2	W5	W5 800
Nach hinten	30	W5	W6 540
	2	W6	W7 270
Nach unten	30	W5	W6 380
	2	W4 + W5	W4 270

zuerst reagierender
Sensor ist genau über
der Eindüs-Position

zuerst reagierender
Sensor ist eine
Position links oder
rechts über der
Eindüs-Position

Zuerst reagierender
Sensor ist mehr als
eine Position links
oder rechts über der
Eindüs-Position

Auswertung:

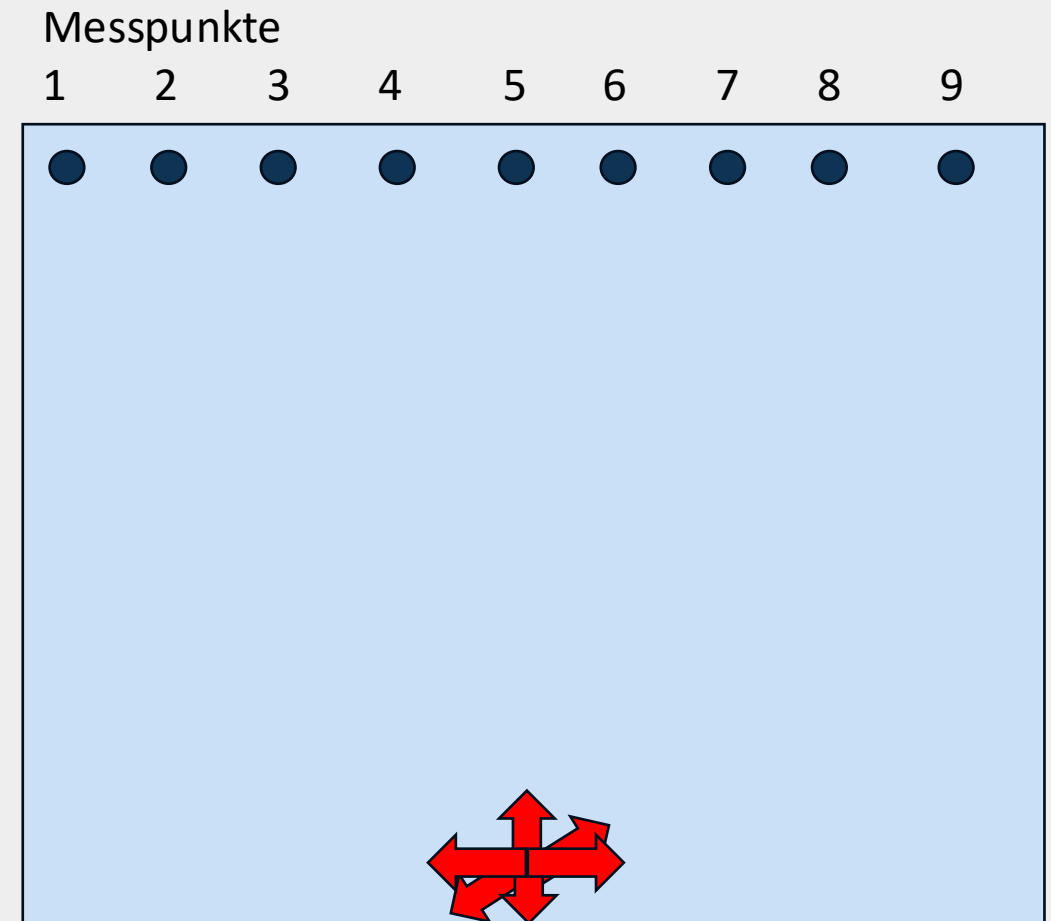
EC-Sensoren: in den meisten Fällen reagiert der Sensor 5 oder ein direkt benachbarter Sensor zuerst, unabhängig davon, in welche Richtung das wasserstoffhaltige Gemisch eingedüst wurde. Die größte H₂-Konzentration entsteht an wechselnden Positionen an der Decke.

WLD-Sensoren: in fast allen Fällen reagiert der Sensor 5, der sich direkt über der Eindüsstelle befindet, zuerst, unabhängig davon, in welche Richtung das wasserstoffhaltige Gemisch eingedüst wurde.

In den meisten Fällen zeigt Sensor 5 oder ein direkt benachbarter Sensor auch die größte H₂-Konzentration an.

Versuchsreihe 3

- Eindüsung von 500 ml Gasgemisch $N_2 / H_2 = 80 / 20$ immer unter Messpunkt 5 vom Boden des Messvolumens, Variation der Eindüsrichtung
- keine Strömung, keine Hindernisse im Messvolumen
- Eindüsgeschwindigkeit langsam (30 s) oder schnell (2 s)



Eindüsposition immer am Boden des Messvolumens,
immer unter Messpunkt 5, Variation der Eindüsrichtung

Eindüs- richtung	Eindüs- geschwin- digkeit [s]	Beacon zuerst	Beacon höchste Konz
Nach oben	30	B05	B06 600
	2	B05 + B06	B06 570
Nach links	30	B03	B03 220
	2	B02	B01 30
Nach rechts	30	B09	B08 330
	2	B09	B08 300
Nach vorn	30	B05	B05 370
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	
Nach hinten	30	B06	B06 400
	2	B09	B07 125
Nach unten	30	B04	B05 500
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	

Eindüs- richtung	Eindüs- geschwin- digkeit [s]	WLD zuerst	WLD höchste Konz
Nach oben	30	W5	W5 960
	2	W6	W6 1600
Nach links	30	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	
Nach rechts	30	W9	W9 450
	2	W9	W9 350
Nach vorn	30	W5 + W6	W5 670
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	
Nach hinten	30	W6	W6 750
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	
Nach unten	30	W4	W4 1000
	2	An keinem Sensor ein signifikantes Signal	

zuerst reagierender
Sensor ist genau über
der Eindüs-Position

zuerst reagierender
Sensor ist eine
Position links oder
rechts über der
Eindüs-Position

Zuerst reagierender
Sensor ist mehr als
eine Position links
oder rechts über der
Eindüs-Position

Auswertung:

EC-Sensoren: keine Zuordenbarkeit des zuerst reagierenden Sensors zur Eindüs-Position, keine Zuordenbarkeit des am höchsten reagierenden Sensors zur Eindüs-Position.

WLD-Sensoren: keine Zuordenbarkeit des zuerst reagierenden Sensors zur Eindüs-Position, keine Zuordenbarkeit des am höchsten reagierenden Sensors zur Eindüs-Position.

- Für das untersuchte Helium-Wasserstoff –Gasgemisch ist die Lokalisierung einer Gasfreisetzung in geschlossenen Räumen durch Fällen des Lotes vom zuerst reagierenden Sensor an der Raumdecke sehr gut möglich! Unabhängig von der Eindüsrichtung des Gasgemisches reagiert der Sensor direkt über der Eindüsstelle zuerst. Dies gilt für elektrochemische Sensoren und insbesondere für Wärmeleitungssensoren.
- Es ist zu erwarten, dass diese Aussage und die Treffgenauigkeit bei Einsatz von reinem Wasserstoff noch besser zutreffen, da die Aufstiegs geschwindigkeit dann noch größer wäre als für das He/H₂-Gemisch.
- Die Unabhängigkeit von der Eindüsrichtung weist darauf hin, dass ein Wasserstoffstrahl sehr bald nach dem Austritt nach oben steigt und kaum eine impulsgetriebene Fortbewegung in Austrittsrichtung erfolgt.

In weiteren Versuchen ist zu klären:

- Bis zu welchen Raumhöhen gilt die getroffene Aussage?
- Bis zu welchen Strömungsgeschwindigkeiten im Raum gilt die getroffene Aussage?
- Welchen Einfluss haben Hindernisse?

Für Formiergas N₂/H₂ = 80/20 ist eine Lokalisierung einer Gasfreisetzung in geschlossenen Räumen durch Fällen des Lotes vom zuerst reagierenden Sensor an der Raumdecke nicht möglich! Das Gasgemisch hat eine ähnliche Dichte wie Luft, der Auftrieb erfolgt langsam und relativ gleich verteilt.