

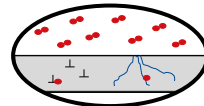
Gefährdungen im Umgang mit Wasserstoff



Extrem entzündbares Gas



Geruchlos



Wasserstoffversprödung



Gas unter Druck,
verdichtet, verflüssigt,
tiefgekühlt



Unsichtbare Flamme



Prozessbedingte
Gefährdungen

ID 053139

10

Eigenschaften von Wasserstoff (CAS-Nr.: 1333-74-0)


- **kleines Molekül**
 - sehr geringe Dichte (14-mal leichter als Luft)
 - steigt 6-mal schneller als Erdgas auf
 - hohes Diffusionsvermögen, hohe Leckrate
- **farb-, geruch- und geschmacklos**
- **Wasserstoff ist brennbar (Brennstoff)**
 - hohe Brenngeschwindigkeit, unsichtbare Flamme
 - geringe Wärmestrahlung trotz hoher Flammentemperatur
 - Selbstentzündungstemperatur: 560 °C (Temperaturklasse T1)
 - Explosionsgruppe: IIC

Mehr Informationen
>>> [Wasserstoff](#)



ID 053140

11



Wasserstoff (H₂) vs. Methan (CH₄)

Was ist gleich...


| | CH ₄ | H ₂ |
|------------------|-----------------|----------------|
| gasförmig | Ja | Ja |
| farblos | Ja | Ja |
| geruchlos | Ja | Ja |
| giftig | Nein | Nein |
| brennbar | Ja | Ja |
| Temperaturklasse | T1 | T1 |

Was ist anders...

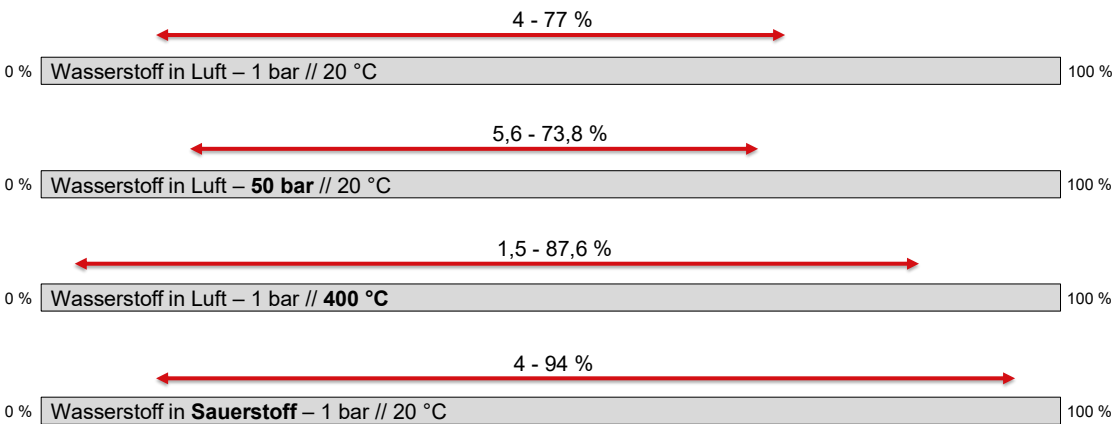
| | CH ₄ | H ₂ |
|------------------------------------|-----------------|----------------|
| Explosionsbereich in mol.-% | 4,4 - 17 | 4,0 - 77 |
| Mindestzündenergie in mJ | 0,23 | 0,017 |
| Explosionsgruppe | IIA | IIC |
| Flammenfarbe | blau | farblos |
| Molekülgröße in pm | 220 | 75 |
| Joule-Thomson-Koeffizient in K/bar | 0,4 | - 0,03 |
| Infrarotabsorption | ja | nein |

ID 050458

12



Brennbarkeitsgrenzen von Wasserstoff



| Bedingung | Untere Grenze (%) | Obere Grenze (%) |
|--|-------------------|------------------|
| Wasserstoff in Luft – 1 bar // 20 °C | 4 | 77 |
| Wasserstoff in Luft – 50 bar // 20 °C | 5,6 | 73,8 |
| Wasserstoff in Luft – 1 bar // 400 °C | 1,5 | 87,6 |
| Wasserstoff in Sauerstoff – 1 bar // 20 °C | 4 | 94 |

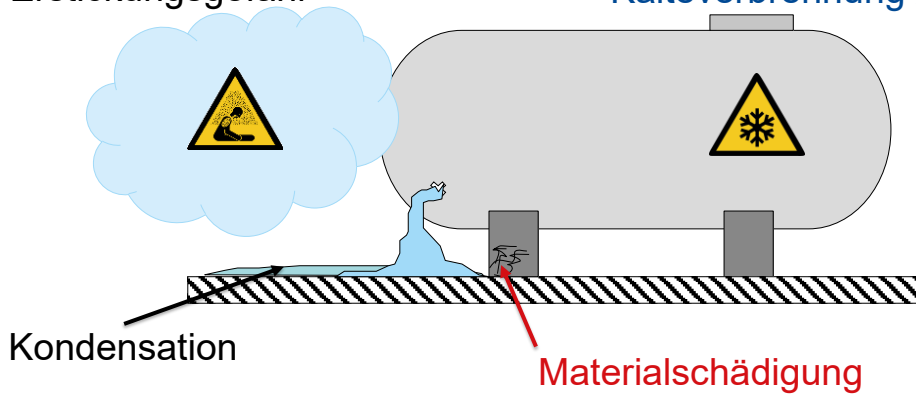
ID 050518

14

Besonderheiten flüssiger Wasserstoff

Erstickungsgefahr

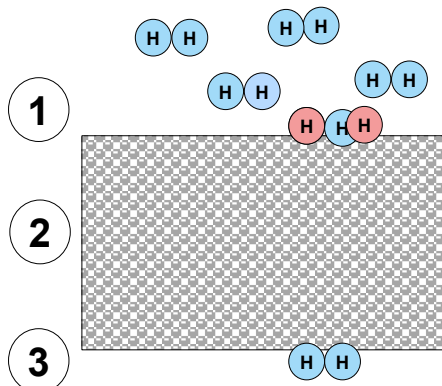
Kälteverbrennung / Erfrierung



ID 050521

15

Permeation



1. Adsorption und Dissoziation

- Anlagerung H₂ an Oberflächen
- Spaltung H₂ → 2H⁺

2. Diffusion

- Eindringen des H-Atoms in das Metallgitter

3. Desorption

- Austreten eines Wasserstoffmoleküls an der Außenseite

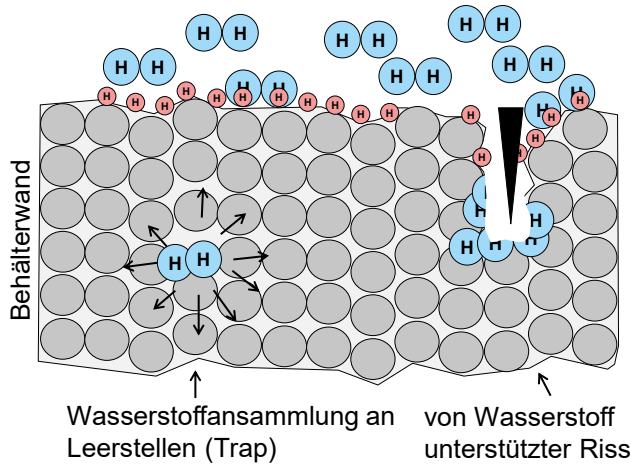
$$Permeationsrate J = P_0 \exp\left(-\frac{E_0}{RT}\right) \frac{\sqrt{p_r}}{l}$$

Die Formel ist mit Beschriftungen versehen: P_0 ist der Permeabilitätskoeffizient, E_0 ist die Aktivierungsenergie, R ist die Gaskonstante, T ist die Materialtemperatur, p_r ist der Reservoirdruck und l ist die Wanddicke.

ID 050553

17

Wasserstoffversprödung



Einlagerung von Wasserstoff in das Atomgitter und Rekombination, besonders an beanspruchten Stellen:

- Leerstellen
- Korngrenzen
- Versetzungen
- Rissspitzen

→ Reduzierung der Festigkeit
→ Versprödung
→ Spannungsrisskorrosion

ID 050604

19

Regelwerke zur Wasserstoffbeständigkeit (Auswahl)

- **Druckgeräterichtlinie:** „[Werkstoffe] müssen in ausreichendem Maßstab chemisch beständig sein“
- **TRGS 722** – Dichtheit von Anlagenteilen: „Bei der Konstruktion von Anlagenteilen für die Handhabung mit brennbaren Gasen [...] sind die Werkstoffe so auszuwählen, dass sie den zu erwartenden mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen standhalten. [...] Gefahren durch Reaktionen des Wandmaterials mit den brennbaren Gefahrstoffen sind auszuschließen.“
- **DVGW Info G29:** „Materialien, Werkstoffe und die daraus gefertigten elementaren Bauteile sind einsatzbereit für den Betrieb mit Wasserstoff, wenn sie so gewählt, ausgeführt, betrieben und instand gehalten werden, dass die Anforderungen an die Integrität und Dichtheit über die gesamte Lebensdauer erfüllt sind. Die Eignung ist vom Betreiber für die jeweilige Anwendung festzustellen und nachzuweisen.“
- Technische Regel **API RP 941:2020-08** „Steels for Hydrogen Service at Elevated Temperatures and Pressures in Petroleum Refineries and Petrochemical Plants“ ($T > 178\text{ °C}$)

ID 053144

20

Wasserstoffbeständige Materialien

Die Beständigkeit hängt ab u. a. von:

- Werkstoffart & Gefüge
- Komponentenart / Einsatzgebiet
- Betriebsweise (Druck / Temperatur)
- Gaszusammensetzung



**Dehnungsstabile
austenitische Stähle**



Ferritischer Stahl

→ Überprüfung von 31 Stahlwerkstoffen [DVGW-Studie „SyWest H2“](#)

„Für alle in diesem Projekt geprüften Pipeline- und Rohrleitungsstähle (...) liegt somit grundsätzliche Tauglichkeit für den Transport von Wasserstoff vor.“

ID 053143