

Die



by **efficientics**
Hydrogen Safety Consulting

Wasserstoff (H₂)

Dipl.-Ing. (FH) Christian MACHENS

www.feuersh2ow.com

Dipl.-Ing. (FH) Christian MACHENS (H₂ Experte)

Eine kurze Vorstellung der H₂ Erlebnisse in 27 Jahren (1999 - 2026)

1. 1999: Diplomarbeit „Brennstoffzellenschiff“
2. Geschäftsführer „ETA-ING GmbH: Weltweit erstes Brennstoffzellenschiff „HYDRA“ gebaut und zugelassen
3. Elektrolyseanlagen im MW-Maßstab gebaut und in Betrieb genommen
4. In vielen Hy-Projekten der EU mitgearbeitet (2001 - 2007)
5. Ca. 6.000 Menschen in „Hochvolttechnik“ (auch AuS) ausgebildet (EU/ Indien/USA/China): TÜV, Porsche, Siemens, Bosch, Lamborghini, Tata, Nicola und viele andere.
6. H2 HAZOP: ca. 40 chair-sessions für viele Firmen weltweit.
7. H2-Trainings: Airbus, AVL, Bosch, Deutz, DLR, Daimler Truck, Shell, ...

Kontakt Daten:

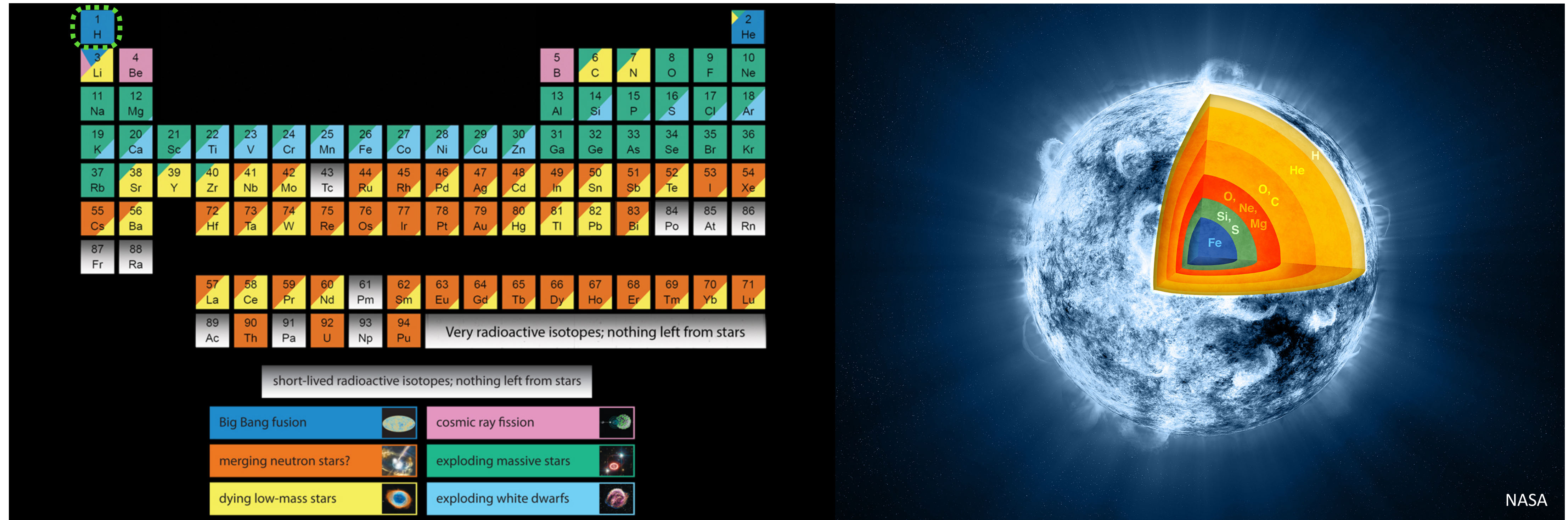
Christian MACHENS

machens@efficientics.com

GSM: 0151-24155887



Wasserstoff war das erste Element:



- Alle Wasserstoff-Atome sind in der ersten 0,5s des Urknalls entstanden. Danach Helium (He) und Lithium (Li). Alle anderen Elemente erst Milliarden Jahre später
- Ca. 75% aller Atome im Universum sind Wasserstoff-Atome, 24% Helium (zusammen 99%)
- Die großen Gasplaneten (Jupiter, Saturn) haben einen Kern aus metallischem Wasserstoff (supraleitend, magnetisch)
- In unserer Sonne reagieren jede Sekunde ca. 600 Mio. Tonnen Wasserstoff zu Helium (Kernfusion)

H₂ im Vergleich mit anderen Energieträgern

Formel		H ₂	CH ₄	C ₃ H ₈	C ₇ H ₁₆	C ₁₀ H ₂₂
Name	Einheit	Wasserstoff	Methan	Propan	Benzin	Diesel
Strukturformel		$\text{H}-\text{H}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$		
Untere Zündgrenze UZG	Vol.-%	4,0	4,4	1,7	1,1	0,7
Unterer Detonationsgrenze UDG	Vol.-%	18,3	6,3	2,2		
Stöchiometrisches Gemisch	Vol.-%	29	9,5	4,0	1,9	1,3
Obere Detonationsgrenze ODG	Vol.-%	59,0	13,5	9,2		
Obere Zündgrenze OZG	Vol.-%	77	17,0	10,9	6,7	5,4
Zündenergie (min.)	mJ	0,016	0,290	0,240	0,24	
Lösch-/Grenzspaltweite (MESG)	mm	<0,5	>1,1	>0,9	>0,9	>0,9
Explosionsgruppe (IEC60079)		IIC	IIA	IIA	IIA	IIA
Selbstzündungstemperatur (Oberfläche)	°C	560	595	470	215	205
Flammentemperatur	°C	2.065	1.970	1.925	1.026	2.104
Laminare Brenngeschwindigkeit	m/s	3,4	0,35	0,45	0,46	0,86
Detonationsgeschwindigkeit	m/s	2.000	1.680	2.384	2.500	3.000
Schallgeschwindigkeit	m/s	1.280	466	258		
Explosionskraft	kgTNT/m ³	2	7	20		
Sauerstoffgrenzkonzentration	Vol.-%	4,3	9,9	9,8	9,3	
Diffusionsgeschwindigkeit	cm/s	0,69	0,22	0,1	0,04	0
Aufstiegsgeschwindigkeit	m/s	Ca. 1	0,3	0	0	0

Bemerkung: Heptan und Dekan sind als Stoffe ausgewählt worden, das diese dem Benzin bzw. Diesel in ihren Eigenschaften ähnlich sind

Quellen: ISO15916, DWV, DVGW, Air Liquide, Linde, DWV

TNT: 1 kg TNT = 4,6 Megajoule // MESG: Maximum Experimental Safe Gap