



efficientics
efficient energy consulting

Die Feuershow: **Wasserstoff (H₂)**

Dipl.-Ing. (FH) Christian MACHENS

www.wasserstofftraining.de

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

Eine kurze Vorstellung der H₂ Erlebnisse in 24 Jahren (1999 - 2023)

1. 1999: Diplomarbeit „Brennstoffzellenschiff“
2. Geschäftsführer „ETA-ING: Weltweit erstes Brennstoffzellenschiff
„**HYDRA**“ gebaut und zugelassen
3. Elektrolyseanlagen im MW-Maßstab in Betrieb genommen (Hydrogenics)
4. In fast allen 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. 30 chair-sessions für alle möglichen Firmen weltweit.
7. H2-Trainings: Airbus, AVL, Bosch, Deutz, DLR, Daimler Truck, Shell, ...

Kontakt Daten:

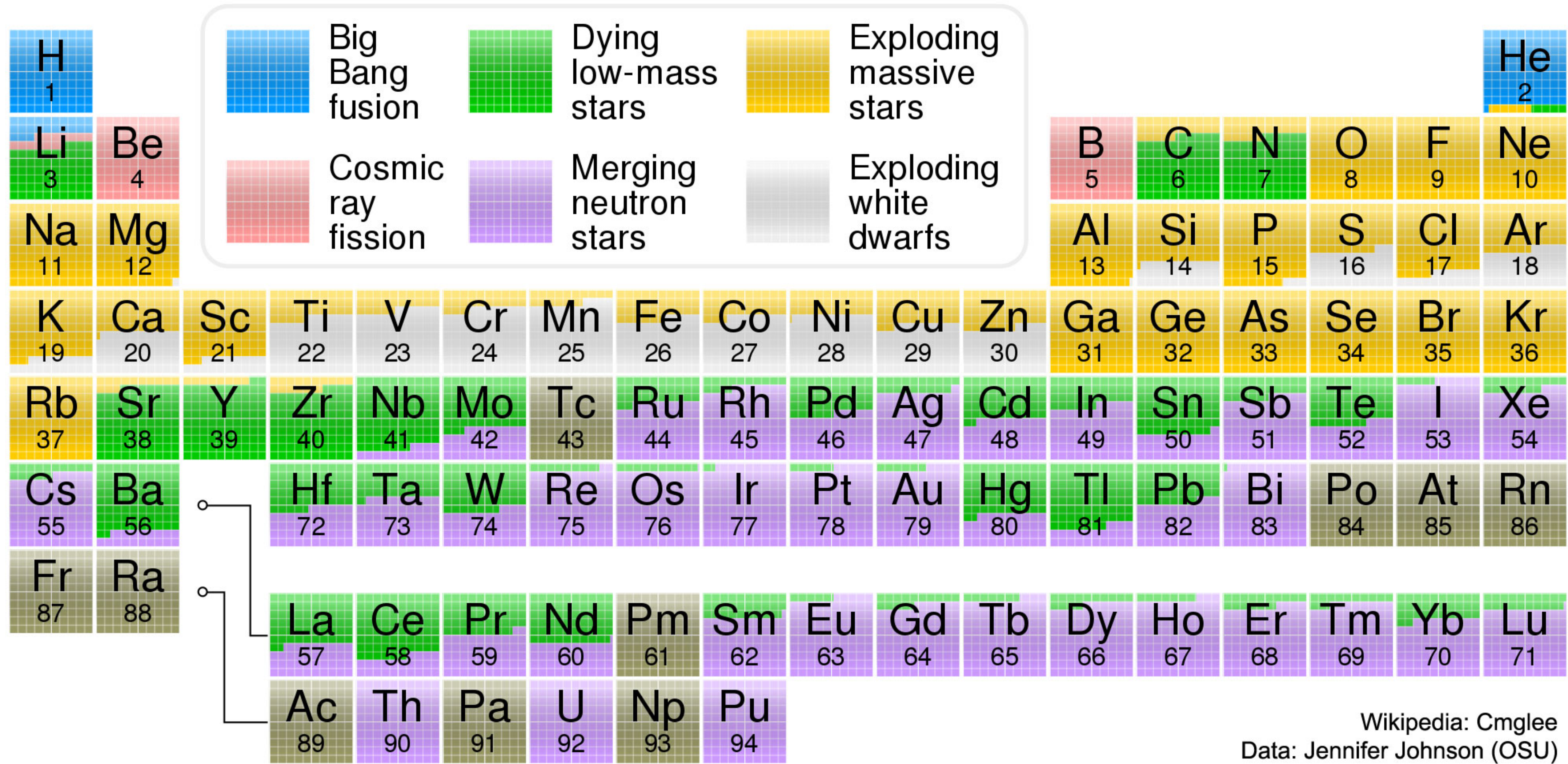
Christian MACHENS

machens@efficientics.com

GSM: 0151-24155887

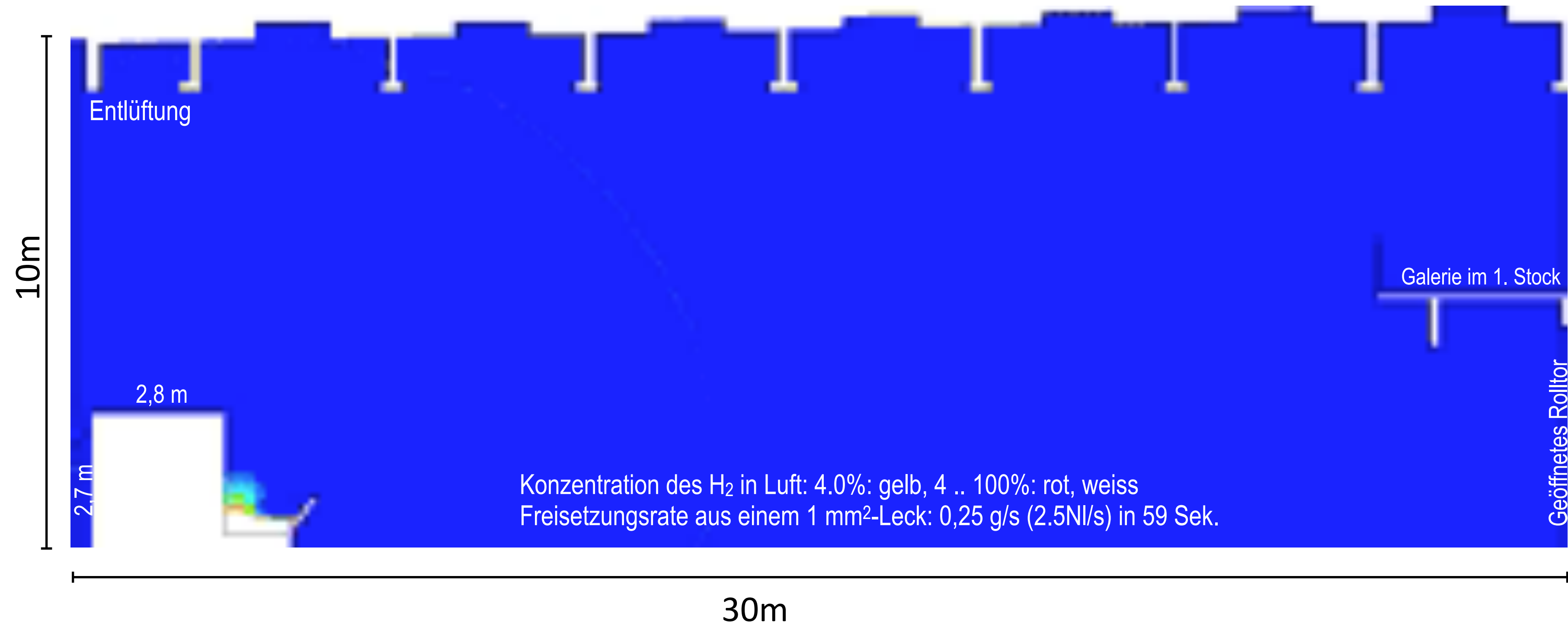


Wasserstoff (H₂): ... woher kommt der eigentlich?



Wikipedia: Cmglee
Data: Jennifer Johnson (OSU)

Wasserstoff (H₂): ... ist leichter als Luft



Die Simulation zeigt, dass Wasserstoff recht schnell aufsteigt und sich unter der Decke verteilt.
Durch das geöffnete Rolltor (rechts) strömt frische Luft nach.
Es ist auch zu beobachten, daß sich ein stabiler Zustand einstellt, da über die Entlüftung laufend Atmosphäre aus dem Raum entfernt wird.

Wasserstoff (H₂): ... ist unsichtbar

Farbe von H₂ als Gas: Farblos, transparent

Farbe der H₂-Flamme: In sauberer Atmosphäre farblos und transparent.

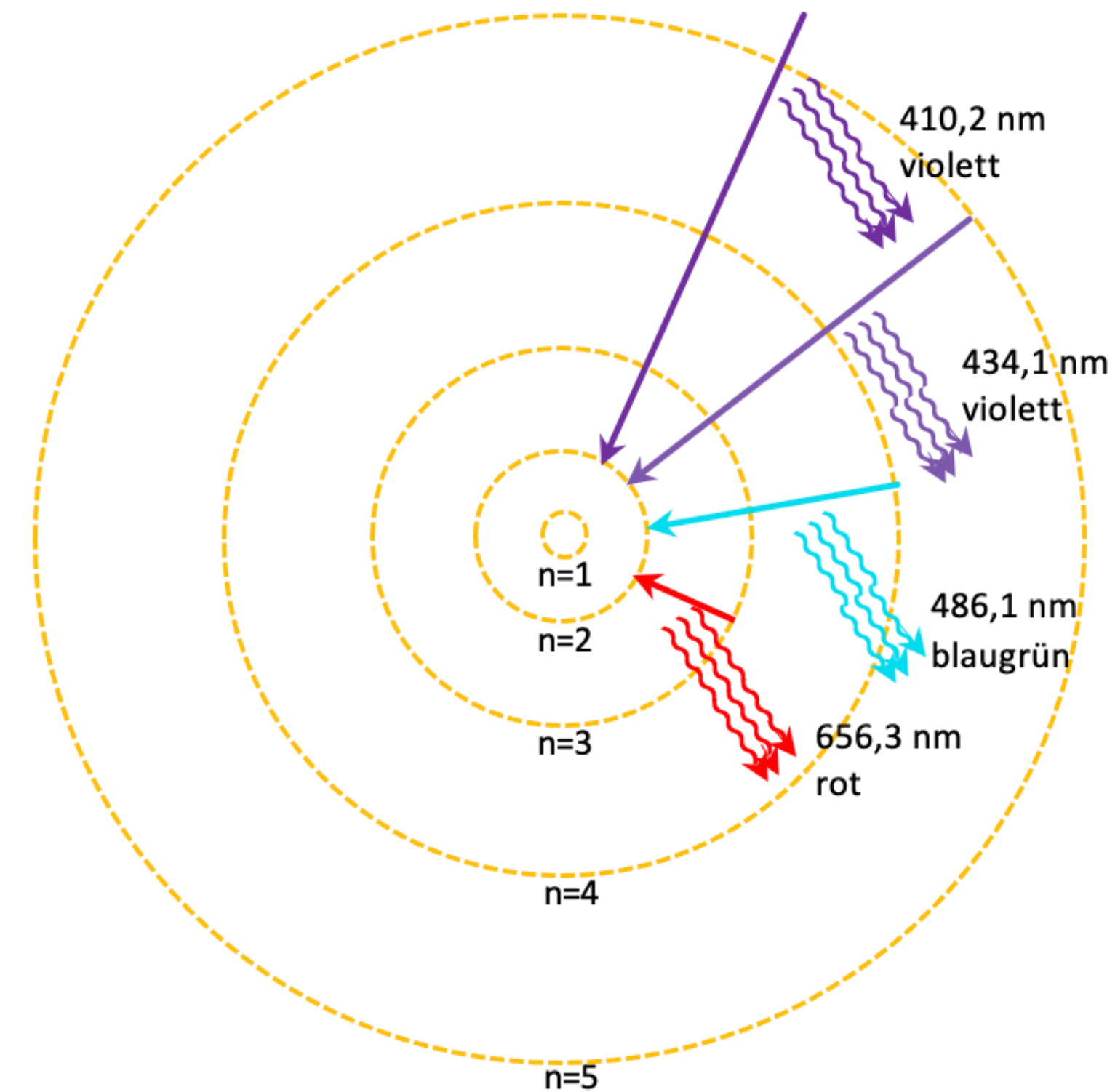
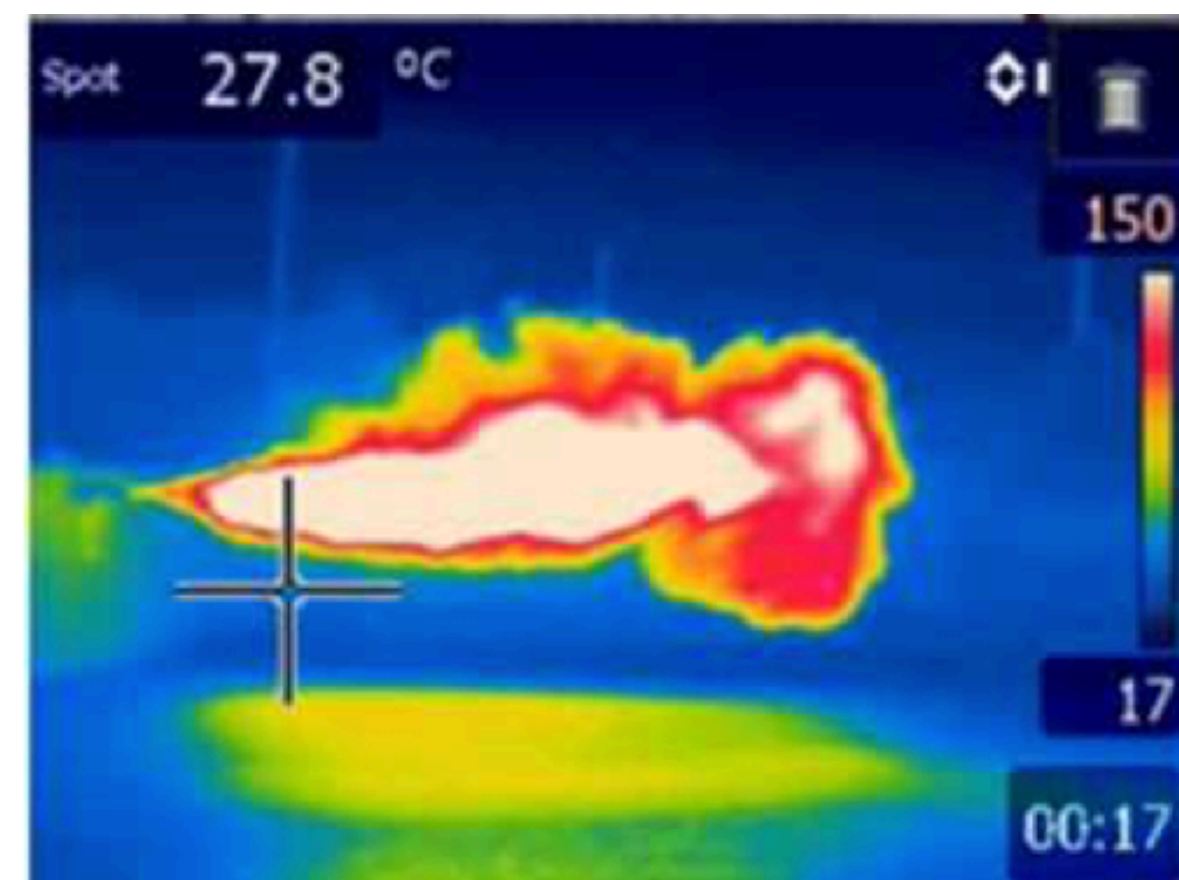
Wasserstoff-Absorptionsspektrum



Wasserstoff-Emissionsspektrum



Wasserstoff Alpha-Linie
Übergang von n=3 zu n=2

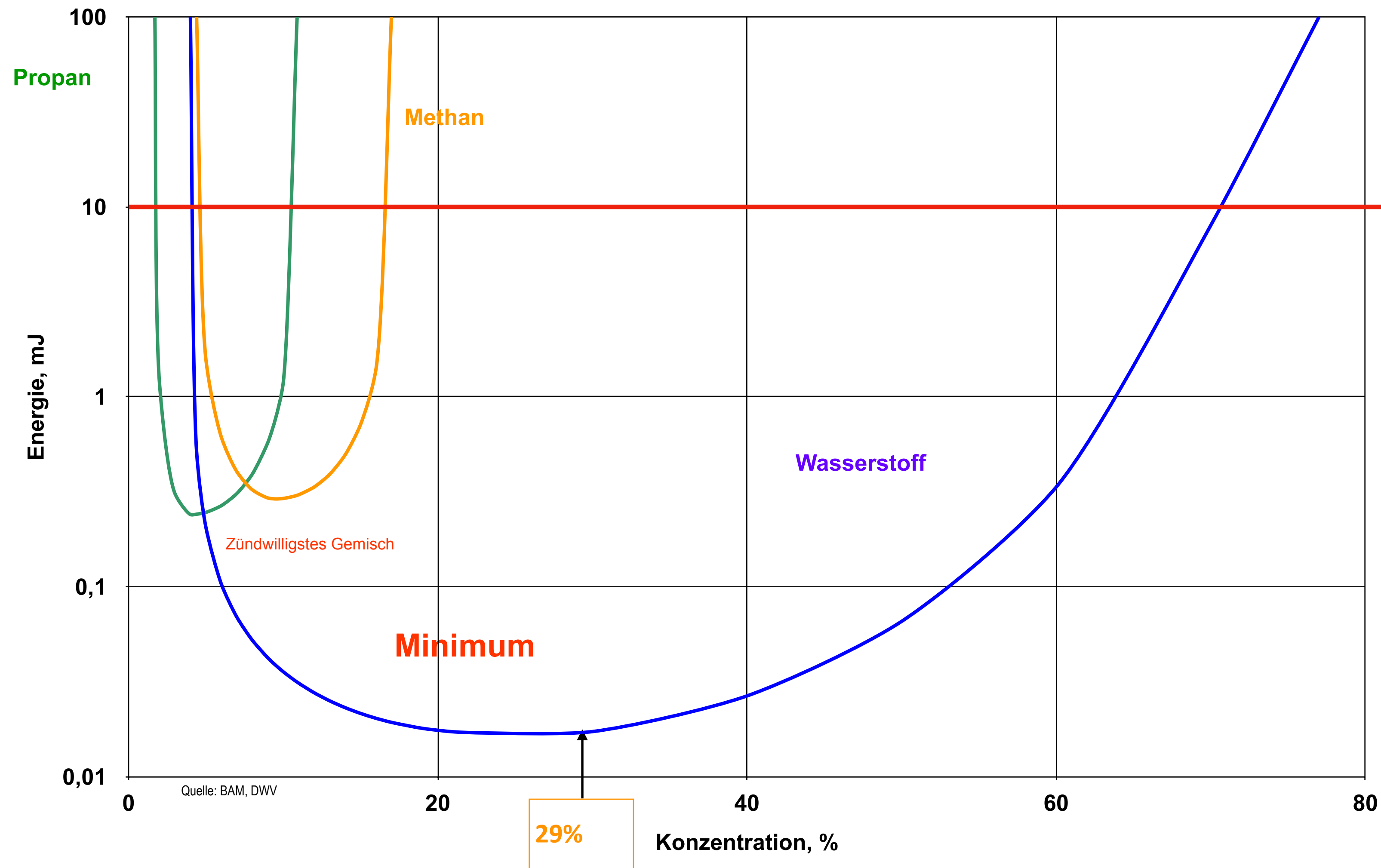


*Von H₂ emittierte Strahlung ist mit $\epsilon < 0,3$ sehr gering.
Bei Kohlenwasserstoffen liegt diese etwa bei $\epsilon \approx 1$.*

Quelle: Sandia National Laboratory

ϵ - Emissionsgrad

Wasserstoff (H₂): ... ist leicht entzündlich

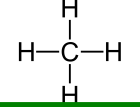
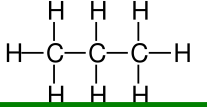


Der typische Wert für die gespeicherte Energie in einer Person beträgt 10 mJ und der höchste zu erwartende Wert 15 mJ.

Quelle: BG RCI T033 „Elektrostatik“



Wasserstoff (H₂): ... ist ein Energieträger mit besonderen Eigenschaften

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		H-H				
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

Das Programm für die „Feuershow“:

1. Dichtheit prüfen
2. Wasserstoff „hören“
3. Die erste Zündung
4. Sehen Sie die Flamme?
5. Kupfer färbt die Flamme
6. Auspusten?
7. Seifenblasen
8. Luftballons
9. Dosendetonation