

# PRELEGO PRI 'HIDROGENO –H2'

LIMBURGA ESPERANTO ASOCIO-LEA

R. SPROELANTS, Inĝ

APRILIO 2021

# ENHAVO

- 1. KIO ESTAS HIDROGENO?
- 2. IOMETE DA HISTORIO PRI HIDROGENO
- 3. PRODUKTADO KAJ LA 'KOLOROJ' DE HIDROGENO
- 4. PRODUKTADO DE ELEKTRA ENERGIO EKDE HIDROGENO
- 5. APLIKAĴOJ
- 6. DEMANDOJ kaj RESPONDOJ

## 1. KIO ESTAS HIDROGENO?

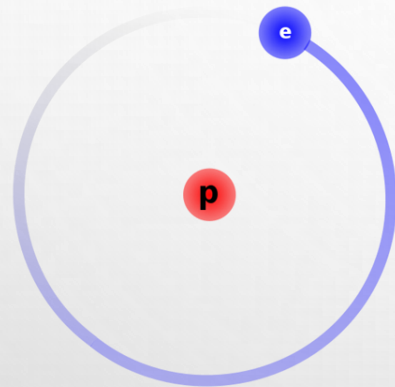
Hidrogeno (latine hydrogenium, devenanta el la greka: hidro = akvo, genes = formanta) estas kemia elemento de la perioda tabelo de Mendelejev, kun la simbolo H kaj atomnumero 1. En norma stato de temperaturo kaj premo, ĝi estas senkolora, senodora, nemetala, unuvalenta, brulemega duatoma gaso, do  $H_2$ . Ĝi estas la plej malpeza kaj plej abunda elemento en la universo. Ĝi estas trovebla en akvo kaj en ĉiuj organikaj kemiaĵoj kaj vivantaj organismoj. Hidrogeno povas reakcii kemie kun preskaŭ ĉiuj elementoj.

Steloj dum la ĉefa parto de siaj vivoj enhavas hidrogenon en la plasma stato, do kiel miksaĵon de protonoj kaj elektronoj. La elemento estas uzata en la produktado de amonio, kiel alternativa bruligaĵo, kaj nuntempe pli al pli kiel energiportanto por fuelpiloj (fuelĉelo-fuelcell en la angla-brandstofcel en la nederlanda).

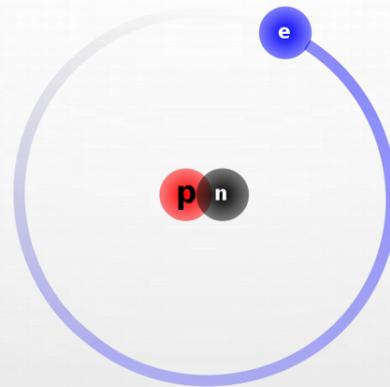
Hidrogeno estas la plej malpeza elemento. Ĝi estas ege aktiva kaj estas parto de multaj kemiaĵoj, kiel ekzemple:

akvo,  
acidoj,  
hidrido, (kiuj entenas negative ŝargitajn hidrogen-jonojn,  $H^-$ )  
hidroksidoj,  
preskaŭ ĉiuj organikaj kemiaĵoj.  
La Suno mem estas plejparte granda bulo de hidrogeno.

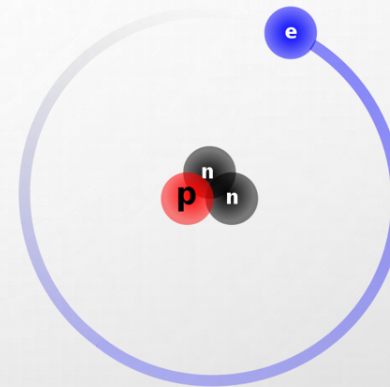
EKZISTAS TRI NATURE TROVEBLAJ IZOTOPOJ DE HIDROGENO. EL ĈIUJ ELEMENTOJ PLEJ VIDEBLAS ĈE HIDROGENO – KVANKAM NUR MALGRANDA – DIFERENCO INTER LA IZOTOPOJ PRI ILIAJ KEMIAJ REAGEMOJ. TIU DIFERENCO DEVENAS DE LA KOMPARE GRANDA PEZDIFERENCO: DEŬTERIO ESTAS DUFOJE PLI PEZA, TRICIO TRIFOJE PLI PEZA OL HIDROGENO. TIA DIFERENCO INTER IZOTOPOJ ESTAS NUR 25 % ĈE LA SEKVA ELEMENTO LAŬ PEZO, HELIUMO. Deŭterio kaj Tricio ludas gravan rolon en la nuklea fuzio. LASTATEMPE ONI SUKCESIS MONTRI LA MALLONGAN EKZISTON DE KVAR ALIAJ KERNOJ (4H, 5H, 6H KAJ 7H). TIUJ KERNOJ TAMEN ĈIUJ HAVAS EGE MALLONGAN VIVODAŬRON (< 10<sup>-21</sup> S).



**Wasserstoff**



**Deuterium**



**Tritium**

# Perioda Tabelo de la Elementoj

grupo 1												18					
1.00794 1312.0 2.20											4.002602 2372.3						
1 H Hidrogeno											2 He Heliumo						
6.941 520.2 0.98	9.012182 899.5 1.57											10.811 800.6 2.04	12.0107 1098.5 2.95	14.0067 1402.3 3.04	15.9994 1313.9 3.44	18.998403 1681.0 3.98	20.1797 2093.7
2 Li Litio	3 Be Berilio											5 B Boro	6 C Karbono	7 N Azoto	8 O Oksigeno	9 F Fluoro	10 Ne Neono
22.98976 485.8 0.93	24.3050 737.7 1.31											26.98153 577.5 1.61	28.0855 786.5 1.90	30.97396 1011.8 2.13	32.065 999.6 2.58	35.453 1251.2 3.16	39.948 1520.6
3 Na Natrio	4 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fosforo	16 S Sulfuro	17 Cl Kloro	18 Ar Argono
39.0983 418.8 0.82	40.078 589.8 1.00	44.95591 633.1 1.36	47.867 658.8 1.54	50.9415 693.9 1.63	51.9962 652.9 1.66	54.93804 717.3 1.95	55.845 702.5 1.83	58.93319 790.4 1.91	58.6934 737.1 1.89	63.546 746.5 1.90	65.38 936.4 1.05	69.723 578.8 1.81	72.64 762.0 2.01	74.92160 947.0 2.18	78.96 941.0 2.95	79.904 1189.9 2.96	83.798 1291.8 3.00
4 K Kalio	20 Ca Kalcio	21 Sc Skandio	22 Ti Titanio	23 V Vanado	24 Cr Kromo	25 Mn Mangano	26 Fe Fero	27 Co Kobalto	28 Ni Nikelo	29 Cu Kupro	30 Zn Zinko	31 Ga Gali(um)o	32 Ge Germani(um)o	33 As Arseno	34 Se Seleno	35 Br Bromo	36 Kr Kriptono
85.4678 403.0 0.82	87.62 549.5 0.95	88.90585 603.0 1.22	91.224 640.1 1.33	92.90638 652.1 1.60	95.96 694.3 2.16	(98) 702.0 1.90	101.07 710.2 2.20	102.9055 719.7 2.26	106.42 894.4 2.20	107.8682 731.0 1.93	112.441 867.8 1.69	114.818 588.3 1.76	118.710 708.6 1.96	121.760 834.0 2.05	127.60 889.3 2.10	126.9044 1008.4 2.66	131.293 1170.4 2.60
5 Rb Rubidio	37 Sr Stroncio	38 Y Itrio	39 Zr Zirkonio	40 Nb Niobo	41 Mo Molibdeno	42 Tc Teknecio	43 Ru Rutenio	44 Rh Rodio	45 Pd Paladio	46 Ag Argentb	47 Cd Kadmio	48 In Indio	49 Sn Stano	50 Sb Antimono	51 Te Teluro	52 I Jodo	53 Xe Ksenono
132.9054 370.7 0.79	137.327 502.9 0.89	174.9668 523.5 1.27	178.49 658.5 1.30	180.9478 701.0 1.50	183.84 770.0 2.36	186.207 793.0 1.90	190.23 840.0 2.20	192.217 880.0 2.20	195.084 870.0 2.26	196.9665 893.1 2.54	200.59 1007.1 2.00	204.3833 589.4 1.62	207.2 715.6 2.33	208.9804 703.0 2.02	(210) 812.1 2.00	(210) 893.0 2.20	(220) 1037.0
6 Cs Cezio	55 Ba Bario	56 Lu Lutecio	71 Hf Hafnio	72 Ta Tantalo	73 W Volframo	74 Re Renio	75 Os Osmio	76 Ir Iridio	77 Pt Plateno	78 Au Oro	79 Hg Hidargro	80 Tl Talio	81 Pb Plumbo	82 Bi Bismuto	83 Po Polonio	84 At Astato	85 Rn Radono
(223) 380.0 0.70	(226) 509.3 0.90	(262) 470.0	(261) 580.0	(262) 580.0	(266) 580.0	(264) 580.0	(277) 580.0	(268) 580.0	(271) 580.0	(272) 580.0	(285) 580.0	(286) 580.0	(289) 580.0	(290) 580.0	(293) 580.0	(294) 580.0	(294) 580.0
7 Fr Franci(um)o	87 Ra Radiumo	88 Lr Laurencio	103 Rf Ruterfordio	104 Db Dubnio	105 Sg Seborgio	106 Bh Bori(um)o	107 Hs Hasio	108 Mt Mejtnerio	109 Ds Darmstatio	110 Rg Rentgenio	111 Cn Kopernicio	112 Nh Nihonio	113 Fl Flerovio	114 Mc Moskovio	115 Lv Livermorio	116 Ts Teneso	117 Og Oganesson

atomomasa  
ni plej stab la masnumero  
1-a joniga energio  
en kJ/mol

atomnumero

elektronegativeco

hemia simbolo

nomo

elektrona konfigurado

oksidigaj numeroj  
plej komunaj estas grasa

aktinoideoj

radaktiva elementoj havas  
masnumerojn en krampoj

- alkaliaj metaloj
- teralkaliaj metaloj
- aliaj metaloj
- transiraj metaloj
- lantanoideoj
- aktinoideoj
- metaloidoj
- nemetaloj
- halogenoj
- noblaj gasoj
- nekonataj ĥemiaj ecoj
- radaktiva elementoj havas masnumerojn en krampoj



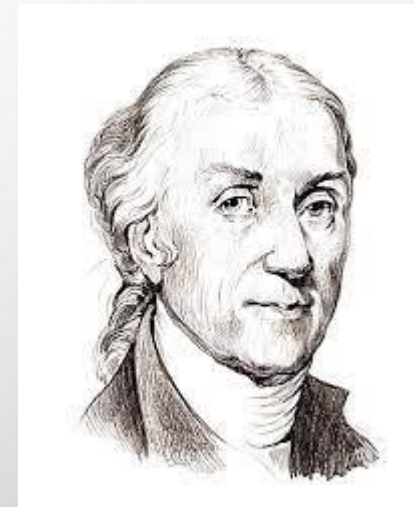
rimarkoj

- S ĥon mo de antimono estas stb io.
- 1 kJ/mol ≈ 96.485 eV.
- C kJ elemento ĥmit b havas ois k ĥ ĥan numeron nul.

138.9054 538.1 1.10	140.116 534.4 1.12	140.9076 527.0 1.13	144.242 533.1 1.14	(145) 540.0	150.36 544.5 1.17	151.964 547.1	157.25 593.4 1.20	158.9253 589.8	162.500 573.0 1.22	164.9303 581.0 1.23	167.259 589.3 1.24	168.9342 586.7 1.25	173.054 633.4
La Lantano	Ce Cerio	Pr Prazeodimo	Nd Neodimo	Pm Prometio	Sm Samario	Eu Eŭropio	Gd Gadolino	Tb Terbio	Dy Disprozio	Ho Holmio	Er Erbio	Tm Tuli(um)o	Yb Iterbio
(227) 489.0 1.10	232.0380 587.0 1.30	231.0358 588.0 1.50	238.0289 597.0 1.36	(237) 604.5 1.36	(244) 594.7 1.26	(243) 578.0 1.30	(247) 581.0 1.30	(247) 601.0 1.30	(251) 608.0 1.30	(252) 619.0 1.30	(257) 627.0 1.30	(258) 626.0 1.30	(259) 642.0 1.30
Ac Aktinio	Th Torio	Pa Protaktinio	U Uranio	Np Neptanio	Pu Plutonio	Am Americio	Cm Kuriumo	Bk Berkelio	Cf Kaliforni(um)o	Es Ejnstejnio	Fm Fermio	Md Mendelevio	No Nobelio

## 2. IOMETE DA HISTORIO

Hidrogeno estis malkovrita en la jaro 1766 de la brita kemiisto kaj fizikisto Henry Cavendish, kiam li eksperimentis pri hidrargo (Hg) kaj acidoj (H C O X kombinaĵoj). Kiam li kunigis la du substancojn, estiĝis malgrandaj gasbobeloj en la miksaĵo. Tiujn li ne sukcesis identigi kiel unu el la konataj gasoj. Kvankam li erare supozis, ke hidrogeno estu parto de hidrargo (anstataŭ parto de la acido), li bone priskribis la ecojn de la gaso.



Pli detala analizo estis farita de Antoine Laurent de Lavoisier, kiu donis ĝian nomon al hidrogeno. La franca kemiisto malkovris la gason en la jaro 1787\* sendepende de Cavendish, kiam li volis montri per eksperimento, ke ĉe kemiaj reakcioj ne perdiĝas aŭ kreiĝas maso. Li konduktis akvovaporon en fermitan sistemon super ardaĵ, varmegaj ferpecoj kaj kondensigis ĝin aliloke. Li rimarkis, ke la maso de la akvo estis malpli granda ol la originala kvanto kaj ke estiĝis gaso, kies maso kune kun la pligrandiĝanta maso de la fero respondis ekzakte al la perdita akvokvanto. Lia eksperimento estis do sukcesa.

Lavoisier plie ekzamenis la estiĝintan gason kaj realigis la eksperimenton nomatan nuntempe teston de oksihidrogeno, kiu bruligis la gason. Li tial nomis ĝin brulema aero. Kiam post aliaj eksperimentoj evidentiĝis ke ankaŭ el la gaso eblas krei akvon, li nomis ĝin hidro-geno, el la greka: hydro = akvo; kaj genes = kreanta. La vorto signifas do akvokreanto.

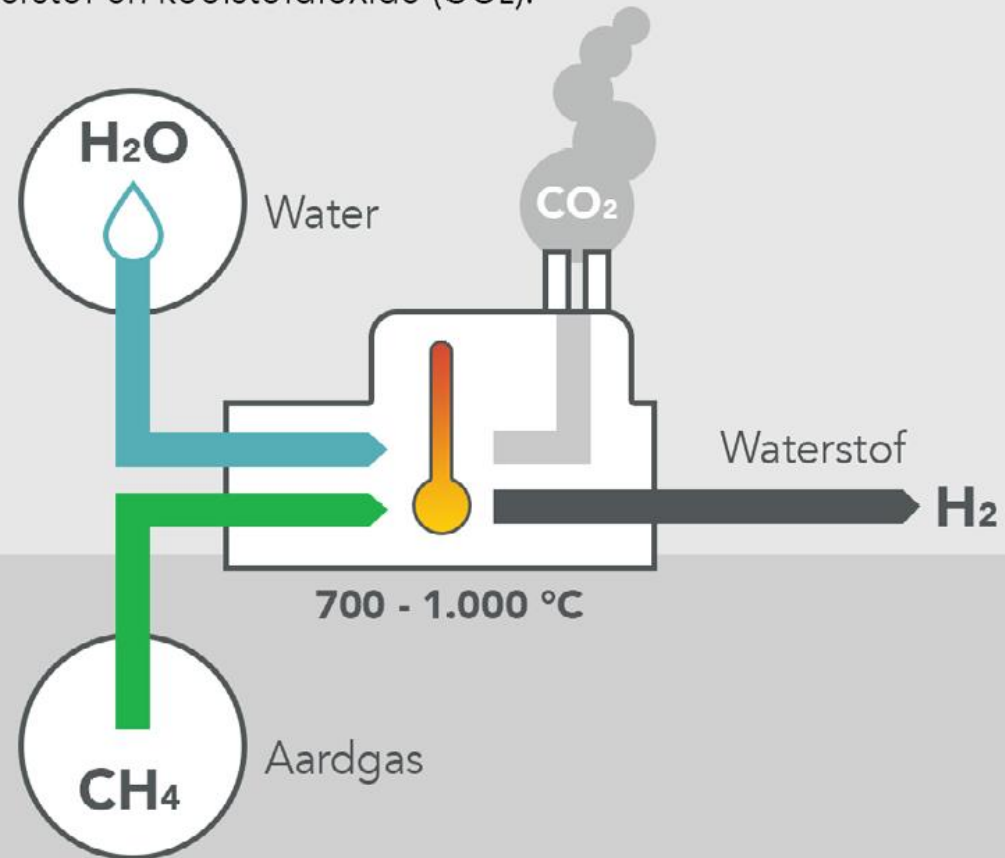


### 3. PRODUKTADO DE HIDROGENO

#### LA 'KOLOROJ' DE HIDROGENO

## GRIJZE WATERSTOF

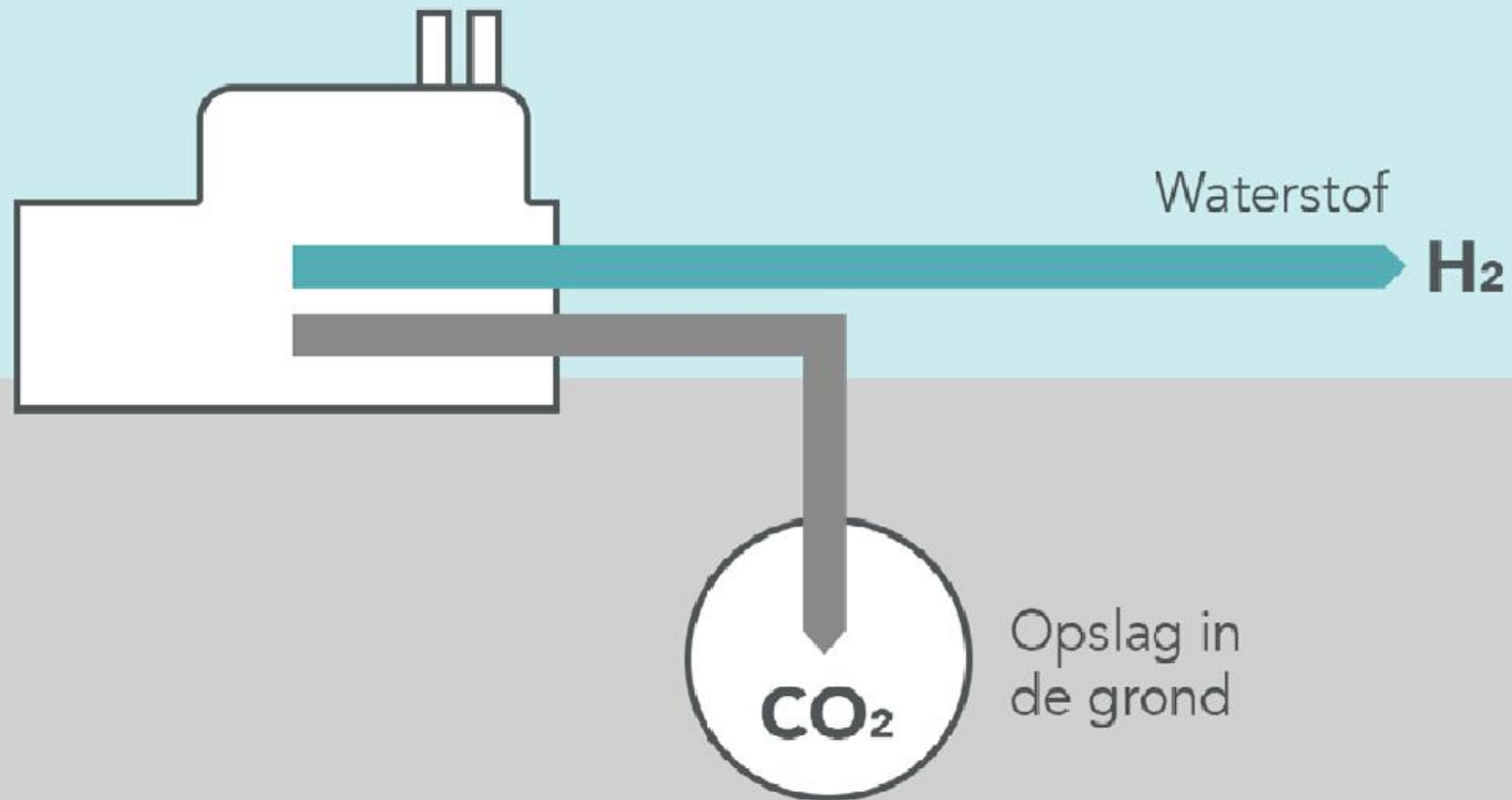
Mengsel water en aardgas wordt verhit. Hierbij ontstaat waterstof en koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>).





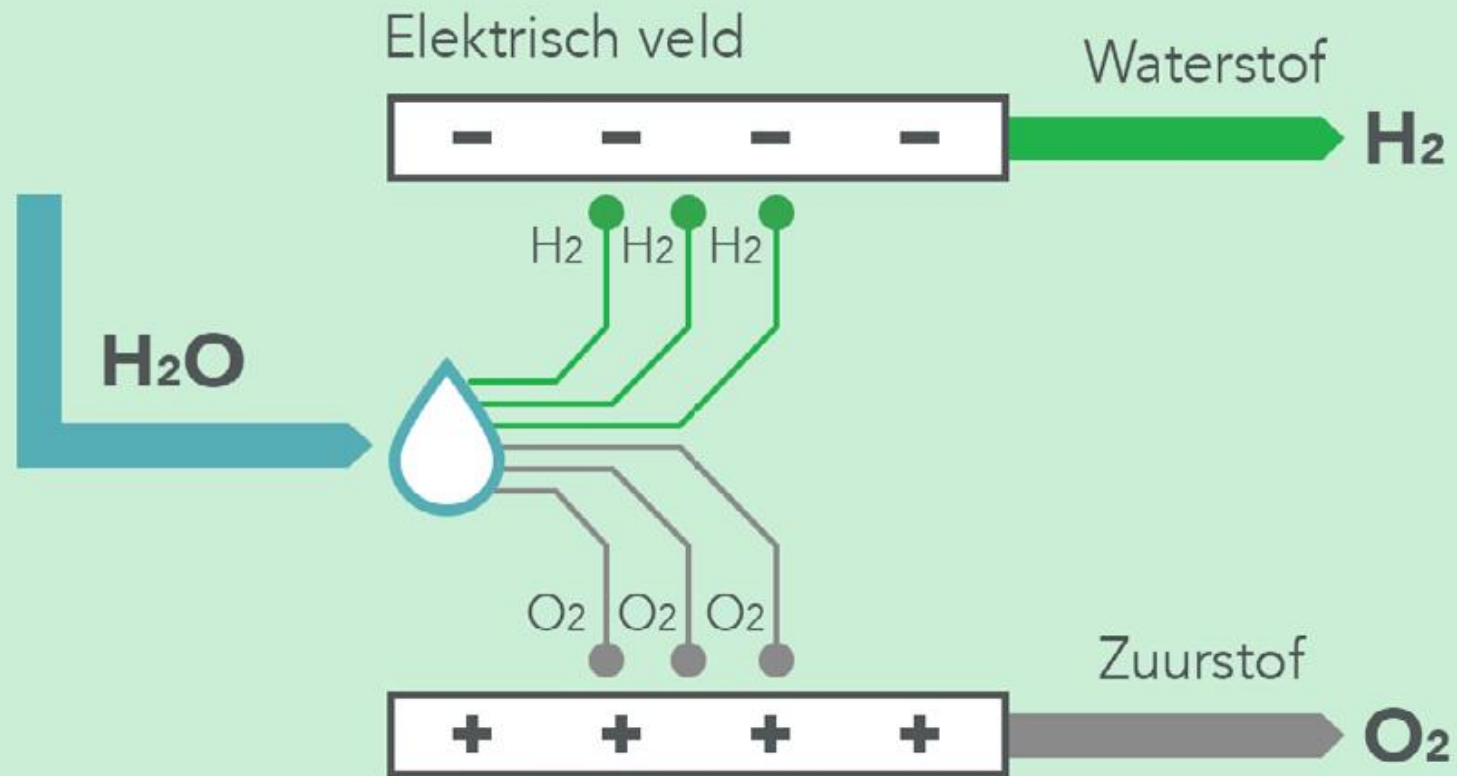
# BLAUWE WATERSTOF

Bij afvangst koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) blijft schone waterstof over.



# GROENE WATERSTOF

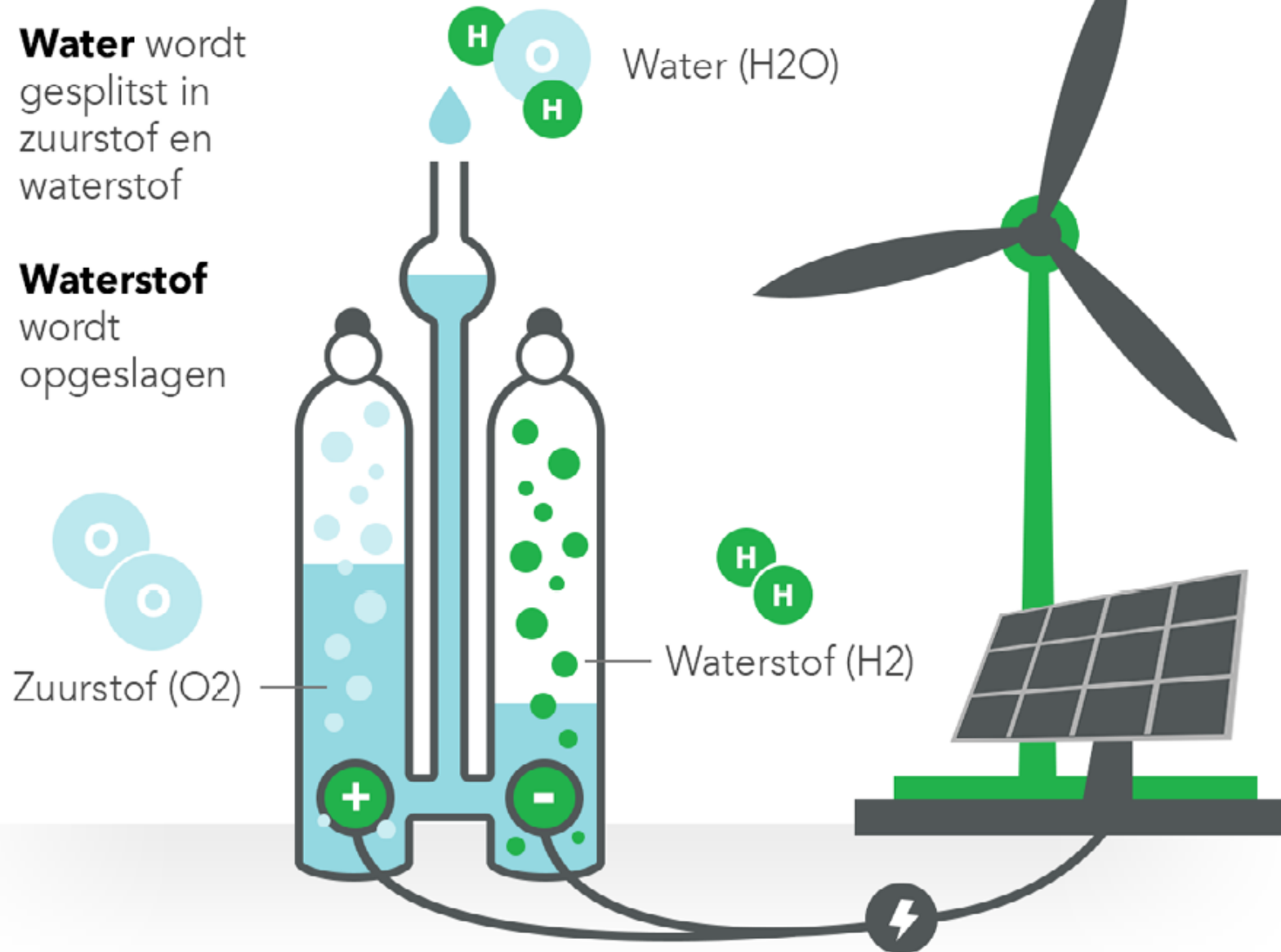
Duurzame elektriciteit wordt gebruikt om water te splitsen. Hierbij ontstaat waterstof en zuurstof.



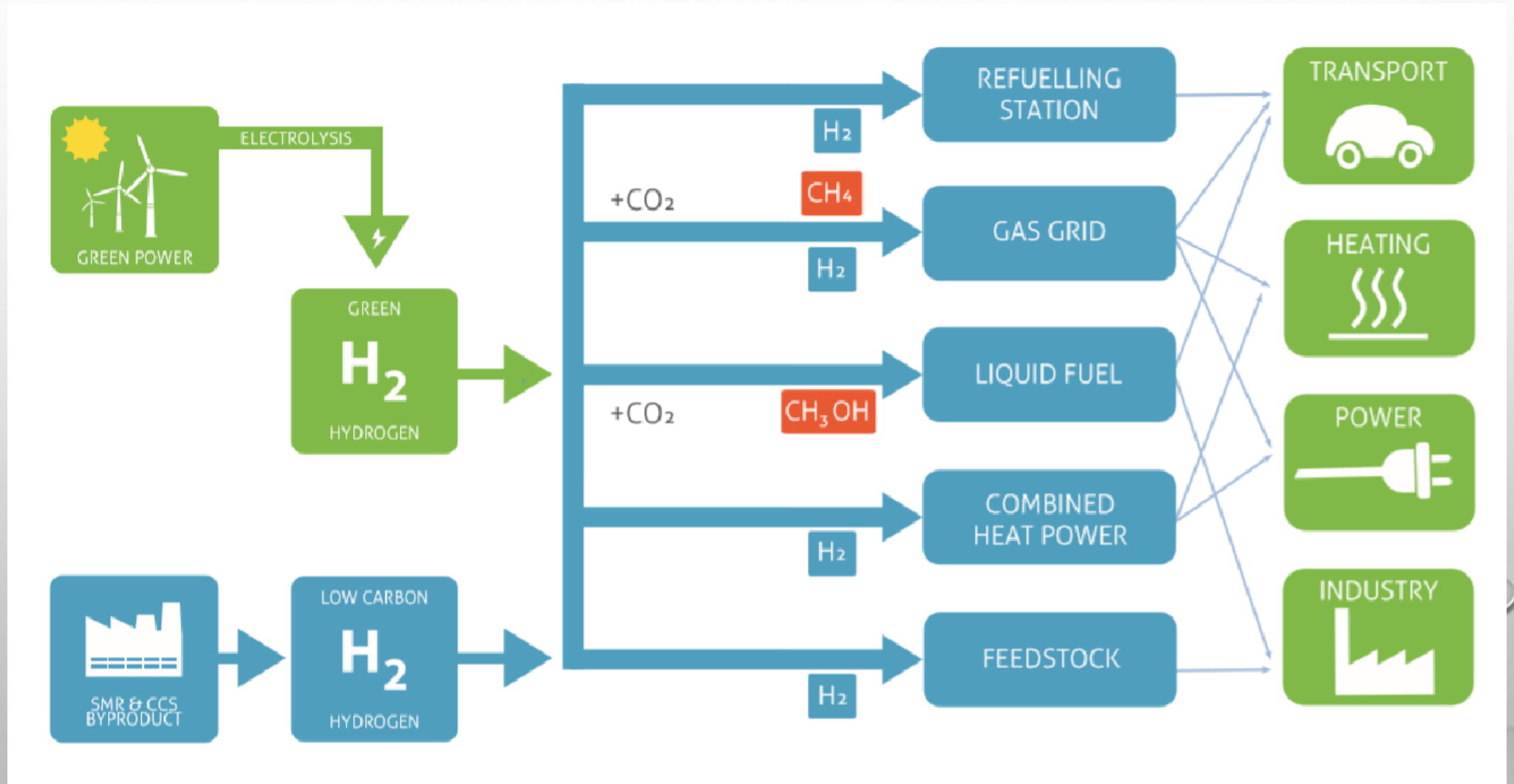
# ZO WORDT WATERSTOF GEMAAKT

**1** **Water** wordt gesplitst in zuurstof en waterstof

**2** **Waterstof** wordt opgeslagen



# EBLECOJ DE HIDROGENO

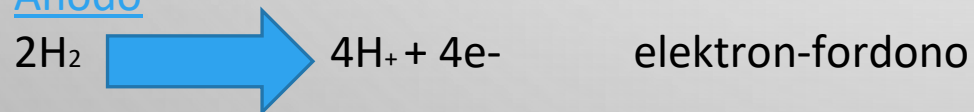


## 4. PRODUKTADO DE ELEKTRA ENERGIO

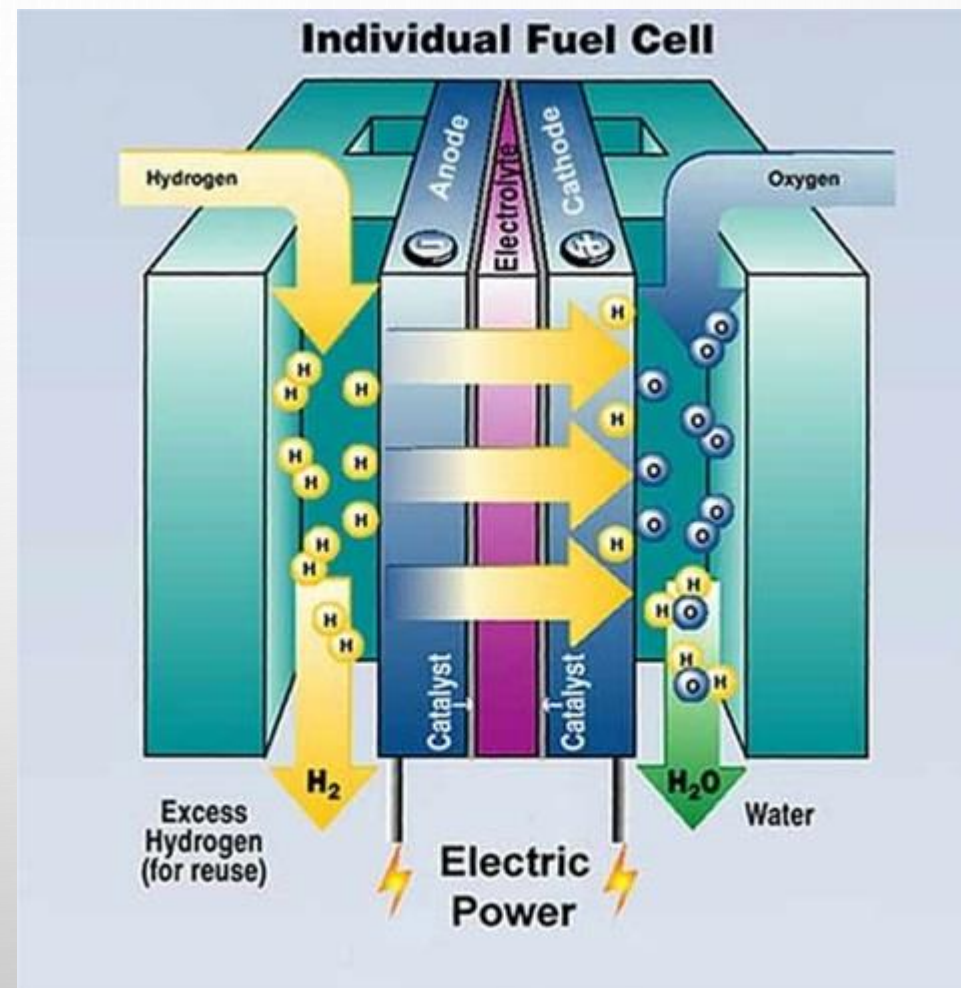
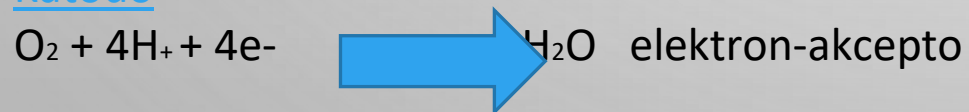
### FUNKCIADO DE LA FUELPILO

La fuelo – ekz. hidrogeno – estas transformita ĉe la anodo katalite al katjonoj, kiel ekz al H<sup>+</sup>-jonoj. Tio okazas kun fordono de elektronoj al la anodo. Tiuj elektronoj fluas tra elektra konsumanto – ekz kiel lampo – al katodo. Sur la katodo transformiĝas oksigeno – ĝenerale oksigeno – per akcepto de elektronoj al anjonoj. La negative ŝargitaj oksigen-jonoj reagas kun la elektrolito fluanta al katodo en formo de H<sup>+</sup>-jonoj al akvo.

#### Anodo



#### Katodo



# 5. APLIKAĀOJ

RUBUJO KAMIONO (E-TRUCKS LOMMEL)

PEZA TRANSPORTO KAMIONO



HIDROGENA BOATO SUR LA SKELDO EN ANTVERPENO

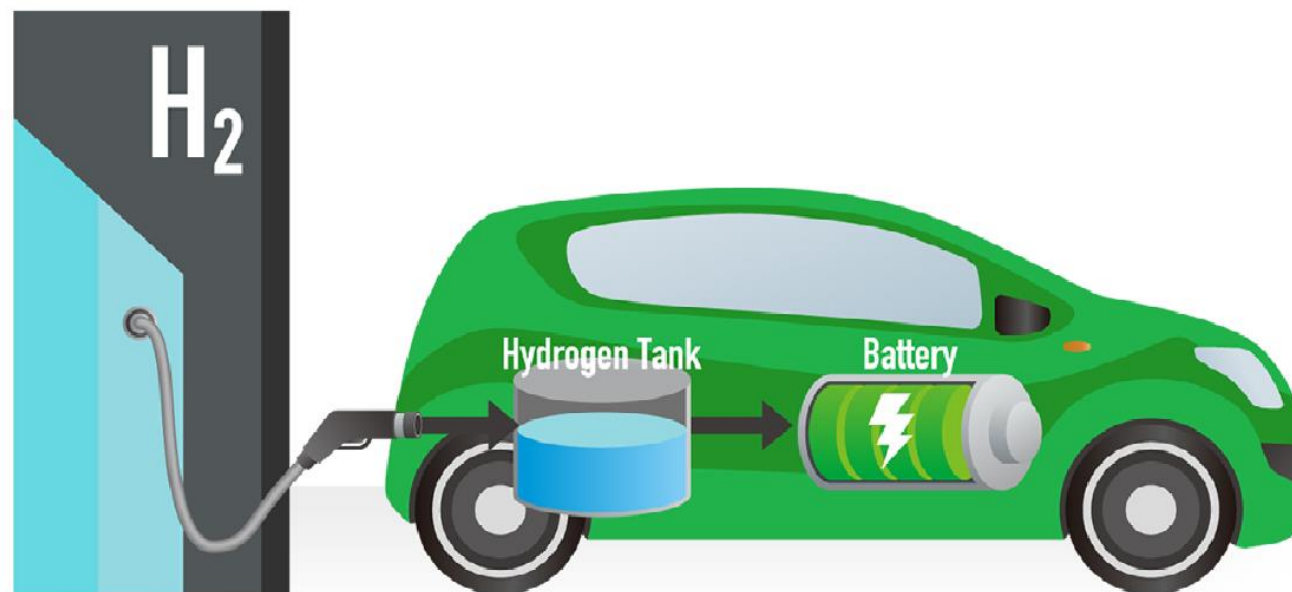
AUTOBUSO DE 'DE LIJN'



## TIEL FUNKCIAS HIDROGENA AŪTOMOBĪLO FUEL CELĒ ELEKTRA VETURĪLO (FCEV)

### ZO WERKT EEN WATERSTOFAUTO

- 1** In de motor reageert **waterstof** met **zuurstof**
- 2** Deze reactie zorgt voor **stroom** waarop de motor loopt
- 3** De **uitlaatgassen** zijn praktisch **puur water**





TOYOTA 'MIRAI'  
FCEV

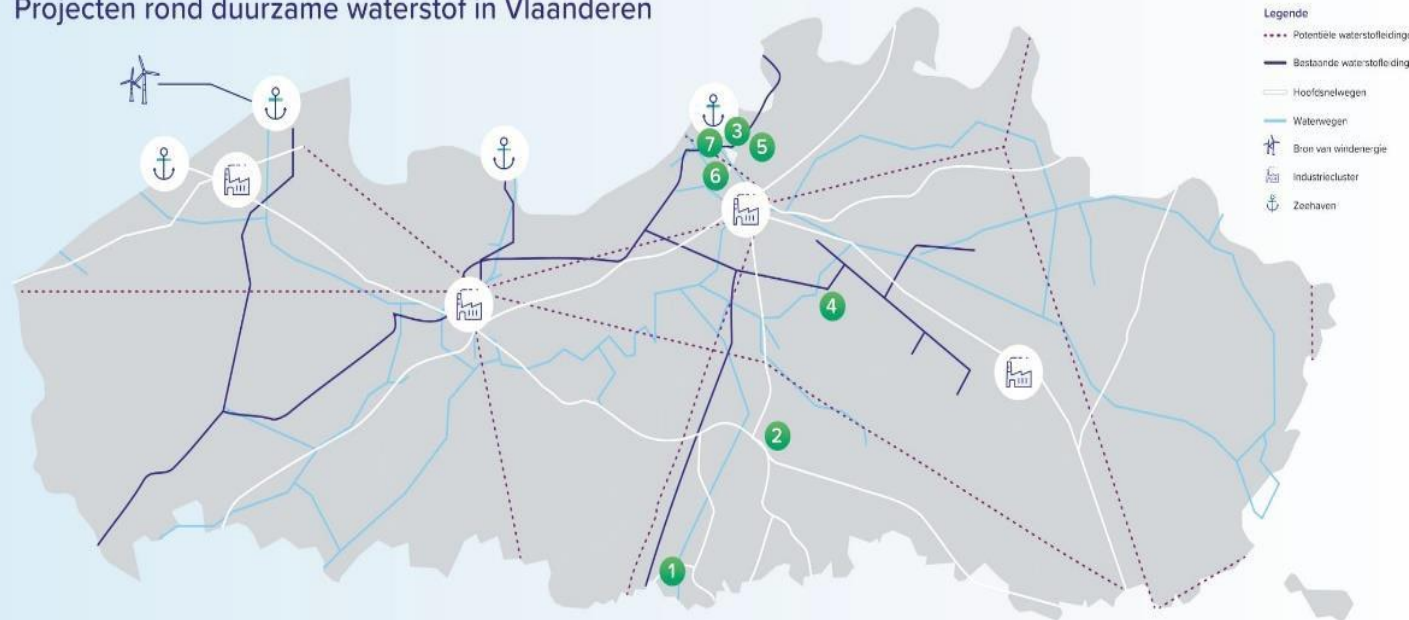


HYUNDAI NEXO  
FCEV



# PROJEKTOJ PRI RENOVIGEBLA H2 EN FLANDRIO

## Projecten rond duurzame waterstof in Vlaanderen



### GEREALISEERDE PROJECTEN

- 1 **Elektrolyse – publiek H2 tankstation personenwagens – heftrucks - trucks** 

Halle (2012-2018)
- 2 **Publiek H2 tankstation personenwagens** 

Zaventem (2016)
- 3 **1 MW brandstofcelplant op restwaterstof** 

Antwerpen (2013)
- 4 **5 waterstofbussen** 

Antwerpen (2014)
- 5 **H2-tankstation voor bussen** 

Antwerpen (2014)
- 6 **Passagiersschip op waterstof** 

Antwerpen (2018)
- 7 **Productie en distributie van koolstofarme waterstof** 

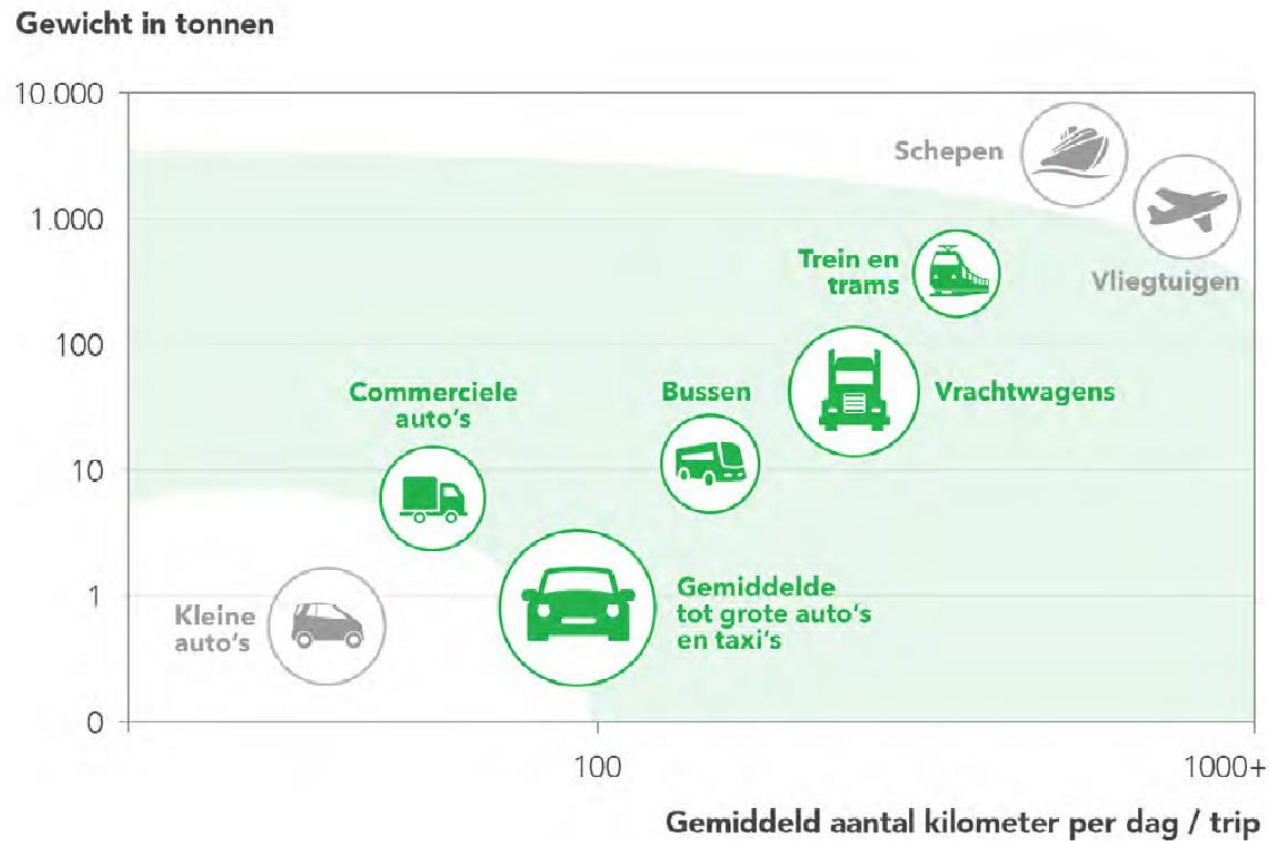
Antwerpen (2014 – 2019)



# NEDERLANDO KAJ FLANDRIO KUNLABORAS EN HIDROGENA INDUSTRIA (WIC :WATERSTOF INDUSTRIE CLUSTER)



# Aplikaĵoj en Transportiloj



## TRAJNO MOVIĜITO PER HIDROGENO



AVIADILO MOVIĜITA PER HIDROGENO (AIRBUS PLANAS TIUN ĈIRKAŬ 2035)



# Jahto movigita per Hidrogeno





# KELKAJ REFERENCOJ

- <https://www.waterstofnet.eu/nl>
- <https://vito.be/nl>
- <https://e-truckseurope.com/en/e-trucks-europe-produces-first-hydrogen-powered-truck/>
- <https://slideplayer.nl/slide/14105910/>
- <https://wingardium-energy.com/>
- <http://sproelants.simplesite.com/431698554>

[remy.sproelants@gmail.com](mailto:remy.sproelants@gmail.com)

H2 toepassingen in Nederland:

Met diverse gasten over de weg naar emissieloos transport. Waterstoftrucks, schepen op waterstof, treinen, vliegtuigen, ...

Kijk live mee naar TVM over de wereld van waterstof met Rick Nieman als presentator. Carl

Holthausen (CTO Holthausen Clean Technology en managing director Hyzon Motors Europe) spreekt over het bouwen van waterstoftrucks en waterstoftankstations.

Thecla Bodewes (scheepswerfdirecteur Thecla Bodewes Shipyards) vertelt over ondernemen en de ontwikkeling van duurzame schepen op waterstof. Patrick

Cnubben (programmamanager New Energy Coalition) gaat dieper in over de waterstofeconomie en subsidie-trajecten.

Harm Lenten (DGA Lenten Scheepvaart) vertelt over de bouw van zijn vrachtschip Antonie als 100% waterstofschip en Wilma Toering-Keen (CCO TVM)

spreekt over het verzekeren van alternatieve brandstoffen.

Kijk live mee op [→ https://lnkd.in/d7A6-qU](https://lnkd.in/d7A6-qU)

