

- Bussen die rijden op waterstof zijn zowel in de aankoop als per kilometer **duurder** dan elektrische bussen. Elektrische bussen kosten per kilometer 10 cent, terwijl waterstofbussen per kilometer 83 cent kosten.
- Momenteel wordt 95% van al het waterstofgas opgewekt aan de hand van aardgas waardoor er alsnog **CO₂** in de atmosfeer terecht komt. Alleen als we overgaan op groene waterstof heeft het milieutechnisch zin om waterstof bussen in te zetten in plaats van diesel bussen.
- Eén van de pijnpunten van elektrische bussen is **de actieradius** die momenteel nog te klein is. Maar natuurlijk staat deze ontwikkeling ook niet stil, het zou zomaar kunnen dat dit binnen enkele jaren opgelost wordt en hierdoor een van de belangrijkste voordelen van waterstof bussen irrelevant is geworden.

Met alle voordelen en nadelen van waterstof bussen op een rij, kunnen we gaan kijken naar de toekomst. Volgens experts zullen waterstof bussen wel degelijk een rol gaan spelen in het openbaar vervoer van de toekomst. Het wordt waarschijnlijk geen strijd tussen waterstof bussen en elektrische bussen, maar er gaat juist gezocht worden naar een combinatie. Dit zal ook wel moeten, aangezien vanaf 2030 alle bussen in het openbaar vervoer volledig emissievrij moeten zijn.



*Bestaan er ook kleinere bestelbussen op waterstof?
Volg de link voor extra informatie.*



12.04 VRACHTWAGENS OP WATERSTOF?

Nadat de eerste waterstof auto's en waterstof bussen in op de markt zijn, verwacht men ook de opmars van vrachtwagens op waterstof. Net als bij de autobussen maken waterstof vrachtwagens ook vaak gebruik van een waterstof tank, brandstofcel en accu om in beweging te komen.

Vanuit de waterstof tank wordt waterstof naar de brandstofcel geleiden waarin het gas reageert met zuurstof van de buitenlucht. Hierbij komt elektriciteit en water vrij waarbij de elektriciteit naar de accu in de vrachtwagen gaat en het water de vrachtwagen verlaat via de uitlaat. Net zoals bij elektrische voertuigen heeft een waterstof truck ook een accu nodig om vooruit te komen.

Een andere mogelijkheid zijn vrachtwagens met een verbrandingsmotor op waterstof, maar deze technologie moet nog wel verder ontwikkeld worden om echt een rol te gaan spelen in de transportwereld.

Toch hoor je niet veel over elektrische vrachtwagens door 1 belangrijke reden zoals bij de autobussen: het gewicht van de batterijen. Deze zijn te zwaar om grote voertuigen te voorzien van genoeg vermogen om lange afstanden te rijden.

Daarnaast duurt het te lang om elektrische vrachtwagens op te laden. Ter vergelijking met waterstof trucks, kan je een vrachtwagen op waterstof helemaal vol tanken met 80 kg waterstof in 15 minuten, hier kun je 800 – 1000 kilometer mee rijden. Het laden van een elektrische vrachtwagen daarentegen duurt enkele uren. In de transportwereld is tijd = geld, daarom werd er gekeken naar andere duurzame alternatieven, waarvan trucks op waterstof er één is.

Waterstof vrachtwagens kunnen dus sneller tanken dan elektrische trucks kunnen opladen en hebben een groter bereik. Maar hoe zit het met het kostenplaatje van deze trucks?

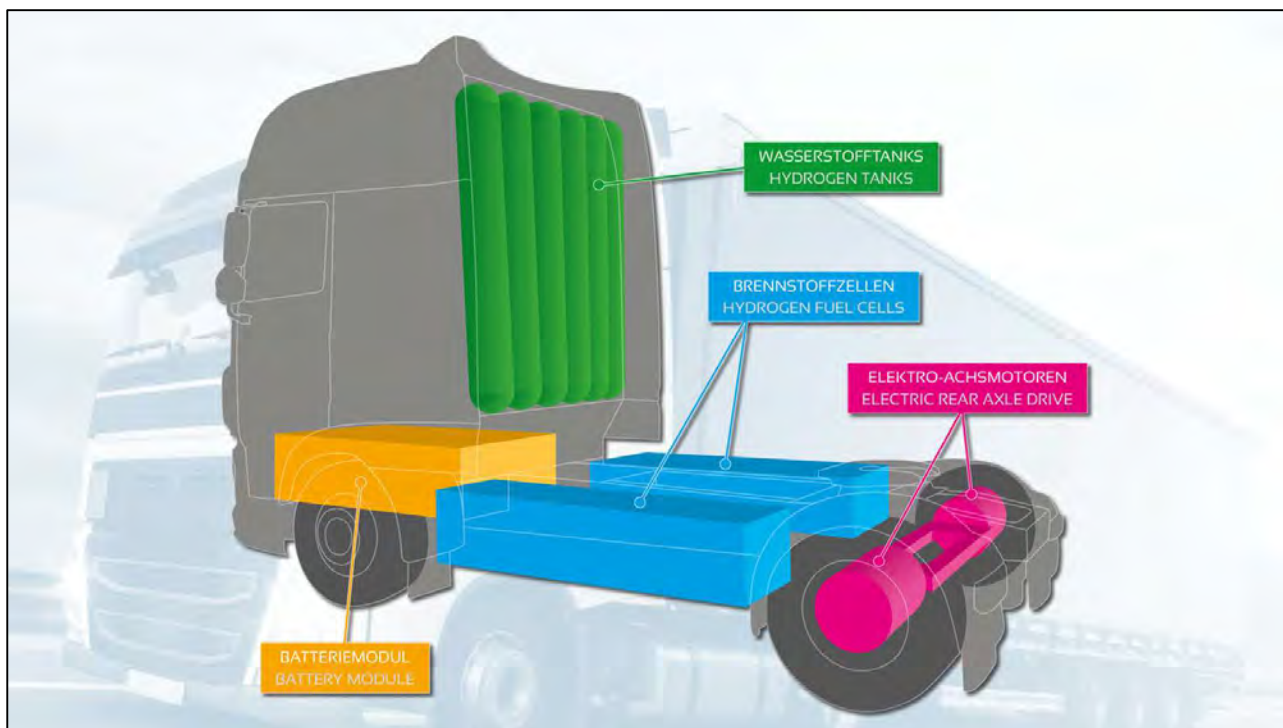
In de aankoop is een vrachtwagen op waterstof een stuk duurder dan alternatieven. Zo kost een vrachtwagen ongeveer 700 000 euro. Dit is erg prijzig wanneer in vergelijking met een dieselvrachtwagen (= 100 000 euro) en een elektrische vrachtwagen (= 250 000 euro). Tankkosten liggen ook hoger dan bij diesel of elektrische vrachtwagens.



Een lichtpuntje bij vrachtwagens op waterstof is het onderhoud. Dit is nog niet veelvuldig in de praktijk getest, maar alles wijst erop dat een waterstof vrachtwagen in onderhoud even duur is dan de alternatieven. Dit komt omdat deze vrachtwagens van binnen niet veel gecompliceerder zijn. Er zijn zelfs minder bewegende delen die kunnen slijten in een waterstof truck dan in een dieselvrachtwagen wat er zelfs op wijst dat ze goedkoper zijn dan diesel trucks.



.Vrachtwagen op waterstof van MAN met de opstelling van de tanks.



Schematische voorstelling van een vrachtwagen op waterstof.

Voordelen van vrachtwagen op waterstof:

- Het tanken duurt 15 minuten vergeleken met uren (bij een elektrische vrachtwagen) en je kan bijna 1 000 kilometer rijden op één tank. Men spaart dus **tijd** uit!
- Van de totale CO₂ – uitstoot wereldwijd, komt 6% van de uitstoot van zware vrachtwagens die onze goederen transporteren. Door gebruik te maken van **groene waterstof**, zal er geen CO₂ – uitstoot zijn tijdens het rijden, enkel waterdamp. Dit kan ons helpen om de vooropgestelde klimaatdoelen te halen.
- Omdat waterstof vrachtwagens ongeveer dezelfde eigenschappen hebben als elektrische vrachtwagens of andere vervoermiddelen, zal je **geen last** hebben van geluid of een stank. Er is namelijk geen sprake van emissie.
- Na testen met waterstof vrachtwagens in België, werd er bij de chauffeurs gevraagd naar de rijeigenschappen en deze waren **positief**.
- Een relatief onbekend gas voor ons vervoeren in een vrachtwagen, kan als gevaarlijk klinken. Maar met de huidige technologieën is dit geen probleem. Trucks op waterstofgas zijn even **veilig** als bij diesel of elektriciteit.

Nadelen van vrachtwagens op waterstof:

- Elektrische en dieseltrucks zijn veel **goedkoper**: het is een stuk prijziger om een waterstof truck aan te kopen en deze te tanken. Ook is waterstof per kilometer ongeveer 8x duurder dan bij elektrische vrachtwagens.

- Nu wordt 90% van het waterstof dat gebruikt wordt in tankstations, geproduceerd aan de hand van aardgas of aardolie = **grijze waterstof**. Dit is dus alsnog niet goed voor het milieu.
- De **infrastructuur** is nog niet klaar voor waterstof trucks. Er zijn nog niet genoeg waterstof tankstations in Europa voor comfortabel transport.
- Waterstof kan overbodig worden als elektrische trucks zich door ontwikkelen. Dit is een nadeel voor de trucks op waterstof. Want de ontwikkeling van elektrische vrachtwagens staat niet stil, batterijen worden steeds lichter en actieradiussen groter, misschien wordt waterstof in de toekomst dan overbodig.

Ondanks dat er momenteel nog geen commerciële vrachtwagens op de markt zijn, zijn er wel een aantal merken die werken aan de ontwikkeling zoals Volvo, Hyzon en Hyundai.

De waterstof vrachtwagen van Volvo is momenteel volop in een ontwikkelingsfase. Volvo verwacht dat hun waterstof truck in de tweede helft van dit decennium gecommmercialiseerd wordt.



*In de Volvo – group kijkt men naar de toekomst met in het bijzonder 2050.
Volg de link voor extra informatie.*

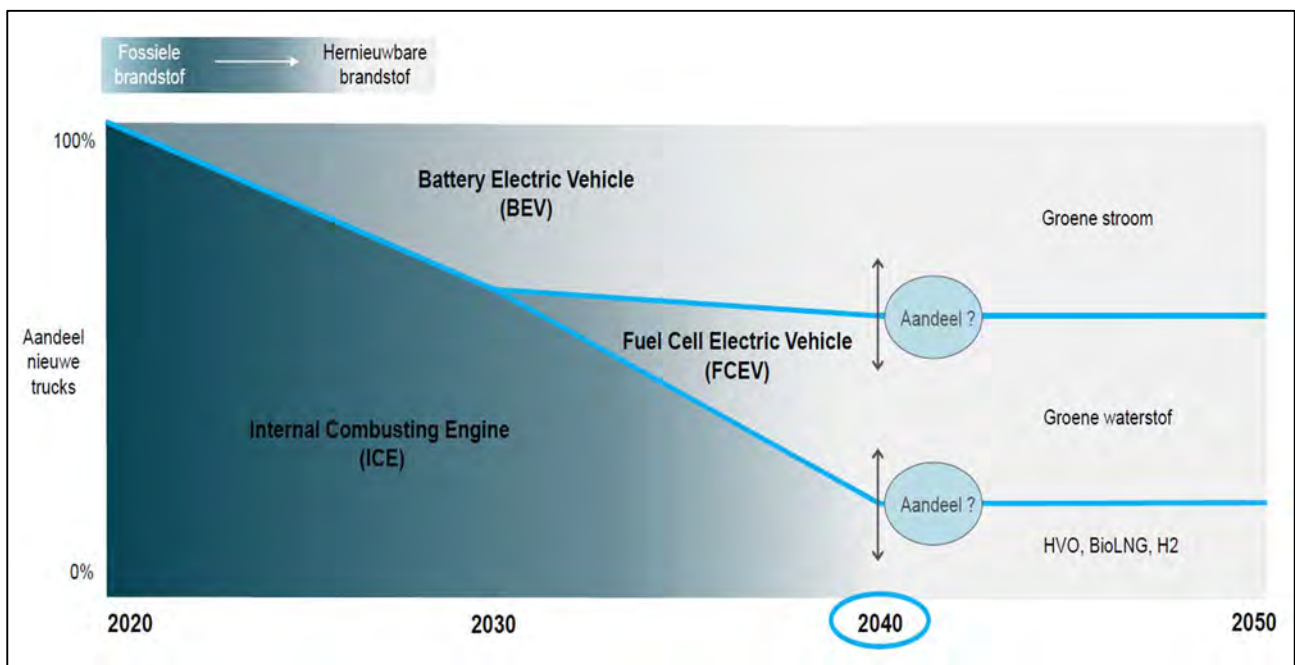


Hyzon is voorlopig nog een onbekend merk dat ook volop bezig is met ontwikkeling. Het bedrijf werd in 2019 opgericht vanuit een Horizon Fuel Cell Technologies. Dit bedrijf produceert al 18 jaar lang waterstofmiddelen. De brandstofcellen in de vrachtwagens van Hyzon zijn het meest energie – dicht van alle andere merken.

De waterstof vrachtwagens van Hyundai zijn op dit moment het verst in de ontwikkeling. Een minpunt aan de XCIENT serie van Hyundai is wel dat de actieradius maar 400 kilometer is. Vergeleken met de trucks van Volvo met een actieradius van 800 - 1000 kilometer, is dit een groot verschil!

Ondanks dat sommige grote spelers in de Automotive wereld druk bezig zijn met het ontwikkelen van waterstof vrachtwagens, is het toch maar even afwachten of waterstof trucks echt een succes gaan worden. Voorlopig spreekt men nog over een groot aandeel grijze waterstof: ongeveer 90%.

De productie van waterstofgas blijft duur en elektrische vrachtwagens ontwikkelen zich razendsnel. Het is hierdoor nog moeilijk om te zeggen of waterstof vrachtwagens een succes worden. Dit komt ook omdat de ontwikkeling van deze trucks nog hevig wordt gesubsidieerd door de landelijke en continentale overheden. Als deze geldkraan dicht wordt gegooit, wordt er betwijfeld of er nog zoveel geld gestoken wordt in R&D (research & development).



In de wereld van duurzame scheepvaarttechnologieën staat waterstof momenteel centraal als een veelbelovende oplossing om de maritieme industrie te transformeren. Waterstof aangedreven schepen zijn bezig met een opkomst, aangezien ze een milieuvriendelijke en efficiënte alternatieve voortstuwing bieden voor de traditionele scheepsbrandstoffen.

Een op waterstof aangedreven schip werkt volgens een ingenieus proces dat begint met de opslag van gasvormige waterstof in stevige cilinders. De cilinders worden onder een immense druk van 350 tot 700 bar gehouden, terwijl de temperatuur daalt tot -253° C, waarbij waterstof in een compacte vorm wordt geperst.

De volgende stap in dit complexe systeem omvat het transport van waterstofgas via een ontspanner naar de brandstofcel aan boord van het schip. In deze brandstofcel vindt een cruciale chemische reactie plaats. Hier komt de waterstof in aanraking met zuurstof die uit de lucht wordt gehaald. Deze ontmoeting resulteert in de opwekking van elektriciteit, een fundamentele stap in het proces.

Deze elektriciteit dient als de levensader van het schip, omdat het de elektromotor aandrijft die verantwoordelijk is voor het in beweging brengen van de propellers. Het schip beweegt voort, aangedreven door deze schone en efficiënte energiebron.

Naast brandstofcellen worden ook alternatieve technologieën verkend, waaronder waterstofmotoren, die op vergelijkbare wijze werken als traditionele dieselmotoren, maar waterstof in plaats van diesel gebruiken. Daarnaast zijn er waterstofverbrandingsmotoren die waterstofgas in lucht verbranden, wat eveneens een mogelijke benadering is om schepen van brandstof te voorzien. Deze diversiteit aan technologieën toont de toewijding van de maritieme sector aan het ontwikkelen van duurzame en efficiënte oplossingen voor de scheepvaart van de toekomst.

Er zijn meerdere redenen om waterstof schepen breed in te zetten in de maritieme wereld, maar de grootste reden heeft te maken met het milieu. Er komt jaarlijks 11% CO₂ – uitstoot uit de transportsector waarvan 36% veroorzaakt door de binnen- en zeevaart. Schepen en boten zijn dus mega – uitstoters. Om dit te veranderen moeten we kijken naar milieuvriendelijke manieren om te varen, en hier komt waterstof om de hoek kijken.

Groep rond Maersk werkt aan veilig gebruik ammoniak als brandstof

VERVANGING VAN STOOKOLIE

Een groep toonaangevende spelers in de maritieme sector, waaronder Maersk en Lloyd's Register, gaat veiligheidsrichtlijnen ontwikkelen voor het gebruik van ammoniak als scheepsbrandstof.

ROB MACKOR 20 april 2021 11:33

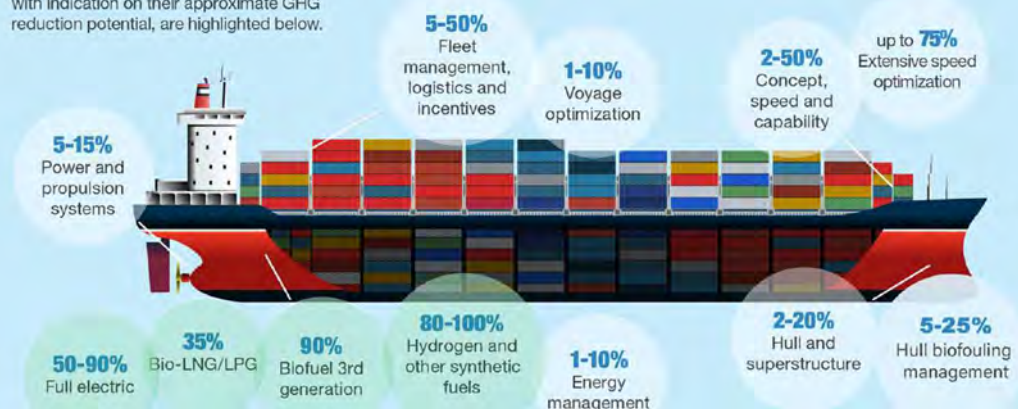


How to reduce CO₂ emissions in shipping?

IMO

A wide variety of design, operational and economic solutions

Achieving the goals of the Initial IMO GHG Strategy will require a mix of technical, operational and innovative solutions applicable to ships. Some of them, along with indication on their approximate GHG reduction potential, are highlighted below.



Port of Antwerp Bruges

Maar waarom gaan we dan niet elektrisch varen? Dit kan simpelweg niet op grote schaal omdat grote schepen een enorm vermogen nodig hebben. Wanneer je vrachtschepen wilt laten varen op accu's, zou je dusdanig veel zware accu's nodig hebben dat er geen cargo meer op de boot kan. Daarnaast zou het dagen, weken of zelfs maanden duren voordat je een boot helemaal kunt opladen en de actieradius is erg kort.

Net zoals bij andere transportmiddelen hebben schepen op waterstof voordelen en nadelen.

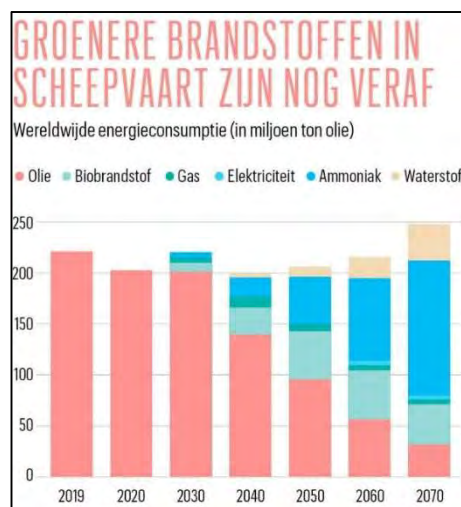
Voordelen van waterstof schepen:

- Waterstof schepen op **groene waterstof** stoten geen CO₂ uit.
- Schepen die puur op elektriciteit varen, hebben zoveel zware batterijen nodig dat dit ten koste gaat van het laadvermogen. Een eigenschap van waterstof is dat het gas erg energiedicht is waardoor het vervoeren van dit gas niet erg ten koste gaat van hoeveel cargo je mee kunt nemen.
- Het **tanken** duurt even lang als bij schepen op diesel waarbij het zal gebeuren op een veilige en efficiënte manier.
- Schepen op waterstof maken amper geluid en stinken niet. Dit is vooral een voordeel voor binnenvaartschepen op waterstof. Zo heeft men geen last van de dieselstank en het geluid van een zwaar schip.

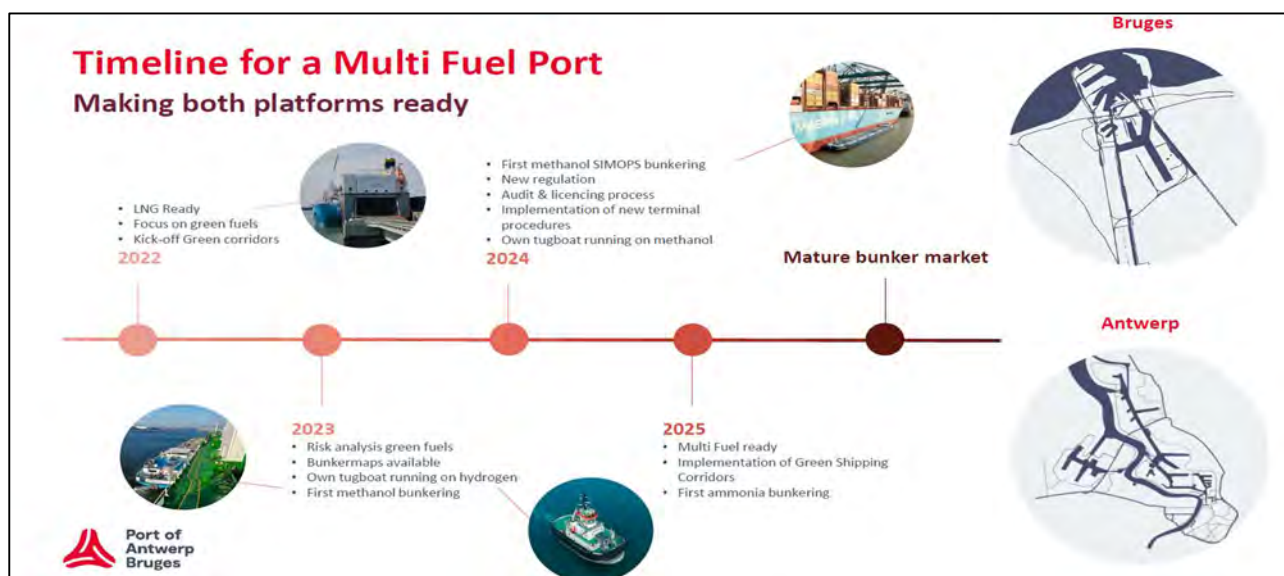
Nadelen van waterstof schepen

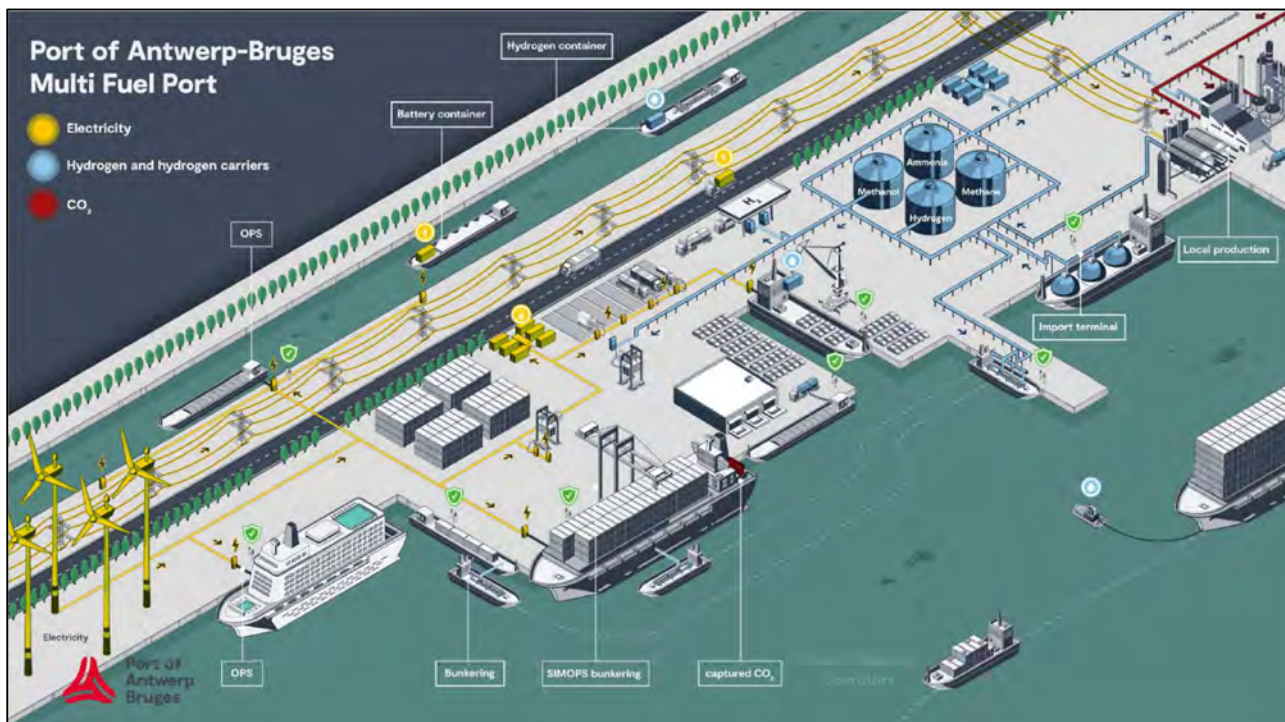
- Waterstofgas is een stuk **duurder** dan diesel.
- Momenteel wordt het merendeel van waterstof als grijs beschouwd met nog steeds **CO₂ – uitstoot**.
- Als deze geldkraan van **subsidies** door de overheid wordt dichtgedraaid, kan dit voor een stagnering in de ontwikkeling zorgen.
- Ook al wordt waterstofgas veilig genoeg verklaart, moet men er toch voorzichtig mee omgegaan worden omdat het gas licht ontvlambaar is. De kans is klein, maar als er iets mis gaat kan dit voor een ramp zorgen.

In conclusie bieden waterstof aangedreven schepen een veelbelovende toekomst voor de maritieme industrie, met hun schone en efficiënte voortstuwingstechnologieën. Hoewel er uitdagingen zijn op het gebied van infrastructuur en kosten, zijn de voordelen op het gebied van milieu en duurzaamheid duidelijk, waardoor ze een aantrekkelijke keuze zijn voor de scheepvaartsector op zoek naar groenere oplossingen. Port of Antwerp – Bruges zet hierop volop in...



CMB.TECH is één van de meest renoverende bedrijven op het gebied van scheepvaart in Port of Antwerp – Bruges.
Meer informatie? Volg de link.





In Noorwegen zijn ze uitgebreid aan het experimenteren met waterstofveerboten, en dat is begrijpelijk gezien het feit dat nergens anders in de wereld zoveel transport via waterwegen plaatsvindt als in Noorwegen en de bredere Scandinavische regio. Tegen 2025 zullen de eerste waterstofboten, die voor 85% op groene waterstof draaien, over de meest populaire routes varen.

Deze Noorse veerboten hebben een capaciteit van bijna 600 auto's, en het gebruik van deze waterstofboten zal naar schatting leiden tot een vermindering van 26 000 ton CO₂ – uitstoot. Dit komt overeen met de emissie van 13 000 dieselauto's gedurende een jaar.



Zien we deze veerboten binnen enkele jaren ook terug in België?
Volg de link voor de prototypes uit Noorwegen.

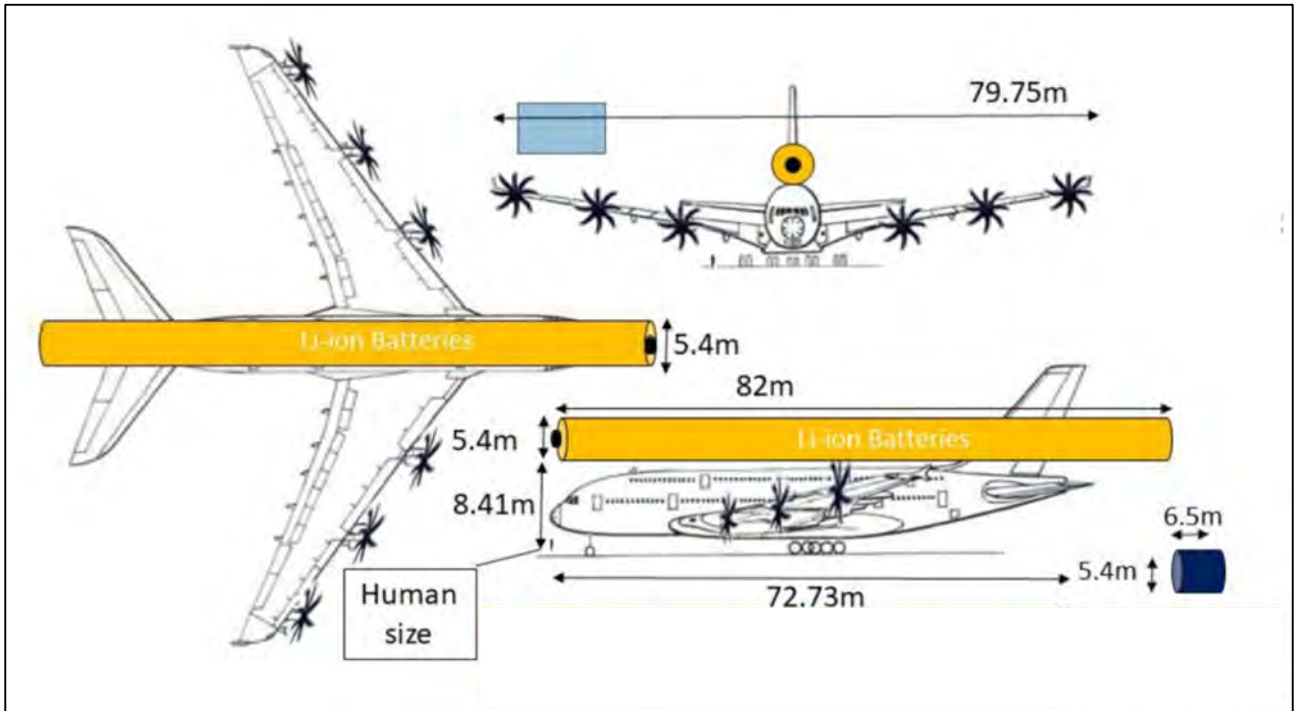


14 WATERSTOF IN DE LUCHTVAART

Range up to in thousand km										Share of total	
PAX	0.5	1	2	3	4.5	7	8.5	10	>10	CO ₂ emissions	Global fleet
 Commuter <19										<1%	4%
 Regional 20-80										3%	13%
 Short-range 81-165										24%	53%
 Medium-range 166-250										43%	18%
 Long-range >250										30%	12%

Als we de bovenstaande gegevens bekijken is het is geen verrassing dat vliegtuigen op kerosine enorm veel CO₂ uitstoten. In 2022 was de gehele luchtvaart sector verantwoordelijk voor 2% van de totale uitstoot op de wereld. Dit klinkt niet per definitie veel in het grote plaatje, maar in 2019 was de uitstoot van vliegtuigen 80% lager. Als deze ontwikkeling zich doorzet, zal het milieu ernstig aangetast worden. Vliegtuigen op groene waterstof kunnen deze ontwikkeling afremmen.

Maar waarom gebruiken we geen elektrische vliegtuigen? Een vliegtuig heeft enorm veel vermogen nodig om zich te verplaatsen. Om vliegtuigen te verplaatsen is er dus een enorme energiebron nodig. Wanneer je elektrisch wilt vliegen, moeten zoveel accu's mee dat het vliegtuig door het gewicht amper van de grond komt. Dit is duidelijk te zien op de onderstaande figuur.



Hierdoor zijn accu's met elektriciteit alleen een optie voor kleinere voertuigen als scooters, motoren en auto's. Waterstofvliegtuigen bieden dus een alternatief voor elektrische vliegtuigen door het veel lichtere waterstofgas.

Aangezien er nog geen waterstof vliegtuigen massaal geproduceerd en gebruikt worden, kunnen we nog niet accuraat vertellen hoeveel waterstof vliegtuigen kosten. Wel kunnen we een kijkje in de toekomst nemen en inschatten of vliegen op waterstof goedkoper gaat zijn dan op kerosine. Het is echter wel belangrijk om te zeggen dat de productie van de vliegtuigen zelf slechts één van de kosten is waar rekening mee gehouden moet worden. De kosten van waterstofgas productie zelf en de gehele infrastructuur zijn van veel grotere invloed.

Volgens een haalbaarheidsstudie zal er bijna 300 miljard euro nodig zijn tussen 2025 en 2050 om een werkende waterstof infrastructuur te bouwen en te ontwikkelen voor waterstofvliegtuigen. Hierbij zal slechts 5% gaan naar de ontwikkeling van de vliegtuigen zelf, 12% naar de infrastructuur van het vliegveld, 6% naar de distributie van waterstof en wel 54% naar waterstof productie. Het ontwikkelen van de waterstof vliegtuigen zelf is dus in verhouding niet duur, maar het produceren van genoeg groene waterstofgas wel.

Desondanks verwacht men dat waterstofvliegtuigen in 2035 ruim 2% goedkoper zullen zijn dan vliegtuigen op kerosine, mits deze voldoende worden belast. Nu zijn er amper accijns op kerosine, maar in de toekomst verwacht men dat dit wel gaat gebeuren om ernstige milieurampen te voorkomen.

Voordelen van vliegen op waterstof.

- Groene waterstof biedt een kans voor **CO₂ – vrij** vliegen.
- Vliegen op waterstof is **op lange termijn** voordeliger.
- Waterstofgas kan makkelijk voor **een lange termijn** opgeslagen worden. In tegenstelling tot andere groene energiebronnen als elektriciteit van zonnepanelen of windmolens, kun je waterstof zonder veel energieverlies voor lange tijden opslaan. Hierdoor kun je op momenten dat er meer gevlogen wordt, meer waterstofgas leveren en andersom.
- Vliegen op waterstof maakt **minder geluid** waardoor er minder overlast is in de buurt van een luchthaven.

Nadelen van vliegen op waterstof.

- Waterstofgas is momenteel **een stuk duurder** om te fabriceren dan kerosine. Het is daarom nog niet financieel verantwoord om te vliegen op dit gas.
- Grijze waterstof stoot ook **CO₂** uit.
- Waterstof is licht ontvlambaar en kleurloos waardoor er nog werkpunten zijn voor **de veiligheid**. Lekken kunnen niet met het blote oog gezien worden en één kleine fout kan een catastrofe betekenen. Echter blijft de technologie op het gebied van waterstof zich constant ontwikkelen.

Innovation Challenge: Ultra-efficient Aircraft Architectures



Ultra-performant wings



Propulsion integrated in airframe for low noise



Blended wing architectures



Aircraft architectures with integrated hydrogen tanks



Zero-e Hydrogen Combustion Demonstrator



De toekomst van de luchtvaart zit momenteel in de R&D – afdelingen. Hierboven zijn enkele prototypes terug te vinden maar nog niet in de lucht. In de ruimtevaart daarentegen wordt het wel reeds gebruikt.

Vandaag is de Boeing CST-100 Starliner dan eindelijk succesvol gelanceerd. Voor de lancering is gebruik gemaakt van een Atlas draagraket die vloeibare waterstof als brandstof gebruikt.



De Starliner is een herbruikbaar ruimteschip dat in december 2019 zijn eerste testvlucht maakte. Vandaag is de capsule voor het eerst als bemande vlucht gelanceerd. De reis gaat naar het ruimtestation ISS onder NASA's Commercial Crew-Contract.

Bij deze lancering zijn 2 ervaren astronauten aan boord: twee ervaren astronauten geselecteerd: Sunita Williams en Barry Wilmore. De Starliner biedt normaliter plaats aan vier en maximaal vijf astronauten en moet maximaal 210 dagen aan het ISS gekoppeld kunnen blijven.

De Starliner is geschikt om op diverse draagraketten gelanceerd te worden, zoals de Delta IV, Atlas V, Falcon 9 en de in ontwikkeling zijnde Vulcan. Bij deze lancering is de keus gevallen op de 20 jaar oude Atlas V van United Launch Alliance (waarin Boeing een belang van 50% heeft). Wanneer de Vulcan (die in 2024 zijn eerste vlucht maakte) zich als opvolger voldoende heeft bewezen zal deze mogelijk die rol overnemen.

De Atlas raket gebruikt waterstof als raketbrandstof. Of specifieker gebruikt de raket Hydrolox. Dit is een combinatie van vloeibare waterstof en vloeibare zuurstof, wat iets meer waterstof is dan zuurstof in een typisch mengsel om de temperatuur in de verbrandingskamer lager te houden. Hydrolox wordt beschouwd als de meest efficiënte raketstuwstofcombinatie, met een gemiddelde specifieke impuls van ongeveer 450 seconden. De gemiddelde specifieke impuls is in feite hoeveel energie de brandstof heeft per eenheid drijfgas. Ter vergelijking: kerosol-motoren gebruiken Rocket Propellant 1 (RP-1), een vorm van kerosine, en vloeibare zuurstof. Ze hebben een gemiddelde specifieke impuls rond de 350 seconden.

De Atlas draagraket is overigens niet de enige raket die gebruik maakt van Hydrolox. Ook de Merlin 1D op de Falcon 9 van SpaceX en de toekomstige Vulcan draagraket maken gebruik van dit mengsel van vloeibare waterstof en vloeibare zuurstof.

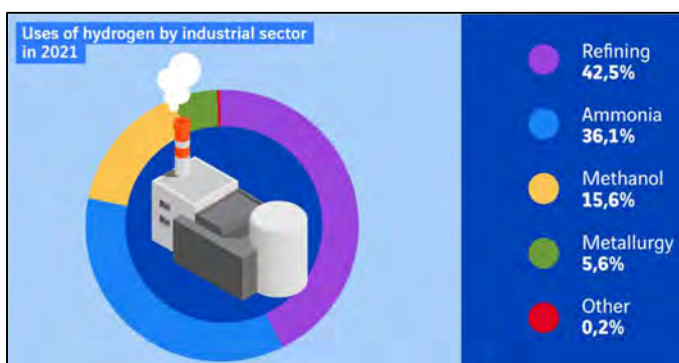
Bron: Boeing Space

15 WATERSTOF IN DE INDUSTRIE

In de industrie zijn moleculen vaak noodzakelijk voor bijvoorbeeld hoge temperatuurwarmte of energie – intensieve productieprocessen. Hiervoor worden nu aardgasmoleculen gebruikt. Dat wil men zo snel mogelijk omzetten naar groene moleculen, met name **groene waterstof**.

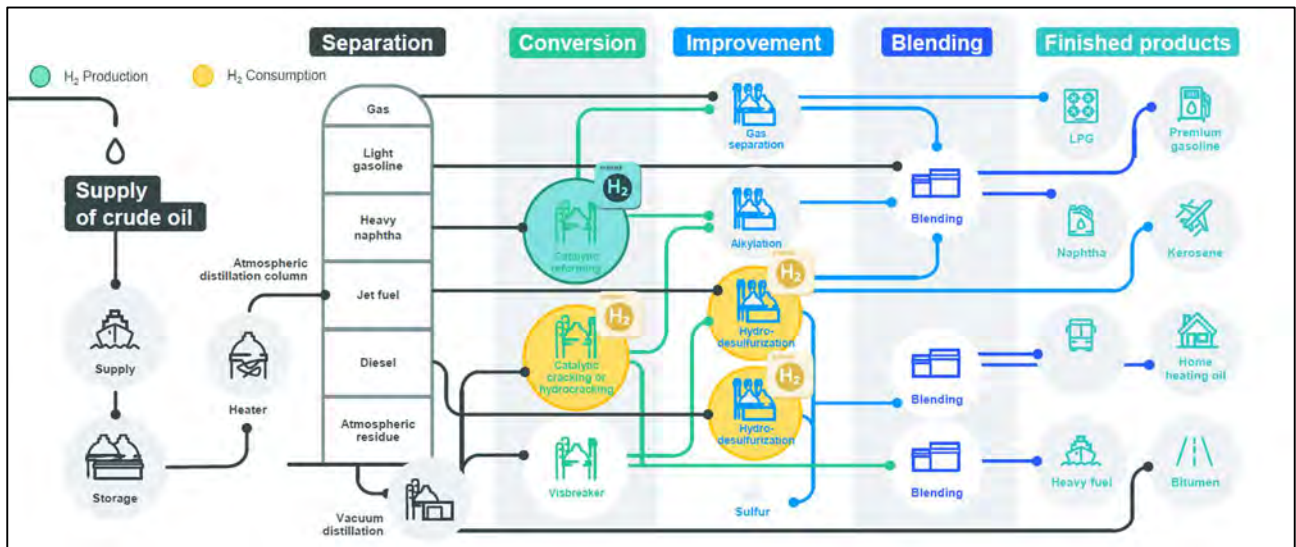
Daarnaast heeft een deel van de industrie waterstof nodig als grondstof voor materialen of producten.

In de **chemische industrie** is waterstof nu al nodig bij de synthese van chemische producten.

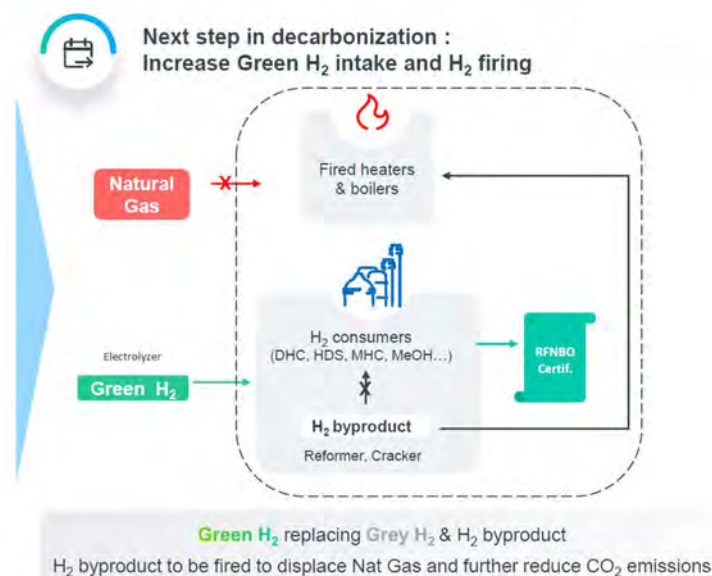


Als we af willen van chemische processen op basis van fossiele koolwaterstoffen als steenkool, aardolie of aardgas, wordt de behoefte aan groene waterstof alleen nog maar groter.

We moeten ons realiseren dat de industrie niet alleen moet overstappen van fossiele naar betaalbare groene moleculen, maar dat diezelfde industrie eist dat deze moleculen op elk moment en in elke gewenste hoeveelheid voor handen zijn. Ook vanuit dat perspectief is versnelde en grootschalige inzet van waterstof van belang. Net als de fossiele gasmoleculen is immers ook groene waterstof prima op te slaan en te transporteren. Hierdoor houden we ons energiesysteem betaalbaar en in balans, terwijl we de grootverbruikers van moleculen afhelpen van hun onwenselijk grote CO₂ – footprint.



Schematische voorstelling raffinage – proces van waterstof. Bron: TotalEnergies.



Hernieuwbare waterstof is een eerste stap om raffinaderijen koolstofvrij te maken.

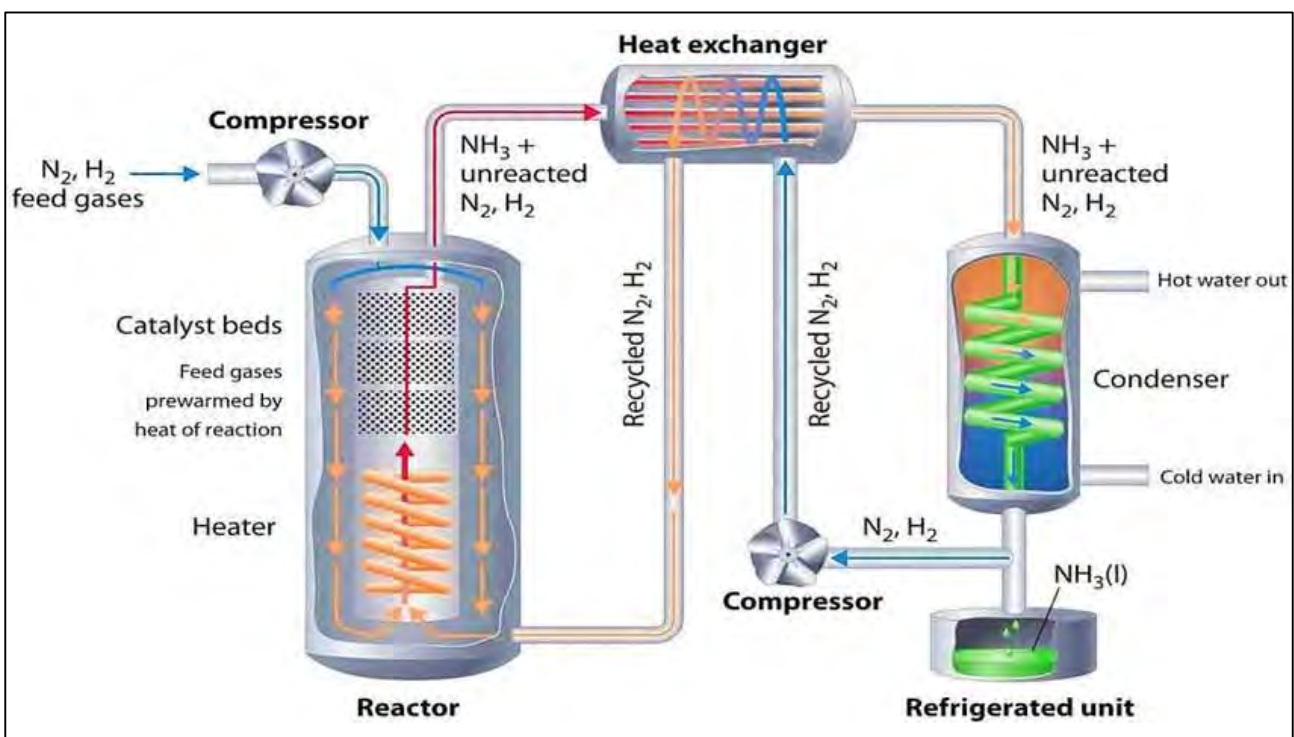
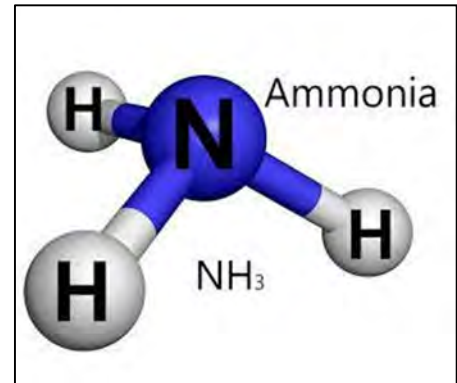
15.01 PRODUCTIE VAN AMMONIAK

Ammoniak is een chemische verbinding van stikstof en waterstof, met de formule NH_3 . Ammoniak is een kleurloos gas met een scherpe geur, dat veel wordt gebruikt als grondstof voor kunstmest, schoonmaakmiddelen en koelmiddelen.

Het kan worden geproduceerd uit water en lucht, met behulp van elektriciteit. Als de elektriciteit afkomstig is van duurzame bronnen, zoals zon of wind, dan is de ammoniak ook **duurzaam**.

We hebben gezien dat waterstof wordt geproduceerd door middel van elektrolyse, waarbij water wordt gesplitst in waterstof en zuurstof. Vervolgens wordt de waterstof gecombineerd met stikstof uit de lucht, om ammoniak te vormen.

Dit proces heet **ammoniaksynthese**. De ammoniak wordt dan opgeslagen in vloeibare vorm. Hiervoor wordt het onder een druk van ongeveer 10 bar gebracht of afgekoeld tot een temperatuur van -33°C .



Schematische voorstelling van de ammoniaksynthese volgens het Haber – Bosch proces.

Dit maakt het transport en de opslag van ammoniak veel gemakkelijker dan die van waterstof, die onder een veel hogere druk moet worden gehouden. Bovendien heeft ammoniak een hogere energiedichtheid dan waterstof, wat betekent dat er meer energie in een bepaald volume zit. Ten slotte wordt de ammoniak weer omgezet in waterstof, door middel van een proces dat **ammoniakkraak**ing heet. De waterstof kan dan worden gebruikt om elektriciteit te genereren.

Ammoniak wordt beschouwd als een veelbelovende **energiedrager** vanwege verschillende voordelen. Enkele van de belangrijkste **voordelen** zijn:

- **Energieopslag en -transport:** Ammoniak kan worden geproduceerd door stikstof en waterstof te combineren. Het kan dienen als een opslagmedium voor waterstof, wat handig is omdat waterstof op zichzelf technisch uitdagend is om op grote schaal op te slaan en te transporteren. Ammoniak is relatief eenvoudiger op te slaan en te vervoeren, waardoor het een praktische optie is voor het transport van waterstof.
- **Hoge energiedichtheid:** Ammoniak heeft een hoge energiedichtheid, wat betekent dat het een grote hoeveelheid energie kan bevatten in verhouding tot het volume. Dit maakt het efficiënt voor opslag en transport, vooral in vergelijking met sommige andere energiedragers.

- Mogelijkheid voor **groene productie**: Ammoniak kan op een duurzame manier worden geproduceerd door waterstof te verkrijgen via elektrolyse, waarbij hernieuwbare energiebronnen zoals wind- of zonne-energie worden gebruikt. Op deze manier kan ammoniak als een "groene" energiedrager worden beschouwd, wat betekent dat de productie geen CO₂-uitstoot met zich meebrengt.
- **Wereldwijde infrastructuur** voor transport: Er bestaat al een goed ontwikkelde infrastructuur voor de productie, opslag en distributie van ammoniak, vooral vanwege het gebruik ervan in de landbouw en de chemische industrie. Dit maakt het gemakkelijker om ammoniak te integreren als een energiedrager in bestaande systemen.
- **Flexibiliteit** in toepassingen: Ammoniak kan worden gebruikt voor verschillende toepassingen, waaronder het opwekken van elektriciteit, als brandstof voor voertuigen, en zelfs als grondstof in de chemische industrie. Deze flexibiliteit maakt het een veelzijdige energiedrager. Bij gebruik als brandstof komt er geen CO₂ vrij.

Hoewel ammoniak veel voordelen heeft, zijn er ook **nadelen** en vraagstukken, met name met betrekking tot de veilige hantering en opslag, evenals de productie van groene ammoniak op grote schaal.

- **Toxiciteit**: Ammoniak is giftig, zowel bij inademing als bij contact met de huid of ogen. Het kan gezondheidsrisico's met zich meebrengen voor mensen en dieren. Het veilig hanteren, transporteren en opslaan van ammoniak vereist daarom speciale voorzorgsmaatregelen en technologieën.
- **Brandbaarheid**: Ammoniak kan brandbaar zijn wanneer het wordt gemengd met lucht en ontstoken. Hoewel het geen klassieke brandstof is, zijn er veiligheidsrisico's verbonden aan het gebruik ervan, met name in situaties waar het kan vrijkomen.
- **Corrosiviteit**: Ammoniak is corrosief en kan metalen aantasten. Dit kan problemen veroorzaken bij het ontwerp en onderhoud van systemen en infrastructuur die ammoniak als energiedrager gebruiken.
- **Opslag en transport**: Het efficiënt opslaan en transporteren van ammoniak kan een uitdaging zijn. Het heeft bijvoorbeeld een hogere dichtheid in vergelijking met waterstofgas, maar het vereist ook speciale druk- en temperatuurcondities voor opslag en transport.
- **Overgangsproblemen**: Het integreren van ammoniak als energiedrager in bestaande energie-infrastructuur en het ontwikkelen van nieuwe toepassingen kunnen technische en economische uitdagingen met zich meebrengen.

De productie van ammoniak zal naar verwachting met 40% stijgen in de komende 30 jaar, waarbij waterstof een cruciale rol zal spelen in deze uitbreiding. Momenteel is de ammoniakindustrie verantwoordelijk voor 1,8% van de wereldwijde CO₂-uitstoot, wat een aanzienlijke kans biedt om de koolstofemissies wereldwijd te verminderen.

Door gebruik te maken van koolstofafvang, -gebruik en -opslag (CCUS) en hernieuwbare energie, kan schone waterstof worden ingezet in het industriële proces, wat leidt tot een significante reductie van emissies. Dit stelt de petrochemische industrie in staat om op een duurzame manier uit te breiden. Bovendien heeft ammoniak potentieel als opslagmedium voor waterstof, omdat het gemakkelijker te transporteren is dan vloeibare of gasvormige waterstof. Om deze reden krijgen projecten voor de productie van schone ammoniak steeds meer aandacht en financiering.



Men doet volop onderzoek naar het gebruik van ammoniak als brandstof in de scheepsvaart. Volg de link voor meer informatie.

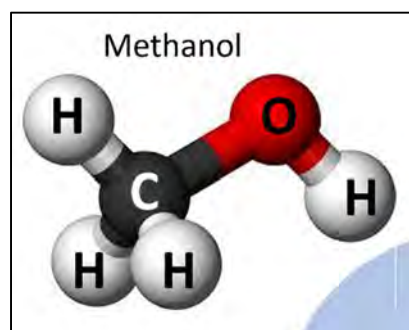


15.02 PRODUCTIE VAN METHANOL

Methanol, een van de meest fundamentele chemische stoffen wordt op grote schaal geproduceerd via verschillende productiemethodes. De productie van methanol speelt een rol in de wereldwijde chemische industrie, aangezien het dient als een basis voor talloze andere **chemische producten**.

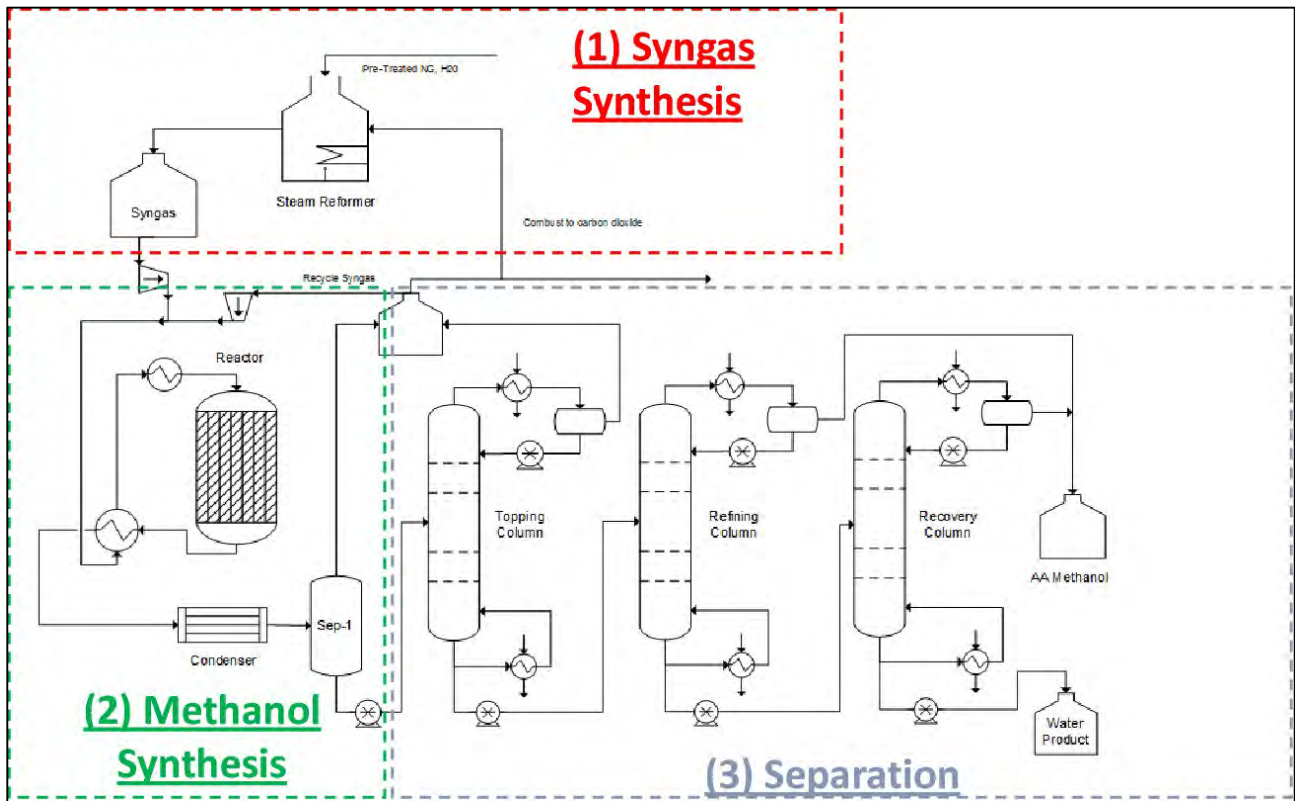
De meeste methanol die wereldwijd wordt geproduceerd begint met de productie van synthetisch gas, ook wel **syngas** genoemd.

Syngas is een mengsel van koolmonoxide (CO), kooldioxide (CO₂), en waterstof (H₂).



Het wordt verkregen door het vergassen van fossiele brandstoffen zoals aardgas, kolen of biomassa. Het productieproces van methanol uit syngas verloopt in twee hoofdprocessen:

- **Stoomreforming** van Aardgas: Het meest gebruikelijke proces begint met aardgas (methaan, CH_4), dat wordt omgezet in syngas door stoomreforming. Hierbij wordt methaan verhit en gereageerd met stoom (H_2O) in aanwezigheid van een katalysator, meestal nikkel, om waterstof en koolmonoxide te produceren.
- **Koolvergassing**: In gebieden waar aardgas schaars is, kan methanol worden geproduceerd door de vergassing van kolen. Kolen worden bij hoge temperaturen en onder hoge druk gereageerd met zuurstof en water, wat resulteert in de vorming van syngas.



Schematische voorstelling productie van methanol.

Zodra het syngas is geproduceerd vindt de **methanolsynthese** plaats. Dit gebeurt in de methanolsynthesereactor, waar syngas wordt omgezet in methanol via een katalytisch proces.

Het proces vindt meestal plaats onder verhoogde druk en temperatuur in de aanwezigheid van een koper – of zinkoxidekatalysator. Tijdens dit proces reageert het koolmonoxide met waterstof om methanol te vormen. De reactie is exotherm, wat betekent dat het warmte produceert, en de druk en temperatuur moeten zorgvuldig worden gecontroleerd om de maximale opbrengst van methanol te bereiken.

Na de synthese bevat het ruwe product mengsels van methanol, water en ongereageerde componenten zoals koolmonoxide, kooldioxide en waterstof. Daarom wordt het ruwe methanolmengsel onderworpen aan zuiverings- en destillatieprocessen om zuivere methanol te verkrijgen.

- **Zuivering**: Het eerste stadium van zuivering omvat het verwijderen van gassen en onzuiverheden uit het ruwe methanol. Dit gebeurt meestal in een ontgassingskolom.
- **Destillatie**: Vervolgens wordt het mengsel gedestilleerd om methanol van water en andere onzuiverheden te scheiden. Dit proces kan meerdere destillatiekolommen omvatten, afhankelijk van de vereiste zuiverheid. Het eindproduct is meestal methanol met een zuiverheid van 99,85% of zelfs hoger.

Naast de conventionele methoden zijn er ook **alternatieve** productiemethodes voor methanolproductie, deze worden wel op kleinere schaal toegepast:

- **Biomassaverwerking**: Methanol kan worden geproduceerd uit biomassa via vergassing of fermentatieprocessen. Deze methoden zijn milieuvriendelijker omdat ze gebruik maken van hernieuwbare bronnen.

- **CO₂-conversie:** Er zijn ook processen in ontwikkeling die kooldioxide direct omzetten in methanol, wat een veelbelovende technologie is in de context van koolstofbeheer en klimaatverandering. Deze processen gebruiken hernieuwbare energiebronnen om waterstof te genereren, die vervolgens met CO₂ wordt omgezet in methanol.

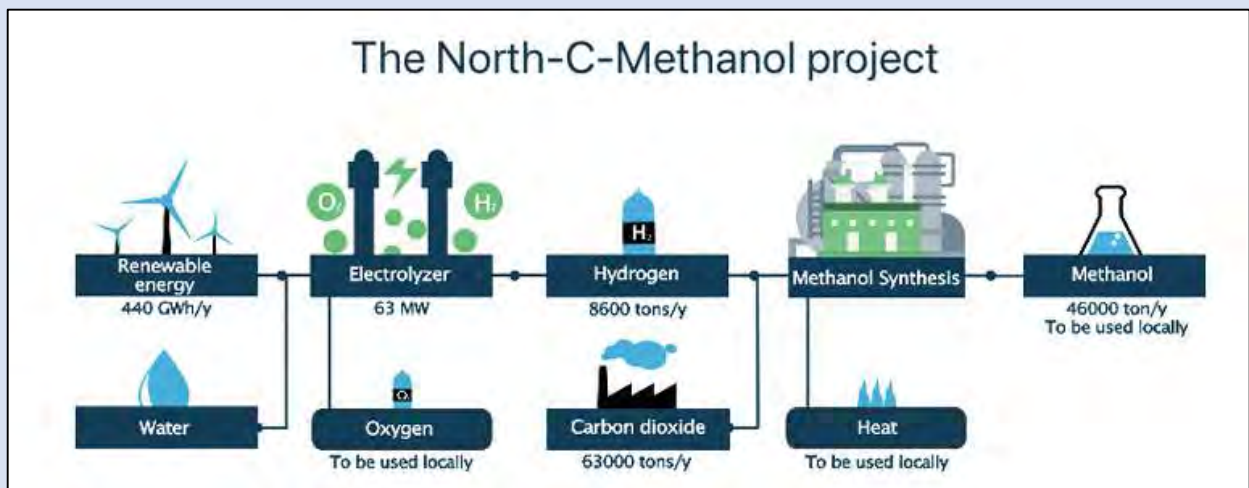


De methanolproductie heeft impact op het milieu, voornamelijk door de uitstoot van CO₂ en het verbruik van fossiele brandstoffen. Innovaties zoals CO₂-conversie en methanolproductie uit biomassa worden daarom steeds belangrijker in de industrie. Deze technologieën verminderen de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en helpen bij het beheersen van de koolstofvoetafdruk van methanolproductie.

In het North-C-Methanol project worden twee fabrieken gebouwd op het schiereiland Rodenhuize in North Sea Port. De ene voor het produceren van groene waterstof en de andere voor de productie van methanol uit waterstof en opgevangen CO₂.

Tien private en publieke partners hebben het startschot gegeven voor het North-C-Methanol project op het schiereiland Rodenhuize in North Sea Port. Op het schiereiland komen twee grootschalige demofabrieken en ondersteunende infrastructuur. De eerste installatie, een elektrolyser van 65 megawatt, wordt opgetrokken op de terreinen van ENGIE. Deze waterstoffabriek zal water via windenergie omzetten in groene waterstof en zuurstof. De fabriek moet in 2024 operationeel zijn en zal richting 2030 opschalen naar 600 megawatt.

De tweede installatie betreft een methanolfabriek van Proman. Deze fabriek zet de groene waterstof uit de elektrolyser en CO₂ om in groene methanol. De CO₂ is afkomstig van grote lokale industriële spelers zoals ArcelorMittal en Alco Bio Fuel en wordt daar in het productieproces opgevangen. De lokale chemische industrie en hernieuwbare brandstofindustrie gebruikt de methanol op haar beurt als groene grondstof en/of als groene brandstof voor schepen en treinen.



“Dit project laat zien waarom we met Vlaanderen een koploper kunnen worden in duurzame innovatie. Met onze havens en hun industrie zijn we ideaal gepositioneerd om te investeren in een circulaire en duurzame industrie. Het zorgt voor een duurzame groei en nieuwe jobs en met dit type projecten maken we een sprong voorwaarts naar een veerkrachtig Vlaanderen. Bovendien is het ook een stap in de richting om minder afhankelijk te worden van fossiele grondstoffen uit het buitenland”, vertelt Hilde Crevits.

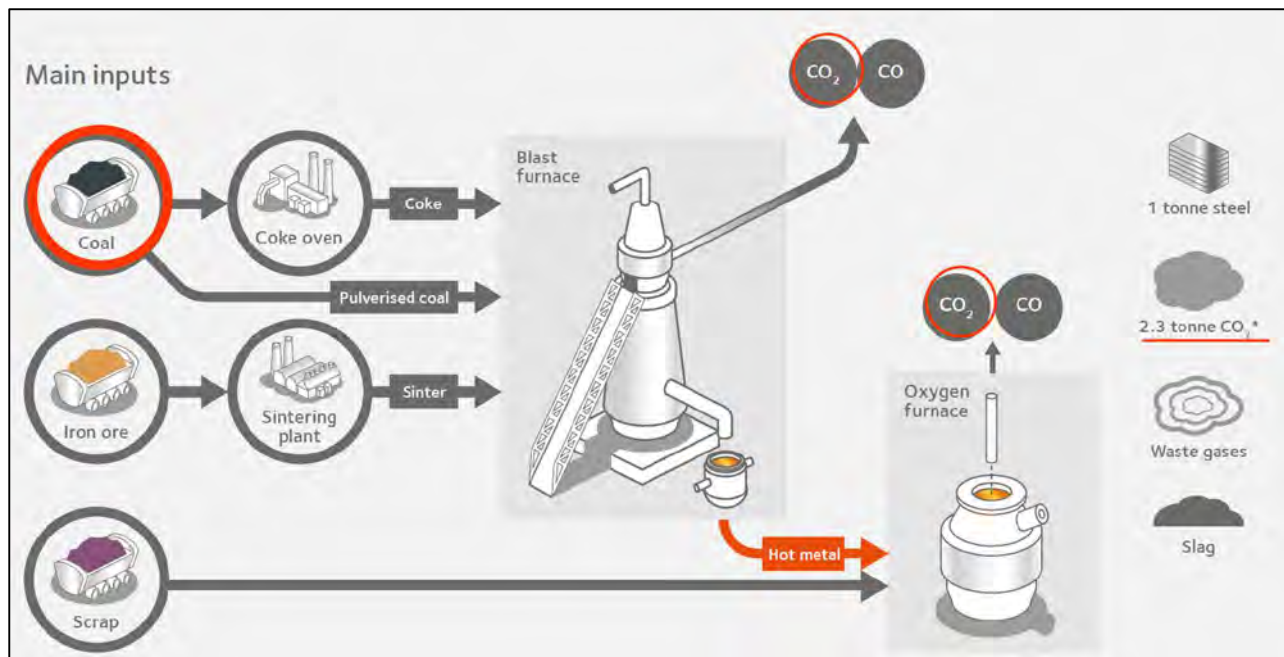


Het North-C-Methanol project is onderdeel van de North-CCU-Hub. De Hub wil op termijn een totale jaarlijkse emissiereductie van 1 miljoen ton CO₂ realiseren in North Sea Port. Onderstaande animatie toont de ontwikkeling van de CCU/Hub.

Bron: alles over waterstof.nl

15.03 STAALPRODUCTIE

In de staalproductie wordt steeds meer geëxperimenteerd met het gebruik van waterstof om de uitstoot te verminderen. Staalproductie vereist hoge temperaturen, waarbij traditioneel steenkool wordt gebruikt voor zowel de hitte als de chemische reacties in het proces.



Schematische voorstelling staalproductie met ontwikkeling CO₂. Bron: ArcelorMital.

Waterstof kan in dit proces dienen als vervanger, zowel voor de benodigde warmte als voor de chemische reacties. Wanneer schone waterstof wordt ingezet, biedt dit een groot potentieel om de emissies te reduceren, aangezien staal een essentieel bouwmaterial is voor moderne gebouwen en industriële processen.

Staalindustrie kiest voor waterstof. Wereldwijd zijn staalproducenten in de weer om de CO₂-uitstoot van hun staalfabricageprocessen terug te dringen. Waterstof kan daarbij goede diensten bewijzen.

Zo laat de Zweedse staalfabrikant SSAB samen met energiebedrijf Vattenfall en mijnbouwbedrijf LKAB een heuse proeffabriek bouwen in de Noord-Zweedse stad Luleå om na te gaan of bij de productie van staal op basis van erts, waterstof is in te zetten als reductiemiddel. Het waterstof dient ter vervanging van cokeskolen dat voor een belangrijk deel verantwoordelijk is voor de CO₂-emissie bij de staalproductie.

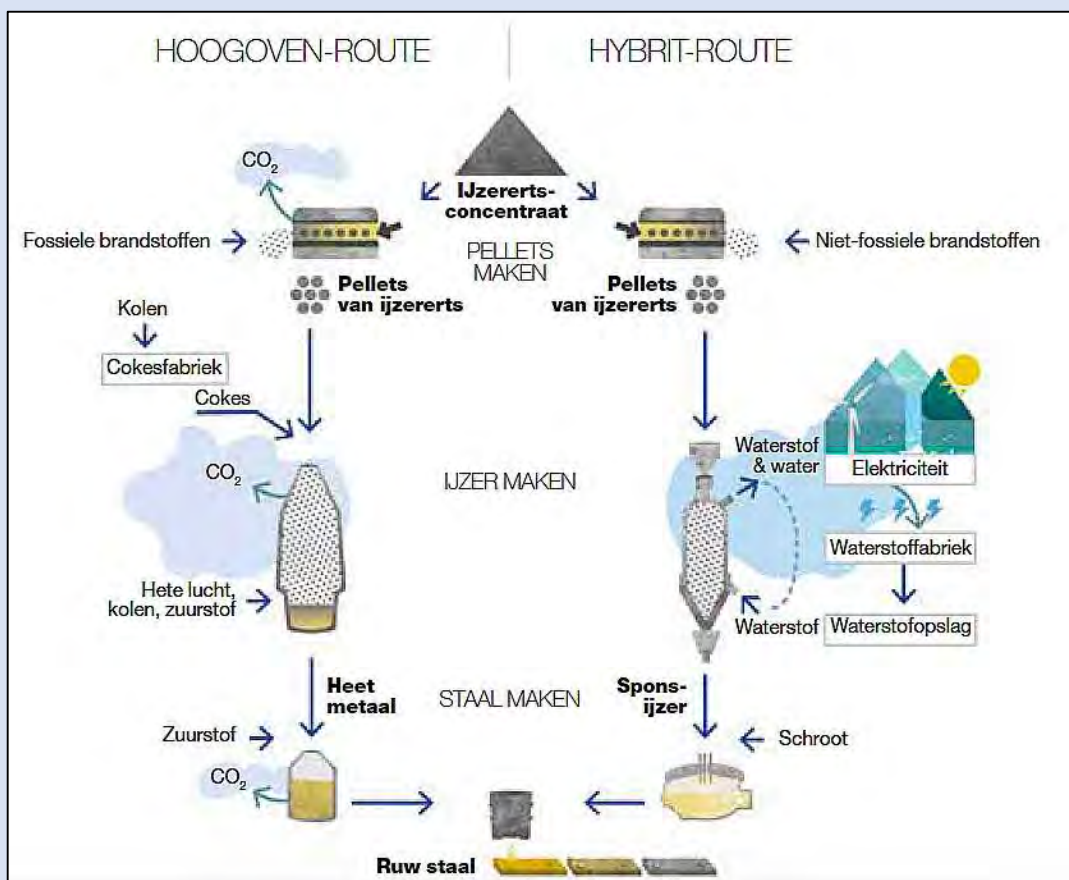
Van oudsher wordt cokeskolen verstoofd om het ijzererts uit de grond te kunnen omzetten in ijzer. Cokeskolen werkt als een magneet die de zuurstofatomen scheidt van de ijzeratomen. Hierbij treedt echter ook een binding op van steeds één koolstofatoom met twee zuurstofatomen. Het broeikasgas CO₂ is geboren, waarvan de uitstoot de komende jaren fors omlaag moet. Door cokeskolen te vervuilen voor waterstof, komt bij het proces H₂O vrij en veel minder CO₂.

De nieuwe Zweedse productietechnologie met inzet van waterstof luistert naar de naam HYBRIT en dient rond 2035 te zijn uitontwikkeld voor het fabriceren van fossielvrij staal, volgens het zogeheten direct reduction proces. De proeffabriek is momenteel in Luleå in aanbouw, oplevering is deze zomer voorzien. Dan is de fabriek in staat om volgens het nieuwe procedé een ton staal per uur te produceren. Op zich is dat maar een fractie van de capaciteit van een conventionele staalfabriek, zo'n 250 ton staal per uur. Maar de fabriek is dan ook primair een onderzoeksinstallatie.

'De fabriek dient echt om uit te vogelen hoe we ons proces draaiend krijgen,' stelt Mikael Nordlander, hoofd van de betrokken R&D-afdeling van Vattenfall. 'We hebben ons op waterstof gebaseerde proces goed werkend gekregen in het laboratorium in Stockholm, op kleine schaal dus. Nu willen we dat ook voor elkaar krijgen in een installatie die een of twee maten groter is. We kunnen straks spelen met belangrijke parameters, zoals de precieze samenstelling van het reductiegas waterstof, de temperatuur, debieten en drukniveaus. Zo leren we hoe we een continu proces op commerciële schaal mogelijk kunnen maken.'



Om de CO₂-reductie zo groot mogelijk te laten uitvallen, is de inzet van groene waterstof een must. Groene waterstof is waterstof uit duurzame stroom, opgewekt via bijvoorbeeld windmolens en waterkrachtcentrales. Grijze waterstof, gemaakt van aardgas, is eigenlijk geen alternatief. HYBRIT kiest (uiteraard) voor 'groen' en wordt daarbij geholpen door de lokale omstandigheden. In Zweden wordt het grootste deel van de benodigde elektriciteit al duurzaam opgewekt. Bovendien is er in Zweden 'een goede balans tussen vraag en aanbod. Daardoor zijn de stroomprijzen laag, zeker voor de industrie.', aldus Nordlander 'Ook de prijs voor het maken van waterstof zal dalen. In de toekomst hebben steeds meer andere industrieën het ook nodig.'



De nieuwe productietechnologie heeft nog een extra voordeel. Het proces met waterstof levert ook sponsijzer op. Dit tussenproduct is (her)bruikbaar bij het recyclen van staal in een vlamboogoven.

Om HYBRIT te laten slagen, doen de Zweden stevige investeringen. Alleen al in de huidige, eerste fase van het project is 170 miljoen euro gestoken. Hiervan brengt de Zweedse rijksoverheid zo'n 50 miljoen euro op.

Bron: bouwenmetstaal.nl

16 IS WATERSTOF VEILIG?

Net zoals bij alle brandstoffen, brengt het gebruik van waterstof risico's met zich mee. Waterstof is niet gevaarlijker dan de huidige brandstoffen. We moeten er wel mee leren omgaan op basis van zijn eigenschappen, die sterk verschillen van die van de fossiele brandstoffen.

Een aantal van de risico's van waterstof zijn:

- Waterstof is kleurloos, geurloos en smaakloos wat maakt dat het niet opgemerkt kan worden door een persoon.
- Het kan ontbranden bij kleine hoeveelheden in de lucht.
- Er is weinig energie nodig om waterstof te laten ontbranden.
- Waterstof kan erg veel energie bevatten, waardoor een explosie erg krachtig kan zijn.
- In tanks wordt waterstof opgeslagen onder hoge druk met de nodige risico's tot gevolg.

Waterstof wordt al decennia lang op enorme schaal gebruikt binnen de industrie en kent een zeer positieve veiligheidsgeschiedenis. Populaire misvattingen zoals de waterstofbom, die gebaseerd is op kernfusie, en de ramp met de Hindenburg, waar het om een gewone materiaalbrand van de zeppelin bleek te gaan, doen soms nog onrecht aan de perceptie van waterstof.

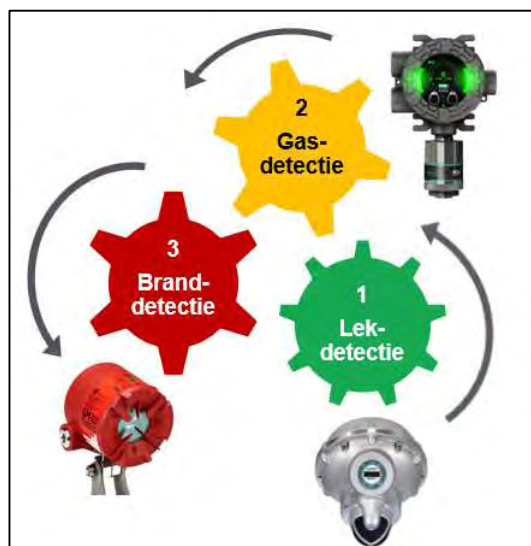
Ook moderne applicaties zoals de waterstofwagen en – tankstations, kenden nog geen calamiteiten. Mits het kennen van en het handelen naar de eigenschappen van waterstof, is dit een veilige energiedrager.

De veiligheidsrisico's van waterstof hebben vooral betrekking op het feit dat er veelal met hoge druk gewerkt wordt, dat het een lage ontstekingsenergie kent en bovendien met een slecht zichtbare vlam brandt. Waterstof is bovendien explosief in een breed concentratiegebied in besloten ruimtes bij aanwezigheid van zuurstof en een ontstekingsbron.

De vluchtigheid van waterstof maakt ook dat het de neiging heeft tot lekken in bepaalde deelcomponenten zoals leidingen, drukvaten of opslagtanks. Echter, juist doordat waterstof 14 keer lichter is dan lucht, stijgt het met een snelheid van bijna 20 meter per seconde. Dit is bevorderlijk voor de veiligheid aangezien het bij calamiteiten zoals brand snel afgelaten kan worden, in tegenstelling tot conventionele brandstoffen of zelfs batterijen. Het blijft immers niet zomaar hangen of liggen op de vlam, mits er aan de bovenkant van de ruimte afvoer mogelijk is.

Wat we dus ten alle tijden willen vermijden bij waterstofinstallaties of - toepassingen zijn lekken en ontstekingen. Lekken worden tegengegaan door goede materiaalkeuze van fabrikanten conform de geijkte normeringen. Ook periodiek onderhoud is van groot belang. Systemen kunnen van extra veiligheid voorzien worden door gasdetectie en noodstopssystemen in te bouwen. Externe impacts, zoals aanrijdingen, worden tegengegaan door bijvoorbeeld betonnen constructies aan tankstations. Waterstoftanks in voertuigen doorstaan dan weer granaat- en kogeltesten.

Ontstekingen worden in de eerste plaats vermeden door het gebruik van gezond verstand. Op waterstofsites mag niet gerookt worden of andere activiteiten aanwezig zijn die ontstekingen kunnen veroorzaken. Ten aanzien van brandveiligheid dienen procedures doorlopen te worden zoals het voorzien van brandmuren, bluskransen, rookdetectie, etc.



16.01 HERKENNEN VAN WATERSTOFSYSTEMEN

Waterstof kan op verschillende manieren worden opgeslagen: cilinders, tubes, tanks in een auto,...

Het is dus belangrijk dat dit voor iedereen herkenbaar is: zowel gebruikers als hulpverleners bij noodsituaties.

Transport van gevaarlijke stoffen moet aangeduid worden met **internationale symbolen** en **etiketten**:

- Rood bord met symbool en cijfer 2 = brandbaar gas (ADR – code)
- Het cijfer 23 = brandbaar gas (GEVI – code).
- Het cijfer 1049 = gasvormige waterstof onder druk (UN – nummer).



De **cilinders** waarin men waterstof gaat opslaan zijn gemaakt van staal en de maximale druk is 300 bar. Een cilinder heeft meestal een inhoud van 50 liter en bevat ongeveer 1 kg waterstof. Men kan 12 tot 16 cilinders bundelen in een horizontale positie waardoor men bundels krijgt. In zo'n **bundel** zijn de cilinders allemaal met elkaar verbonden.

Elke bundel heeft 2 aansluitingen waarvan er maar 1 wordt gebruikt. Op niet actieve aansluiting zal een gele aanduiding zichtbaar zijn. Een lege waterstofcilinder bevat altijd waterstof en staat op druk om te voorkomen dat er lucht in de cilinder kan komen.



Opstelling van bundels waterstof.

Voor grotere hoeveelheden waterstof zal men gebruik maken van **tubes**. Deze zijn eveneens gemaakt van staal en de maximale druk is 200 bar. Een tube heeft een inhoud van 1500 – 2500 liter en bevat ongeveer 35 kg waterstof. Ze worden liggend vervoerd met een tubetrailer die vaak 10 tubes bevat en allemaal met elkaar verbonden zijn.



Opstelling van een tubetrailer met de verplichte symbolen.

Zoals we gezien hebben zijn er ook auto's met waterstof als brandstof. Zo'n model bevat 2 of 3 tanks die gemaakt zijn uit versterkt polymeer met een maximale druk van 700 bar. De inhoud is variërend tussen de 25 en 65 liter waterstof wat overstemt met 5 tot 6 kg waterstof. De tanks zijn aan elkaar verbonden waarbij alles is beveiligd is tegen exploderen. Men spreekt dan over **TPRD** = Thermally – activated Pressure Relief Device.

Bij een temperatuur van 110°C (in de buurt van een brand of hoge temperatuur) zal de TPRD openen waardoor de inhoud van waterstoftank gecontroleerd wordt afgeblazen. Het leeglopen van de tank zal maximaal 3 minuten duren naargelang de inhoud.



Waterstof kan men ook transporteren in **buisleidingen**. Men kan een onderscheid maken tussen lagedruk en hogedruk.

Lagedrukleidingen zijn momenteel nog maar terug te vinden in kleinere pilot – projecten omdat men volop in ontwikkeling is. Deze kleinere leidingen worden meestal gemaakt van PVC maar kan ook door een bestaande gasleiding gaan. Men spreekt over distributieleidingen (8 bar) naar particuliere woningen (30 mbar) en grotere gebouwen (100 mbar).

Voor de hogedruk gebruikt men leidingen van staal waarbij men ook bestaande hogedruk aardgasleidingen kan gebruiken tot 50 bar.



16.02 GEVAREN VAN WATERSTOF?

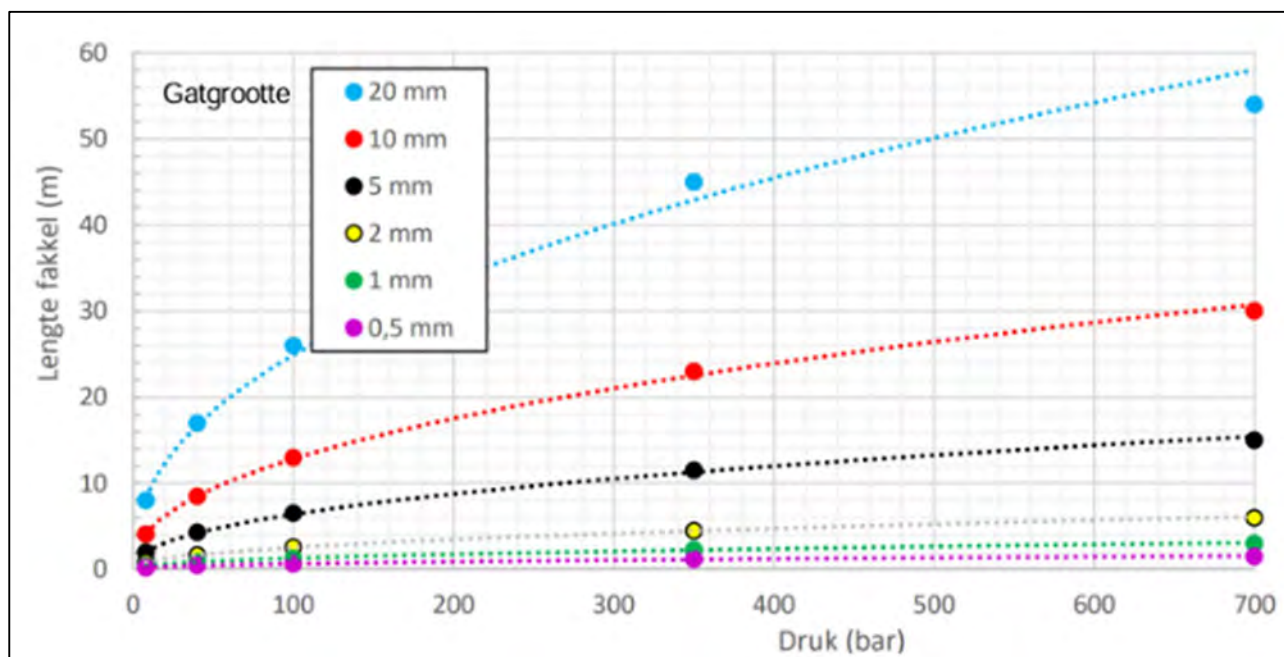
Lekken zijn een gevaar van alle soorten gassen. Het kan continu gebeuren of “in een fractie van een seconde” (= instantaan). Hieronder zien we de flowcharts van deze 2 faalmechanismen.



Gevolgen van vrijkomend waterstofgas. Bron: NIPV.

Nadat waterstof is vrijgekomen, kan het direct, vertraagd of niet ontstoken worden. Als het vrijkomt in een gesloten omgeving bestaat er gevaar voor ophoping.

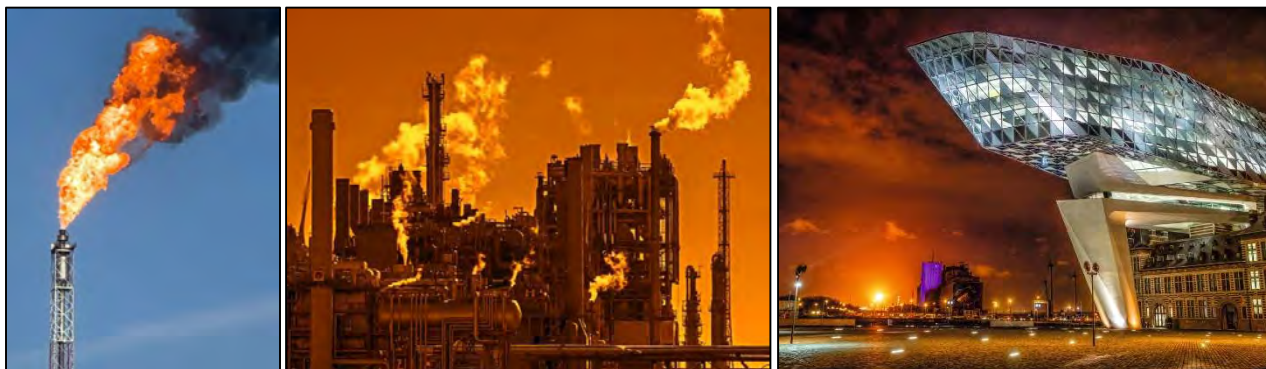
Als er waterstof onder hoge druk ontsnapt via een lek (of een gat) en meteen ontstoken wordt ontstaat er **een fakkelflam**.



De lengte van de fakkel is afhankelijk van druk en de grootte van het gat.

Zo'n fakkel heeft verschillende **eigenschappen**:

- De meeste waterstof komt in de eerste minuut vrij waardoor de fakkel dan het langste is.
- Na deze minuut is de druk lager en wordt de fakkel veel korter.
- De totale uitstroom duur maar een paar minuten.
- Het is moeilijk zichtbaar zonder speciale meetapparatuur.
- De vlam heeft een hoge temperatuur met weinig warmtestraling buiten de fakkel.
- Hierdoor is de fakkel (ook ongemerkt) tot op korte afstand te benaderen.
- Het ontsnappen van gas onder hoge druk is goed hoorbaar.
- Een fakkel kan secundaire branden veroorzaken maar constructies zullen door de korte duur niet snel bezwijken.



In de haven spreekt men vaak over gecontroleerd affakkelen. Dit is zichtbaar tot in het centrum van Antwerpen.

Waterstof kan ook **explosies** veroorzaken waarbij men spreekt over **2 soorten**:

- Een chemische explosie bij een chemische reactie. Bij waterstof is dat het zeer snel verbranden van waterstofwolk.
- Bij een fysische explosie komt er opeens energie vrij zonder dat er een chemische reactie plaatsvindt. Een voorbeeld hiervan is het openscheuren van een waterstoftank doordat het polymere materiaal waarvan de tank is gemaakt bezwijkt onder de gevolgen van een brand.

Een explosie heeft ook verschillende **eigenschappen**:

- **Deflagratie**: het vlamfront van de explosie verplaatst zich langzamer dan de snelheid van het geluid.
- **Detonatie**: het vlamfront verplaatst zich sneller dan de snelheid van het geluid.

Voor chemische explosies van waterstof geldt dat deze vrijwel altijd deflagraties zijn. Wel kan bij concentraties hoger dan 18,5% de explosie overgaan van een deflagratie naar een detonatie.

Wat is het effect van een waterstof – explosie? Bij een fysische explosie ontstaat overdruk die dichtbij de bron groot zal zijn en daarna afzakken naargelang de afstand. Een drukgolf verspreidt zich in alle richtingen maar zal bij obstakels worden gereflecteerd. Onderweg kan er veel schade aangericht worden aan gebouwen, voertuigen, personen,...

Bij een chemische explosie ontstaan naast overdruk ook hete verbrandingsgassen. In de open lucht zal er een wolkbrand ontstaan. In besloten ruimtes kan de overdruk hoog zijn door o.a. de gasophoping.

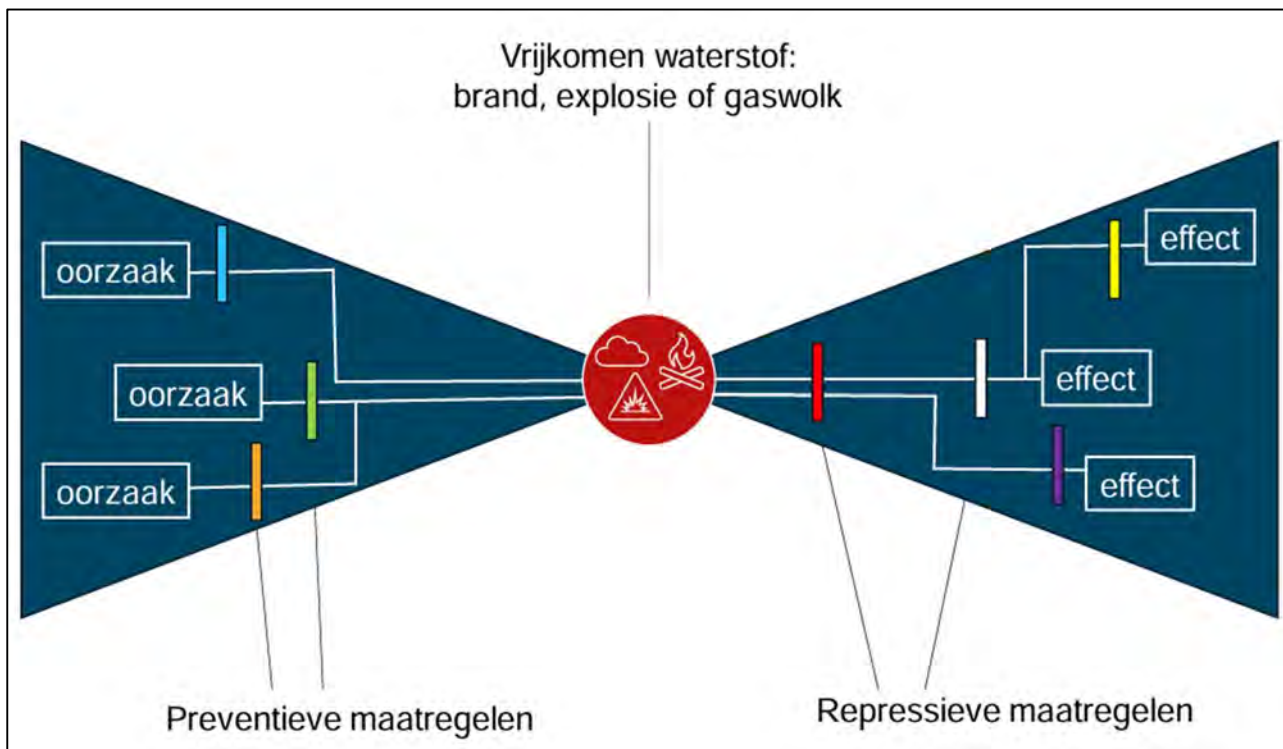


Waterstof verbranden? Volg de praktijkproef van de Nederlandse brandweer in samenwerking met NIPV.



16.03 ENKELE MAATREGELEN BIJ WATERSTOF

Waterstof kan vrijkomen uit een cilinder of een tank. Zo'n incident is een ongewenste gebeurtenis en er zijn preventieve en repressieve maatregelen mogelijk. Men kan hiervoor gebruik maken van **een vlinderdasmodel** waarbij men de oorzaken, gevolgen en maatregelen van een incident worden aangegeven. Je leest zo'n model van links naar rechts.



Vlinderdasmodel van het vrijkomen van waterstof.

Links staan alle mogelijke oorzaken van het incident en de maatregelen die je kunt nemen om het incident te voorkomen.

In het midden staat het incident zelf. De preventieve maatregelen hebben niet goed gewerkt of waren afwezig.

Rechts staan alle mogelijke gevolgen van het incident en de maatregelen die je kunt nemen om deze gevolgen te voorkomen of te beperken.

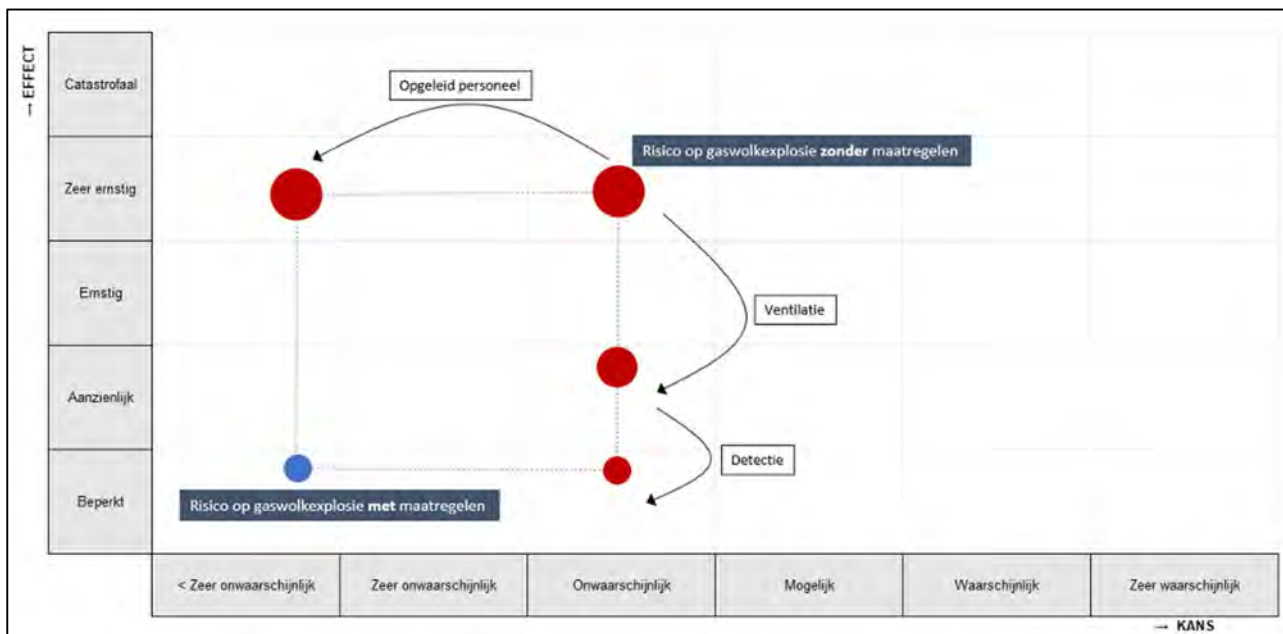
Wat zijn **de preventieve maatregelen** bij waterstof?

- **Veilig ontwerp.** Voorbeelden zijn het niet gebruiken van waterstof en het verkleinen van de inhoud en/of de druk van een cilinder of tank.
- **Beheersen van het proces.** Voorbeelden zijn het volgen van normen, voorschriften, protocollen en dergelijke geschreven voor de aanleg, het beheer en onderhoud van installaties.
- **Tijdig ontdekken en corrigeren van afwijkingen.** Voorbeelden zijn het monitoren van druk, temperatuur en doorstroming. Al dan niet gevolgd door handmatig of (semi)-automatisch ingrijpen.

Door het nemen van **repressieve maatregelen** wordt voorkomen dat het incident groter wordt of worden de gevolgen beperkt:

- **Voorkomen van grote uitstroming:** gebruik van breekplaten, noodafblaassystemen,...
- **Beperken** van grote uitstroming door de toevoer van waterstof te sluiten.
- **Voorkomen van escalatie** zoals detectie, ventilatie, het aanhouden van voldoende afstand en het voorkomen van ontsteking.
- Persoonlijke **bescherming** en **hulpverlening** zoals zelfredzaamheid, vluchtwegen, noodprocedures en het koelen van nabijgelegen objecten.





Maatregelen beperken het risico op een incident. Bron NIPV.



Waar zullen we waterstofdetectoren het best installeren in de toekomst?
Volg de link voor extra informatie.



16.04 ENKELE INCIDENTEN

De voorbije 100 jaar waren er enkele incidenten met spijtig genoeg dodelijke slachtoffers. De bekendste was de reeds besproken zeppelin van Hindenburg. Uit de ongevallen van de laatste 20 jaar heeft men verschillende lessen kunnen trekken. Met deze kennis kunnen zal men rekening houden bij R&D bij het verdere ontwikkelen van het waterstofverhaal in België en Nederland. De toekomst ziet er hopelijk rooskleurig uit...



1937 | NEW YORK

Een zeppelin gevuld met 16 compartimenten waterstof vloog in brand. Vermoedelijke oorzaak was de lekkage van waterstof uit één van de luchtzakken gevolgd door een ontsteking ten gevolge van vonkontlading.

Opmerkelijk was dat de zichtbare vlammen niet afkomstig waren van de waterstof maar van het katoenen doek waarvan de buitenkant van de zeppelin gemaakt waren. Meer informatie is terug te vinden door de QR – code te volgen.



2007 | HEINENOORD

In het Nederlandse Heinenoord ligt een tracé van Rotterdam naar Antwerpen met leidingen en kabels in de grond. Ter hoogte van Heinenoord werden kleine vlammetjes in het gras gesignaleerd. Deze bleken afkomstig te zijn van een lekkende waterstofleiding. De leiding was lekgeraakt als gevolg van grondverzakkingen.



2013 | VRASENE

Een tubetrailer van Air Liquid met 22 waterstoftubes verloor een aantal tubes op de snelweg. Tenminste één tube lekte waardoor een fakkel ontstond. De oorzaak was een slechte lasnaad op de bevestiging van het reservewiel. Deze lasnaad heeft het begeven waardoor het reservewiel op de weg terecht kwam. Doordat de chauffeur dit wiel probeerde te ontwijken is de vrachtwagen ondersteboven in de berm terecht gekomen.



2019 | Kjørbø

Bij een waterstoftankstation kwam waterstof vrij. De gaswolk die ontstond ontstak met een explosie tot gevolg. Later bleek dat er 6 bouten aan de kopse kant van een waterstofcilinder onvoldoende waren aangedraaid waardoor de waterstof kon lekken. Het was opmerkelijk dat de explosie een detonatie betrof die zelden voorkomt in open lucht.



2019 | GANGNEUNG

In Zuid – Korea explodeerde in de stad Gangneung een waterstoftank en werd het volledige gebouw verwoest. Er vielen 2 doden en 6 gewonden. Tijdens het testen van een elektrolyzer was er zuurstof bij de waterstof vermengd geraakt waardoor er een ontvlambaar mengsel ontstond. Het mengsel ontstak door een vonk die kon ontstaan zijn door een slechte aarding.



2021 | DOETINCHEM

Bij een nieuwe waterstofbus lekte waterstof uit tanks op het dak van de bus. Er ontstonden meerdere fakkels waardoor de bus is uitgebrand. De uitstroming van waterstof uit de afblaasbeveiliging hoort verticaal gericht te zijn maar door het incident bleek het afblaaspijpje gebogen te zijn. Hierdoor ontstond er een horizontale fakkel.



Een pick – up truck trok een aanhanger met waterstofcilinders in het Amerikaanse stadje Delaware County.

Het voertuig raakte betrokken bij een verkeersongeval waardoor één of meerdere waterstofcilinders explodeerden. Hierdoor vloog de truck in brand en begonnen de overige waterstofcilinders te fakkelen.



BRONVERMELDING

Bij de samenstelling van dit document zijn we op zoek gegaan naar informatie via verschillende kanalen. Onze dank gaat dan ook uit naar de onderstaande bronnen.

Alfa college Groningen
AP Hogeschool Antwerpen
Hogeschool Vives
Hogeschool UCLL
Airliquide
CMB.TECH
Talenco
www.waterstofnet.eu
www.allesoverwaterstof.nl
www.portofantwerpbrugues.com
www.milieucentraal.nl
www.atlascopco.com
www.messer.be
www.klinger.be
www.airproducts.be
www.siemens.com
www.werk.belgie.be
www.imec.be
www.vito.be
www.linde-gas.be
www.knack.be
www.eon.be
www.technopolis.be
www.energiesoorten.be
www.fluxys.be
www.engie.nl
www.energids.be
www.hln.be
www.dewereldvanwaterstof.nl
www.tijd.be
www.tno.nl
www.h2-products.nl
www.nipv.nl
www.erezenergy.nl
www.pepperl-fuchs.com
www.waterstofguide.nl
www.sbh4.de
www.finh2.fi