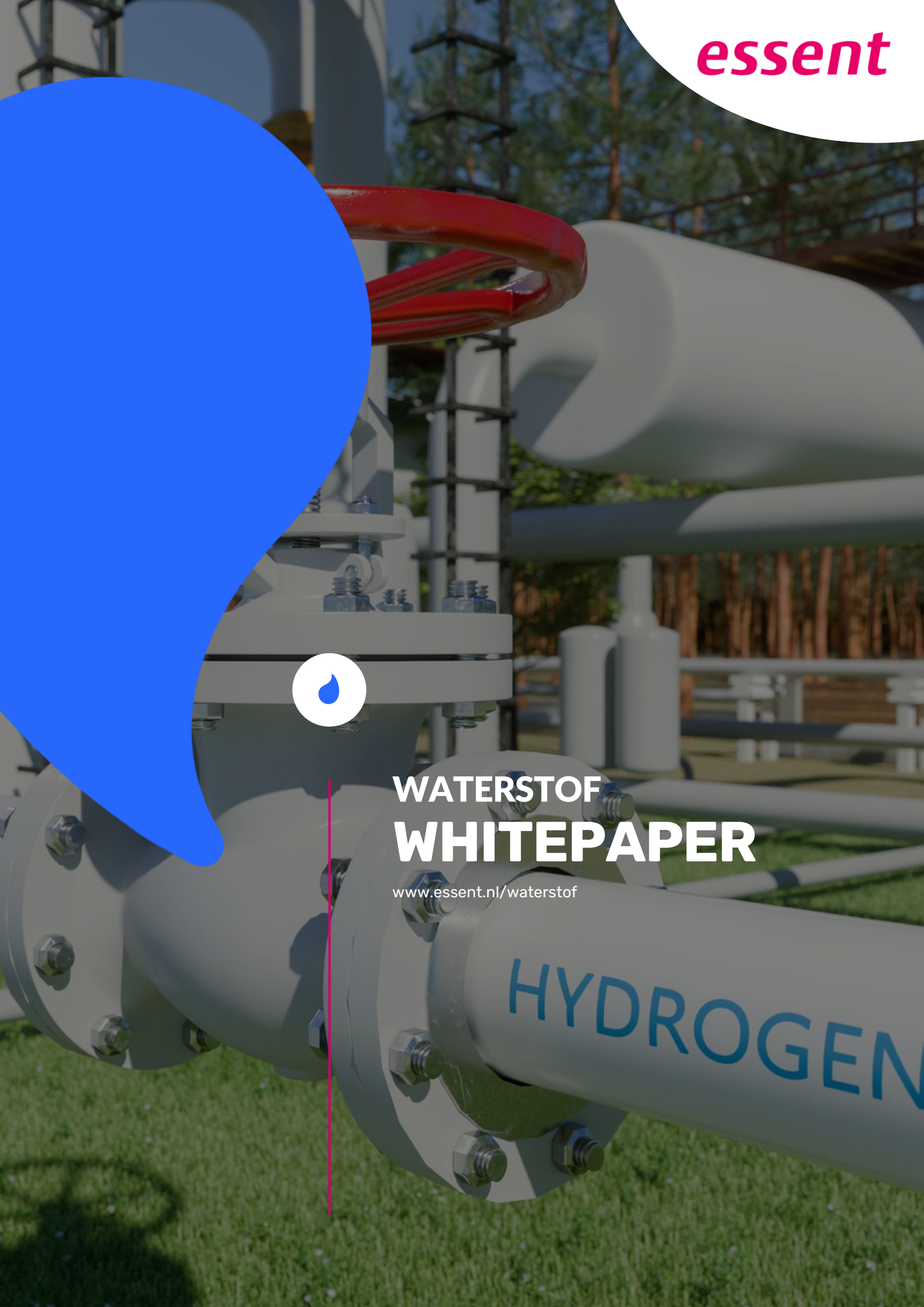
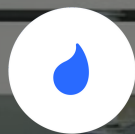




essent



WATERSTOF WHITEPAPER

www.essent.nl/waterstof

HYDROGEN

Inleiding

Nederland verduurzaamt. Bedrijven, overheden en particulieren werken hard om de klimaatdoelstellingen te halen. Als marktleider neemt Essent haar verantwoordelijkheid in de energietransitie. Niet overal is elektrificatie met groene stroom de meest geschikte oplossing. Waterstof kan dan het sluitstuk zijn. Het alternatief voor aardgas. Dat laatste zetje waar andere opties tekortschieten. Daarom bieden we ook lokale oplossingen met groene waterstof.

Lokale waterstof

Groene waterstof is een onmisbare schakel in de energietransitie. Niet overal is volledige elektrificatie mogelijk. Juist daar biedt Essent de oplossing met groene waterstof. We helpen bedrijven en bedrijventerreinen met lokale waterstofoplossingen, afgestemd op hun specifieke behoeften. Met jarenlange ervaring in energievoorziening weten we precies hoe we elektrolyzers optimaal kunnen voeden. Hierdoor wordt waterstof zo efficiënt en betaalbaar mogelijk geproduceerd.

Essent, onderdeel van E.ON

Essent maakt deel uit van één van de grootste energiebedrijven van Europa: E.ON. De netwerken en klantoplossingen van E.ON spelen een essentiële rol in de realisatie van de energietransitie. Daarnaast heeft Essent de financiële zekerheid die nodig is om grote waterstofprojecten succesvol van de grond te krijgen. Uiteraard profiteer je via Essent ook van de kennis en ervaring in onze E.ON-decarbonisatieprojecten.

Waterstofprojecten in Nederland

Essent heeft verschillende waterstofprojecten gerealiseerd om binnen steden, industrieën en bedrijventerreinen verder te verduurzamen. We werken hierbij nauw samen met (regionale) overheden en andere marktpartijen. Of we nu kennis delen of projecten uitvoeren, onze aanpak is altijd gericht op vooruitgang.

1. Wat is groene waterstof

In de transitie naar een duurzame energievoorziening speelt waterstof een belangrijke rol. Maar wat is groene waterstof precies? En waarom wordt het gezien als een veelbelovende oplossing voor een klimaatneutrale toekomst?

Groene waterstof is waterstofgas (H_2) dat wordt geproduceerd door middel van elektrolyse. Dit is een proces waarbij water (H_2O) wordt gesplitst in waterstof en zuurstof met behulp van elektriciteit. Wat groene waterstof onderscheidt van andere vormen, is de herkomst van de elektriciteit. Deze komt uit hernieuwbare bronnen, zoals wind- of zonne-energie. Hierdoor komen er tijdens de productie geen CO_2 -emissies vrij. Dit maakt groene waterstof een klimaatvriendelijke energiedrager en grondstof.

Bepaalde industrieën gebruiken al decennialang waterstof, zoals raffinage, kunstmestproductie en chemie. Tot voor kort betrof dit vooral grijze waterstof. Grijze waterstof wordt geproduceerd uit aardgas via stoomreforming. Dit is een proces waarbij per ton waterstof acht tot tien ton CO_2 vrijkomt. Blauwe waterstof is technisch gezien identiek aan grijze, maar met het verschil dat de CO_2 wordt afgevangen en opgeslagen (CCS-technologie). Hoewel dat de emissievoetafdruk verlaagt, is het nog altijd gebaseerd op fossiele brandstoffen die we grotendeels moeten importeren. Andere varianten zoals zwarte, witte, turquoise, gele of roze waterstof zijn ook beschikbaar in verschillende stadia van volwassenheid.

De noodzaak voor emissievrije alternatieven groeit. De Europese Green Deal en het Nederlandse Klimaatakkoord zetten nog steeds in op de opschaling van groene waterstof, onder meer als opslagmiddel voor overschotten van duurzame elektriciteit. Als vervanger van aardgas in industriële processen en als schone brandstof voor zwaar transport en de maritieme sector. De classificatie van waterstof in kleuren biedt houvast in beleidsdiscussies, maar het daadwerkelijke verschil zit in de duurzaamheid van het productieproces en de bijbehorende keten. In die context is groene waterstof de enige echt duurzame optie op de lange termijn. Daarnaast is het een optie waardoor we minder afhankelijk worden van de import van fossiele brandstoffen. Blauwe waterstof is een betaalbare tussenoplossing die mogelijkheden kan bieden om de waterstofeconomie te starten.

Hoewel groene waterstof vandaag de dag nog duurder is dan de fossiele varianten, is de technologie vol in ontwikkeling. Ook ten opzichte van elektra is waterstof duurder. Maar waar elektriciteit veel verschilt in kosten per regio en uur door congestie en beschikbaarheid van groene stroom, is de prijs van waterstof stabiel.

In de volgende hoofdstukken gaan we dieper in op het productieproces van groene waterstof, de technische en economische randvoorwaarden, en de praktische toepassingen. Denk aan lokale productie op eigen terrein. Daarmee brengen we deze veelbelovende technologie van visie naar praktijk.

2. Hoe wordt groene waterstof geproduceerd?

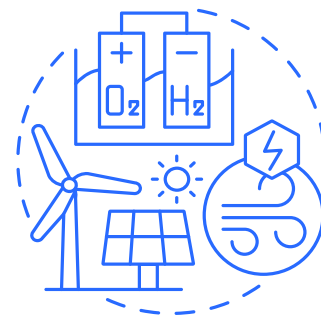
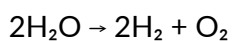
Groene waterstof ontstaat via elektrolyse: een elektrochemisch proces waarbij water (H₂O) met behulp van elektrische energie wordt gesplitst in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂). De elektriciteit moet afkomstig zijn van hernieuwbare bronnen, zoals zon en wind om het predicaat 'groen' te mogen dragen.

Type elektrolyzers

Tijdens elektrolyse wordt een gelijkstroom door water geleid. In een elektrolyser bevinden zich twee elektroden:

- de anode (positief): hier ontstaat zuurstof (O₂)
- de kathode (negatief): hier ontstaat waterstof (H₂)

Het netto reactieproduct is:



Deze reactie vindt plaats in een elektrolytisch medium. Een vloeistof of membraan dat ionen geleidt. Het proces vereist zuiver water en een constante elektrische stroom, bij voorkeur geleverd door zonne- of windenergie.

Het elektrolyseproces

Er zijn drie veelgebruikte typen elektrolyzers, elk met specifieke voor- en nadelen:

Type	Temperatuur	Werkdruk	Elektrolyt	Rendement	Voordelen	Nadelen
Alkalisch	60–90°C	≤30 bar	KOH/NaOH-opl.	60–70%	Goedkoop, bewezen technologie	Minder geschikt bij wisselende input
PEM (Proton Exchange)	50–80°C	≤50 bar	Polymeer membraan	65–75%	Compact, goed bij fluctuerende energie	Duurder, gebruik van edelmetalen
Solid Oxide (SOEC)	>700°C	Hoog	Keramisch	80–90%	Hoog rendement, benut restwarmte	Complex, nog in ontwikkeling

Deze systemen variëren in kostprijs, schaalbaarheid en reactiesnelheid. Voor onregelmatige energievoorziening – zoals bij zonne-energie – zijn PEM-elektrolyzers vaker het meest geschikt. Alkalische elektrolyzers zijn goedkoper en robuust voor industriële basislasttoepassingen.

Benodigdheden voor elektrolyse

Voor een goed functionerend elektrolyseproces zijn meerdere onderdelen noodzakelijk:

- Gedemineraliseerd water: onzuiverheden, zoals calcium, natrium of chloor, kunnen de elektrolyser aantasten en het rendement verlagen.
- Duurzame elektriciteit: afkomstig van zon, wind of waterkracht. Voor één kilogram waterstof is circa 50 tot 55 kilowattuur (kWh) elektriciteit nodig; dus per uur produceert één megawatt (MW) ongeveer twintig kilogram waterstof
- Ruimte en infrastructuur: elektrolyzers, koeling, beveiliging, opslag, besturingssystemen, waterbehandeling en potentieel een netaansluiting bij Tennet of een lokale netbeheerder.
- Veiligheid: waterstof is brandbaar en licht ontvlambaar. Gasdetectie, ventilatie en lekdichte opslagtanks zijn noodzakelijk.

Energie-efficiëntie

De totale rendementsfactor (van stroom naar waterstof en terug naar stroom of warmte) ligt tussen de 30 tot 50 procent. Daarom is waterstof vooral geschikt voor toepassingen waar directe elektrificatie onpraktisch is, zoals industriële processen of zwaar vervoer.

3. On-site productie

Groene waterstof hoeft niet altijd op industriële schaal of centraal geproduceerd te worden. Steeds vaker kiezen bedrijven en instellingen voor on-site productie. Dit betekent het lokaal opwekken van waterstof, direct gekoppeld aan duurzame energiebronnen, waaronder zon of wind. Deze benadering biedt meer controle, verlaagt distributie kosten en vermindert afhankelijkheid van een externe infrastructuur.

Wat is on-site waterstofproductie?

Bij on-site productie wordt waterstof ter plekke gegenereerd met een elektrolyser, gevoed door lokaal opgewekte groene stroom. De waterstof wordt opgeslagen en gebruikt op dezelfde locatie. Als brandstof voor voertuigen, voor warmteopwekking, als grondstof in productieprocessen of bijgemengd bij het aardgasgebruik bijvoorbeeld.

Voordelen van on-site productie

- *Geen transportkosten:* De energie blijft lokaal. Er is geen noodzaak voor pijpleidingen of tankwagens.
- *Lagere kosten op de lange termijn:* Door het vermijden van transport, netbelasting en accijnzen.
- *Meer autonomie:* Bedrijven kunnen onafhankelijker opereren van het energienet.
- *Directe koppeling met hernieuwbare opwek:* Ideaal voor het verlichten van netbelasting.

Technische componenten

Een typische on-site installatie bevat:

- een elektrolyser (PEM of alkalisch bijvoorbeeld);
- zonnepanelen en windturbine als energiebron, vaak ook gekoppeld aan het net;
- een waterbehandelingssysteem voor demineralisatie;
- opslagtanks (gasvorming onder druk);
- veiligheidsvoorzieningen (drukregelaars, gasdetectie);
- een controle- en regelsysteem.

Voorbeeldprojecten

- **HyDeer Flevoland:** een terrein met zonnepanelen, windturbines en een netaansluiting. Een PEM-elektrolyser optimaliseert elektra en levert waterstof aan lokale afnemers of vervoerders.
- **GROHW Deventer:** een industriële locatie produceert waterstof via elektrolyse, die direct wordt ingezet in thermische processen. Ook kijken we hier of de warmte en zuurstof uit de elektrolyser lokaal ingezet kunnen worden.

Wanneer is het interessant?

On-site productie is vooral geschikt voor:

- **industriële bedrijven** met hoge energie- of warmtevraag (potentieel voor bijmengen bij aardgasverbruik).
- **logistieke knooppunten** met waterstofvoertuigen.
- **gebieden met netcongestie**, waar elektrificatie niet (geheel) haalbaar is. Hier kan naast elektrolyse ook gekeken worden naar waterstofproductie met waterstofdragers. Voor de gebouwde omgeving kan waterstof een rol spelen in een hybride elektra-waterstofsysteem.
- **bedrijven met eigen ruimte** voor zonnepanelen of windturbines en met potentiële afnemers in de omgeving.

On-site waterstofproductie maakt de energietransitie tastbaar en praktisch. Het biedt duurzame energie in eigen beheer, verhoogt veerkracht en verlaagt uitstoot. Vooral daar waar elektriciteit geen oplossing biedt. Door slim te koppelen met eigen opwekcapaciteit en infrastructuur, ontstaat een lokaal robuust energiemodel.

4. Prijsontwikkeling van groene waterstof

De kostprijs van groene waterstof is een belangrijke factor voor brede toepassing. Op dit moment is groene waterstof nog aanzienlijk duurder dan grijs, maar de verwachting is dat de prijs zal dalen door technologische vooruitgang, schaalvergroting en beleidsmaatregelen. Dit hoofdstuk gaat in op de huidige prijsniveaus, verwachte ontwikkelingen en bepalende factoren.

Huidige kosten

De productieprijs van groene waterstof varieert sterk per regio en technologie. In 2023 werden de kosten wereldwijd geschat gemiddeld tussen de € 3 en € 6,50 per kilogram (75 tot 175 euro per MWh), afhankelijk van factoren als:

- de prijs van duurzame elektriciteit;
- de gebruikte elektrolysertechnologie;
- schaalgrootte van de installatie;
- waterbron en -zuivering.

Verwachte prijsontwikkeling

Belangrijke oorzaken van verdere daling van de groene waterstofprijs zijn:

- Goedkopere elektrolyzers: de kostprijs van PEM- en alkalische systemen daalt snel door massaproductie.
- Groeiende beschikbaarheid van goedkope duurzame stroom.
- Beleid en subsidies, zoals de Europese waterstofstrategie, IPCEI-projecten en nationale stimuleringsregelingen.
- CO₂-tax: grijze waterstof of aardgas wordt duurder door emissiekosten (EU ETS).

Op termijn kan groene waterstof potentieel concurreren met fossiele alternatieven. Ook biedt het de mogelijkheid om economisch onafhankelijker te worden van import van fossiele brandstoffen als olie en gas.

Regionale verschillen:

- Midden-Oosten / Australië: Lage zonne-energieprijzen maken productie goedkoop, maar export vereist onder andere ammoniak of vloeibare waterstof.
- Europa: Hogere stroomprijzen leiden tot hogere H₂-prijzen, tenzij er eigen opwek is.
- Nederland: Afhankelijk van hernieuwbare capaciteit, netcongestie en beleid. On-site productie met eigen zonne-energie en wind kan prijstechnisch concurrerend worden.

5. Groene waterstof versus grijze waterstof

Hoewel waterstof vaak als één product wordt gezien, maakt de manier van productie een wereld van verschil. Grijze en groene waterstof zijn chemisch identiek, maar hun impact op klimaat, energiezekerheid en economie verschilt fundamenteel. In dit hoofdstuk zetten we de verschillen op een rij.

Wat is grijze waterstof?

Grijze waterstof wordt geproduceerd uit aardgas via een proces dat ‘steam methane reforming’ (SMR) heet. Hierbij wordt methaan (CH_4) verhit met stoom, waarbij waterstof ontstaat en CO_2 wordt uitgestoten. Per ton waterstof komt er gemiddeld acht tot tien ton CO_2 vrij. Het is momenteel de goedkoopste en meest gebruikte vorm van waterstof, goed voor zo’n 95 procent van de wereldwijde productie.

Wat is groene waterstof?

Groene waterstof ontstaat via elektrolyse van water, aangedreven door elektriciteit uit hernieuwbare bronnen. Hierbij komt nauwelijks CO_2 vrij. Hoewel het productieproces nu nog duurder is, is het ook vrijwel volledig emissievrij en toekomstbestendig.

Kenmerk	Grijze waterstof	Groene waterstof
Herkomst	Aardgas (fossiel)	Hernieuwbare elektriciteit
Proces	Stoomreforming (SMR)	Elektrolyse van water
CO_2 -uitstoot	8–10 ton per ton H_2	0 ton
Kostprijs (2023)	€1 – €1,50/kg	€3 – €6,50/kg
Toekomstbestendig	Nee	Ja
Energiezekerheid	Afhankelijk van gasmarkt	Gebaseerd op lokale opwekking

Impact op klimaat en beleid

- Grijze waterstof is op korte termijn goedkoper, maar klimaatonvriendelijk.
- Groene waterstof wordt op Europees en nationaal niveau gestimuleerd via subsidieprogramma's, belastingvoordelen en infrastructuurinvesteringen. Zo kent Nederland de OWE-regeling. In 2025 heeft Essent voor de projecten HyDeer in Flevoland en GROHW in Deventer ruim € 30 miljoen toegekend gekregen.
- De Europese waterstofstrategie streeft naar tien miljoen ton eigen productie van groene waterstof in 2030.

Economisch perspectief

Hoewel grijze waterstof goedkoper is, kan deze vorm door CO₂-heffingen (zoals het ETS-systeem) en geopolitieke onzekerheden minder aantrekkelijk worden. Bedrijven die voorop willen lopen op de energietransitie kiezen daarom steeds vaker voor groen, ondanks de huidige meerprijs.

Kiezen voor groen

De keuze tussen grijze en groene waterstof is meer dan een kostenafweging. Het gaat om duurzaamheid, onafhankelijkheid en toekomstbestendigheid. In een onzekere wereld waarin CO₂-uitstoot steeds duurder wordt, is groene waterstof niet alleen een klimaatvriendelijk alternatief, maar ook een strategisch verstandige keuze.

6. Technische randvoorwaarden

De productie van groene waterstof vereist meer dan alleen een elektrolyser en wat elektriciteit. Een goed functionerend systeem vraagt om een doordachte combinatie van infrastructuur, waterkwaliteit, energievoorziening, veiligheid en opslagtechnologie. In dit hoofdstuk gaan we in op zeven technische randvoorwaarden.

1. Waterkwaliteit: essentieel voor efficiëntie en levensduur

Elektrolyzers zijn gevoelig voor vervuiling. Voor het proces is gedemineraliseerd water nodig. Onzuiverheden in gewoon kraan- of oppervlaktewater, zoals calcium, magnesium, natrium of chloor, kunnen elektrodes aantasten, corrosie veroorzaken en de efficiëntie verlagen.

Waterbehandeling omvat meestal:

- Voorfiltratie
- Omgekeerde osmose (RO)
- Ionwisseling of elektro-deïonisatie

2. Duurzame elektriciteit: stabiel en regelbaar

Elektrolyzers werken optimaal bij een stabiele stroomtoevoer. Fluctuerende input van zon en wind vereist een elektrolyser die snel kan schakelen, zoals een PEM-systeem. Daarnaast is een goede netaansluiting of opslagbuffer belangrijk voor continuïteit.

- Gemiddeld elektriciteitsverbruik: $\pm 50\text{--}55$ kWh per kg H_2
- Energiebronnen: zon, wind, waterkracht of directe koppeling met PV-installatie of windturbine

3. Ruimte en infrastructuur

Afhankelijk van de schaalgrootte is ruimte nodig voor:

- De elektrolyser zelf (varieert van formaat koelkast tot zeecontainer)
- Koeling, omvormers en besturing
- Waterzuivering en opslagtanks
- Veiligheidszones (minimale afstand tot gebouwen)

4. Opslag van waterstof

Waterstof kan niet onbeperkt worden geproduceerd zonder opslagmogelijkheid. De opslagvorm hangt af van gebruik, transport en schaal:

Opslagvorm	Druk/Temperatuur	Voordelen	Nadelen
Gasvormig	350–700 bar	Direct beschikbaar, beproefd	Lage energiedichtheid
Vloeibaar (LH ₂)	-253°C	Hoge energiedichtheid	Hoge energie voor koeling
Metaalhydride	Lage druk, warm	Compact, veilig	Duur, beperkt toepasbaar
Ammoniak/Methanol	Chemisch gebonden	Eenvoudiger opslag/transport	Omzetting nodig voor gebruik Toxisch

5. Veiligheid

Waterstof is een klein en licht molecuul dat snel ontsnapt bij lekkage. Het is brandbaar en vraagt daarom om specifieke veiligheidsmaatregelen:

- Detectiesystemen voor H₂
- Ventilatie en explosieveilige installaties
- Drukregelaars en overdrukventielen
- ATEX-zonering en brandveiligheidseisen

Een risicoanalyse en veiligheidsplan (QRA) is verplicht bij grotere installaties.

6. Regelgeving en vergunningen

Voor installatie en gebruik van waterstofsysteem gelden wettelijke kaders, waaronder:

- Activiteitenbesluit milieubeheer
- PGS-35 richtlijn voor waterstofveiligheid
- Bouw- en omgevingsvergunningen

Een succesvolle waterstofoplossing begint bij de techniek. Het vraagt om zuiver water, stabiele hernieuwbare stroom, betrouwbare opslag en goede veiligheidsinrichting. On-site productie vraagt om maatwerk, waarbij locatie, schaal, gebruikstoepassing en infrastructuur zorgvuldig op elkaar moeten worden afgestemd.

7. Duurzaamheid en strategische waarde van groene waterstof

Groene waterstof is meer dan een technische innovatie of een vervanger van aardgas. Het is een baanbrekende technologie in de transitie naar een duurzame, weerbare en zelfstandige energievoorziening. In dit hoofdstuk verkennen we de rol van waterstof in het grotere geheel van klimaatbeleid, energiezekerheid en systeemintegratie.

Wanneer kiezen voor groene waterstof?

Duurzame energieopslag

Een van de grote uitdagingen bij zon- en windenergie is de onvoorspelbaarheid. Groene waterstof biedt hier een oplossing door als seizoensopslag te fungeren. Overschotten aan duurzame elektriciteit kunnen via elektrolyse worden omgezet in waterstof, die later weer als brandstof of grondstof dient.

- Korte termijn: buffering van dag/nacht-fluctuaties via batterijen.
- Lange termijn: opslag via waterstof, methanol of ammoniak.

Als elektrificatie niet volstaat

Niet alle sectoren kunnen makkelijk overstappen op elektriciteit. Groene waterstof is vooral waardevol in sectoren met hoge temperatuur, hoge vermogens of behoefte aan moleculen:

- Industrie: staal, glas, chemie, kunstmest
- Zwaar transport: vrachtwagens, treinen, scheepvaart
- Gebouwde omgeving: in hybride warmtepompen of collectieve systemen om peak-shaving te doen

Verminderen van afhankelijkheid

Door waterstof lokaal te produceren uit hernieuwbare bronnen, neemt de afhankelijkheid van (geopolitiek risicovolle) gasimporten af. Groene waterstof draagt bij aan onder andere energiezekerheid, autonomie van bedrijven en regio's, en verminderen van piekbelasting op het elektriciteitsnet.

CO₂-reductie en klimaatbeleid

Groene waterstof is nodig om net-zero-doelen te halen. De Europese Unie, Nederland en vele andere landen hebben waterstofstrategieën opgenomen in hun klimaatplannen. Het besparingspotentieel is aanzienlijk:

- Tot twintig procent van de wereldwijde energievraag kan in 2050 worden ingevuld door waterstof (IEA).

- In Nederland kan waterstof tot zes megaton CO₂-uitstoot per jaar besparen in industrie en mobiliteit.

Economische kansen en innovatie

De waterstofeconomie biedt ook een strategisch voordeel in termen van werkgelegenheid, kennisontwikkeling en export. Nederland heeft met zijn havens, gasnetten en kennisinstellingen een goede uitgangspositie als waterstofhub van Noordwest-Europa.

Energietransitie

Groene waterstof is een bouwsteen voor de energietransitie. Het stelt ons in staat om duurzame energie op te slaan, fossiele brandstoffen te vervangen in veeleisende toepassingen en energie-onafhankelijker te worden. Door nú te investeren in waterstof legt Nederland de basis voor een schonere, sterkere en veerkrachtigere economie.

Wil je meer informatie? Kijk op www.essent.nl/waterstof of vraag een [vrijblijvend adviesgesprek](#) aan.