



Stimular →

DE WERKPLAATS VOOR
DUURZAAM ONDERNEMEN

CO₂-ketenanalyse van de toepassing van
groene waterstof uit elektrolyse voor
ruimteverwarming

Stork Nederland B.V.

Scope 3, eis 4.A.1 CO₂-Prestatieladder

Rotterdam, 28 juli 2020

Versie 3, 16-09-2024

Auteurs

Marlies Peschier	Stichting Stimular
Marc Herberigs	Stichting Stimular
Eric Kersemakers	Stork

Betrokken vanuit Stork

Willem Hazenberg	Stork Asset Management Technology
------------------	-----------------------------------

Projectnummer Stimular: 794

Versie	Datum	Opsteller	Vrijgave door	Wijzigingsbeschrijving
1	28-7-2020	Stichting Stimular		
2	01-4-2024	Eric Kersemakers	Richard Leegte	Stork RBL veranderd door Stork Nederland B.V.
3	16-9-2024	Eric Kersemakers	Richard Leegte	Update projectvoortgang Hoofdstuk 6.3 toegevoegd Datum en versienummers toegevoegd

COLOFON

Stichting Stimular is de werkplaats voor Duurzaam Ondernemen! Stimular vertaalt de groeiende vraag om duurzaamheid naar praktische instrumenten en werkwijzen voor bedrijven, brancheverenigingen, overheden en zorgaanbieders. Wij willen de verduurzaming van bedrijven en organisaties versnellen door kennis en ervaring te delen, onder andere op stimular.nl/doe-het-zelf. Kenmerken van onze werkwijze zijn maatwerk, inspirerende samenwerking en heldere communicatie.

Stichting Stimular
Botersloot 177
3011 HE Rotterdam
t 010 - 238 28 28
e mail@stimular.nl
i www.stimular.nl

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	4
	1.1 Onderwerp en ketenpartners	4
	1.2 Doel ketenanalyse	4
	1.3 Over Stimular	5
	1.4 Dataverzameling, modellering en berekening	5
2	GROENE WATERSTOF IN DE GEBOUWDE OMGEVING	6
	2.1 Oplossingsrichting voor de langere termijn	6
	2.2 Waterstof ter vervanging van aardgas	6
	2.3 Beschikbaarheid groene waterstof voor gebouwde omgeving	9
3	CASUS: DEMONSTRATIEPROJECT WOONWIJK HOOGEVEEN	11
4	UITGANGSPUNTEN EN ONDERDELEN KETEN	13
	4.1 Uitgangspunten ketenanalyse	13
	4.2 Onderdelen van keten	14
5	ANALYSE PER KETENSTAP	15
	5.1 Productie van groene waterstof	15
	5.2 Vervoer met vrachtwagens naar opslagtanks	16
	5.3 Distributie van waterstof naar woningen	16
	5.4 Verdeling uitstoot over de keten	17
	5.5 invloed van disbalans tussen aanbod zon en vraag warmte	17
6	PLAN VAN AANPAK CO₂-REDUCTIE IN DE KETEN	20
	6.1 Kansen voor CO ₂ -reductie	20
	6.2 acties en reductiedoel stork	20
	6.3 voortgang project	21

1 INLEIDING

In het kader van het behalen van niveau 5 van de CO₂-Prestatieladder heeft Stork RBL Europe samen met Stichting Stimular deze ketenanalyse uitgevoerd. Het doel van een ketenanalyse is om de belangrijkste bronnen van CO₂-uitstoot en mogelijkheden voor CO₂-reductie te analyseren binnen een keten waar een bedrijf deel van uitmaakt. Stork doet dit om stappen te kunnen zetten in het aanjagen en faciliteren van de energietransitie. Om de energietransitie te realiseren is inzicht in de impact van duurzame energiesystemen en samenwerking van vele ketenpartners noodzakelijk.

Het onderwerp van de ketenanalyse moet betrekking hebben op één van de grootste scope 3-emissies van Stork. Als onderdeel van het CO₂-Prestatieladdertraject is de rangorde van de scope 3-emissies van Stork bepaald. De grootste scope 3-emissies van Stork ontstaan door:

1. Aangekochte goederen en diensten: productie van materialen
2. Gebruik van verkochte producten door klanten, deze categorie is toegespitst op verkochte producten die energie gebruiken
3. Aangekochte goederen en diensten: werk door onderaannemers

In de categorie "Gebruik van verkochte producten" vallen ook de adviestrajecten van Stork gericht op energiebesparing en verduurzamen van de energievoorziening bij klanten. Deze ketenanalyse focust op de CO₂-emissies van groene waterstofprojecten waar Stork in de rol van adviseur en/of één van de uitvoerende partijen bij betrokken is.

1.1 ONDERWERP EN KETENPARTNERS

Eén van de ambities van Stork op gebied van duurzaamheid is om een leidende rol te spelen bij het toepassen van groene waterstof als vervanging van het gebruik van aardgas. In deze CO₂-ketenanalyse onderzoeken we de klimaatimpact van de toepassing van groene waterstof voor ruimteverwarming in woningen. Daarbij nemen we het energiegebruik tijdens de gehele keten in beschouwing: de productie van de groene waterstof, de opslag, distributie naar een woonwijk, verbranding in een waterstof-cv-ketel.

De actoren in de betreffende keten zijn adviseurs en opdrachtgevers van waterstofprojecten gericht op ruimteverwarming, uitvoerende partijen in deze projecten, transportbedrijven die (tijdelijk) het wegtransport van waterstof verzorgen, netbeheerders, bewoners.

Als casus voor deze ketenanalyse gebruiken we het demonstratieproject van de toepassing van groene waterstof in woningen in Hoozevee. Stork is penvoerder van dit demonstratieproject waarin 22 organisaties samenwerken die de hele keten omvatten. Het betreft overheden, kennisinstellingen en bedrijven.

1.2 DOEL KETENANALYSE

Deze ketenanalyse geeft inzicht in de belangrijkste bronnen van CO₂-uitstoot en mogelijkheden voor CO₂-reductie in de keten van productie tot verbranding van groene waterstof voor ruimteverwarming in woningen.

De toepassing van groene waterstof voor ruimteverwarming bevindt zich nog in de demonstratiefase. Er is nog geen emissiefactor voor beschikbaar op CO₂emissiefactoren.nl. Door bij de CO₂-berekening dezelfde uitgangspunten en afbakening te kiezen als op CO₂emissiefactoren.nl zijn de uitkomsten bruikbaar in vergelijkingen met de traditionele verwarmingsmethode met aardgas en andere duurzame alternatieven zoals biogas.

Stork gebruikt de resultaten van de ketenanalyse voor de onderbouwing van CO₂-berekeningen van groene waterstofprojecten in woonwijken. Ook maakt Stork voor

opdrachtgevers en ketenpartners van groene waterstofprojecten inzichtelijk hoe en hoeveel CO₂-reductie kan worden gerealiseerd binnen de onderzochte groene waterstofketen.

Deze ketenanalyse biedt nieuwe kennis ten opzichte van de gepubliceerde ketenanalyses in het kader van de CO₂-Prestatieladder in de database van SKAO. De rapportage van de ketenanalyse is openbaar, zodat de analyse ook voor andere partijen beschikbaar is.

1.3 OVER STIMULAR

De ketenanalyse is opgesteld door adviseurs van Stichting Stimular. Stimular is een onafhankelijk kennisinstituut dat in 1990 is gestart door de Erasmus Universiteit, Syntens en de gemeente Rotterdam. De adviseurs van Stimular hebben gedegen kennis en ervaring met begeleiding van bedrijven rondom certificering voor de CO₂-Prestatieladder. Ze hebben tevens ervaring met het opstellen van ketenanalyses en levenscyclusanalyses. Stimular is mede-initiatiefnemer en helpdesk van de website CO₂emissiefactoren.nl.

1.4 DATAVERZAMELING, MODELLERING EN BEREKENING

Voor het opstellen van de ketenanalyse is informatie verzameld in gesprekken met Stork, uit rapporten en presentaties van Stork en door literatuurstudie. Informatie over het project in Hoogeveen is ingebracht door Willem Hazenberg van Stork Asset Management Technology.

De ketenanalyse is uitgevoerd volgens eis 4.A.1 van het Handboek CO₂-Prestatieladder, de Corporate Value Chain (scope 3) Accounting and Reporting Standard en het Green House Gas Protocol.

In deze ketenanalyse zijn conversiefactoren van CO₂emissiefactoren.nl gebruikt. Omdat de emissiefactoren voor goederenvervoer in deze landelijke lijst vrij algemeen zijn, is de onderliggende bron-rapportage Stream Goederenvervoer, 2016, CE Delft gebruikt om de emissies van transport nauwkeuriger te bepalen. Waar nodig is een verwijzing opgenomen naar de bron van de data.

2 GROENE WATERSTOF IN DE GEBOUWDE OMGEVING

Voor de energietransitie in de gebouwde omgeving is groene waterstof één van de oplossingsrichtingen op de langere termijn. In dit hoofdstuk introduceren we het thema van deze ketenanalyse, gebaseerd op de visies van Stork, TNO en netbeheerders.

2.1 OPLOSSINGSRICHTING VOOR DE LANGERE TERMIJN

Voor de energietransitie in de gebouwde omgeving is groene waterstof één van de oplossingsrichtingen op de langere termijn, naast collectieve warmtenetten en elektrische warmtepompen die nu al worden ingezet. Vooral wijken die niet kunnen worden aangesloten op een warmtenet en vooral oudere woningen en bedrijfspanden die niet aangepast kunnen worden voor lage-temperatuurverwarming kunnen met groene waterstof toch aardgasvrij worden gemaakt. Dit geldt bijvoorbeeld voor regio's met oudere boerderijen of historische binnensteden. Ook woningen met propaantanks, veelal in het buitengebied, kunnen overstappen op groene waterstof of biogas.

De komende jaren worden demonstratieprojecten en pilots uitgevoerd om ervaring op te doen met de toepassing van groene waterstof in de gebouwde omgeving. Afhankelijk van de resultaten van deze demonstratieprojecten, de toekomstige prijs van groene waterstof en de beschikbaarheid van locaties om groene elektriciteit en waterstof op te wekken, kan groene waterstof een rol spelen in de energietransitie in de gebouwde omgeving in de periode 2030-2050.

Eén van de demonstratieprojecten is de toepassing van groene waterstof in woningen in Hogeveen. Stork is penvoerder van dit demonstratietraject. Deze casus van de ketenanalyse wordt beschreven in hoofdstuk 3.

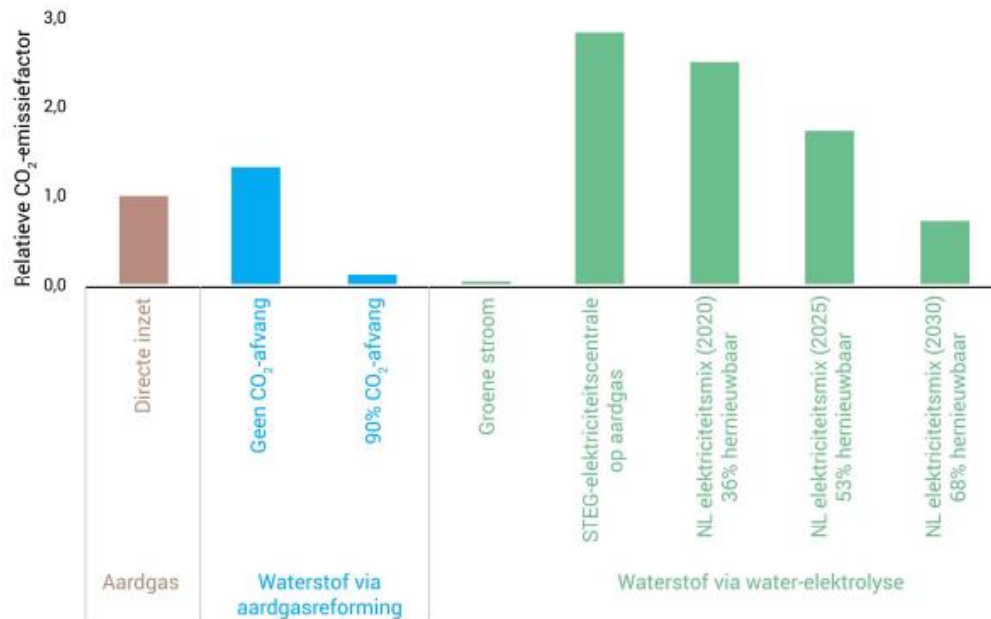
De volgende paragrafen beschrijven de verschillende soorten waterstof en de bijbehorende CO₂-uitstoot.

2.2 WATERSTOF TER VERVANGING VAN AARDGAS

Waterstof is een energiedrager. De CO₂-emissie van waterstof is, net als bij elektriciteit, afhankelijk van de bronnen die worden gebruikt om het te produceren. Waterstof kan op verschillende manieren worden geproduceerd. Figuur 1 geeft relatieve CO₂-emissiefactoren voor een aantal typen waterstof ten opzichte van aardgas.

In het algemeen wordt onderscheid gemaakt tussen grijze, blauwe en groene waterstof. De eerste twee soorten hangen samen met de productie van waterstof op basis van aardgas. De term groene waterstof wordt meestal gebruikt voor waterstof geproduceerd door splitsing van water met groene elektriciteit (water-elektrolyse).

In de volgende paragrafen worden de termen grijze, blauwe en groene waterstof uitgelegd.



Figuur 1: Vergelijking van emissiefactoren voor aardgas, en voor waterstof dat op verschillende manieren is geproduceerd (emissiefactor elektriciteitsmix volgens integrale methode, KEV2019) (Bron: Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw, TNO, 2020)

2.2.1 Grijs en blauw waterstof

Vrijwel alle waterstof die op dit moment wereldwijd wordt geproduceerd is zogeheten 'grijze waterstof'. De productie gebeurt via Steam Methane Reforming (SMR). Hier reageert hoge druk stoom (H₂O) met aardgas (CH₄) met als resultaat waterstof (H₂) en het broeikasgas CO₂. In Nederland wordt op deze manier ongeveer 0,8 mln. ton H₂ geproduceerd. De voornaamste toepassingen zijn in de chemische industrie voor het maken van ammoniak en kunstmest, en voor olieraffinage.

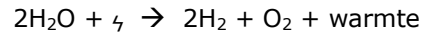
Uit Figuur 1 blijkt dat de inzet van grijze waterstof leidt tot een toename van CO₂-uitstoot ten opzichte van directe inzet van aardgas indien de productie niet wordt gecombineerd met afvang en opslag van CO₂.

Men spreekt over 'blauwe waterstof' of 'low carbon hydrogen' als de CO₂ die vrijkomt in het proces van grijze waterstof grotendeels (80 tot 90%) wordt afgevangen en opgeslagen. Dit wordt ook wel CCS: Carbon Capture & Storage genoemd. Dat zou kunnen gebeuren in lege gasvelden onder de Noordzee. Op dit moment wordt nog nergens in de wereld blauwe waterstof op grote schaal geproduceerd.

Fluor, de moeder van Stork, heeft deze technologie in huis en gebruikt die ook voor studies in Nederland en uitvoering buiten Nederland.

2.2.2 Groene waterstof

Groene waterstof wordt geproduceerd met duurzame energie. De bekendste methode is elektrolyse waarbij water (H₂O) met groene elektriciteit wordt gesplitst in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂).



Figuur 1 laat zien dat waterstof uit elektrolyse met groene elektriciteit een veel lagere CO₂-uitstoot heeft dan aardgas. Elektrolyse met elektriciteit uit fossiele energiebronnen levert echter een hogere uitstoot op. Wanneer een elektrolyser is aangesloten op het openbare net dan is heden nog slechts een klein deel van de elektriciteit gemaakt uit hernieuwbare bronnen. De komende jaren wordt het percentage hernieuwbare energie in de elektriciteitsmix wel hoger. In Figuur 1 zijn hiervoor prognoses gegeven.

Uit Figuur 1 blijkt dat bij elektrolyse een zeer hoog aandeel groene elektriciteit nodig is om tot CO₂-reductie te komen ten opzichte van het gebruik van aardgas. In hoofdstuk 5 gaan we hier nader op in.

In Nederland is een groot aantal partijen bezig te experimenteren met elektrolyzers op megawattschaal. Stork heeft meegewerkt aan de bouw van de 1 MW electrolyser van Gasunie in het Hystock project.

Stork is daar ook gevraagd om aan Koning Willem Alexander tijdens de opening het Hoogeveen Waterstofwijk project te presenteren.



Elektrolyse is interessant voor de energietransitie omdat groene waterstof het toekomstige energiesysteem in Nederland flexibeler kan maken. De combinatie van groene elektriciteitsopwekking met productie van waterstof kan een aantal uitdagingen van de energietransitie oplossen.

- Door waterstof te produceren en op te slaan op de momenten dat er veel zon of wind is maar weinig elektriciteitsvraag, wordt een buffer van duurzame energie gecreëerd. Deze buffer kan worden aangesproken op momenten dat het bewolkt en windstil is.
- Doordat er op de piekmomenten minder elektriciteit aan het net wordt geleverd, hoeft het elektriciteitsnet minder te worden verzaamd.

Om groene waterstof te maken is veel extra capaciteit aan elektrolysefabrieken nodig. TNO en bedrijven in de maakindustrie werken samen aan elektrolyzers met een aanzienlijk groter vermogen, langere levensduur en lagere kosten.

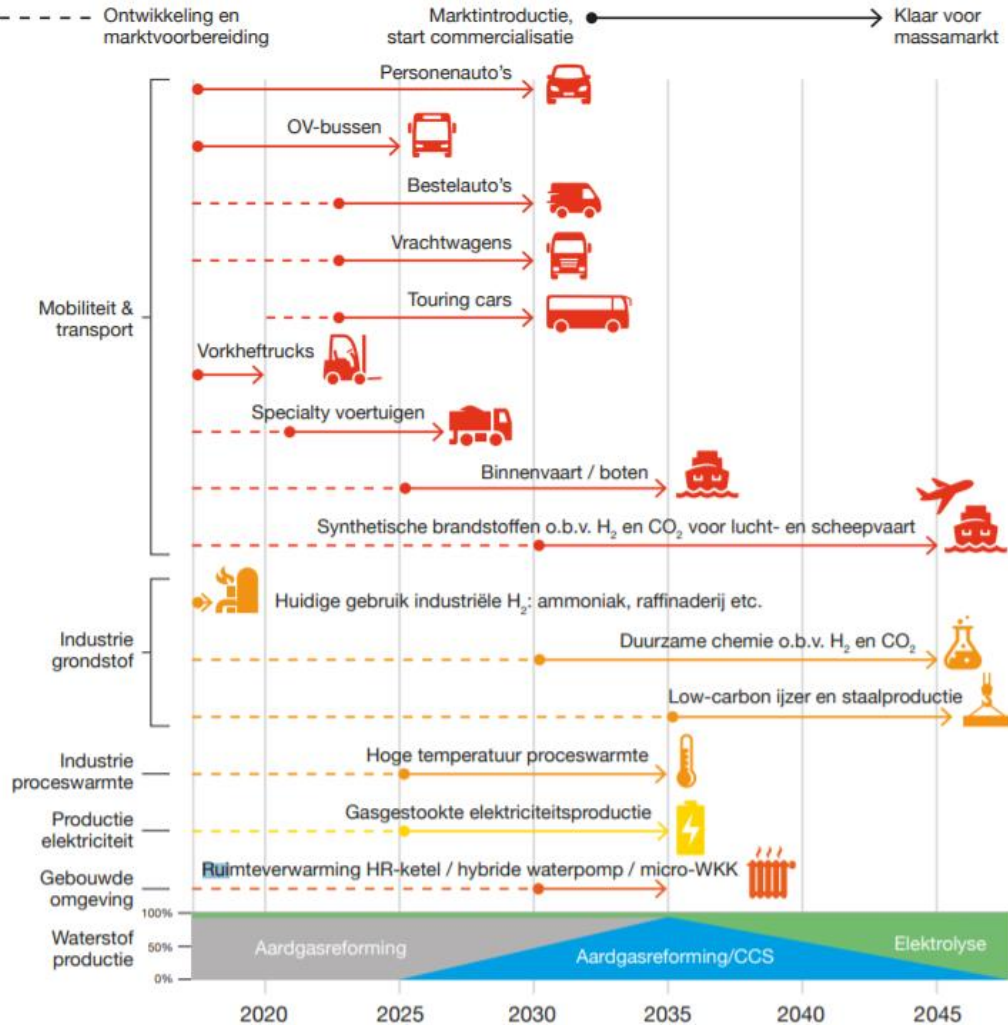
Op dit moment zijn er nog beperkte hoeveelheden groene waterstof beschikbaar. Deze groene waterstof wordt met name toegepast in voertuigen.

Stork Asset Management heeft in 2019 voor Climate-Kic /EU een onderzoek gedaan naar verwachte opschaling van groene waterstof. De verwachting is dat het toeneemt van 1 MW in 2019 naar 3.000-4.000 MW in 2030.

Bron: Green Electrons to Green Hydrogen GE2GH,
https://www.researchgate.net/publication/339500296_Green_Electrons_to_Green_Hydrogen_GE2GH2_Work_Package_2-9_Work_Package_2

2.3 BESCHIKBAARHEID GROENE WATERSTOF VOOR GEBOUWDE OMGEVING

In Nederland wordt in verschillende sectoren gewerkt aan waterstoftoepassingen. Figuur 2 laat de globale planning van implementatietrajecten zien.



Figuur 2: Schets van de timing van implementatietrajecten voor verschillend waterstoftoepassingen (Bron: Contouren van een Routekaart Waterstof, Topsector Energie, 2018)

Figuur 2 is gemaakt voordat het waterstofproject met woningen in Hoogeveen bedacht en opgestart was. Door dit project komen voor de gebouwde omgeving in 2021 de eerste resultaten in woningen beschikbaar en kan na 2025-2027 een versnelling plaatsvinden.

De opschaling in meerdere sectoren tegelijk verhoogt de vraag naar groene waterstof. De beschikbaarheid van voldoende groene waterstof kan een knelpunt zijn bij de opschaling in de gebouwde omgeving.

Bronnen:

- Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw, TNO, 2020
- Tien dingen die je moet weten over waterstof, TNO
<https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/energietransitie/roadmaps/naar-co2-neutrale-brand-en-grondstoffen/waterstof-voor-een-duurzame-energievoorziening/tien-dingen-die-je-moet-weten-over-waterstof/>
- Waterstof: waar staan we? De feiten op een rijtje, Hier opgewekt. Interview met Rolf ter Bekke van Liander
<https://www.hieropgewekt.nl/kennisdossiers/waterstof-waar-staan-we-feiten-op-een-rijtje>
- Gaan we woningen verwarmen met Waterstof?, Stedin. Artikel van Henri Bontebal van Stedin
<https://stedin.net/over-stedin/magazine/gaan-we-woningen-verwarmen-met-waterstof>

3 CASUS: DEMONSTRATIEPROJECT WOONWIJK HOOGVEEN

Stork is penvoerder van een demonstratieproject voor de toepassing van groene waterstof in woningen in Hoogeveen. Het platform Hydrogreenn, met onder meer Stork, GasTerra, de Groningse energieproeftuin EnTranCe, de Samenwerkende Bedrijven Eemsdelta (SBE) en N-Tra, het dochterbedrijf van netbeheerder Rendo, heeft de gemeente met het idee benaderd. De deelnemers willen zo bijdragen aan de ontwikkeling van de noordelijke waterstofeconomie.

In het demonstratieproject wordt groene waterstof toegepast in 80 nieuwbouwwoningen in de nieuwe wijk Nijstad-Oost in Hoogeveen. In de naastgelegen bestaande wijk Erflanden worden 428 bestaande woningen overgeschakeld van aardgas naar waterstof. Alle woningen krijgen een waterstof cv-ketel en inductie kookplaat. De bouw van Nijstad-Oost start naar verwachting in 2021. De omschakeling van de huizen in Erflanden start waarschijnlijk in 2022.

In het demonstratieproject werken meer dan 20 organisaties samen die de hele keten omvatten. Het betreft overheden, kennisinstellingen en bedrijven.

De aanvoer van groene waterstof voor het demonstratieproject in Hoogeveen kent meerdere fasen.

- In de eerste fase wordt de groene waterstof geproduceerd in een lokale elektrolyse-unit bij een zonnepark in Zuidwending, een dorp in de gemeente Veendam. De groene waterstof wordt ongeveer 70 kilometer met vrachtwagens getransporteerd naar opslagtanks die gepland zijn in Ten Arlo, nabij de betreffende wijken, net buiten Hoogeveen. Deze geplande opslagvoorziening is genoeg voor 8 dagen in de meest koude periode. Aanvullend kunnen extra transporten van groene waterstof worden uitgevoerd, mogelijk vanaf andere productielocaties die meer dichtbij liggen in 2021.
- In de tweede fase is er een plan voor lokale waterstofproductie in Ten Arlo, met groene elektriciteit uit zonneparken rond Hoogeveen. In deze fase is de externe aanvoer met vrachtwagens beperkt tot de back-up voor de meest koude periode.
- In de periode 2025-2027 willen Gasunie en de Waterstof Coalitie een landelijk groen waterstofnetwerk realiseren (Project HYWAY 27). Als dit lukt, kunnen de wijken op dit waterstofnetwerk worden aangesloten en is de back-up met vrachtwagens niet meer nodig.

In de tweede fase is de productielocatie ongeveer 150 meter van de woonwijk af.



Figuur 3: Tweede fase van het project. Rode cirkel is de productielocatie, daarboven zijn de kavels voor de woningen.

In traditionele cv-ketels kan geen waterstof worden verbrand. In het demonstratieproject in Hogeveen worden waterstof cv-ketels toegepast. Stork heeft onder andere kennis ingebracht op gebied van pakkingen (seals) voor de waterstof branders. Daar Stork deze kennis al had voor haar grote industriële waterstofketels.

De calorische waarde per kubieke meter van waterstof (10,80 MJ/m³) is drie maal lager dan die van aardgas (31,65 MJ/m³). Hierdoor verbruikt een waterstof cv-ketel drie maal meer waterstof in m³ dan een vergelijkbare cv-ketel op aardgas. Doordat bij een waterstofketel meer water vrij komt dan bij een aardgasketel is het rendement iets hoger. Van een aardgasketel is het rendement 107% en van een waterstofketel is dat 114%. Deze waterstof ketels zijn speciaal ontwikkeld voor dit project.

4 UITGANGSPUNTEN EN ONDERDELEN KETEN

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van de ketenanalyse weergegeven. Daarna worden de onderdelen van de keten beschreven.

4.1 UITGANGSPUNTEN KETENANALYSE

Deze ketenanalyse geeft inzicht in de belangrijkste bronnen van CO₂-uitstoot en mogelijkheden voor CO₂-reductie in de keten van productie tot verbranding van groene waterstof voor ruimteverwarming in woningen. Daarbij gaan we uit van de situatie in pilotprojecten waarbij de groene waterstof wordt geproduceerd met zonneparken en (een gedeelte van) de groene waterstof wordt vervoerd met vrachtwagens, in afwachting van aansluiting op een waterstofnetwerk.

Er zijn meerdere manieren om groene waterstof te maken. In deze ketenanalyse focussen we op waterstof gemaakt uit elektrolyse van water waarbij gebruik wordt gemaakt van groene elektriciteit uit zon of wind.

De toepassing van groene waterstof voor ruimteverwarming bevindt zich nog in de demonstratiefase. Er is nog geen emissiefactor voor beschikbaar op CO₂emissiefactoren.nl. Door bij de CO₂-berekening dezelfde uitgangspunten en afbakening te kiezen als op CO₂emissiefactoren.nl zijn de uitkomsten bruikbaar in vergelijkingen met de traditionele verwarmingsmethode met aardgas en andere duurzame alternatieven zoals biogas.

Op CO₂emissiefactoren.nl worden alle emissies in de keten meegenomen, met uitzondering van de bouw van de productie-units (bijv. olieraffinaderij, elektriciteitscentrale, windmolenpark) en het materiaalgebruik in de infrastructuur (bijv. leidingen, kabels, verdeelstations).

Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de uitstoot bij het gebruik van de energie (Tank to Wheel, TTW) en de uitstoot in de productieketen van de energie (Well to Tank, WTT). Laten we als voorbeeld kijken naar de CO₂-emissiefactor van aardgas. Er komt 1,785 kg CO₂ vrij bij verbranding van 1 m³ aardgas (TTW). In de productieketen van aardgas wordt 0,099 kg CO₂ per m³ uitgestoten (WTT). De totale uitstoot van aardgas is 1,884 kg CO₂ per m³ (Well tot Wheel, WTW).

Tabel: weergave van CO₂-emissiefactoren op CO₂emissiefactoren.nl

Brandstoffen energieopwekking				
	Eenheid	Kg CO ₂ /eenheid (WTT) Totaal	Kg CO ₂ /eenheid (TTW) Energiegebruik	Kg CO ₂ /eenheid (WTT) Energieproductie
Aardgas	Nm ³	1,884	1,785	0,099

Bij het verbranden van waterstof in een waterstofketel is de CO₂-uitstoot nul (TTW). In deze ketenanalyse beschrijven we de belangrijkste bronnen van CO₂-uitstoot in het traject van productie tot en met distributie van groene waterstof uit een elektrolyser gekoppeld aan een zonnepark naar woningen.

4.2 ONDERDELEN VAN KETEN

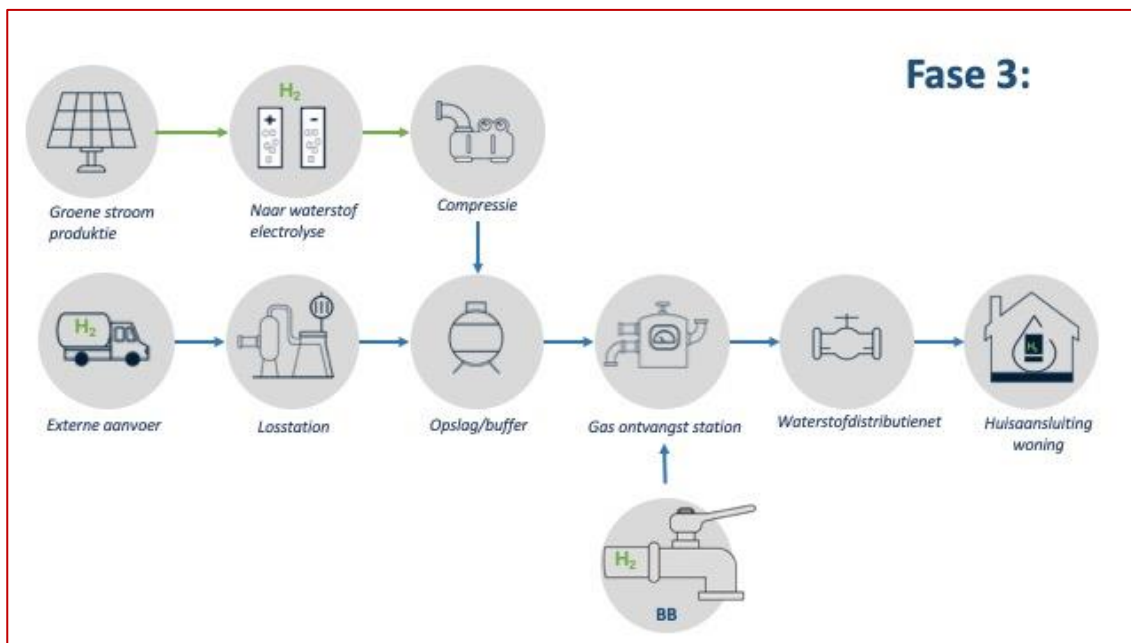
De keten die we onderzoeken bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Productie van groene waterstof
De waterstof wordt geproduceerd in een elektrolyser bij een zonnepark. Indien deze elektrolyser dichtbij de woonwijk is, kan de waterstof direct worden opgeslagen in bovengrondse opslagtanks. In Hoogeveen bieden de opslagtanks een buffer voor 8 dagen voor 80 woningen in de meest koude periode.
2. Vervoer met vrachtwagens naar opslagtanks
Dit vervoer vindt plaats in twee situaties:
 - a. Afstand: Als de elektrolyser verder verwijderd is van de woonwijk. Tubetrailers worden gevuld bij de elektrolyser en vervoeren de waterstof naar een losstation. Daarna wordt het opgeslagen in bovengrondse opslagtanks bij de woonwijk.
 - b. Back-up in koude periode: extra transporten met tubetrailers vanaf productielocaties van groene waterstof.
3. Distributie van waterstof naar woningen
De waterstof wordt vanuit de opslagtanks gedistribueerd naar woningen.

Bij een korte afstand en grotere volumes kan een waterstof pijpleiding ook toegepast worden. Voorlopig is dit niet voorzien in Hoogeveen.

In de eerste fase van het waterstofproject in Hoogeveen worden alle 3 onderdelen doorlopen. In de tweede fase met lokale groene waterstofproductie valt onderdeel 2a weg en onderdeel 2b blijft bestaan. Als de woonwijk in de toekomst kan worden aangesloten op een groen waterstofnetwerk dan vervalt onderdeel 2. Ook onderdeel 1 is dan niet meer nodig, tenzij het gebeurt om het elektriciteitsnet te ontlasten.

Figuur 4 bevat een weergave van de keten. In het volgende hoofdstuk worden de onderdelen van de keten uitgewerkt.



Figuur 4: De onderdelen van de onderzochte keten

5 ANALYSE PER KETENSTAP

In dit hoofdstuk wordt per ketenstap het proces beschreven en een berekening van de CO₂-uistoot gemaakt. Omdat groene waterstof nog schaars is, verkennen we ook de alternatieve oplossingen op momenten dat het niet verkrijgbaar is en de bijbehorende CO₂-uitstoot.

5.1 PRODUCTIE VAN GROENE WATERSTOF

De groene waterstof wordt geproduceerd uit water en groene elektriciteit in een elektrolyser. De installatie bevindt zich in een of meerdere containers bij een wind- of zonnepark.

In de unit wordt leidingwater omgezet in puur (demi)water. De elektrolyse en zuivering van de waterstof worden gevoed met de groene elektriciteit. Indien de elektrolyser dichtbij de woningen is, kan de waterstof direct worden opgeslagen in waterstoftanks. Als vervoer nodig is dan vindt compressie plaats naar een tank op 200-300 bar. Deze compressie wordt ook gevoed met de lokaal opgewekte groene elektriciteit.

Berekening CO₂-uitstoot per kg groene waterstof

Bij elektrolyse is 9 liter water en elektriciteit nodig om 1 kg waterstof te maken.

In bronnen wordt een brede range van energiegebruik en efficiency van elektrolyse aangetroffen: 39 kWh per kg waterstof en 85% efficiency tot 55 kWh per kg waterstof en 60% efficiency.

Bron: Life cycle assessment of hydrogen from proton exchange membrane water electrolysis in future energy systems, 2019, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919300017>

In het Hoogeveen project wordt gebruik gemaakt van elektrolyser met een verbruik van 44 kWh/kg voor de elektrolyse. Inclusief Balance of Plant (BOP, alle randapparatuur) zal het 53 kWh per kg waterstof zijn.

De productie van leidingwater levert 298 gram CO₂ per m³ leidingwater op. De uitstoot per kg waterstof is 9 liter water x 0,298 = 2,68 gram CO₂

De compressie van waterstof tot 200-300 bar vraagt 0,8 kWh per kg waterstof.

Bron: Assessment of Selected Hydrogen Supply Chains – Factors Determining the overall GHG Emissions, 2018

Bij groene waterstof wordt gebruik gemaakt van groene elektriciteit uit wind of zon. De CO₂-emissie is nul.

Totaal productie groene waterstof

	Kg CO ₂ per kg waterstof	Bron
Productie leidingwater	0,00268 kg	9 liter leidingwater, 298 gram per m ³ water, Milieubarometer, Recipe 2010
Groene elektriciteit elektrolyse	0 kg	53 kWh, groene elektriciteit uit zon/wind: 0 kg CO ₂ per kWh, CO ₂ emissiefactoren.nl
Groene elektriciteit compressie voor wegvervoer	0 kg	0,8 kWh, groene elektriciteit uit zon/wind: 0 kg CO ₂ per kWh, CO ₂ emissiefactoren.nl
Totaal	0,00268 kg	

5.2 VERVOER MET VRACHTWAGENS NAAR OPSLAGTANKS

Vervoer van groene waterstof met vrachtwagens vindt plaats in twee situaties:

- a. Afstand: Als de elektrolyser verder verwijderd is van de woonwijk. Tubetrailers worden gevuld bij de elektrolyser en vervoeren de waterstof naar een losstation. Daarna wordt het opgeslagen in bovengrondse opslagtanks bij de woonwijk.
- b. Back-up in koude periode: Extra transporten met tubetrailers vanaf productie- of opslaglocaties naar de opslagtanks bij de woonwijk.

Voor beide situaties geldt dat de waterstof vanuit de tubetrailers (200-300 bar) wordt gelost in een losstation en vervolgens in opslagtanks (80 bar). Dit proces verloopt van hoge naar lage druk en vraagt geen energie.

Berekening CO₂-uitstoot per kg groene waterstof

Tubetrailers zijn opleggers die bestaan uit hogedrukwaterstoftanks. De capaciteit van een tubetrailer ligt tussen de 0,5 en 1 ton waterstof.

Omdat de emissiefactoren voor goederenvervoer op CO₂emissiefactoren.nl vrij algemeen zijn, is de onderliggende bron-rapportage Stream Goederenvervoer, 2016, CE Delft gebruikt om de emissies van transport nauwkeuriger te bepalen. Het betreft de Tabel licht transport, Trekker Licht. De berekening hieronder is een overschatting omdat de oplegger op de terugweg leeg is.

Casus Hoogeveen:

- 400 kg groene waterstof per tubetrailer
- In beide situaties maximale afstand 70 km, 140 km retour.

140 km x 0,4 ton = 56 tonkm

56 tonkm x 0,249 kg CO₂ per tonkm = 13,944 kg CO₂

13,944/400=0,0349 kg CO₂ per kg groene waterstof

Dit getal geldt bij de start van het demonstratieproject en wordt na verloop van tijd waarschijnlijk minder doordat gebruik kan worden gemaakt van elektrolyzers die minder ver van de woonwijk af liggen.

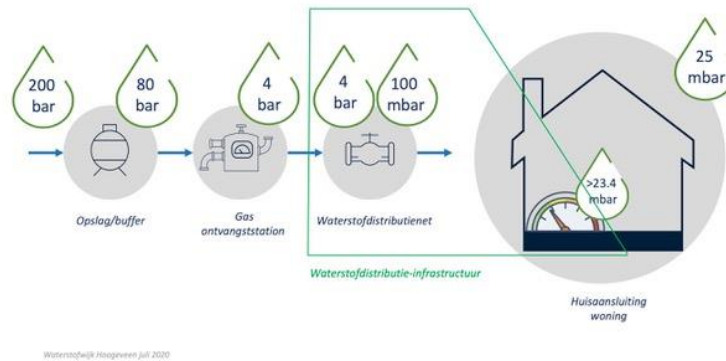
5.3 DISTRIBUTIE VAN WATERSTOF NAAR WONINGEN

De groene waterstof wordt vanuit de opslagtanks gedistribueerd naar woningen. De druk in het buffervat is 80 bar. Via een gasontvangstation (GOS) gaat het naar 4-8 bar. Daarna gaat het via een drukreducerstation het distributienet in op 100 millibar. Het distributieproces verloopt van hoge naar lage druk en vraagt geen energie.

Berekening CO₂-uitstoot per kg groene waterstof

Dit onderdeel kost geen energie. De CO₂-uitstoot is nul.

Figuur 5: De druk in onderdelen van het distributieproces



5.4 VERDELING UITSTOOT OVER DE KETEN

De CO₂-uitstoot is als volgt verdeeld over de onderdelen van de keten.

Onderdeel	Kg CO ₂ per kg groene waterstof
1 Productie van groene waterstof	0,00268 kg
2 Vervoer met tubetrailers (140 km retour)	0,0349 kg
3 Distributie van waterstof naar woningen	0 kg
Totaal	0,0375 kg

Bij onderdeel 1 is uitgegaan van gebruik van groene stroom. Dat dit niet vanzelfsprekend is, wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

Het vervoer van waterstof met tubetrailers levert de grootste bijdrage aan de emissie in deze keten.

5.5 INVLOED VAN DISBALANS TUSSEN AANBOD ZON EN VRAAG WARMTE

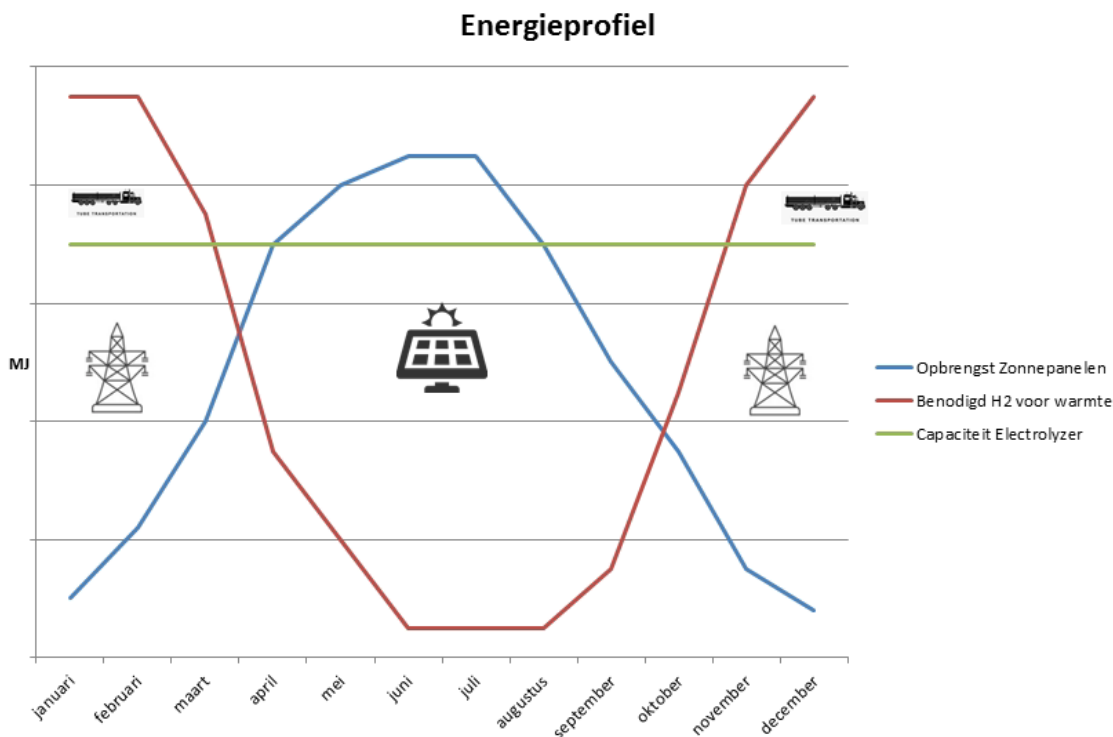
In bovenstaande berekeningen is uitgegaan van de ideale situatie dat het zonnepark het hele jaar door voldoende elektriciteit levert voor de elektrolyse. In de praktijk is er een disbalans tussen de opbrengst van het zonnepark en de warmtevraag van de woningen.

We focussen op de situatie in fase 2 van het project waarbij de waterstof in de directe omgeving van Hoogeveen wordt geproduceerd. In Figuur 6 heeft Stimular de situatie in een schets in beeld gebracht. Figuur 6 laat zien dat in de winter naast het al genoemde extra vervoer met tubetrailers ook elektriciteit vanuit het net nodig is voor de elektrolyse.

De verhoudingen tussen de verschillende energiestromen zijn afhankelijk van de eigenschappen van de elektrolyser, de buffercapaciteit in de waterstoftanks, en de woningen in het project. Onze inschatting is dat de verdeling als volgt kan zijn:

- 60% met elektriciteit van zonnepark
- 30% met elektriciteit uit het net
- 10% aanvoer met tubetrailer

Stork gaat deze verhoudingen berekenen aan de hand van gegevens van het demonstratieproject.



Figuur 6: Disbalans tussen opbrengst van zonnepanelen en de warmtevraag van woningen (Bron: Stimular, NB. de hoogte van de grafieken is illustratief en niet gebaseerd op gegevens van het demonstratieproject)

Om het demonstratieproject "groen" te houden is inkoop van GVO's van in Nederland opgewekte groene elektriciteit uit het net nodig. Daarnaast zal er, om levering aan de woningen in piekperiodes te garanderen, zo nu en dan waterstof per tubetrailer geleverd moeten worden. Groene elektriciteit en groene waterstof zijn de komende jaren nog beperkt beschikbaar en flink duurder dan grijze elektriciteit en grijze waterstof. Dit kan tot de situatie leiden dat grijze elektriciteit (uit het net) en grijze waterstof (per tubetrailer) wordt ingezet. De tabel hieronder laat zien dat deze worst-case-situatie een grote extra CO₂-uitstoot tot gevolg heeft.

Project	Kg CO ₂ per kg H ₂	Bron
Fase 1: Elders geproduceerde en per tubetrailer gebrachte groene waterstof (140 km retour)	0,0375 kg	Deze rapportage
Fase 2: Lokaal geproduceerde groene waterstof	0,00268 kg	Deze rapportage
<i>Worst-case-situatie in piekperiodes:</i>	<i>Extra CO₂-uitstoot</i>	
Elektrolyse en compressie voor vervoer met grijze elektriciteit	+ 29,9 kg	53,8 kWh per kg waterstof, grijze elektriciteit: 0,556 kg CO ₂ per kWh, CO ₂ emissiefactoren.nl
Aanvoer grijze waterstof met tubetrailer	+ 8,8 kg*	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919300017

* deze waarde wijkt af van de waarde van 12,0 op CO₂emissiefactoren.nl. Na onderzoek blijkt dat 12,0 inclusief de SMR-installatie is (LCA benadering). Dit hoort niet meegenomen te worden in de CO₂emissiefactor.

In onderstaande tabel staat de CO₂-uitstoot van het worst-case-situatie voor het demonstratieproject, op basis van de geschatte verdeling van energiestromen.

	Kg CO ₂
60 kg met elektriciteit zonnepark	0,16
30 kg met grijze elektriciteit uit het net	930
10 kg grijze waterstof per tubetrailer	88
Totaal 100 kg waterstof	1.018
Uitstoot per kg waterstof	10,18

De vergelijking tussen aardgas, groene waterstof en het worst-case-scenario voor de woonwijk in Hogeveen ziet er als volgt uit.

Vergelijking CO ₂ -uitstoot van de woonwijk in Hogeveen	Kg CO ₂ -uitstoot per jaar	Bron
611.752 m ³ aardgas	1.152.541	1,884 kg CO ₂ per m ³ , CO ₂ -emissiefactoren.nl
Fase 1: 151.240 kg groene waterstof met tubetrailer (140 km)	5.672	0,0375 kg CO ₂ per kg, deze ketenanalyse
Fase 2: 151.240 kg lokaal geproduceerde groene waterstof	405	0,00268 kg CO ₂ per kg, deze ketenanalyse
151.240 kg worst-case waterstof	1.539.623	10,18 kg CO ₂ per kg, deze ketenanalyse

De CO₂-uitstoot bij de worst-case is hoger dan bij inzet van aardgas.

Conclusie

Bij productie van groene waterstof uit zonneparken ten behoeve van woningen is de beschikbaarheid en toepassing van groene elektriciteit uit het net cruciaal om tot CO₂-reductie te komen ten opzichte van het gebruik van aardgas.

6 PLAN VAN AANPAK CO₂-REDUCTIE IN DE KETEN

In dit hoofdstuk beschrijven we de kansen en acties voor CO₂-reductie in de keten voor Stork voor de komende 3 jaar.

Stork zal tenminste halfjaarlijks over de voortgang van de uitvoering van acties en de vorderingen rapporteren.

6.1 KANSEN VOOR CO₂-REDUCTIE

De belangrijkste bron van CO₂-uitstoot in de keten van inzet van groene waterstof in woningen is het transport van groene waterstof met tubetrailers. Deze uitstoot is zeer klein ten opzichte van de uitstoot van aardgas en de reductiemogelijkheden in het vervoer met tubetrailers zijn zeer beperkt.

Door de disbalans tussen de opbrengst van zonnepanelen en de warmtevraag van woningen is naast aanvoer van waterstof met tubetrailers ook een substantieel gebruik van elektriciteit uit het net nodig. De beperkte beschikbaarheid van groene elektriciteit uit het net en groene waterstof uit opslag geven een risico dat de CO₂-uitstoot van de woningen veel hoger wordt dan bedoeld.

Belangrijke aandachtspunten om de CO₂-uitstoot van het project te beperken:

- In het consortium worden afspraken gemaakt over inkoop van GVO's voor groene elektriciteit uit het net gedurende fase 1 en 2 van het project.
- Zeker stellen dat er groene waterstof (geen grijze waterstof) wordt aangevoerd met tubetrailers in fase 1 en 2 in het project.

Met deze aandachtspunten kan naar schatting 1.539 ton CO₂ per jaar worden gereduceerd.

Stork kan niet beslissen over implementatie van de genoemde aandachtspunten. Stork gaat het nieuwe inzicht en benodigde maatregelen bespreken in het overleg met projectpartners.

6.2 ACTIES EN REDUCTIEDOEL STORK

Stork voert de volgende acties uit.

Verbetering inzicht en data:

- Verhoudingen in verschillende energiestromen bepalen aan de hand van gegevens van het demonstratieproject. Berekenen van de bijbehorende CO₂-uitstoot in het worst-case-scenario.
- Het inzicht uit deze ketenanalyse delen met ketenpartners.

Overleg met projectpartners:

- Bespreken en bewaken van de risico's op het minder groen worden van het project met de betrokken projectpartners.
- Afspraken maken (en deze vervolgens borgen) over de inkoop van GVO's voor groene elektriciteit uit het net en groene waterstof in tubetrailers tijdens fase 1 en 2 van het project.
- De extra kosten voor GVO's voor groene elektriciteit uit het net meenemen in de kostenraming van het project.
- Nadenken over extra kostenbesparende maatregelen zoals:
 - het reduceren van de pieken in de warmtevraag van de woningen in de winter
 - hoe in de winterperiode meer groene elektriciteit geleverd kan worden voor de elektrolyser (hellingshoek en oriëntatie zonnepanelen, koppeling met wind)
- Bepalen van het reductiedoel voor het project op basis van bovenstaande punten

Nader onderzoek:

- Onderzoeken of en hoe afspraken met de netbeheerder, over benutten van het verwachte regionale overschot aan zonne-energie (ten opzichte van de capaciteit van het regionale elektriciteitsnetwerk), kunnen worden ingezet in de CO₂-berekening van het project.

6.3 VOORTGANG PROJECT

- **Oktober 2023:** Het project Waterstof Hoogeveen nadert fase 1 van daadwerkelijke uitvoering. De eerste 12 woningen zijn geschouwd om een beeld te krijgen van het werk per woning.
- **Eind 2023:** Het leidingnetwerk voor de aanvoer van waterstof naar de wijk is klaar. Dit moet straks de nieuw te bouwen woningen in Nijstad-Oost voorzien van verwarming.
- Ook bestaande woningen in Erflanden kunnen op het systeem worden aangesloten. Tevens is begonnen met de ombouw van de eerste twaalf woningen naar waterstof. In de week van 12 december 2023 is gestart met het aanpassen van de elektra en het vervangen van de gaskooktoestellen door inductie.
- **April 2024:** Na jaren van voorbereiding is het zover: de Autoriteit Consument & Markt (ACM) heeft toestemming gegeven om waterstof toe te passen in het project Waterstof Hoogeveen. De eerste woningen kunnen nu daadwerkelijk aangesloten worden op waterstof. Verder wordt het terrein voor de opslag van waterstof klaargemaakt. Aannemer Van Reel legt de toegangswegen aan en plaatst hekwerken om de locatie. Stork bouwt, in opdracht van de Gasunie, het waterstof ontvangstation. Het gehele waterstofdistributie systeem is klaar voor de bouwvak. Het Waterstof Tiny House wordt als eerste voorzien van de waterstofaansluiting. Hiermee kan het hele waterstofdistributiesysteem getest worden. Essent heeft voor de levering van groene waterstof een contract getekend met Westfalen.
- Al deze acties zorgen ervoor dat na de zomervakantie de eerste woningen aangesloten kunnen worden op waterstof.
- Onderdeel van het project Waterstof Hoogeveen is de aansluiting van de nieuw te bouwen woningen in Nijstad-Oost op waterstof. De verkoop van de erven in dit project kan starten nu de toestemming van de ACM binnen is en het college van B&W besloten heeft te starten met de uitgifte van Nijstad-Oost.
- **Juli 2024:** Op dit moment worden de deelnemende huizen voorbereid op de aansluiting op waterstof. Installatiebedrijf Van Dorp en netbeheerder RENDO zetten hiervoor de schop in de grond en doen aanpassingen aan de leidingen en in de huizen.

De voortgang met betrekking tot het project kan gevolgd worden via openbare nieuwsbrieven:

[Groenemorgen Hoogeveen | Nieuwsbrief Waterstofwijk](#)

Tevens wordt de projectvoortgang en de voortgang van de reductiedoelen halfjaarlijks beschreven in de voortgangsrapportage.