

Waterstofhub Bolsward

Verdiepende haalbaarheidsstudie en opzet projectscope voor een waterstofhub in Bolsward.

3-1-2023

Auteurs Repowered:

Jeroen Jansen – Projectleider
Sybren Jansma – Senior adviseur
Inge Hamelink – Junior adviseur

Auteurs Ventolines:

Ardaan Walvis – Projectleider
Maarten Klap – Project developer
Rens Savenije – Business lead systeemintegratie
Erwin Hol – Project developer

Inhoudsopgave

●●●●●**1** **Overkoepelende Aanpak:**
Overzicht sporen en onderdelen.
p. 3

●●●●●**2** **Spoor A onderdeel 1:**
Technische haalbaarheid
p. 4 - 53

●●●●●**3** **Spoor A onderdeel 2:**
Financiële haalbaarheid
p. 54 - 75

●**4**●●●●● **Spoor A onderdeel 3:**
Juridische haalbaarheid
p. 76 - 84

5●●●●● **Spoor B:**
Projectscope
p. 85 - 106

Bijlagen:

●**1** **Bijlage 1:** Rapportage opties netaansluiting

2● **Bijlage 2:** Rapportage juridisch kader vergunningen

REPOWERED

Ventolines
Vooruit met duurzame energie

- REPOWERED 

Spoor A onderdeel 1:

Technische haalbaarheid

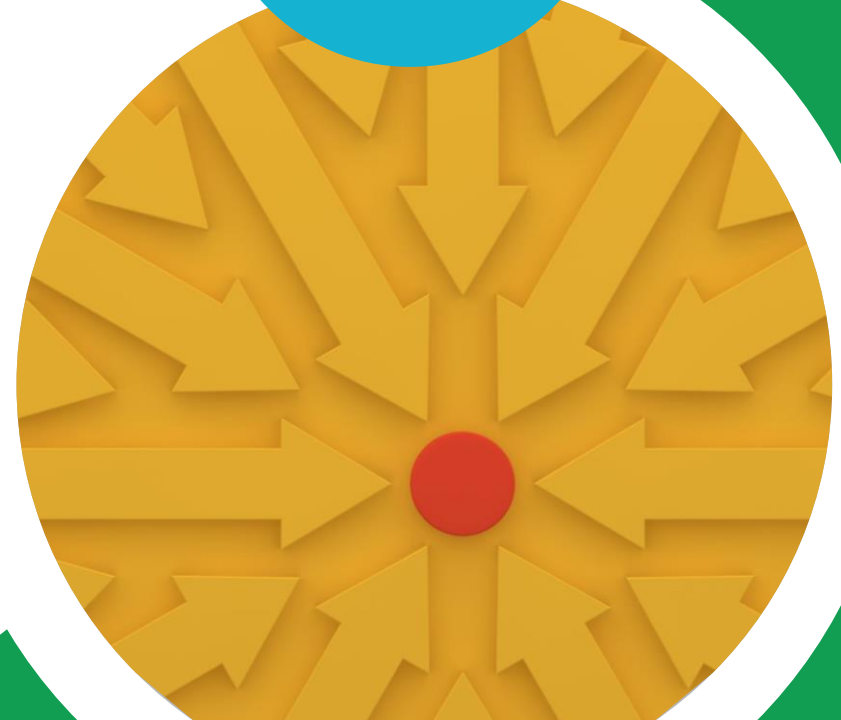
”



Aanpak

Beschrijving van de algemene aanpak en planning van dit project en inzoomen op de aanpak van Spoor A onderdeel 1: Technische haalbaarheid.

Aanpak



Spoor A: Technische haalbaarheid



Spoor A: Technische haalbaarheid

1. Situatiebeschrijving Bolsward (p. 8 – 25)

- Aanbod stroom
- Aansluitingsmogelijkheden
- Vraag
- Ruimtelijke aspecten

2. Lopende projecten Bolsward (p. 26 – 30)

- Bolsward Noord Warmtenet
- Geothermie (STOGEF)

3. Waterstofsysteem (p. 31 – 39)

- Het algemene systeem
- De elektrolyser techniek
- PEM elektrolyzers
- Ruimtelijke aspecten
- Certificering
- Distributie & opslag

4. Randvoorwaarden (p. 40 – 45)

- Input
- Productie
- Distributie
- Consumptie

5. Optimalisatie & Scenario's (p. 46 – 49)

- Optimalisatiemethode
- Scenario's

6. Resultaten (p. 50 – 53)

- Configuratie
- Energiestromen

1. Situatiebeschrijving Bolsward

Beschrijving van de huidige situatie in Bolsward met betrekking tot aanbod, distributie en vraag.



Bolsward



Aanbod duurzame stroom

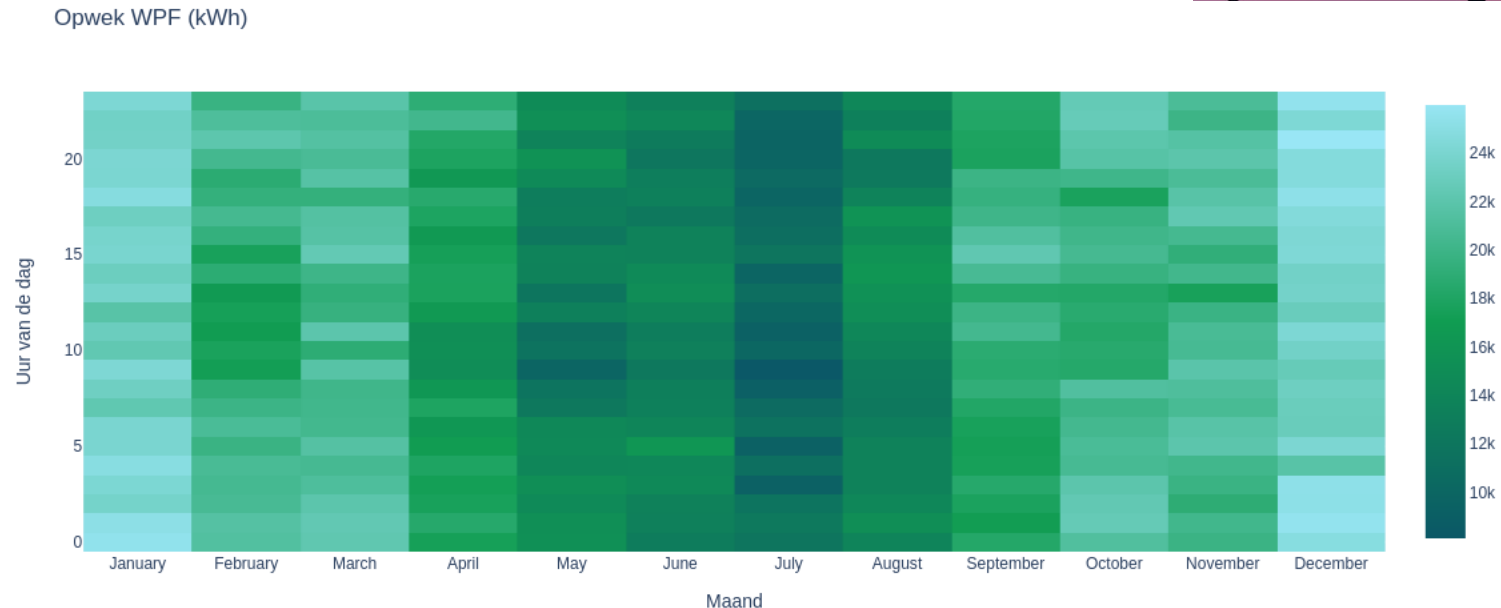
Voor de productie van groene waterstof is een aanbod van groene stroom nodig. Uiteraard is er een generieke markt voor groene energie, waarbij er via het openbare stroomnet groene stroom kan worden ingekocht. Om het **lokale karakter** van de waterstofhub te waarborgen, is er specifiek gekeken naar de lokale koppelkansen van duurzame energie opwek. Hieronder worden een aantal huidige, en mogelijk toekomstige, koppelkansen in de buurt van Bolsward beschreven. Deze koppelkansen komen gedeeltelijk al uit het voorgaande haalbaarheidsonderzoek, maar zijn geüpdatet met de meest recente ontwikkelingen en gesprekken. De details over het aansluiten van de lokale bronnen worden in slide 12 - 18 besproken.

Windpark Fryslân (WPF)

WPF is een 383 MW windpark, bestaande uit 89 turbines, gesitueerd op het IJsselmeer. WPF is een Special Purpose Vehicle (SPV) en is in bezit alle contracten van het project, inclusief de stroomleveringsovereenkomst (PPA) met Eneco. In de PPA tussen WPF en Eneco is **10% per kwartier** beschikbaar gesteld voor WPF om buiten de PPA stroom te verkopen, met als doel de lokale energietransitie te faciliteren. 10% Per kwartier van een 383 MW windpark geeft een jaarlijkse beschikbare hoeveelheid energie van zo'n **150 GWh**. Het park is aangesloten via een 110 kV kabeltracé, direct op het hoogspanningsstation van TenneT.

Hiernaast wordt het productieprofiel van WPF gevisualiseerd door middel van een **heatmap**:

- Op deze heatmap is te zien wat de gemiddelde opwek is **per uur van de dag** (y-as) in een **specifieke maand** (x-as).
- Hoe **lichter de kleur, hoe hoger de opbrengst**. Rechts is een legenda weergegeven die de kleuren schaaft aan de hand van de opwek in kWh / uur.



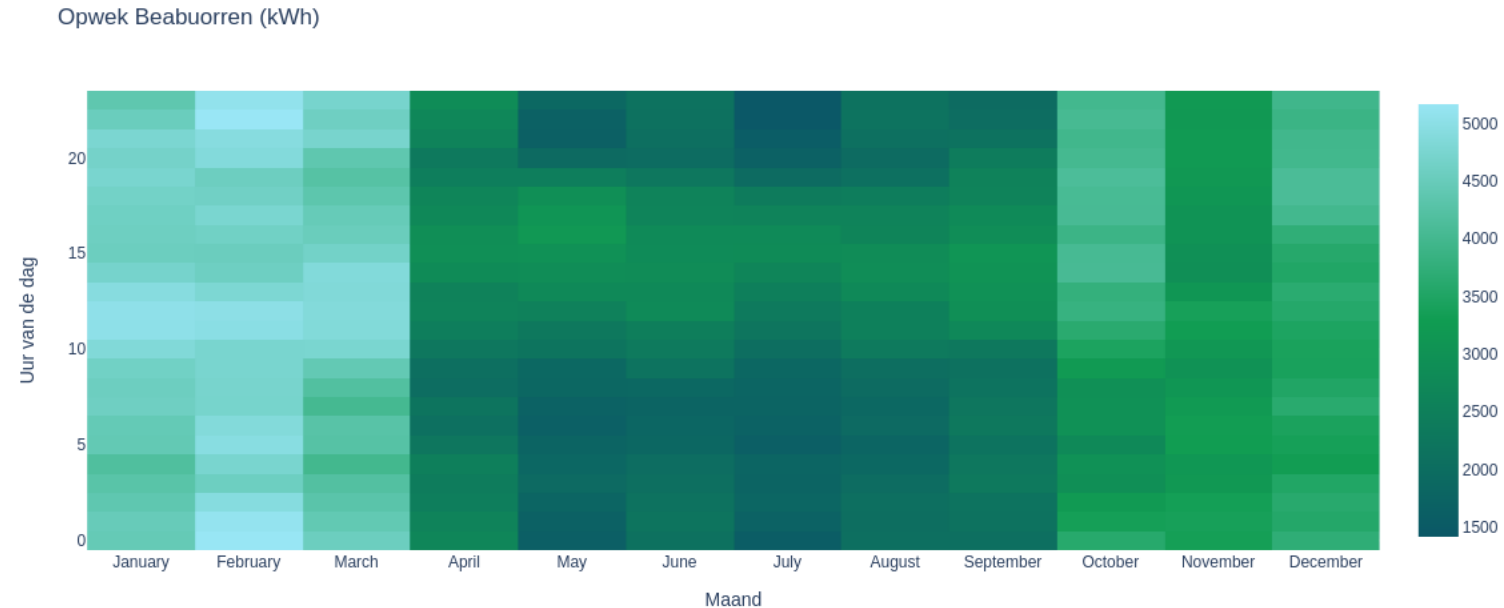
Aanbod duurzame stroom

Windpark Beabuorren

Windpark Beabuorren is een grondgebonden windpark gelegen ten zuiden van Bolsward. Het windpark heeft **8 turbines** die in totaal **10.4 MW** vermogen leveren. De familie Hylkema is initiatiefnemer van het windpark en is met omwonenden eigenaar van de 8 turbines. Het park produceert jaarlijks tussen de **21 en 37 GWh**, afhankelijk van de hoeveelheid wind in een jaar. De PPA van het windpark is aflopend en de eigenaren zijn op zoek naar een nieuwe afnemende partij. Bij de zoektocht naar een nieuwe afnemer, ligt de voorkeur sterk bij lokale toepassing van de stroom om de lokale energietransitie verder te brengen. Na overleg met de vertegenwoordigers van Windpark Beabuorren, Titia en Lolle Hylkema, en het verwerken van de historische opwekprofielen, lijkt dit windpark een zeer interessante opweklocatie om als stroombron te dienen voor de waterstofhub.

Hiernaast wordt het productieprofiel van Beabuorren gevisualiseerd door middel van een **heatmap**:

- Op deze heatmap is te zien wat de gemiddelde opwek is **per uur van de dag** (y-as) in een **specifieke maand** (x-as).
- Hoe **lichter de kleur, hoe hoger de opbrengst**. Rechts is een legenda weergegeven die de kleuren schaaft aan de hand van de opwek in kWh / uur.



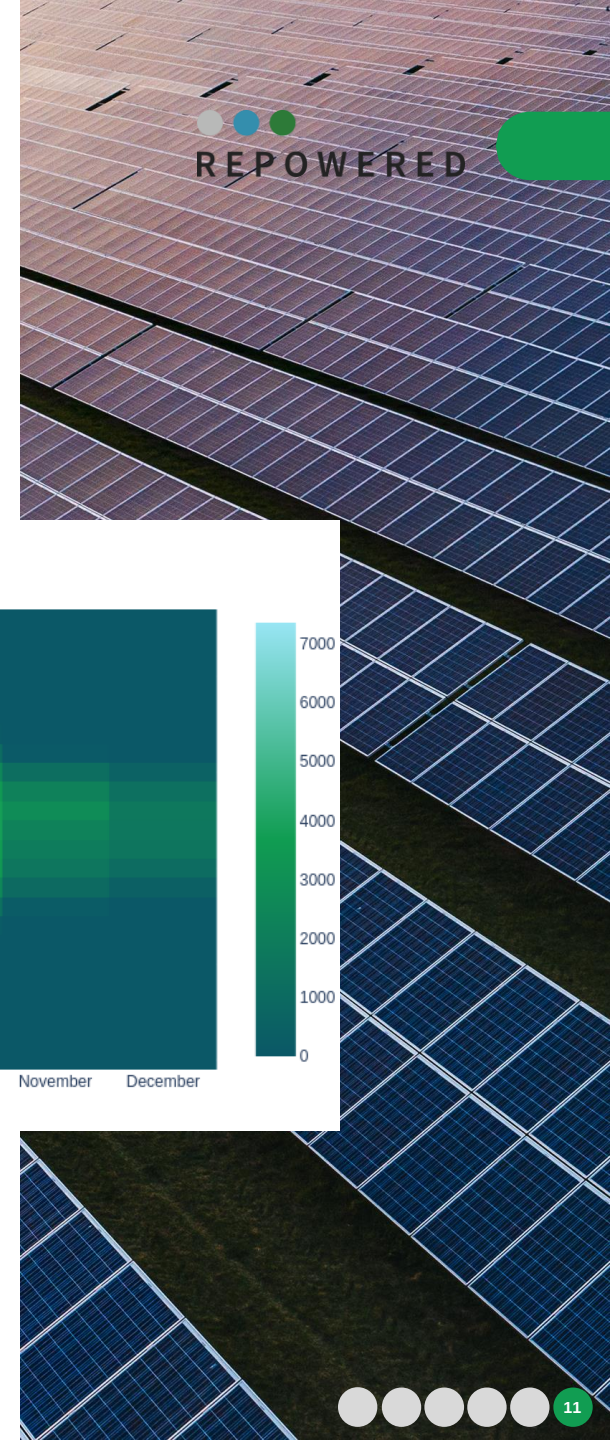
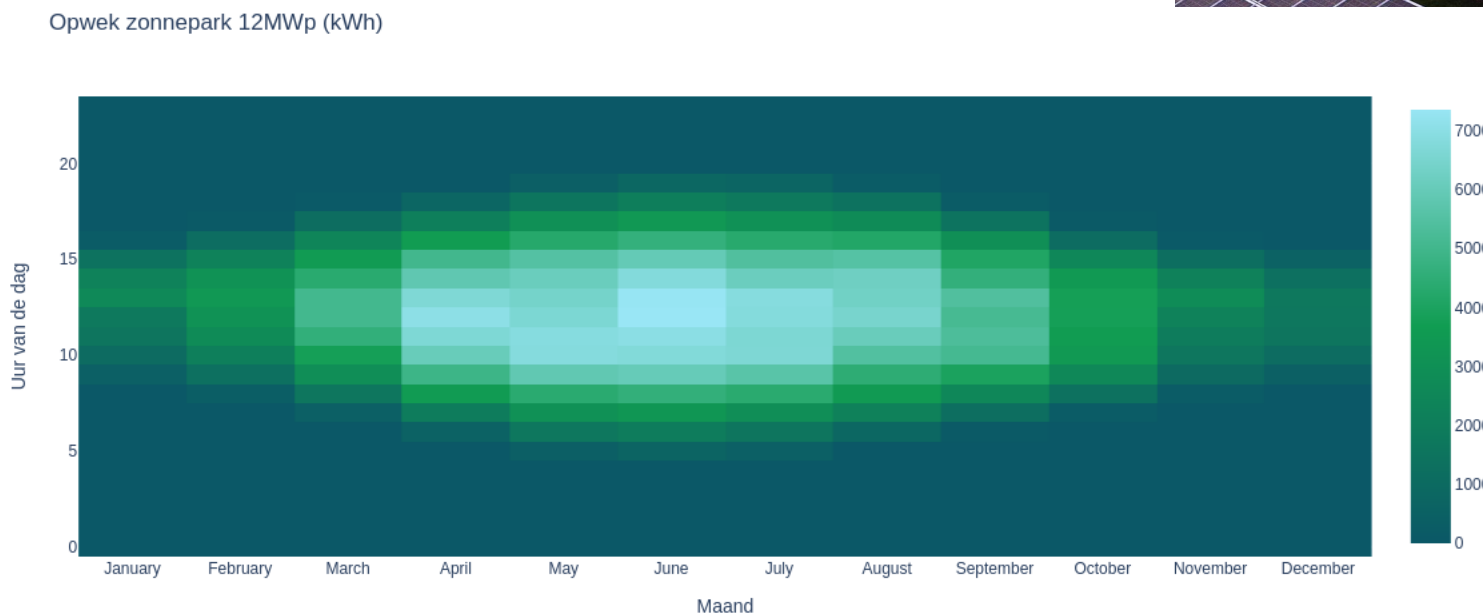
Aanbod duurzame stroom

Potentiële zon-PV productie

De regio Bolsward is mogelijk op zoek naar opwek van lokale zonne-energie. In het voorgaande onderzoek is gerekend met 80 MWp zon-potentie in de regio. In de uiteindelijke analyse en optimalisatie zullen verschillende groottes van het zonnepark worden meegenomen, afhankelijk van de scenario's tussen de **12 en 30 MWp**. De vuistregel voor het dimensioneren van een zonnepark is dat er grofweg **1 hectare wordt gebruikt voor 1 MWp** geïnstalleerd vermogen, waarbij de opbrengst gemiddeld zo'n **1 GWh/MWp** is.

Hiernaast wordt het gesimuleerde productieprofiel van een 12 MWp zonnepark gevisualiseerd door middel van een heatmap.

- Op deze heatmap is te zien wat de gemiddelde opwek is **per uur van de dag** (y-as) in een **specifieke maand** (x-as).
- Hoe **lichter de kleur, hoe hoger de vraag**. Rechts is een legenda weergegeven die de kleuren schaalt aan de hand van de opwek in kWh / uur.



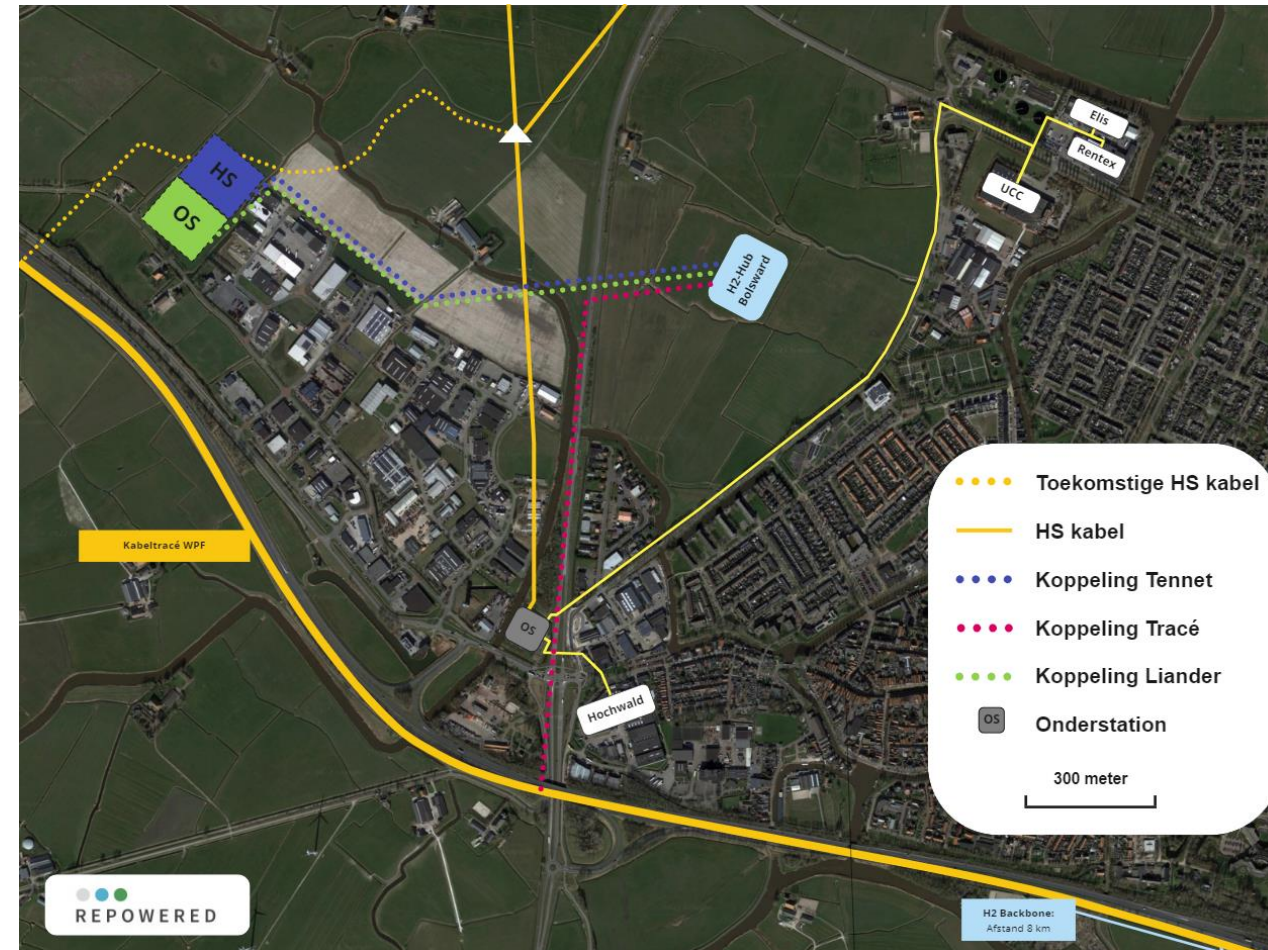
Aansluitmogelijkheden – netaansluiting

Een uitgebreide analyse van de aansluitmogelijkheden is verwerkt in een separate rapportage, **bijgevoegd als bijlage 1** bij dit eindrapport.

In de volgende slides worden voor de verschillende onderzochte scenario's de belangrijkste technische, financiële en juridische aandachtspunten toegelicht.

De belangrijkste conclusies uit het rapport zijn:

- **Liander koppeling op 20 kV onderstation:**
 - > Elektrolyser capaciteit niet hoger dan 60 MW.
 - > Drempelwaarde van 20 MW voor dubbele infrastructuur (en dus ook kosten).
 - > Beperkt de potentiële uitbouwcapaciteit (tot 60 MW).
 - > Afhankelijk van realisatie van het onderstation door Liander.
- **Tennet koppeling op 110 kV hoogspanningsstation:**
 - > Elektrolyser capaciteit minimaal hoger dan 70 MW.
 - > Zou passen bij eventueel groot uitbouwperspectief voor de capaciteit van de elektrolyser.
 - > Relatief duur vergeleken met Liander.
 - > Afhankelijk van realisatie van het hoogspanningsstation door Tennet.
- **Directe aftakking op de 110 kV exportkabel van WPF:**
 - > Veel uitdagingen op technisch, juridisch, vergunningstechnisch en financieel vlak.
 - > Zou een goed alternatief kunnen zijn als de afhankelijkheid van de planning van TenneT en Liander niet haalbaar is.
 - > Verwacht wordt dat er qua regelgeving veel gaat veranderen, waardoor dit een betere optie zou kunnen worden.



Scenario 1 – Windpark Fryslân

- Er loopt een 110 kV kabel van Windpark Fryslân naar Bolsward
- Hier wordt door TenneT een nieuw hoogspanningstation (HS-station) gebouwd
- De exportkabel van WPF kan worden ‘opgeknipt’ zodat er een vertakt tracé richting de elektrolyser kan worden gelegd
- De elektrolyser zal in principe alleen waterstof produceren wanneer het windpark voldoende stroom opwekt
- De mogelijkheid bestaat om aanvullend, via de netaansluiting van WPF, stroom af te nemen van het landelijke elektriciteitsnetwerk
- In de verdere analyse is uitgegaan van alléén een directe verbinding tussen WPF en de elektrolyser

Scenario 1 – Windpark Fryslân

Technische aandachtspunten:

- **Splitsing van de 110kV exportkabel is benodigd.** Dit is een weinig gangbare methode en duurt minimaal 2 weken. Dit kan voor extra kosten zorgen door 'downtime'.
- Er moet een verdeelstation worden gebouwd waar de kabel gesplitst kan worden.
- Twee step-down trafo's nodig om van 110kV naar de 400-700V te komen.
- **Het productieprofiel van WPF varieert.** Wellicht is aanvullende afname van TenneT gewenst (via de netaansluiting van WPF).

Financiële aandachtspunten:

- Ontwikkelkosten: +- €80.000,-
 - ATO aanpassen
 - Vergunningstraject kabels
- **Bouwkosten: €5 – 15 miljoen,-**
 - Splitsen kabel
 - Step-down trafo's (2x)
 - Extra kabeltracé
- OPEX: Nog onduidelijk
 - Aansluitkosten (onderhandeling)
 - Transportkosten (alleen wanneer er ook op TenneT wordt aangesloten).
- **Downtime winter: +- €9 miljoen,- per twee weken**
- **Downtime zomer: +- €6 miljoen,- per twee weken**

Juridische aandachtspunten:

- Weinig (juridische) voorbeelden van vergelijkbaar 'directe lijn' project
- **Aanvullende complexiteit vergunning (i.v.m. splitsing exportkabel en elektrische infrastructuur)**
- **Afhankelijkheid van medewerking WPF. Uitkomst van onderhandelingen nog onduidelijk.**

Scenario 2 – Liander

- Er wordt op dit moment een nieuw MS-station bij Bolsward voorbereid
- Hier komen mogelijkheden voor nieuwe 20kV klantvelden beschikbaar
- De verwachting is dat het MS-station in 2025-2026 gereed is
- De netaansluiting voor de elektrolyser zou dan tevens in 2026 gereed kunnen zijn
- Een tijdige realisatie van de netaansluiting is onzeker i.v.m. een lopende procedure bij RvS over de bouw van het TenneT HS-station.
- Eén klantveld volstaat voor een elektrolyser van max. 20MW. Twee klantvelden zijn benodigd voor meer dan 20MW (tot max. 40MW)
- De mogelijke capaciteit van de netaansluiting in dit scenario sluit goed aan bij de voorziene omvang van de elektrolyser
- Technisch, financieel en juridisch gezien is dit scenario relatief goed uitvoerbaar

Scenario 2 – Liander

Technische aandachtspunten:

- **Onduidelijk wanneer Liander klaar is met het nieuwe MS-station (20kV)**
- Eén klantveld volstaat voor een elektrolyzer met een vermogen tot 20MW. Per klantveld moet er één stepdowntrafo worden gebouwd.
- **De capaciteit van de elektrolyser is moeilijk uit te breiden. Een extra klantveld inclusief kabel is nodig per 20MW aansluitcapaciteit.**

Financiële aandachtspunten:

- Ontwikkelkosten: +/- €155.000,-
 - ATO aanpassen
 - Vergunningstraject kabels
 - Engineeringsofferte
- Bouwkosten: €2.5 – 7.5 miljoen,-
 - Step-down trafo's (1 per klantveld)
 - Extra kabeltracé
 - Klantveld Liander
- **OPEX: Transportkosten bij 20MW (per jaar)**
 - kWcontract: +/- €463.200,-
 - kWmax: +/- €600.000,-

Juridische aandachtspunten:

- **Geen vergunningen benodigd voor elektrische infrastructuur. Doet Liander.**
- **Lopende procedure bij RvS tegen HS-station TenneT vormt een risico voor tijdige oplevering.**
- Er worden verder geen bijzonderheden verwacht.

Scenario 3 – TenneT

- Er wordt op dit moment een nieuw HS-station bij Bolsward voorbereid
- Hier komen mogelijkheden voor nieuwe 110kV klantvelden beschikbaar
- De verwachting is dat het MS-station in 2025-2026 klaar is
- De netaansluiting voor de elektrolyser zou dan tevens in 2026 gereed kunnen zijn
- Een tijdige realisatie van de netaansluiting is onzeker i.v.m. een lopende procedure bij RvS over de bouw van het TenneT HS-station.
- Eén klantveld voor een elektrolyser van minimaal 70MW. De capaciteit (later) uitbreiden is mogelijk zonder extra klantveld.
- Technisch, financieel en juridisch gezien is dit scenario relatief goed uitvoerbaar. Wel moeten t.b.v. de exportkabel zelf vergunningen worden aangevraagd en het zakelijk recht worden gevestigd.

Technische aandachtspunten:

- **Onduidelijk wanneer TenneT klaar is met het nieuwe HS-station.**
- Een klantveld volstaat voor een elektrolyser met een vermogen vanaf 60MW. Per klantveld moeten er twee step-down trafo's worden gebouwd.
- **De capaciteit van de elektrolyzer is makkelijk uit te breiden. Extra klantveld is niet nodig.**

Financiële aandachtspunten:

- **Ontwikkelkosten: +/- €420.000,-**
 - ATO aanpassen
 - Vergunningstraject kabels
 - Engineeringsofferte
- **Bouwkosten: €7.5–12.5 miljoen,-**
 - Step-down trafo's (2x)
 - Extra kabeltracé
 - Klantveld TenneT
- **OPEX: Transportkosten bij 70MW (per jaar)**
 - kWcontract: +/- €1.906.800,-
 - kWmax: +/- €2.343.600,-

Juridische aandachtspunten:

- **Aanvullende complexiteit vergunningen** (i.v.m eigen elektrische infrastructuur)
- **Lopende procedure bij RvS tegen HS-station TenneT vormt een risico voor tijdige oplevering.**
- Zakelijk recht benodigd voor transport bekabeling.

Vraag Waterstof

Verschillende bedrijven in en rondom Bolsward zouden waterstof kunnen gebruiken als alternatief voor aardgas, dit zijn de vier industriële partijen die ook in het vooronderzoek zijn meegenomen als potentiële afnemers van de waterstof. Lokale logistiek kan het gebruik van fossiele brandstoffen verminderen door diesel te vervangen met waterstof. Daarnaast is het exporteren van waterstof via de backbone en/of tube-trailers ook een mogelijkheid.

In de afbeelding hiernaast is een waterstofnetwerk weergegeven die alle afnemers met elkaar verbindt, inclusief een aansluiting naar de beoogde waterstofbackbone (zie p. 31 - 39). De leiding, zonder de aftakking naar de backbone, is bij elkaar zo'n **3 kilometer lang**. Dit is de blauwe lijn tussen de bedrijven, **tot aan de rode streep** ten noorden van Hochwald.

Er zijn een viertal industriële partijen aangehaakt bij dit onderzoek die interesse hebben getoond in het afnemen van waterstof ter verduurzaming van hun aardgas-gedreven processen. In deze processen zal waterstof nodig zijn tussen de **4 en 10 bar**, dit is de aangenomen druk aan de vraagkant.

Rentex : 2,7 miljoen m³ aardgas / jaar

Rentex is één van de grootste industriële wasserijen van Europa, waar de focus ligt op dienstkleding van ziekenhuizen en zorginstellingen. Door het grootschalig warmwaterverbruik van de wasserijen is Rentex een grootverbruiker van aardgas. Op dit moment heeft de stoomketel een verbruikpercentage van 50%, bij drogers ligt dit percentage bij 30% en 10% van het gas wordt gebruikt voor overige processen. Overstappen op waterstof zou goed aansluiten bij de duurzaamheidsambities van Rentex en lijkt daarnaast ook haalbaar te zijn met betrekking tot hun bedrijfsprocessen. Temperaturen binnen het bedrijfsproces van Rentex lopen op tot zo'n **180 °C**.



Vraag Waterstof

Elis Cleanroom : 0,5 miljoen m³ aardgas / jaar

Elis levert diensten in het verhuren, reinigen, repareren en leveren van bedrijfskleding, vloer- en bedrijfshygiëne, cleanroomproducten, poetsdoeken en ongediertebeheersing. In alle processen wordt gebruik gemaakt van gasgestookte stoom. De ambitie van Elis om volledig van het gas af te gaan vormt een sterke drijfveer voor het gebruik van waterstof. Ook in de processen van Elis lijkt waterstof een geschikt alternatief te zijn, omdat het ook hier voornamelijk om stoomvorming gaat ten behoeve van de wasserij. Temperaturen in het proces van Elis lopen op tot zo'n 170 °C.

UCC Coffee : 1,15 miljoen m³ aardgas / jaar

UCC Coffee is gespecialiseerd in de productie van private label koffie en thee. Hoewel het gebruik van gas onmisbaar is bij de koffieproductie, heeft dit als nadeel dat de smaak en geur van gas de koffie beïnvloeden. Naast de duurzaamheidsvoordelen, heeft waterstof in dit specifieke proces nog een voordeel: de afwezigheid van smaak en geur. Dit zorgt ervoor dat de bonen met maximaal smaak / geurbehoud kunnen worden gebrand. Waterstof lijkt hier een perfect passend alternatief. Tijdens de verbranding lopen de temperaturen tot tussen de **200-250 °C**.

Hochwald : 5,7 miljoen m³ aardgas / jaar

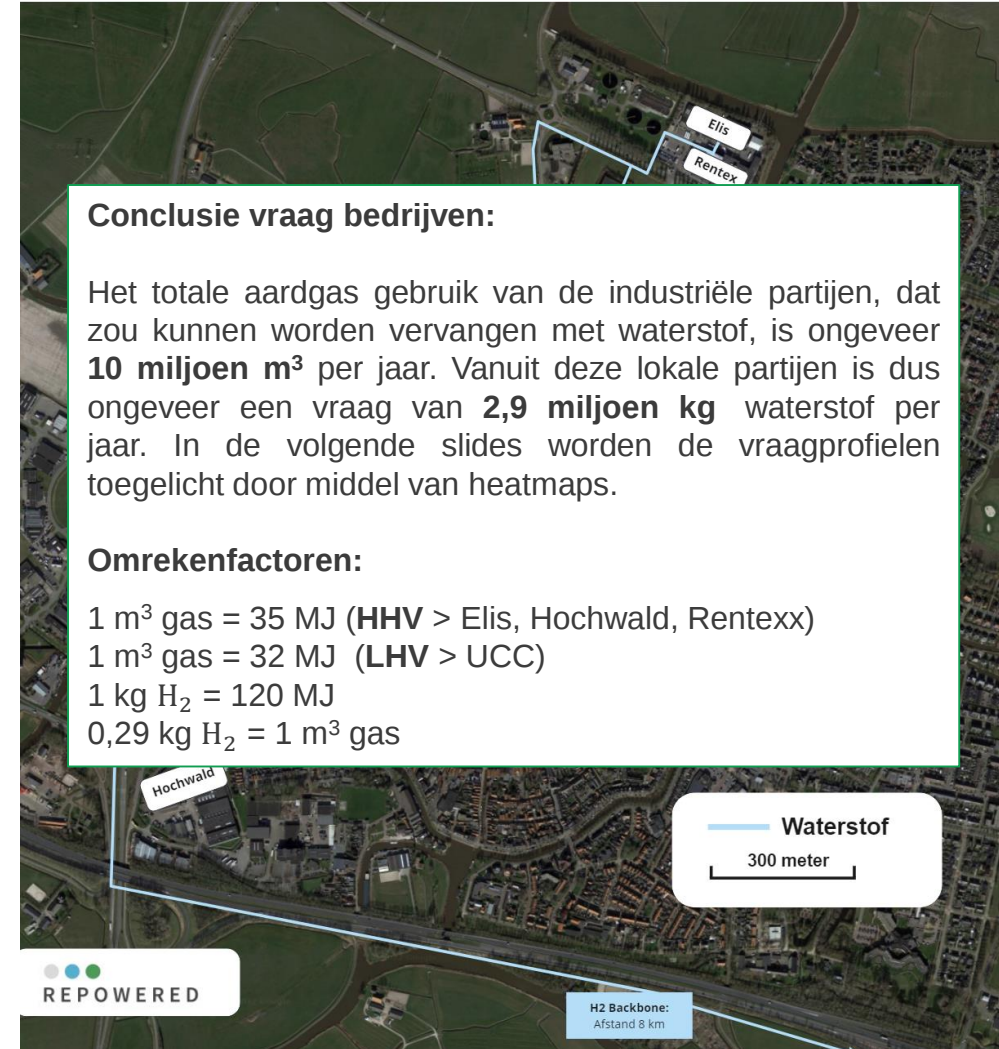
Hochwald produceert hoogwaardige levensmiddelen op basis van zuivel en zij maken binnen hun fabriek ook blikverpakkingen voor hun eigen producten. Omdat Hochwald streeft naar goede kwaliteit en een lange houdbaarheid van de eindproducten, zijn bij de productie aanzienlijke hoeveelheden stoom nodig. Om deze grote hoeveelheden stoom te kunnen produceren, wordt ruim 5 miljoen m³ aardgas per jaar gebruikt. Vermindering van de uitstoot is een grote motivatie om over te schakelen op waterstof. Temperaturen binnen de processen van Hochwald lopen op tot zo'n **180 °C**.

Conclusie vraag bedrijven:

Het totale aardgas gebruik van de industriële partijen, dat zou kunnen worden vervangen met waterstof, is ongeveer **10 miljoen m³** per jaar. Vanuit deze lokale partijen is dus ongeveer een vraag van **2,9 miljoen kg** waterstof per jaar. In de volgende slides worden de vraagprofielen toegelicht door middel van heatmaps.

Omrekenfactoren:

1 m³ gas = 35 MJ (**HHV** > Elis, Hochwald, Rentexx)
1 m³ gas = 32 MJ (**LHV** > UCC)
1 kg H₂ = 120 MJ
0,29 kg H₂ = 1 m³ gas



Vraag Waterstof

Lokale logistiek

Naast toepassing van waterstof in de industrie, kan het ook worden ingezet in de lokale logistiek. Hieronder is een aantal situaties geschetst waar de waterstof op termijn een duurzaam alternatief kan bieden. Er wordt uitgegaan van het aantal bedrijven in de regio Bolsward, deze lijst is samengesteld na een gebiedsanalyse van dergelijke bedrijven.

Type bedrijf	Aantal bedrijven	Jaarlijkse consumptie per bedrijf	Toelichting
Zwaar vrachtverkeer	4	50.000 kg H ₂	10 voertuigen - Gem. 50.000 km/jaar/vrachtwagen 5000 kg H₂ / vrachtwagen
Koeriers	9	10.000 kg H ₂	10 voertuigen - Gem. 5000 km/jaar/koerier bus 1000 kg H₂ / koerier bus
Ongeregeld besloten busvervoer	4	30.000 kg H ₂	10 voertuigen - Gem. 50.000 km/jaar/bus 3000 kg H₂ / bus
Pompstations	1	20.000 kg H ₂	- Gebaseerd op waterstoftankstation in Nieuwegein 5000 tankbeurten - Minimaal 80% gem. tankinhoud personenauto - In de eerste fase wordt uitgegaan van een scenario waarbij één locatie voldoet aan de initiële vraag voor waterstof

N.B. De subcategorieën moeten als een totaal worden beschouwd waarbij geen rekening wordt gehouden met eventuele dubbele telling. Bijvoorbeeld koeriers tanken waarschijnlijk bij het pompstation, terwijl het pompstation ook verkeer buiten de regio trekt. Zie indicatief verbruik hiernaast.

> **Totale potentiële extra vraag uit de lokale logistiek: 430 ton H₂** (= Aantal bedrijven x Jaarlijkse consumptie per bedrijf)

Aannames:

- Personenwagen :1 kg H₂ /100km
- Koeriers bus :2 kg H₂ /100km
- Bus (touringcar) :6 kg H₂ /100km
- Vrachtwagen :10 kg H₂ /100km

Personenwagens tanken op **750 bar**
De andere voertuigen op **500 bar**



Vraag Zuurstof en Restwarmte

Naast waterstof produceert een elektrolyser ook zuurstof en overtollige warmte. Deze producten kunnen mogelijk ook worden benut in regio Bolsward.

Allereerst de toepassing van zuurstof. Hieronder twee groepen die hiervoor interessant kunnen zijn, voor het gebruik van zuurstof is het mogelijk dat de **rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI)** Bolsward hier gebruik van kan maken. Voor het gebruik van de extra geproduceerde warmte is aansluiting op **het Bolsward Noord Warmtenet** een optie.

Zuurstof

Allereerst de productie van zuurstof, dit kan worden benut door de beluchtingsinstallaties van de nabijgelegen **Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Bolsward**. Door zuurstof te gebruiken in deze installatie in plaats van reguliere lucht, wat op dit moment het geval is, kan de installatie significant reduceren in het stroomverbruik van de beluchters.

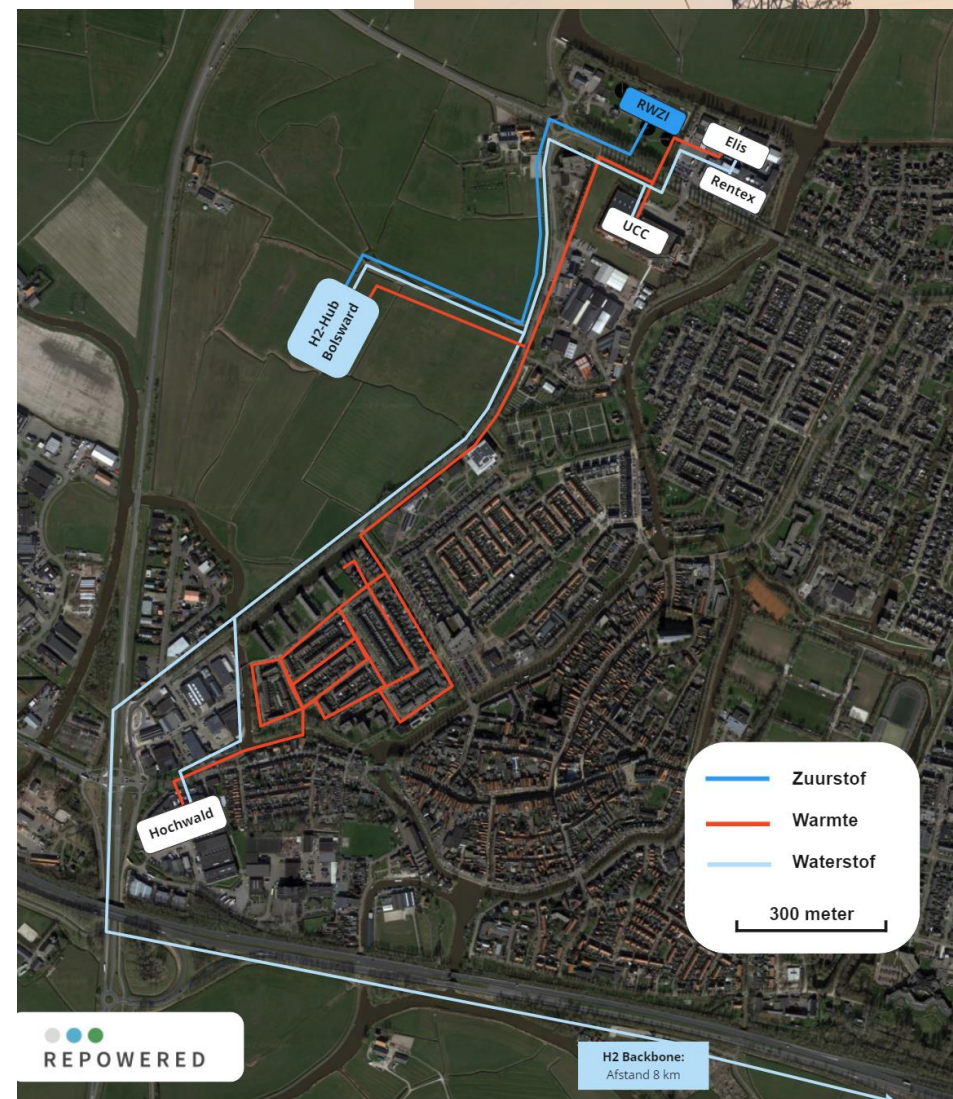
- > De vuistregel die wordt gehanteerd is **5 kg zuurstof reduceert 1 kWh stroomverbruik** voor de RWZI.

De RWZI heeft een totale vraag van zo'n **1,5 miljoen kg zuurstof per jaar**. Het totale reductiepotentieel in hun huidige stroomverbruik is dus grofweg **300 MWh**. In vergelijkbare beluchtingsprocessen wordt vaak grofweg **5 bar** gebruikt, dit zal worden aangenomen als benodigde druk aan de vraagkant.

Restwarmte

Naast zuurstof produceert de elektrolyser ook restwarmte. Deze overtollige warmte kan worden gekoppeld aan het geplande warmtenet **Bolsward Noord**, dit zal verder worden toegelicht in hoofdstuk 2 (zie p. 27).

In de afbeelding hiernaast zijn de potentiële netwerken van warmte, zuurstof en waterstof weergegeven.



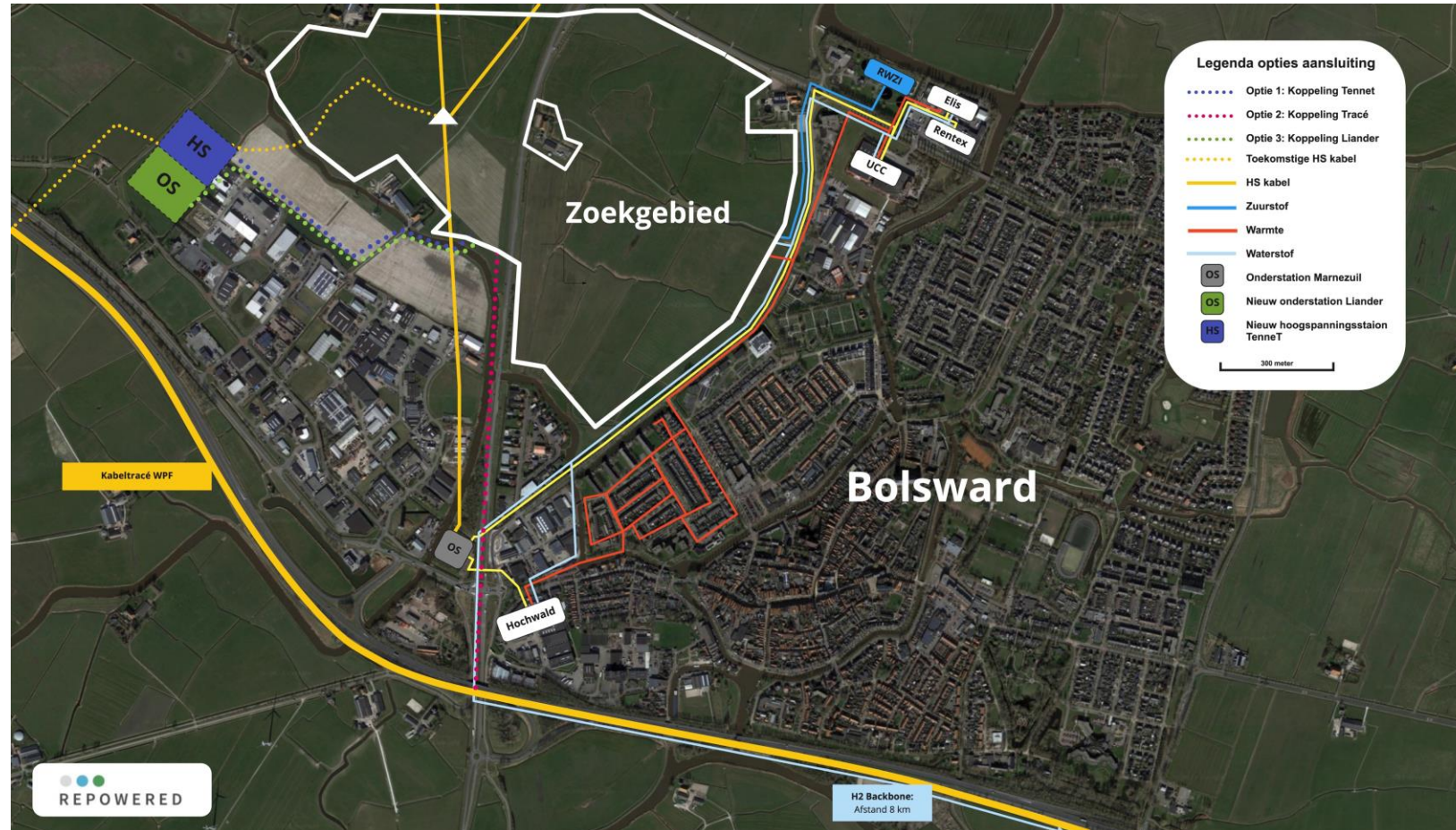
Ruimtelijke aspecten Bolsward

Er wordt in Bolsward nagedacht over de realisatie van een **klimaatpark**, waar verschillende energie- en milieu gerelateerde systemen gebundeld worden tot een groot integraal geheel.

Er zijn binnen dit klimaatpark verschillende zoekgebieden aangewezen voor specifieke systemen, wat concrete richtlijnen geeft voor de mogelijke locatie van de waterstofinstallatie.

Hiernaast het **zoekgebied** wat wij hebben aangewezen voor het waterstofsysteem, kijkend naar de huidige situatie in Bolsward. Dit gebied komt grotendeels overeen met de plannen voor het klimaatpark en zal in een later stadium verder worden onderzocht en gespecificeerd. Ook zijn de andere potentiële systeemcomponenten zichtbaar in deze verzamel-afbeelding.

Het dichtstbijzijnde aansluitingspunt op de waterstofbackbone (zie p. 31 - 39) is regulatiestation Nijland. Tracélengte van een dergelijke leiding, naast de snelweg richting het regulatiestation, zou ongeveer **8 kilometer bedragen**.



2. Lopende Projecten Bolsward

Omschrijving van de lopende energie projecten in Bolsward en de mogelijke koppelingen met de waterstofhub.

Projecten



Warmtenet Bolsward-Noord

Introductie project

Aansluitend op de ambitie van de overheid om in 2050 de gehele gebouwde omgeving aardgasvrij te maken, met als tussenliggend doel 1,5 miljoen woningen in 2030, wil de gemeente Súdwest-Fryslân in 2030 circa 8.000 woningen binnen de gemeente van het gas af hebben. UCC, Elis en Hochwald kunnen hier een belangrijke rol in spelen met behulp van de grote hoeveelheid restwarmte (ruim 85.000 GJ) die zij beschikbaar hebben, maar op dit moment nog niet nuttig inzetten. Rentex heeft besloten niet mee te doen met dit initiatief, omdat zij hun eigen restwarmte wél in kunnen zetten in hun processen.

Technische specificaties

De beschikbare restwarmte van de bedrijven is, op basis van het aanbod, verdeeld in de volgende categorieën:

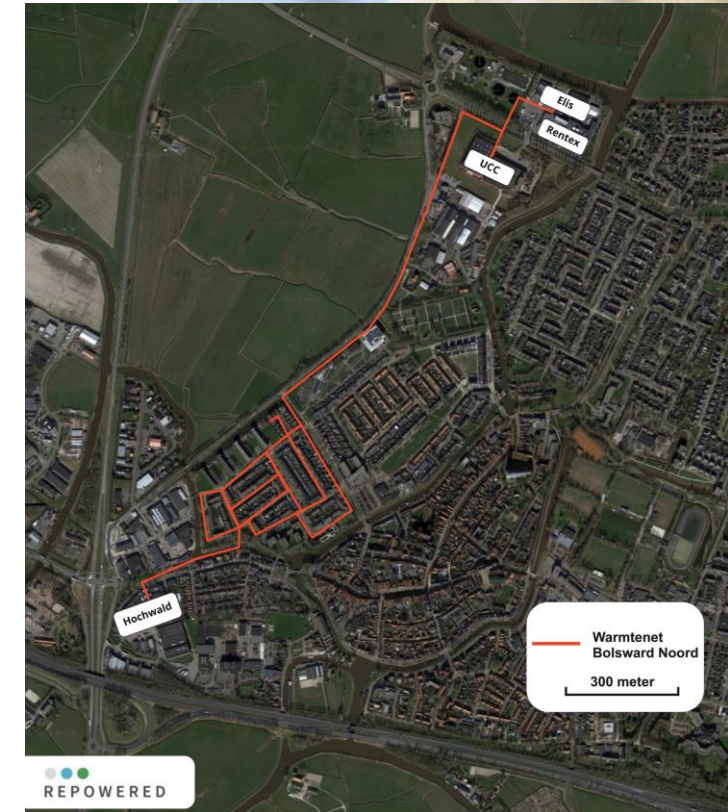
- Laag temperatuur (LT): tot 20 °C (31.305 GJ/jaar)
- Midden temperatuur (MT): 20 tot 70 °C (19.391 GJ/jaar)
- Hoog temperatuur (HT): boven de 70 °C (34.951 GJ/jaar)

De beschikbare restwarmte zou geschikt kunnen zijn voor zowel woningen als bedrijven. Voor woningen is deze warmte voornamelijk interessant voor de koude maanden. Bedrijven kunnen deze warmte het hele jaar door gebruiken voor proceskoeling- en verwarming, maar ook in de koude maanden voor ruimteverwarming. De afbeelding hiernaast laat het geplande warmtenet zien tussen de bedrijven en woonwijk Bolsward Noord.

Naar aanleiding van het haalbaarheidsonderzoek is gekozen voor de warmte die het meest continu, stabiel en op de juiste temperatuur beschikbaar is. Dit betekent dat de laag temperatuur warmte in zijn geheel is afgefallen voor het gebruik voor de nabijgelegen woningen binnen dit onderzoek.

- Restwarmteproductie ~ **51 TJ = 14 GWh**

De aangewezen wijk bevat ongeveer 500 huishoudens die zouden kunnen worden voorzien van deze hoeveelheid restwarmte.



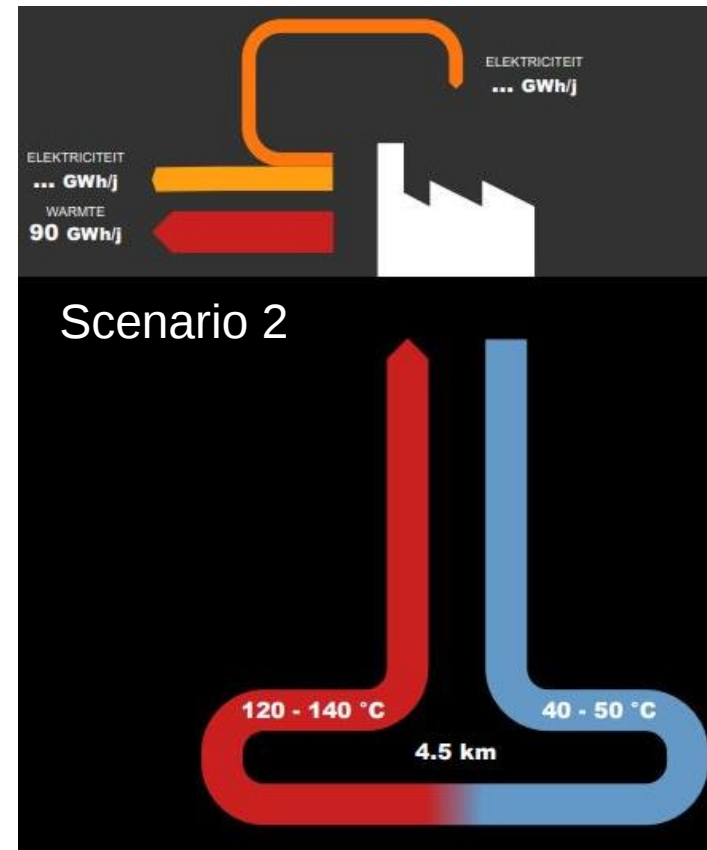
Geothermie (STOGEF)

Introductie project

Ook het gebruik van geothermie vormt een mogelijke kans om de stad van warmte te kunnen voorzien. Op basis van geothermie zouden 10.000 Woningen van het aardgas af kunnen, en Hochwald, Elis en Rentex zouden hun verbruik significant kunnen reduceren. STOGEF verwacht het haalbaarheidsonderzoek najaar 2022 afgerond te hebben. In het voorlopige haalbaarheidsonderzoek zijn twee scenario's geschetst, deze zijn hiernaast weergegeven. Omdat voor dit onderzoek voornamelijk de afname van de restwarmte interessant is, wordt alleen scenario 2 in de volgende slide verder uitgewerkt.

Scenario 1: 3.5 km open

Scenario 2: 4 km gesloten



Afbeeldingen uit 'Geothermie Bolsward – tussenstand 28 juli 2022' door STOGEF & Energielab Fryslân

Geothermie (STOGEF)

Technische specificaties

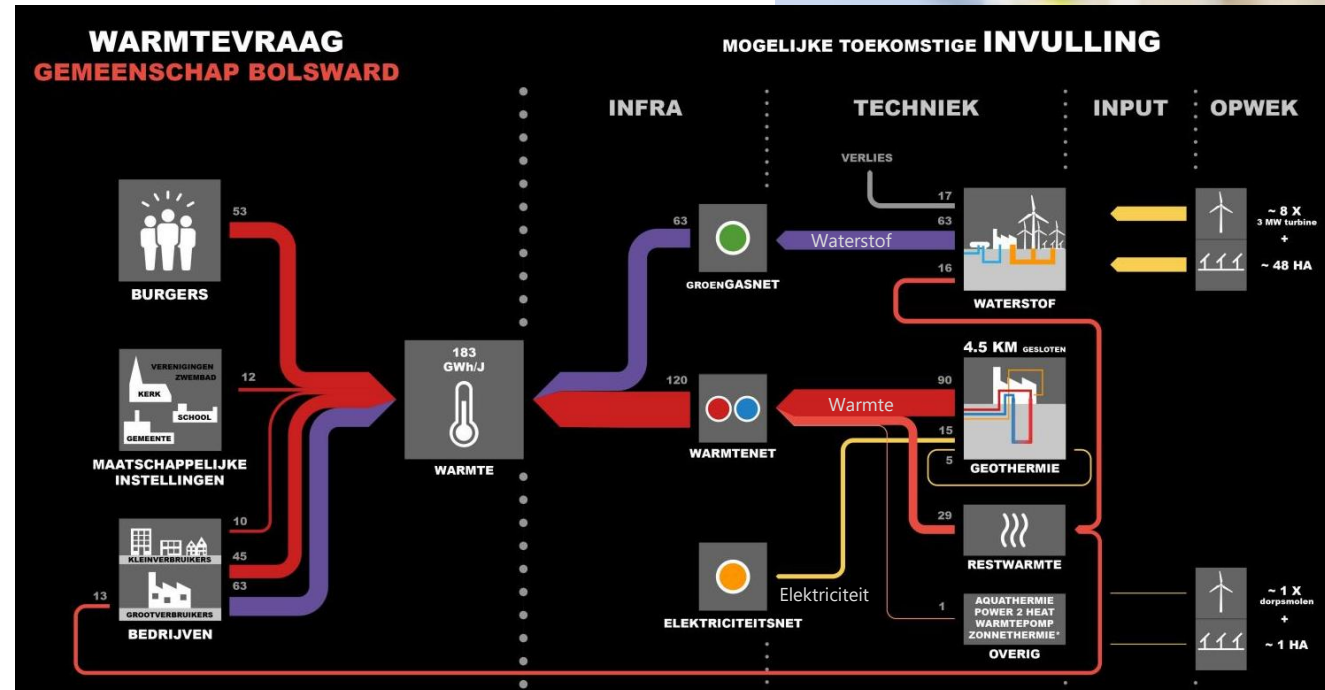
Scenario 2 levert 120 °C warmte en maximaal 45 GWh per jaar voor de grootverbruikers. Hochwald, Elis en Rentex zouden de warmte kunnen gebruiken om gasvraag te reduceren, omdat zij stoom gebruiken in hun processen. Met een verhoogde startwarmte van 120 °C kan de vraagreductie oplopen tot 70%. Gemiddelde watertemperatuur uit een reguliere waterleiding is 13 °C.

- Hochwald en Rentex hebben een doeltemperatuur in de processen van 180 °C:
 - > $120 / (180-13) \sim 72\%$ reductie in te overbruggen temperatuur.
- Elis heeft een doeltemperatuur in de processen van 170 °C:
 - > $120 / (170-13) \sim 76\%$ reductie in te overbruggen temperatuur.

Omdat er een beperkte hoeveelheid warmte beschikbaar is, kan er niet altijd 120 °C als starttemperatuur worden aangenomen in de processen. Daarnaast is het op temperatuur brengen van stoom geen lineair proces ten opzichte van de benodigde energie.

In de oude situatie, zonder verhoogde starttemperatuur, wordt in totaal zo'n 90 GWh energie verbruikt door deze drie partijen bij elkaar. Er is aangenomen dat er zo'n **50% reductie** plaatsvindt bij alle drie de bedrijven wanneer de starttemperatuur naar 120 °C wordt gebracht met 45 GWh warmte uit de geothermiebron. Het totaalplaatje van het proces is hiernaast weergegeven.

Aanname: 50 % vraagreductie per uur bij Hochwald, Elis en Rentex



Afbeelding uit 'Geothermie Bolsward – tussenstand 28 juli 2022' door STOGEF & Energielab Fryslân

Lessons learned andere projecten

Er zijn een aantal projecten waar kennis en lessen uit worden gehaald voor Spoor A:

¹ GROHW fase 1 – Deventer Onderzoekstraject

Onderzoekstraject uitgevoerd voor de Provincie Overijssel, waarbij Deventer als pilot locatie wordt onderzocht voor de uitrol van een energiehubs met de focus op **GR**een **O**xigen, **H**ydrogen, en **W**aste heat.

• Take-aways:

- Opsplitsing van de keten in 4 onderdelen: Input, conversie, output en utilisatie.
- Afwegingskader voor de distributiemethodiek.
- Utilisatie reststromen (zie afbeelding hiernaast) met benodigde componenten.

² Sinnewetterstof – Oosterwolde Gerealiseerd

Waterstofproductie installatie met een 1,3 MW Alkaline elektrolyser, waarbij waterstof direct wordt geproduceerd uit nabijgelegen zonnestroom. Deze installatie is operationeel maar er zijn nog de nodige problemen om het systeem naar behoren te laten draaien.

• Take-aways:

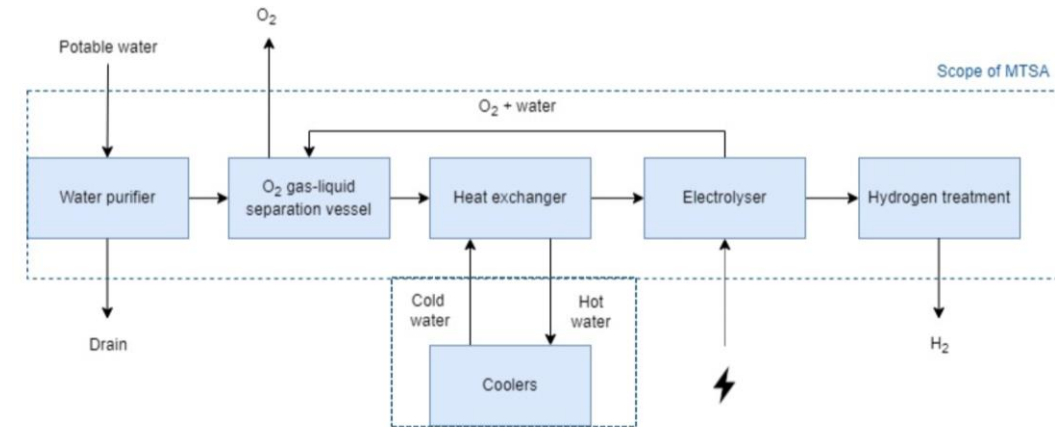
- Specifieke componenten waterstofproductie-systemen.
- Kostenindicaties van specifieke componenten.

H₂ Hollandia – Nieuw-Buinen In ontwikkeling

Ontwikkeling van een waterstofproductie installatie met een 5 MW PEM elektrolyser die puur op zonnestroom draait. Dit project heeft op het moment een voorlopige omgevingsvergunning verkregen.

• Take-aways:

- Specifieke richtlijnen vergunningseisen waterstofsysteem.
- Opzet en componenten die gebruikt kunnen worden voor de business cases.



GROHW – fase 1 overzicht van systeemcomponenten voor restroom utilisatie.

3. Waterstofsystmen

Definities, eisen en randvoorwaarden voor productie van groene waterstof en beschrijving van de daarbij horende systemen.

Waterstof



Het waterstofsysteem

Waterstofinstallaties bestaan uit verschillende componenten die kunnen worden opgedeeld in drie categorieën: **Conversie, behandeling en controle**. De elektrolyser is het centrale component in dit systeem, hierin wordt de waterstof geproduceerd.

Conversie componenten:

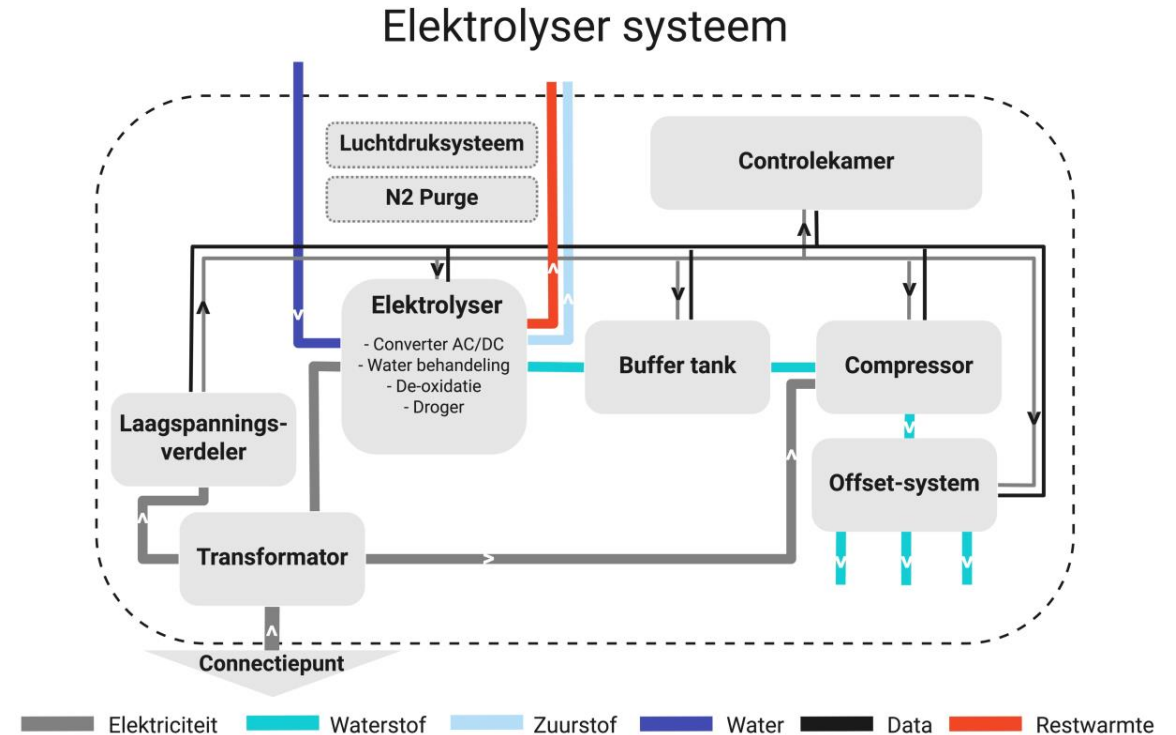
- **Connectiepunt:** Aansluiting volgens de specifiek aansluitmethode.
- **Transformator:** (Step-down) Transformator.
- **Elektrolyser:** Conversie elektriciteit + water > waterstof + zuurstof en bevat meerdere geïntegreerde componenten.

Behandel componenten:

- **Buffertank:** Buffering van waterstof voor het stabiel draaien van de compressor.
- **Compressor:** Waterstof uit de elektrolyser op de gewenste (offset) druk brengen.
- **Offset- / exportsysteem:** Afhankelijk van het type afzet moet er een systeem komen.
- **N₂ purge-systeem:** Veiligheidssysteem om waterstof te neutraliseren bij lekkages.
- **Luchtcompressor:** Bediening van alle kleppen in het systeem.
- **Uitkoppelsysteem warmte:** Platenwarmtewisselaar bij restwarmte output.¹
- **Uitkoppelsysteem zuurstof:** Nog onbekend wat voor systeem hier nodig is.

Controle componenten:

- **Laagspanningsverdeler:** Voorzien van alle componenten met laagspanning.
- **Master control room:** Centrale controlekamer waarin alle data samenkomt.



¹ le Coultre, F. S. (2022). *Utilisation of Heat Released During the Production of Green Hydrogen Using Alkaline Electrolysis*. <http://repository.tudelft.nl/>.

De elektrolyser techniek

Er zijn op dit moment zijn er 4 typen elektrolyzers op de markt. Deze typen berusten op verschillende chemische processen en maken gebruik van verschillende materialen:

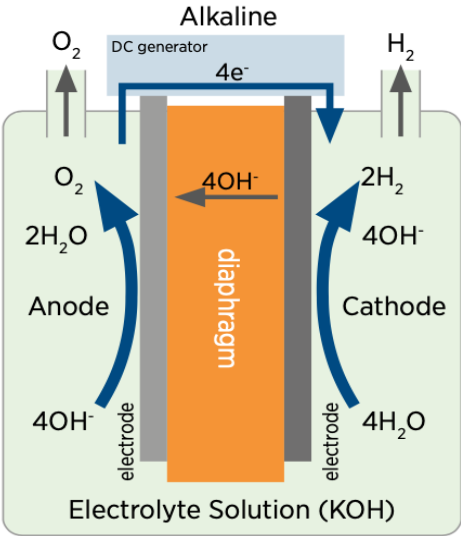
- **Solid Oxide Cell (SOC /SOEL) & Anion Exchange Membrane (AEM)** elektrolyzers zijn nog niet op de markt op MW schaal.
- **Alkaline (AEL)** en **Proton Exchange Membrane (PEM / PEMEL)** elektrolyzers zijn op MW schaal op de markt en zijn daarom relevant voor dit project.

³ De AEL en PEM elektrolyzers zijn gebaseerd op fundamenteel verschillende technieken en hebben daarom ook afwijkende eigenschappen:

Alkaline elektrolyser

Grootste operationele installatie: 10 MW, Japan

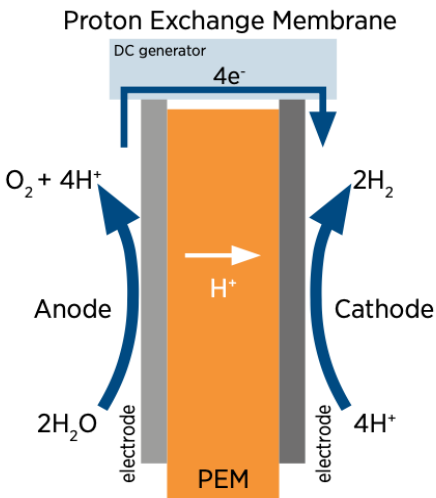
Voordelen	Nadelen
Volwassen technologie	Langzame start-up time (uren)
Relatief goedkoop (1.000-1.400€/kWe)	Lagere uitgaande druk (10-30 bar)
Levensduur (>80.000 vollasturen)	Langzame op-/afschakeling (minuten)
Hoge efficiëntie (63-71%)	Bepaalde operationele range (20-100%)



PEM elektrolyser

Grootste operationele installatie : 20 MW, Canada

Voordelen	Nadelen
Hoge productiesnelheid	Minder praktijkervaring
Snelle op-/afschakeling mogelijk (seconden)	Relatief duur (1.300-1.800€/kWe)
Volledige operationele range (0-100%)	Lagere efficiëntie (60-68%)
Snelle start-up time (minute)	Levensduur ~ 60.000 vollasturen



PEM elektrolyser-technologie past beter bij de koppeling aan hernieuwbare energiebronnen door de snelle reactietijd en grote operationele range.

PEM elektrolyzers

Er zijn veel verschillende fabrikanten die PEM elektrolyzers op MW schaal produceren. Afhankelijk van de fabrikant, en de specifieke systeemopzet die deze partij heeft gekozen, heeft een PEM elektrolyser bepaalde eigenschappen. Voor de optimalisatie van de systeemcomponenten in Bolsward zijn specificaties aangenomen van de PEM elektrolyser. Deze specificaties zijn gebaseerd op literatuur, spec-sheets van verschillende fabrikanten en praktijkervaring uit andere waterstofprojecten. Onderstaande de aangenomen specificaties van de PEM-elektrolyser in het optimalisatie model:

Specificatie	Aangenomen waarde PEM
Specifiek gebruik elektriciteit	54 – 58 kWh / kg H ₂ (dynamisch met load)
Specifiek gebruik water	15 L / kg H ₂
Koude start-up tijd	10 minuten (verwaarloosbaar)
Warme start-up tijd	1 minuut (verwaarloosbaar)
Operationele range	5% - 100%
Levensduur	60.000 vollasturen
Degradatie	0,05 % per jaar
Investeringskosten (CAPEX)	900 €/kW (IRENA schatting 2026)
Operationele kosten (OPEX)	2,8 % * CAPEX
Input voltage	400 – 700 V Gelijkstroom (DC)

Specificatie uitkoppeling	Aangenomen waarde PEM
Bijproduct zuurstof	7,9 kg / kg H ₂
Bijproduct restwarmte ^{4, 5}	17% van input energie
Uitgaande druk waterstof	30 - 50 bar
Samenstelling afvalwaterstroom	66% ingedikt drinkwater (met de natuurlijke mineralen)
Puurheid waterstof	> 99,99 %

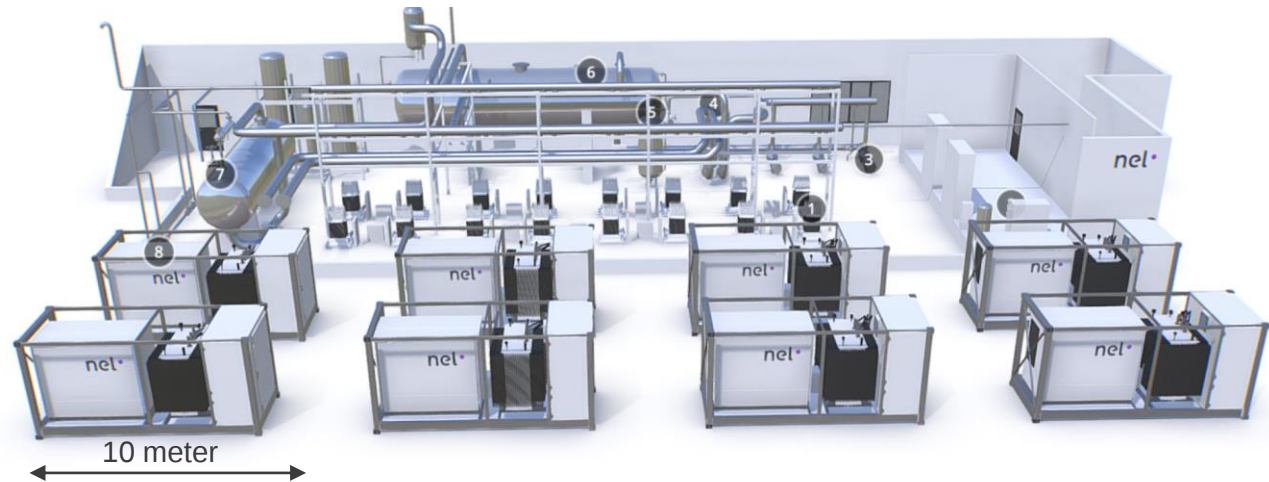
^{4, 5} Restwarmte elektrolyser (~40%) inclusief verlies op een warmtewisselaar (50%) en een aantal procent verlies in leidingen (~3%). Le Coultre (2022) en Tiktak (2018).

⁶ Eurowater.com

Ruimtelijke aspecten waterstofsystmen

Waterstofinstallaties hebben een ruimtelijke impact die grotendeels afhankelijk is van de dimensionering van de elektrolyser. Onderstaand is een afbeelding weergegeven van een 20 MW PEM-elektrolyser systeem met een totaaloppervlak van zo'n 0,3 hectare. In de onderstaande tekening zijn getallen weergegeven bij alle systeemcomponenten **die zijn geïntegreerd in elektrolysers**⁷. Hieronder per getal welk component wordt bedoeld:

1. Cel stacks
2. Controlekamer
3. Circulatie pomp
4. Water demineralisatie
5. Warmtewisselaar
6. Zuurstof gas seperator
7. Waterstof gas seperator
8. Transformator stations + omvormer



Zoals beschreven in slide 32, bestaat het waterstofsysteem uit meer dan alleen de elektrolyser componenten. De andere componenten hebben ook een ruimtelijke impact, waardoor de totale installatie groter zal worden dan het bovengenoemde voorbeeld. Deze componenten schalen ook grotendeels mee met de elektrolyser capaciteit:

- Potentiële waterstofopslag voor het matchen van vraag & aanbod
- Compressor met bijbehorende buffering
- Offset systeem met ofwel pijpleidingen naar de bedrijven, ofwel vulstations voor tube-trailers
- Bekabeling naar het aansluitpunt
- Master control ruimte
- Veiligheidssystemen

De bovenstaande componenten zullen bij elkaar ongeveer twee keer zoveel ruimte in beslag nemen als de elektrolyser zelf, waarbij we uitkomen op grofweg **1 hectare voor een totaalsysteem van 20 MW**. Een dergelijk systeem zal hoogstwaarschijnlijk **in een verzamelhal** moeten worden gerealiseerd, wat weer een andere ruimtelijke impact heeft op de omgeving. Deze aanname is altijd nog afhankelijk van de specifieke systeemopzet (zoals opslagcapaciteit).

Certificering groene waterstof

Juni 2022 publiceerde de Europese Commissie een gedelegeerde handeling waarin er Europese richtlijnen/regelgeving wordt voorgesteld bij de kwalificering van 'hernieuwbare' of 'groene' waterstof. Specifiek valt deze regelgeving onder Artikel 27(3) van de Renewable Energy Directive (RED) II. September 2022 zijn een aantal wijzigingen aangebracht ten aanzien van de gedelegeerde handeling. De aangenomen RED II beschrijft de certificeringseisen voor groene waterstof in Europa, wat uiteindelijk ook zal gelden als de Nederlandse richtlijn voor bijvoorbeeld het krijgen van subsidies:

1. **Additionaliteit stroombron:** Elektrolyser mag niet later dan 3 jaar in gebruik worden genomen na de hernieuwbare stroombron. Zit er meer dan 3 jaar tussen, dan wordt de stroombron niet als additioneel gezien.
2. **Subsidieloos:** De hernieuwbare stroombron mag niet gesubsidieerd zijn, dit geldt zowel voor investeringssubsidies als voor exploitatiesubsidies.
3. **Achter de meter:** direct aansluiten van een elektrolyser op een stroombron door middel van een directe om gelijktijdige productie te garanderen.
4. **Via het net:** Er mag via het net elektriciteit worden afgenomen, zolang aan **één van de volgende eisen** wordt voldaan:
 - **Temporele correlatie op maandbasis:** De elektrolyser productie is maandelijks beperkt tot de hoeveelheid geproduceerde energie van de gecontracteerde stroombron in dezelfde maand. Dat betekent dat het waterstofsysteem vrij is uren te kiezen om waterstof te produceren, zolang aan het einde van de maand de hoeveelheid geconsumeerde stroom gelijk is aan de geproduceerde stroom bij de gecontracteerde stroombron.
 - **Lage prijzen:** Produceren als de een uurprijs van elektriciteit resulterend uit een enkele day-ahead markt coupling in de biedzone lager of gelijk is aan 20 €/MWh lager is dan 0,36 keer de CO₂ prijs per ton.
 - **Onbalans:** Produceren tijdens een onbalans settlement waarop via TenneT kan worden bewezen dat hernieuwbare energiebronnen zijn afgeschakeld, waarbij de productie wordt beperkt tot de hoeveelheid stroom dat is afgeschakeld.
5. **Geografische correlatie:** De elektrolyser moet binnen dezelfde biedingszone voor elektriciteit liggen als de stroombron.

Echter zijn er een aantal belangrijke uitzonderingen op de bovenstaande regels die gelden voor installaties **die vóór 01-01-2027 operationeel zijn**:

- Voorwaarde 1 & 2 gelden in z'n geheel niet voor netgekoppelde elektrolyzers, het is dan dus mogelijk een 3 jaar oude stroombron te contracteren die wel is gesubsidieerd;
- Voorwaarde 4 geldt tot en met 31 december 2030 niet op maandbasis, maar op kwartaalbasis.

Disclaimer RED II:

Er zijn veel partijen die het oneens zijn met de beslissing over temporele correlatie op maandbasis. Daarom wordt er veelvuldig gesproken over het aanpassen van deze regeling naar uurbasis matching in RED III.

In dit onderzoek gaan we nog steeds uit van maandbasis matching.

Distributie & Opslag

Om de vraag en het aanbod van waterstof bij elkaar te brengen moeten er verschillende distributie-opties worden overwogen. De twee mogelijke opties om waterstof te transporteren zijn via een **pijpleiding** of via wegtransport met **tube-trailers**.

Transport via pijpleidingen houdt in dat waterstof op een druk van zo'n **30-50 bar** onder de grond wordt verplaatst van productie- naar de consumptie-locatie in een **kunststof pijpleiding**. Hiernaast zijn de kengetallen weergegeven die worden gebruikt voor het inschatten van de kosten van de pijpleiding².

Tube-trailers zijn vrachtwagens die achterin opgestapelde opslagtanks (tubes) hebben waar zo'n 500 kg waterstof op een druk van **300 bar** kan worden vervoerd over de weg. Gebaseerd op gesprekken met tube-trailer partijen, worden de kosten voor het transporteren van waterstof op zo'n **1 € per kg** geschat. Natuurlijk is hier nog wel een afhankelijkheid van de afstand tussen afnemer en producent, voor het gemak nemen we 1 € per kg aan.

Er zijn een aantal belangrijke criteria die moeten worden meegenomen om de juiste keuze van transport te maken:

- **Benodigde druk aan de consumptie kant:** Als de consumptie kant waterstof op een lage druk nodig heeft (1-50 bar) dan is dat een voordeel voor de pijpleiding optie, want tube-trailer transport vraagt een compressie stap naar minimaal 300 bar, wat weer extra kosten met zich meebrengt.
- **Afstand tussen productie- & consumptie-site:** Als de waterstof over langere afstanden moet worden vervoerd, dan wordt de tube-trailer optie interessanter.
- **Tussenliggend oppervlakte** (grasveld, weg, rivier, gebouwen, etc.): Is er weinig open ruimte tussen de productie- en consumptie-site, dan wordt een pijpleiding leggen erg duur en worden tubetrailers interessanter.
- **Modulariteit / flexibiliteit systeem:** Indien het systeem flexibel om moet kunnen gaan met de vraag en het aanbod van waterstof, waarbij er mogelijk nieuwe afnamepartijen bij kunnen komen en andere partijen weg kunnen gaan, dan is een tube-trailer optie geschikt. Pijpleidingen kunnen moeilijker worden uitgebreid of verlegt dan tube-trailer routes.
- **Totaalproductie waterstof:** Als het aantal vollasturen van de elektrolyser hoger wordt, of er een baseload vraagprofiel ontstaat, dan wordt het gebruik van pijpleidingen interessanter. Een hoger aantal uren of kilo's waterstof transporteren brengt bij wegtransport extra kosten met zich mee, bij pijpleidingen niet.

Pijpleidingen	Eenmalige kosten
Leiding onder wegen	€1.300 / m
Leiding onder grasveld / langs de weg	€650 / m



Distributie & Opslag

Om vraag en aanbod aan elkaar te koppelen moet er niet alleen transport van waterstof plaatsvinden, ook moeten de vraag- en aanbodprofielen op elkaar worden afgestemd. Er zijn verschillende manieren om de profielen op elkaar af te stemmen:

Vraagsturing

Het sturen van de vraag naar waterstof aan de hand van het aanbod, ook wel *demand response (DR)*. In de situatie van het industriële cluster in Bolsward is deze optie niet of nauwelijks mogelijk omdat de verbruikers vaak continue processen hebben die geen rekening houden met seizoen verschillen die optreden in de opwekprofielen van hernieuwbare energiebronnen.

Aanbodsturing

Het sturen van het aanbod in waterstof aan de hand van de vraag, of aan de hand van marktwerking op de energiemarkt, is op verschillende manieren mogelijk. Indien de installatie is aangesloten op het openbare net kan er door middel van **flexibele power purchase agreements (PPA's)** stroom worden ingekocht op momenten dat de stroomprijzen gunstig zijn, binnen de grenzen van het certificeren van groene waterstof. Ook is het mogelijk op voorhand **verschillende stroombronnen** te contracteren via vaste PPA's, waarbij de combinatie van verschillende bronnen ervoor zorgt dat er een gebalanceerd aanbodprofiel kan ontstaan. Indien de waterstofinstallatie met een **directe lijn** wordt gekoppeld aan een stroombron, zonder tussenkomst van het net, is er geen flexibiliteit in de productie mogelijk. De elektrolyser zal in die situatie alleen waterstof produceren als er stroom wordt geproduceerd door de stroombron.

Opslag

Het tijdelijk opslaan van overschotten in het waterstofaanbod, voor momenten waarop de vraag groter is dan het aanbod. De opslag van waterstof kan bovengronds plaatsvinden in op druk gebrachte tanks. Als we uitgaan van bovengrondse tanks op 60 bar, kan als uitgangspunt worden gebruikt dat **per ton opgeslagen H₂ er zo'n 0,7 M€** moet worden betaald. Dit is een erg prijzige optie die daarbij ook nog eens veel ruimtelijke impact met zich mee brengt.

Voor ondergrondse opslag geldt dat er nog veel onzekerheden zijn en vrijwel geen praktijkvoorbeelden. We laten ondergrondse opslag daarom buiten de scope van dit project.



Distributie & Opslag

Backbone

Gasunie heeft concrete plannen voor het realiseren van een waterstofbackbone, daarbij wordt een gefaseerde aanpak gehanteerd. Fase 1 bestaat uit het realiseren van de westelijke tak van de backbone tussen Rotterdam en de Eemshaven (zie afbeelding hiernaast). Deze waterstofleiding wordt verwacht 2025/2026 operationeel te zijn en zal vlak langs Bolsward komen te liggen.

Verschillende gesprekken zijn gevoerd met Gasunie om de voorwaarden voor aansluiting op deze backbone te achterhalen, daar zijn de volgende resultaten uitgekomen:

- Er komt een aparte waterstofleiding parallel op het bestaande gasnet > **Geen H₂ met aardgas mixen**
- Specificaties waterstof in leidingen:
 - **Concentratie:** 98% pure H₂
 - **Operationele druk:** 30 – 50 bar (g)
 - **Temperatuur:** gas 5 – 50 °C
- 3 opties voor aansluitingen op de backbone
 - Nieuwe leiding aanleggen
 - Bestaande leiding omzetten
 - Combinatie nieuwe en oude leiding

Specs H ₂ leiding	
Concentratie H ₂	98%
Operationele druk range	30 - 50 bar(g)
Temperatuur	5 – 50 °C

Als er in Bolsward wordt gekozen voor een aansluiting op de backbone, dan geldt dat er een **nieuwe leiding zal moeten worden aangelegd**, omdat er maar één enkele gasleiding gaat van regulatiestation Nijland (dichtstbijzijnde aansluiting op backbone) naar Bolsward. Zoals eerder genoemd zou deze lengte van deze leiding vanaf het zoekgebied **8 kilometer** bedragen.

De financiële aspecten van de aansluiting op de waterstofbackbone zullen in een latere fase aan bod komen. Bovenstaande gegevens zijn direct van Gasunie verkregen op juli 2022.

Fase 1

Operationeel 2025/2026 >> **2030**



Update november 2022:

Een kamerbrief op 17 november 2022 bevestigt dat er uitstel is aangevraagd door Gasunie voor de leiding tussen Wieringermeer en Tjochem (**A** naar **B**) tot **2030**. Dit in verband met ontwikkelingen in de gasmarkt en de verantwoordelijkheden voor het transport van aardgas richting Duitsland. [link](#)

4. Opstellen randvoorwaarden

Overzicht van alle randvoorwaarden die komen uit de situatiebeschrijving, lopende projecten en systeembeschrijving.

Randvoorwaarden

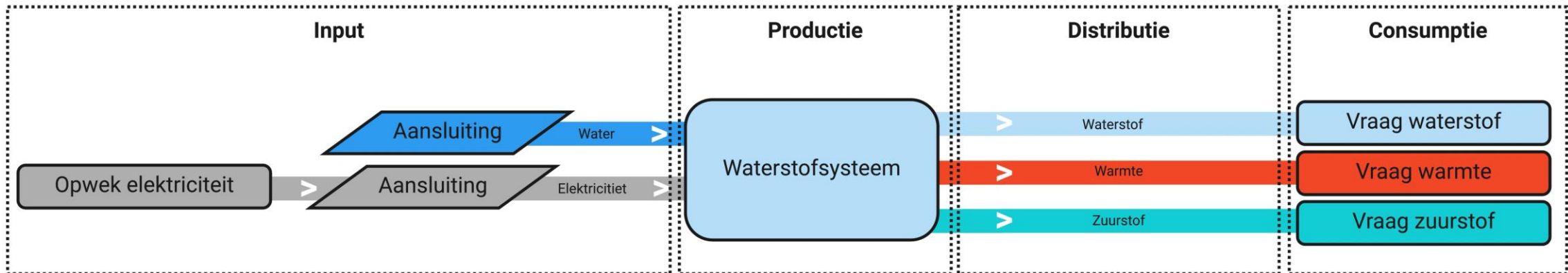


Randvoorwaarden overzicht

Om de systeemscenario's vast te stellen worden randvoorwaarden gedefinieerd voor de verschillende onderdelen van de Waterstofhub:

- **Input**
 - > Opwek elektriciteit
 - > Aansluiting elektriciteit
 - > Aansluiting water
- **Productie**
 - > Ruimtelijk
 - > Certificering
 - > Componenten
- **Distributie**
 - > Waterstof
 - > Restwarmte
 - > Zuurstof
- **Consumptie**
 - > Waterstof
 - > Restwarmte
 - > Zuurstof

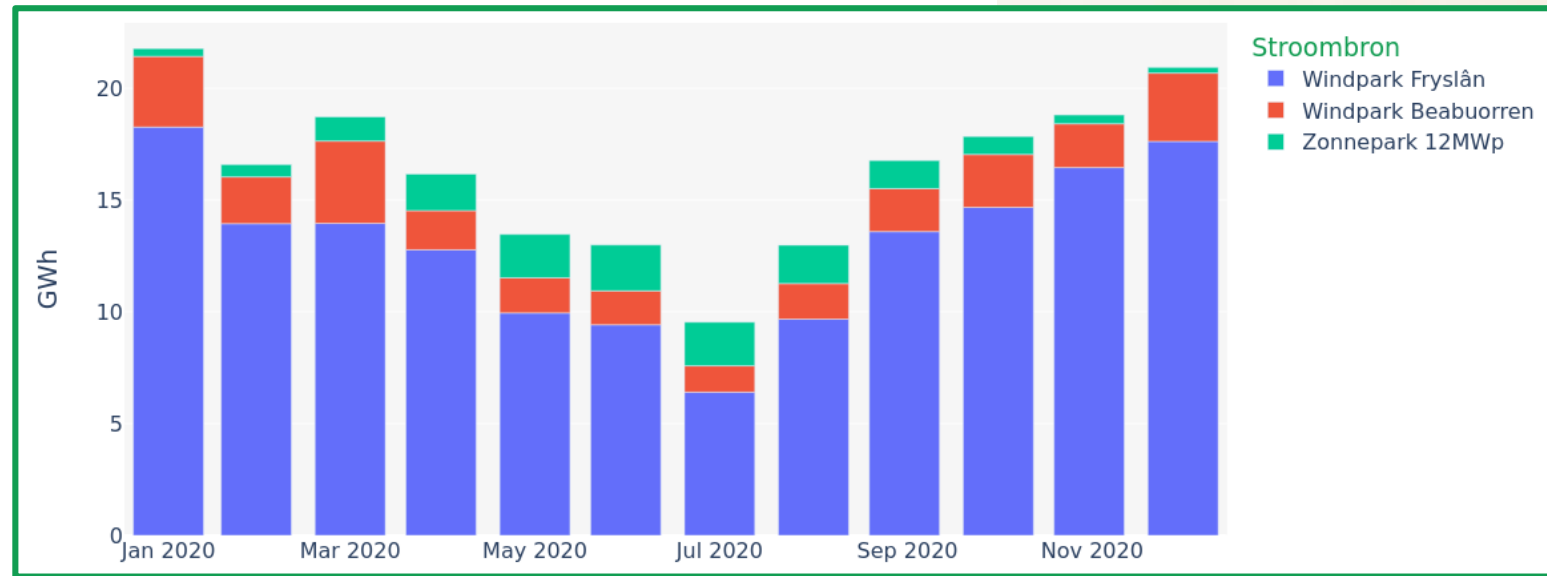
Onderstaand een schematisch overzicht van het systeem en de verschillende randvoorwaarden die worden vastgesteld:



Randvoorwaarden inputs

Elektriciteit input

- Duurzame **opwekcapaciteit** uit de omgeving stelt energie beschikbaar voor de installatie (per jaar):
 - > **Windpark Fryslân:** 150 GWh
 - > **Windpark Beabuurren:** 34 GWh
 - > **Zon-PV potentie in regio:** 37 GWh
- Opwekbronnen moeten **op maandbasis gematched** worden volgens waterstofcertificeringseisen:
 - > In de staafdiagram hiernaast is de maandelijks beschikbare stroom weergegeven voor de aanwezige stroombronnen (zon-PV = 12 MWp).

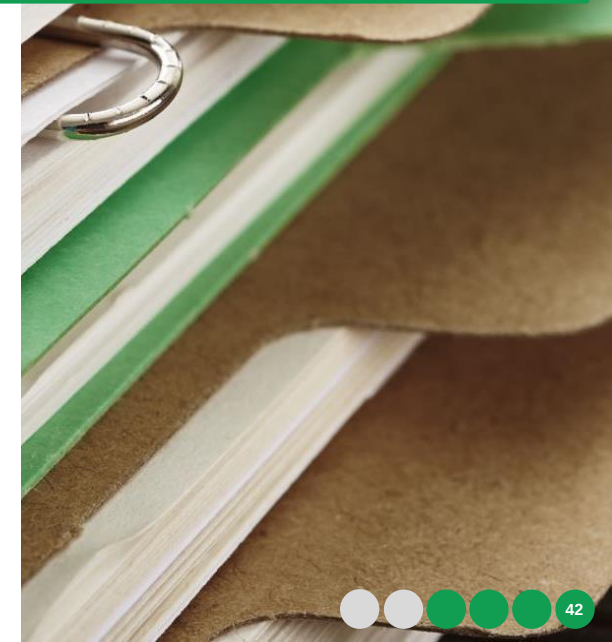


Elektriciteitsaansluiting

- **Voorkeursroute voor de aansluiting is op Liander**, dat zorgt voor de volgende randvoorwaarden:
 - > Koppeling met Liander kan **niet groter dan 60 MW zijn**.
 - > Indien mogelijk, onder de **35 MW** blijven, om dubbele infrastructuur (bijvoorbeeld transformatoren, aansluitingen, kabels) te voorkomen.

Wateraansluiting

- Kraanwater aansluiting bij **Vitens** is nodig, alle zuiveringsstappen vinden plaats binnen het elektrolyser-systeem:
 - > **Watervraag per kg H₂ = 15 Liter**.
 - > Dat betekent **per MW capaciteit** een aansluiting nodig is die grofweg **300 L per uur** aankan.
 - > Vitens heeft standaardaansluitingen voor zakelijke gebruikers tot **200.000 L per uur**.



Randvoorwaarden consumptie

Waterstofvraag

- Totale vraag van de 4 industriële partijen (**4-10 bar**)
 - > **2,9 miljoen ton H₂**. (Normale situatie)
 - > **1,6 miljoen ton H₂**. (Gereduceerde vraag door Geothermie scenario 2)
 - > Hiernaast een samenvatting van de vraagprofielen van de vier industriële partijen, over verschillende tijdseenheden (dag, maand en jaar). Deze profielen horen bij de normale situatie en zijn dus zonder vraagreductie gevisualiseerd.
 - > **Security of supply** kan worden gegarandeerd gebruikmakend van bijmenging van aardgas via de bestaande infrastructuur.
- Totale potentiële waterstofvraag lokale logistieke bedrijven en mobiliteit (**500 – 750 bar**):
 - > **430 ton H₂**.
 - > Aangenomen profiel is vlak door ontbreken profielen.

Warmtevraag

- Totale potentiële warmtevraag uit de omgeving:
 - > **65 GWh = 234 TJ**
 - > Bestaande uit de vraag bij de 'Burgers' en 'Maatschappelijke instellingen' (zie slide 22, afbeelding STOGEF).
 - > Geen specifieke randvoorwaarden meegenomen als het gaat om vraagprofielen.

Zuurstofvraag

- Totale vraag RWZI (op **5 bar**):
 - > **1.5 miljoen kg O₂**.
 - > Geen specifieke randvoorwaarden meegenomen als het gaat om vraagprofielen

Randvoorwaarden distributie

Waterstof

Om de meest geschikte distributiemethode te vinden wordt gekeken naar de eerdergenoemde criteria voor bepaling van de voorkeursroute van waterstofdistributie.

Criteria	Toelichting
Drukverschil	Productielocatie op 30 bar, consumptie tussen de 4 en 10 bar. Drukverschil is dus negatief, waardoor op druk brengen voor vervoer niet wenselijk is.
Afstand	Totale afstand tussen de aangenomen productielocatie en consumptielocaties. Bij elkaar zo'n 3.000 m leiding, relatief kleine afstanden.
Tussenliggend oppervlakte	Tussen de productielocatie en consumptielocatie ligt veel open ruimte en weinig obstakels, dit is gunstig voor de aanleg van leidingen.
Modulariteit	Systeem moet modulair worden opgezet om een potentiële toekomstige vraag te kunnen invullen, maar bij de bedrijven wordt geen grotere vraag verwacht. Molariteit in het beoogde transportnetwerk niet direct nodig, mogelijke uitbouw met tubetrailer-stations blijft mogelijk.
Totaalproductie	Omdat de waterstof wordt toegepast in industriële processen, vraagt dit om een vrijwel constante aanvoer. Productie is relatief vlak wat een voordeel geeft voor het leidingnetwerk.

- > Voorkeursroute kijkend naar de bovenstaande bevindingen lijkt dus het aanleggen van een **leidingnetwerk voor de bedrijven**. Een leidingnetwerk is nog zeker te combineren met een apart tubetrailer-station, het sluit elkaar niet uit. Puur gekeken naar de vraag van de 4 industriële partijen, lijkt een leidingnetwerk de meest logische optie.

Warmte

De distributie van warmte zou aansluiten op het warmtenet Bolsward Noord, dit valt buiten de scope van dit project.

Zuurstof

De distributie van zuurstof kan zowel via leidingen als via tube-trailers. Deze afweging valt ook buiten de scope van dit project.

Randvoorwaarden productie

Certificering

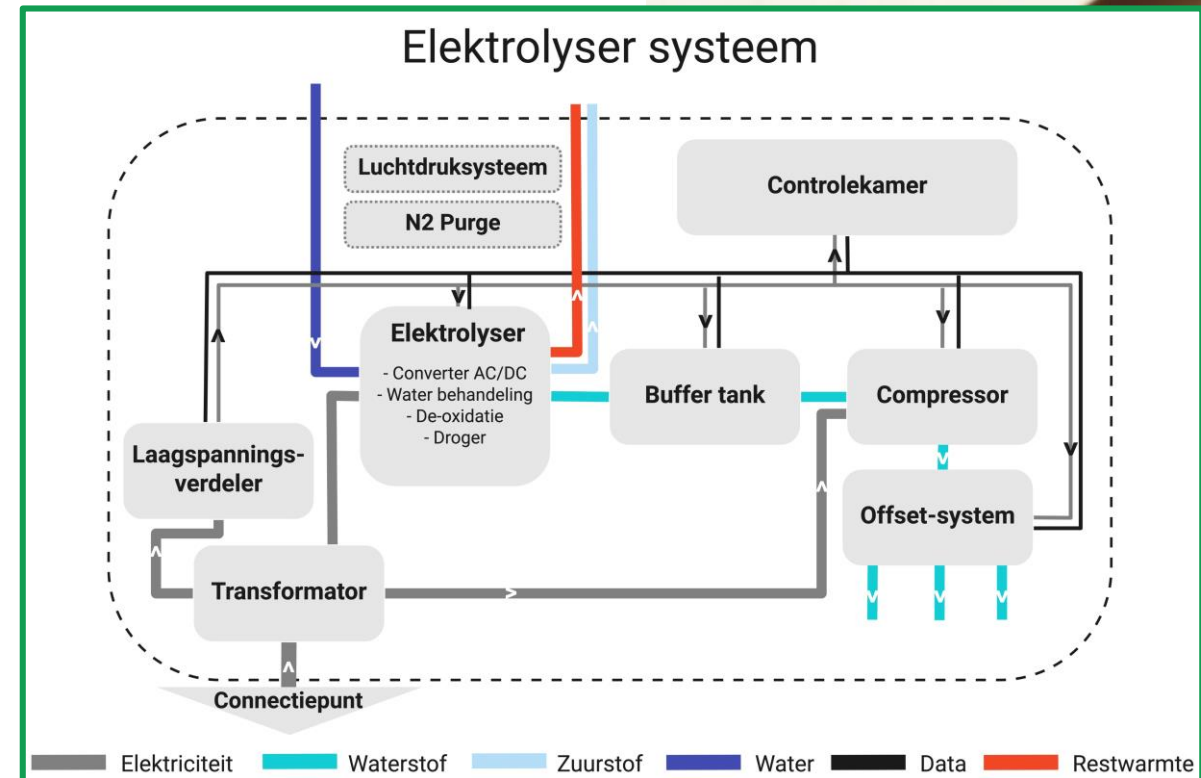
- > Indien de installatie voor 2027 wordt gerealiseerd, geen relevante eisen voor de productielocatie.

Ruimtelijk

- > Totale installatie neemt grofweg 1 hectare in beslag voor 20 MW.
- > Kijkend naar het zoekgebied zoals opgesteld zou hier geen beperking in zijn.

Componenten / eigenschappen

- > Componenten aanwezig zoals in de figuur hiernaast beschreven
- > PEM Elektrolyser techniek (zie p. 33 – 34)



5. Optimalisatie & scenario's

Beschrijving van de optimalisatiemethode en verschillende scenario's voor het ontwikkelen van een waterstofhub, naar aanleiding van de randvoorwaarden.

Scenario's



Optimalisatie

Het waterstofsysteem, met de gegeven randvoorwaarden, zal worden gedimensioneerd door middel van een op maat gemaakte optimalisatietool. Deze tool gebruikt de randvoorwaarden die in hoofdstuk 4 zijn genoemd en **optimaliseert de capaciteit** van de elektrolyser uit op basis van een kosten-minimalisatie.

De optimalisatie zal worden uitgevoerd voor verschillende **systeems scenario's**. Deze scenario's variëren in **beschikbare opwekcapaciteit**, **waterstofvraag** en **opslagcapaciteit**. Voor ieder scenario wordt de optimale elektrolyser capaciteit berekend.

Er wordt een **vaste opslagcapaciteit** in het systeem aangenomen, die wordt ingeschat aan de hand van een benadering van de optimale grootte. Deze benadering vindt plaats door te kijken in hoeverre de capaciteit positief bijdraagt aan de mate van zelfvoorzienend zijn. Onderstaand een voorbeeld:

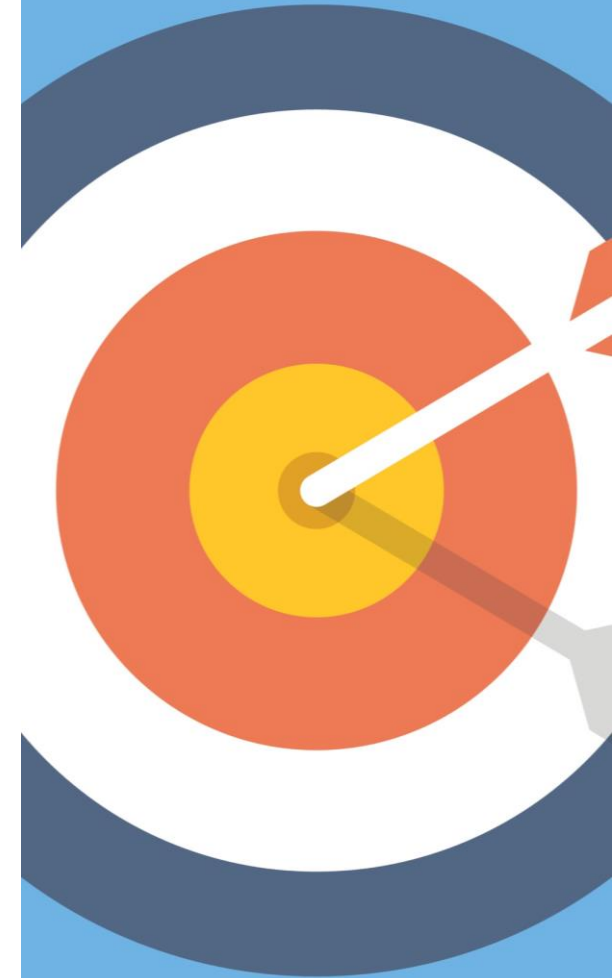
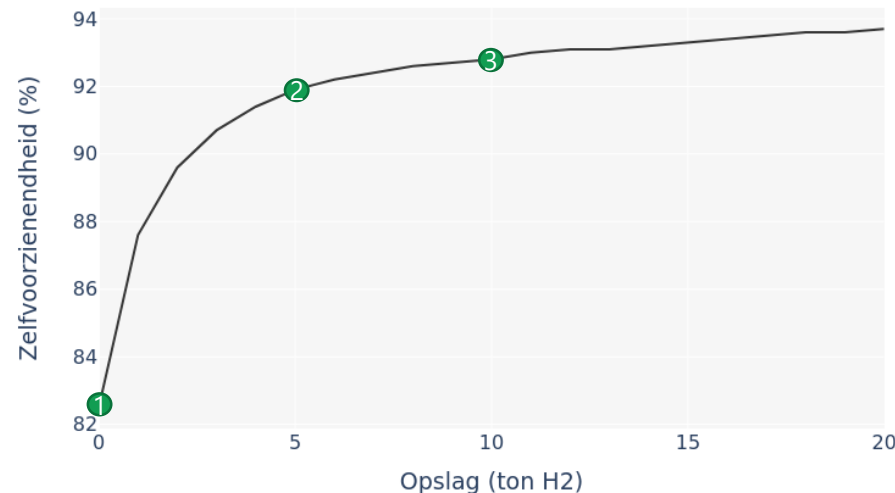
Hiernaast is een grafiek weergegeven waarop wordt laten zien hoeveel impact de opslag heeft op het invullen van de vraag binnen het systeem. Duidelijk wordt uit de grafiek:

1. Zonder opslag kan **~82 % direct worden ingevuld**
2. Bij **5 ton opslag** is een significante toename zichtbaar van **10% zelfvoorzienendheid**
3. Van **5 naar 10 ton opslag** is een zeer geringe toename van **~ 1 % zelfvoorzienendheid**

> **Conclusie:** 5 ton opslag lijkt de optimale waarde

Met behulp van deze methode wordt in ieder scenario bekeken waar de optimale waarde ligt, **in veel gevallen ligt dat op de 5 ton opslag**.

Zelfvoorzienendheid o.b.v. H2-opslag (WPF + Beabuorren)

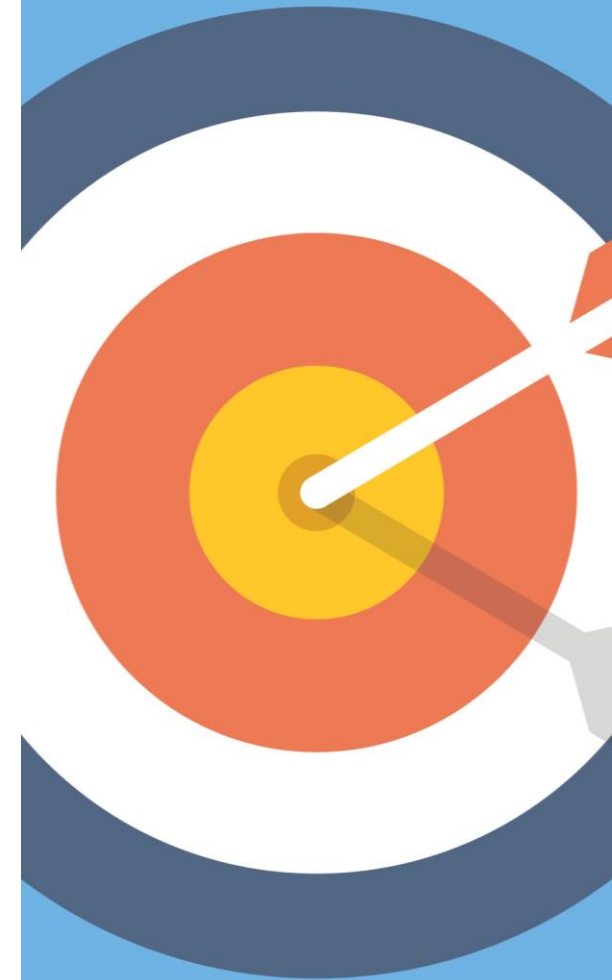


Optimalisatie

Zoals beschreven in de voorgaande slide, wordt het systeem niet geoptimaliseerd met opslag op 100% zelfvoorzienend zijn. Dit is een bewuste keuze geweest omdat het invullen van de laatste paar procent een significante overdimensionering veroorzaakt in ofwel de elektrolyser capaciteit, ofwel de opslagcapaciteit. Er zijn verschillende methoden om binnen het systeem toch op de 100% voorziening te komen:

1. De meest voor de hand liggende optie is het inkopen van stroom **naast de gecontracteerde bronnen**, met **bilaterale of flexibele PPA's**. Door de versoepelde certificeringseisen kan stroom op afroep worden ingekocht, zolang er maar een **garantie van oorsprong op maandbasis** kan worden opgeleverd. Zo kunnen de laatste procenten waterstofvraag worden geproduceerd op momenten dat er geen stroom beschikbaar is vanuit de gecontracteerde bronnen, maar er wel groene certificaten te koop zijn op de energiemarkt.
2. **Alternatieve inkoop groene waterstof** vanuit andere productielocaties met tube-trailers of geleverd uit de backbone.
3. Bijmenging **alternatieve brandstoffen** (zoals gas) in de industriële processen, indien dat mogelijk is.
4. **Vraagsturing** in de industriële processen, niet mogelijk in dit project.

Optie 1 is de voorkeursroute, hier zal dan ook rekening mee worden gehouden in de uitwerking van de scenario's. Mocht optie 1 niet mogelijk zijn dan kan altijd worden uitgeweken naar de andere opties.



Scenario's

Scenario 1: 'Wind basis'

- **Opwek:** 10% WPF
- **Vraag:** Reguliere vraag
- **Opslag:** 5 ton H₂

Scenario 2: 'Wind basis & geothermie'

- **Opwek:** 10% WPF
- **Vraag:** Gereduceerde vraag door geothermie
- **Opslag:** 2 ton H₂

Scenario 3: 'Wind plus'

- **Opwek:** 10% WPF & WP Beabuorren
- **Vraag:** Reguliere vraag
- **Opslag:** 5 ton H₂

Scenario 4: 'Zon & Wind'

- **Opwek:** 10% WPF & WP Beabuorren & 12 MWp zon-PV
- **Vraag:** Reguliere vraag
- **Opslag:** 5 ton H₂

Scenario 5: 'Overproductie'

- **Opwek:** 10% WPF & WP Beabuorren & 30 MWp zon-PV
- **Vraag:** Reguliere vraag
- **Opslag:** 5 ton H₂

Scenario 6: 'Groeiscenario'

- **Opwek:** 10% WPF & WP Beabuorren & 30 MWp zon-PV
- **Vraag:** Toegenomen vraag door logistiek
- **Opslag:** 5 ton H₂



6. Resultaten

Resultaten voor alle verschillende scenario's uit de optimalisatie.

Resultaten

6 ● ● ● ● ●

”



Resulterende configuratie

In de resultatentabel is te zien dat het toevoegen van stroombronnen een significante impact heeft op de **mate van zelfvoorzienend zijn**:

- > Toevoeging van windpark Beabuorren zorgt voor een **8 % toename in zelfvoorzienend zijn** zonder opslag en **5 % toename** met 5 ton opslag
- > Toevoeging van 12 MWp zon-PV zorgt voor **4 % toename in zelfvoorzienend zijn** ongeacht de opslag.
- > Toevoeging van 30 MWp zon-PV zorgt voor zo'n **6% toename in zelfvoorzienend zijn**.

Daarnaast wordt duidelijk dat de **elektrolyser capaciteit** over het algemeen kleiner wordt in het scenario met opslag, omdat een gedeelte van de piekvraag dan kan worden opgevangen door de opslag in plaats van piekvermogen in de elektrolyser.

Naam scenario	Opslag?	Capaciteit elektrolyser (MW)	Opslag (ton)	Vollasturen op stroombron	% van H ₂ vraag	% van beschikbare stroom
Wind basis	Nee	20	0	6.617	78,7	83,6
	Ja	20	5	7.319	87,1	92,4
Wind basis & geothermie	Nee	15	0	6.054	96,6	57,3
	Ja	12	2	7.790	99,4	59,0
Wind +	Nee	24	0	6.044	86,3	77,9
	Ja	20	5	7.727	91,9	83,0
Wind & zon	Nee	25	0	6.070	90,3	75,8
	Ja	20	5	8.063	95,9	80,6
Overproductie	Nee	25	0	6.296	93,6	71,2
	Ja	20	5	8.223	97,8	74,3
Groeiscenario	Nee	25	0	6.984	90,3	78,9
	Ja	23	5	8.197	97,5	85,2

Resultaten energiestromen

In de resultatentabel voor de energiestromen is te zien dat er grote hoeveelheden **zuurstof** worden geproduceerd ten opzichte van de vraag van de RWZI (**1.5 kton**), wat gemiddeld een **factor 13** kleiner is dan de productie.

Daarnaast wordt een significante hoeveelheid restwarmte geproduceerd met de installatie. Als vuistregel kan worden aangenomen dat **per 5 GWh restwarmte zo’n 300 - 400 woningen** kunnen worden verwarmd. Dit laat zien dat er tussen de 1000 en 2000 woningen kunnen worden voorzien van de restwarmte.

De geproduceerde waterstof gaat in deze analyse puur naar de afnemende partij binnen het systeem (afhankelijk van het scenario), maar kijkend naar de overgebleven stroom uit de stroombronnen is het mogelijk meer waterstof te produceren voor andere doeleinden. Uiteraard kan de overgebleven stroom ook voor andere doeleinden worden gebruikt dan waterstofproductie.

Naam scenario	Opslag?	H ₂ productie (kton)	Zuurstof productie (kton)	Warmte productie (GWh)	Geconsumeerde stroom uit stroombron (GWh)	Overgebleven uit stroombron (GWh)	Additionele inkoop stroom nodig (GWh)
Wind basis	Nee	2,3	17,8	22,5	132	26,0	35,8
	Ja	2,5	19,7	24,9	146	12,0	21,7
Wind basis & geothermie	Nee	1,5	12,2	15,4	91	67,7	3,2
	Ja	1,6	12,6	15,9	93	65,0	0,6
Wind +	Nee	2,5	19,5	24,7	145	41,2	23,0
	Ja	2,6	20,8	26,3	154	31,7	13,6
Wind & zon	Nee	2,6	20,4	25,8	152	48,4	16,3
	Ja	2,8	21,7	27,4	161	38,8	6,9
Overproductie	Nee	2,7	21,2	26,8	157	63,7	10,8
	Ja	2,8	22,2	28,0	164	56,9	3,7
Groeiscenario	Nee	3,0	23,5	29,7	175	46,7	18,8
	Ja	3,2	25,4	32,1	189	32,8	4,8

Conclusies technische haalbaarheid

Aanbevolen technisch haalbare systeem:

Er wordt aanbevolen een toekomstbestendig systeem op te tuigen, ingericht voor een potentiële toenemende vraag in voornamelijk de mobiliteitssector. Hierbij is minimaal 25 MW elektrolyser capaciteit gewenst. Met de betreffende capaciteit is een aansluiting op Liander de voorkeursroute, mits de planning van het realiseren van het onderstation niet vertraagd. Het advies is om parallel wel de optie met een directe koppeling op WPF open houden om eventueel nog af te wijken van Liander als de planning daarom vraagt. Er wordt geadviseerd om zoveel mogelijk stroombronnen te contracteren om lokale opwek te garanderen, afhankelijkheid te verkleinen en bilaterale afspraken te maken over de stroomprijzen. Er is een opslag van minimaal 5 ton waterstof nodig om lokale vraagfluctuaties goed op te kunnen vangen met de beschikbare bronnen, dit is uitgaande van de maandbasis matching zoals in RED II beschreven. Worden de richtlijnen voor matching anders, dan zal ofwel andere stroom moeten worden gecontracteerd. In eerste instantie is het advies geen backbone koppeling mee te nemen in het project, kijkend naar de verlate planning van Gasunie richting 2030. De uitkoppeling van restwarmte en zuurstof lijkt zeer geschikt op deze locatie, met potentiële afzet aan de RWZI en het warmtenet. Er zal verder onderzoek moeten worden gedaan naar de concrete vraagprofielen voor deze reststromen. Voor het transport van waterstof wordt een kunststof waterstofleidingnetwerk aanbevolen, kijkend naar de beperkte afstanden tussen alle partijen. Het advies is om dit leidingnetwerk in een late realisatie te realiseren. Mochten er afnemende bedrijven afhaken, dan kan er altijd worden gekeken naar een ander transportsysteem, met bijvoorbeeld tube-trailer vulpunten om de waterstof naar andere locaties te transporteren.

Voorkeur is dat het systeem voor 2027 wordt gerealiseerd om uitzonderingen te krijgen op een aantal certificeringseisen. Wordt het systeem later gerealiseerd, dan zullen er strengere eisen gelden met betrekking tot onder andere de gecontracteerde stroombronnen. Er zal dan stroom moeten worden gecontracteerd met uurbasis certificaten.

Samenvatting:

- 25 MW elektrolyser capaciteit;
- Waterstofleidingnetwerk;
- Aansluiting op Liander;
- Alle mogelijke stroombronnen contracteren (WPF, Beabuorren, zon-PV);
- Opslag van minimaal 5 ton waterstof;
- Uitkoppeling warmte en zuurstof;
- Realisatie voor 2027;

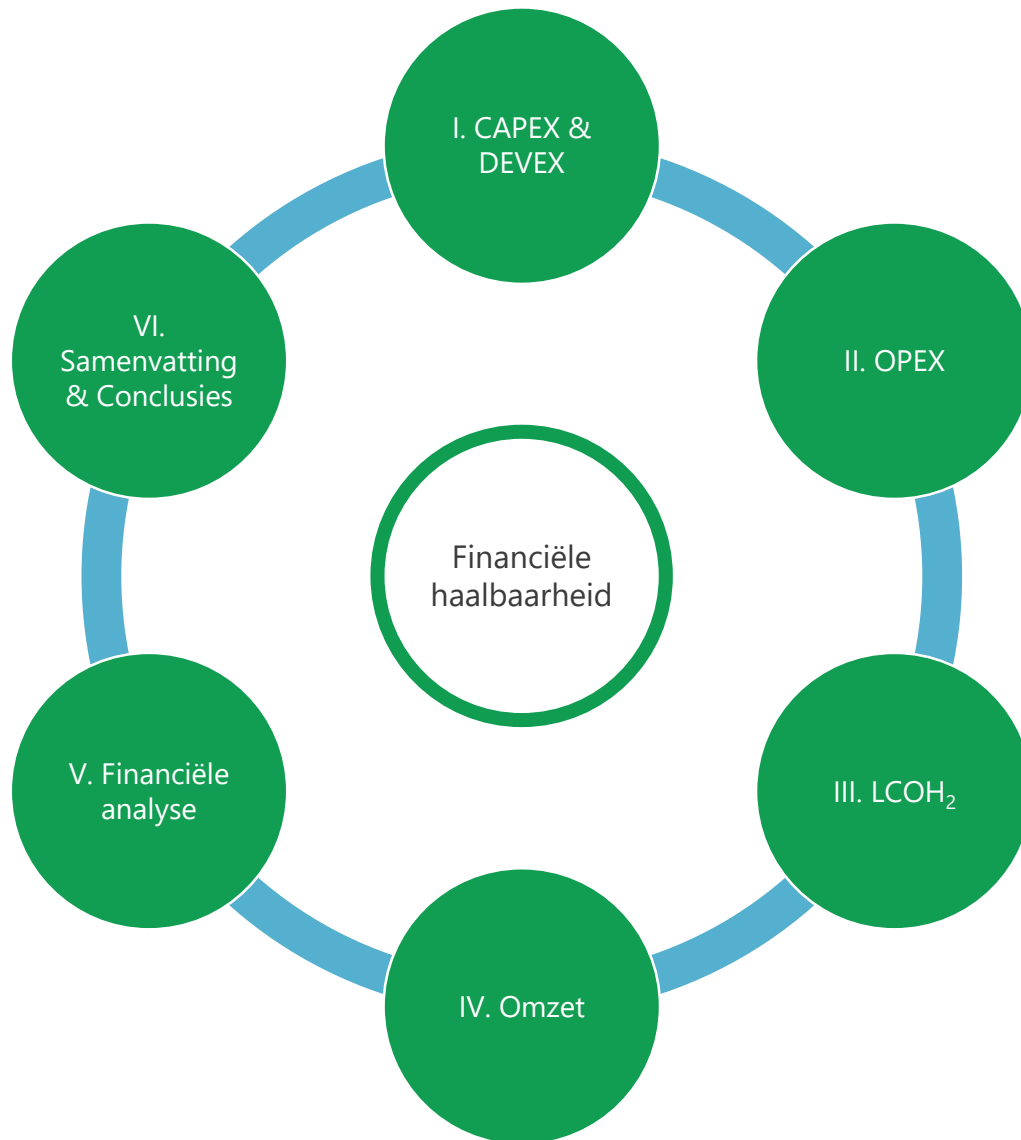
Spoor A onderdeel 2:

Financiële haalbaarheid

”



Financiële haalbaarheid



Financiële haalbaarheid

1. CAPEX & DEVEX (p. 57 – 60)

- Investeringsparameters
- Capital Expenditure (CAPEX)
- Backbone CAPEX
- Development Expenditure (OPEX)

2. OPEX (p. 61 - 62)

- Operational Expenditure (OPEX)
- Backbone OPEX

3. LCOH₂ (p. 63 – 65)

- Verdeling LCOH₂
- Systeemscenario's LCOH₂
- Gevoeligheid stroomprijs LCOH₂

4. Omzet (p. 66)

- Waterstof
- Zuurstof
- Restwarmte

5. Financiële analyse (p. 67 – 72)

- Parameters
- Worst, base en best case
- IRR & NPV
- Subsidies

6. Resultaten en conclusies (p. 73 – 74)

- Samenvatting resultaten
- Conclusies cases

Capital Expenditure (CAPEX)

In onderdeel 1 zijn alle technische componenten beschreven waar het systeem uit bestaat. Per beschreven component worden investeringskosten ingeschat aan de hand van literatuur en ervaring uit andere projecten. Onderstaand een lijst van kosten-parameters die worden meegenomen om de **Capital Expenditure (CAPEX)** van de verschillende componenten uit te rekenen.

Component	Investeringskosten (CAPEX)	Eenheid	Toelichting
Elektrolyser	€900,-	€ / kW systeem	⁸ IRENA: Green hydrogen cost reductions > 10 MW systems.
Netaansluiting (Liander)	~ €5.000.000,-	€ / aansluiting	Zie bijlage 1, 'Rapportage opties netaansluiting', van Ventolines.
Opslag	€700.000,-	€ / ton H ₂	Referentieprojecten.
Leidingnetwerk installatie	€700.000,-	€ / km leiding	Op basis van prijs kunstofleidingen uit referentieprojecten.
Elektrotechnische installatie	€90.000,-	€ / MW systeem	Referentieprojecten, inclusief schaalvoordelen.
Mechanische systeemintegratie	€80.000,-	€ / MW systeem	Referentieprojecten, inclusief schaalvoordelen.
Compressor	€10.000,-	€ / kW compressor	Referentieprojecten, inclusief schaalvoordelen.
Master control system	€400.000,-	€ / systeem	Referentieprojecten, uitgaande van aanschaf bestaand systeem.
Overige	€500.000,-	€ / systeem	Bestaande uit: Buffervat, grondbewerking, beveiliging, wateraansluiting.
Backbone koppeling	€6.600.000,-	€ / koppeling	Bestaande uit: 8 km tracé en regulatiestation.

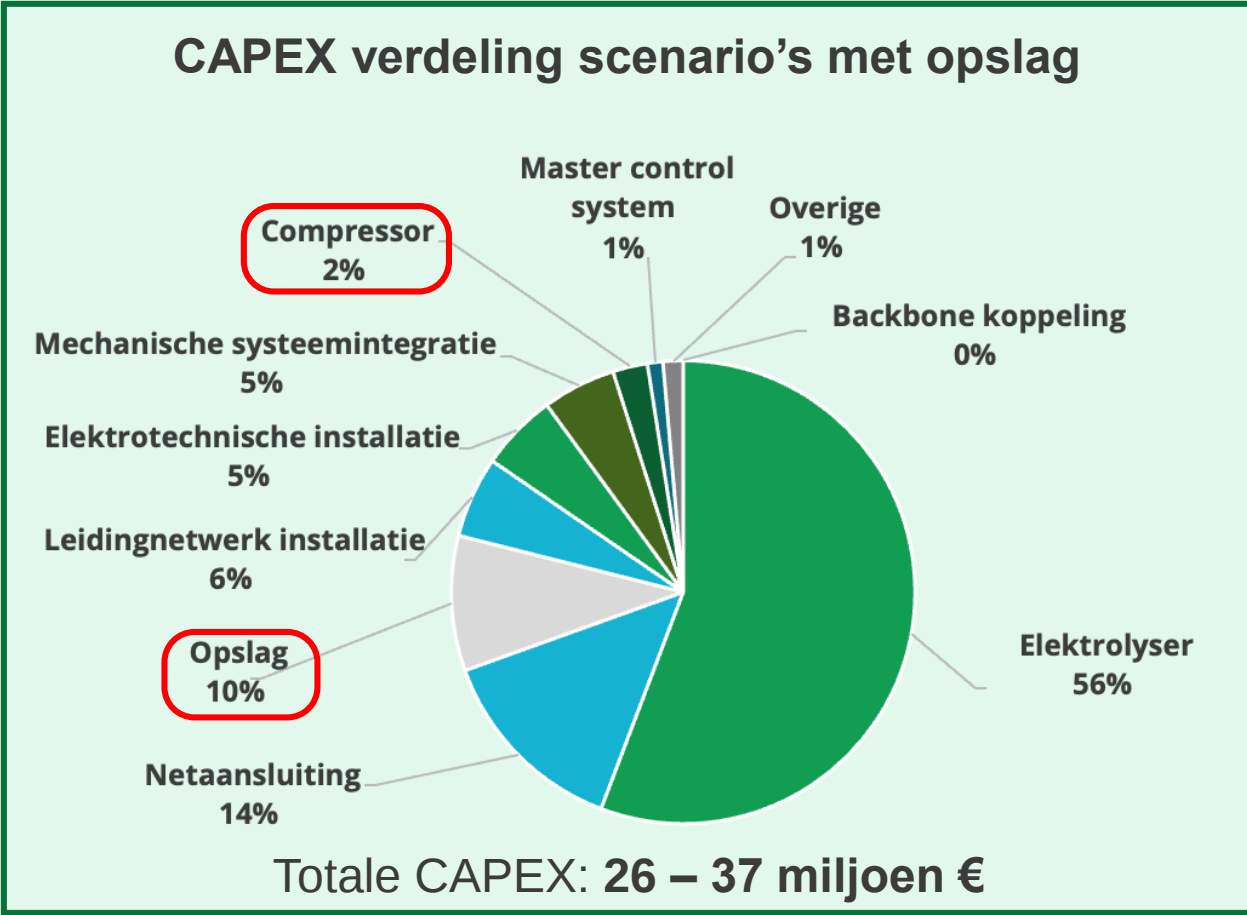
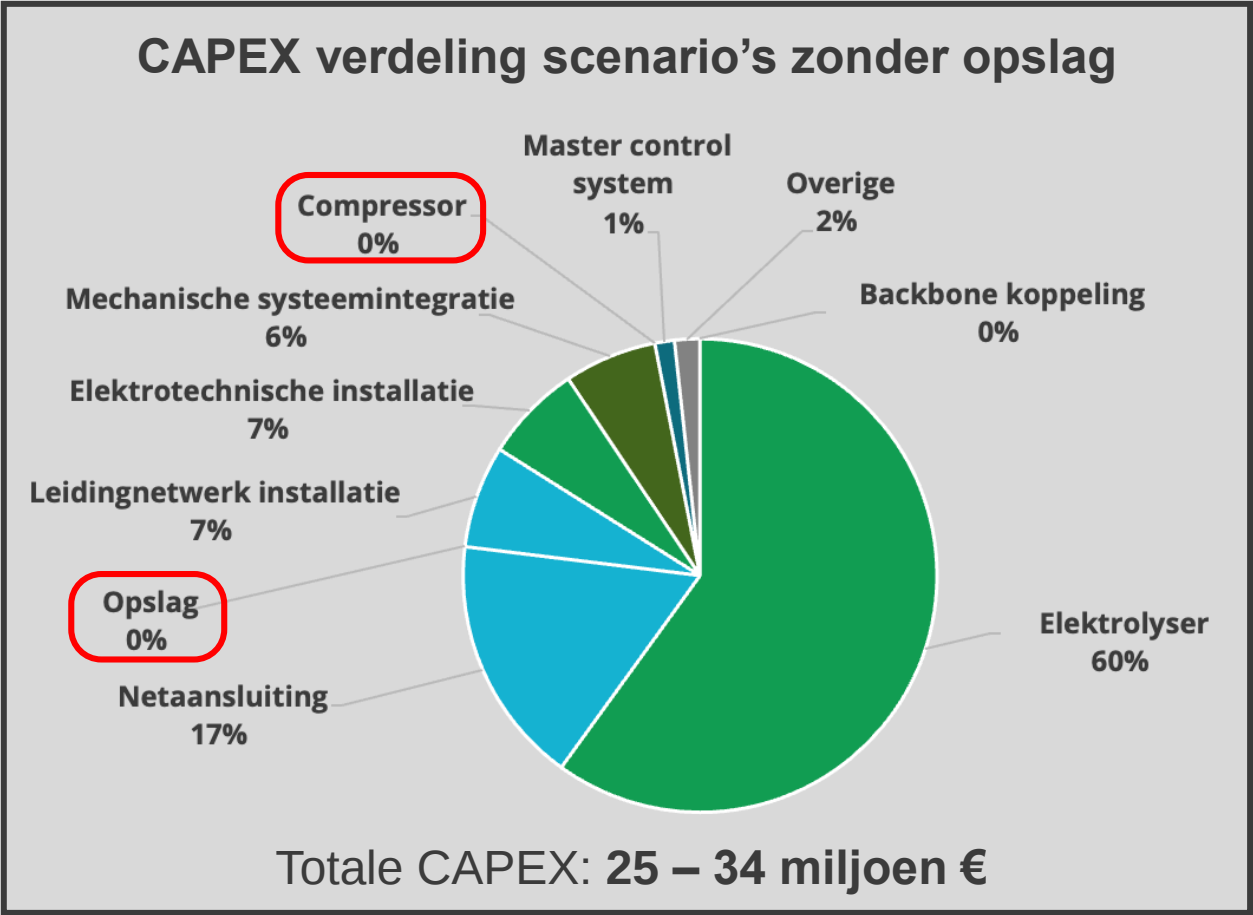
De bovenstaande kosten-parameters zijn toegepast op de resulterende configuraties uit de verschillende scenario's.



Capital Expenditure (CAPEX)

Onderstaande is weergegeven wat de verdeling is van de verschillende componenten in de totale CAPEX. Deze verdeling is vrijwel in ieder scenario gelijk. De verschillende scenario's hebben voornamelijk invloed op de totale CAPEX (zie CAPEX range onder diagrammen).

Wel is er onderscheid gemaakt tussen de scenario's **zonder opslag (links)** en **met opslag (rechts)**, waarbij de verdeling anders wordt door het toevoegen van een compressor en opslagsysteem.



Capital Expenditure (CAPEX)

De toevoeging van een backbone-aansluiting in het systeem betekend dat er een extra investering van zo'n 7 miljoen € wordt toegevoegd aan de totale CAPEX van het systeem.

Om deze investering in perspectief te zetten is hiernaast het **Wind Basis** scenario als voorbeeld weergegeven met de bijbehorende totale CAPEX.

- Zonder opslag is de totale CAPEX zo'n 30 miljoen €.
- Met 5 ton opslag wordt totale CAPEX zo'n **13 % hoger** tot 34 miljoen €.
- Met een backbone koppeling wordt totale CAPEX zo'n **23 % hoger** tot 37 miljoen €.

Duidelijk wordt dat de investeringen voor een backbone aansluiting uiteindelijk zo'n **18 % van de totale CAPEX** van het systeem zullen uitmaken.

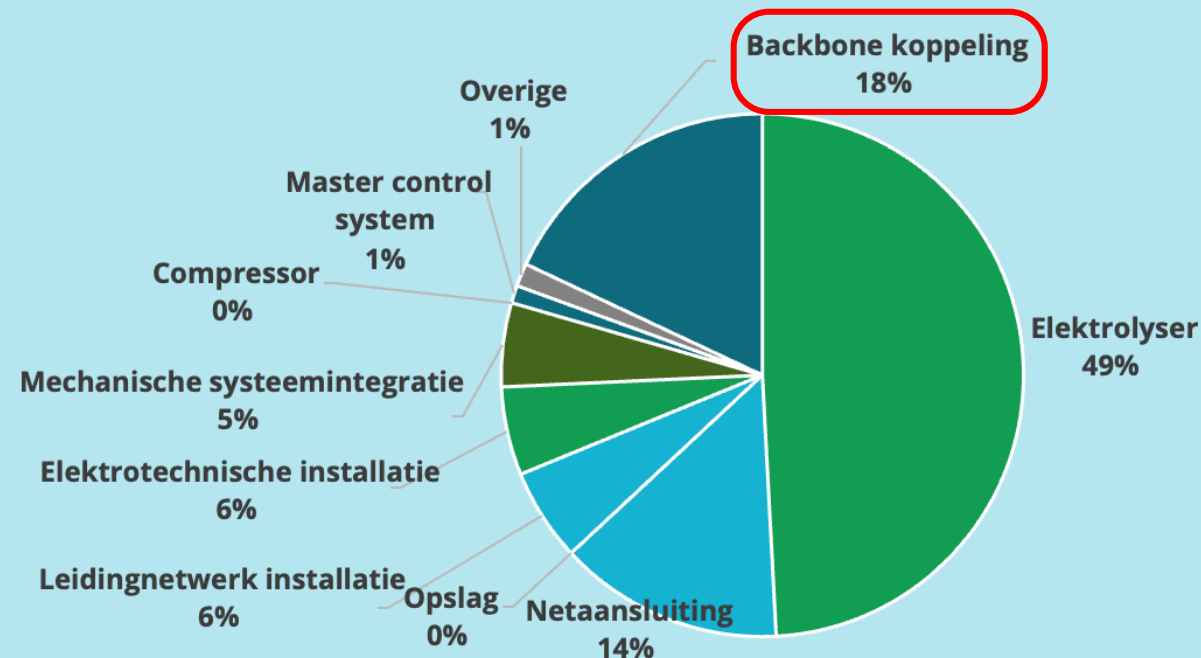
CAPEX scenario Wind basis

Totale CAPEX: **30 miljoen €**

CAPEX scenario Wind basis + 5t opslag

Totale CAPEX: **34 miljoen €**

CAPEX scenario Wind basis + backbone koppeling



Totale CAPEX: **37 miljoen €**

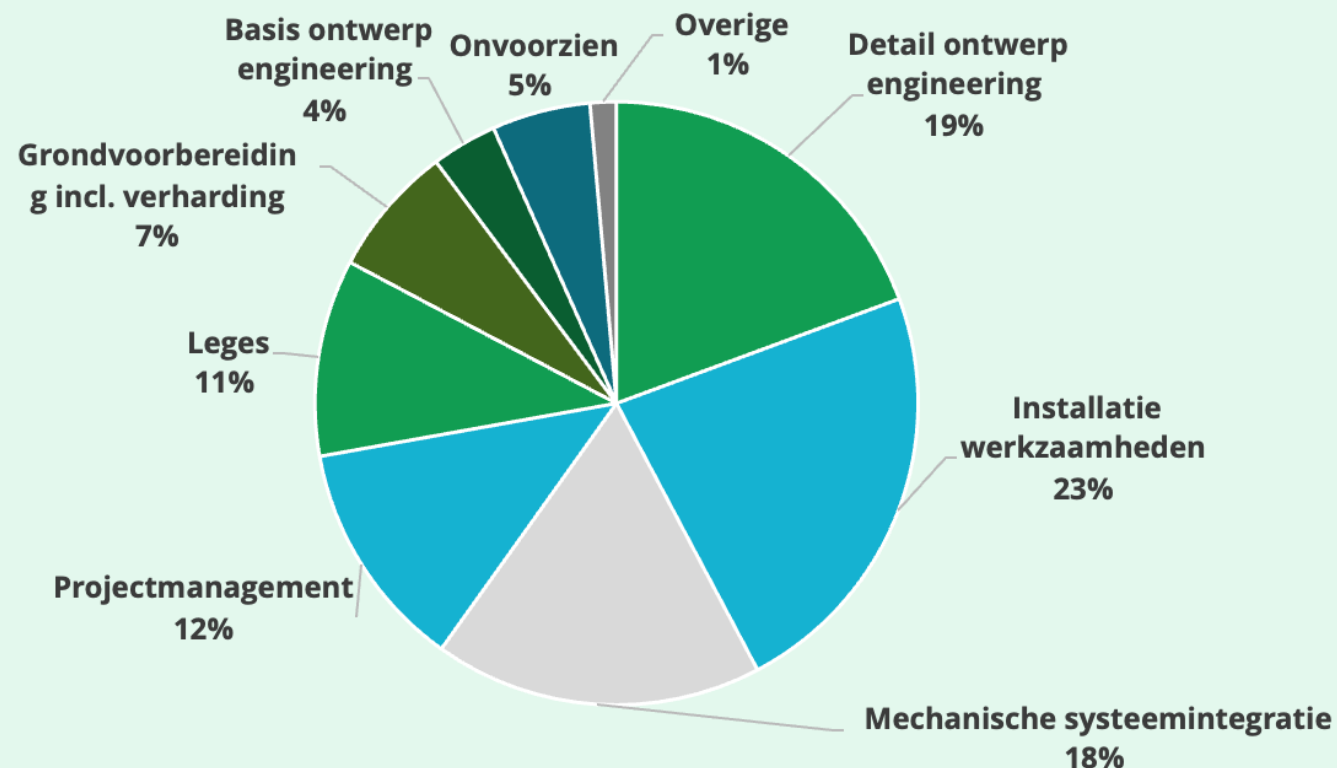
Development Expenditure (DEVEX)

Naast de investeringskosten kunnen verschillende ontwikkelkosten voor de ontwikkeling van een dergelijk project worden ingeschat, de zogeheten **Development Expenditure (DEVEX)**. De DEVEX bestaat voornamelijk uit werkzaamheden tijdens de vergunningsfase, realisatiefase en bouwphase van het project.

Net zoals bij de CAPEX is de verdeling van de verschillende DEVEX componenten grofweg gelijk voor alle scenario's. De totale DEVEX varieert tussen de **4 en 6 miljoen €**.

De inschatting van de verschillend DEVEX componenten is gebaseerd op de referentieprojecten.

DEVEX verdeling (grofweg gelijk voor alle scenario's)



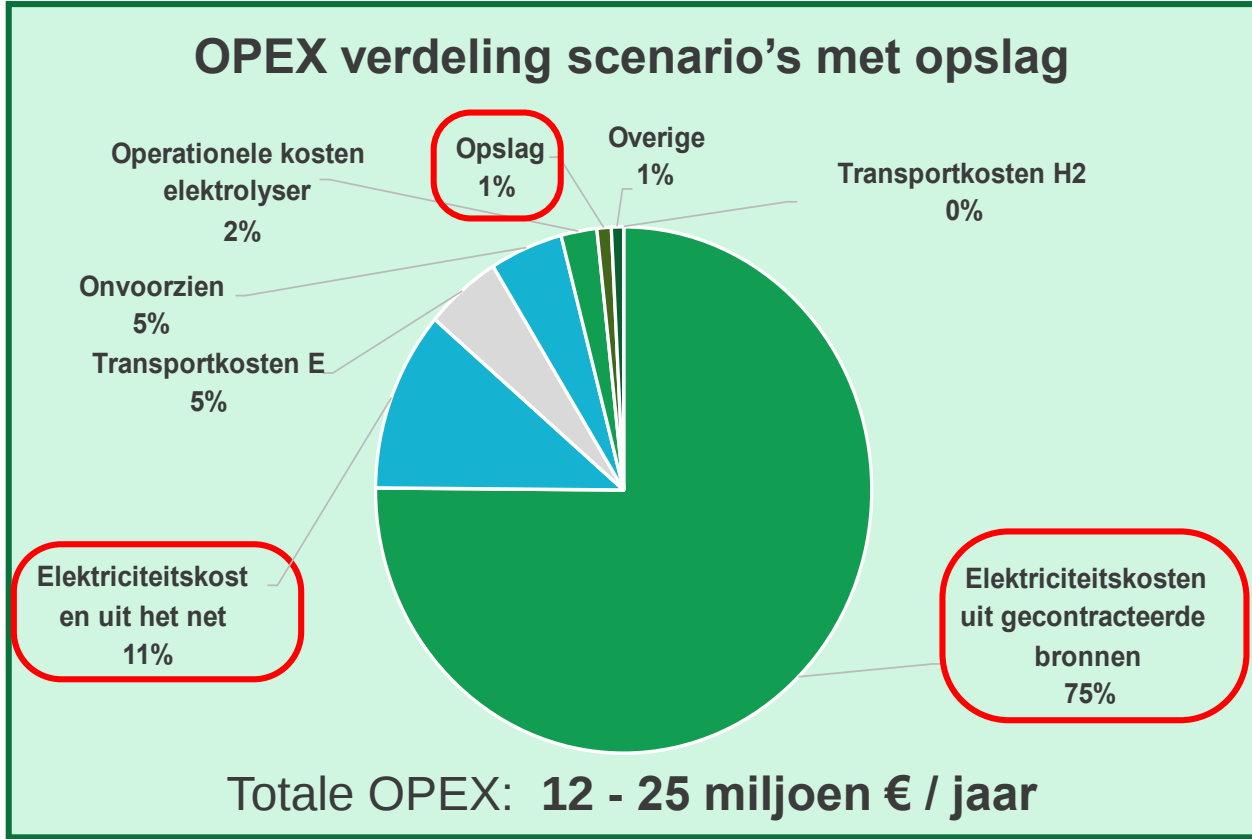
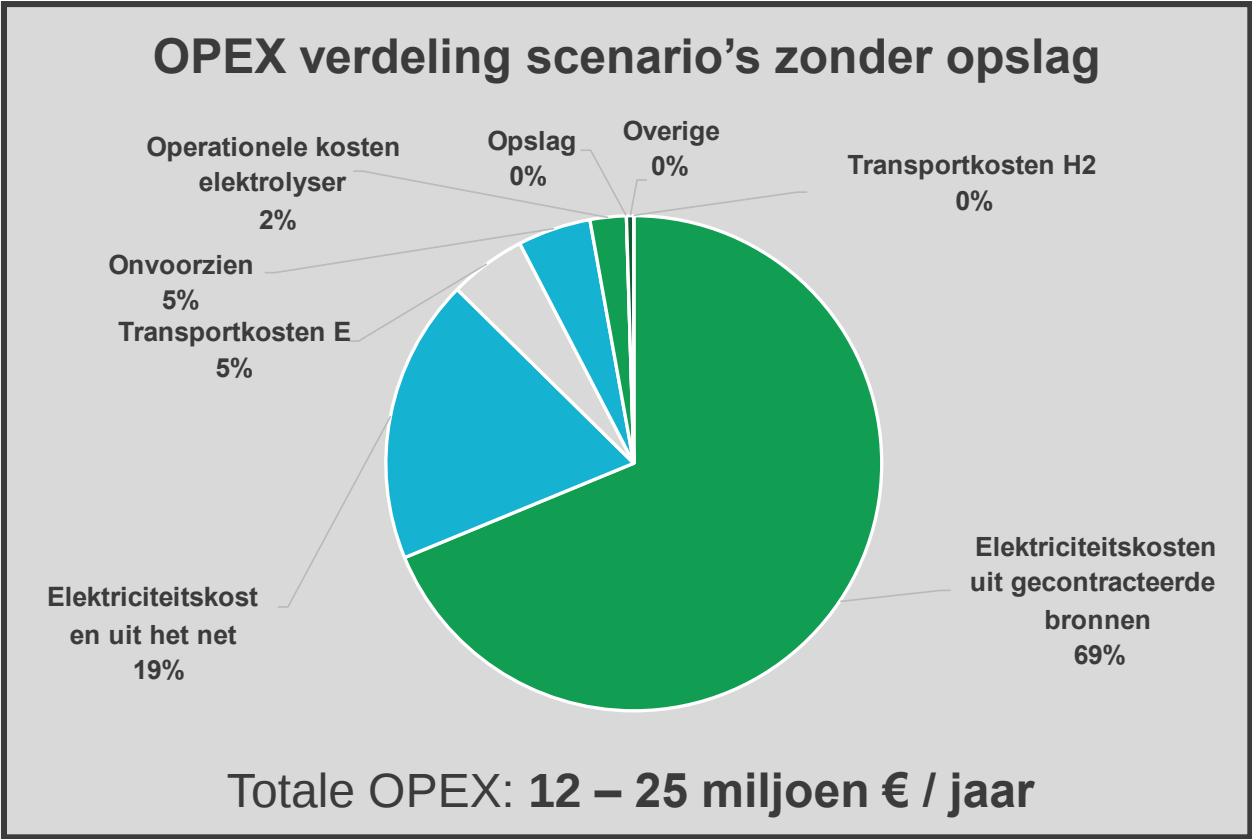
Totale DEVEX: 4 - 6 miljoen €

Operational Expenditure (OPEX)

Onderstaande is weergegeven wat de operationele kosten, zogeheten **OPEX**, van een dergelijk systeem zouden zijn. Opnieuw is een algemene verdeling weergegeven die grofweg toepasbaar is op ieder scenario, waarbij er nog wel onderscheid is gemaakt tussen een systeem zonder opslag (links) en een systeem met opslag (rechts). Opslag in het systeem zorgt er logischerwijs voor dat er een hoger percentage stroom uit de gecontracteerde bronnen kan worden gehaald.

Bij het opstellen van he OPEX overzicht moet een aanname worden gedaan voor de stroomprijs. In dit overzicht is uitgegaan van **€0,11 / kWh**, wat op dit moment als inschatting wordt gebruikt voor 5-jaars contracten. Later in dit hoofdstuk zal een gevoeligheidsanalyse worden gedaan met deze gekozen stroomprijs.

Duidelijk wordt dat de elektriciteitskosten bijna **90 % van de totale OPEX** opmaken, met een totale range van tussen de **12 en 25 miljoen € OPEX per jaar**.



Operational Expenditure (OPEX)

De toevoeging van een backbone-aansluiting in het systeem betekend dat er jaarlijks zo'n 0,6 miljoen € extra moet worden betaald aan de transportkosten van waterstof door de backbone.

Om deze investering in perspectief te zetten is hiernaast het **Wind Basis** scenario als voorbeeld weergegeven met de bijbehorende totale CAPEX.

- Zonder opslag is de totale OPEX zo'n 21,2 miljoen € / jaar.
- Met 5 ton opslag wordt totale CAPEX zo'n **1,5 % hoger** tot 21,5 miljoen € / jaar.
- Met een backbone koppeling wordt totale CAPEX zo'n **3 % hoger** tot 21,8 miljoen € / jaar

Duidelijk wordt dat de transportkosten voor een backbone aansluiting uiteindelijk zo'n **3 % van de totale OPEX** van het systeem zullen uitmaken.

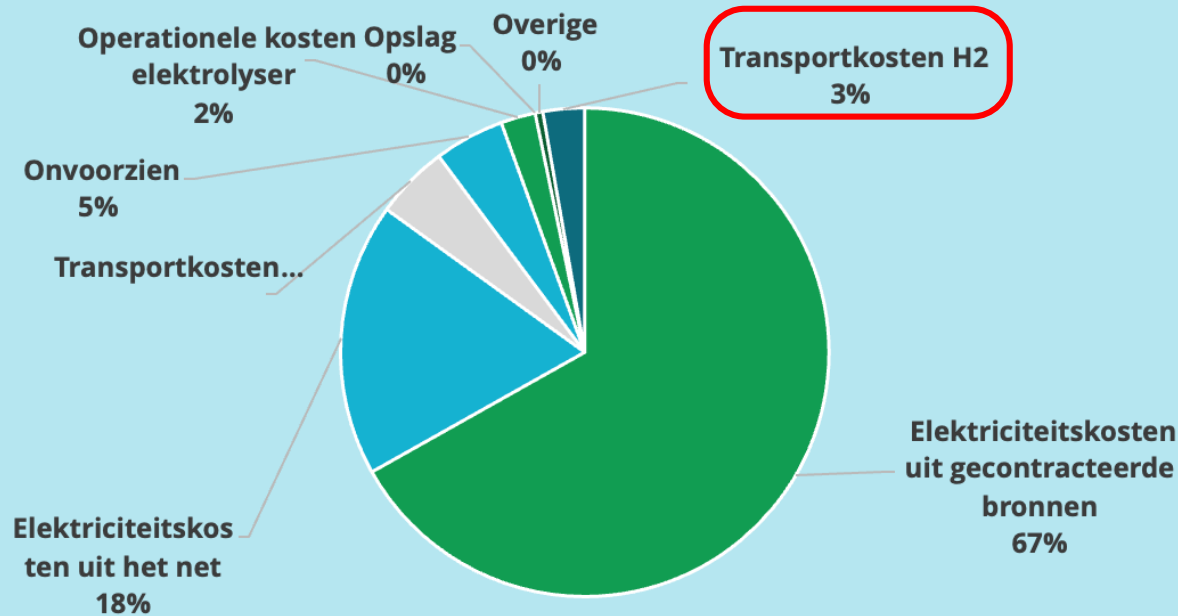
OPEX scenario Wind basis

Totale OPEX:
21,2 miljoen € / jaar

OPEX scenario Wind basis + 5t opslag

Totale OPEX:
21,5 miljoen € / jaar

OPEX scenario Wind basis + backbone koppeling



Totale OPEX: **21,8 miljoen € / jaar**

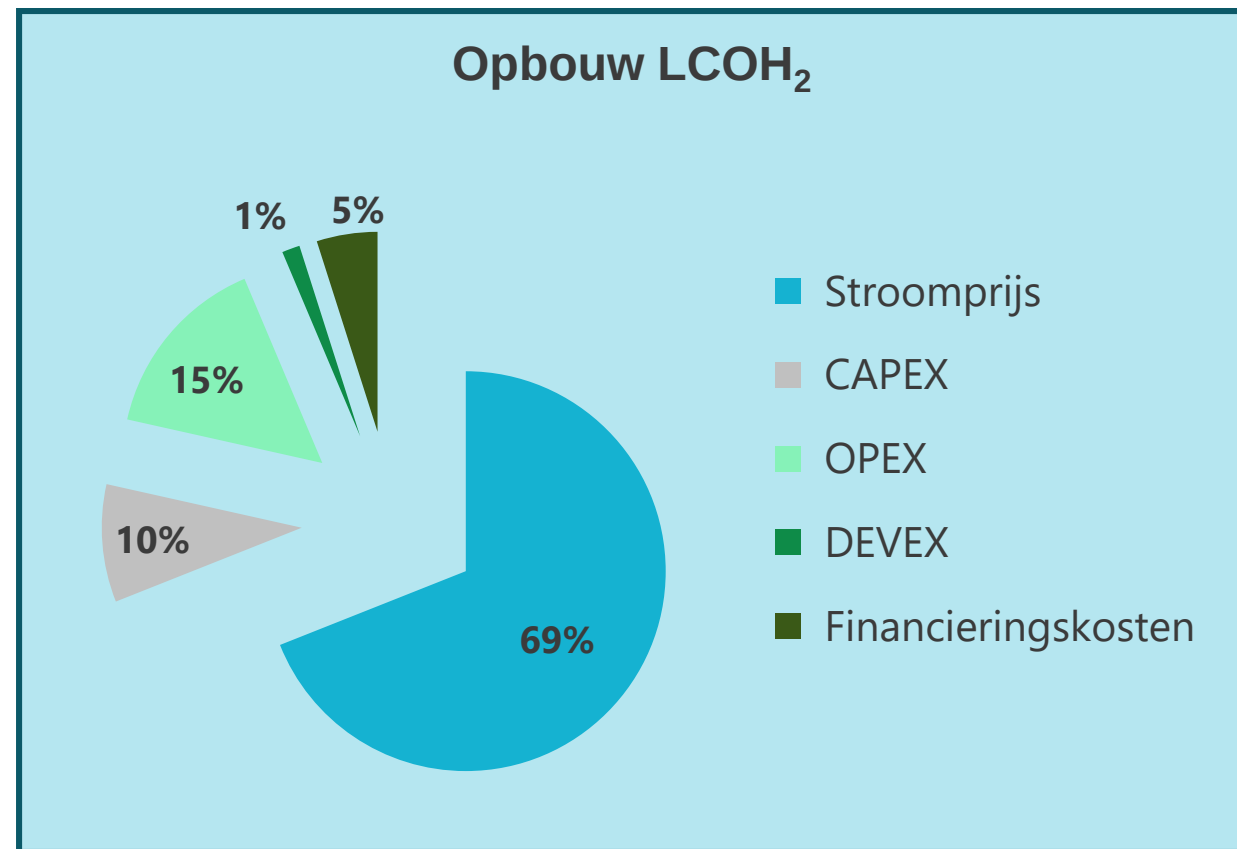
Levelised cost of Hydrogen (LCOH₂)

Om de uiteindelijke kostprijs van waterstof te bepalen moeten CAPEX, OPEX en DEVEX bij elkaar worden opgeteld en gedeeld door de totale geproduceerde kilo's waterstof. De kostprijs van waterstof wordt ook wel de **Levelised cost of Hydrogen (LCOH₂)** genoemd.

In de figuur hiernaast is gepresenteerd hoe de LCOH₂ gemiddeld is opgebouwd uit de bovenstaande componenten. Daarbij is de stroomprijs als aparte component meegenomen door het grote aandeel in het totaal. Ook zijn er financieringskosten meegenomen in dit overzicht, waarbij gebruik wordt gemaakt van de volgende financieringsvoorwaarden:

- 70% vreemd vermogen
- 8% rentetarief
- 15 jaar aflossingstermijn
- Lineair aflossen

Duidelijk wordt dat, bij een stroomprijs van €0,11 per kWh, bijna **70%** van de LCOH₂ wordt bepaald door de inkoop van de stroom. Dit relatief grote aandeel in de totale kosten laat zien hoe gevoelig de business case is op veranderingen in de stroomprijs.



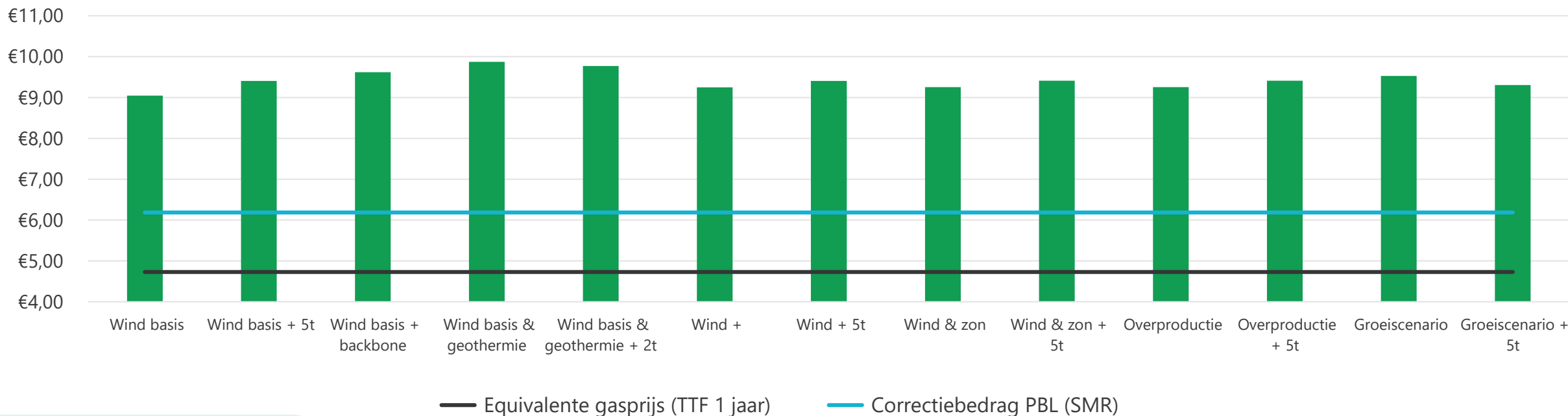
Levelised cost of Hydrogen (LCOH₂)

Onderstaand zijn de verschillende scenario's weergegeven met de daarbij horende LCOH₂. Duidelijk wordt dat de scenario's relatief dicht bij elkaar liggen, met een totale range tussen de **€9 en €10 per kg H₂**, gegeven de aangenomen stroomprijs.

Om een vergelijking te maken zijn twee referentieprijzen bijgevoegd:

- **Equivalente gasprijs:** Prijs die bedrijven nu ongeveer voor het gas betalen, omgerekend naar eenzelfde vraag in energie per kg waterstof.
 - > Omgerekende gasprijs (TTF 1 jaar = €120,30 per MWh) inclusief emissierechten (€80,- / tCO₂) = **€4,73 per kg H₂**
- ⁹ **Correctiebedrag PBL:** Prijs die nu door de overheid wordt gehanteerd als correctiebedrag voor waterstof aan de hand van gasprijzen (grijze waterstof dus).
 - > $0,29 + 49 * \text{TTF 1 jaar} / 1000$ = **€6,19 per kg H₂**

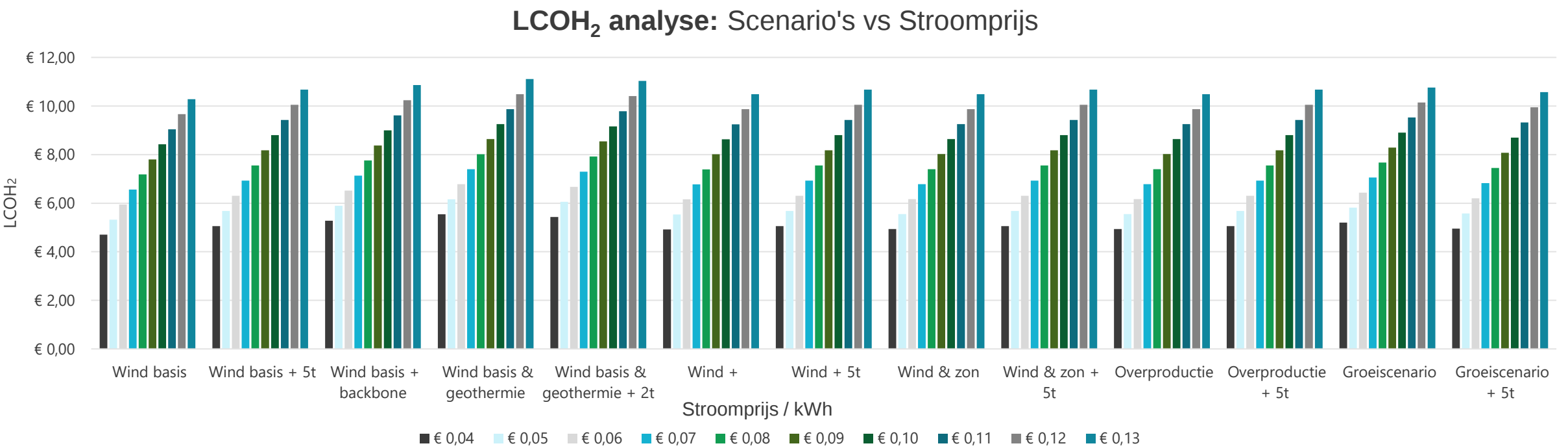
LCOH₂ analyse: Scenario's met vaste stroomprijs (€0,11 / kWh)



Levelised cost of Hydrogen (LCOH₂)

De onderstaande figuur geeft een gevoeligheidsanalyse weer die de invloed van een veranderende stroomprijs laat zien op de LCOH₂. De range voor de stroomprijs is gekozen tussen de **€0,04 en €0,13 / kWh**, waarbij de ondergrens het niveau van voor de energiecrisis (medio 2020) aangeeft en de bovengrens dichterbij de huidige prijs komt.

Duidelijk wordt dat de stroomprijs een grote invloed heeft op de LCOH₂, met een range van tussen de **€4,70 en €11,00 per kg H₂**.



Omzetstromen

Er zijn verschillende omzetstromen die worden meegenomen in de business case: **waterstof**, **zuurstof** en **restwarmte**. Deze stromen worden apart gewaardeerd, afhankelijk van de verwachte afzetprijzen. Hieronder is een berekening weergegeven die de **totale omzet per kg geproduceerde waterstof weergeeft: €5,45**.

Verkoop waterstof equivalente prijs aardgas

- Gasprijs TTF 1 jaar €120,3 per MWh
€4,21 per kg H₂
- CO₂ – prijs: €80 / tCO₂ = €0,15 per m3 gas
- > Equivalente prijs voor vervangen aardgas

$$\begin{aligned} &= \\ &\text{--- €0,52 per kg H}_2 \text{ ---} + \\ &\text{-----} \\ &= \text{€4,73 per kg H}_2 \end{aligned}$$

Verkoop zuurstof

- Afhankelijk van de toepassing €0,03 - €0,30 / kg O₂
- > Toepassing RWZI ondergrens waarde op €0,03 / kg

$$= \text{€0,28 per kg H}_2$$

Verkoop restwarmte

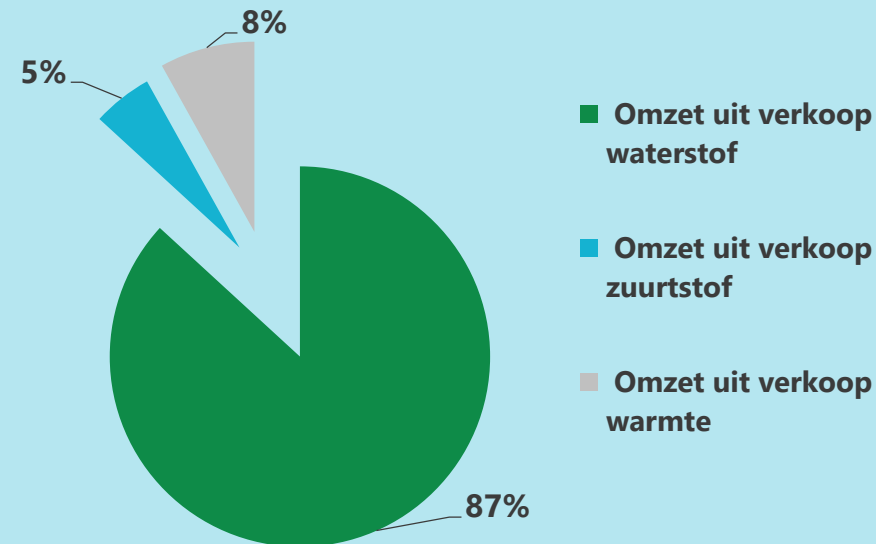
- Afhankelijk van de toepassing €10 - €20 / GJ
- > Toepassing 70 graden water ondergrens op €10 / GJ

$$= \text{€0,44 per kg H}_2 \text{ ---} +$$

**Totale omzet per kg waterstof met
bovenstaande aannames:**

$$= \text{€5,45 per kg H}_2$$

Opbouw waardestromen



Financiële analyse

Door de potentiële omzet en kosten naast elkaar te zetten kan een business case worden gemaakt waarbij de financiële haalbaarheid van het systeem kan worden getoetst. Het beoordelen van de financiële haalbaarheid wordt afgeleid van de financiële parameter **Internal rate of return (IRR)**. De IRR laat het rendement zien op het eigen geïnvesteerde vermogen. Bij dergelijke risicovolle projecten wordt normaliter **8 % IRR** vereist. Een tweede parameter wordt laten zien om de totale waarde van het project zichtbaar te maken, de Net Present Value (**NPV**). De NPV wordt berekend met het gekozen rendement van 8% meegenomen, is de NPV €0, dan is er 8% rendement op eigen vermogen gehaald. De **onrendabele top** laat zien hoeveel euro per kg H₂ nodig is om de casus haalbaar te maken.

Onderstaand een aantal uitgangspunten die gehanteerd zijn in de financiële analyse

- > **70% vreemd vermogen**
 - > 8 % rentelasten
 - > 15 jaar aflossingstermijn
- > **30% eigen vermogen**
 - > 8 % rendement
- > **Inflatie (CPI): 2%**
- > **Gevoeligheden business case**
 - > Verkoopprijs waterstof range **€3,00 - €8,50** (basis = **€4,73 / kg H₂**)
 - > Stroomprijs range **€0,04 - €0,13** (basis = **€0,11 / kWh**)

Er worden gevoeligheidstabellen gebruikt om de financiële resultaten te bekijken met **variërende verkoopprijs waterstof** en **stroomprijs**, zo kan worden ingezien wat een afwijking op de basisuitgangspunten doet voor de financiële casus. Door de kleine verschillen in LCOH₂ is als systeemscenario de meest toekomstbestendige genomen: **Groeiscenario + 5t opslag**.

Drie financiële cases

Er worden drie voorbeeld casussen weergegeven waarbij er gebruik wordt gemaakt van de verschillende flexibele onderdelen in de business case: **stroomprijs**, **waterstofprijs**, **zuurstofprijs** en **de prijs van de restwarmte**. Al deze casussen zijn berekend met het groeiscenario + 5 ton opslag, met uiteindelijk de onrendabele top doorgerekend per kg H₂.

Worst case

- Verkoopprijs waterstof **€3 / kg H₂**
- Verkoopprijs restwarmte **€0 / GJ**
- Verkoopprijs zuurstof **€0 / kg O₂**
- Stroomprijs **€0,11 / kWh**

> Onrendabele top **€ 7,10 per kg H₂**

Waterstofprijs: €3 / kg
> Gasprijs 5 jaarcontract

Reststromen: geen waarde

Stroomprijs: €0,11 / kWh
> Schatting 5 jaarcontract

Best case

- Verkoopprijs waterstof **€6,19 / kg H₂**
- Verkoopprijs restwarmte **€20 / GJ**
- Verkoopprijs zuurstof **€0,06 / kg O₂**
- Stroomprijs **€0,07 / kWh**

> Onrendabele top **€0,00 per kg H₂**

Waterstofprijs: €6,19 / kg
> Marktprijs PBL

Reststromen: basis x 2

Stroomprijs: €0,07 / kWh
> Positieve schatting

Base case

- Verkoopprijs waterstof **€4,73 / kg H₂**
- Verkoopprijs restwarmte **€10 / GJ**
- Verkoopprijs zuurstof **€0,03 / kg O₂**
- Stroomprijs **€0,11 / kWh**

> Onrendabele top **€4,64 per kg H₂**

Waterstofprijs: €4,73 / kg
> Gasprijs 1 jaarcontract

Reststromen: basis

Stroomprijs: €0,11 / kWh
> Huidig 5 jaarcontract

Spoor A: Financiële haalbaarheid

68

IRR & NPV – Worst case

Onderstaand zijn de gevoeligheidstabellen weergegeven voor de **worst case**, waarbij de cellen zonder resultaat een rendement weergeven van lager dan **(20) %**. De tabellen laten zien dat, met de uitgangspunten van deze case (geel omlijnd), er geen rendabele casus gemaakt kan worden. De onrendabele top van de worst case is weergegeven in de onderste tabel en is in **totaal 142 miljoen €**. Om deze onrendabele top te voorkomen, moet er **€7,10 per geproduceerde kg waterstof** worden gecompenseerd.

Worst case

Waterstof **€3 / kg H₂**
Restwarmte **€0 / GJ**
Zuurstof **€0 / kg O₂**
Stroomprijs **€0,11 / kWh**

Onrendabele top **€ 7,10 per kg H₂**

IRR (%)	€ / kg H2											
	€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00	€ 4,50	€ 5,00	€ 5,50	€ 6,00	€ 6,50	€ 7,00	€ 7,50	€ 8,00	€ 8,50
€/ kWh	€ 0,04	-	-	-	(9,70)%	2,96 %	14,29 %	25,14 %	35,64 %	45,84 %	55,80 %	65,58 %
	€ 0,05	-	-	-	-	(13,61)%	0,00 %	11,58 %	22,57 %	33,17 %	43,45 %	53,48 %
	€ 0,06	-	-	-	-	-	(18,27)%	(3,08)%	8,81 %	19,95 %	30,67 %	41,05 %
	€ 0,07	-	-	-	-	-	-	-	(6,33)%	5,97 %	17,29 %	28,14 %
	€ 0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	(9,87)%	3,05 %	14,58 %
	€ 0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(13,89)%	0,04 %
	€ 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(18,69)%
	€ 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	€ 0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	€ 0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPV (M€)	€ / kg H2											
	€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00	€ 4,50	€ 5,00	€ 5,50	€ 6,00	€ 6,50	€ 7,00	€ 7,50	€ 8,00	€ 8,50
€/ kWh	€ 0,04	(€ 52,8)	(€ 42,5)	(€ 32,2)	(€ 22,2)	(€ 12,9)	(€ 3,9)	€ 5,1	€ 14,0	€ 23,0	€ 32,0	€ 41,0
	€ 0,05	(€ 65,6)	(€ 55,3)	(€ 45,0)	(€ 34,8)	(€ 24,6)	(€ 15,2)	(€ 6,1)	€ 2,8	€ 11,8	€ 20,8	€ 29,8
	€ 0,06	(€ 78,4)	(€ 68,1)	(€ 57,8)	(€ 47,6)	(€ 37,3)	(€ 27,0)	(€ 17,4)	(€ 8,3)	€ 0,6	€ 9,6	€ 18,6
	€ 0,07	(€ 91,2)	(€ 80,9)	(€ 70,6)	(€ 60,4)	(€ 50,1)	(€ 39,8)	(€ 29,5)	(€ 19,7)	(€ 10,6)	(€ 1,6)	€ 7,4
	€ 0,08	(€ 104,0)	(€ 93,7)	(€ 83,4)	(€ 73,2)	(€ 62,9)	(€ 52,6)	(€ 42,3)	(€ 32,0)	(€ 22,0)	(€ 12,8)	(€ 3,8)
	€ 0,09	(€ 116,8)	(€ 106,5)	(€ 96,2)	(€ 86,0)	(€ 75,7)	(€ 65,4)	(€ 55,1)	(€ 44,8)	(€ 34,6)	(€ 24,4)	(€ 15,0)
	€ 0,10	(€ 129,6)	(€ 119,3)	(€ 109,0)	(€ 98,8)	(€ 88,5)	(€ 78,2)	(€ 67,9)	(€ 57,6)	(€ 47,4)	(€ 37,1)	(€ 26,9)
	€ 0,11	(€ 142,4)	(€ 132,1)	(€ 121,8)	(€ 111,6)	(€ 101,3)	(€ 91,0)	(€ 80,7)	(€ 70,4)	(€ 60,2)	(€ 49,9)	(€ 39,6)
	€ 0,12	(€ 155,2)	(€ 144,9)	(€ 134,6)	(€ 124,4)	(€ 114,1)	(€ 103,8)	(€ 93,5)	(€ 83,2)	(€ 73,0)	(€ 62,7)	(€ 52,4)
	€ 0,13	(€ 168,0)	(€ 157,7)	(€ 147,4)	(€ 137,2)	(€ 126,9)	(€ 116,6)	(€ 106,3)	(€ 96,0)	(€ 85,8)	(€ 75,5)	(€ 65,2)

IRR & NPV – Base case

Onderstaand zijn de gevoeligheidstabellen weergegeven voor de **base case**, waarbij de cellen zonder resultaat een rendement weergeven van lager dan **(20) %**. De tabellen laten zien dat, met de uitgangspunten van deze case (geel omlijnd), er geen rendabele casus gemaakt kan worden. De onrendabele top van de base case is weergegeven in de onderste tabel en is in **totaal 92 miljoen €**. Om deze onrendabele top te voorkomen, moet er **€4,64 per geproduceerde kg waterstof** worden gecompenseerd.

Base case

Waterstof €4,73 / kg H₂

Restwarmte €10 / GJ

Zuurstof €0,03 / kg O₂

Stroomprijs €0,11 / kWh

Onrendabele top € 4,64 per kg H₂

IRR (%)	€ / kg H2											
	€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00	€ 4,50	€ 5,00	€ 5,50	€ 6,00	€ 6,50	€ 7,00	€ 7,50	€ 8,00	€ 8,50
€/ kWh	€ 0,04	-	-	(4,66)%	7,88 %	19,02 %	29,65 %	39,94 %	49,97 %	59,81 %	69,49 %	79,07 %
	€ 0,05	-	-	-	(8,41)%	4,98 %	16,38 %	27,14 %	37,53 %	47,63 %	57,52 %	67,25 %
	€ 0,06	-	-	-	-	(12,73)%	1,94 %	13,68 %	24,60 %	35,09 %	45,27 %	55,22 %
	€ 0,07	-	-	-	-	-	(18,17)%	(1,27)%	10,92 %	22,01 %	32,62 %	42,89 %
	€ 0,08	-	-	-	-	-	-	-	(4,73)%	8,07 %	19,38 %	30,12 %
	€ 0,09	-	-	-	-	-	-	-	-	(8,57)%	5,11 %	16,70 %
	€ 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(13,01)%	2,01 %
	€ 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(18,70)%
	€ 0,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	€ 0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NPV (M€)	€ / kg H2											
	€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00	€ 4,50	€ 5,00	€ 5,50	€ 6,00	€ 6,50	€ 7,00	€ 7,50	€ 8,00	€ 8,50
€/ kWh	€ 0,04	(€ 38,1)	(€ 27,8)	(€ 18,2)	(€ 9,1)	(€ 0,1)	€ 8,9	€ 17,9	€ 26,9	€ 35,9	€ 44,8	€ 53,8
	€ 0,05	(€ 50,9)	(€ 40,6)	(€ 30,4)	(€ 20,5)	(€ 11,3)	(€ 2,3)	€ 6,7	€ 15,7	€ 24,7	€ 33,6	€ 42,6
	€ 0,06	(€ 63,7)	(€ 53,4)	(€ 43,2)	(€ 32,9)	(€ 22,8)	(€ 13,6)	(€ 4,5)	€ 4,5	€ 13,5	€ 22,4	€ 31,4
	€ 0,07	(€ 76,5)	(€ 66,2)	(€ 56,0)	(€ 45,7)	(€ 35,4)	(€ 25,2)	(€ 15,8)	(€ 6,8)	€ 2,3	€ 11,3	€ 20,2
	€ 0,08	(€ 89,3)	(€ 79,0)	(€ 68,8)	(€ 58,5)	(€ 48,2)	(€ 37,9)	(€ 27,7)	(€ 18,0)	(€ 9,0)	€ 0,1	€ 9,0
	€ 0,09	(€ 102,1)	(€ 91,8)	(€ 81,6)	(€ 71,3)	(€ 61,0)	(€ 50,7)	(€ 40,4)	(€ 30,2)	(€ 20,3)	(€ 11,2)	(€ 2,2)
	€ 0,10	(€ 114,9)	(€ 104,6)	(€ 94,4)	(€ 84,1)	(€ 73,8)	(€ 63,5)	(€ 53,2)	(€ 43,0)	(€ 32,7)	(€ 22,6)	(€ 13,4)
	€ 0,11	(€ 127,7)	(€ 117,4)	(€ 107,2)	(€ 96,9)	(€ 86,6)	(€ 76,3)	(€ 66,0)	(€ 55,8)	(€ 45,5)	(€ 35,2)	(€ 25,0)
	€ 0,12	(€ 140,5)	(€ 130,2)	(€ 120,0)	(€ 109,7)	(€ 99,4)	(€ 89,1)	(€ 78,8)	(€ 68,6)	(€ 58,3)	(€ 48,0)	(€ 37,7)
	€ 0,13	(€ 153,3)	(€ 143,0)	(€ 132,8)	(€ 122,5)	(€ 112,2)	(€ 101,9)	(€ 91,6)	(€ 81,4)	(€ 71,1)	(€ 60,8)	(€ 50,5)

Casus haalbaar

NPV (M€)		€/ kg H2											
		€ 3,00	€ 3,50	€ 4,00	€ 4,50	€ 5,00	€ 5,50	€ 6,00	€ 6,50	€ 7,00	€ 7,50	€ 8,00	€ 8,50
€/ kWh	€ 0,04	(€ 23,6)	(€ 14,3)	(€ 5,3)	€ 3,7	€ 12,7	€ 21,7	€ 30,7	€ 39,7	€ 48,7	€ 57,7	€ 66,6	€ 75,6
	€ 0,05	(€ 36,2)	(€ 26,0)	(€ 16,6)	(€ 7,5)	€ 1,5	€ 10,5	€ 19,5	€ 28,5	€ 37,5	€ 46,5	€ 55,5	€ 64,4
	€ 0,06	(€ 49,0)	(€ 38,8)	(€ 28,5)	(€ 18,8)	(€ 9,8)	(€ 0,7)	€ 8,3	€ 17,3	€ 26,3	€ 35,3	€ 44,3	€ 53,2
	€ 0,07	(€ 61,8)	(€ 51,6)	(€ 41,3)	(€ 31,0)	(€ 21,1)	(€ 12,0)	(€ 3,0)	€ 6,1	€ 15,1	€ 24,1	€ 33,1	€ 42,1
	€ 0,08	(€ 74,6)	(€ 64,4)	(€ 54,1)	(€ 43,8)	(€ 33,5)	(€ 23,4)	(€ 14,2)	(€ 5,2)	€ 3,9	€ 12,9	€ 21,9	€ 30,9
	€ 0,09	(€ 87,4)	(€ 77,2)	(€ 66,9)	(€ 56,6)	(€ 46,3)	(€ 36,0)	(€ 25,8)	(€ 16,4)	(€ 7,4)	€ 1,6	€ 10,7	€ 19,7
	€ 0,10	(€ 100,2)	(€ 90,0)	(€ 79,7)	(€ 69,4)	(€ 59,1)	(€ 48,8)	(€ 38,6)	(€ 28,3)	(€ 18,7)	(€ 9,6)	(€ 0,6)	€ 8,4
	€ 0,11	(€ 113,0)	(€ 102,8)	(€ 92,5)	(€ 82,2)	(€ 71,9)	(€ 61,6)	(€ 51,4)	(€ 41,1)	(€ 30,8)	(€ 20,9)	(€ 11,8)	(€ 2,8)
	€ 0,12	(€ 125,8)	(€ 115,6)	(€ 105,3)	(€ 95,0)	(€ 84,7)	(€ 74,4)	(€ 64,2)	(€ 53,9)	(€ 43,6)	(€ 33,3)	(€ 23,3)	(€ 14,1)
	€ 0,13	(€ 138,6)	(€ 128,4)	(€ 118,1)	(€ 107,8)	(€ 97,5)	(€ 87,2)	(€ 77,0)	(€ 66,7)	(€ 56,4)	(€ 46,1)	(€ 35,9)	(€ 25,7)

Subsidies

Het compenseren van de onrendabele top kan op verschillende manieren. Zoals is gepresenteerd in de gevoeligheidstabellen kan een **lagere stroomprijs** en een **hogere verkoopprijs van waterstof** zorgen voor een haalbare casus. Daarnaast zijn er mogelijke subsidies die de onrendabele top kunnen compenseren. Hieronder is een lijst met mogelijke subsidies weergegeven en indien mogelijk, met de daarbij horende subsidie intensiteit per kg H₂.

Subsidies & fiscale regelingen (volgen eisen van groen-certificering EU)

Demonstratie energie- klimaatinnovatie (DEI+):

- Investeringssubsidie van maximaal 55% op de installatie CAPEX.
- Geldt alleen voor **innovatieve demonstratie- of pilot-projecten**.

Stimulering duurzame energieproductie (SDE++):

- Exploitatatiesubsidie van maximaal **€4,00 per kg**.
- Additionele eis in de 2022 SDE: **geen gesubsidieerde stroom inkopen**.

Conceptsubsidie: Tijdelijk opschalingsinstrument waterstofproductie uit elektrolyser (TOW):

- Investeringssubsidie van maximaal 45% op de installatie CAPEX.
- Exploitatiesubsidie tot maximaal **€8,00 per kg H₂ (inclusief investeringssubsidie)**.

Fiscale regeling Energie Investerings Aftrek (EIA):

- 45,5% van de investeringskosten aftrekken van de fiscale winst en dus minder belasting betalen.

Regionale subsidies:

- Er zijn vaak regionaal / provinciaal subsidies beschikbaar om dergelijke projecten te ondersteunen.

Europese subsidies:

- **Just Transition Fund**: meerdere Nederlandse H₂ consortia nemen deel, totale subsidiepot van 620 M€ voor Nederland.
- **Innovation Fund**: subsidie voor activiteiten die innovatieve waterstof productie en applicatie ondersteunen, totale subsidiepot is 1.000 M€ voor heel EU. Het innovatieve karakter van specifieke elementen moet worden onderzocht.

Geen subsidie, maar wel interessant voor het project:

Lokaal fonds om kapitaal op te halen is het **Fûns Skjinne Fryske Enerzjy (FSFE)**.

“FSFE verstrekt risicodragende financiering in de vorm van leningen, garanties en/of aandelenkapitaal (in combinatie met private investeerders) met een maximum van € 15 miljoen per project.” -

<https://www.fsfe.frl/>

Samenvatting resultaten

Samenvatting resultaten financiële haalbaarheid

- **Investerings (CAPEX + DEVEX):**
 - Extra investering backbone:
- **Operationele kosten (OPEX):**
 - Waarvan stroomkosten:
- **LCOH₂:**

Afhankelijk van systeemscenario		
25 – 37	M€	} Uitgaande van base case LCOH ₂
7	M€	
12 – 25	M€	
8 – 16	M€	
9 – 10	€ / kg H ₂	

Financiële scenario's

- **Worst case**
 - Onrendabele top: €7,10 / kg H₂
- **Base case**
 - Onrendabele top: €4,64 / kg H₂
- **Best case**
 - Haalbaar, IRR: 8,63 %

Beschikbare exploitatiesubsidies:

- TOW (Concept): max 8,00 € / kg H₂
- SDE++ (2022): max 4,00 € / kg H₂



Conclusies financiële haalbaarheid

De verschillen in investeringen tussen systeemscenario's is groot, met grofweg **12 miljoen €** verschil tussen de kleinste en grootste configuratie. De verschillen tussen systeemscenario's in LCOH_2 zijn relatief klein, met een verschil van zo'n **1€ / kg** tussen de verschillende configuraties.

Het **groeiscenario met 5 ton opslag** heeft met **37 miljoen €** de hoogste CAPEX van de verschillende scenario's, maar door de grote schaal en volumes komt de LCOH_2 relatief laag uit rond de **€9,30 / kg H_2** . Het groeiscenario met opslag vraagt dus een hogere investering dan de andere scenario's, maar is qua uiteindelijke kostprijs per kilo waterstof vergelijkbaar met de rest.

Base case

Met een waterstof verkoopprijs gelijk aan de huidige equivalente gasprijs (**€4,73 / kg**) en een stroom inkoopprijs gelijk aan de huidige lange-termijn contracten (**€0,11 / kWh**), dan is de casus haalbaar met de maximale SDE++ subsidie en een aanvullende investeringssubsidie van zo'n 30% van de CAPEX.

Worst case

Wordt de verkoopprijs van de waterstof lager (**€3,00 / kg**) en blijft de inkoopprijs stroom gelijk, dan zal er een zwaardere exploitatiesubsidie aan te pas moeten komen uit bijvoorbeeld de TOW subsidie in combinatie met een investeringssubsidie.

Best case

Worden de stroomprijzen lager (**€0,07 / kWh**) en zijn de bedrijven meer bereid te betalen voor de waterstof dan hun huidige gebruik (**€6,73 / kg**), dan zou de casus haalbaar kunnen zijn zonder subsidie. Voorwaarde is wel dat de reststromen dan effectief kunnen worden afgezet voor marktconforme prijzen.



Bronnen Spoor A, onderdeel 1 & 2

1. **GROHW fase 1 rapport:** <https://grohw.nl/wp-content/uploads/Eindrapporage-GROHW-fase-1.pdf>
2. **Sinewetterstof project:** [Sinewetterstof.nl](https://sinewetterstof.nl)
3. Buttler, A., & Spliethoff, H. (2018). Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82(September 2017), 2440–2454. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.003>
4. Le Coultre, F. S. (2022). *Utilisation of Heat Released During the Production of Green Hydrogen Using Alkaline Electrolysis*. <http://repository.tudelft.nl>
5. Tiktak, W. J. & TNO. (2019). Heat Management of PEM Electrolysis. TU Delft. Retrieved from <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ac046820a-72bc-4f05-b72d-e60a3ecb8c89>
6. Water treatment for green hydrogen, EUROWATER oct 2022 (<https://www.eurowater.com/en/hydrogen-production>)
7. NEL Hydrogen – 20 MW PEM electrolyser system (<https://nelhydrogen.com/product/m-series-3/>)
8. IRENA. (2020). *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf
9. <https://www.pbl.nl/publicaties/voorlopige-correctiebedragen-2022-voor-de-sde-plus-plus>

Spoor A onderdeel 3:

Juridische haalbaarheid

”



Rapportage

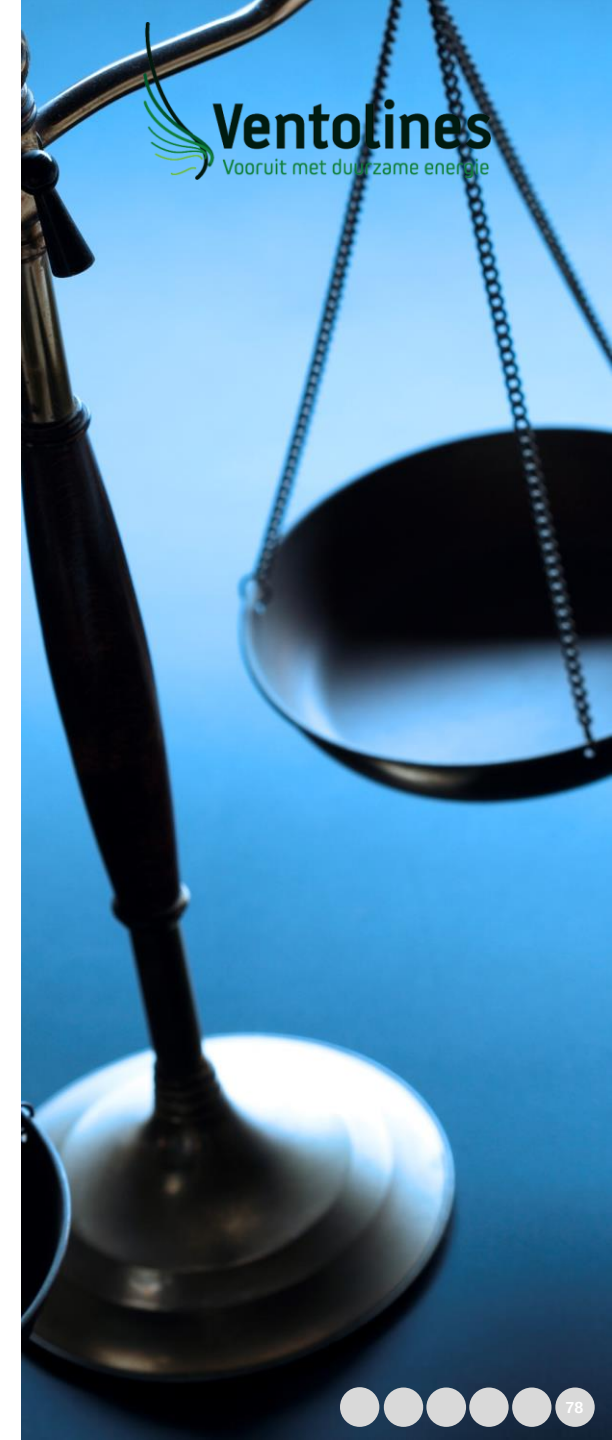
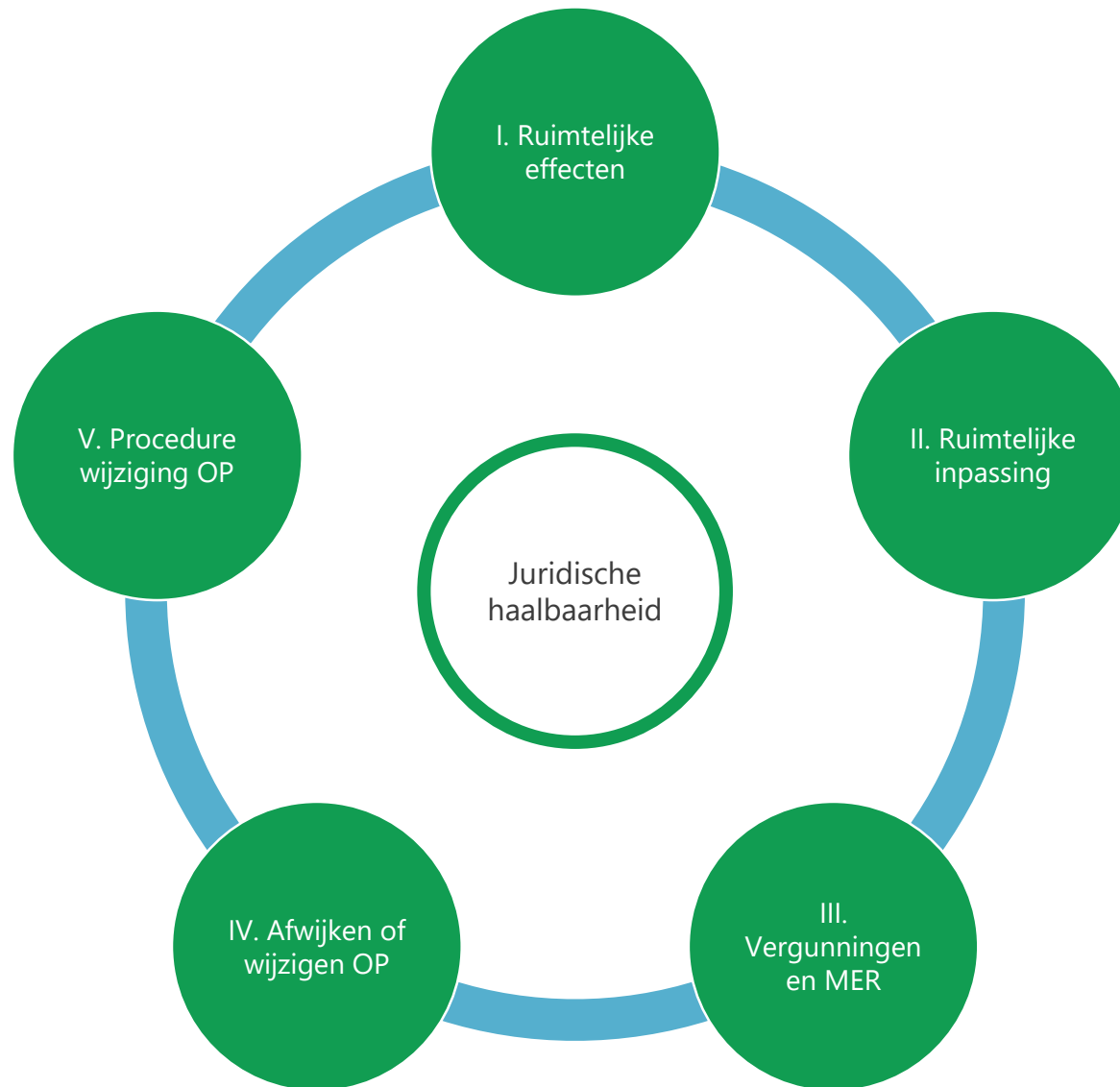
De analyse van de juridische haalbaarheid is door Ventolines uitgevoerd.

De resultaten zijn verwerkt in een separate rapportage 'Juridisch kader vergunningen', tevens **bijgevoegd als bijlage 2** bij dit eindrapport.

De belangrijkste bevindingen zijn samengevat op de volgende slides.

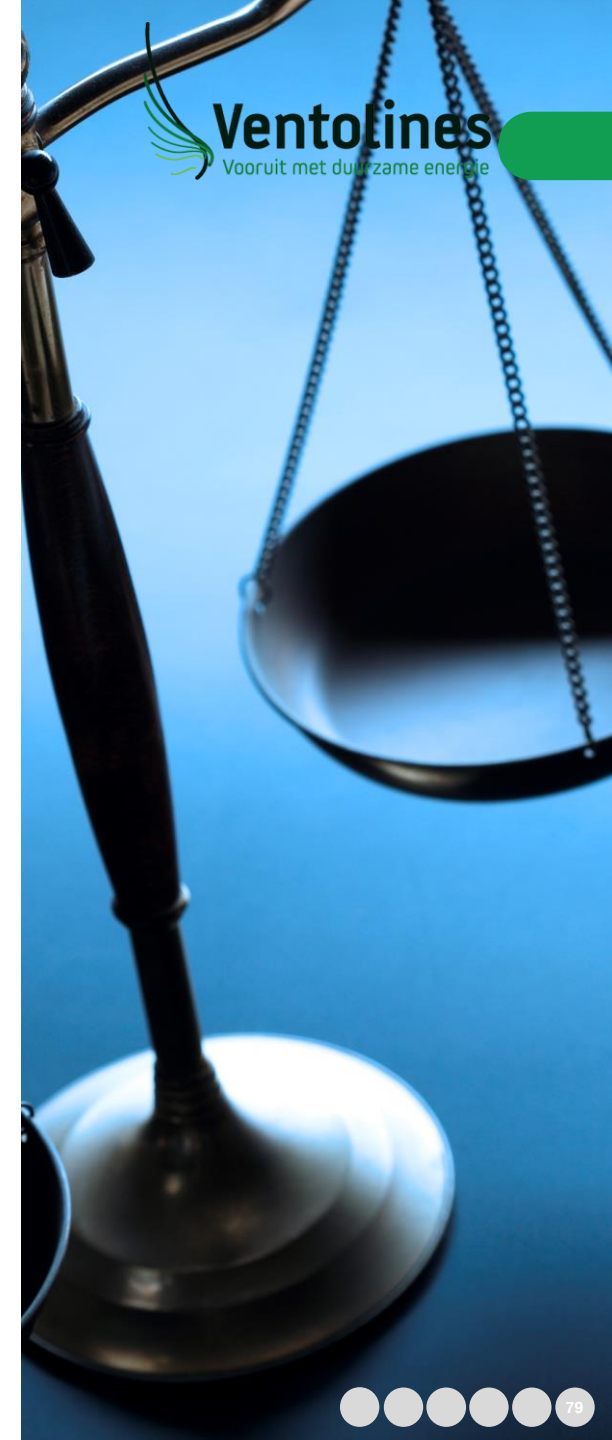


Juridische haalbaarheid



Juridische haalbaarheid

1. Inventarisatie ruimtelijke effecten (p. 80)
2. Ruimtelijke inpassing bij Bolsward (p. 81)
3. Vergunningen en MER (p. 82)
4. Afwijking of wijziging Omgevingsplan (p. 83)
5. Route voor wijziging Omgevingsplan (p. 84)



Inventarisatie ruimtelijke effecten

Categorie	Type / verwachting effect	Benodigde stappen / onderzoek
Ruimtegebruik	- Fysiek ruimtegebruik: 1 Ha bij 20MW elektrolyser - Geluid- en veiligheid zonering - Geluid maatgevend voor benodigde afstand tot gevoelige objecten (woningen)	Uitwerking ontwerp, akoestisch onderzoek
Lucht	Schadelijke emissies, geuremissies, stofproductie niet aanwezig bij normale bedrijfsvoering	Uitwerking ontwerp, toepassing BBT-conclusies (Best beschikbare technieken)
(Afval)waterlozingen	- Afvloeiing hemelwater van daken en verhard oppervlak - Afvalwaterproductie bij productie demiwater (ingedikt drinkwater) - Koelwater	Uitwerking ontwerp, toepassing BBT-conclusies
Geluid	- Geluidproductie van productieproces - Geluid op geluidgevoelige gebouwen	Akoestisch onderzoek met toetsing langtijdsgemiddelde en maximaal geluidniveau bij geluidsgevoelige gebouwen Mogelijk mitigerende maatregelen in ontwerp
Natuur	- Verstoring soorten: Lage verwachtingswaarde op agrarisch gebied - Geen nabijgelegen Natura2000 of NNN-gebied - Geen stikstofuitstoot bij normale bedrijfsvoering	Quicksan ecologie (veldbezoek en literatuurstudie). Aerius berekening voor stikstofuitstoot bouwfase
Veiligheid	Externe veiligheid waterstofproductie, opslag en leidingen. IPPC installatie. Seveso-inrichting bij meer dan 5 ton opslag	Minimaal uitvoeren van kwantitatieve risicoanalyse (QRA) BBT-conclusies, BREF en PGS van toepassing,
Rest- en afvalstoffen	Enkel stoffen voor onderhoud en schoonmaak. Olie en smeermiddelen	Borging afvoer naar erkende verwerker
Visueel	Impact op aanzicht landschap	Uitwerking ontwerp (o.a. bouwhoogte, open of gesloten opstelling, mitigerende maatregelen voor geluid of veiligheid)

Ruimtelijke effecten exploitatie

- Beperkte effecten op omgeving
- Geluid, veiligheid en visuele impact belangrijke aspecten
- Uitwerking en effectstudies benodigd

Ruimtelijke effecten bouwfase

- Met ontwerpfase meer duidelijkheid
- Aerius berekening noodzakelijk. Relatief grote afstand tot Natura 2000 gebied → Vermoedelijk geen probleem

Ruimtelijke inpassing bij Bolsward



Zoekgebied (geïdentificeerd door Repowered)



Uitsnede (ontwerp)bestemmingsplan Buitengebied Súdwest-Fryslân II



Uitsnede Structuurvisie Bolsward 2010

- Invoering omgevingswet per 1 juli 2023
 - Nieuwe regels en procedures
 - Vigerende bestemmingsplannen vormen samen met rijksregels over activiteiten (bruidschat) het tijdelijke deel van het bestemmingsplan
- (ontwerp)Bestemmingsplan *Buitengebied Súdwest-Fryslân II (2022)* van toepassing binnen zoekgebied
 - Enkelbestemming Agrarisch
 - Geen ruimtelijke inpassing mogelijk binnen bestemmingsplan
 - In aanliggende bedrijventerreinen buiten zoekgebied zijn bedrijven t/m milieucategorie 4.2 (dus elektrolyser) mogelijk, maar lijkt geen fysieke ruimte.
- Mogelijk routes
 - Wijziging omgevingsplan
 - Omgevingsvergunning voor een buitenplanse omgevingsplanactiviteit
 - Buiten zoekgebied: Gebieden op naastgelegen bedrijventerrein waar bedrijven t/m milieucategorie 4.2 zijn toegestaan. O.b.v. luchtfoto's geen fysieke ruimte zichtbaar
- Aansluiting bij structuurvisie Bolsward
 - Nieuw werkgebied geprojecteerd bij aansluiting Hichtemerweg
 - Ligging gunstig voor waterstofproductie-installatie
 - Bij opstellen (verplichte) Omgevingsvisie rekening houden met de waterstofhub

- Benodigde vergunningen:
 - 1) Omgevingsvergunning Bouwen
 - 2) Omgevingsvergunning Milieubelastende activiteiten (IPPC installatie)
 - 3) Omgevingsvergunning wateractiviteit (lozingsactiviteit)
 - 4) Omgevingsvergunning buitenplanse omgevingsplanactiviteit (BOPA) **OF** wijziging omgevingsplan (OP)
- MER
 - Project-mer beoordelingsplicht voor omgevingsvergunning milieubelastende activiteit → Provincie bepaalt of mer benodigd is
 - Plan-mer plicht bij wijziging omgevingsplan
- Bevoegd gezag
 - Provincie Fryslân voor meervoudige omgevingsvergunning voor 1,2 en 4 (omdat er sprake is van Mba)
 - De Provincie kan de bevoegdheid evt. ook bij een ander overheidsorgaan leggen (vb: Omgevingsdienst Groningen)
 - Wetterskip Fryslân voor wateractiviteit (omgevingsvergunning wateractiviteit dient altijd separaat aangevraagd te worden)
- Procedure
 - Participatie belangrijk aspect in voorbereiding
 - Milieubelastende activiteit → Uitgebreide procedure (max 26 weken besluitvorming)

Afweging: afwijking of wijziging Omgevingsplan

	Afwijking omgevingsplan met omgevingsvergunning	Wijziging omgevingsplan
MER plicht	Project-Mer beoordelingsplicht	Plan-mer plicht Procedure gelijktijdig met Ontwerp OP mogelijk Wijziging OP - Besluitvorming procedure max 26 weken
Procedure	Waarschijnlijk uitgebreide procedure omgevingsvergunning (26 weken). Optioneel: Later separaat aanvraag omgevingsvergunning bouwen	Let op: Na wijziging is nog steeds een binnenplanse omgevingsvergunning nodig. Dit kan middels coördinatie gelijktijdig of kort na elkaar.
Snelheid	Kan sneller, minder procedurele stappen. Inwerkingtreding direct na bekendmaking. Vereist specificatie eisen, ruimte en onderzoeken	Langzamer, want vaststellen OP en omgevingsplanactiviteit. Procedure kan reeds gestart worden met minder concreet plan
Bezwaar en beroep mogelijkheden	Zienswijzen op ontwerpbesluit (6 weken), Beroep bij rechtbank en hoger beroep bij RvS	Voor omgevingsplan: Zienswijzen op ontwerpbesluit (6 weken) en beroep bij RvS Voor binnenplanse de omgevingsvergunning gelden zelfde mogelijkheden als hiernaast
Flexibiliteit / toekomst	Uitwerking op detailniveau voor 1 initiatief. Bemoeilijkt wijzigingen inrichting. Toekomstige initiatieven vereisen nieuwe procedure	Bestemming op hoofdlijnen. Kan ruimte scheppen voor meer / toekomstige initiatieven

Afweging / rol gemeente

Bij prioriteit op snelheid:

→ BOPA

- Gemeente kan starten met onderzoeken en vergunning afwijking OP en Milieubelastende activiteit voorbereiden. Marktconsultatie benodigd.
- Initiatiefnemer vraagt later separaat vergunning aan voor bouwactiviteit

Bij prioriteit op flexibiliteit en toekomstige uitbreiding

→ Wijziging OP

- Start onderzoeken voor MER en wijziging OP
- Gewijzigd OP geeft toekomstige initiatiefnemers de ruimte.

Route voor wijziging Omgevingsplan

• Omgevingsvisie

- Met ingang van de Omgevingswet dient de gemeente binnen 1 – 2 jaar een Omgevingsvisie op te stellen. → Biedt kansen om beleid voor waterstofhub vast te leggen

• Omgevingsplan

- Uitgebreide procedure, 26 weken

• M.e.r.

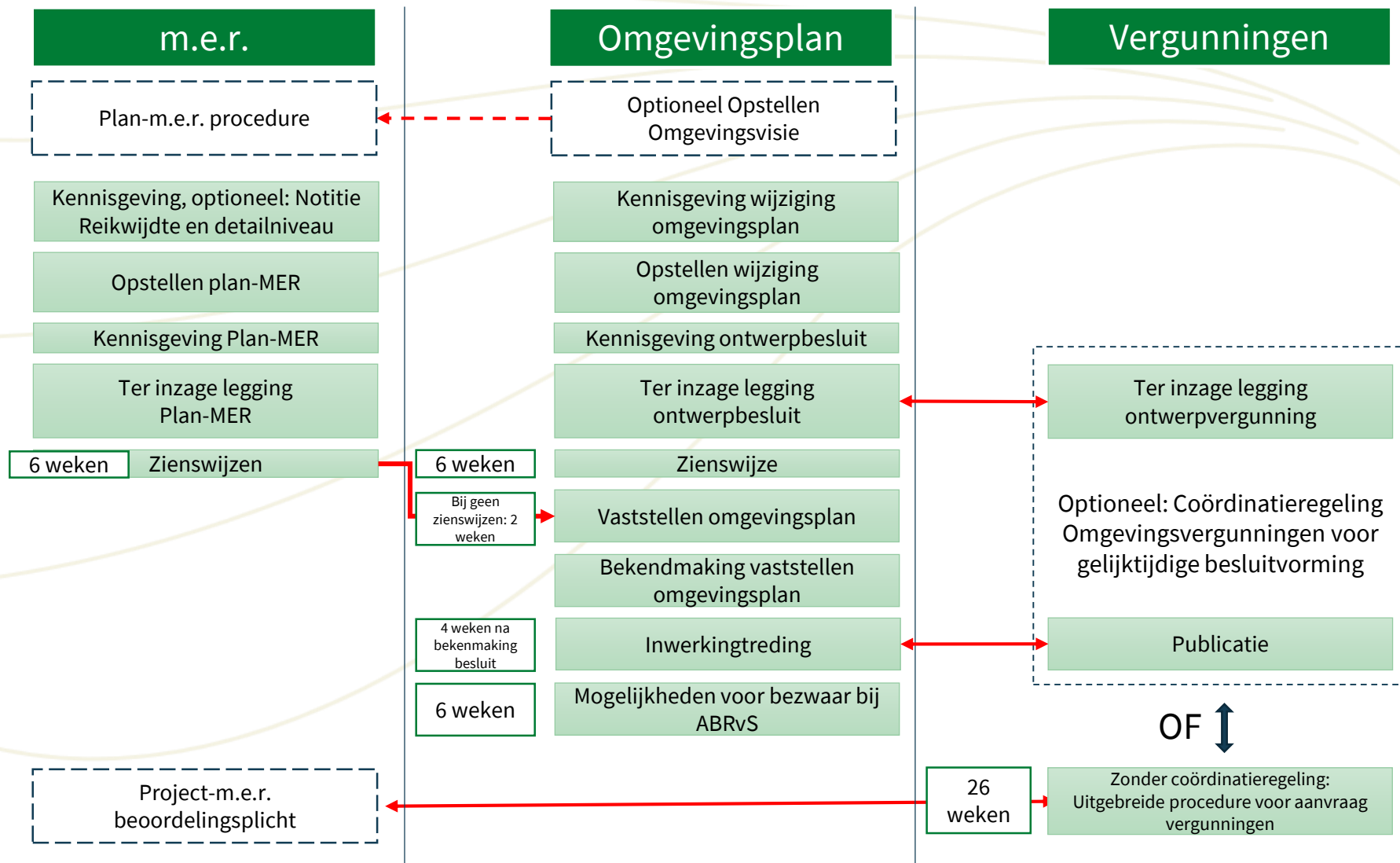
- Omgevingsplan vereist een plan-MER. Kan parallel verlopen met procedure Omgevingsplan middels coördinatieregeling

• Vergunningenprocedure

- Kan parallel of kort na procedure Omgevingsplan starten middels coördinatieregeling. Voorkeur als gemeente vergunningen aanvraagt → Vereist vergunningen met veel flexibiliteit om initiatiefnemer niet “klem” te zetten
- Of indiening aanvraag na inwerkingtreding Omgevingsplan. Voorkeur als initiatiefnemer vergunningen aanvraagt → Zekerheid op passende vergunningen

• Aandachtspunten tijd

- Zorgvuldig vooroverleg en participatie kan latere bezwaarprocedures voorkomen



Spoor B

Scope ontwikkeltraject

”



Spoor B: Scope ontwikkeltraject



Scope ontwikkeltraject Waterstofhub

- N.a.v. het verdiepende haalbaarheidsonderzoek kan worden besloten om te starten met de ontwikkeling van de Waterstofhub
- Aangenomen is dat gemeente SWF zelf zal starten met de ontwikkeling, maar realisatie en exploitatie van het project overlaat aan 'de markt' middels aanbesteding van het project tijdens het ontwikkeltraject
- Het ontwikkeltraject kent op hoofdlijnen de volgende onderdelen (in min of meer chronologische volgorde) die nader zijn uitgewerkt en worden toegelicht in deze presentatie:
 - Vaststellen omvang en vormgeving waterstofhub *(p. 88)*
 - Marktconsultatie en aanbesteding project *(p. 89 – 90)*
 - Procedure omgevingsplan, vergunningen en onderzoeken *(p. 91)*
 - Voorbereiding en realisatie netaansluiting *(p. 92 – 94)*
 - Aanvraag subsidie(s) *(p. 95 – 96)*
 - Contractering stroomafname en afzet waterstof *(p. 97 – 98)*
 - Contractering t.b.v. bouw en exploitatie *(p. 99 – 100)*
 - Projectfinanciering en Financial Close *(p. 101 – 102)*
- Na Financial Close kan worden gestart met de bouwvoorbereiding en de bouw. Dit maakt geen onderdeel uit van het ontwikkeltraject, maar is wel relevant voor de planning tot en met realisatie *(zie p. 104 – 106)*

- O.b.v. het verdiepende haalbaarheidsonderzoek kunnen de meest gewenste varianten voor de waterstofhub worden geselecteerd:
 - Omvang en locatie van elektrolyser en (optioneel) opslag van waterstof
 - Wijze van transporteren waterstof, tracés voor buisleidingen
 - Aansluiting op elektriciteitsnet en (optioneel) waterstofbackbone
- Van deze *onderzoeksvarianten* dienen in een volgende stap de ruimtelijke effecten te worden onderzocht om uiteindelijk te komen tot een *voorkeursvariant*
- Vaststellen onderzoeksvarianten:
 - Selecteren van mogelijke/gewenste (variaties op) scenario's uit het verdiepende haalbaarheidsonderzoek
 - Keuze maken voor mogelijke locatie(s) voor de verschillende onderdelen
- Uitwerken details onderzoeksvarianten:
 - Duidelijke beschrijving van alle onderdelen per onderzoeksvariant
 - Gewenste flexibiliteit / keuzemogelijkheden uitwerken in een bandbreedte t.b.v. verder onderzoek
- Optioneel: input ophalen bij (geïnteresseerde) marktpartijen via een marktconsultatie

Marktconsultatie en aanbesteding project (1)

- Bij verschillende stappen in het ontwikkeltraject kan input worden opgehaald bij (geïnteresseerde) marktpartijen door middel van marktconsultatie, bijvoorbeeld:
 - Keuze voor de onderzoeksvarianten en/of vaststelling van de voorkeursvariant
 - Wijze van aanbesteding, gunningscriteria en/of keuze voor moment van aanbesteding
- Uitgangspunten voor aanbesteding:
 - Eén of meer marktpartijen realiseren én exploiteren het project voor eigen rekening en risico
 - Gewenst om door gemeente gemaakte kosten, al dan niet inclusief marge, te ‘verhalen’ op winnende partij(en)
- Vóór aanbesteding moeten de gunningscriteria en aanbestedingsdocumentatie worden opgesteld
 - Planning en aanpak is afhankelijk van keuze voor het moment van aanbesteding
- Aanbestedingstraject kent op hoofdlijnen 4 fasen:
 1. Marktconsultatie: input ophalen voor mogelijke/gewenste onderzoeksvarianten (optioneel)
 2. Marktconsultatie: keuze van voorkeursvariant en wijze van aanbesteding (optioneel)
 3. Invitation to Tender: uitschrijven van aanbesteding, publiceren aanbestedingsdocumentatie
 4. Gunning en evaluatie: selecteren van een winnaar o.b.v. gunningscriteria, evaluatie van proces met ‘bidders’

Marktconsultatie en aanbesteding project (2)

- Logische momenten voor aanbesteding:
 - Na wijziging omgevingsplan (indien van toepassing)
 - *Voordeel: dit biedt de mogelijkheid voor gemeente SWF om in het omgevingsplan duidelijke kaders te stellen voor de mogelijke omvang en vormgeving van de waterstofhub, zonder alle details zelf uit te hoeven werken in vergunningen*
 - *Nadeel: geen mogelijkheid voor gecoördineerde procedure (gelijktijdige wijziging omgevingsplan en vergunningsaanvraag) waardoor het ontwikkeltraject waarschijnlijk langer zal duren*
 - Na beschikking van de benodigde omgevingsvergunningen
 - *Voordeel: vergunningsaanvraag is mogelijk zonder wijziging van het omgevingsplan óf in een gecoördineerde procedure*
 - *Nadeel: gemeente SWF moet zelf al in grote mate de details uitwerken in de vergunningsaanvraag*
- Overwegingen bij aanbesteding:
 - Gewenst om door gemeente gemaakte kosten, al dan niet inclusief marge, te ‘verhalen’ op winnende partij(en)
 - Essentieel om rekening te houden met de overall planning, met name i.v.m. gewenste ingebruikname vóór 2027
 - ‘Knip’ tussen wijziging omgevingsplan en aanvraag omgevingsvergunningen vergroot kans op vertraging waardoor mogelijk pas 1 of 2 jaar later SDE++ subsidie kan worden aangevraagd (uiterlijk in 2025)

Procedure omgevingsplan en vergunningen

- De vergunningenprocedure kent een aantal opties (*zie p. 76 – 84*)
 - Vergunning aanvragen in afwijking van het omgevingsplan
 - Eerst wijziging omgevingsplan en aansluitend vergunning aanvragen
 - Gecoördineerde procedure, vergunningsaanvraag parallel aan wijziging omgevingsplan
- Voor een eventuele wijziging van het omgevingsplan moet parallel een plan-m.e.r. worden uitgevoerd
 - Voor de volledige procedure staat in principe een periode van 26 weken
 - Optioneel kan de vergunningsaanvraag parallel verlopen in een gecoördineerde procedure
- Vergunningsaanvraag zonder coördinatieregeling of in afwijking van het omgevingsplan
 - In beide gevallen geldt de uitgebreide procedure van 26 weken
 - Voor de aanvraag van de vergunning in afwijking van het omgevingsplan geldt een m.e.r.-beoordelingsplicht
- Voorafgaand aan de procedure moet onderzoek worden verricht naar de relevante ruimtelijke effecten
 - De onderzoeksresultaten zijn bepalend voor de benodigde vergunningen en de onderbouwing
 - Uitvoering van de onderzoeken zal naar verwachting ca. 6 maanden in beslag nemen
 - Parallel aan afronding van het onderzoek kan worden gestart met voorbereiding van de vergunningenprocedure

Vorbereiding en realisatie netaansluiting (1)

- Er zijn drie mogelijkheden voor het realiseren van een netaansluiting:
 - Liander: Aansluiting op (nog te realiseren) MS-station Bolsward (20 kV) – eigen (primaire) netaansluiting
 - TenneT: Aansluiting op (nog te realiseren) HS-station Bolsward (110 kV) – eigen (primaire) netaansluiting
 - WPF: Aansluiting op bestaande exportkabel (110 kV) – achter netaansluiting WPF via ‘Directe Lijn’
- Bij een keuze voor de gewenste aansluitoptie spelen verschillende overwegingen een belangrijke rol:
 - Technische haalbaarheid: is de aansluitoptie geschikt?
 - Juridische haalbaarheid: is de aansluitoptie toegestaan o.b.v. wet- en regelgeving?
 - Financiële haalbaarheid: zijn de kosten voor de aansluitoptie te dragen door het project?
 - Doorlooptijd: is een tijdige realisatie mogelijk én kan hierover tijdig zekerheid worden verkregen?
- O.b.v. het verdiepend haalbaarheidsonderzoek kan worden gekozen welke aansluitoptie(s) de voorkeur verdient/verdiene en kan worden gestart met de voorbereidingen (*zie p. 93 – 94*)
NB: het is mogelijk gewenst/nodig om vooralsnog meerdere opties open te houden
- Het is aan te bevelen om al in een vroeg stadium te starten met de inhoudelijke afstemming met Liander, TenneT en/of WPF over de te maken afspraken en zo snel mogelijk een formele aanvraag in te dienen

Vorbereiding en realisatie netaansluiting (2)

- Aandachtspunten doorlooptijd aansluitopties Liander/TenneT:
 - De totale doorlooptijd bedraagt ca. 2,5 à 3,5 jaar (vanaf aanvraag quickscan)
 - Realisatie van deze aansluitopties is afhankelijk van realisatie nieuw HS/MS-station Bolsward
NB: Oplevering HS/MS-station verwacht begin 2026, afhankelijk van lopende Raad van State procedure
 - De aanvraag van de netaansluiting verloopt in fasen:
 - Aanvraag quickscan (gratis en vrijblijvend): indicatie van mogelijkheden incl. oplevertermijn (ca. 3 – 6 maanden)
NB: pas mogelijk na definitieve keuze voor locatie netaansluiting en gewenst aansluitvermogen
 - Aanvraag engineeringsofferte (aanbetaling van kosten netaansluiting)
 - Opstellen basisontwerp en engineeringsofferte door netbeheerder (ca. 6 – 12 maanden)
NB: aanbidding engineeringsofferte onder voorbehoud van beschikbaarheid aansluit- en transportcapaciteit
 - Teken en engineeringsofferte, binnen 1 maand (betalingsverplichting volledige kosten netaansluiting)
NB: na ondertekenen engineeringsofferte is de aansluit- en transportcapaciteit gereserveerd en wordt de ATO gefinaliseerd
 - Realisatie van de netaansluiting door netbeheerder, na teken en engineeringsofferte (ca. 18 – 24 maanden)
 - Aanvragen van benodigde vergunningen
 - Sluiten grondovereenkomsten en vestigen zakelijk recht
 - Vorbereiding en uitvoering bouwwerkzaamheden

Vorbereiding en realisatie netaansluiting (3)

- Aandachtspunten doorlooptijd aansluitoptie WPF:
 - Veel te doorlopen stappen m.b.t. realisatie infrastructuur en splitsing WPF exportkabel:
 - Afspraken maken met WPF over aansluiting op de exportkabel:
 - Commercieel: verdeling kosten netaansluiting, vergoedingen, dekking gemiste inkomsten WPF, etc.
 - Juridisch: aanpassingen ATO, PPA en programmaverantwoordelijkheid, zekerheden, afdekken risico's, etc.
 - Technisch: ontwerp infrastructuur, planning voor uitvoeren werkzaamheden en onderhoud, etc.
 - Tracé voor bekabeling van WPF exportkabel naar elektrolyser vaststellen
 - Vergunningen verkrijgen voor bekabeling, step-down trafo's en overige infrastructuur
 - Grondovereenkomsten voor benodigde gronden opstellen en sluiten (t.b.v. vestigen zakelijk recht)
 - Grondonderzoeken en pre-engineering uitvoeren (sonderingen, grondwatermetingen, niet-gesprongen explosieven, etc.)
 - Bouwvoorbereiding, contracteren aannemer(s) en begeleiden van bouwwerkzaamheden
 - De doorlooptijd van de stappen is (sterk) afhankelijk van externe factoren
(vb: medewerking grondeigenaren, voortgang vergunningenprocedure, levertijden kabels/step-down trafo's)
 - De te doorlopen stappen kunnen tot op zekere hoogte gelijktijdig worden uitgevoerd maar zijn deels afhankelijk van de voortgang of zelfs afronding van andere stappen

Aanvraag subsidie (1)

- Aangenomen is dat de subsidie(s) pas worden aangevraagd ná aanbesteding van het project, dus door de marktpartij aan wie het project wordt gegund
- Voor de gehele projectplanning is dit punt echter wel van belang, en daarmee ook mede bepalend bij keuzes die de gemeente kan maken in het voortraject
- Verschillende subsidieregelingen zijn mogelijk van toepassing:
 - Investeringssubsidies: o.a. DEI+
 - Exploitatiesubsidie: SDE++
- Bijzonderheden m.b.t. de SDE++ subsidieregeling:
 - Naar verwachting blijft de SDE++ subsidieregeling nog t/m 2025 van kracht
 - Op dit moment is SDE++ subsidie voor de productie van groene waterstof niet mogelijk indien bij de productie gebruik wordt gemaakt van gesubsidieerde groene stroom
 - Een transportindicatie van de netbeheerder is benodigd. Deze zal de netbeheerder pas afgeven als duidelijk is dat de aangevraagde transportcapaciteit beschikbaar is (na aanvraag van de engineeringsofferte)
NB: dit is niet van toepassing bij aansluiting d.m.v. een 'Directe Lijn'
- Naast subsidies zijn er ook fiscale voordelen. Dit is echter minder van belang voor de projectplanning

Aanvraag subsidie (2)

- Aandachtspunten m.b.t. de projectplanning:
 - Realisatie van het project vóór 2027 is gewenst i.v.m. de (verwachte) uitzonderingsregels voor de certificering van groene waterstof (benodigd voor het verkrijgen van de meeste subsidies)
NB: bij latere realisatie gelden aanzienlijk strengere voorwaarden voor de certificering
 - De benodigde vergunningen moeten definitief zijn beschikt (voor de hoofdonderdelen van de installatie)
 - De subsidieaanvragen kunnen parallel verlopen met eventuele bezwaarprocedures tegen de vergunningen
 - De meeste subsidieregelingen kennen één openstellingsronde per jaar met een beperkte tijd voor inschrijving
 - Het budget per openstellingsronde is beperkt, waardoor het risico bestaat dat de aanvraag niet kan worden gehonoreerd en de aanvraag pas een jaar later opnieuw kan worden ingediend
 - Het voorbereiden van een subsidieaanvraag zelf kost doorgaans enkele maanden
- Samenhang met andere stappen uit het ontwikkeltraject:
 - De keuze voor een ‘knip’ tussen wijziging omgevingsplan en aanvraag vergunningen leidt tot latere beschikking van de vergunningen, waardoor de subsidies mogelijk pas 1 of 2 jaar later kunnen worden aangevraagd
 - De subsidieaanvragen kunnen pas worden voorbereid en ingediend ná gunning van het project
 - Een tijdige aanvraag van de netaansluiting is essentieel om op tijd de transportindicatie te verkrijgen die benodigd is voor het aanvragen van de SDE++

- Het stroomafnamecontract (PPA) zal waarschijnlijk pas in een laat stadium worden afgesloten, maar het verdient aanbeveling om al in een vroeg stadium te starten met de voorbereidingen en onderhandelingen
- In de onderzochte scenario's (*zie p. 47 – 49*) wordt uitgegaan van een bilaterale PPA met WPF, optioneel met aanvullende PPA's met WP Beabuorren en nog te realiseren zonprojecten
- WPF heeft de mogelijkheid om tot 10% van de productie te contracteren via een bilaterale PPA. Het is aan te bevelen om in een vroeg stadium exclusiviteit vast te leggen met WPF over de afname van deze stroom.
- Aandachtspunten bij de onderhandelingen met de (mogelijke) stroom leverende partijen:
 - De stroomprijs is grotendeels bepalend voor de kosten van de geproduceerde waterstof. Het kan daarom gewenst zijn om een vaste of maximale prijs af te spreken, bij voorkeur voor een lange periode vooruit.
 - Wind- en zonprojecten hanteren doorgaans echter een variabele stroomprijs die 'spiegelt' aan de SDE+ subsidie. Een vaste stroomprijs lager dan het Basisbedrag is een risico voor de financiering van deze projecten.
 - Het is van belang om de inkoopprijs voor stroom en de verkoopprijs voor waterstof (en evt. restproducten) met elkaar in balans te brengen, bij voorkeur voor een lange periode vooruit.
 - Bilaterale contracten hebben als risico dat het project (deels) afhankelijk wordt van de tegenpartij. Dit risico moet contractueel zo veel mogelijk worden beperkt, en restrisico's bij voorkeur verzekerd.

Contractering afzet waterstof (en reststromen)

- Het verdient aanbeveling om al in een vroeg stadium te starten met de voorbereidingen en onderhandelingen met de partijen die (mogelijk) de waterstof (en reststromen) zullen afnemen
- De contractering van de afzet van de geproduceerde groene waterstof is cruciaal voor de financiering
- Aandachtspunten bij de onderhandelingen met de (mogelijke) afnamepartijen:
 - Het is van belang om te onderzoeken welke mate van flexibiliteit voor de prijs van groene waterstof acceptabel is voor de mogelijke afnamepartijen.
 - Het is van belang om de verkoopprijs voor waterstof (en evt. restproducten) en de inkoopprijs voor stroom met elkaar in balans te brengen, bij voorkeur voor een lange periode vooruit.
 - Bilaterale contracten hebben als risico dat het project (deels) afhankelijk wordt van de tegenpartij. Dit risico moet contractueel zo veel mogelijk worden beperkt, en restrisico's bij voorkeur verzekerd.
 - De fysieke verbinding middels een gasbuisleiding beperkt de flexibiliteit van alle betrokken partijen en zorgt voor extra risico's:
 - Bij het (gedeeltelijk) wegvallen van een afnamepartij kan de waterstofhub mogelijk niet langer rendabel opereren, tenzij een alternatieve afzetmarkt wordt gevonden
 - Voor de afnamepartijen is het van belang dat ze kunnen vertrouwen op een continue levering van groene waterstof, omdat zij mogelijk geen (volwaardig) alternatief achter de hand zullen hebben

Contractering t.b.v. bouw en exploitatie (1)

- Aangenomen is dat de contractering voor het project plaatsvindt ná gunning van het project en dus wordt uitgevoerd door de marktpartij aan wie het project wordt gegund
- Voor de gehele projectplanning is dit punt echter wel van belang, en daarmee ook mede bepalend bij keuzes die de gemeente kan maken in het voortraject
- Voor de contractering van de bouw kan in principe worden gekozen voor verschillende opties:
 - ‘*Multi-contracting*’: aannemers apart contracteren, opdrachtgever verzorgt o.a. het ‘*interface management*’
 - ‘*EPC*’ of ‘*Turnkey*’ contract: één hoofdaannemer realiseert het project conform voorschriften van opdrachtgever
- Behalve t.b.v. de bouw van het project zelf dienen ook de nodige andere zaken te worden gecontracteerd:
 - PPA (stroomafnamecontract): rechtstreeks met opwekker(s) van duurzame energie of met een tussenpartij
 - Verzekeringen: doorgaans via een verzekeringsmakelaar om te borgen dat alles wordt gedekt
 - Beheer en onderhoud: doorgaans met een gespecialiseerd ‘asset management’ bedrijf
- De verschillende contracten kunnen worden gegund d.m.v. aanbesteding of o.b.v. offertes
- Vóór aanbesteding of aanvragen van offertes moeten de gewenste specificaties en voorwaarden t.a.v. het project worden uitgewerkt in de ‘*Employers Requirements*’

Contractering t.b.v. bouw en exploitatie (2)

- Samenhang met andere stappen uit het ontwikkel- en realisatietraject:
 - Het opstellen van de '*Employers Requirements*' kan (in grote mate) parallel verlopen met het aanvragen van de subsidie(s) en bezwaarprocedures tegen de vergunningen, nadat de definitieve vergunningen zijn beschikt
 - Met name voor de grotere contracten is voorbehoud van financiering van belang:
 - Contracten worden (doorgaans) pas definitief bevestigd door opdrachtgever ('*Notice to Proceed*') ná Financial Close
 - Essentieel om rekening te houden met de geldigheidsduur van bindende aanbiedingen (i.v.m. mogelijke vertragingen bij de rest van de contractering en het bereiken van Financial Close)
 - Na de '*Notice to Proceed*' volgt nog een proces met de aannemers voor het opstellen van een Definitief Ontwerp (DO) en uiteindelijk een UitvoeringsOntwerp (UO), voordat wordt begonnen met de bouw

Projectfinanciering en Financial Close (1)

- Aangenomen is dat de financiering voor het project plaatsvindt ná gunning van het project en dus wordt uitgevoerd door de marktpartij aan wie het project wordt gegund
- Voor de gehele projectplanning is dit punt echter wel van belang, en daarmee ook mede bepalend bij keuzes die de gemeente kan maken in het voortraject
- Aangenomen is dat voor dit project gebruik gemaakt zal worden van projectfinanciering
- Gezien de complexiteit van het project en de vele met elkaar samenhangende onderdelen valt te verwachten dat de financiering geruime tijd in beslag zal nemen
- Het bereiken van Financial Close is alleen mogelijk indien de risico's voldoende zijn afgedekt, en kan worden aangetoond dat sprake is van een rendabel project dat de banklening kan aflossen
- Onderdeel van de projectfinanciering is een '*Due Diligence*', waarbij onafhankelijke partijen namens de bank(en) de projectrisico's inzichtelijk maken en beoordelen of het project voldoet aan de eisen
 - LLA (Lenders Legal Advisor): Controleert en beoordeelt de juridische aspecten (contracten, zekerheden, etc.)
 - LTA (Lenders Technical Advisor): Controleert en beoordeelt de technische aspecten (ontwerp, certificering, etc.)
 - LIA (Lenders Insurance Advisor): Controleert en beoordeelt de verzekeringen van het project (schade, aansprakelijkheid, etc.)

Projectfinanciering en Financial Close (2)

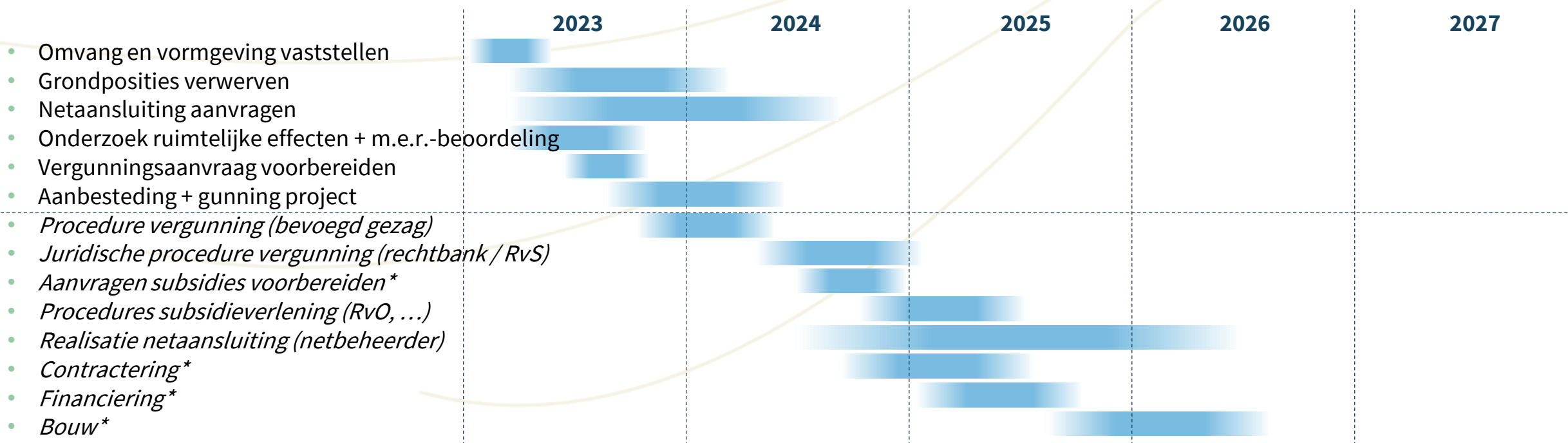
- Samenhang met andere stappen uit het ontwikkel- en realisatietraject:
 - Het uitvragen en selecteren van een financier (bank) kan in grote mate parallel verlopen met de contractering
 - Het opstellen en (uit)onderhandelen van de financieringsdocumentatie kan tot op zekere hoogte parallel verlopen met de afronding van de contractering
 - Na afronding van de contractering duurt het doorgaans nog enkele maanden om tot Financial Close te komen
 - Voor de afronding van de financiering is het essentieel dat alle onderdelen van het project zijn vastgelegd:
 - Vergunningen zijn onherroepelijk
 - Zakelijke rechten zijn gevestigd
 - Contracten zijn ondertekend en bindend

Ontwikkeltraject: indicatieve tijdslijnen (1)

- De doorlooptijd van het ontwikkeltraject tot en met realisatie is in belangrijke mate afhankelijk van de keuzes die door de gemeente worden gemaakt. Daarbij spelen met name de volgende aspecten een rol:
 - Vergunningen - keuze uit 3 opties:
 1. Aanvraag vergunning in afwijking van OP
 2. Gecoördineerde procedure wijziging OP en vergunning
 3. Eerst wijziging van OP, later aanvraag vergunning
 - Aanbesteding:
 - Mate van marktconsultatie bij keuze voor onderzoeksvarianten en voorkeursvariant en de wijze van aanbesteding
 - Moment van aanbesteding (vóór of na aanvraag/beschikking vergunning)
 - Voortvarendheid in besluitvorming:
 - Keuze voor onderzoeksvarianten en voorkeursvariant
 - Voorbereiden en uitvoeren van marktconsultatie en aanbesteding
 - Voorbereiden en indienen aanvraag netaansluiting
 - Start onderzoek ruimtelijke effecten, incl. voorbereiding plan-m.e.r. c.q. project-m.e.r. beoordeling
- In de volgende slides zijn 3 indicatieve tijdslijnen weergegeven voor de 3 ‘vergunningen opties’
- Het is belangrijk om rekening te houden met mogelijke vertragingen in het ontwikkeltraject

Ontwikkeltraject: indicatieve tijdslijnen (2)

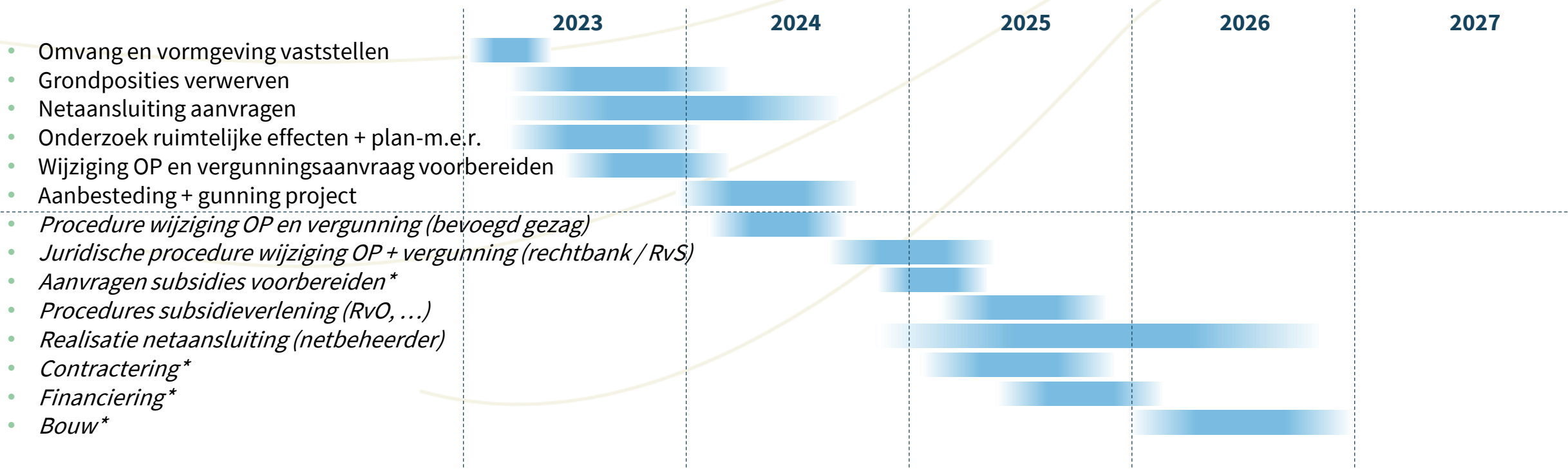
- Optie 1: Aanvraag in afwijking van OP
 - Het ontwikkeltraject start begin 2023
 - De gemeente vraagt de vergunning aan, in afwijking van het Omgevingsplan
 - Gunning van het project vindt plaats kort na beschikking van de vergunning
 - Winnende partij van aanbesteding start gelijk met voorbereiding subsidieaanvragen
 - Aanvraag netaansluiting bij Liander, met tijdige oplevering MS-station én engineeringsofferte gereed vóór eind 2024



*Uitvoering door winnende partij aanbesteding

Ontwikkeltraject: indicatieve tijdslijnen (3)

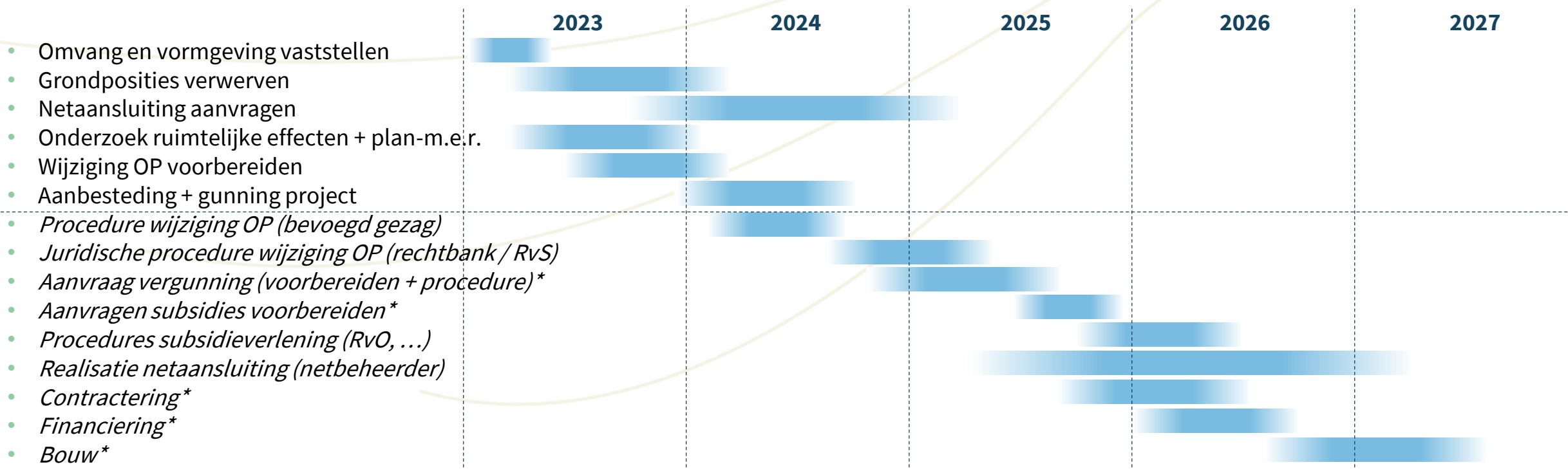
- Optie 2: Gecoördineerde procedure wijziging OP en vergunning
 - Het ontwikkeltraject start begin 2023
 - De gemeente verzorgt de gecoördineerde procedure voor wijziging van OP en vergunning
 - Gunning van het project vindt plaats kort na beschikking vergunning
 - Winnende partij van aanbesteding start gelijk met voorbereiding subsidieaanvragen
 - Aanvraag netaansluiting bij Liander, met tijdige oplevering MS-station én engineeringsofferte gereed vóór eind 2024



*Uitvoering door winnende partij aanbesteding

Ontwikkeltraject: indicatieve tijdslijnen (4)

- Optie 3: Eerst wijziging van OP, later aanvraag vergunning
 - Het ontwikkeltraject start begin 2023
 - De gemeente verzorgt de wijziging van het OP
 - Gunning van het project vindt plaats kort na wijziging OP
 - Winnende partij van aanbesteding start gelijk met voorbereiding vergunningsaanvraag
 - Aanvraag netaansluiting bij Liander, met tijdige oplevering MS-station én engineeringsofferte gereed uiterlijk medio 2025



*Uitvoering door winnende partij aanbesteding