

➤ WATERSCHAP ALS ENERGIEHUB

Casus Harderwijk



COLOFON

STOWA-nummer	2022-54
ISBN	978.94.6479.005.4
Download	Dit rapport is kosteloos beschikbaar als pdf op www.stowa.nl Check Bibliotheek > Publicaties > STOWA 2022-54
Publicatie	STOWA P.O. Box 2180 3800 CD Amersfoort December 2022 © STOWA
Auteurs	Casper Hügel, Mathijs Hansen, Alfred Rodenboog, Tijmen Salet (Witteveen + Bos)
Begeleidingscommissie	Bram Oudejans – Gemeente Harderwijk Ghada Sukkar – Waterschap Vallei en Veluwe (momenteel werkzaam bij de Unie van Waterschappen) Hetzler Gietema – Waterschap Vallei en Veluwe Michel Masseus – Waterschap Drents Overijsselse Delta Victor van den Berg - Waterschap Brabantse Delta Levien van Dixhoorn - Waterschap Brabantse Delta Cora Uijterlinde - STOWA

Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor hardcopy publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

De rwzi als Energie hub heeft potentie

De energie-hub heeft als doel op een duurzame wijze energie op te wekken en deze duurzame energie lokaal te benutten met een minimale uitbreiding van het net. Met een model zijn de mogelijkheden van RWZI's als energiehub te visualiseren.

De waterschappen hebben zich verbonden aan de doelstelling Energie neutraliteit in 2025. De problemen in de capaciteit van het elektriciteitsnet (netcongestie) zijn een belemmering voor het behalen van dat doel. Ook worden waterschappen daardoor belemmerd in het leveren van hun bijdrage aan de regionale energie strategieën (RES-sen) waar de waterschappen zich aan hebben gecommitteerd. Daarbij zijn de kosten voor de traditionele uitbreiding van het elektriciteitsnet zeer hoog.

Een energie-hub is een knooppunt in een energiesysteem waar verschillende energiedragers samen komen en afstemming tussen vraag en aanbod, opslag en conversie mogelijk is. De RWZI is een relatief grote energieverbruiker met een relatief continu gebruikspatroon en tal van mogelijkheden voor energieconversie en flexibiliteit. Zo kan slib worden omgezet in biogas, biogas als brandstof omgezet worden naar warmte, elektriciteit of groen gas, kunnen additionele conversie en of opslag systemen zoals een electrolyser of batterij geplaatst worden en kan de warmte-kracht-koppeling bij overproductie aan duurzame energie afgeschakeld worden. Met deze maatregelen kan het net ontlast worden en kan de RWZI een gunstige bijdrage leveren aan de vorming van een smart energie-hub.

Het project heeft geleid tot een drietal rapporten en een visualisatiemodel. In het rapport 2022-52 worden de diverse aspecten van een RWZI als energiehub behandeld. Rapport 2022-53 beschrijft de handleiding van het visualisatiemodel en in rapport 2022-54 is de casus Harderwijk met het aangrenzende bedrijventerreinen (Lorentz) voor de realisatie van een energiehub uitgewerkt. Deze case dient ter inspiratie en gebruik voor andere RWZI's.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

INHOUDSOPGAVE

- Ten geleide
- 1 Inleiding
- 2 RWZI Harderwijk en Bedrijventerrein Lorentz
- 3 Bouwstenen
- 4 Concept ontwerpen energiehub Harderwijk
- 5 Schetsontwerp elektrolyser
- 6 Conclusies en advies
- STOWA in het kort

2022
54

⇒ HOOFDSTUK 1 INLEIDING

”



1. Inleiding en doel studie

Op de RWZI Harderwijk (200.000 ie) en haar nabijheid worden meerdere wind- en zonprojecten ontwikkeld. Zoals vele RWZI's ligt de RWZI in een industrieterrein (bedrijventerrein Lorentz). De bedrijvenkring Harderwijk (BKH) is sterk gericht op verduurzaming en heeft de ambitie om een producent te worden van duurzame energie. Ook de gemeente Harderwijk heeft duurzaamheid hoog in het vaandel en is in samenwerking met het waterschap bezig met het oprichten van een windpark. De RWZI beschikt over slibvergisting, een WKK, een groengas opwerksysteem en een aquathermie-centrale voor de nabije woonwijken.

Een centrale vraag is hoe al deze ontwikkelingen optimaal op elkaar kunnen worden aangesloten. Als overkoepelende beschrijving is hiervoor de term energiehub gemunt. Met een energiehub wordt beoogd om opwek en verbruik van duurzame energie lokaal af te stemmen. Specifiek voor de waterschappen zijn drie doelstellingen centraal die aangeven wanneer een energiehub optimaal is:

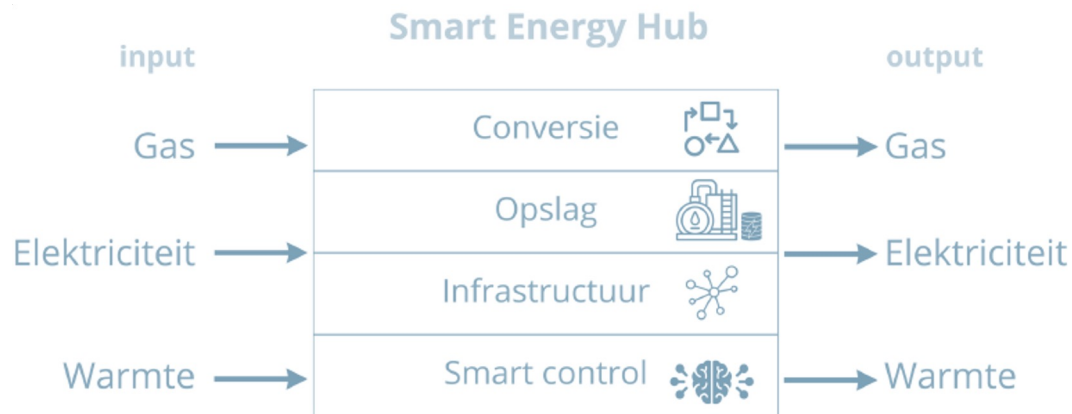
1. Een energiehub kan dienen om de zelfraadzaamheid van de RWZI en/of het gebied te verhogen
2. Een energiehub kan dienen om de energiekosten te beperken;
3. Een energiehub kan een maatschappelijke bijdrage leveren door bijvoorbeeld netverzwaring te beperken en/of voorkomen.

Doel van deze studie

Het doel van deze studie is het uitwerken van de casus Harderwijk en het aangrenzende bedrijventerreinen (Lorentz) voor de realisatie van een energiehub ter inspiratie en als doorvertaling voor andere RWZI's.

1. Wat is een energiehub?

Een energie-hub is een locatie waar vraag en aanbod in energie samenkomen en worden gekoppeld door middel van conversie, opslag, infrastructuur en smart control. Met de energie-hub wordt beoogd dat de opwekking en het verbruik van duurzame energie lokaal wordt afgestemd met een minimale uitbreiding van het net. Waarbij de opwekte duurzame energie zoveel mogelijk lokaal wordt benut. Zo kan bijvoorbeeld biogas als brandstof omgezet worden naar warmte, elektriciteit of groen gas, kunnen additionele conversie en of opslagsystemen zoals een elektrolyser of batterij geplaatst worden en kan de WKK bij overproductie aan duurzame energie afgeschakeld worden. Met deze maatregelen kan het net ontlast worden en kan de RWZI een gunstige bijdrage leveren aan de vorming van een Smart Energy Hub.



1. Case study Harderwijk

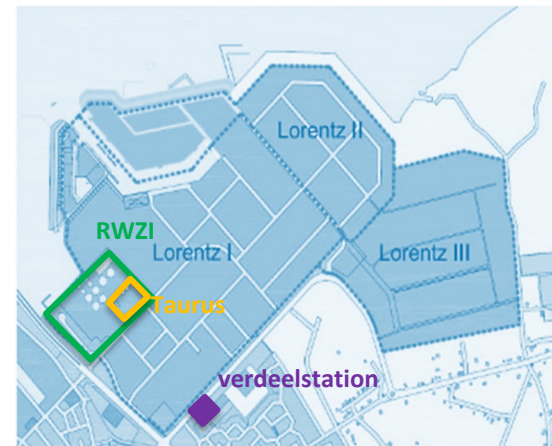
Voor deze studie is de RWZI op bedrijventerrein Lorentz te Harderwijk geselecteerd als case study. De studie richt zich zowel op de RWZI als het gehele bedrijventerrein Lorentz. Casus Harderwijk was onder andere geselecteerd omdat er bij het verdeelstation van Liander sprake is van capaciteitstekorten (situatie 2022). Op de volgende pagina is dit probleem in meer detail beschreven. Echter bleek tijdens het project dat de congestieproblemen in 2024 verholpen zullen worden. Om die reden is ervoor gekozen de scope van het project bij te stellen en de analyse toe te spitsen op de situatie in 2030.

Huidig situatie in Harderwijk

Op de RWZI wordt slib vergist en wordt gebruik gemaakt van een WKK om de geproduceerde biogas te benutten. Er zijn concrete plannen om de WKK's uit te faseren. Mogelijk wordt de slibvergistings op termijn ondergebracht bij de biovergisters bij Taurus. Hierover is echter nog besluit genomen. Een deel van de effluentwarmte voorziet nieuwbouw woningen via een zeer laag temperatuur (ZLT) warmtenet van warmte. Vooralsnog is geen warmtefabriek met een centrale warmtepomp voorzien. Het Lorentz bedrijventerrein bevat geen [Cluster 6](#) bedrijven met een zeer grote energievraag.

Situatie in 2030

In 2030 zal de lokale productie van duurzame energie fors zijn toegenomen als gevolg van zon-PV op daken en tenminste 3 windturbines. Daarnaast neemt de elektriciteitsbehoefte toe als gevolg van 1) de uitbreiding van de capaciteit van de RWZI met belbeluchters, 2) de elektrificatie van transport (elektrische auto's/trucks), 3) de elektrificatie van bedrijfsprocessen, 4) elektrische verwarming (warmtepompen bij bedrijven). Daarnaast zou er sprake kunnen zijn van een elektrolyser voor de productie van waterstof (en zuurstof/warmte) en/of de realisatie van een centrale warmtepomp met effluent als warmtebron.



1. Case study Harderwijk - congestieproblematiek 1/4

Inleiding

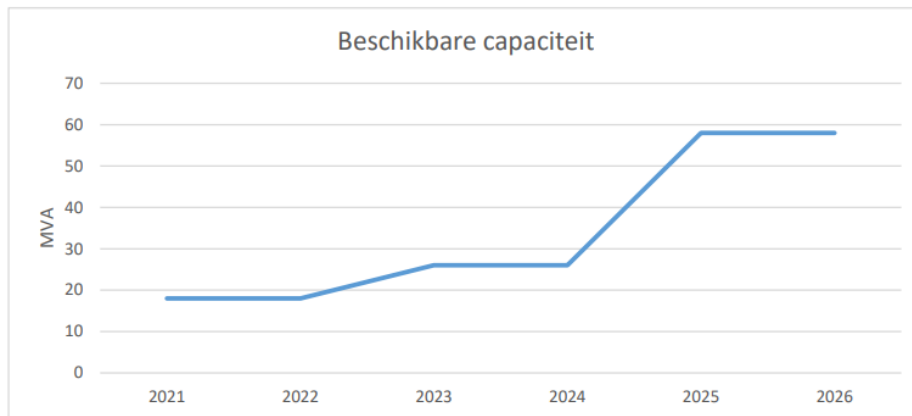
Bij aanvang van de studie was er sprake van congestieproblemen bij het verdeelstation van het Lorentz bedrijventerrein, omdat de elektriciteitsvraag sterk zou toenemen, waardoor de capaciteit van het verdeelstation (18MVA) overschreden zouden worden.

Uitbreiding van capaciteit verdeelstation

In de loop van 2022 heeft Liander plannen aangekondigd voor de uitbreiding van de beschikbare capaciteit van verdeelstation Lorentz. Tussen 2022 en 2025 zal de beschikbare capaciteit trapsgewijs worden uitgebreid van 28 MVA naar 58 MVA. Figuur 2 toont de door Liander geplande uitbreiding van de beschikbare capaciteit.

2.1 Huidige aanwezige transportcapaciteit en ontwikkeling

Zoals uit Tabel 2 in de vooraankondiging te lezen valt, beschikt verdeelstation Lorentz over 18 MVA aan aanwezige transportcapaciteit. Onderstaande Figuur 2 toont de verwachte ontwikkeling hiervan in de komende 5 jaar.



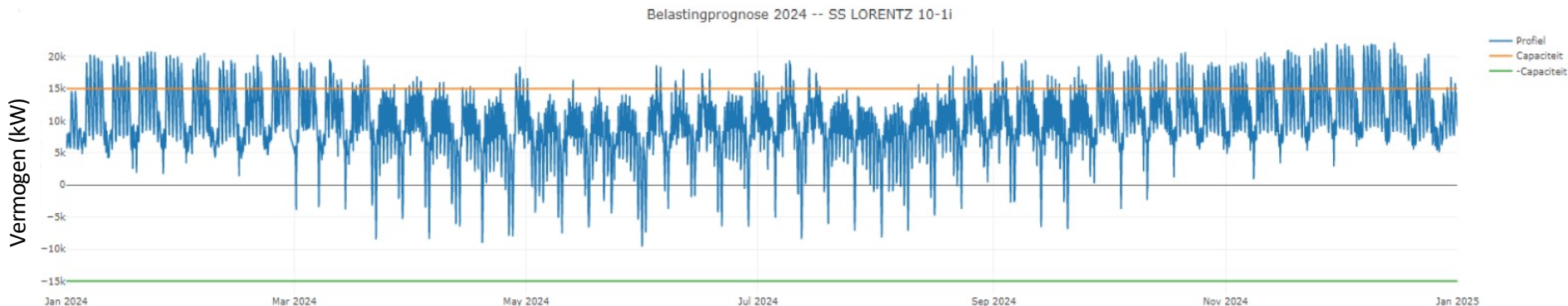
Figuur 2: Ontwikkeling van aanwezige transportcapaciteit in het congestiegebied.

(*) Bron figuur 2: Liander 14-10-2021, 20210930 Vooraankondiging verwachte congestie verdeelstation Lorentz v2.3.pdf, <https://www.liander.nl/transportcapaciteit/gelderland>

1. Case study Harderwijk - congestieproblematiek 2/4

Geen congestieproblemen op verdeelstation Lorentz na 2024

Gegeven dat de capaciteit van verdeelstation Lorentz in 2024 wordt uitgebreid van 18.000 kW naar 58.000 kW, ontstaat er veel ruimte voor nieuwe initiatieven. Dit blijkt ook uit de prognoses die Liander heeft gemaakt van de verwachte ontwikkeling van vraag en aanbod naar stroom in 2024. Figuur 4 toont de belastingprognose van Liander voor het Lorentz verdeelstation voor 2024 en geeft de belasting op het verdeelstation per uur weer. Een positieve waarde (>0) betekent dat er stroom wordt geleverd aan het bedrijventerrein. Een negatieve waarde (<0) betekent dat er stroom (van lokale zonnepanelen en/of windturbines) wordt teruggeleverd aan het verdeelstation. Uit figuur 4 volgt dat de maximale piekvraag circa 22.000 kW bedraagt en de maximale teruglevering circa -10.000 kW. Op basis van deze piekwaarde (22.000 kW en -10.000 kW) en de beschikbare capaciteit van het verdeelstation na 2024 (circa 58.000 kW) kan worden geconcludeerd dat de capaciteit van het verdeelstation voorlopig niet voor congestieproblemen zal zorgen, tenzij 1 of meerdere partijen voor ruim 30.000 kW aan vermogen zouden aanvragen. De ontwikkeling van de elektriciteitsvraag tot 2030 is in hoofdstuk 2 verder uitgewerkt.



Figuur 4: Verwachte belasting in het laatste jaar van de verwachte congestie bij verdeelstation Lorentz.

(*) Bron figuur 4: Liander 14-10-2021, 20210930 Vooraankondiging verwachte congestie verdeelstation Lorentz v2.3.pdf, <https://www.liander.nl/transportcapaciteit/gelderland>

1. Case study Harderwijk - congestieproblematiek 3/4

Structuur van elektriciteitsnet

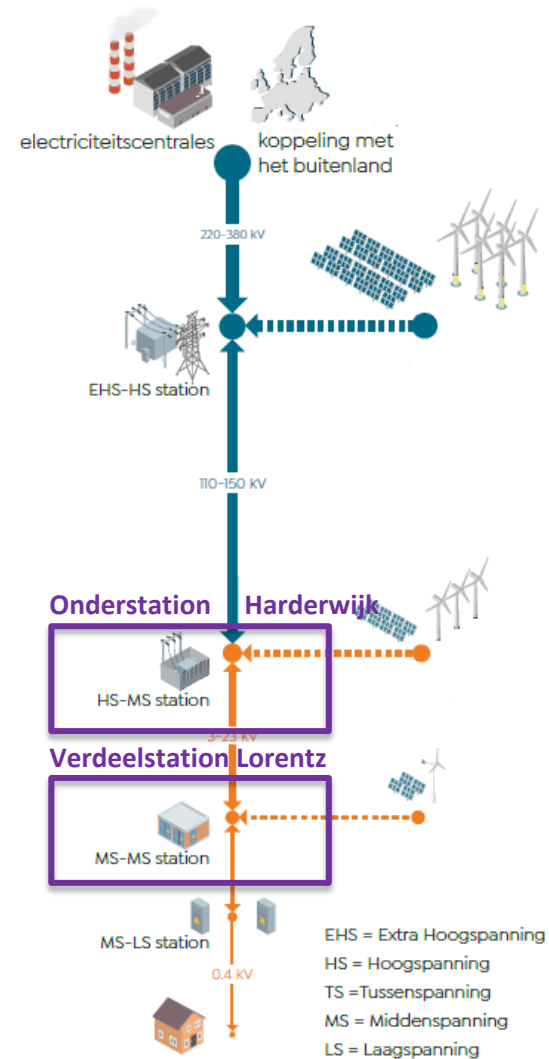
Elektriciteit uit elektriciteitscentrales en het buitenland wordt via bovengrondse lijnen en ondergrondse kabels naar energie-afnemers getransporteerd. Op verschillende plekken in het net wordt elektriciteit omgezet naar lagere spanningsniveaus (zoals onderstation Harderwijk) of verdeeld over verschillende middenspanning netwerken (zoals verdeelstation Lorentz). De opbouw van het elektriciteitsnet is schematisch weergegeven in de afbeelding hiernaast.

Geen congestieproblemen in de toekomst?

Uit de voorgaande alinea's blijkt dat er op de korte tot middellange termijn geen congestieproblemen zijn ter hoogte van het Lorentz verdeelstation. Desalniettemin gelden er wel transportbeperkingen voor teruglevering.

Congestie op het hoogspanningsnet

Vanuit TenneT is voor o.a. de provincie Gelderland congestie afgekondigd. Naar aanleiding hiervan is TenneT gestart met het congestieonderzoek. Zie de website van TenneT : Congestie-onderzoek Flevopolder en Gelderland | TenneT. De congestie voor teruglevering in Gelderland heeft eventueel ook implicaties voor realisatie van zon/wind bij de RWZI/bedrijventerrein Lorentz. Op de volgende pagina wordt hier verder op in gegaan.



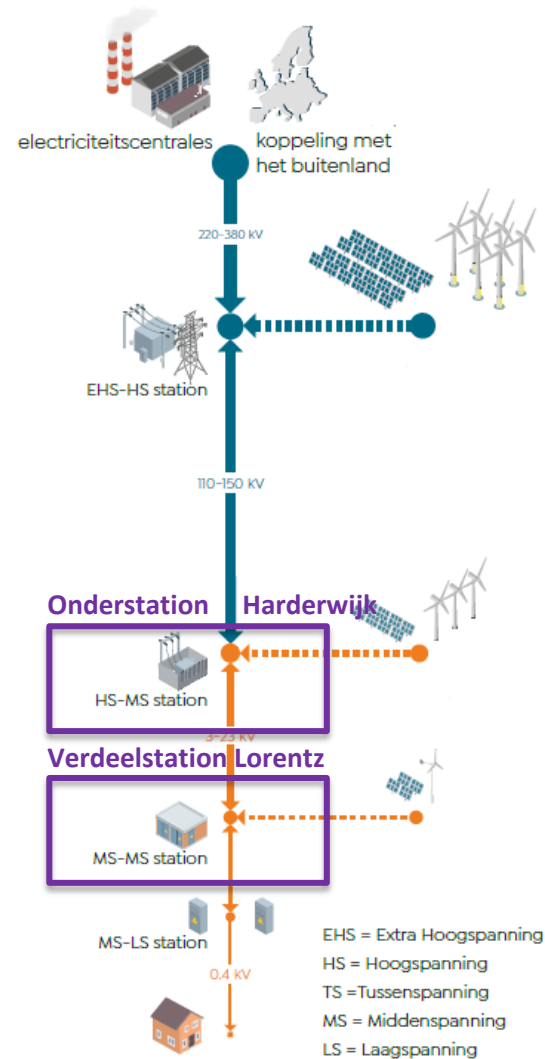
1. Case study Harderwijk - congestieproblematiek 4/4

Congestie voor teruglevering door tekorten op het hoogspanningsnet

In Gelderland is sprake van congestie voor teruglevering op het hoogspanningsnet, waardoor ook realisatie van zon/wind projecten door grootverbruikers bij de RWZI/bedrijventerrein Lorentz in het gedrang komen. De implicaties is dat er momenteel klanten/bedrijven zijn die nog geen Gecontracteerd Transport Vermogen (GTV) hebben voor het terugleveren van elektriciteit, maar wel willen terugleveren. Deze partijen (grootverbruikers) kunnen enkel extra duurzame opwek capaciteit realiseren, mits zij die dan direct verbruiken of lokaal opslaan en dus niet terugleveren aan het elektriciteitsnet.

Concreet betekent dit dat de grootverbruikers die voor september 2021 een GTV hebben voor het terugleveren van elektriciteit kunnen gewoon blijven terugleveren. De grootverbruikers die na september 2021 zich hebben gemeld voor een aansluiting of een GTV wijziging staan op de wachtlijst. De grootverbruikers die plannen hebben, maar nog geen aansluiting hebben of te weinig GTV hebben dienen een aansluiting of GTV wijziging aan te vragen, maar komen dan ook (achteraan) op de wachtlijst te staan.

De beperkingen duren naar verwachting tot 2028. Op dit moment heeft TenneT alleen congestie afgekondigd voor teruglevering in Gelderland. Over congestie voor levering wordt (nog) niet gesproken door TenneT.



1. Scope, doel en opzet van dit onderzoek

Scope van onderzoek

Dit onderzoek richt zich op de vraag hoe een energiehub rond RWZI Harderwijk en bedrijventerrein Lorentz vormgegeven zou kunnen worden.

Doel van energiehub: hubfuncties

Voor het analyseren van de mogelijkheden tot een energiehub wordt geredeneerd vanuit drie hubfuncties die door de Waterschappen zijn opgesteld:

1. Het vergroten van de lokale zelfredzaamheid: de afstemming tussen aanbod van duurzame energie
2. Het verlagen van de (energie-)kosten
3. Het creëren van maatschappelijke meerwaarde, zoals het beperken en/of voorkomen van netcongestie/netverzwaring.

Doel van onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om antwoorden te formuleren op onderstaande onderzoeksvragen:

1. Welke hubfuncties zijn bij RWZI Harderwijk en bedrijventerrein Lorentz mogelijk rond warmte, elektriciteit en duurzame brandstoffen?
2. Met welke samenstelling van bouwstenen kan de energiehub worden vormgegeven?

Opzet van onderzoek

De opzet van dit rapport is als volgt:

1. In hoofdstuk 2 is beschreven welke ontwikkelingen tot 2030 worden verwacht ten aanzien van de adoptie van duurzame bronnen, nieuwe energie assets en elektrificatie van transport/verwarming.
2. In hoofdstuk 3 t/m 7 is de rol van vijf verschillende bouwstenen van een energiehub voor Harderwijk beschreven en onderzocht: 1) waterstof, 2) warmte en stroomconversie, biogas, batterijopslag en slim laden van personenauto's
3. In hoofdstuk 8 is de integrale samenhang tussen de bouwstenen beschreven en wordt een voorstel uitgewerkt voor een concept ontwerp van energiehub Harderwijk.
4. In hoofdstuk 9 zijn conclusies en adviezen opgenomen.

⇒ **HOOFDSTUK 2**
RWZI HARDERWIJK EN
BEDRIJVENTERREIN
LORENTZ

”



2. Inleiding – holonen

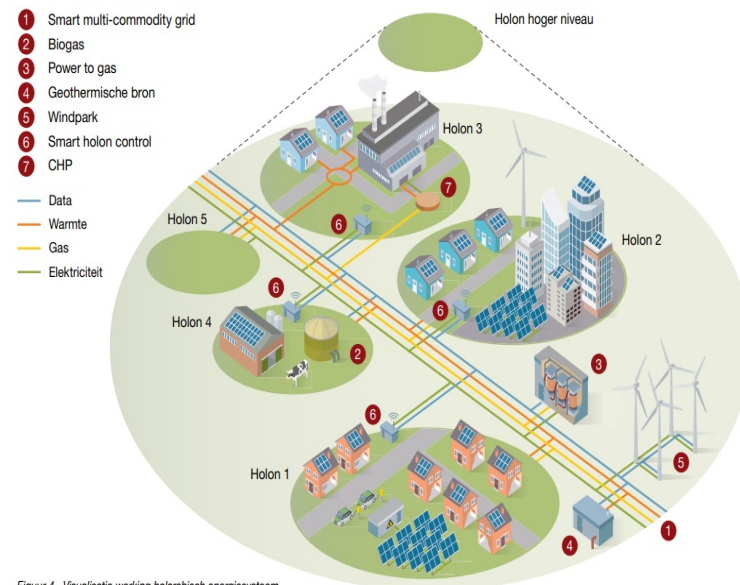
In het Visualisatiemodel (STOWA 2022-53) is een uitgebreide analyse gedaan van de verschillende componenten die deel uit kunnen maken van een Smart Energy Hub. Dit is gedaan in een holarchische structuur. Een holarchische structuur bestaat uit verschillende holonen, waarbij elk holon een autonoom systeem is, maar waarbij holonen wel weer onderdeel kunnen zijn van een holon op een hoger niveau. In het model wordt onderscheid gemaakt tussen twee holon(niveaus):

1. het subholon: Het subholon slaat op de RWZI
2. het superholon: het superholon slaat op het lokale energiesysteem in de directe omgeving

In deze rapportage wordt onderscheid gemaakt tussen 3 holonen:

- Holon 1 heeft betrekking op de RWZI en is hetzelfde als het subholon uit het visualisatiemodel;
- Holon 2 heeft betrekking op de RWZI en nabijgelegen biovergister van Taurus. Het is hetzelfde als superholon (met een kleine scope) uit het model;
- Holon 3 heeft betrekking op de RWZI en omgeving (in dit geval het Lorentz bedrijventerrein) en is hetzelfde als het superholon uit het model.

Op basis van het visualisatiemodel is voor de RWZI Harderwijk en omgeving (bedrijventerrein Lorentz) een analyse gemaakt. Deze analyse wordt in hoofdstuk 3.1 besproken.



Figuur 4. Visualisatie werking holarchisch energiesysteem.

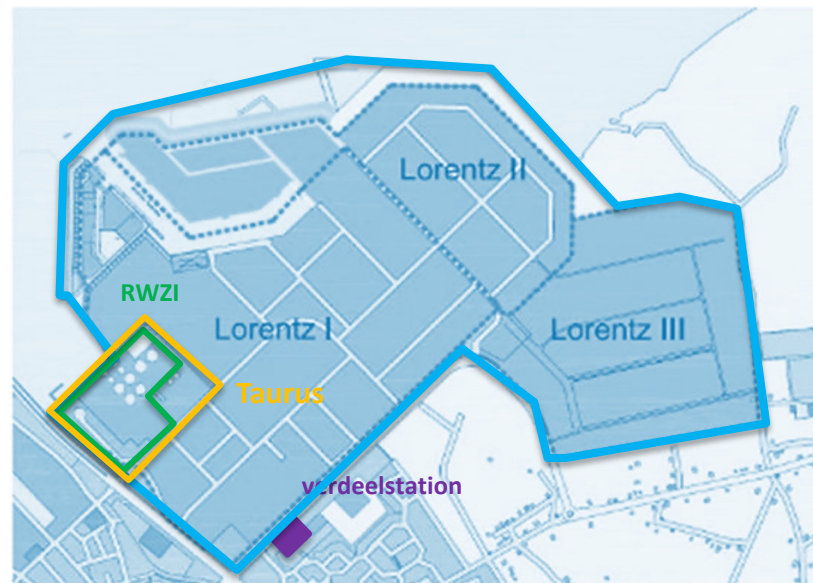
https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/Systeemintegratie/TSE_SI_holarchie_202011.pdf

2. Scenario 2030 - per holon

Voor 2030 is voor drie schaalniveaus (zogenaamde holonen) een scenario samengesteld die de ontwikkelingen in vraag en aanbod naar elektriciteit beschrijven. Op basis hiervan zijn vraag en aanbod profielen gecreëerd. In onderstaande tabel is aangegeven welke ontwikkelingen per holon zijn meegenomen.

1. Holon 1: De RWZI
2. Holon 2: De RWZI + biovergister van Taurus
3. Holon 3: De RWZI + bedrijventerrein Lorentz

Categorie	Beschrijving	Holon 1	Holon 2	Holon 3
Windturbine	RWZI	X	X	X
Zonne-energie	RWZI	X	X	X
E-Vraag	RWZI (zonder WKK)	X	X	X
Zonne-energie	Taurus		X	X
E-Vraag	Taurus biovergister		X	X
Windturbine	Lorentz bedrijventerrein			X
Zonne-energie	Daken Lorentz bedrijventerrein			X
E-Vraag	Bedrijven Lorentz Elektrisch transport Warmtepompen			X

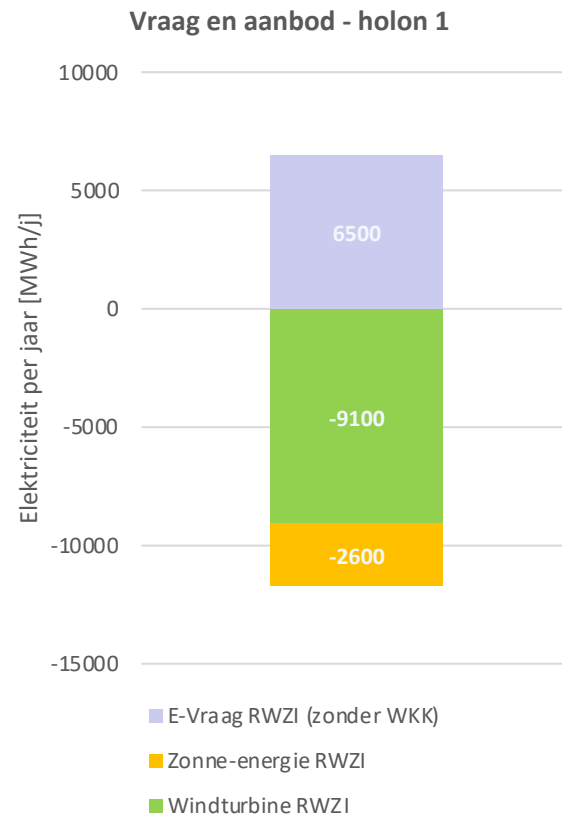


2. Uitgangspunten - holon 1

Holon 1 is de kleinste van de drie holons. Deze holon behelst enkel het terrein van de RWZI. De RWZI produceert, naast gezuiverd afvalwater (effluent) en slib, ook elektriciteit door middel van haar twee zonnevelden en de toekomstige windturbine. Vanuit de slib van de RWZI wordt ook biogas geproduceerd middels een ontwatering en vergistingsproces.

Onderstaande tabel geeft aan welke uitgangspunten zijn gebruikt voor het samenstellen van het elektriciteitsprofiel van holon 1. Dit resulteert in netto piekbalans van -5.200 MWj

Onderdeel	Toelichting
Elektriciteitsvraag RWZI	Elektriciteitsvraag van de RWZI Harderwijk uit het 2019.
Zonneveld I	Veld van 1,75 MWp aan zonnepanelen
Zonneveld II	Veld van 1 MWp aan zonnepanelen
Vestas V117 Windturbine	3,5 MWp windturbine.
Warmtekrachtkoppeling (WKK)	Door de toekomstige uitfasering van de WKK ontstaat er een extra vraag aan elektriciteit doordat de opgewekte elektriciteit vanuit de WKK niet meer wordt geleverd. Momenteel voorziet de huidige WKK in een gedeelte van de elektriciteitsvraag van de RWZI

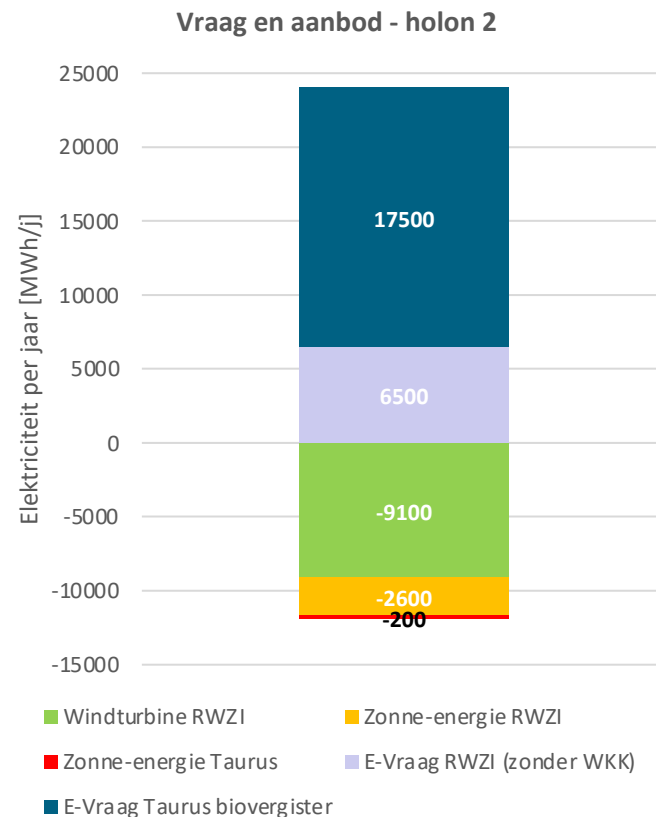


2. Uitgangspunten - holon 2

Holon 2 bestaat uit holon 1 (de RWZI) met daarnaast ook die bio-energiecentrale van Taurus. Bij de bio-energiecentrale wordt een droging en vergistingsproces uitgevoerd waarbij biogas wordt geproduceerd uit mest. Vervolgens wordt hier groengas mee gemaakt. Uit deze processen komt de elektriciteitsvraag van Taurus voort. Tevens heeft Taurus ook elektriciteit opwek door middel van de zonnepanelen die op het dak geïnstalleerd zijn.

Onderstaande tabel geeft aan welke uitgangspunten zijn gebruikt voor het samenstellen van het elektriciteitsprofiel van holon 2.

Onderdeel	Toelichting
Elektriciteitsvraag Taurus	Constant vermogen van 2 MW gevraagd voor vergisting en droging in het proces.
Zonnepanelen op het dak van Taurus	200 kWp aan vermogen op basis van 350 Wp vermogen per paneel en inschatting van aantal panelen op basis van telling via google maps.



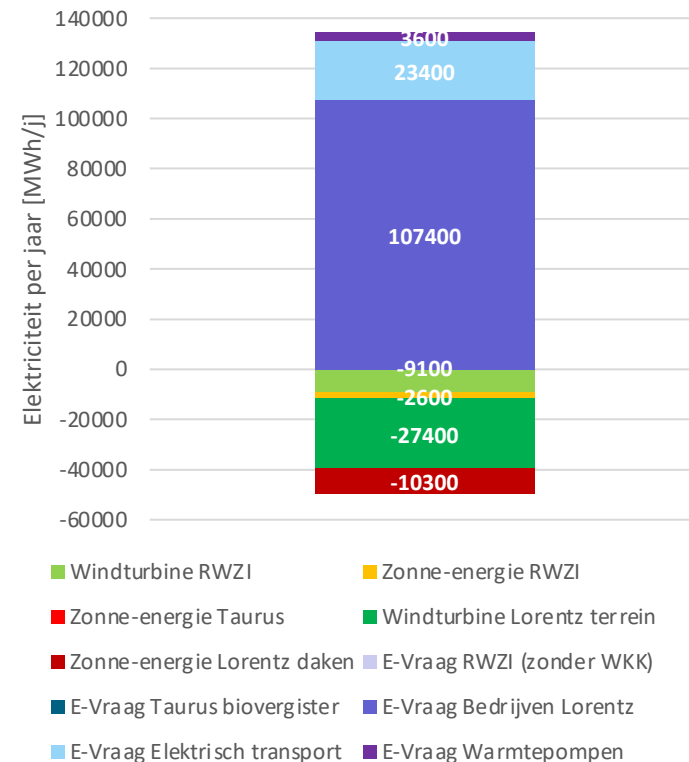
2. Uitgangspunten - holon 3

Holon 3 bestaat uit holon 1 + 2 en daarbij toegevoegd de rest van het industrieterrein Lorentz. Door deze enorme toename aan panden en gebied is er ook een grote hoeveelheid aan productie en vraag van energie die in holon 3 extra is. In holon 3 worden de hoeveelheid elektriciteitsproductie uit PV, de elektrificatie van de warmtevraag en de elektrificatie van het vervoer toegevoegd. Tevens zijn er twee windturbines ten behoeve van Lorentz geplaatst in het jaar 2030.

Onderstaande tabel geeft aan welke uitgangspunten zijn gebruikt voor het samenstellen van het elektriciteitsprofiel van holon 3.

Extra onderdelen holon 3	Toelichting
Elektriciteitsvraag Lorentz bedrijventerrein	Elektriciteitsvraag is gebaseerd op een prognose profiel van Liander voor 2024.
Windturbines Vestas V117	2x 3.5 MWp windturbines in 2030
Zonnepanelen	11,4 MWp in 2030, zie slide 20
Elektrificatie van warmtevoorziening	1,7 MW elektrisch vermogen in 2030, zie slide 20
Elektrisch vervoer	Zie slide 22 t/m slide 25

Vraag en aanbod - holon 3



2. Uitgangspunten - holon 3 – Zon op dak en elektrische verwarming

Zon op dak bedrijventerrein Lorentz

Voor zon op dak is een opwekprofiel vastgesteld. Het opwekprofiel geeft per uur de beschikbaarheid van zonne-energie. Het profiel is geschaald naar de potentie voor zon op daken op bedrijventerrein Lorentz in 2030. De potentie voor zonnepanelen is gebaseerd op de energiepotentieelscan die in 2017 is uitgevoerd. In de energiepotentieelscan is de potentie bepaald aan de hand van het beschikbare dakoppervlak van alle bedrijven op bedrijventerrein Lorentz. Het totaal potentieel bedraagt 60 MWp. Op basis van onderzoek van CE Delft¹ is vastgesteld dat circa 19% van dit potentieel in 2030 zal zijn gerealiseerd. Daarmee bedraagt het totale vermogen van zonPV op daken in 2030 circa 11,4 MWp.

Elektrische verwarming

Er wordt een sterke groei van warmtepompen verwacht. Zo blijkt uit onderzoek door de Rijksuniversiteit Groningen² dat warmtepompen in 44% van de warmtevraag in 2030 zouden kunnen voorzien. Voor de analyse van de totale energiebalans is een elektrische vraagprofiel opgesteld dat de totale elektriciteitsvraag van warmtepompen in 2030 per uur ingeschat. Om het elektrische vraagprofiel (zie volgende pagina) van de warmtepompen vast te stellen is voor de stookperiode in Nederland (oktober tot en met april) gekeken naar de afwijking van een comfortabele binnentemperatuur ten opzichte van de buitentemperatuur. De jaarlijkse warmtevraag is evenredig met deze afwijkingen verdeeld over het jaar.

De jaarlijkse warmtevraag is gebaseerd op het gebouwgebonden aardgasverbruik in het Lorentz gebied, zoals vermeld in de energiepotentieelscan van 2017. De totale thermische warmtevraag voor ruimteverwarming bedroeg in 2017 circa 25.800 MWh. Conform de verwachting van de Rijksuniversiteit Groningen zal 44% (11.350 MWh) van warmtevraag door de warmtepompen worden ingevuld. De gemiddelde efficiëntie van de luchtwarmtepomp (de coëfficiënt of performance, COP) is vastgesteld op 300%. Gegeven dat de warmtepomp gemiddeld circa 2.000 vollasturen maakt bedraagt de thermische vermogensvraag circa 5,7 MW_{th} en het elektrische piekvermogen circa 1,9 MW_e. Dit correspondeert redelijk goed met het piekvermogen in het vraagprofiel.

Bronnen

¹: Scenario's zon op grote daken, Nanda Naber, Joram Dehens en Geert Warringa, CE Delft, maart 2021

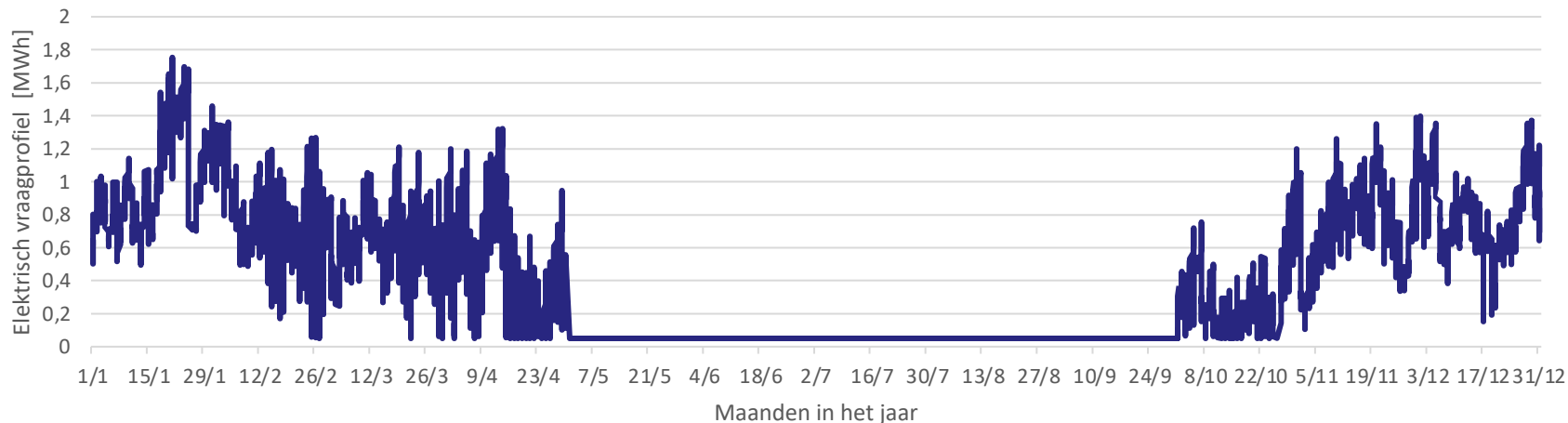
²: Electrification of heating and transport, Jose L. Moraga and Machiel Mulder, Rijksuniversiteit Groningen, mei 2018

2. Uitgangspunten - holon 3 – elektrische verwarming

Toelichting

In de afbeelding hieronder is het elektrische vraagprofiel van de luchtwarmtepompen weergegeven. In de winter leveren de warmtepompen met name warmte, waardoor ook dan het elektriciteitsverbruik toeneemt. In de zomer wordt nauwelijks warmte geproduceerd, met name ook omdat er bij bedrijven relatief weinig tapwatervraag is.

Elektriciteitsvraag luchtwarmtepompen - holon 3



2. Uitgangspunten - holon 3 – Elektrisch transport 1/4

Toelichting

Op het Lorentz bedrijventerrein is een groot aantal voertuigen aanwezig, dat op termijn mogelijk wordt vervangen door elektrisch vervoer (EV). Dit betreft zowel personenauto's die dagelijks 's ochtends aankomen bij de kantoren als logistiek vervoer dat met name 's nachts aanwezig is. Logistiek vervoer is onderverdeeld in drie categorieën:

- **Vrachtwagens en trekkers:** de grootvervoerders vanaf 3,5 ton voor lange afstanden
- **Stadslogistiek:** Ongeveer de helft van de vrachtwagens in Nederland worden voor korte afstanden in de stedelijke omgeving gebruikt (zoals supermarkt bevoorrading en vuilniswagens). Voor deze groep is een lagere laadsnelheid mogelijk ten opzicht van de lange afstandsvrachtwagens (en trekkers).
- **Bestelbussen:** de kleinste voertuigen in de logistieke sector, die op dezelfde type laadpalen opgeladen kunnen worden als de personenvoertuigen.

Het aantal laadpalen dat benodigd is om deze elektrificatie te faciliteren, en daarbij komende extra elektriciteitsvraag is in kaart gebracht voor het Lorentz bedrijventerrein. Op basis van een forse hoeveelheid aannames en uitgangspunten is vervolgens een (jaarlijkse) vraagprofiel opgesteld per type laadpaal/voertuig.



Vrachtwagen lange afstand



Vrachtwagen stadslogistiek



Elektrische bestelbus

2. Uitgangspunten - holon 3 – Elektrisch transport 2/4

Toelichting

Voor elektrisch transport is voor verschillende type voertuigen een jaarlijkse vraagprofiel opgesteld. De profielen zijn gebaseerd op verwachtingen van de ontwikkeling in elektrisch transport, dagelijkse laadbehoefte, laadvermogen en andere uitgangspunten. De profielen zijn samengesteld op basis van de verwachte dagelijkse laadbehoefte per type voertuig. Daarbij is aangenomen dat er alleen doordeweeks wordt geladen en dat het laadgedrag elke dag van de werkweek gelijk is.

Samenvatting in tabel

Een samenvatting van de belangrijkste informatie waarop de laadprofielen zijn gebaseerd is gegeven in de tabel hiernaast. De onderliggende uitgangspunten en gehanteerde bronnen zijn toegelicht op de volgende slides.

Laadprofielen

Een overzicht van de vraagprofielen per type voertuig per jaar is eveneens gegeven op de volgende slides.

Beschrijving	Eenheid	Personen- vervoer	Vrachtwagens en trekkers	Stadsvervoer -logistiek	Bestel- bussen
Aantallen voertuigen	[#]	4.000 – 5.500	38 / 164	38	550
Aantal EV's in 2030*	[#]	1.000 - 2.150	40 - 65	20 - 40	170-260
Accucapaciteit	[kWh]	80	520/640**	520	57
Elektriciteit gebruik	[MWh per jaar]	2.600 – 5.500	3.700 – 18.600	750 – 1.900	540 – 830
Aantal laadpalen	[#]	250 - 540	40 - 60	15 - 28	84-128
Laadpaalvermogen	[kW]	2x11	50	22	2x11
Aankomst/vertrektijd	[-]	09:00 – 17:00	18:00-05:00	17:00-09:00	16:00 – 5:00

* Aantal EV's voor een midden en hoog scenario
 **Accucapaciteit vrachtwagens: 520 kWh, Accucapaciteit trekkers: 640 kWh

2. Uitgangspunten - holon 3 – Elektrisch transport 3/4

Uitgangspunten laadbehoefte

- Elektrisch vervoer is uitgesplitst in vijf categorieën. Per categorie is de adoptiegraad bepaald op basis van het midden en het hoog scenario van ElaadNL [1-3] voor 2030:
 - 25-40% van personenauto's is elektrisch
 - 25-40% van de vrachtwagens is elektrisch
 - 20-30% van de trekkers is elektrisch
 - 53-100% van de stadslogistiek is elektrisch
 - 31-46% van de bestelbussen is elektrisch
- Het aantal personenauto's is ingeschat op basis van het aantal werknemers op het Lorentz bedrijventerrein: 8.000 tot 10.000 werknemers.
- Op basis van CBS data[1] voor 2018 en 2019 is verondersteld dat 50% van de werknemers per auto komt.
- Het aantal vrachtwagens, trekkers en stadslogistiek is gebaseerd op CBS data [2] voor industrie op het Lorentz bedrijventerrein, op basis van de aantallen voor 2021;
- Er is verondersteld dat het aantal voertuigen tot 2030 gelijk blijft.
- De batterijcapaciteit voor vrachtwagens, trucks en logistiek in 2030 is gebaseerd op ElaadNL [1-3]. De batterijcapaciteit voor elektrische personen auto's in 2030 is gebaseerd op RVO [8].
- Het gemiddelde elektriciteitsverbruik per type elektrisch voertuig per dag is gebaseerd op het aantal gereden kilometers per dag.
- Het gemiddelde verbruik per km per voertuig is gebaseerd op de EV-database en onderzoek door CE Delft [7].
- Het gemiddeld aantal gereden kilometers per voertuig per dag is gebaseerd op ElaadNL [1-3] en CBS [4]

Bronnen

- 1: ElaadNL, Q3 2021, Elektrisch rijden in stroomversnelling
- 2: ElaadNL, Q4, 2019, Volgeladen naar zero-emissie stadslogistiek
- 3: ElaadNL, Q3 2020, Truckers komen op stroom
- 4: [Statline 2022](#), Mobiliteit; verplaatsingskenmerken per persoon per dag in 2018/ 2019
- 5: [Statline 2022](#), Motorvoertuigen; voertuigtype, postcode en regio's voor 2021
- 6: [EV-database](#), verbruik van personenauto's CE Delft, 2020, STREAM
- 7: CE Delft, 2020, STREAM Goederenvervoer 2020. Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer RVO, Rapport Verdienpotentieel Elektrisch Vervoer 2020
- 8: RVO, 2020, Rapport Verdienpotentieel Elektrisch Vervoer

2. Uitgangspunten - holon 3 – Elektrisch transport 4/4

Toelichting

In de afbeelding hieronder is voor 1 dag het vastgestelde laadprofiel weergegeven.

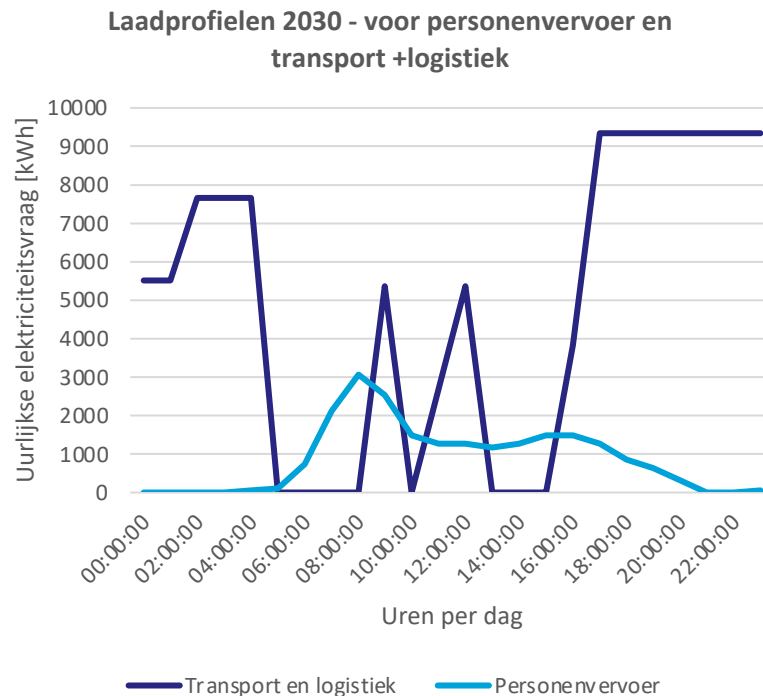
Het laadprofiel voor personenvervoer is apart gegeven. Het laadprofiel voor vrachtwagens, trucks en stadslogistiek bevat het gecombineerde profiel van de drie type voertuigen.

Personenvervoer

Bij het profiel voor personen is duidelijk zichtbaar dat gedurende de nacht deze niet worden opgeladen. Dit komt omdat gedurende de nacht normaalgesproken geen personen transport aanwezig is op een parkeerplaats bij een bedrijventerrein. Gedurende de dag is duidelijk dat in de ochtend de meeste personen aanwezig zijn op het terrein, wanneer dit in de loop van de middag weer afneemt.

Transport en Logistiek

Transport en logistiek vervoer word vooral 's nachts opgeladen. Gedurende de dag worden deze voertuigen wel gebruikt en in de ochtend worden sommige nog opgeladen.



2. Analyse – elektriciteitsproductie in 2030

Toelichting tabel

In de voorgaande pagina's is toegelicht hoe de scenario's voor 2030 zijn samengesteld. Op basis van deze samenstelling zijn per holon vraagprofielen opgesteld met een resolutie van 1 uur en een tijdspannen van 1 jaar: het jaar 2030. Deze profielen zijn enkele pagina's verder weergegeven. Om een indruk te krijgen van de jaarlijkse energieproductie en energiebehoefte is in onderstaande tabel de totale elektriciteitsproductie per type installatie weergegeven voor elke holon. De elektriciteitsproductie door windturbines is voor elke holon relatief het grootste

Elektriciteitsproductie per holon en type installatie in 2030					Eenheid
<i>Categorie</i>	<i>Beschrijving</i>	Holon 1	Holon 2	Holon 3	
Windturbine	RWZI	9.100	9.100	9.100	MWh/jaar
Zonne-energie	RWZI	2.600	2.600	2.600	MWh/jaar
Zonne-energie	Taurus		200	200	MWh/jaar
Windturbine	Lorentz bedrijventerrein			27.400	MWh/jaar
Zonne-energie	Zon op dak			10.300	MWh/jaar
Totaal		11.800	12.000	49.700	MWh/jaar

2. Analyse – elektriciteitsvraag in 2030

Toelichting tabel

In de voorgaande alinea's is toegelicht hoe de scenario's voor 2030 zijn samengesteld. Op basis van deze samenstelling zijn per holon vraagprofielen opgesteld met een frequentie van 1 uur en een tijdspannen van 1 jaar: het jaar 2030. Deze profielen zijn op de volgende pagina weergegeven. Om een indruk te krijgen van de jaarlijkse energieproductie en energiebehoefte is in onderstaande tabel de totale elektriciteitsvraag per type installatie weergegeven voor elke holon. De elektriciteitsproductie door windturbines is voor elke holon relatief het grootste. De elektriciteitsvraag van holon 1 en 2 is in holon 3 niet opgenomen. Dat komt doordat deze elektriciteitsvraag onderdeel is van het onderdeel "Bedrijven Lorentz" in holon 3.

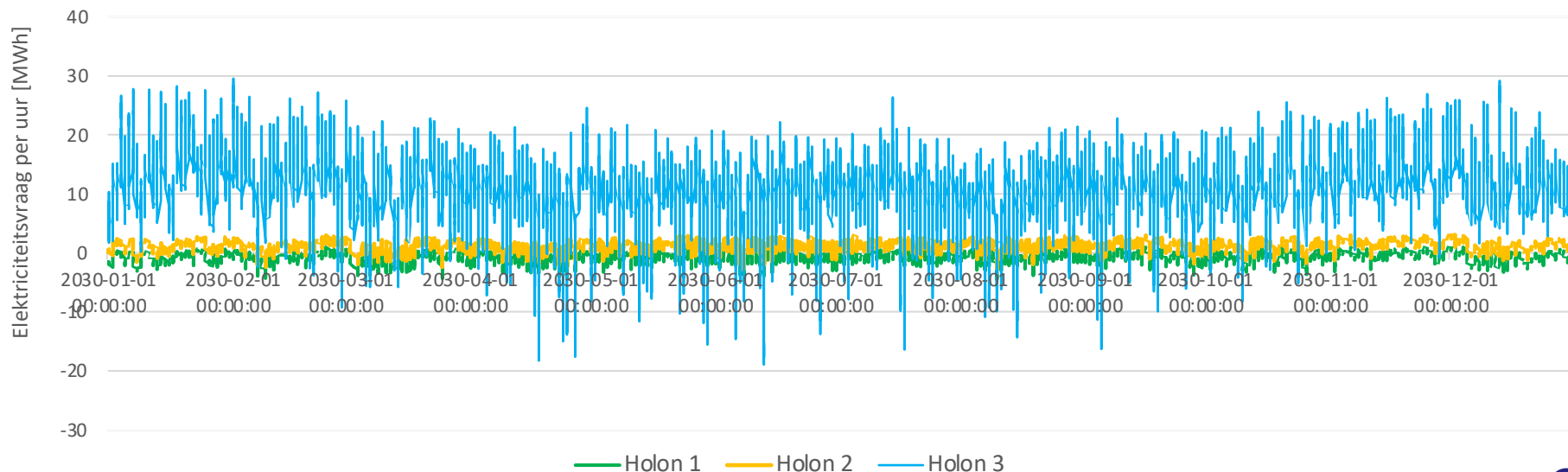
Electriciteitsvraag per holon en type installatie					Eenheid
Categorie	Beschrijving	Holon 1	Holon 2	Holon 3	
E-Vraag	RWZI (zonder WKK)	6.500	6.500	-	MWh/jaar
E-Vraag	Taurus biovergister		17.500	-	MWh/jaar
E-Vraag	Lorentz bedrijventerrein			107.000	MWh/jaar
	Elektrisch transport			23.300	MWh/jaar
	Individuele warmtepompen	Geen effluent WP!		3.600	MWh/jaar
Totaal		6.500	24.000	134.000	MWh/jaar

2. Analyse - vraag en aanbod 2030

Energiebalans

Per holon is een energiebalans vastgesteld op basis van de vraag en aanbod profielen per holon. In deze slide is te zien dat er sporadisch grote pieken zijn in productie. Dit is wanneer de balans zeer negatief wordt en er dus sprake is van teruglevering aan het net. Daarnaast is er een dagelijks patroon zichtbaar in de balans, deze is weergegeven in de volgende pagina.

Elektriciteitsbalans per holon in 2030



2. Analyse - vraag en aanbod 2030

Energiebalans

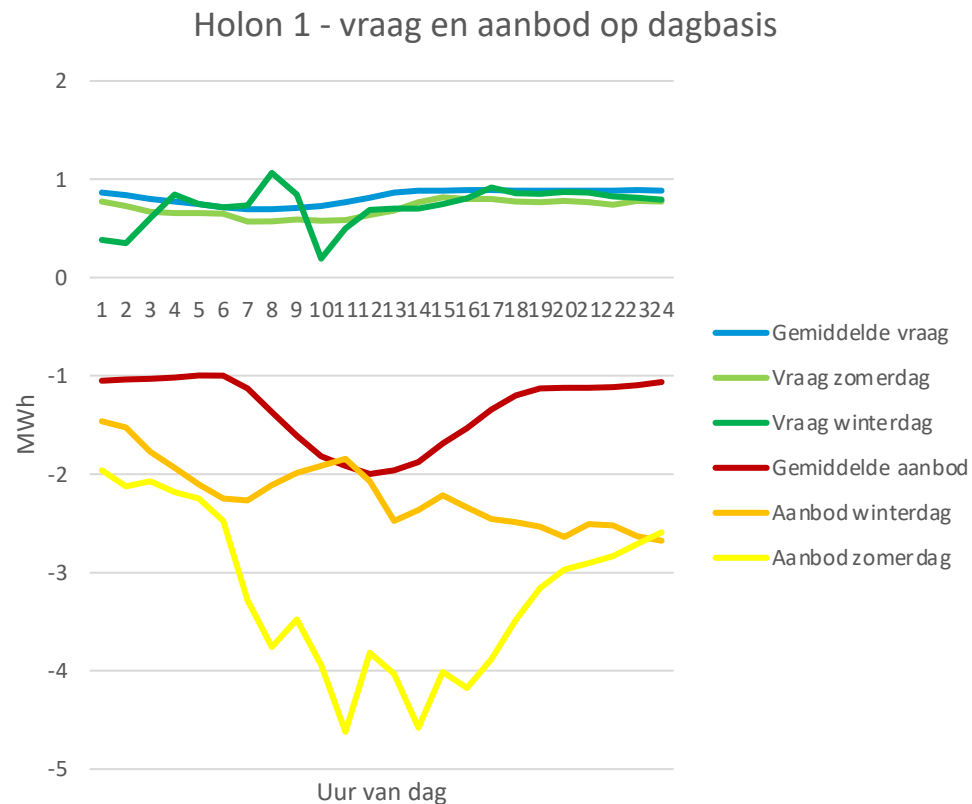
Per holon is een energiebalans vastgesteld op basis van de vraag en aanbod profielen per holon. In de grafiek is de vraag (positieve waarde, want levering) en het aanbod (negatieve waarde, want teruglevering) van holon 1 voor 2030 zichtbaar. Hiervan is het jaargemiddelde per uur afgezet tegen een zomerdag en een winterdag voor zowel de vraag als het aanbod. Dit betreft dus de profielen voor alleen vraag of alleen aanbod!

Aanbod holon 1

De invloed van de zon is duidelijk zichtbaar voor de zomerdag, omdat de productie tussen 6:00 uur en 18:00 significant toeneemt t.o.v. de nachtelijke uren. De productie van stroom door wind is dan weer beter zichtbaar in de winterdag: onlangs dat er geen elektriciteitsproductie is door zon wordt er toch meer geproduceerd dan het jaarlijks gemiddelde.

Vraag holon 1

In tegenstelling tot het aanbod is de vraag van de RWZI veel stabielier.



2. Analyse - vraag en aanbod 2030

Energiebalans

Per holon is een energiebalans vastgesteld op basis van de vraag en aanbod profielen per holon. In de grafiek is de vraag (positieve waarde, want levering) en het aanbod (negatieve waarde, want teruglevering) van holon 3 voor 2030 zichtbaar. Hiervan is het jaargemiddelde per uur afgezet tegen een zomerdag en een winterdag voor zowel de vraag als het aanbod. Dit betreft dus de profielen voor alleen vraag of alleen aanbod!

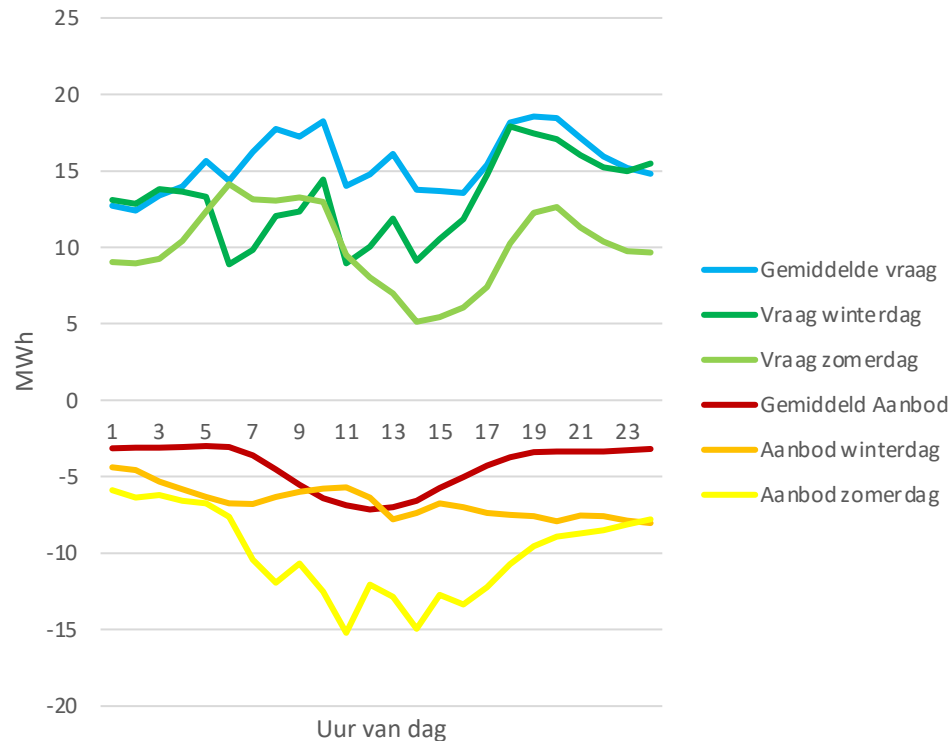
Aanbod holon 3

Ook in holon 3 is de invloed van de zon goed zichtbaar in de zomer ten opzichte van het gemiddelde. De aanbod van elektriciteit vanuit wind is dan weer herkenbaar in de winterdag.

Vraag holon 3

In tegenstelling tot holon 1 is de vraag van holon 3 daarbij gedurende de dag wel variabel, maar wel met een vast patroon: gedurende de nacht is de vraag het minst waarna deze piekt rond ongeveer 9 uur en 5 uur. Dit zijn de tijden dat mensen aankomen\vertrekken van hun werk en de bedrijfsprocessen beginnen\eindigen.

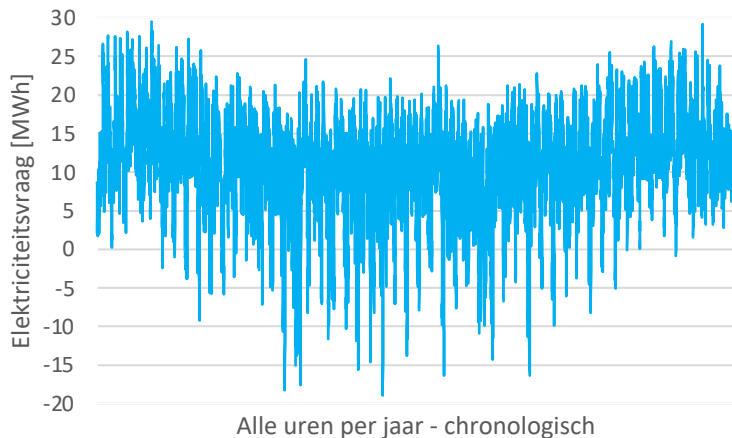
Holon 3 – vraag en aanbod op dagbasis



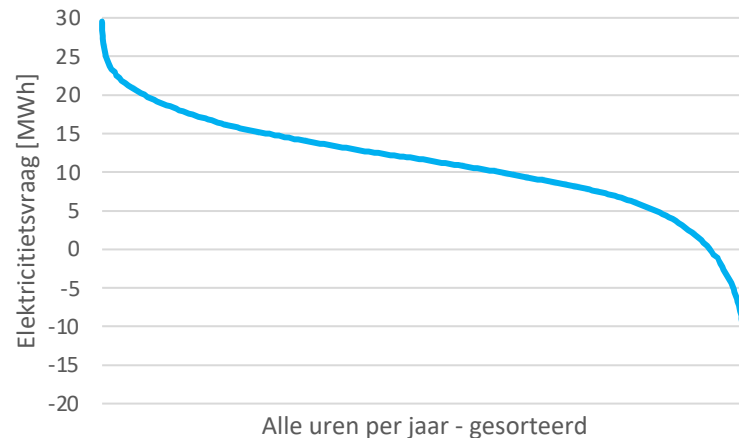
2. Analyse - vraag en aanbod - jaarbelastingduurkromme

Uit de energiebalans kan een jaarbelastingduurkromme worden opgesteld. De jaarbelastingduurkromme bevat precies de dezelfde data als de elektriciteitsbalans, maar geeft de data anders weer. Bij de jaarbelastingduurkromme is de data namelijk gesorteerd op grootte. Zo wordt bijvoorbeeld duidelijk dat de piekbelasting van circa 30 MWh slechts een paar keer in het jaar voorkomt. Ook kan uit deze grafiek worden afgelezen hoe vaak de belasting boven of onder de 0 MWh. Een positieve waarde betekent “er wordt stroom afgenomen van het net”, een negatieve waarde betekent: “er wordt stroom teruggeleverd aan het net”. In de jaarbelastingduurkromme is te zien dat er slechts een klein deel van het jaar elektriciteit wordt teruggeleverd. Binnen het gehele bedrijventerrein is dus zelden sprake van een overschot aan duurzame energie.

Elektriciteitsbalans 2030 – holon 3



Jaarbelastingduurkromme 2030 – holon 3

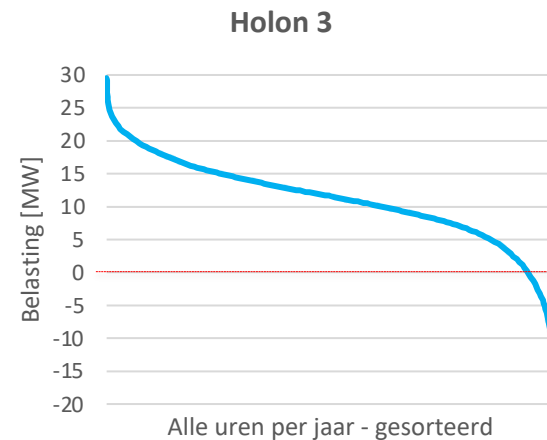
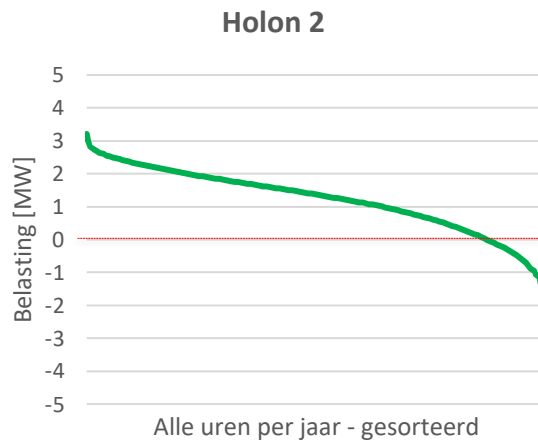
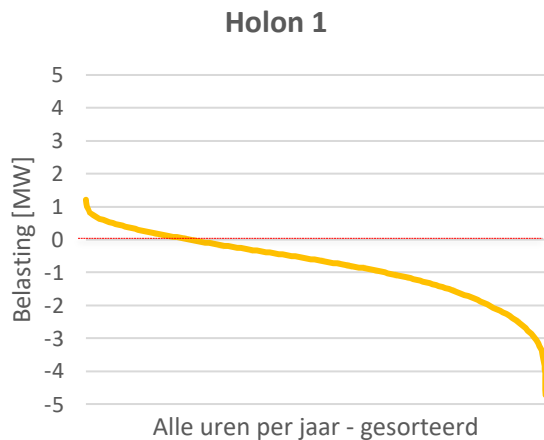


2. Jaarbelastingduurkromme - holon 1 t/m 3

Analyse

Let op, de assen van holon 3 verschilt t.o.v. holon 1 en 2!

- In holon 1 wordt veel elektriciteit teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. Dit is te wijten aan de komst van de 3,5 MW windturbine.
- In holon 2 wordt weinig elektriciteit teruggeleverd, ondanks 3,5 MWp windturbine bij de RWZI. Dit is te wijten aan de grote/constante vraag (2 MW) van het biogvergistingsproces.
- In holon 3 wordt weinig elektriciteit teruggeleverd. Wel wordt er met relatief hoge vermogens veel elektriciteit teruggeleverd. Verder valt op dat er hoge pieken zijn in vraag al komen deze ook maar een paar uur per jaar voor.



⇒ **HOOFDSTUK 3**
ANALYSE VAN
BOUWSTENEN



3.1 Quick scan - bouwstenen voor Harderwijk

Inleiding

In het visualisatiemodel is een uitgebreide analyse gedaan van de verschillende componenten die deel uit kunnen maken van een Smart Energy Hub. Op basis van het visualisatiemodel is voor de RWZI Harderwijk en omgeving (bedrijventerrein Lorentz) een analyse gemaakt

Input voor de analyse holon 1 (het subholon)

Voor de analyse van RWZI Harderwijk zijn de volgende vier input waarden meegegeven:

1. Er is veel elektriciteitsvraag en duurzame energieproductie;
2. Er is ruimte voor extra opwek in de vorm van wind;
3. Er is weinig ruimte voor teruglevering;
4. Er is veel biogasproductie;
5. Er is warmtevraag en er is zuurstofvraag.

Input voor de analyse holon 3 (het superholon)

Voor de analyse van de RWZI en het Lorentz bedrijventerrein zijn de volgende input waarden meegegeven:

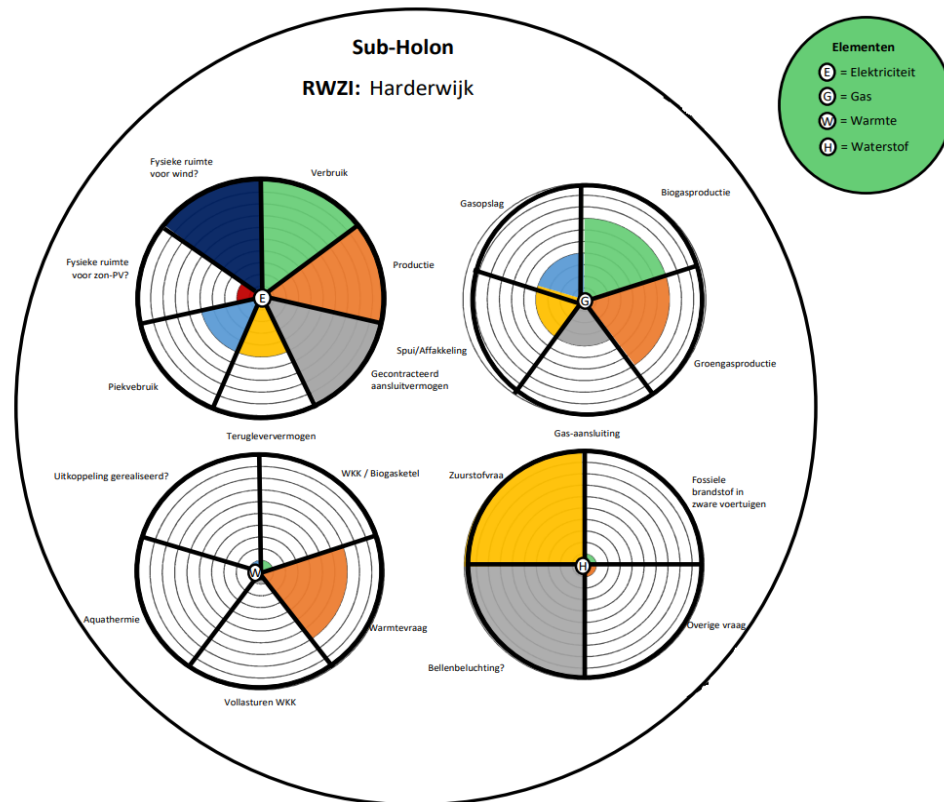
- Er is veel ruimte voor extra productie aan zon en wind
- Er is veel lokale elektriciteitsvraag
- Er is geen congestie
- Er is veel gasvraag voor ruimteverwarming en processen
- Er is lokale warmtevraag en productie
- Er is geen gearticuleerde vraag naar waterstof

3.1 Resultaten quick scan – holon 1

Conclusies voor RWZI Harderwijk en visualisatiemodel

Op basis van de input in het visualisatiemodel en de factsheet kunnen de volgende conclusie worden getrokken:

- Er is veel fysieke ruimte aanwezig voor inpassing van een windturbine.
- Er is in principe weinig fysieke ruimte voor zon-PV, tenzij wordt ingezet op dubbel ruimtegebruik.
- De aansluiting wordt zowel voor levering als voor teruglevering nog weinig gebruikt, waardoor er op de aansluiting nog ruimte is voor andere assets, zoals batterijen of een elektrolyser.
- Er is warmtevraag en er is zuurstofvraag, dit maakt een elektrolyser interessant
- Er is veel potentie voor gasproductie, de afzetmogelijkheden moeten in kaart gebracht worden.

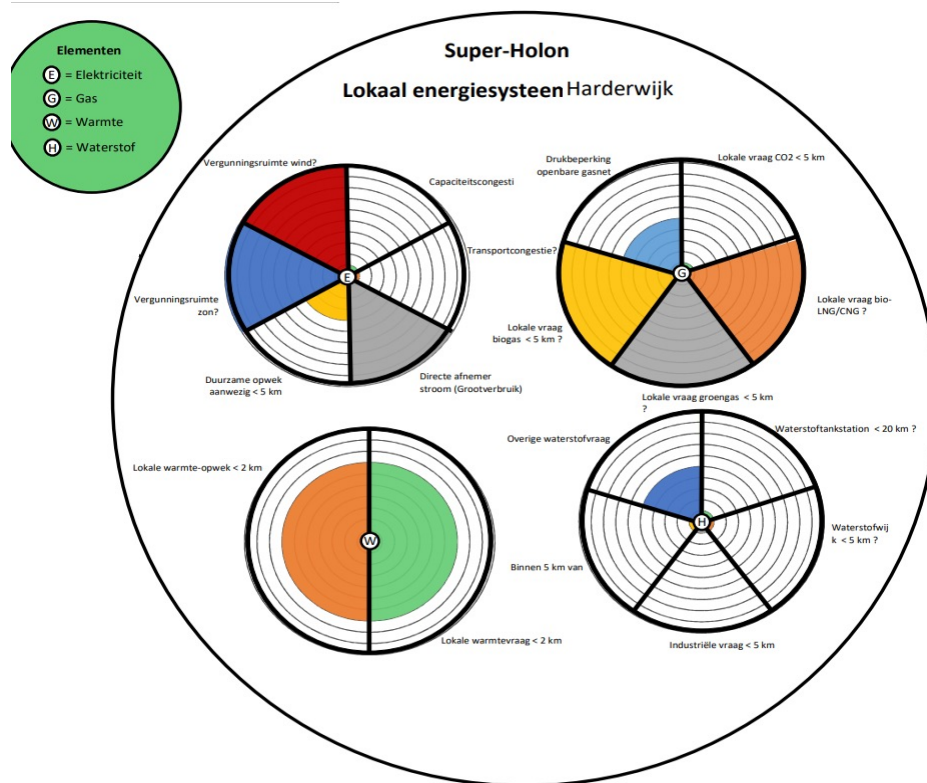


3.1 Resultaten quick scan – holon 3

Conclusies aan de hand van factsheets en visualisatiemodel

Op basis van de input in het visualisatiemodel en de factsheet kunnen de volgende conclusie worden getrokken:

- Er kan meer lokale productie gerealiseerd worden.
- Tussen holon 1 en 3 en binnen holon 3 kan veel elektriciteit uitgewisseld worden vanwege de grote vraag in holon 3.
- Er is geen congestie, dus flexibele elektriciteitscapaciteit heeft geen duidelijke lokale rol
- Er ontbreekt een duidelijke waterstofvraag in de directe omgeving, hier moet een oplossing voor gevonden worden wil een elektrolyser interessant zijn.
- Er is relatief veel groen gas productie, vanwege het feit dat er slibvergisting plaatsvindt bij de RWZI. Niet bij elke RWZI vindt slibvergisting plaats, dus daarom is dit onderscheidend.



3.2 Elektrolyser - rol in energiehub RWZI 1/3

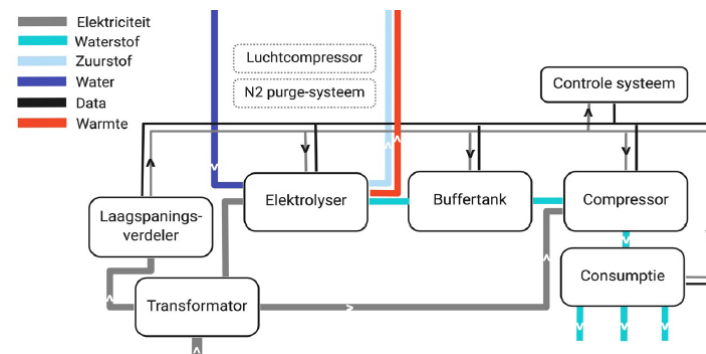
Inleiding

Een elektrolyser gebruikt elektriciteit om waterstof en zuurstof te produceren uit water. Per kg H₂ produceert een elektrolyser ongeveer 8 kg O₂ en 45 MJ warmte.

Elektrolyser in energiehub: eerst waterstofvraag, dan verder kijken...

Een elektrolyser is alleen zinvol als er een concrete waterstofvraag is. Er moeten dus partijen zijn die waterstof willen afnemen en die voldoende betalingsbereidheid hebben om de (dure!) groene waterstof te kopen. Als aan deze voorwaarde kan worden voldaan kan de elektrolyser, naast waterproductie, ook voor onderstaande toepassingen worden ingezet. Deze toepassingen kunnen de business case verbeteren, maar zijn een toevoeging en vormen niet de basis voor het realiseren van een elektrolyser.

- Zuurstof voor slibbeluchting:** Pure zuurstof kan in het slibbeluchtingsproces worden ingezet als alternatief voor buitenlucht. Per kg H₂ komt 7,9 kg O₂ vrij, dit bespaart 1 kWh elektriciteit per 5 kg O₂.
- Restwarmte intern:** de restwarmte kan worden aangewend voor slibvergisting. Bij de productie van waterstof kom 45 MJ warmte per kg waterstof vrij op een temperatuur van 40 tot 70 graden Celsius.
- Restwarmte extern:** indien (niet alle) restwarmte intern kan worden gebruikt kan deze worden geleverd aan derden buiten de RWZI.
- Flexibiliteit voor elektriciteitsnet:** een electrolyser kan overschotten duurzame energie op het elektriciteitsnet opvangen en opslaan in waterstof door aan te schakelen bij piekproductie van zon en windenergie.



3.2 Elektrolyser - rol in energiehub RWZI 2/3

Waterstof (H₂)

Een RWZI heeft momenteel geen directe behoefte aan waterstof. In de toekomst zou waterstof op verschillende manieren kunnen worden ingezet door koppeling met lokale vraag naar waterstof voor de volgende toepassingen: 1) als grondstof voor industrie, 2) als bron voor hoge temperatuur proceswarmte in industrie, 3) als brandstof voor zwaar transport of 4) in combinatie met de landelijk waterstofbackbone voor (seizoen) opslag en elektriciteitsproductie. In het Visualisatiemodel (STOWA 2022-53) is meer over de waterstofkoppelingen in het algemeen beschreven, zoals het koppelen aan de industrie, verwarming of het gebruiken in het eigen waterstofstations in de omgeving.

Restwarmte

De hoeveelheid restwarmte is afhankelijk van het type elektrolyser, maar is in de ordegrootte van 10-25% van de elektriciteitsvraag van de elektrolyser. De warmte is hoogwaardig, met een temperatuur van 70 - 80 graden. De restwarme is daardoor geschikt om zowel te worden ingezet voor midden/laag temperatuur warmtenet als slibvergisting.

Zie hoofdstuk 3.3 voor meer informatie over de restwarmtepotentie van een elektrolyser (en effluentwarmte).

Zuurstof

Zuurstof kan gebruikt worden om verschillende processen binnen de RWZI te verbeteren.

Twee duidelijke voorbeelden zijn:

1. het beluchtingsproces van het slib tijdens het reinigingsproces: Op RWZI's is een veelgebruikte techniek het inbrengen van buitenlucht via belbeluchters m.b.v. compressoren. Voor het beluchten met zuurstof wordt buitenlucht gebruikt. De compressor verpompt hierbij een hoop onnodig stikstof wat in de buitenlucht zit. Wanneer pure zuurstof wordt gebruikt kan dit het stroomgebruik (en stroomkosten) sterk beperken
2. Ozonproductie voor het nabehandelen van het effluent: Een andere zuurstoftoepassing is het gebruik van **ozon**. Ozon wordt gemaakt uit zuurstof, en wordt toegepast om medicijnresten in het effluent te oxideren. Het verwijderen van medicijnresten wordt steeds lastiger omdat het gebruik van medicijnen toe blijft nemen. Ozonoxidatie kan dit theoretisch beter en goedkoper dan andere technieken. Het toepassen van ozonreiniging op deze manier bij een RWZI is nog in de experimentele fase, maar de eerste testen zijn positief. Voor ozonoxidatie is, ten opzichte van het beluchtingsproces minder zuurstof nodig. Maar je moet altijd eerst zuiveren, ozonoxidatie is een vervolgstap en geen vervangstap.

3.2 Elektrolyser - rol in energiehubs RWZI 3/3

Elektriciteitsgebruik en piekreductie

Een elektrolyser gebruikt veel elektriciteit en zorgt dus voor een significante extra belasting van het elektriciteitsnet. Daarnaast vormt het elektriciteitsverbruik een grote kostenpost. Het is daarom financieel interessant om de elektrolyser te koppelen aan lokale productie van zon of windenergie. Door de elektrolyser te koppelen aan lokale productie zal deze in ieder geval aan staan wanneer lokaal de zon schijnt en/of de wind waait. Het aantal uren dat de elektrolyser rendabel aan kan staan is daardoor gekoppeld aan de beschikbaarheid van voldoende duurzame stroom.

Wanneer lokaal geen duurzame stroom wordt geproduceerd en/of alle lokale duurzame energie al wordt gebruikt, kan regionaal/landelijk nog wel steeds sprake zijn van overproductie. Op die momenten zou de elektrolyser ook aangezet kunnen worden en daarmee ook een rol kunnen spelen in beperken van de (over)belasting van en/of balans tussen vraag en aanbod op het elektriciteitsnet.

Of en hoe een rol eruit ziet voor de elektrolyser is sterk situatie afhankelijk en hangt af van de lokale en regionale/landelijke vraag en aanbod van stroom. De rol van de elektrolyser in het balanceren/voorkomen van congestie op het elektriciteitsnet kan pas verder worden uitgewerkt als de meer duidelijk is hoe de elektrolyser lokaal wordt ingezet. Zie hoofdstuk 4 voor meer info.

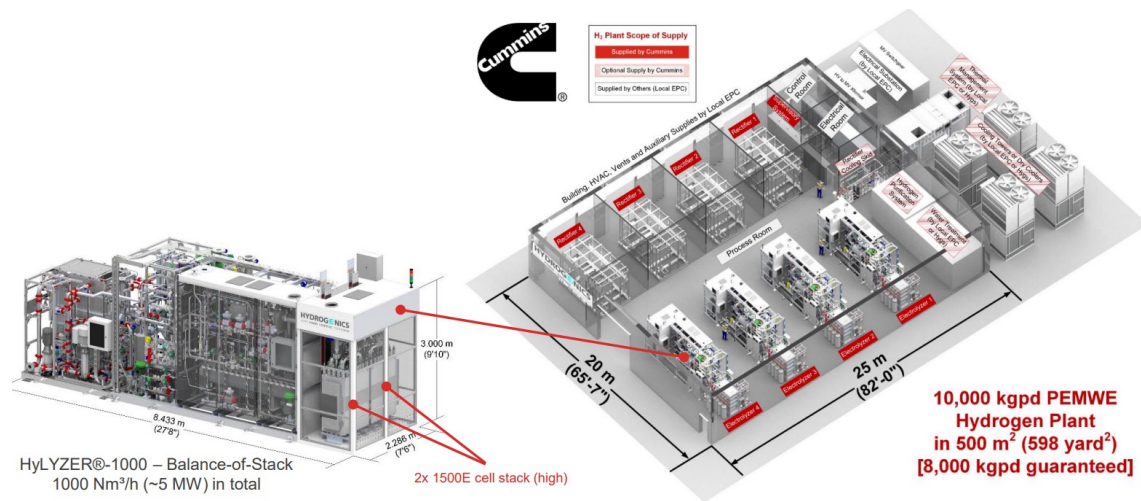
Concept EU richtlijnen groene waterstof

Als onderdeel van het in juni 2022 verschenen, Fit for 55-pakket, heeft de Europese Commissie een doelstelling voorgesteld voor lidstaten om ervoor te zorgen dat in 2030 50% van al het waterstofgebruik in de industrie 'groen' is. Verder heeft de EU in mei 2022 de zogenaamde gedelegeerde verordening gepubliceerd over groene waterstof. Deze (nog niet vastgestelde) verordening geeft duidelijkheid wanneer waterstof gemaakt uit elektriciteit, het predicaat 'groen' of 'hernieuwbaar' mag dragen. Hierin staat dat vanaf 2027 waterstof enkel als hernieuwbaar kwalificeert als het met elektriciteit uit hernieuwbare bronnen is gemaakt. Daarbij geldt dat de elektriciteit die nodig is voor de waterstofproductie op uur basis gelijktijdig moet worden opgewekt en de waterstof-elektrolyser en duurzame energiebron beide in Nederland (specifieker: dezelfde biedingszone) moeten staan.

3.2 Elektrolyser - ruimtebeslag

Toelichting

Voor het realiseren van een elektrolyser installatie is ook voldoende ruimte nodig. Voor een elektrolyser van 20 MW_e installatie kan worden uitgegaan van een bovengronds ruimtebeslag van tenminste 20x25m. Het ruimtebeslag neemt toe als er koelfaciliteiten moeten worden gerealiseerd om de restwarmte weg te koelen of als opslag en export faciliteiten moeten worden gerealiseerd. Binnen de plot van 20x25 meter staat niet alleen de elektrolyser. Er zijn namelijk allerlei aanpalende installaties nodig, zoals waterbehandeling, waterstof zuivering, koelinstallaties, elektrisch equipment en eventueel compressie en opslag systemen voor transport. Hieronder is een voorbeeld gegeven van een 20 MW_e installatie van het merk Cummins.



3.2 Elektrolyser – case study Harderwijk

Dimensionering elektrolyser

De elektrolyser kan voor verschillende doeleinden worden ingezet. Afhankelijk van het doel is een bepaald vermogen nodig. Om een idee te krijgen van de benodigde vermogen van de elektrolyser is voor twee toepassingen het vermogen bepaald:

1. Waterstof voor processen bij bedrijven waar nu aardgas wordt gebruikt;
2. Productie van **zuurstof** of **ozon** voor het zuiveringsproces.

Dimensionering op waterstof

De bedrijven op bedrijventerrein Lorentz zouden de waterstof kunnen afnemen om hun processen mee te verduurzamen. Om een idee te krijgen van het gasverbruik voor processen baseren we ons op informatie uit 2017. In 2017 bedroeg de totale gasvraag van bedrijventerrein Lorentz circa 9,5 miljoen m³ aardgas (momenteel is dit circa 10,5 miljoen m³), waarvan circa 75% (7,1 miljoen m³ aardgas) wordt ingezet voor processen anders dan ruimteverwarming. Ervan uitgaande dat alle processen worden verduurzaamd met waterstof is jaarlijks 19,5 miljoen m³ waterstof nodig. Per m³ waterstof vraagt een elektrolyser gemiddeld 5,9 kWh elektriciteit, wat resulteert in een elektriciteitsverbruik van circa 100.000 MWh. Gegeven dat de elektrolyser 4.200 vollaasturen per jaar maakt (de verwachte minimum eis voor subsidie) is een elektrolyser vermogen benodigd van 24 MW.

Dimensionering op zuurstof

Bij het RWZI in Harderwijk is er sprake van slibbeluchting met puntbeluchters (~3/4) en belbeluchters (~1/4). Dit houdt in dat $11.500/4 = 2.875$ ton per jaar aan zuurstof word toegevoegd door injectie van buitenlucht door belbeluchters. Wanneer dit word vervangen door pure zuurstof levert dit een besparing op van 1,67 kWh per gebruikte kg zuurstof: 4,8 MWh. Om in de zuurstofvraag van de RWZI te voorzien zou een elektrolyser nodig zijn met een piekvermogen van 5 MW. Daarnaast zal in de toekomst de zuurstofvoorziening worden uitgebreid omdat de zuiveringsvraag in 2030 al met 7 procent toeneemt, Deze uitbreiding zal worden gedaan door toevoeging van belbeluchters. Om ook deze uitbreiding tegemoet te komen zal de elektrolyser ongeveer 10 MW piekvermogen nodig hebben.

Dimensionering op ozon

Indien er word gekozen voor het toevoegen van een **ozon-reinigingsstap** om het zuiveringsproces te verbeteren dan is daarvoor is een zuurstofproductie van 35,04 ton/jaar nodig. Om dit te leveren is een elektrolyser van 0,06 MW nodig. Dit voldoet helaas niet aan de minimale capaciteit van 1 MW om economisch haalbaar te zijn die is vastgesteld in de factsheet van het Visualisatiemodel.

3.2 Elektrolyser – rol in energiehub Harderwijk

Waterstofaanbod versus. waterstof en zuurstof vraag

De case study naar inzet van een elektrolyser binnen Harderwijk laat zien dat er een behoorlijk grote elektrolyser nodig is voor het verduurzamen van de lokale gasvraag voor bedrijfsprocessen: 24 MW. De optimale verhouding tussen elektrolyser vermogen en vermogen van duurzame stroombronnen bedraagt voor zon 1:3 en voor wind 2:3 (zie factsheet). Voor de elektrolyser van 24 MW betekent dit dat er aan wind en zonne-energie respectievelijk 36 en 72 MW aan geïnstalleerd vermogen benodigd is.

Binnen holon 1 en 2 is het geïnstalleerd vermogen windturbines en zonneparken echter beperkt en bedraagt respectievelijk 10,5 en 3 MW. Op basis van het beschikbare vermogen aan windturbines kan maximaal een elektrolyser van 7 MW gerealiseerd worden. Met een 7 MW elektrolyser, op basis van 10,5 MW aan windturbines, kan op de volgende wijze tegelijkertijd invulling worden gegeven aan de energiebehoefte:

- 30% van de niet-gebouwgebonden gasvraag van holon 3 met waterstof;
- 100% van de pure zuurstofvraag voor de huidige belbeluchting op de RWZI
- 70% van de pure zuurstofvraag na uitbreiding van de RWZI met belbeluchting.
- 100% van de ozonvraag;

Een consequentie van de waterstofproductie is dat een groot deel van de duurzame elektriciteitsproductie wordt verbruikt door de elektrolyser.

Vergroten van elektrolyser capaciteit

De productie van waterstof en zuurstof, op basis van de beschikbare energie uit 10,5 MW windturbines, zou verder kunnen worden vergroot via onderstaande twee routes:

1. door de wind en zon installaties directe te combineren;
2. door lokale/regionale overschotten van duurzame energie te benutten.
 1. Lokale overschotten betreft waarschijnlijk energie uit zon-op-dak. Bovenlokale/regionale overschotten betreft waarschijnlijk overschotten uit wind- of zonne-energie.

Conclusie

Er is voldoende duurzame elektriciteit voorhanden om een elektrolyser van 7 MW te realiseren. Daarmee kan jaarlijks circa 500 ton waterstof worden geproduceerd. Dit vormt de belangrijkste inkomstenbron van de elektrolyser. De beschikbare waterstof zou in 30% van de equivalente gasvraag voor bedrijfsprocessen kunnen invullen. De beschikbare zuurstof kan in 70% tot 100% van de pure zuurstofvraag van de RWZI voorzien na/voor uitbreiding van de RWZI capaciteit. De consequentie is dat veel van de duurzame elektriciteit wordt verbruikt door de elektrolyser.

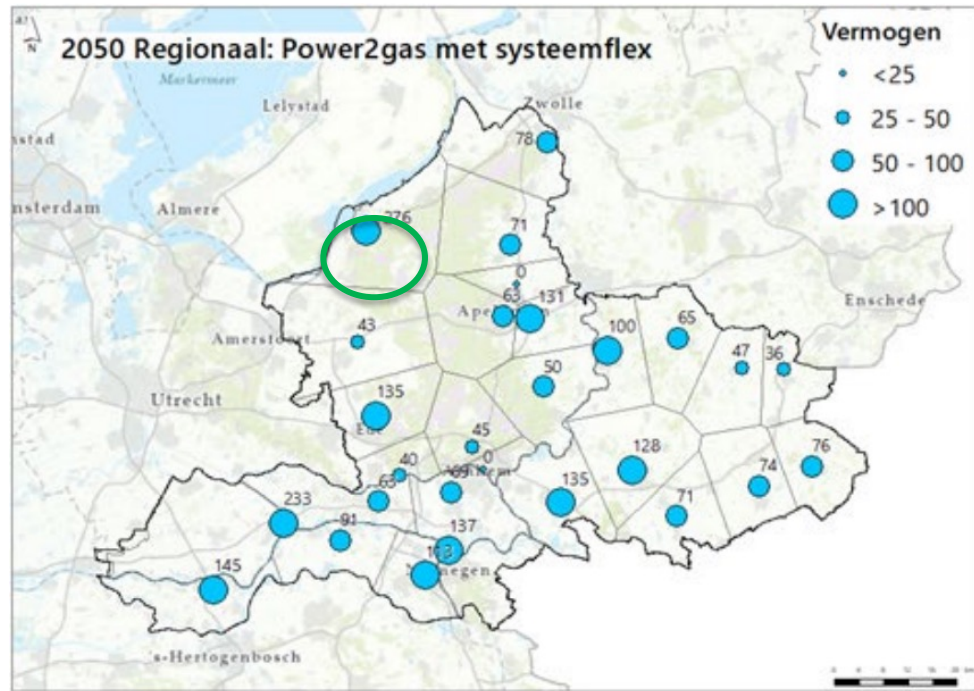
3.2 Elektrolyser – rol buiten energiehub

Energiesysteemstudie Gelderland [\[link\]](#)

In het kader van de systeemstudie Gelderland is voor 4 verschillende ‘flexibiliteitsoplossingen (genaamd ‘systeemflex’) de inzet onderzocht voor de vier energiesysteemscenario’s in 2050 op basis van een modelmatige analyse door TenneT. Op basis van deze modelmatige analyse is door TenneT een inschatting gemaakt van de benodigde capaciteit (in MW) van systeemflex voor alle 28 koppelstation (TS-HS) in Gelderland. 1 van de vier beschouwde oplossingen is power2gas, in de vorm van een elektrolyser, waarbij elektriciteit wordt omgezet in waterstof ten behoeven van het handhaven van het evenwicht tussen vraag en aanbod en congestiemanagement.

Koppelstation Harderwijk

Zoals te zien in de afbeelding is er bij het koppelstation Harderwijk een relatief grote behoefte aan flexibel elektrolyser vermogen. Dit beeld is uniform voor alle vier de toekomstscenario’s voor 2050. De inzet van een elektrolyser (of andere vorm van stroomversie) is in de context van Harderwijk zeer nuttig voor het optimaal inrichten van het energiesysteem in Gelderland.



3.3 Warmte en stroomconversie – rol in een energiehub

Inleiding

Effluent heeft, afhankelijk van het moment in het jaar, een temperatuur van 8-25 °C, waaruit warmte met een warmtewisselaar gewonnen kan worden met een delta T van 5 °C. Om deze warmte nuttig te kunnen gebruiken is een warmtepomp nodig (stroomconversie naar warmte). Een elektrolyser levert bij de productie van waterstof ook restwarmte op 40-70 °C. Deze warmte kan daardoor (deels) direct in het warmtenet worden ingebracht, waardoor er minder/geen noodzaak is voor een warmtepomp of piekvoorziening.

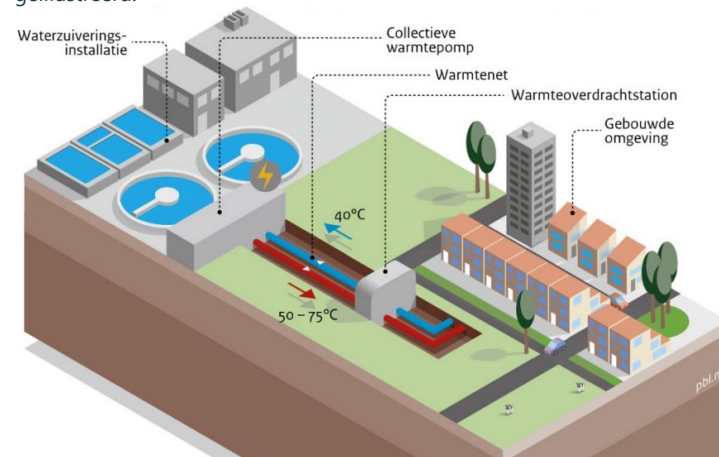
Conversie en energiehub

Door in te zetten op conversie van stroom in warmte doormiddel van een centrale warmtepomp, E-boiler of elektrolyser ontstaat een duidelijke koppeling met het elektriciteitsnet, waardoor invulling kan worden gegeven aan verschillende energie hub doelstellingen:

- **Voorkomen netcongestie en balanceren elektriciteitsnet:** wanneer er een piek is in aanbod van elektriciteit kan de warmtepomp, E-boiler of elektrolyser warmte produceren, waarna deze wordt opgeslagen voor later gebruik.
- **Verhoogde zelfredzaamheid** - door warmte te produceren en op te slaan bij overschotten zon en wind energie kan meer elektriciteit lokaal benut worden;
- **Slimme inkoop van goedkope energie** – door warmte te produceren en op te slaan bij lage gas/elektriciteitsprijzen kunnen de energiekosten worden beperkt.

Warmteaanbod ontsluiten

Om nuttig gebruik te maken van het warmteaanbod dient deze ontsloten te worden naar processen op de RWZI of daarbuiten. Aangezien de interne warmtevraag (slibvergisting) beperkt is (2.500 GJ/100.000 IE), is een externe warmtevraag noodzakelijk. De meest voor de hand liggende manier om de externe warmtevraag te ontsluiten is via een warmtenet. Zoals hieronder is geïllustreerd.



3.3 Warmte en stroomconversie – case study Harderwijk

Warmte uit effluent

De RWZI Harderwijk zal vanaf 2022 effluentwarmte leveren aan 1.100 nieuwbouw woningen (Waterfront) via een Zeer Lage Temperatuur (ZLT) warmtenet (10 °C tot 20 °C), waarbij de warmte uit het warmtenet per woning met een warmtepomp wordt ingezet voor ruimteverwarming en tapwater. Het ZLT warmtenet biedt, door het lage temperatuurniveau en ontbreken van centrale warmte-opwek installaties, geen directe aanknopingspunten met de smart energy hub. Al zouden de decentrale warmtepompen ook slim aangestuurd kunnen worden.

De totale effluentpotentie van de RWZI Harderwijk wordt door de woningen in het Waterfront nog niet volledig wordt benut. De totale effluentpotentie bedraagt, zonder seizoensopslag, circa 43.500 MWh, op basis van het minimaal beschikbaar effluent vermogen van 6,8 MW [1], een delta T van 5 graden Celsius over de warmtewisselaar en 6.400 vollasturen. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat een deel van de warmte die in de zomer beschikbaar is niet wordt gebruikt/opgeslagen.

Restwarmte uit elektrolyser

Uit hoofdstuk 3.2 volgt dat een elektrolyser van 7 MW gerealiseerd zou kunnen worden. Uitgaande van 7 MW, 4.200 vollasturen en 25% restwarmte per ingaande hoeveelheid stroom, bedraagt de jaarlijkse restwarmteproductie van de elektrolyser circa 7.000 MWh.

Warmtevraag Waterfront

De warmtevraag van 1.100 nieuwbouwwoningen is bepaald op basis van een gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater van 6.0 MWh per woning per jaar. Daarbij leveren de individuele warmtepompen een deel van de warmte. Gegeven een gemiddelde efficiëntie van de warmtepompen van (SCOP): 4.0 bedraagt de jaarlijkse vraag naar effluentwarmte 4,5 MWh. Daarmee bedraagt de totale warmtevraag aan effluent circa 5.000 MWh;

Warmtevraag uit biovergisting

Als de WKK op termijn wordt uitgefaseerd is een alternatieve warmtebron nodig voor de slibvergisting. De benodigde warmtevraag voor de slibvergisting bedraagt jaarlijks circa 1.500 MWh bij een temperatuur van circa 50 graden. Uitgaande van een gemiddelde efficiëntie van een warmtepomp van 5, bij levering op 50 graden, bedraagt de effluentwarmtevraag voor slibvergisting circa 1.200 MWh per jaar. Waarbij de resterende 300 MWh uit elektriciteit wordt gehaald.

Bron

[1] 2022, Syntraal, <https://syntraal.omgevingswarmte.nl/omgevingswarmte>

3.3 Warmte en stroomconversie – case study Harderwijk

Warmtelevering aan bedrijven

Een deel van de effluentwarmte wordt buiten Holon 3 al geleverd aan 1.100 nieuwbouwwoningen van Waterfront. Het nog onbenutte potentieel aan effluentwarmte zou in combinatie met een centrale warmtepomp en MT warmtenet (70/40 °C) aan de bedrijven op het Lorentz bedrijventerrein geleverd kunnen worden. Een MT warmtenet is daarbij interessant, omdat daarmee de isolatiekosten voor individuele gebouwen niet te hoog oplopen. Directe levering van effluentwarmte is waarschijnlijk financieel niet aantrekkelijk, vanwege hoge isolatiekosten.

Warmtevraag bedrijventerrein Lorentz

De warmtevraag van bedrijventerrein Lorentz (1 t/m 3) bedroeg in 2021 circa 10.4M m³. Op basis van de energiepotentieelscan uit 2017 is het gebouwgebonden gasverbruik vastgesteld op 25% van het totale gasverbruik (25.800 MWh). Met een centrale warmtepomp zou circa 85% van de totale warmtevraag ingevuld kunnen worden (de overige 15% met een gas- of E-boiler. Daarmee bedraagt de warmtevraag aan de warmtepomp 21.700 MWh. Gegeven een gemiddelde efficiëntie van de warmtepomp (SCOP): 4.0 bedraagt de jaarlijkse warmtevraag aan het effluent circa 16.300 MWh.

ZLT-warmtelevering met effluent

In onderstaande tabel is de effluentpotentie vergeleken met de ZLT warmtevraag.

Warmte uit effluent		ZLT warmtevraag (10-20 graden)	
Categorie	MWh/j	Categorie	MWh/j
Potentie effluent	43.500	Waterfront	5.000
		Bedrijventerrein	16.300
		Slibvergisting	1.200
Totaal aanbod	43.500	Totaal vraag	22.500

MT-warmtelevering met elektrolyser

In onderstaande tabel is de warmtepotentie van de elektrolyse vergeleken met de MT warmtevraag.

Warmte uit 7 MW elektrolyser		MT warmtevraag (50-70 graden)	
Categorie	MWh/j	Categorie	MWh/j
Potentie elektrolyser	7.000	Bedrijventerrein	25.800
		Slibvergisting	1.500
Totaal aanbod	7.000	Totaal vraag	27.300

3.3 Warmte en stroomconversie – rol in energiehub Harderwijk

Conclusie warmte en stroomconversie

De effluentpotentie van Harderwijk wordt nog niet volledig benut. Effluent zou (in combinatie met centrale warmtepomp) voldoende warmte kunnen leveren voor de 1.100 woningen in Waterfront, het slibvergistingsproces en de gebouw gebonden gasvraag van het Lorentz bedrijventerrein. Dit vraagt om de realisatie van een warmtenet. Onderzocht moet worden of dit financieel ook aantrekkelijk is. Uit hoofdstuk 3 blijkt dat een elektrolyser van 7 MW mogelijk zou kunnen zijn, mits de waterstofbehoefte voldoende groot is en alle duurzame elektriciteit van de 3 de windturbines in holon 1 en 2 beschikbaar is voor de elektrolyser. Een 7 MW elektrolyser zou in 100% van de warmtevraag van het slibvergistingsproces voorzien en in circa 25% het gebouw-gebonden gasvraag van het Lorentz bedrijventerrein.

Huidige situatie

- **Het aansluiten van een elektrische- of gasboiler en warmtebuffer is niet noodzakelijk en niet praktisch.** Het ZLT warmtenet (10-20 graden warmte) voor Waterfront, op basis van directe levering van effluentwarmte, biedt door het lage temperatuurniveau geen directe aanknopingspunten met een smart energie hub.
- **Gebruik van de restwarmte van de elektrolyser kan, maar vraagt ook eerst om een MT warmtenet.** Een elektrolyser levert warmte op 60-70 graden Celsius. Zonder een MT warmtenet (50-70 graden) is de restwarmte uit een elektrolyser ook niet direct nuttig inzetbaar.

Toekomstige situatie

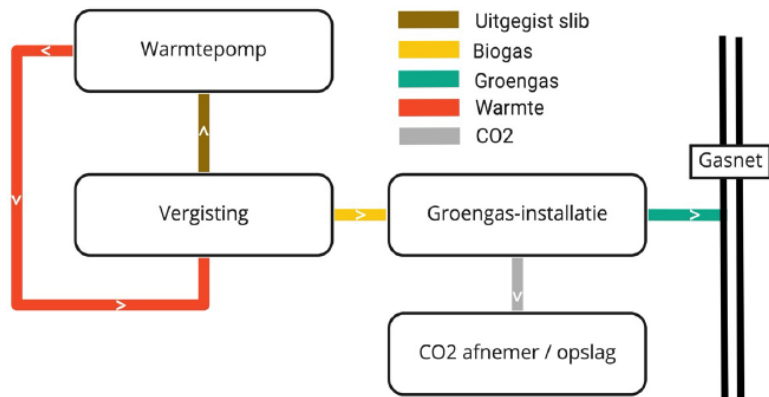
Indien er een uitbreiding komt voor een MT warmtenet in holon 3 dan zijn er koppelkansen mogelijk voor de energiehub:

- **Voordelen van elektrolyser + H2 opslag en/of warmtepomp i.c.m. warmtebuffer en E-boiler bij energiehub:** vermindering netcongestie/verbeteren balans vraag/aanbod binnen de holon en in Gelderland, verhoogde zelfredzaamheid en slimmere inkoop van energie;

3.4 Biogas – rol in een energiehubs

Op veel RWZI's vindt slibvergisting plaats. Bij dit proces wordt biogas gemaakt wat voornamelijk bestaat uit CH₄ en CO₂. Er zijn verschillende manieren waarop een RWZI-locatie het biogas kan valoriseren:

1. *Directe verkoop aan derden*
2. *De inzet in een warmtekrachtkoppeling (WKK)*
3. *Opwaarderen naar bio-LNG/CNG*
4. *Opwaarderen naar groen gas*



- De directe verkoop aan derden zorgt voor extra inkomsten. Echter, dit kan er ook voor zorgen dat het biogas de smart energy hub verlaat als deze derden geen onderdeel zijn van de lokale situatie.

(2) De inzet in een warmtekrachtkoppeling (WKK)

- Bij gebruik van een WKK wordt het biogas verbrandt om zo warmte en elektriciteit op te wekken. Deze warmte kan vervolgens worden gebruikt om lokaal in warmte en elektriciteit te voorzien.

(3) Opwaarderen naar bio-LNG/CNG

- Door biogas om te zetten tot groengas en vervolgens op te waarderen naar bio-LNG/CNG wordt het gas een vervoerbare brandstof. Hierdoor kan deze makkelijk aan derde worden verkocht. Wordt vaak gebruikt als brandstof voor scheepvaart of groot transport.

(4) Opwaarderen naar groen gas

- Het opwaarderen naar groen gas zorgt ervoor dat het biogas dezelfde eigenschappen krijgt als regulier aardgas. Hierdoor kan het worden getransporteerd via het aardgasnet en zodoende worden verkocht aan lokale afnemers. Deze optie wordt interessant als de slibvergisting een bepaalde schaal heeft, waarbij minimaal 2 miljoen m³ biogas productie per jaar gewenst is.

3.4 Biogas – case study Harderwijk

Inleiding

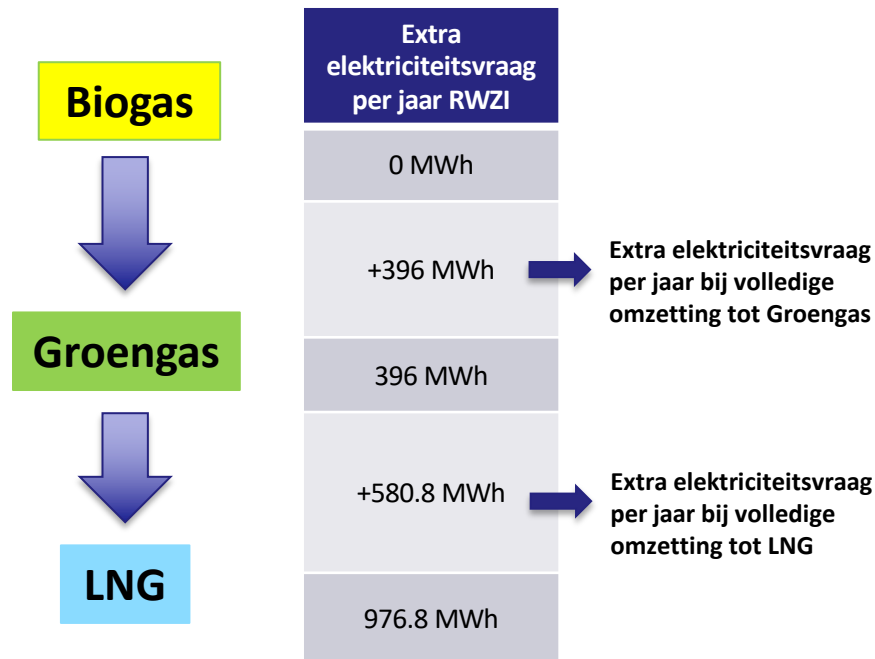
Op RWZI Harderwijk wordt momenteel biogas geproduceerd, welke via een WKK wordt verbrand. De WKK zal op termijn (<2030) echter verdwijnen. Optie 2 komt daardoor te vervallen. Per saldo zijn er voor Harderwijk nog 3 opties over:

1. Verkoop aan derden
2. Groengas productie
3. Biogas productie

Biogas, groengas en LNG productie

De huidige productie van biogas op RWZI Harderwijk schommelt per jaar tussen de 1.1 en 1.4 miljoen kuub biogas. Gemiddeld bedroeg de productie van biogas over de afgelopen jaren 1.32 miljoen kuub per jaar.

- Het biogas kan worden opgewaardeerd tot groengas. Hiervoor is elektriciteit nodig. Om één kuub biogas om te zetten naar groengas is circa 0.3 kWh energie nodig. Om alle biogas om te zetten naar groengas is dus 396 MWh extra energie nodig per jaar.
- Vervolgens kan het groengas worden omgezet naar LNG. Deze omzetting vergt 0.44 kWh per kuub biogas. Bij een omzetting van alle biogas tot LNG komt er nog 580.8 MWh per jaar bij de energievraag bij.



3.4 Biogas – rol in energiehub Harderwijk

Toelichting

Door de uitfasering van de WKK en de omzetting tot groengas en LNG zal de jaarlijkse elektriciteitsvraag stijgen. Enerzijds doordat er niet langer meer elektriciteit wordt geleverd door de WKK (3.200 MWh per jaar). Anderzijds, door de productie van groengas of LNG (400 tot 1.000 MWh per jaar). In totaal kan de elektriciteitsbehoefte stijgen met 4.200 MWh per jaar. De installaties voor omzetting van het biogas zijn aanwezig bij Taurus. Elke toepassing kan op de volgende wijze worden ingepast in de energiehub Harderwijk:

(1) Directe verkoop aan derden

- De directe verkoop van biogas aan derden kan op twee manieren worden benut in het lokale energiesysteem. Ten eerste als brandstof voor een primair proces in holon 3 (elders op het Lorentz bedrijventerrein). Ten tweede zou de biogas kunnen dienen als brandstof voor een piekkelstel voor een lokaal MT-warmtenet.

(2) De inzet in een warmcrachtkoppeling (WKK)

- De WKK die momenteel functioneel is op het RWZI terrein zal worden uitgefaseerd. Hierdoor zal de koppeling tussen biogas, warmte en elektriciteit momenteel vervallen. Tevens vervalt de mogelijkheid om flexibel in warmte en elektriciteit te voorzien en zorgt dit voor een extra elektriciteitsvraag van de RWZI, ter waarde van 3.200 MWh per jaar.

(3) Opwaarderen naar bio-LNG

- De opwaardering van biogas tot bio-LNG geeft de mogelijkheid tot exporteren. Bio-LNG is een brandstof die voornamelijk wordt gebruikt voor scheepvaart en groot vrachtverkeer. Om deze energiedrager binnen het gebied te houden zal er in holon 3 een afnemer voor deze brandstof gevonden moeten worden. Denk aan industrie of vrachtverkeer, zowel over water als over land.

(4) Opwaarderen naar groen gas

- Bij de opwaardering naar groen gas zijn er drie opties voor het gebruik ervan binnen de energiehub Harderwijk. Ten eerste kan het ingezet worden voor primaire processen in holon 3. Er kan gebruik van worden gemaakt in een piekkelstel voor een MT-warmtenet. Het groengas zou ook ingevoerd kunnen worden in het lokale aardgasnet en worden verkocht aan lokale afnemers voor hun warmtevoorziening.

3.5 Batterijopslag – rol in een energiehubs

Algemeen

Met stationaire batterijopslag wordt geduid op de opslag van elektrische energie op locatie. Deze vorm van stationaire batterijopslag is opslag die decentraal (achter een aansluiting) of centraal (voor het gehele) gebied kan worden ingezet (buurtbatterij) en dus worden geregeld vanuit een energiehubs. Er bestaan veel verschillende toepassingen voor het gebruik van batterijopslag. In dit onderzoek worden de effecten van slimme inzet van batterijopslag vastgesteld voor de drie hubs rollen die door de waterschappen zijn vastgesteld:

1. vergroten zelfredzaamheid/zelfconsumptie;
2. verlagen van de piekbelasting voor import van elektriciteit;
3. verlagen van elektriciteit- en netbeheerkosten.

Verhogen van zelfconsumptie

Door veel zon en wind energie op het terrein van de RWZI is het mogelijk een groot deel van de energievraag van de RWZI van eigen bodem te halen. In de praktijk blijkt het echter lastig om ook daadwerkelijk zelfvoorzienend te zijn, omdat vraag en aanbod niet matchen. Zonder batterij is de mate van zelfvoorziening voor holon 1, 2 en 3 respectievelijk 85%, 47% en 26%.

Verlagen piekbelasting en netbeheerkosten

De impact op het verdeelstation Lorentz (en hoger gelegen netwerk) kan worden beperkt door de piekbelasting van elektriciteit import en export te beperken. Belangrijk om daarbij te vermelden is dat enkel het beperken van afname pieken extra financiële baten met zich mee brengt, omdat de netbeheerkosten samenhangen met het gecontracteerd en maximaal afgenomen vermogen per maand. De netbeheerder rekent namelijk geen transporttarief voor het terugleveren van elektriciteit. Verder bestaat er (nog) geen gebied overstijgend transporttarief, waardoor er geen financiële prikkel is om te sturen op het verlagen van de gebied overstijgende piekvraag. Wel zouden decentrale batterijsystemen achter individuele aansluitingen gezamenlijk kunnen sturen op het verlagen van de collectieve piekbelasting.

Verlagen van elektriciteitskosten

De batterij kan ook worden ingezet om elektriciteitskosten te verlagen. Aan de ene kant door zelfopgewekt stroom tijdelijk op te slaan voor later gebruik (in feite hetzelfde als het verhogen van zelfconsumptie). Aan de andere kant kunnen de elektriciteitskosten worden verlaagd door elektriciteit in te kopen en tijdelijk op te slaan als de prijs laag is en eventueel duurzame elektriciteit tijdelijk op te slaan, zodat deze kan worden verkocht tijdens hoge prijzen. Er zijn energieleveranciers die klanten direct toegang verschaffen tot de energiemarkt en daarmee instaat stellen om de batterij slim in te zetten.

3.5 Batterijopslag – rol buiten energiehubs 1/2

Toelichting

Naast de lokale energiehubs doelstellingen zou de batterij ook een actieve rol kunnen spelen in het stabiliseren van de regionale en nationale netbalans en het voorkomen/beperken van congestie op hogere netvlakken.

- De netbalancing wordt door TenneT afgerekend en eventueel gecontracteerd. Voorbeelden van netbalancing zijn Frequency Containment Reserve (FCR) en automatic Frequency Restoration Reserve (aFRR). Bij FCR reageert een batterij op real-time metingen van de netfrequentie om deze frequentie stabiel te houden. Bij aFRR reageert een batterij op signalen van TenneT om een stabiel vermogen te leveren om zo een langer durende onbalans (mismatch tussen vraag en aanbod) te verhelpen. Netbalancing is een landelijke markt, en gaat niet over lokaal vraag en aanbod. Daarom past netbalancing niet direct binnen de lokale energiehubs zoals die in dit onderzoek verkend is. Netbalancing is echter wel een belangrijke verdienas voor batterijen. Van alle grootschalige batterijen die in Nederland geplaatst zijn is netbalancing (via de FCR) de voornaamste bron van inkomsten. Mocht er behoefte zijn om een batterij te plaatsen bij Harderwijk, dan is netbalancing noodzakelijk om de batterij terug te verdienen.
- Het leveren van congestiediensten is volop in ontwikkeling. Bij congestiediensten wordt flexibel vermogen aan netbeheerders aangeboden, waarmee het net kan worden ontlast. Congestie managementdiensten vallen binnen een lokale energiehubs, maar voor Harderwijk is er geen sprake van lokale congestie, en dus is hier ook geen verdienmodel voor.
- In de modellering van batterijopslag en slim is in deze studie gelet op het minimaliseren van inkoopkosten van elektriciteit op de day-ahead elektriciteitsmarkt. Dit is markt waar een groot deel van de elektriciteit wordt verhandeld. Zoals te zien in de tabel zijn de potentiële inkomsten voor netbalancing en netcongestie hoger dan inkoopoptimalisatie via de Day-Ahead en intra-day markt.

Markt	Minimaal Vermogen	Inkomst potentieel	Optimale opslag capaciteit
Eenheid	MW	€ / MW / jaar	Uur
FCR	1	162.000	0,5
aFRR	1	73.000	8
Onbalans	nvt	100.000	1
Intra-Day	nvt	30.000	2
Day-Ahead	nvt	25.000	4
Congestie	1	42.000	2

3.5 Batterijopslag – rol buiten energiehubs 2/2

Inleiding

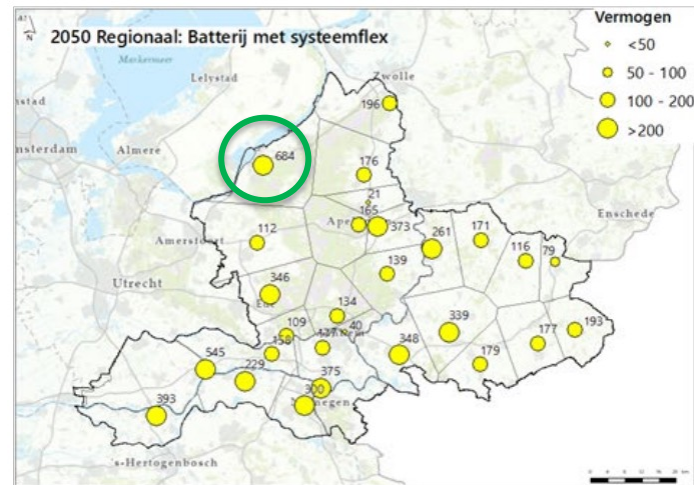
Naast de lokale doelstellingen zou de batterij ook een actieve rol kunnen spelen in het stabiliseren van de regionale en nationale netbalans en het voorkomen/beperken van congestie op hogere netvlakken..

Energiesysteemstudie Gelderland [\[link\]](#)

In het kader van de systeemstudie Gelderland is voor 4 verschillende ‘flexibiliteitsoplossingen (genaamd ‘systeemflex’) de inzet onderzocht voor de 4 energiesysteemscenario’s in 2050 op basis van een modelmatige analyse door TenneT. Op basis van deze modelmatige analyse is door TenneT een inschatting gemaakt van de benodigde capaciteit (in MW) van systeemflex voor alle 28 koppelstation (TS-HS) in Gelderland. 1 van de 4 beschouwde oplossingen, die parallel naast elkaar zouden moeten bestaan om het net te balanceren, is grootschalige batterijopslag. Daarbij wordt de batterij geladen en ontladen, ten behoeven van het handhaven van het evenwicht tussen vraag en aanbod en congestiemanagement. Een batterij zou prima naast een elektrolyser kunnen bestaan. Bijvoorbeeld om overschotten wind of zon op te vangen wanneer de elektrolyser al op maximaal vermogen draait.

Koppelstation Harderwijk

Zoals te zien in de afbeelding is er bij het koppelstation Harderwijk een relatief grote behoefte aan batterij vermogen. Dit beeld is uniform voor alle vier de toekomstscenario’s voor 2050. De inzet van een batterij is in de context van Harderwijk zeer nuttig voor het optimaal inrichten van het energiesysteem in Gelderland. Voor dit onderzoek ligt de focus echter op de lokale rol van de batterij.



3.5 Batterijopslag - methode en modelbeschrijving 1/2

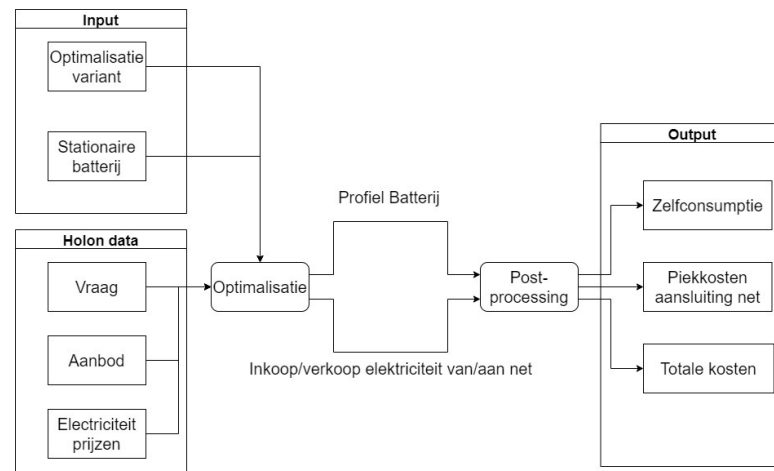
Methode

Voor het simuleren van het gebruik van een batterij is een optimalisatie model ontwikkeld. Met dit optimalisatie model kan voor verschillende holonen, zichtjaren en batterij capaciteiten (energie inhoud) de inzet van een batterij gesimuleerd worden op basis van de elektriciteitsvraag en aanbod van de desbetreffende holon en zichtjaar. Bijvoorbeeld zichtjaar 2030 en holon 1. De inzet van de batterij wordt bepaald door het type optimalisatiedoel. Het optimalisatiedoel is gelieerd aan de drie doestellingen die zijn gedefinieerd:

1. vergroten zelfredzaamheid/zelfconsumptie;
2. Verlagen netbeheerkosten door reduceren van de piekbelasting;
3. verlagen netbeheerkosten en elektriciteitskosten.

Flowchart model

Globaal werkt het model als volgt: aan de hand van het vraag en aanbodprofiel voor een holon, en de input van de gebruiker (batterijkosten, zichtjaar, elektriciteitsprijzen, etc.) wordt gekeken hoe de batterij voor een heel jaar zo optimaal mogelijk kan worden ingezet om een bepaalde doelstelling te bereiken. Daarbij wordt per uur bepaald of de batterij wordt geladen of ontladen en of elektriciteit moet worden ingekocht of verkocht. In de flowchart rechts is weergegeven hoe het model te werk gaat, deze is verder toegelicht in de volgende slide.



3.5 Batterijopslag - methode en modelbeschrijving 2/2

Input voor het model

De input van het model bestaat uit vaste data per holon (bijvoorbeeld de elektriciteitsvraag) en variabele input van de gebruiker (bijvoorbeeld de batterijcapaciteit):

- **Holon data** bestaat uit de elektriciteit vraag [MW], aanbod [MW] en de prijs per uur van de elektriciteit voor het jaar waarvoor het model wordt berekend
- **Gebruiker input** geeft de optimalisatie doel: welke rol de batterij moet vervullen (eigen gebruik, netbeheerkosten, economisch maximale) daarnaast wordt de grootte van de stationaire batterij (MWh) bepaald door de gebruiker. Deze wordt gevarieerd om te kijken wat de optimale grootte is voor de holon.

Optimalisatie

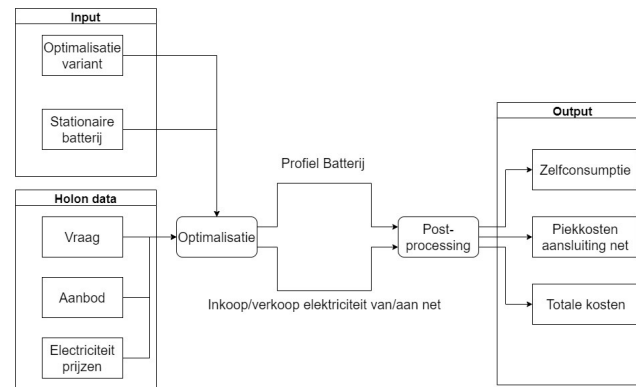
De optimalisatie bepaald wanneer de batterij wordt ontladen/opgeladen voor het inkopen/verkoop van elektriciteit aan het net aan de hand van het optimalisatiedoel.

Post-processing en output

Tijdens post-processing wordt gekeken wat het resultaat van de optimalisatie, laden/ontladingprofiel van de batterij en het inkopen/verkoop van elektriciteit aan het net, voor effect hebben op de rollen: zelfconsumptie, piekkostenaansluiting op het net en de totale kosten d.m.v. model variabele; berekende variabele die het scenario samenvatten, zie volgende slide.

Voorbeeld bij optimalisatiedoel piekreductie

Als het optimalisatiedoel is om de maximale piekvraag van elektriciteit te beperken, dan kan dit worden behaald door de batterij op dat moment te ontladen. Ten opzichte van het net is er dan een kleinere piekvraag. Daarbij moet van tevoren wel de batterij worden opgeladen. De optimalisatie bepaald hoe de batterij optimaal kan worden ingezet, zodat de piekreductie het grootst is. Daarbij wordt door de optimalisatie rekening gehouden met verschillende factoren, zoals de batterijcapaciteit, het maximale (ont)laad vermogen van de batterij en de vraag en aanbod van stroom. De methode die wordt toegepast om dit zo optimaal mogelijk te doen is lineaire optimalisatie.



3.5 Batterijopslag – model variabelen

Toelichting model variabelen

De uitkomsten van het optimalisatiemodel zijn bepaald aan de hand van een aantal model variabelen. De gehanteerde model variabelen zijn opgenomen in de tabel hiernaast. Hierin zijn de belangrijkste variabele:

- Zelfconsumptie: voor meten rol zelfconsumptie van batterij;
- TVT: voor meten van kosten batterij versus baten door batterij;
- Piekbelasting: maximale stroomafname om netbeerkosten te bepalen.

Opmerkingen

De netto kosten reflecteren de kosten voor inkoop van elektriciteit, netbeheerkosten en inkomsten uit verkoop van elektriciteit. De netto kosten zijn bepaald voor aftrek van rente, afschrijving en afboekingen. Voor de berekening van elektriciteitskosten zijn energiebelasting en ODE wel meegenomen! De energiebelasting en ODE zijn per holon bepaald op basis van de totale afname van elektriciteit per jaar. Voor het bepalen van de model variabelen wordt gebruik gemaakt van prijsinformatie. De gehanteerde prijsinformatie is opgenomen in bijlage 1.

Model variabelen ¹	Berekening van model variabelen	Eenheid
Netto kosten	= Bruto inkomsten – Bruto kosten	EUR/jaar
Bruto inkomsten	= inkomsten e-export per uur x prijs per uur	EUR/jaar
Bruto kosten	= Kosten e-import + netbeheerkosten1 + netbeheerkosten2	EUR/jaar
Kosten e-import	= elektriciteit import per uur x (prijs per uur + belasting)	EUR/jaar
Netbeheerkosten 1	= Piekvraag per maand x (prijs per MW + prijs contract per MW)	EUR/jaar
Netbeheerkosten 2	= elektriciteit import per uur x transport kosten per uur	EUR/jaar
Zelfconsumptie	= $\frac{\text{Totaal lokaal geproduceerd} - \text{Totaal Export}}{\text{Total E-vraag}}$	%
Batterij kosten	= CAPEX batterij + O&M batterij	EUR
Netto inkomsten batterij	= totaal aan inkomst gegeneerd door toevoeging van batterij	€/jaar
Terugverdientijd batterij (TVT)	= Batterij kosten / netto inkomsten batterij	jaren
Batterij cycli	= $\frac{\text{Totaal opgeslagen energie over een jaar}}{\text{Vermogen van batterij}}$	#
Piekvraag	Maximale elektriciteit import per uur	MW

¹ Voor verdere uitwerkingen van de model variabelen en prijsinformatie, zie bijlage 1 en 2

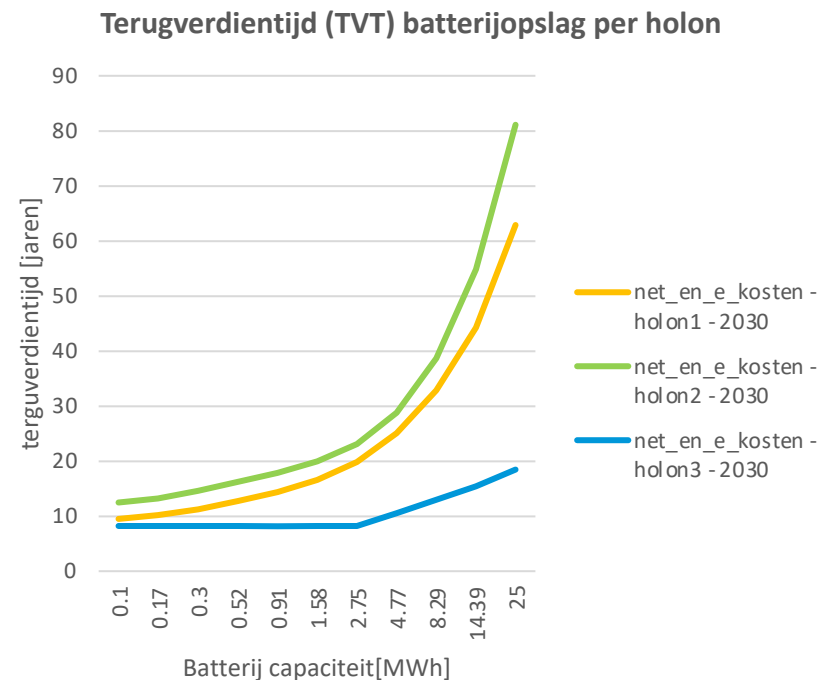
3.5 Batterijopslag resultaten – economisch optimum

Toelichting

In de grafiek is de terugverdientijd voor batterijopslag weergegeven voor holon 1, 2 en 3, als functie van de batterij capaciteit. Het optimalisatiedoel is ingesteld op het minimaliseren van de elektriciteitskosten en netbeheerkosten. De terugverdientijd is de tijd die nodig is om de met de inkomst van de batterij de investeringskosten in de batterij terug te verdienen. Een korte terugverdientijd houdt in dat de batterij zichzelf snel terugverdient en dus op kort termijn winstgevend is.

In de grafiek is goed te zien hoe de terugverdientijd varieert als functie van de batterijcapaciteit voor de drie verschillende holonen. Voor holon 1 en 2 wordt de kortste terugverdientijd behaald bij een batterijcapaciteit van 0,1 MWh met een terugverdientijd van 8 tot 12 jaar. Voor holon 3 ligt de terugverdientijd eveneens op 8 jaar en ligt het optimum ergens tussen een batterij capaciteit van 0,1 tot 3 MWh.

Daarnaast is het economisch optimum nog afhankelijk van verschillende factoren zoals het optimalisatiedoel, de elektriciteitsprijzen en de batterijprijzen. Om rekening te kunnen houden met de verschillende scenario's is in de volgende slide een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze laat zien of en hoeveel het optimum gunstiger uitpakt (de TVT word korter) of juist niet.



Grafiek laat de terugverdientijd (TVT) zien voor scenario waarbij de batterij wordt ingezet om zowel de netbeheerkosten als elektriciteitskosten te minimaliseren voor de holonen in 2030

3.5 Batterijopslag resultaten – sensitiviteitsanalyse terugverdiëntijd (TVT)

Toelichting gevoeligheidsanalyse

Om rekening te kunnen houden met de verschillende scenario's is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Als referentiescenario is het jaar 2030 genomen met als optimalisatiedoel, de minimalisatie van netbeheerkosten en elektriciteitskosten.

Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door het scenario te wijzigen (2024 i.p.v. 2030), het optimalisatiedoel te wijzigen (zelfconsumptie of netbeheerkosten), of de batterijkosten te variëren.

- *Scenario 2024:* de elektriciteitsprijzen in 2024 zijn minder grillig en minder vaak 0 dan in 2030, hierdoor is het verdienpotentieel van de batterij iets lager en dus de terugverdiëntijd langer. Dit effect is gebeurt vooral bij batterijen met een grotere capaciteit.
- *Optimalisatiedoel:* Voor elk ander optimalisatiedoel is zichtbaar dat deze een hogere terugverdiëntijd heeft. Het minimaliseren van netbeheerkosten geeft een beter verdienmodel dan het verhogen van de zelfconsumptie..
- *Batterijkosten:* De huidige prijs voor batterijsystemen is circa 400 EUR/kWh. Naar verwachting zullen de kosten voor opslag met 20 tot 40% gaan dalen. Dit zorgt ongeveer voor eenzelfde procentuele verbetering van de terugverdiëntijd.

	Holon 1		Holon 2		Holon 3	
Batterijcapaciteit	0,1 MWh		0,1 MWh		0,9 MWh	
	TVT	%	TVT	%	TVT	%
Referentie scenario (minimaliseer netbeheerkosten en elektriciteitskosten)						
Prijzen en elektriciteitsbalans 2030	9.5		12.5		8.2	
Scenario 2024						
Prijzen en elektriciteitsbalans 2024	9.7	2%	12.3	-2%	8.3	1%
Optimalisatiedoel						
Maximaliseer zelfconsumptie	17.5	84%	47.3	279%	44.5	445%
Minimaliseer netbeheerkosten	21.7	128%	21.7	74%	11.5	40%
Batterijkosten						
-20% t.o.v. 400 EUR/kWh	7.6	-20%	10.0	-20%	6.5	-20%

3.5 Batterijopslag resultaten – maximaliseren zelfconsumptie

Toelichting analyse zelfconsumptie

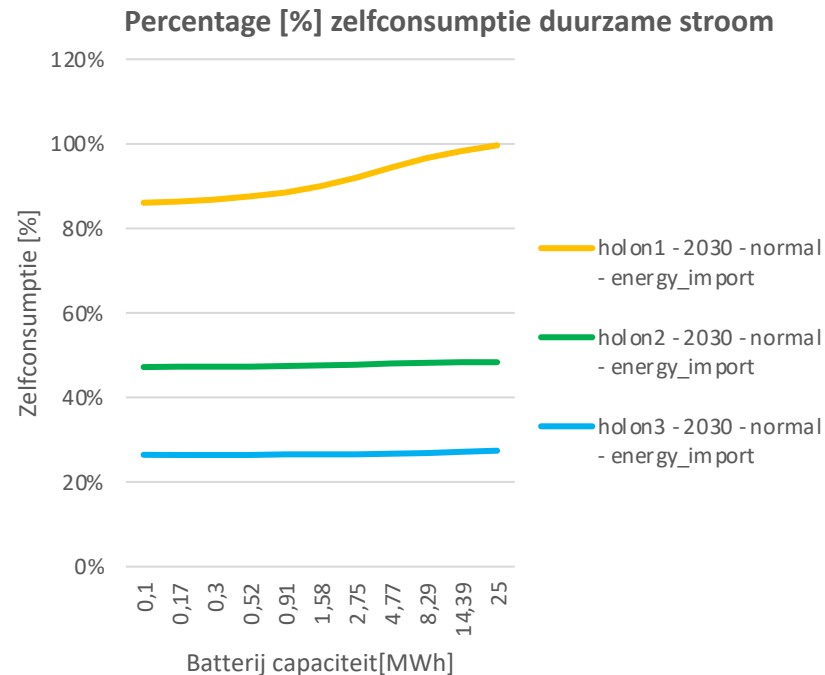
Zelfconsumptie is de mate waarin de duurzame elektriciteit die is opgewekt binnen een holon ook zelf wordt geconsumeerd binnen die holon. Zelfconsumptie geschied daarbij direct of indirect via opslag in de batterij. In de grafiek is de mate van zelfconsumptie weergegeven per holon voor verschillende batterijcapaciteiten. Het optimalisatiedoel voor de inzet van batterijopslag is daarbij ingesteld op het maximaliseren van de zelfconsumptie. Uit de grafiek kan het volgende worden opgemaakt:

- Hoe groter de batterij, hoe meer zelfconsumptie;
- Niet elke holon heeft de mogelijkheid om de zelfconsumptie significant te verbeteren.

De reden dat bij holon 1 de zelfconsumptie het meest toeneemt is omdat deze holon veel overproductie heeft, terwijl in holon 2 en 3 juist sprake is van een onderproductie aan elektriciteit. Met andere woorden. In holon 1 wordt significant meer elektriciteit opgewekt dan verbruikt, terwijl in holon 2 en 3 meer elektriciteit wordt verbruikt.

Trade-off – terugverdientijd v.s. zelfconsumptie

100% zelfconsumptie wordt in holon 1 bereikt bij een batterij van 25 MWh, terwijl het economisch optimum wordt bereikt bij een batterij van 0,1 MWh, waarbij de zelfconsumptie op 86% ligt. Het economisch optimum is daarom tegenovergesteld aan het optimum voor zelfconsumptie.



Zelfconsumptie voor de holonen wanneer deze optimaliseert om de zelfconsumptie zo hoog mogelijk te maken (energy_import) voor de verschillende holonen in 2030

3.5 Batterijopslag resultaten – minimaliseren piekbelasting

Toelichting analyse verlagen piekbelasting

In de bovenste grafiek is de maximale piekvraag voor afname van elektriciteit weergegeven per holon. De optimalisatiedoelstelling is ingesteld op het minimaliseren van de piekbelasting. In de onderste grafiek is de percentuele reductie van de maximale piekvraag voor afname van elektriciteit weergegeven per holon. Analyse van deze grafieken leidt tot de volgende resultaten:

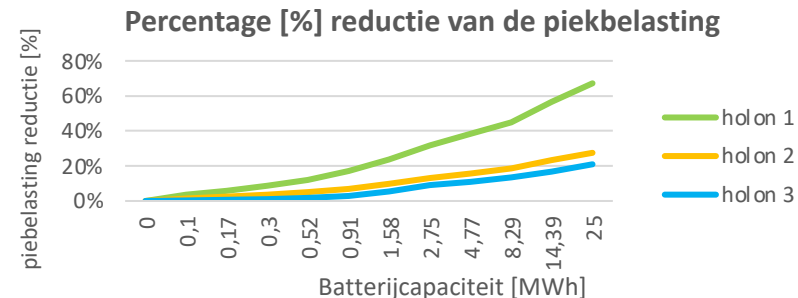
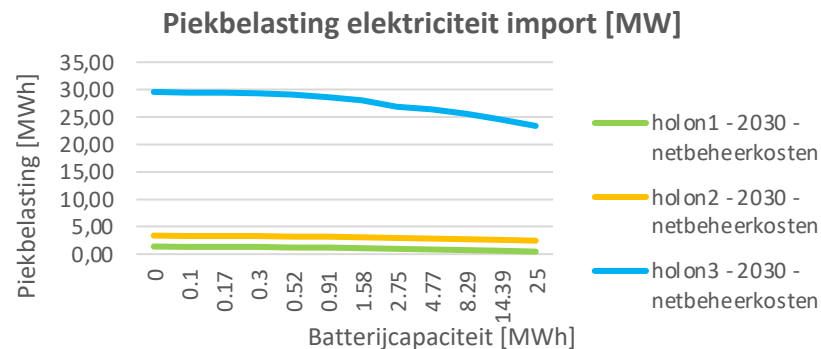
- Hoe groter de batterij, hoe lager de piekbelasting kan zijn op het net
- De reductie van de piekbelasting hangt af van de energiebalans

Reductie piekbelasting holon afhankelijk

Uit de onderste grafiek blijkt dat bij holon 1 relatief de grootste reductie kan worden behaald. Dit komt door het grote aandeel duurzame energie, waardoor er beperkt momenten zijn met een netto elektriciteitsvraag. Hierdoor is er veel (goedkope) energie voorhanden om de batterij te laden en is er relatief weinig batterijcapaciteit nodig om de piekvraag fors te reduceren. Het tegenovergestelde geldt voor holon 3. Hier is relatief weinig duurzame elektriciteit en veel vraag, waardoor er veel batterijcapaciteit nodig is om de piekvraag te beperken.

Trade-off: terugverdientijd v.s. piekreductie

Het minimaliseren van de piekbelasting vraagt om een grote batterij, terwijl het economische optimum bij een kleine batterij ligt.



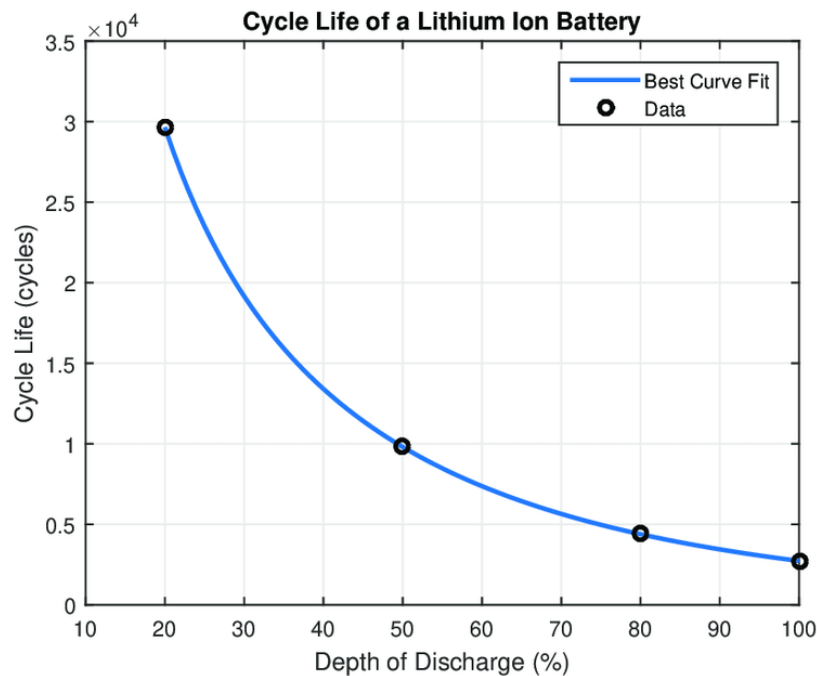
3.5 Stationaire opslag – levensduur batterij

Toelichting levensduur batterij

De levensduur van een batterij kan worden uitgedrukt in het aantal laadcycli dat een batterij maximaal kan maken, zonder al te veel efficiëntieverlies. 1 laadcyclus betekent dat een batterij 1 keer volledig is geladen en ontladen.

Door het laden en ontladen slijt de batterij. Daarbij is de snelheid van veroudering afhankelijk van verschillende factoren, zoals bijvoorbeeld het vermogen waarop de batterij wordt geladen en ontladen, maar ook hoeveel procent de batterij per keer wordt geladen of ontladen, de zogenaamde “diepte van ontladen” (in engels: depth of discharge). Het effect van de “diepte” van ontlading op het maximum aantal batterij cycli is grafisch weergegeven in de grafiek op de rechter pagina. Te zien is dat de levensduur (cycli life) afneemt naarmate de batterij dieper wordt ontladen (depth of discharge).

Voor lithium ion batterijen ligt het maximum aantal laadcycli zo rond de 6000 cycli. Verder hebben batterijen een levensduur van circa 10 jaar. Gemiddeld kan worden gesteld dat een batterij elk jaar 600 cycli zou kunnen maken. Deze benadering over simplificeer het verouderingsproces, maar geeft wel een eerst indruk hoe de batterij wordt gebruikt.



Bron: Analysis of On-Board Photovoltaics for a Battery Electric Bus and Their Impact on Battery Lifespan, 2017

3.5 Stationaire opslag – analyse levensduur batterij

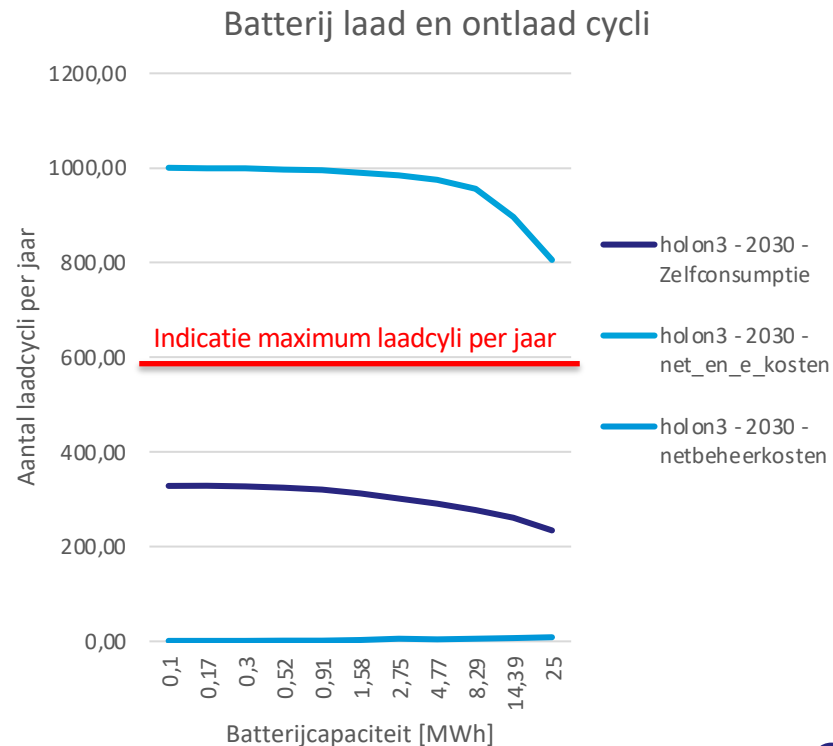
Toelichting grafiek

In de grafiek is het aantal laadcycli dat de batterij in holon 3 zou maken voor de drie optimalisatiedoelstellingen. Ter indicatie is in rood het maximum aantal laadcyli per jaar aangegeven dat de batterij zou kunnen maken om tenminste 10 jaar mee te gaan.

Interpretatie van de uitkomst

Uit de grafiek blijkt dat 1 van de drie strategieën, het beperken van de netbeheerkosten en elektriciteitskosten, zorgt voor een fors aantal laadcycli. Verder valt op dat de strategie om enkel netbeheerkosten te beperken nauwelijks laadcycli met zich mee brengt. Hieruit blijkt dat met name het sturen op slimme inkoop van stroom zorgt voor bijzonder veel laadcyli.

Zoals blijkt uit de analyse van de terugverdientijd zorgt het sturen op slimme in- en verkoop van stroom voor de kortste terugverdientijd, echter moet hierbij dus wel rekening worden gehouden met het feit dat de batterij zeer intensief wordt gebruikt, waardoor deze mogelijk al versleten is alvorens deze is terugverdient.



3.5 Batterij opslag – samenvatting van resultaten

Minimaliseren van kosten

Ondanks dat een grotere batterij zorgt voor lagere netbeheerkosten, lagere stroomkosten en hogere inkomsten door verkoop van stroom leidt dit niet tot een betere business case van de batterij. Uit de resultaten blijkt dat een kleine batterij van 0,1 MWh de kortste terugverdientijd heeft. Wanneer wordt gestuurd op het verlagen van de piekbelasting en minimaliseren van elektriciteitskosten in 2030 bedraagt de terugverdientijd voor holon 1 en 3 circa 8 jaar en holon 2 circa 12 jaar. De levensduur van een batterij is echter 10 jaar, dus met 12 jaar wordt het nooit terugverdiend! De terugverdientijd verslechtert met circa 2 jaar als de analyse wordt gedraaid voor elektriciteitsprijzen en de energiebalans van 2024. De terugverdientijd zal in de komende jaren echter ook nog kunnen verbeteren met 2 jaar als gevolg van dalende batterij prijzen.

Maximaliseren van zelfconsumptie

De mate waarin zelfconsumptie kan worden verhoogd is sterk afhankelijk van de holon. Voor holon 1 kan de zelfconsumptie met 15% worden vergroot tot 100% (met een batterij van 25 MWh), terwijl de toename van zelfconsumptie bij holon 2 en 3 beperkt blijft tot 1% (zelfs bij een batterij van 25 MWh). Hieruit volgt dat het verhogen van de zelfconsumptie alleen interessant is als er veel overtollige duurzame productie is die niet direct lokaal wordt gebruikt, maar wel kan worden opgeslagen voor later gebruik.

Minimaliseren van netimpact

De piekbelasting (voor levering van stroom) en netbeheerkosten kunnen worden verlaagd door inzet van een batterij. Een grotere batterij zorgt voor een grotere verlaging van de piekbelasting en netbeheerkosten, maar de verlaging van de netbeheerkosten weegt niet op tegen de hogere kosten van de batterij. Het type locatie is daarbij wel van belang. Te zien is dat een reductie van het piekvermogen in holon 3 zorgt voor een relatief korte terugverdientijd van 11 jaar. Bij holon 1 en 2 is dat respectievelijk 10 en 17 jaar.

3.5 Batterij opslag – rol in energiehubs Harderwijk

Rol van batterijopslag in energiehubs Harderwijk

In dit hoofdstuk is uiteengezet hoe een batterij drie doelstellingen van de smart energie hub kan vervullen in de situatie voor 2030. Binnen de context van de energiehubs heeft een batterij in 2030 het beste verdienmodel wanneer wordt gestuurd op het slim in- en verkopen van stroom in combinatie met het beperken van de piekbelasting. Echter is waarschijnlijk niet duurzaam om puur te sturen op de slimme in- en verkoop van elektriciteit, in verband met de snelle slijtage van de batterij. *Slimme in- en verkoop met batterijopslag heeft daarom geen rol binnen de energiehubs Harderwijk.*

Met batterijopslag kan de zelfconsumptie worden verhoogd en piekbelasting verlaagd. Het verhogen van de zelfconsumptie is financieel niet interessant, maar wordt interessanter bij overschotten duurzame energie, zoals bij holon 1. Desalniettemin is de terugverdientijd in 2030 nog steeds erg lang (17 jaar) en daarom financieel niet doelmatig. Het beperken van de piekbelasting is eveneens beperkt financieel interessant, al is ook hier de terugverdientijd sterk afhankelijk van de holon/situatie en iets gunstiger met 11 jaar in holon 3. *Gegeven de te lange terugverdientijd wordt het verhogen van zelfconsumptie en/of verlagen van piekbelasting met batterijopslag op de korte termijn niet doelmatig geacht en daarom heeft batterijopslag voor sturen op zelfconsumptie of verlagen van piekbelasting binnen de energiehubs van Harderwijk geen rol. Door de hogere energieprijzen en volatiliteit is dit beeld wel veranderd en de ligt de terugverdientijd lager.*

Aandachtspunten

- Wanneer wordt gestuurd op het verlagen van de piekbelasting zijn er grote verschillen in de terugverdientijd. Zo is de terugverdientijd bij holon 3 relatief kort (11 jaar). De reden is dat er in holon 3 sprake is van enkele grote pieken die kortstondig en niet vaak voorkomen. Hierdoor kan met een kleine batterij al een grote besparing worden gerealiseerd.
- Een vraag bij holon 3 is wel waar de batterij precies geplaatst zou moeten worden, aangezien de netbeheer enkel op individueel niveau (achter een aansluiting) kosten rekent voor afgenomen vermogen, en niet op gebiedsniveau. Het is eigenlijk de vraag of en zo ja bij welke bedrijven dergelijke pieken voorkomen. Voor die bedrijven zou het interessant kunnen zijn om hun piekvraag te beperken met een batterij.
- Voor het reduceren van de piekbelasting hoeft de batterij vaak maar beperkt ingezet te worden. Combinaties met andere verdienmodellen, zoals levering van flexdiensten of verhogen van zelfconsumptie, zijn daardoor mogelijk.
- De terugverdientijd van batterij opslag is in deze studie afgezet tegen verdienmodellen die verband houden met de doelstellingen van de energiehubs. Andere verdienmodellen, zoals levering van flexibel vermogen aan TenneT, hebben een positief verdienmodel, maar dragen niet bij aan de energiehubs doelstellingen en zijn daarom niet in detail bekeken.

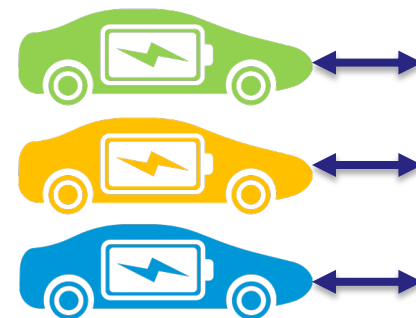
3.6 Slim bidirectioneel laden – rol in een energiehubs

Algemeen

Met slim bidirectioneel laden wordt het gebruik van elektrische voertuigen (EVs) als energie-opslag bedoeld. Met bidirectioneel laden wordt bedoeld dat de EVs ook stroom kunnen leveren. Dit staat ook wel bekend als Vehicle-to-Grid (V2G). De accu's van de EVs worden geladen en ontladen op externe prikkels. Vergelijkbaar met stationaire batterijopslag kan slim directioneel laden ingezet worden om de drie hub-rollen (zelfconsumptie, energiekosten, piekbelasting) te vervullen. Daarnaast kan de slim bidirectioneel laden nog een rol spelen buiten de energiehubs in het balanceren van het net.

Het slim bidirectioneel laden kan voor een combinatie van deze doelen worden ingezet. Uitgangspunt moet wel zijn dat het slim bidirectioneel laden secundair is aan het gebruik van de EVs als vervoermiddel. Een belangrijke kanttekening is dat bidirectioneel laden vooralsnog niet/zeer beperkt mogelijk is en enkel in pilot opstellingen wordt getest. De kosten van een V2G laadpaal liggen een factor 2-5 hoger dan die van een reguliere (slimme) laadpaal. De verwachting is dat deze kosten in de komende jaren wel zullen dalen. Slim laden behoort al wel tot de mogelijkheden en wordt ook door de netbeheerders met [open armen ontvangen](#). Omdat in deze studie wordt gekeken naar de situatie in 2030 is ervoor gekozen de analyse toe te spitsen op de combinatie van slim en bidirectioneel laden.

In deze paragraaf wordt eerst besproken hoe de rollen in Harderwijk kunnen worden toegepast. Daarna wordt uitgelegd welke methode is toegepast om te zien hoe slim bidirectioneel laden kan bijdragen binnen de case studie SEH Harderwijk. Vervolgens worden de resultaten van deze analyse besproken, waarna er een conclusie wordt getrokken over de rol die slim bidirectioneel laden kan hebben binnen de holon 3.



3.6 Slim bidirectioneel laden – rol in energiehubs Harderwijk

Zelfconsumptie

Door veel zon- en windenergie op het terrein van de RWZI is het mogelijk een groot deel van de energievraag van EVs van eigen bodem te halen. Dit streven heeft een maatschappelijke baat aangezien de holonen in de buurt van Harderwijk minder worden belast. In holon 1 is er een mismatch tussen vraag van de RWZI zelf en het aanbod. EVs kunnen door slim laden het overschot aan geproduceerde elektriciteit opslaan. Door slim bidirectioneel te laden kunnen EVs ook bijdragen aan het verhogen van de zelfconsumptie van de RWZI.

Energiekosten netimpact

De netbeheerkosten kunnen worden verlaagd door inzet van slim bidirectioneel laden. De maximale piek in de totaalvraag van de RWZI wordt vanuit de energiemaatschappij in kosten gebracht als onderdeel van de totaalkosten. Het reduceren van de maximale piek verlaagt deze kosten. Wanneer EVs 'dom' laden kunnen ze de verbruikspiek verhogen. Wanneer EVs slim laden kunnen ze hun laadpatroon om de verbruikspiek heen plannen en naar de productiepiek verplaatsen. Met slim bidirectioneel laden kan de verbruikspiek zelfs verlaagd worden.

Optimalisatie van winst

Elektriciteit wordt op de dagmarkt verkocht per uur. Het slim inkopen van elektriciteit op goedkope uren is een bespaarmodel van slim laden. Door middel van slim bidirectioneel laden is het ook mogelijk om vervolgens goedkoop ingekochte stroom op het net te verkopen op het moment dat de prijs hoog is. Hier is het natuurlijk wel belangrijk om de vervoersfunctie van het EV niet in de weg te zitten.

Toepassing op holon 3

De EV-analyse is gedaan voor holon 3, omdat een groot deel van de verwachte EV's op het Lorentz bedrijventerrein geparkeerd zullen staan. Binnen holon 3 is de vraag bijna altijd groter dan het aanbod. Hierdoor zijn de EV's niet nodig om overschotten aan energie te verplaatsen, omdat bijna alles al lokaal wordt gebruikt. Slim bidirectioneel laden zal dus vooral economisch gedreven zijn.

3.6 Slim bidirectioneel laden – uitgangspunten

Toelichting

Op het Lorentz bedrijventerrein is een groot aantal voertuigen aanwezig, dat op termijn mogelijk wordt vervangen door elektrisch vervoer (EV). Dit betreft zowel personenauto's die dagelijks 's ochtends aankomen bij de kantoren als logistiek vervoer dat met name 's nachts aanwezig is. Voor deze analyse is de focus gelegd op de personenauto's.

In hoofdstuk 2 zijn uitgangspunten bepaald voor het elektriciteitsverbruik van de elektrische auto's in 2030. Voor meer informatie over deze uitgangspunten wordt verwezen naar pagina 22. Een samenvatting met de voornaamste uitgangspunten is in de tabel weergegeven.

Uitgangspunten voor laadstrategieën

- Aangesloten elektrische voertuigen kunnen met volledig vermogen van de laadpaal worden geladen en ontladen;
- Maximaal 25% van de batterijcapaciteit kan per dag worden ontladen, om overmatig slijtage van de accu's te voorkomen;
- De minimale en maximale lading van de accu's bedraagt respectievelijk 20% en 80% van de batterijcapaciteit;
- Gemiddeld is er op een dag 1 EV per laadpaal aanwezig;
- EVs zijn aangesloten aan de laadpaal tussen 9:00 en 17:00;
- EVs die komen om te laden zijn 20% minder vol dan de gemiddelde EV binnen de vloot.

Beschrijving	Eenheid	Personen- vervoer
Aantallen voertuigen	[#]	4.000 – 5.500
Aantal EV's in 2030*	[#]	1.000 - 2.150
Accucapaciteit	[kWh]	80
Aantal km per jaar	[km/j]	11.000
Elektriciteit gebruik	[MWh per jaar]	2.600 – 5.500
Aantal laadpalen	[#]	250 - 540
Laadpaalvermogen	[kW]	2x11
Aankomst/vertrektijd	[-]	09:00 – 17:00
* Aantal EV's voor een midden en hoog scenario		

3.6 Slim bidirectioneel laden - methode en modelbeschrijving

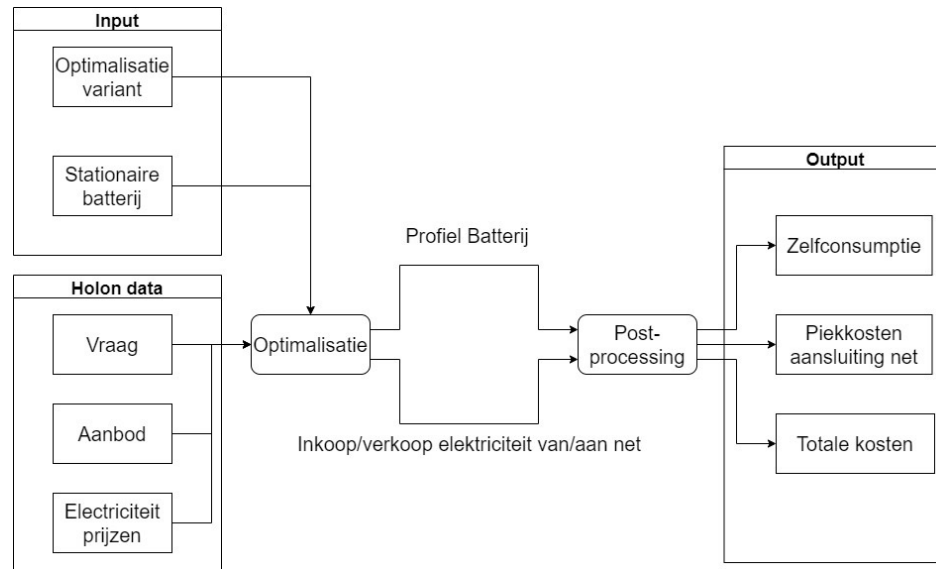
Methode

Voor het simuleren van een EV-vloot is een optimalisatie model ontwikkeld. Met dit optimalisatie model kan voor verschillende holonen, zichtjaren en aantallen EV's de inzet van een EV-vloot gesimuleerd worden op basis van de elektriciteitsvraag en aanbod van de desbetreffende holon en zichtjaar. Bijvoorbeeld zichtjaar 2030 en holon 1. De inzet van de EV-vloot wordt bepaald door het type optimalisatiedoel. Het optimalisatiedoel is gelieerd aan de drie doelstellingen die zijn gedefinieerd voor de energiehub.

Uitleg model

De werking van het model is in mer detail

Globaal werkt het model als volgt: aan de hand van het vraag en aanbodprofiel voor een holon, en de input van de gebruiker wordt gekeken hoe de EV-vloot voor een heel jaar zo optimaal mogelijk kan worden ingezet om een bepaalde doelstelling te bereiken. Daarbij wordt per uur bepaald of de geparkeerde EV's worden geladen of ontladen en of elektriciteit moet worden ingekocht of verkocht. Zie de uitleg van het stationaire batterij-model in hoofdstuk 6 voor een flowchart. Het EV-model is hierop gebaseerd, met een EV-vloot in plaats van de batterij.



3.6 Slim laden resultaten – economisch optimum

Toelichting

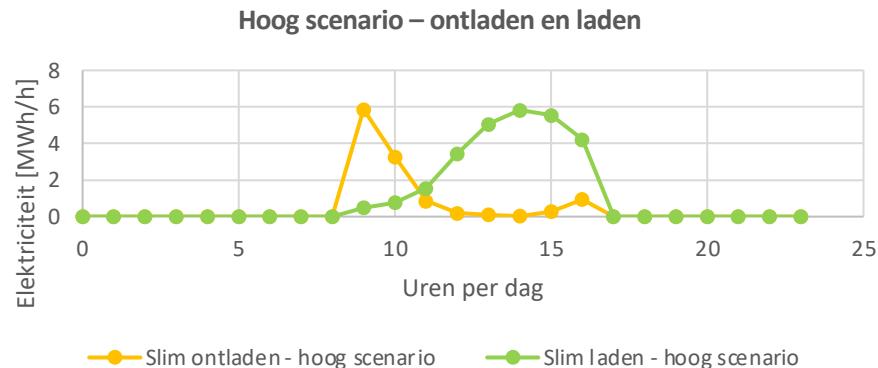
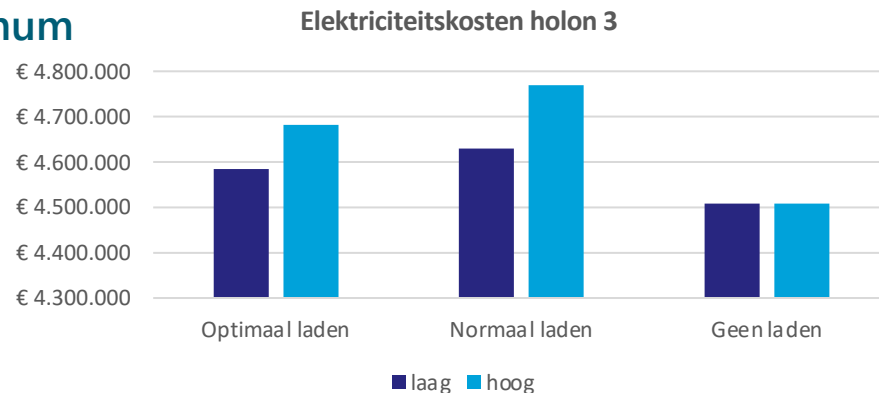
Op deze slide is weergegeven welk effect het slim bidirectioneel laden van de elektrische auto's heeft op de elektriciteitskosten. De resultaten hebben betrekking op holon 3, waarbij onderscheid is gemaakt tussen twee scenario's: het laag en hoog scenario. Het verschil is de mate van adoptie van elektrische auto's in 2030.

Economische besparing

Inzet van slim bidirectioneel laden zorgt voor een beperking van de elektriciteitskosten. De resultaten uit het optimalisatiemodel zijn weergegeven in de bovenste grafiek voor het laag en hoog EV-scenario in 2030.

1. In een hoog EV-scenario scheelt slim bidirectioneel laden ongeveer € 90.000,- per jaar t.o.v normaal laden.
2. In een laag EV-scenario scheelt slim bidirectioneel laden ongeveer € 45.000,- per jaar t.o.v normaal laden.

Het verschil tussen normaal en optimaal laden komt uit slimme inkoop van energie en ook uit verkoop van energie uit de EV's hoge prijzen. Dit is goed te zien in de onderste grafiek, waarin het gemiddelde laad- en ontladgedrag van de EV's per dag te zien is. Er is geen verschil in netbeheerkosten, omdat de piekbelasting niet beïnvloed kan worden door de EV's. Daarover meer in de volgende slide.



3.6 Slim bi-directioneel laden – verlagen piekbelasting

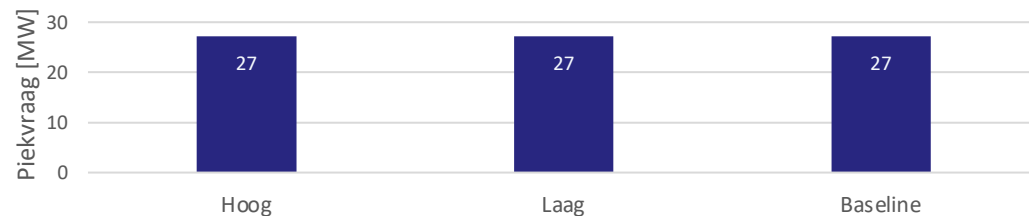
Toelichting

De piek in de energievraag van de holon op het net, de piekbelasting, is in de rechter grafiek weergegeven voor drie scenario's. Daarbij is de optimalisatie-doelstelling ingesteld op het minimaliseren van de piekbelasting. Het is duidelijk dat het slim laden van elektrische personenauto's geen impact heeft op de piekbelasting. Dit komt doordat de piekbelasting door de lokale vraag wordt veroorzaakt om 07:00 en 18:00. De EV's staan dan niet meer geparkeerd, en kunnen deze piek niet verkleinen. Wanneer de piek plaats had gevonden tussen 09:00-17:00 hadden de EV's wel een positieve impact kunnen hebben op het verlagen van de piekbelasting.

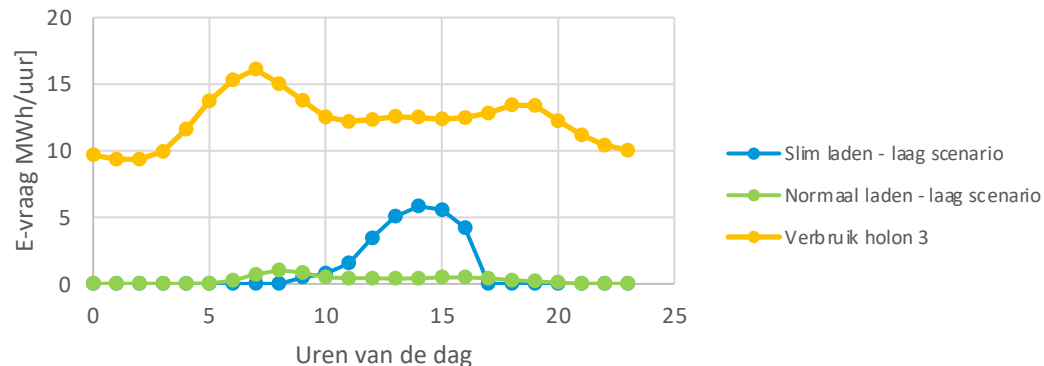
Reductie gemiddelde piekbelasting

Het is duidelijk dat het slim laden de gemiddelde piekbelasting wel kan verminderen. De rechter grafiek laat duidelijk zien hoe slim laden plaatsvindt tijdens de middag, terwijl het normale laadprofiel over de dag verspreid is en dus ook de piekvraag versterkt. Het slim laden profiel wat hier te zien is optimaliseert op aansluitkosten, en kiest dus het dalmoment om te laden.

Piekvraag in holon 3



Elektriciteitsverbruik holon 3 en laadpalen



3.6 Slim laden – impact op levensduur accu’s in EV’s

Toelichting levensduur

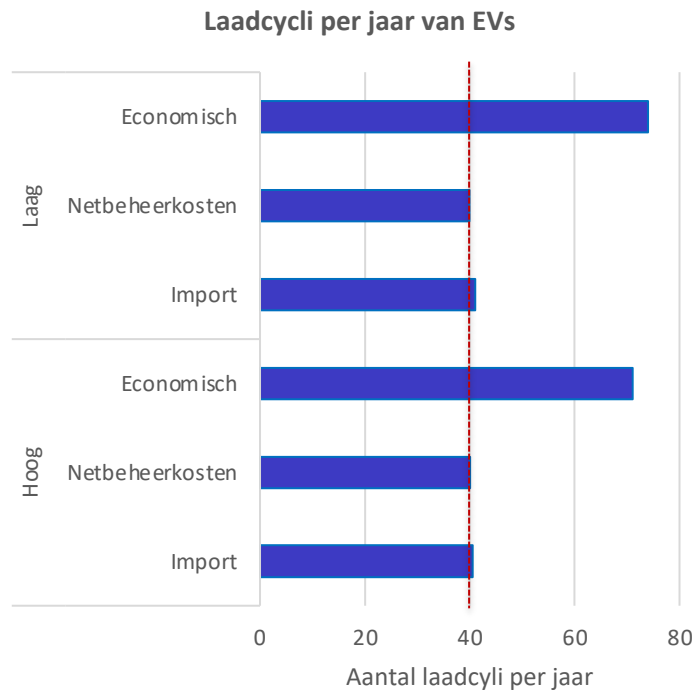
De levensduur van een EV-accu is te vergelijken met dat van een stationaire batterij, zoals beschreven in hoofdstuk 6. Het verschil is dat een EV-accu vaak minder cycli meegaat, zo’n 1500-2000 cycli (in plaats van 6.000). Dit komt doordat voor een EV-accu de keuze wordt gemaakt voor een lichtere vorm van Li-Ion batterijen, die minder lang meegaan, maar vanwege hun gewicht efficiënter zijn.

Impact slim bi-directioneel laden op levensduur

In de grafiek staat het aantal cycli van de EV’s voor alle doorgerekende scenario’s en optimalisatiedoelen. Bij een normaal laadpatroon betreft het aantal laadcycli **40 per jaar**. Het is duidelijk dat alleen de economische optimalisatie in fors meer cycli resulteert (tot 70 cycli). Dit komt doordat hier ook wordt ontladen op prijsprikkels. Het ontladen om de zelfconsumptie te vergroten (aangeduid als import in de grafiek) is in holon 3 nauwelijks aan de orde, omdat er bijna geen overproductie is. Hierdoor neemt het aantal laadcycli ook nauwelijks toe. Hetzelfde geldt voor het beperken van de piekbelasting, omdat de grootste pieken buiten de parkeertijden optreedt en de optimalisatie niet stuurt op het verlagen van alle pieken.

Afweging tussen economisch optimum en levensduur

De inzet op economische prikkels verdubbelt het gebruik van de accu’s bijna. In de praktijk zal zulk frequent gebruik waarschijnlijk niet wenselijk zijn, omdat dit extra afschrijvingskosten met zich meebrengt. Hier moet een afweging gemaakt worden tussen afschrijvingskosten en opbrengst uit het b-idirectioneel laden.



3.6 Slim laden – rol in energiehubs Harderwijk

Rol slim laden

Uit deze analyse blijkt dat slim bi-directioneel laden vooral economische impact heeft binnen holon 3. Dit komt omdat hier veruit de meeste auto's geparkeerd zijn.

'No regret'-maatregel

Uitgangspunt van het slim bi-directioneel laden is dat er slim gebruik wordt gemaakt van de EV's die toch al geparkeerd staan binnen holon 3. Om dit in praktijk te brengen zal er aansturing geïnstalleerd moeten worden, maar de accucapaciteit van de EV's hoeft niet aangekocht te worden. Daarom is dit een relatief goedkope maatregel die relatief veel impact kan hebben. Binnen holon 3 levert slim laden geen vermindering van de piekbelasting op en ook geen verbetering van het eigen verbruik. Dit komt door het karakter van vraag en aanbod binnen holon 3. Slim laden heeft wel significante impact op de elektriciteitskosten en kan hier een forse besparing realiseren.

⇒ **HOOFDSTUK 4**
CONCEPT ONTWERP
ENERGIEHUB
HARDERWIJK

”



4.1 Energiehub Harderwijk - samenhang tussen bouwstenen

Inleiding

Hoofdstuk 3 bevat een analyse van de individuele bouwstenen. In dit hoofdstuk wordt de samenhang tussen de bouwstenen beschreven en een concreet concept ontwerp opgesteld voor de energiehub Harderwijk.

Elektrische voertuigen (EV)

Van alle bouwstenen kunnen elektrische voertuigen een bijdrage leveren aan het verminderen van de energiekosten zonder de noodzaak van grote investeringen. Het slim laden van EV's is dan ook de eerste maatregel die aan het conceptstelsel is toegevoegd.

Elektrolyser

De elektrolyser heeft een goede match met de lokale context, vanwege de beschikbaarheid van duurzame energie uit de drie windturbines, de gasvraag van bedrijfsprocessen in holon 3 die deels vervangen kan worden voor waterstof, de zuurstofvraag in holon 1 en de warmtevraag in holon 1, 2 (warmte voor (slib)vergisting) en 3 (warmte voor ruimteverwarming). De afnemers van waterstof moeten nog wel worden gevonden. De elektrolyser is opgenomen in het schetsontwerp met de kanttekening dat de duurzame energie uit windturbines inderdaad beschikbaar is en er voldoende afnemers van waterstof zijn.

Biogas

De verwaarding van de productie van biogas binnen holon 1 is een logische stap om te integreren. Met het uitfasen van de WKK is er nog geen goede afzet van de biogasproductie uit slibvergisting. Het is interessant om dit te koppelen aan vraag uit holon 3.

Stationaire opslag

Stationaire opslag is niet meegenomen in het conceptontwerp. De reden hiervoor is dat de doelen die het kan vervullen niet passen bij de uitdagingen van de holonen. De stationaire opslag kan niet terugverdiend worden op de verdienassen die we hebben geanalyseerd. Stationaire opslag kan wel de piek op het net verkleinen en het eigen verbruik verhogen. Er is echter geen sprake van netcongestie in het gebied, dus er is een beperkte economische en maatschappelijke waarde van het verlagen van de piek op het net. De ingekochte stroom binnen holon 1 is al groene stroom via de inkoop van GvOs, en binnen holon 3 is er al zo'n hoge mate van eigen verbruik dat stationaire opslag hier weinig toevoegt. Daarom hebben we stationaire opslag niet meegenomen in het conceptontwerp.

4.1 Energiehub Harderwijk - samenhang tussen bouwstenen

Effluentwarmte

Effluentwarmte is niet expliciet opgenomen in het concept ontwerp. De reden hiervoor is dat er in meer detail moet worden gekeken naar de financiële haalbaarheid van een warmtenet dat de (resterende potentie aan) effluent ontsluit. Bovendien wordt de effluentwarmte al gedeeltelijk gebruikt in het open warmtenet voor Waterfront en zijn er plannen om de overige potentie elders te gebruiken. Mocht blijken dat het toch opportuun is om effluentwarmte te benutten binnen de energiehub, dan staat het gebruik ervan redelijk los van de andere bouwstenen. Wel heeft het toevoegen van een centrale warmtepomp een impact op het elektriciteitsnet. Hier is echter ook al rekening mee gehouden door de veronderstelling dat een deel van gebouwen in 2030 wordt verwarmd met individuele warmtepompen. Het gebruik van effluentwarmte zorgt (mogelijk) voor een centralisatie van de warmtepompen. Door de centralisatie ontstaat er een eenvoudigere manier om de warmtepomp (en eventueel E-boiler) flexibel aan te sturen en bijvoorbeeld overschotten duurzame zonne-energie te benutten. Deze flexpotentie is echter beperkt doordat de bedrijven in de zomer betrekkelijk weinig warm tapwater gebruiken.

Concept ontwerp per energiedrager

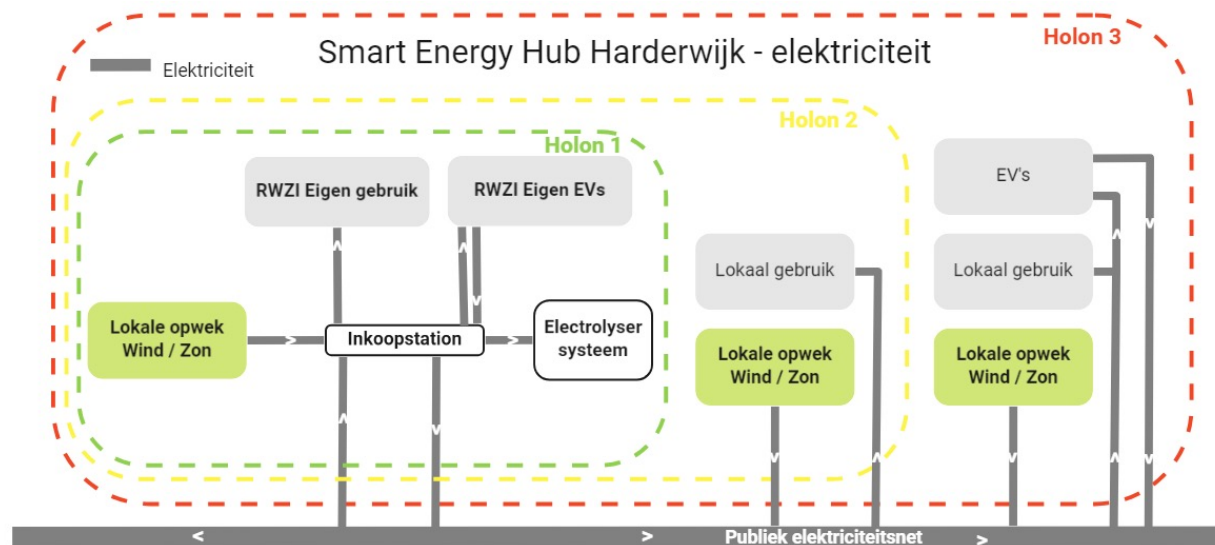
In de volgende slides is per energiedrager het concept ontwerp van de energiehub voor Harderwijk in proces flow diagrams (PDF's) opgenomen:

1. Conceptontwerp elektriciteit
2. Conceptontwerp groen gas
3. Conceptontwerp warmte
4. Conceptontwerp waterstof

4.2 Energiehub Harderwijk – conceptontwerp elektriciteit

Toelichting

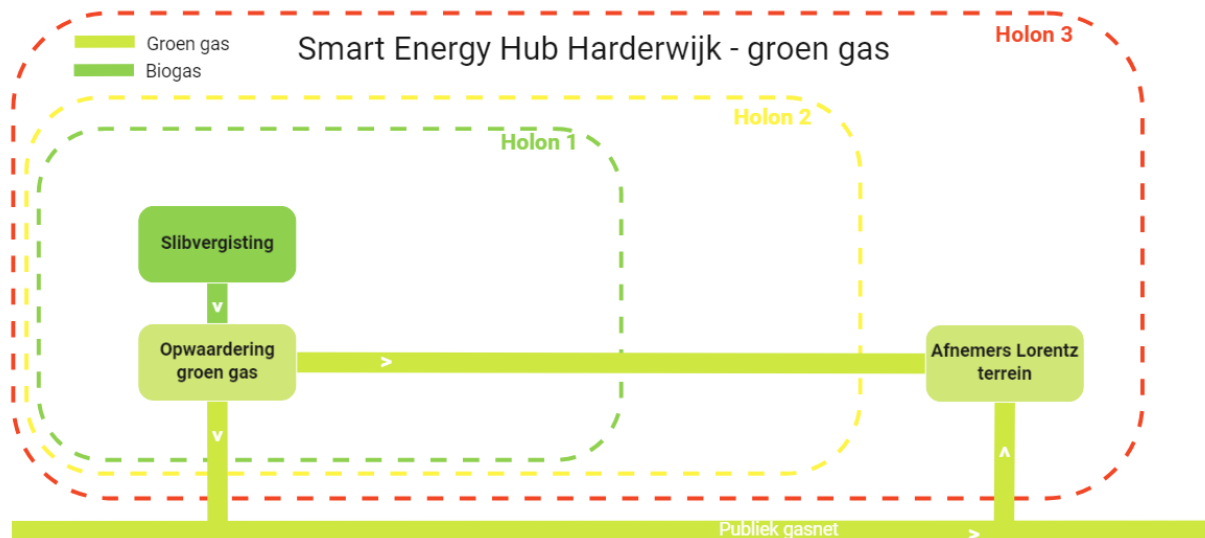
De elektrische bouwstenen van het conceptontwerp zijn hiernaast weergegeven per holon. De grijze stromen zijn elektriciteitsstromen. Dit ontwerp is conceptueel, en heeft geen overeenstemming met de fysieke bekabeling.



4.2 Energiehub Harderwijk – conceptontwerp groen gas

Toelichting

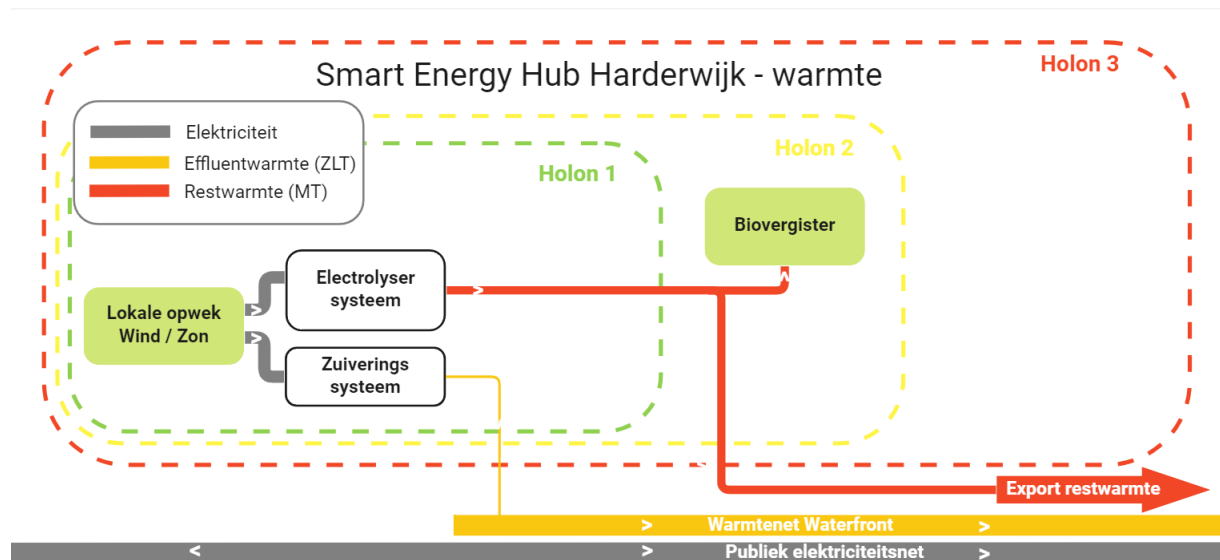
De bouwstenen die gerelateerd zijn aan groen gas zijn hiernaast weergegeven per holon. Daarbij is enkel het vergistingsproces van de RWZI binnen holon 1 in beeld gebracht. Naast de slibvergisting vindt er al wel productie van biogas plaats bij Taurus. Hier zou een verbinding kunnen worden gezocht, zeker als zou worden ingezet op de productie van groengas. De levering van groen gas aan het Lorentzterrein is een suggestie, dit moet nog afgestemd worden met de lokale partners en Taurus.



4.2 Energiehub Harderwijk – conceptontwerp warmte

Toelichting

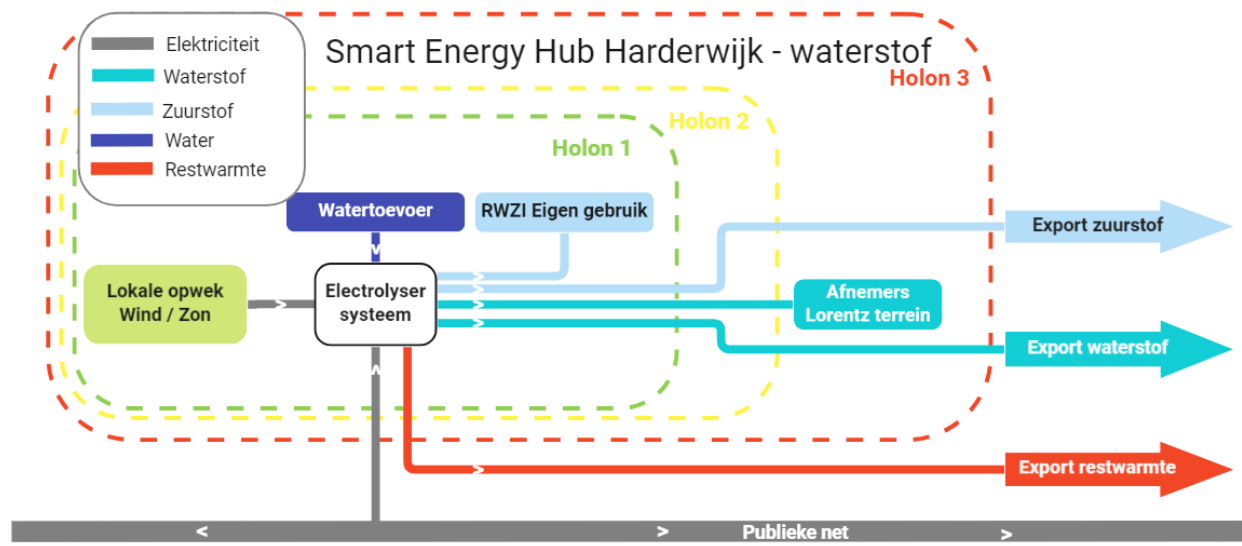
De bouwstenen van het conceptontwerp gerelateerd aan warmte zijn hiernaast weergegeven per holon. Omdat in het conceptontwerp gekozen is voor een elektrolyser is er hoogwaardige restwarmte beschikbaar. Uit inventarisatie bij Taurus is gebleken dat daar interesse is om dit af te nemen, daarom is het ontwerp op deze manier gemaakt. Dit ontwerp is conceptueel, en heeft geen overeenstemming met de fysieke bekabeling.



4.2 Energiehub Harderwijk – conceptontwerp waterstof

Toelichting

De bouwstenen van het conceptontwerp die te maken hebben met de elektrolyser zijn hiernaast weergegeven per holon. Voor de waterstof is nog geen duidelijke afnemer gevonden. De restwarmte zou aan Taurus geleverd kunnen worden, zie vorige slide. De hoofdreden dat de elektrolyser interessant is, is de zuurstofstroom voor RWZI-Eigen gebruik. Dit ontwerp is conceptueel, en heeft geen overeenstemming met de fysieke bekabeling.



⇒ **HOOFDSTUK 5**
SCHETSONTWERP
ELEKTROLYSER

”



5.1 Verdieping op waterstof – elektrolyser

Inleiding

In overleg met het projectteam is besloten een financiële verdiepingsslag te maken op de waterstofcasus Harderwijk. Om deze financiële analyse uit te voeren zijn een aantal technische en financiële uitgangspunten vastgesteld. Daarbij is de volgende werkwijze gehanteerd:

1. Op basis van deze technische uitgangspunten is een globaal systeemontwerp gemaakt en zijn de energiestromen vastgesteld.
2. Op basis van de financiële uitgangspunten en energiestromen zijn de inkomsten uit verkoop van waterstof, zuurstof en warmte vastgesteld.
3. Op basis van het systeemontwerp zijn de investeringskosten en jaarlijkse vastgesteld.
4. Op grond van bovenstaande 3 elementen zijn de jaarlijkse kasstromen bepaald en is een business case analyse uitgevoerd.

Leeswijzer

Het overige gedeelte van hoofdstuk 4 is als volgt ingedeeld.

1. Eerst wordt ingegaan op de technische uitgangspunten, schetsontwerp energiestromen.
2. Vervolgens wordt ingegaan op de investeringskosten, operationele kosten en inkomstenstromen
3. Op basis van de kasstromen wordt inzicht gegeven in het projectrendement en met een beknopte sensitiviteitanalyse wordt de impact op het projectrendement weergegeven. Vervolgens wordt ingegaan op subsidiemogelijkheden en fiscale regelingen.
4. Verder wordt ingegaan op twee alternatieven systeemconfiguratie en ten slotte wordt inzicht gegeven in de implicaties van Europese richtlijnen en benodigde vergunningen.

5.2 Elektrolyser - technische uitgangspunten

Inleiding

Op basis van onderstaande technische uitgangspunten is een schetsontwerp opgesteld. Op grond van dit schetsontwerp en onderstaande uitgangspunten zijn de investeringskosten, operationele kosten, energiestromen en daarmee gemoeide inkomstenstromen vastgesteld.

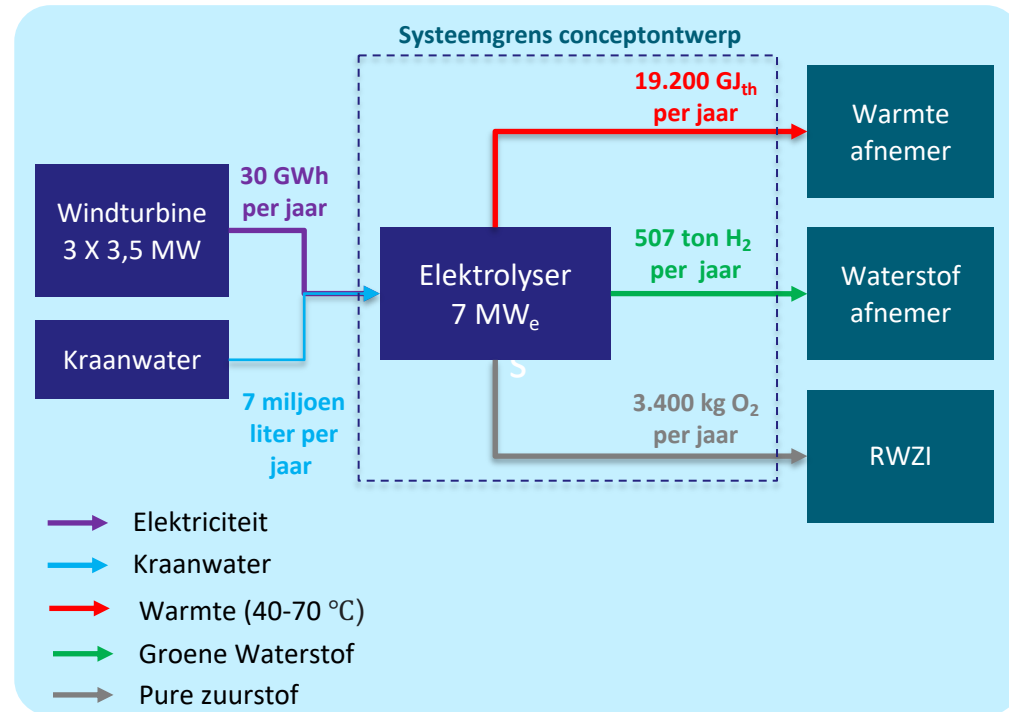
Technische uitgangspunten:

- **Beschikbare windturbines:** 3 windturbines (totaal 10,5 MW)
- **Vollasturen windturbines:** 2.600 uren
- **Type elektrolyser:** PEM (meest flexibele technologie)
- **Efficiency gehele elektrolyser plant:** 57% (Specifiek gebruik van 58 kWh/kg)
- **Capaciteit elektrolyser:** 7 MW (op basis van een vermogensverhouding tussen windturbines en elektrolyser van 2 : 3)
- **Watergebruik:** 15 L / kg H₂
- **Levensduur elektrolyser:** 60.000
- **Product waterstof:** 507 ton in jaar 1 op basis van 4.200 vollasturen uit levering van elektriciteit van de windturbines
- **Bijproduct zuurstof:** 7,9 kg O₂ per kg H₂
- **Bijproduct effectieve warmte:** 45 MJ / kg H₂ (op basis van 43% warmte (100% - 57%), waarvan 50% effectief is te gebruiken = 12,5 kWh_{th} / kg H₂)

5.2 Elektrolyser - conceptontwerp elektrolyser

Toelichting

Op basis van de technische uitgangspunten is een schetsontwerp opgesteld, waarbij de ingaande en uitgaande energie en waarde stromen rondom de elektrolyser in beeld zijn gebracht (zie afbeelding). Daarbij is de systeemgrens vastgesteld rondom de elektrolyser en additionele werktuigbouwkundige, elektro- en regeltechnische systemen die nodig zijn voor de **productie van waterstof, warmte en zuurstof met een elektrolyser**. Aanpalende voorzieningen die nodig zijn voor de uiteindelijke waterstof-, warmte- en zuurstoflevering, zijn geen onderdeel van het schetsontwerp. Dit betreft voorzieningen zoals waterstof compressiestations, warmte- of waterstofopslag tanks en een technische ruimte voor warmte-opwek faciliteiten, warmtewisselaars en pomp installaties.



5.3 Elektrolyser – financiële uitgangspunten

Algemene toelichting

Er zijn financiële uitgangspunten vastgesteld over de inkoopprijs van windenergie en de waarde van waterstof, zuurstof en warmte. Daarbij is aangenomen dat alle geproduceerde elektriciteit vanuit de 3 windmolens gelijktijdig beschikbaar is voor de elektrolyser, ofwel via het net, ofwel via een directe verbinding op de aansluiting van de RWZI. In verband met de vele afhankelijkheden zijn de kosten van deze aansluiting / verbinding niet meegenomen in deze financiële analyse.

Financiële uitgangspunten:

- **Inkoopprijs windstroom:** de prijs van elektriciteit uit windstroom (0,07 EUR/kWh) is bepaald op basis van een voorspelling voor de gemiddelde kostprijs in de komende 15 jaar.
- **Waarde van waterstof:** De waarde van waterstof (8 EUR/kg) betreft een gemiddelde. Afhankelijk van de toepassing ligt de prijs voor groene waterstof tussen de 6,00 - 10,00 EUR per kg.
- **Waarde van zuurstof:** De waarde van zuurstof (0,014 EUR/kg) is bepaald op basis van de elektriciteitsbesparing die kan worden gerealiseerd door in het zuiveringsproces pure zuurstof te gebruiken in plaats belbeluchting met een compressor. Daarbij is verondersteld dat met 5 kg pure zuurstof 1 kWh elektriciteit uitgespaard kan worden. Gegeven een elektriciteitsprijs van 0,07 EUR/kWh bedraagt de waarde van pure zuurstof uit de elektrolyser circa 0,014 EUR per kg.
- **Waarde van warmte:** De waarde van warmte (15 EUR/GJ) is vastgesteld op basis van recente warmteprojecten

5.3 Elektrolyser – CAPEX & DEVEX

Toelichting

Met behulp van de technische en financiële uitgangspunten is een investeringsoverzicht opgesteld, waarbij onderscheid is gemaakt tussen onderstaande twee categorieën:

1. de Capital Expenditure (CAPEX)
2. de Development Expenditure (DEVEX).

In de tabel hiernaast is het

investeringsoverzicht weergegeven.

In totaal is een investering nodig van circa

14,7 MEUR.

Componenten CAPEX & DEVEX	Waarde	Toelichting
Elektrolyser	EUR 9.900.000	<i>Verwachte marktprijs met schaalvoordeel.</i>
Elektrotechnische installatie	EUR 600.000	<i>Elektrische systeemcomponenten.</i>
Mechanische systeemintegratie	EUR 800.000	<i>Mechanische systeemcomponenten.</i>
Master control system	EUR 200.000	<i>Materialen voor controleruimte/systeem</i>
Site beveiliging	EUR 100.000	<i>Hekwerk, toegang, camera's, etc.</i>
Grondbewerking	EUR 100.000	<i>Aardingsnetwerk + bliksembeveiliging</i>
Totaal CAPEX	EUR 11.700.000	Totale Capital Expenditure
Engineering	EUR 800.000	<i>Opstellen basic / detail-ontwerp</i>
Installatie werkzaamheden	EUR 600.000	<i>Installatiewerkzaamheden systeem</i>
Mechanische systeemintegratie	EUR 500.000	<i>Werkzaamheden mechanische integratie</i>
Master control system arbeid	EUR 200.000	<i>Aansturingssystemen ontwikkelen</i>
Grond voorbereiding	EUR 400.000	<i>Civiele werkzaamheden</i>
Leges	EUR 230.000	<i>~2% van CAPEX</i>
Projectmanagement	EUR 230.000	<i>~2% van CAPEX</i>
Totaal DEVEX	EUR 2.960.000	Totale Development Expenditure

5.3 Elektrolyser – operationele kosten en levelised cost

Operationele kosten (inclusief stroomkosten)

Naast de investeringskosten moeten ook de operationele kosten worden beschouwd bij het opstellen van een financiële analyse. Duidelijk wordt dat de stroomprijs de bepalende factor is voor de operationele kosten. De totale lopende kosten variëren per jaar ,afhankelijk van de hoeveelheid stroom die wordt afgenomen, gemiddeld zullen de lopende kosten zo'n **2,3 M€ / jaar bedragen**.

Levelised cost of hydrogen production (LCOH₂)

Nu alle kosten in kaart zijn gebracht kunnen de kosten per kg waterstof worden herleid naar de verschillende kostenposten. In dit overzicht zijn de stroomkosten apart beschreven, omdat deze post de grootste impact heeft op de uiteindelijke kosten per kilogram. De kosten zijn doorgerekend aan de hand van de totale looptijd van deze business case, tot het einde van de levensduur van de elektrolyser: **14 jaar**.

Component OPEX	Kosten per jaar	Toelichting
Systeem OPEX	EUR 350.000	3% van CAPEX
Waterkosten (inclusief belasting)	EUR 10.000	15 L / kg H ₂ en
Onroerendezaakbelasting (OZB)	EUR 20.000	
Stroomkosten (Gemiddeld)	EUR 1.881.000	Op basis van €0,07 / kWh
Totale OPEX	EUR 2.262.000	Gemiddelde OPEX per jaar

Levelised cost of H2 production	Waarde	Eenheid
Stroomkosten	4,06	EUR / kg H ₂
OPEX	0,86	EUR / kg H ₂
CAPEX	1,80	EUR / kg H ₂
DEVEX	0,46	EUR / kg H ₂
LCOH₂	7,18	EUR / kg H ₂

5.3 Elektrolyser – inkomsten

Waardestromen

De waardestromen van de business case komen uit verkoop van waterstof, zuurstof en restwarmte uit de elektrolyser. Op basis van de waarde- energiestromen zijn de inkomsten uit verkoop van waterstof, zuurstof en warmte bepaald voor jaar 1. De waarde van de energiestromen is in de bovenste tabel samengevat.

Gemiddelde inkomsten over levensduur

In de onderste tabel zijn de gemiddelde inkomsten weergegeven over de looptijd van 14 jaar. Door degradatie van de elektrolyser neemt de productiviteit van de elektrolyser geleidelijk af. De invloed van elektrolyser degradatie is meegenomen in de analyse op basis van de technische levensduur van de PEM elektrolyser. Daarbij is de technische levensduur vastgesteld op basis van de technische uitgangspunten: Gegeven 60.000 vollasturen en 4200 vollasturen per jaar bedraagt de technische levensduur circa 14 jaar.

Uitgangspunt	Prijs/waarde	Eenheid
Inkooprij		
Elektriciteitsprijs	0,07	EUR / kWh
Waardestromen		
Waterstofprijs	8,0	EUR / kg
Zuurstofprijs	0,014	EUR / kg
Warmteprijs	15,0	EUR / GJ

Waardestroom	Waarde	Eenheid
Waterstofproductie	463	ton H ₂ / jaar (gemiddelde)
Waarde waterstof	3.700.000	EUR / jaar
Zuurstofproductie	3.400	ton O ₂ / jaar
Waarde zuurstof	51.000	EUR / jaar
Warmteproductie	19.200	GJ / jaar
Waarde warmte	288.000	EUR / jaar
Totale jaarlijkse baten	4.046.000	EUR / jaar
Totale baten per kg H₂	8,67	EUR / kg H₂ (inclusief restromen)

5.3 Elektrolyser - resultaat en sensitiviteitanalyse

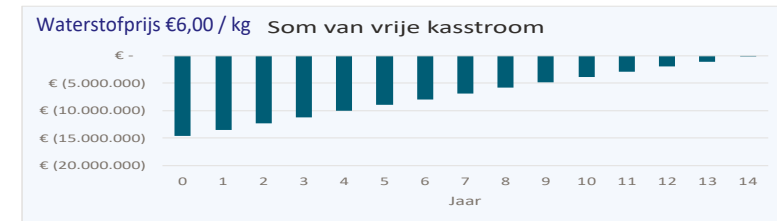
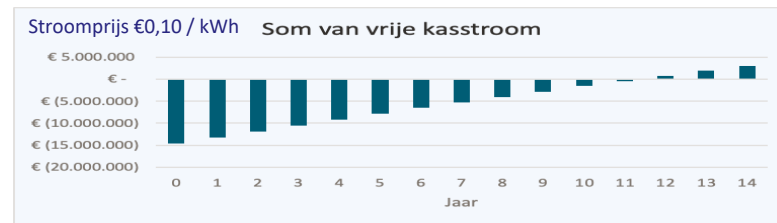
Financieel resultaat

Op basis van de financiële en technische kengetallen is een financieel model opgesteld waarbij de jaarlijkse kasstromen zijn vastgesteld. De som van de vrije kasstroom is weergegeven in de bovenste grafiek. Op basis van de kasstromen is het projectrendement vastgesteld met behulp van de interne-opbrengstvoet (Internal Rate of Return, afgekort IRR). Voor het bepalen van de IRR is aangenomen dat er bij het project **geen financieringskosten** zijn gemoeid. Daarmee is IRR voor dit project vastgesteld op **10%**.

Sensitiviteitsanalyse

De elektriciteitsprijs en waterstofprijs hebben een sterk effect op de financiële haalbaarheid. In de middelste is het effect van een hogere elektriciteitsprijs weergegeven. In de onderste grafiek is het effect van een lagere waterstofprijs weergegeven. Een hogere stroomprijs of lagere waterstofprijs leiden tot een daling van de kasstroom en zorgen daarmee voor een lager projectrendement:

- Als de **stroomprijs** toeneemt van *0,07 EUR per kWh naar 0,10 EUR per kWh*, dan **daalt** de IRR van **10% naar 3%**.
- Als de **waterstofprijs** afneemt van *8 EUR per kg naar 6 EUR per kg*, dan **daalt** de IRR van **10% naar 0%**.



5.3 Elektrolyser – subsidies en fiscale regelingen

Subsidies

Er zijn zowel investeringssubsidies als exploitatiesubsidies die mogelijk beschikbaar zijn voor waterstofproductie-projecten:

- Tijdelijk opschalingsinstrument waterstofproductie uit elektrolyser (TOW), tweeledige subsidie:
 - Investeringssubsidie van maximaal 45% op de installatie CAPEX.
 - Exploitatiesubsidie die kan oplopen tot maximaal €8,00 per kg H₂ (inclusief de investeringssubsidie!).
- Demonstratie energie- klimaatinnovatie (DEI+):
 - Investeringssubsidie van maximaal 55% op de installatie CAPEX.
 - Geldt alleen voor innovatieve demonstratie- of pilot-projecten .
- Stimulering duurzame energieproductie (SDE++):
 - Exploitatiesubsidie van maximaal €4 / kg.

Fiscale regelingen

Er kan gebruik worden gemaakt van de Energie Investerings Aftrek (EIA) regeling, waarbij 45,5% van de investeringskosten kan worden afgetrokken van de fiscale winst, waardoor er minder belasting hoeft worden betaald.

5.4 Elektrolyser – alternatieve scenario's

Algemene toelichting

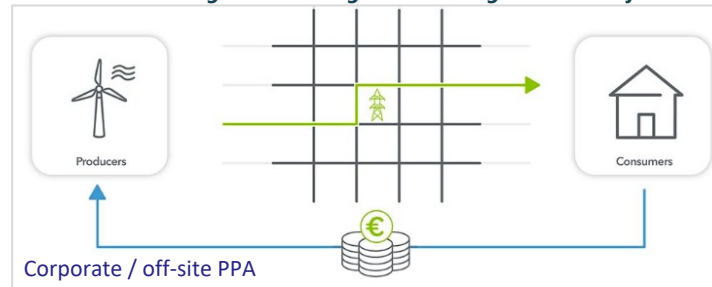
Voor de analyse van de elektrolyser zijn een aantal uitgangspunten vastgesteld op basis waarvan een schetsontwerp is opgesteld. Een belangrijk uitgangspunt dat echter allermist in beton is gegoten betreft het aantal windturbines dat stroom kan verkopen aan de elektrolyser.

Kan het waterstofsysteem ook met 1 windturbine worden gerealiseerd?

Op het moment dat er minder opwekcapaciteit wordt gerealiseerd dan zal de elektrolyser capaciteit evenredig moeten afnemen om dezelfde aantallen draaiuren te halen. Komt er dus maar 1 turbine in plaats van drie, dan zou de elektrolyser capaciteit in principe van 7 naar circa 2 MW moeten worden aangepast om dezelfde hoeveelheid vollasturen te halen als er verder geen aanvullende bronnen kunnen worden gebruikt.

Een alternatieve route is het contracteren van meer stroom via het net (indien fysiek mogelijk op de aansluiting), met een zogeheten **off-site of corporate power purchase agreement (PPA)**. Door gebruik te maken van een corporate PPA kunnen afnemers en verbruikers onderling afspraken maken over de afname van stroom. Aanvullend op 1 turbine die fysiek is aangesloten, kunnen dan dus 2 turbines die elders staan via het net worden gecontracteerd om toch met een 7 MW elektrolyser genoeg draaiuren te halen.

Schematische weergave van energiestroom en geldstroom bij een PPA



Waar liggen de risico's/afhankelijkheden bij een PPA?

PPA contracten zullen er voor zorgen dat er gebruik moet worden gemaakt van het openbare elektriciteitsnet. Hierdoor ontstaat er een afhankelijkheid richting de lokale netbeheerder. Zo zal er een nieuwe of grotere aansluiting aangevraagd moeten worden om de elektrolyser van stroom te kunnen voorzien. Hiervoor zijn wellicht netverzwaringen of een directe kabel richting het verdeelstation noodzakelijk. Of en zo ja hoe snel dit kan worden gerealiseerd hangt af van de lokale situatie. Daarnaast brengt een PPA ook extra kosten met zich mee ten opzichte van de situatie met een directe koppeling. De extra kosten hangen onder andere samen met netbeheerkosten en energiebelasting.

5.5 Elektrolyser – juridische randvoorwaarden en vergunningen

Juridische randvoorwaarden groene waterstof certificering (RED II)

In de Renewable Energy Directive (RED), opgesteld door de Europese Commissie, is opgenomen wat de eisen zijn om waterstof 'groen' te certificeren. Allereerst moet de stroombron binnen 3 jaar van de ingebruikname van de elektrolyser zijn gerealiseerd. Daarnaast moet de stroombron ook subsidieloos zijn gerealiseerd. Deze eisen gelden alleen als de elektrolyser na 2027 operationeel is. Verder zijn er twee manieren om de stroombron aan te sluiten binnen de certificering:

1. **Achter de meter** direct aangesloten stroombron.
2. **Via het net** aangesloten stroombron, met belangrijke eis dat **gelijktijdigheid productie en consumptie** op maandbasis moet worden bewezen. Er wordt ook al weer gesproken over uurbasis matching in RED III, het is dus nog niet zeker waar de Europese Commissie voor gaat kiezen als harde eis.

Benodigde vergunningen:

Voor het realiseren van een elektrolyser zijn vier type omgevingsvergunningen van toepassing:

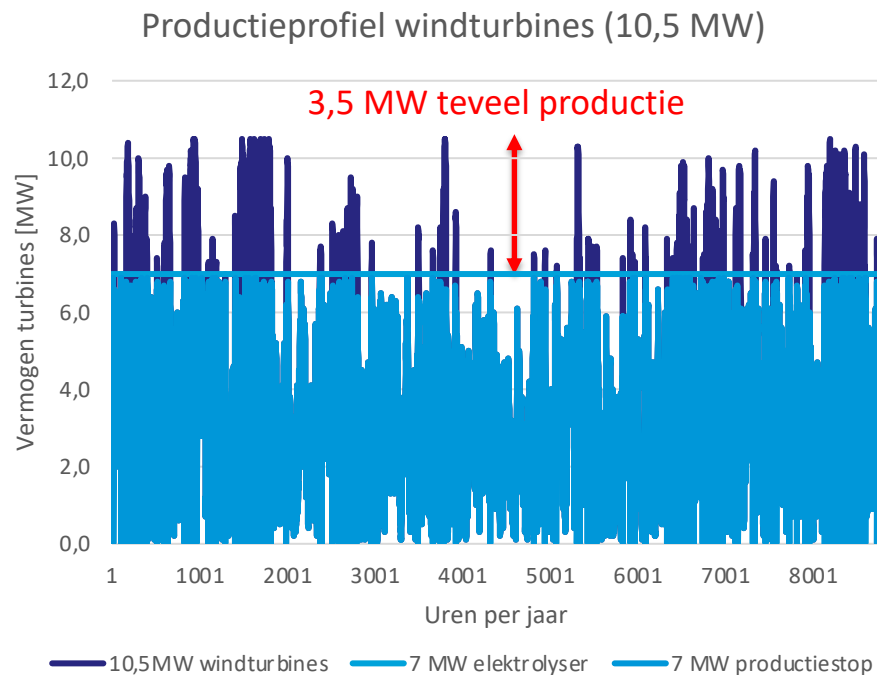
1. Omgevingsvergunning Bouwen.
2. Omgevingsvergunning Milieubelastende activiteiten (IPPC installatie).
3. Omgevingsvergunning wateractiviteit (lozingsactiviteit).
4. Omgevingsvergunning buitenplanse omgevingsplanactiviteit OF wijziging omgevingsplan (OP).

5.5 Elektrolyser – congestie overwegingen

Netcongestie en elektrolyser

Uit pagina 12 blijkt dat er op het hoogspanningsnet van Tennet tekorten zijn voor teruglevering van stroom binnen Gelderland. De belangrijkste implicatie is dat hierdoor de beoogde 3 windturbines niet zonder meer gerealiseerd kunnen worden, tenzij de stroom volledig lokaal kan worden gebruikt.

Met de komst van de 7 MW elektrolyser zou een groot deel van de 10,5 MW aan productiecapaciteit van de windturbines lokaal worden aangewend. Echter wordt hiermee nog steeds 3,5 MW aan productiecapaciteit niet aangewend. Voor dit gedeelte zou nog een bestemming moeten worden gevonden. Dan zou kunnen in de vorm van extra vraag (laadpalen / warmtepompen), slim gestuurde vraag (bijvoorbeeld laadpalen) of batterijopslag. Een ander alternatief is om de productie van windenergie af te toppen, maar hierdoor gaat wel energie verloren.



⇒ **HOOFDSTUK 6**
CONCLUSIES
EN ADVIES



6. Conclusie 1/3

Inleiding

In dit onderzoek is de potentie van het ontwikkelen van een Smart Energy Hub bij RWZI Harderwijk onderzocht. Er is gekeken naar de bouwstenen zoals die in het Visualisatiemodel gedefinieerd zijn. Een elektrolyser, benutting en koppeling van restwarmtestromen, biogasproductie, stationaire elektriciteitsopslag en slim bi-directioneel laden.

Elektrolyser

De conclusie is dat de plaatsing van een elektrolyser interessant is om verder te onderzoeken, vanwege de potentiële zuurstofvraag bij het beluchtingsproces. De realisatie van een elektrolyser is echter alleen financieel haalbaar als er lokaal of regionaal afnemers worden gevonden voor de waterstof. Verder is het voor een positieve businesscase zaak om de elektrolyser te koppelen aan de lokale productie van duurzame energie. De drie geplande windturbines zouden hiervoor een goede optie kunnen zijn. Op basis van de geplande capaciteit van de drie windturbines (3x3,5 MW) zou een elektrolyser van 7 MW kunnen worden gerealiseerd. De businesscase van de elektrolyser kan worden verbeterd door ook zonne-energie te koppelen. Het vermogen van de windturbine kan worden vergroot door meer lokale (of bovenlokale) windturbines te plaatsen. Via PPA's kan windenergie van andere turbines ook worden ingekocht. Dit werkt echter wel kostenverhogend doordat over de ingekochte windenergie ook energiebelasting en nettarieven betaald dienen te worden. Met de voorziene elektrolyser/windturbines van 7 MW kan jaarlijks circa 500 ton waterstof worden geproduceerd. De verkoop van de waterstof vormt de belangrijkste inkomstenbron van de elektrolyser. Met 500 ton waterstof zou 30% van de equivalente gasvraag voor bedrijfsprocessen op het Lorentz Bedrijventerrein kunnen worden ingevuld. De vrijkomende zuurstof uit het elektrolyseproces kan in 70% tot 100% van de pure zuurstofvraag van de RWZI voorzien voor/na uitbreiding van de RWZI capaciteit.

Windturbines, netcongestie en elektrolyser

Gezien de netcongestie voor teruglevering bij Tennet in Gelderland kunnen de 3 windturbines waarschijnlijk niet worden aangesloten, tenzij de stroom lokaal kan worden gebruikt. De inzet van de elektrolyser biedt hier een deel van de oplossing, omdat tenminste 2/3 van de elektriciteitsproductie lokaal ingezet zou kunnen worden. Andere oplossingen zijn echter ook denkbaar. Zo zou de stroom van de windturbines ook kunnen worden ingezet voor het laden van elektrische voertuigen. Hoe dan ook moet er manieren worden gevonden om de lokale duurzame energieproductie ook lokaal of regionaal te gebruiken, omdat de duurzame energie niet kan worden opgenomen door het netwerk van TenneT. De noodzaak om de energie ook lokaal te gebruiken wordt kleiner / verdwijnt zodra het hoogspanning netwerk van TenneT is uitgebreid, maar dit is naar verwachting pas in 2028.

6. Conclusie 2/3

Restwarmte uit elektrolyser en effluentwarmte

Met het uitfaseren van de WKK zou de restwarmtestroom van de elektrolyser kunnen worden aangewend voor het slibvergistingsproces van de RWZI en/of vergistingsproces van Taurus. Taurus heeft in ieder geval laten weten hier wel interesse in te hebben in restwarmte van een elektrolyser. Eventueel overgebleven restwarmte uit de elektrolyser zou, tezamen met de restpotentie van effluent, en in combinatie met een centrale warmtepomp en warmtenet, kunnen worden gekoppeld aan de vraag voor (ruimte)verwarming op het Lorentz bedrijventerrein of daarbuiten (zoals nu al gebeurt bij Waterfront).

Energieflexibiliteit

Kijkend naar de resultaten van de [systeemstudie Gelderland](#) zullen Tennet en Liander in toenemende mate behoefte hebben aan deze flexibiliteit. Met de komst van een elektrolyser of warmtepomp ontstaat er, in combinatie met voldoende waterstof- en warmteopslag, ook extra energieflexibiliteit. De flexibiliteit van de elektrolyser richting het elektriciteitsnet kan uitsluitend worden ingezet als er geen/weinig wind is, waardoor de elektrolyser op deellast draait of uitstaat. (ervan uitgaande dat de elektrolyser is gedimensioneerd en ingesteld op het draaien op lokale windenergie.) In deze gevallen (met weinig/geen wind) is er ruimte om de elektrolyser aan te zetten of op vollast te laten draaien en daarmee lokale overschotten zon, of regionale/landelijk overschotten aan duurzame-energie op te vangen.

Slim laden

Slim laden is ook onderdeel van het onderdeel energieflexibiliteit. Met slim laden van elektrische personenauto's kunnen energiekosten worden beperkt door te laden op de momenten dat de elektriciteit goedkoop is. Verder blijkt uit de analyses dat er geen potentie is om de piekbelasting op het elektriciteitsnet te beperken met slim laden van personenauto's, doordat de momenten met piekvraag niet samenvallen met de momenten waarop de personenauto's aanwezig zijn (09:00-17:00). De piekvraag hangt samen met de laadbehoefte van andere type elektrische vervoer, zoals logistiek en trucks die met name s 'nachts worden opgeladen. Het slim laden van dit type elektrische auto's is niet in detail onderzocht, omdat de laadbehoefte en laadvraag sterk afhankelijk is van de type gebruiker en wijze van inzet door de gebruiker.

6. Conclusie 3/3

Stationaire opslag

Binnen de context van de energiehubs kan stationaire opslag een bijdrage leveren aan de energiehubs doelstellingen. Echter wegen de financiële baten van batterijopslag niet op tegen de investeringskosten in de stationaire batterijopslag. Batterijopslag is financieel wel interessant als deze voor de landelijke balanshandhaving (of andere landelijk georiënteerde diensten) wordt ingezet. Deze diensten dragen echter niet bij aan de lokale energiehubs doelstellingen.

Energie opslag en (lokale) verdienmodellen

Een belangrijke uitkomst van dit onderzoek is dat lokaal georiënteerde verdienmodellen vaak te weinig verdien capaciteit hebben om een investering in de batterij te rechtvaardigen. Door recente ontwikkelingen, zoals de sterk gestegen en volatielere energieprijzen en komst van nieuwe regelingen, ontstaan er nieuwe kansen voor batterijen. Zo is de verdien capaciteit van in- en verkopen op de groothandelsmarkt (day-ahead markt) sterk gestegen, waardoor een batterij op deze markt meer zou kunnen verdienen. Toch betekent dit niet zonder meer dat een batterij ook gerealiseerd kan worden. De voornaamste reden is de onzekerheid rondom de toekomstige inkomstenstromen, waardoor de batterij beperkt bankabel is. Het financieel risico is te hoog voor de bank om de batterij te kunnen financieren. Nieuwe regelingen vanuit de netbeheerders kunnen deze zekerheid wellicht wel bieden. Een voorbeeld hiervan zijn de [capaciteitsbeperkingscontracten](#) (CBC's). Deze regeling is nu gericht op het tijdelijk uitzetten van apparaten om congestieproblemen niet te verergeren. In de toekomst zou de regeling uitgebreid kunnen worden en zich ook richten op het voorkomen/beperken van congestie. Daarmee ontstaat voor lokale diensten door de batterij meer zekerheid rondom het verdienmodel, wat een batterij voor lokale energiehubs doelstellingen dichterbij brengt.

Biogas

De WKK wordt uitgefaseerd, waardoor de RWZI niet langer meer een grote afnemers vormt van de biogas productie uit de slibvergisting bij de RWZI. Het waterschap zal moeten afwegen op welke manier het (schaarse) biogas de grootste maatschappelijke bijdrage kan leveren. De drie opties zijn: 1) levering van biogas aan derden, 2) conversie en levering van groengas aan derden, 3) conversie en levering van LNG aan derden.

6. Specifieke adviezen – energiehubs Harderwijk

Advies over elektrolyser

1. Bepaal of de windturbines ingezet zouden kunnen worden voor waterstofproductie;
 1. Zo ja, ga in gesprek met het bedrijfsleven op bedrijventerrein Lorentz om vast te stellen of daar behoefte is aan waterstof en voldoende betalingsbereidheid;
 2. Zo ja, stel vast of de zuurstof in het zuiveringsproces kan worden ingezet van de RWZI;
 3. Zo ja, stel vast of en zo ja hoeveel restwarmte Taurus zou kunnen afnemen en wat hun betalingsbereidheid is. Uit een eerste peiling blijkt dat Taurus hier interesse in zou hebben, maar de betalingsbereidheid moet nog nader worden vastgesteld in samenspraak met Taurus;
2. Stel een concept ontwerp op met dimensionering van de elektrolyser, op basis van de vastgestelde behoefte naar waterstof, zuurstof en restwarmte;
3. Stel in samenwerking met Tennet en/of Liander vast of de elektrolyser ook nog een rol kan spelen in netbalancering en/of congestiemanagement;
4. Borg dat er voldoende fysieke ruimte, voldoende ruimte op de elektriciteitsaansluiting, vergunningen zijn geregeld en overeenstemming met Europese richtlijnen (RED).
5. Stel een businesscase op van de elektrolyser en maak een investeringsbeslissing;

Advies over biogas

1. Inventariseer voor welk doeleinde de biogas ingezet dient te worden, te weten:
 1. Levering van biogas aan derden;
 2. conversie en levering van groengas aan derden;
 3. conversie en levering van LNG aan derden.

Advies over effluentwarmte

1. Inventariseer of er plannen zijn om de restpotentie effluentwarmte binnen de gemeente in te zetten.
2. Zo nee, inventariseer of er lokaal behoefte is aan effluentwarmte. Mogelijk dient er een centrale opwekinstallatie te worden gerealiseerd om de effluentwarmte tot een bruikbaar temperatuurniveau op te waarden.

6. Specifieke adviezen – energiehubs Harderwijk

Advies over slim laden

1. Inventariseer of de bestaande laadpalen zijn gekoppeld aan een dynamisch energiecontract en of de laadpaal “slim” aanstuurbaar is
2. Zo ja: contracteer een smart charging provider om te zorgen dat de laadpalen worden aangestuurd op de drie energiehubs doelen
3. Zo nee:
 1. Inventariseer of de bestaande laadpalen nog slim aanstuurbaar gemaakt kunnen worden.
 2. Als het doel is om een besparing op energiekosten te realiseren, sluit dan een dynamisch energiecontract af.
 3. Als het doel is om de piekbelasting van (terug)levering te beperken of zelfconsumptie te verhogen, zoek dan een smart charging provider die deze service kan aanbieden. Mogelijk vereist dit maatwerk. Het sturen op zelfconsumptie werkt kostenverlagend, omdat inkoop van stroom kan worden voorkomen. Het sturen op een lagere piekbelasting zorgt voor een verlaging van de netbeheerkosten.

Advies over bi-directioneel laden

In theorie zouden bi-directionele laders aantrekkelijke voordelen kunnen bieden. Op de korte tot middellange termijn is er echter nog beperkt zicht op beschikbaarheid van bi-directioneel ready auto's. Vrijwel geen enkele fabrikant van elektrische auto's biedt op een commerciële schaal bi-directioneel ready elektrische auto's aan. Daarnaast zijn er ook extra kosten voor bi-directionele ready laadpalen. De reden hiervoor is dat bi-directionele laadpalen uitsluitend gebruik maken van de snellaad stekker die werkt op gelijkstroom. Hierdoor moet de laadpaal beschikken over een AC/DC converter, wat kostenverhogend werkt. De inzet op bi-directionele laadpalen vraagt daarom om scherp zicht op een voldoende interessant verdienmodel om de extra investeringen in de (duurdere) bi-directionele laadpalen terug te verdienen. De markt is hier, op enkele pilots na, nog niet voor geschikt, dus ligt het niet voor de hand om nu al in te willen zetten op bi-directionele laadpalen.

6. Specifieke adviezen – energiehubs Harderwijk

Advies over stationaire batterijopslag

1. Inventariseer of de niet-financiële baten van stationaire opslag (verhogen zelfconsumptie, verlagen terugleverpiek) opwegen tegen de kosten, waarbij geldt dat de financiële baten niet opwegen tegen de investeringskosten in de stationaire batterijopslag.
 1. Zo ja, contracteer een aanbieder van batterijopslagsystemen en energiemanagement software.
2. Zo nee, inventariseer of het inzetten van de batterij op andere verdienassen (bijvoorbeeld netbalancing) past binnen de technische en beleidsmatige scope van de RWZI/Waterschap.
 1. Zo ja, contracteer een aanbieder van batterijopslagsystemen, energiemanagement software en partij die de flexibiliteit van de batterij verhandelt.

6. Algemene adviezen – energiehubs bij RWZI's

Advies over Elektriciteitsflexibiliteit

1. Bepaal het doel van elektriciteitsflexibiliteit (bijvoorbeeld lagere energiekosten, verlaging piekbelasting, verhoging eigen gebruik opwek)
2. Bepaal of slim laden van EV's hieraan bij kan dragen door een onderzoek te doen naar de lokale energiestromen en het laadpotentieel
 1. Zo ja, inventariseer of de laadpalen slim aanstuurbaar zijn;
 2. Zo nee, kijk dan verder bij stationaire opslag;
3. Als de laadpalen slim aanstuurbaar zijn: contracteer een smart charging provider om te zorgen dat de laadpalen worden aangestuurd op de gekozen doelen;
 1. Wanneer het doel is verlaging van de inkoopkosten is het noodzakelijk dat de laadpalen afgerekend worden via een dynamisch energiecontract op uurbasis;
 2. Wanneer dit niet aanwezig is, inventariseer of het mogelijk is dit af te sluiten voor de laadpalen;
4. Als de laadpalen niet slim aanstuurbaar zijn: inventariseer of de bestaande laadpalen nog slim aanstuurbaar gemaakt kunnen worden.
 1. Zo ja, zie 3. Zo nee, ga naar stationaire opslag

Advies over Stationaire opslag

1. Inventariseer of de niet-financiële baten van stationaire opslag (verhogen zelfconsumptie, verlagen terugleverpiek) opwegen tegen de kosten.
 1. Zo ja, contracteer een aanbieder van batterijopslagsystemen en energiemanagement software.
2. Zo nee, inventariseer of het inzetten van de batterij op andere verdienassen (bijvoorbeeld netbalancing) past binnen de technische en beleidsmatige scope van de RWZI/Waterschap.
 1. Zo ja, contracteer een aanbieder van batterijopslagsystemen, energiemanagement software en partij die de flexibiliteit van de batterij verhandelt.

6. Algemene adviezen – energiehubs bij RWZI's

Advies over warmte/groen gas/waterstof

1. Bepaal de orde grootte van de potentiële energiestromen van de installatie
2. Bepaal of de energiestromen binnen de RWZI zelf benut kunnen worden en wat de orde grootte van de reststromen is
 1. Zijn er geen reststromen, maak dan een detailontwerp met business case en investeringsbeslissing op basis daarvan
3. Zijn er wel reststromen, inventariseer of er voldoende vraag en betalingsbereidheid in de lokale omgeving naar deze energiestromen is
 1. Zo ja, ga in gesprek met de lokale partners
 2. Maak een detailontwerp met business case
 3. Maak een investeringsbeslissing met een afnamecontract met de lokale partners
4. Zo nee, inventariseer of er voldoende vraag, betalingsbereidheid en afzetmogelijkheden zijn in de bredere markt
 1. Zo ja, maak dan een detailontwerp met business case en investeringsbeslissing op basis daarvan
 2. Zo nee, maak een investeringsbeslissing waarbij de reststromen niet meegenomen worden

➤ BIJLAGEN



Bijlage I – Toelichting modelvariabele stationaire opslag / slim laden

Model variabelen		Formule	Eenheid
Piekbelasting	Maximale elektriciteit vraag per jaar	$Max(\text{import})$	MW
Netto kosten*	Inkomsten export – OPEX	$Inkomsten\ export - OPEX$	EUR/jaar
Inkomsten export	= export per uur x prijs per uur	$= \sum_{i=1}^{8760} P_{export}^i \times p_{e-prijs}^i$	EUR/jaar
OPEX	= Kosten import + netkosten 1 + netkosten 2	$= \text{Kosten}\ \text{eimport} + \text{netkosten}\ 1 + \text{netkosten}\ 2$	EUR/jaar
Kosten import	= import per uur x (prijs per uur + belasting)	$= \sum_{i=1}^{8760} P_{import}^i \times (p_{e-prijs}^i + p_{energiebelasting\ en\ ODE})$	EUR/jaar
Netkosten 1	= Piekvraag per maand x (prijs per MW + prijs contract per MW)	$= \sum_{j=1}^{12} P_{import,max}^j \times (p_{max} + p_{contract})$	EUR/jaar
Netkosten 2	= import per uur x transport kosten per uur	$= \sum_{i=1}^{8760} P_{import}^i \times p_{transport}$	EUR/jaar
Zelfconsumptie	$= \frac{\text{Totaal lokaal geproduceerd} - \text{Totaal Export}}{\text{Total E-vraag}}$		%
Netto inkomsten batterij	= totaal aan inkomst gegeneerd door toevoeging van batterij aan holon	= netto kosten zonder batterij – netto kosten voor huidig scenario	€/jaar
Terugverdientijd batterij (TVT)	= Batterij kosten / netto inkomsten batterij	$= \frac{Capex_{batterij}}{\text{Netto inkomsten batterij}}$	jaren
Batterij kosten	= CAPEX batterij + O&M batterij	$= E_{batterij} \times C_{kWh} + P_{batterij} \times C_{kW}$	EUR
Batterij cycli	$\frac{\text{Totaal opgeslagen energie over een jaar}}{\text{Vermogen van batterij}}$	$\sum_{i=1}^{8760} (P_{charge}^i) / E_{batterij}$	#

Bijlage 2 - Uitgangspunten prijsinformatie stationaire opslag / slim laden

Voor het bepalen van de elektriciteitskosten (en inkomsten), netbeheerkosten en kosten voor batterijopslag is uitgegaan van de prijsinformatie zoals opgenomen in onderstaande tabel. Voor de batterij is een 1C batterij verondersteld. Dat betekent dat een batterij met een capaciteit van 1 kWh kan laden en ontladen met maximaal 1 kW.

Type	Toelichting	Waarde	Eenheid	Jaar
$p_{contract}$	<i>Prijs per kW per maand gecontracteerd vermogen</i>	1,21	EUR/kW	MS tarief Liander 2022
p_{max}	<i>Prijs per kW per maand voor maximaal afgenomen vermogen</i>	1,73	EUR/kW	MS tarief Liander 2022
$p_{transport}$	<i>Prijs per kWh per jaar voor getransporteerd vermogen</i>	0,0107	EUR/kWh	MS tarief Liander 2022
$p_{net-prijs}^i$	<i>Elektriciteitsprijs per uur</i>	n.v.t.	EUR/kWh	Schatting van day-ahead prijzen voor 2024 en 2030
$p_{energiebelasting\ en\ ODE}$	<i>Gemiddelde prijs per kWh per jaar voor energiebelasting en ODE</i>	n.v.t.	EUR/kWh	Prijspeil 2022
C_{kWh}	<i>Investeringskosten batterij per kWh</i>	300	EUR/kWh	Prijspeil 2022
C_{kW}	<i>Investeringskosten batterij per kW</i>	100	EUR/kW	Prijspeil 2022

STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

STOWA

Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Bezoekadres

Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

033 460 32 00
stowa@stowa.nl
www.stowa.nl



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD Amersfoort

