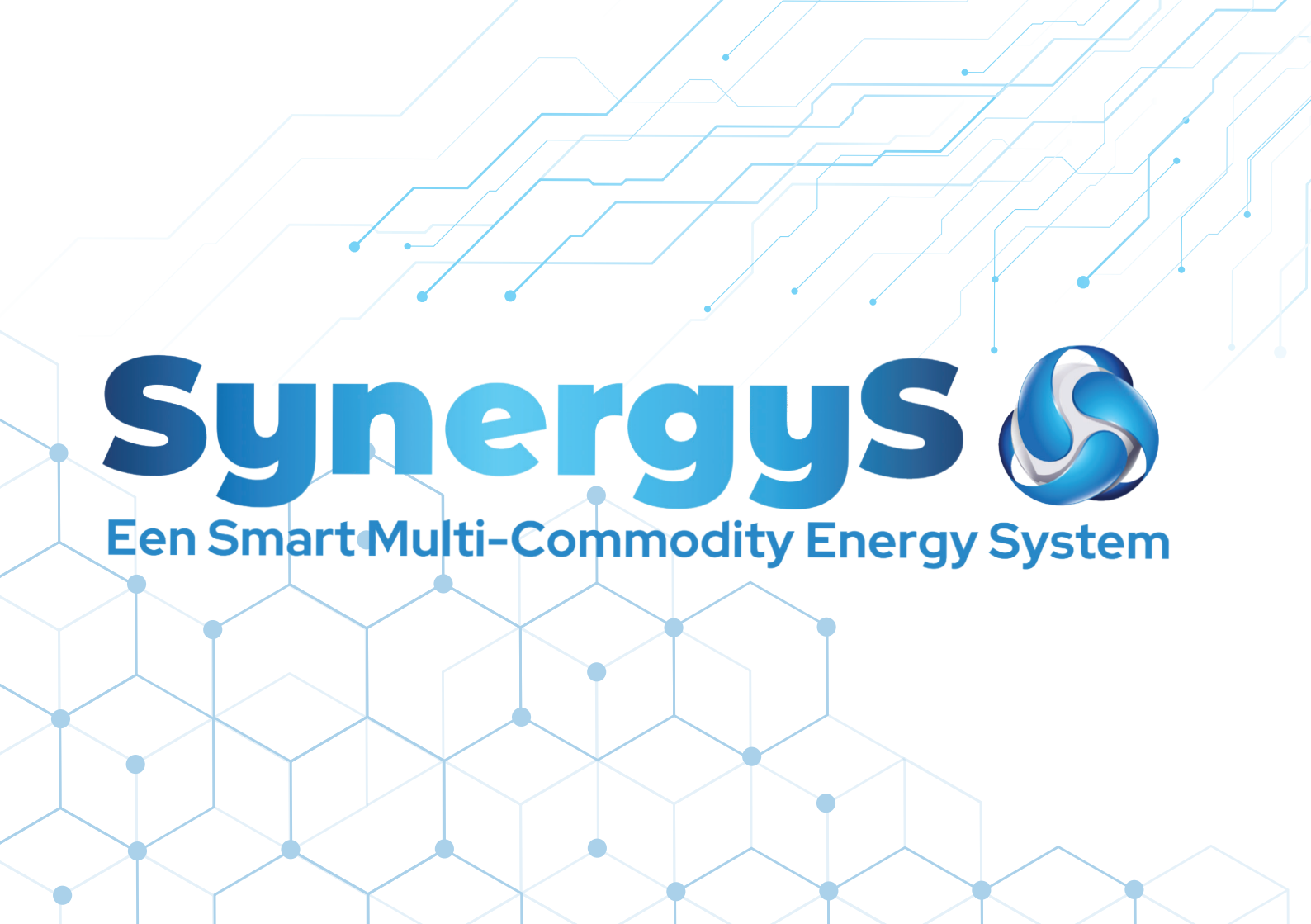
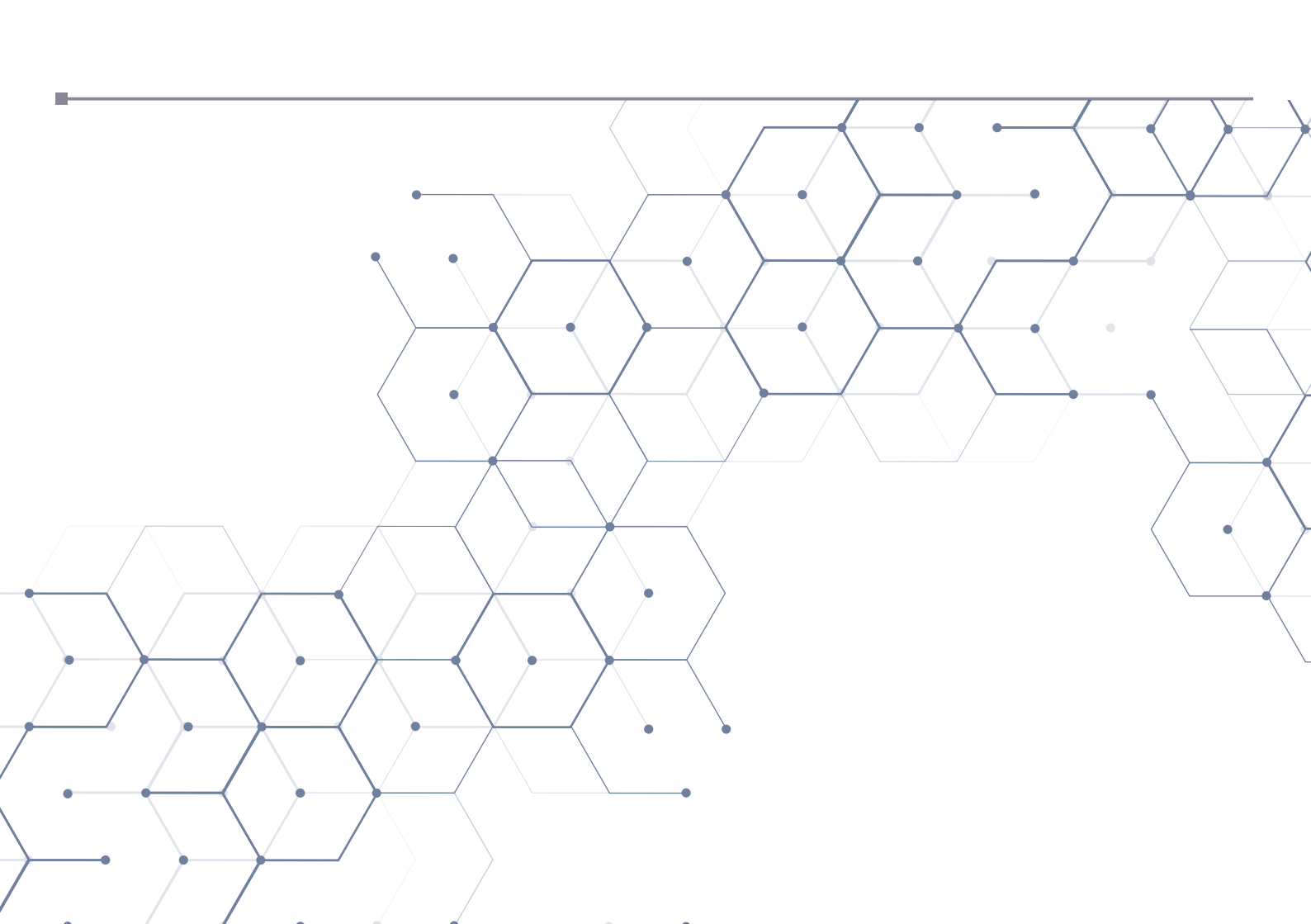




Synergys

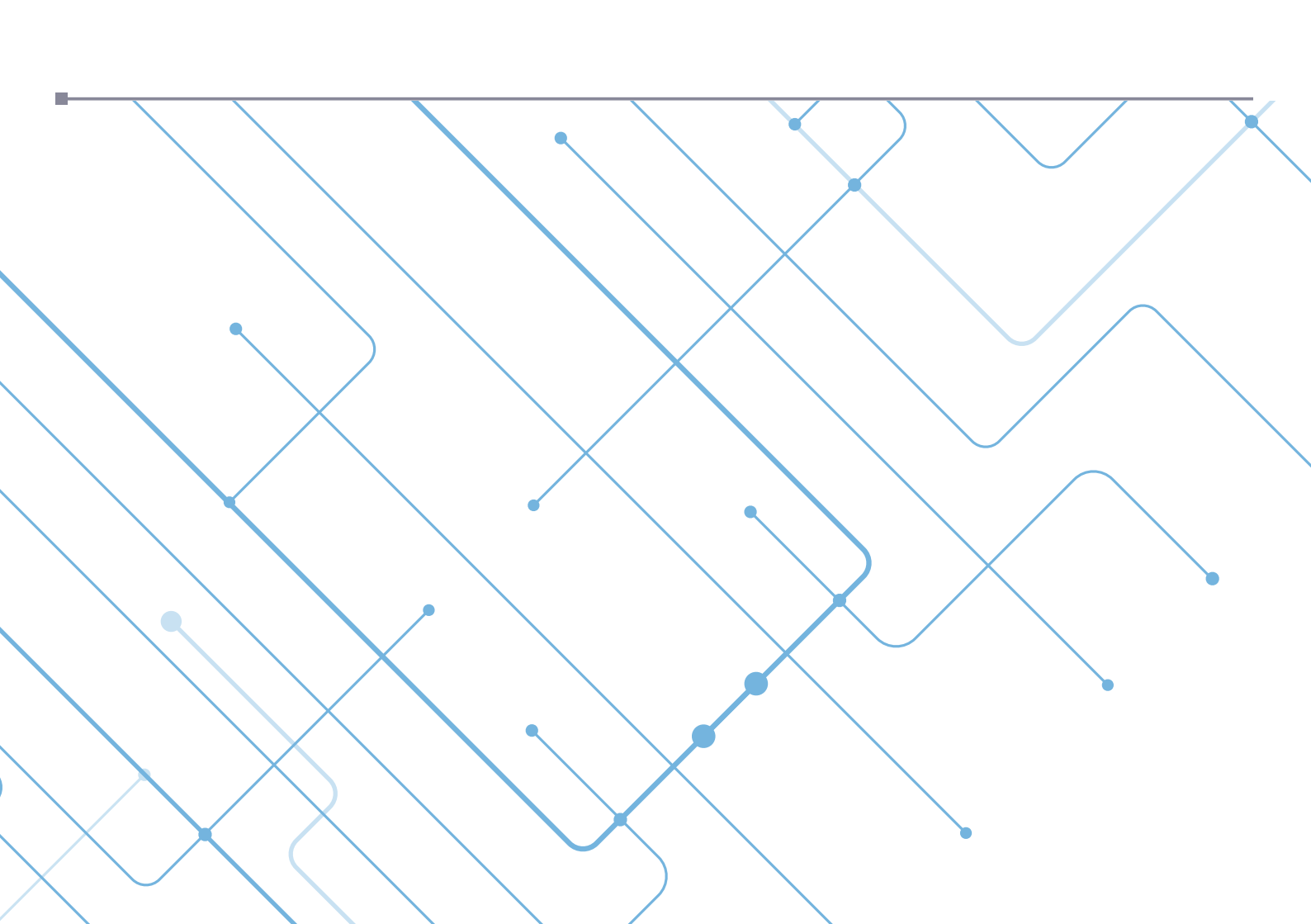


Een Smart Multi-Commodity Energy System



Inhoud

Nut, noodzaak en schaalgrootte(s) van een Smart Multi Commodity Energy System	5
SynergyS in een notendop	7
Inleiding	9
Echte wereld versus schaalmodel	13
Energiemarkt SynergyS	17
Prototype	25
Eén waarheid met ESDL	27
De SynergyS-runs	31
Data/resultaten SynergyS-runs	35
Resultaten KPI's	39
Evaluatie SMCES	44
Lessons learned	46
De belofte van SMCES	47
Het team	48



Nut, noodzaak en schaalgrootte(s) van een Smart Multi Commodity Energy System

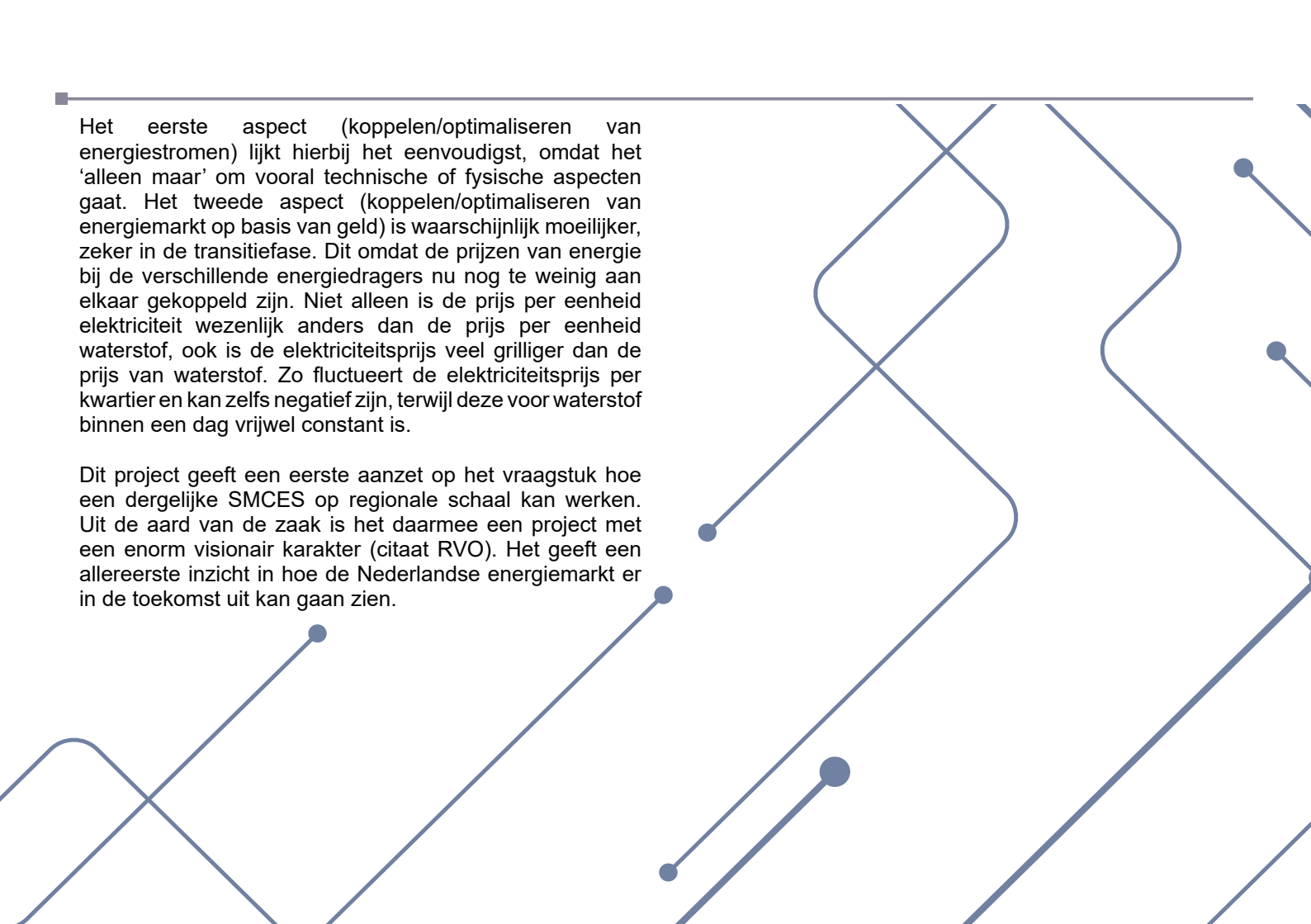
Na de energietransitie (2050) mag verwacht worden dat Nederland een energiesysteem heeft dat voor een groot deel draait op duurzame energie en duurzame energiedragers. Het grote beeld is dat er drie soorten energienetten zullen zijn: voor elektriciteit, voor energiedragende moleculen en voor warmte. De netten voor elektriciteit en moleculen zullen op nationale, regionale en lokale schaal aanwezig zijn, netten voor warmte alleen op regionale en lokale schaal. Deze drie soorten netten (elektriciteit, moleculen en warmte) zullen allemaal hun eigen buffering hebben (bijvoorbeeld accu's, gasopslag, warmtebuffers), maar zullen onderling ook gekoppeld zijn door conversiesystemen (bijvoorbeeld electrolyzers die elektriciteit in waterstof omzetten of warmtepompen die elektriciteit in warmte omzetten). Zowel de bufferingsystemen in de netten als de conversiesystemen tussen de netten, kunnen in beginsel op alle schaalgroottes voorkomen.

Een Smart Multi Commodity Energy System (SMCES) is een energiesysteem waarin deze drie soorten energiedragers – en dus de verschillende energienetten – aan elkaar gekoppeld zijn tot één systeem en één markt. Er is op voorhand niet gedefinieerd op welke schaalgrootte een dergelijk SMCES is uitgelegd. In dit project is de schaalgrootte van Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden aangehouden. Maar, in beginsel zou te zijner tijd echter ook geheel Nederland als één groot SMCES gezien

kunnen worden: op allerlei manieren en allerlei plaatsen zouden dan het elektriciteitsnet, de moleculennetten en de warmtenetten aan elkaar gekoppeld zijn tot een groot, integraal energienetwerk.

Wat is de functie van een SMCES? Een goed functionerend SMCES zorgt er idealiter voor dat energie via de meest optimale route vloeit. Hierbij 'speelt' het systeem met keuzes betreffende transport, opslag en/of conversie. Bijvoorbeeld: is er veel elektriciteitsaanbod en veel waterstofvraag, maar is het elektriciteitsnet zwaar belast, dan zorgt het systeem ervoor dat de energie zo snel mogelijk (lees in dit geval: binnen korte afstand) van elektriciteit naar waterstof wordt omgezet en als waterstof wordt getransporteerd, om zo het elektriciteitsnet te ontlasten. Maar – afhankelijk van de situatie – had het systeem er ook voor kunnen kiezen om gebruik te maken van een accu of een waterstofbuffer.

Dit koppelen van de energienetten van verschillende energiedragers heeft twee hoofdaspecten in zich: fysiek worden energiestromen aan elkaar gekoppeld en financieel worden geldstromen aan elkaar gekoppeld. Beide aspecten vragen nog grote innovatieslagen: er dient een beheerssysteem of een beheersmechanisme te worden ontwikkeld dat de energiestromen en de geldstromen optimaliseert.



Het eerste aspect (koppelen/optimaliseren van energiestromen) lijkt hierbij het eenvoudigst, omdat het 'alleen maar' om vooral technische of fysische aspecten gaat. Het tweede aspect (koppelen/optimaliseren van energiemarkt op basis van geld) is waarschijnlijk moeilijker, zeker in de transitiefase. Dit omdat de prijzen van energie bij de verschillende energiedragers nu nog te weinig aan elkaar gekoppeld zijn. Niet alleen is de prijs per eenheid elektriciteit wezenlijk anders dan de prijs per eenheid waterstof, ook is de elektriciteitsprijs veel grilliger dan de prijs van waterstof. Zo fluctueert de elektriciteitsprijs per kwartier en kan zelfs negatief zijn, terwijl deze voor waterstof binnen een dag vrijwel constant is.

Dit project geeft een eerste aanzet op het vraagstuk hoe een dergelijke SMCES op regionale schaal kan werken. Uit de aard van de zaak is het daarmee een project met een enorm visionair karakter (citaat RVO). Het geeft een allereerste inzicht in hoe de Nederlandse energiemarkt er in de toekomst uit kan gaan zien.

SynergyS in een notendop

Het SynergyS-project ontwikkelde en testte een slim, softwarematig aansturingssysteem voor energiehubbs waarin elektriciteit, waterstof en warmte integraal worden gemanaged binnen een lokaal cluster. Het systeem is gebaseerd en gesimuleerd op twee praktijkcases: Groningen Seaports (GSP) en Energiecampus Leeuwarden (ECL). Deze twee clusters zijn kaart gebracht en gemodelleerd. Alle energieopwek en -verbruik en conversie is hierin opgenomen en er is gekeken naar energiebalans over de dag en het seizoen.

Doel van het project

- Ontwikkeling van een Smart Multi-Commodity Energy System (SMCES) dat lokale energieproductie, -opslag, -verbruik en -handel optimaal op elkaar afstemt, aangestuurd via een lokaal marktmechanisme.
- Simulatie en fysieke testen (hardware-in-the-loop) in schaalmodellen van het industriële cluster GSP en het stedelijke cluster ECL.
- Met elkaar leren van een praktijkexperiment.

Werkwijze

- Er is een marktplatform gemaakt voor een lokale markt met drie dragers: elektriciteit, waterstof en warmte.

- De handel vond plaats op de day-ahead en intra-day markt. Er is een volledige multi-CS simulatieomgeving gemaakt voor hardware-in-the-loop simulaties. Fysieke assets op de proeftuinen van Entrance en The Green Village zijn hierin meegenomen.
- Er zijn intelligente zelflerende trading agents gebouwd die energie verhandelden op de lokale markt. Hun behoeften zijn in kaart gebracht volgens het BDI-framework.
- De verschillende assets zijn aangestuurd op basis van de ingenomen posities en de uitkomsten op de markten (clearing), om de markttuitkomst ook daadwerkelijk te realiseren.
- Er is een IT-platform gebouwd voor het regisseren van alle experimenten en het loggen van de resultaten. Dit platform, genaamd datawarehouse (DWH), faciliteerde ook de koppelingen tussen het marktplatform en de trading agents én de koppelingen tussen de agents en de fysieke assets en hun digital twins. Alle experimenten zijn door het DWH geconfigureerd via een Energy System Description Language (ESDL)-template en opgestart op basis van een centrale klok.

- Er is gekozen voor simulaties in echte tijd, vanwege de inzet van echte assets (hardware-in-the-loop). Een simulatie van een dag duurt daarmee ook een dag. Er was een set van 7 modeldagen, die de werkelijke variaties van weers- en seizoensomstandigheden zoveel mogelijk bevatten.
- Voorafgaand aan de experimenten is een set Key Performance Indicators (KPI) gedefinieerd, om te bepalen of het SMCES goed werkt.
- Het complete settlementproces is meegenomen. Alle deelnemers ontvingen een eindafrekening. Onbalanskosten zijn hierin niet meegenomen om de complexiteit beheersbaar te houden.

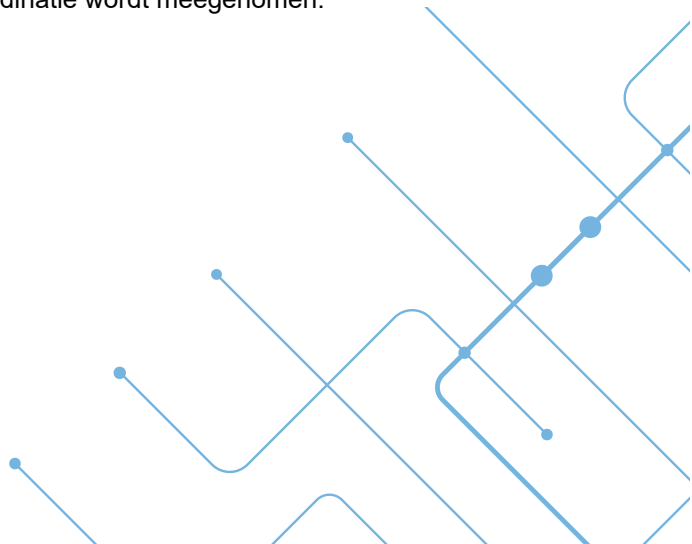
Belangrijkste uitkomsten

- De technologie is operationeel getest en heeft een TRL-niveau 4-5, met nog verdere ontwikkelstappen richting commerciële inzet.
- In de simulaties werd 30% van de energiehandelingen succesvol op lokale markten uitgevoerd, wat wijst op technisch potentieel bij congestiemanagement.
- KPI's tonen aan dat het systeem onder realistische omstandigheden functioneert, maar verdere finetuning nodig heeft (o.a. lokale balansen en prikkelstructuren).

- Lokale markten werken alleen goed als vraag en aanbod per energiedrager redelijk in balans zijn binnen het cluster.

Vervolgopties

- Het SynergyS SMCES in te zetten in een energiehub met een beperkt aantal spelers en één of twee energiedragers.
- Inzetten op doorontwikkeling van het SMCES concept richting concrete implementatie in industriële clusters.
- Vervolgonderzoek naar meerschalgige SMCES, waarbij naast de lokale en nationale markt ook regionale coördinatie wordt meegenomen.



Inleiding

De uitstoot van broeikasgassen moet in 2030 in Nederland met 55% verminderd zijn ten opzichte van 1990. In 2050 willen we per saldo geen uitstoot meer hebben. Om dit te bereiken, moeten we overstappen naar een duurzaam energiesysteem. Binnen dit systeem moeten we zowel op zee als dichtbij huis hernieuwbare bronnen gebruiken. De opwekhoeveelheid van deze bronnen is helaas niet stuurbaar. Daarom zijn opslag en conversie nodig om het systeem goed te laten werken. Deze opslag en conversie zal zowel op grote schaal plaatsvinden binnen onze grote industriële clusters, als meer lokaal op het niveau van bedrijventerreinen of wijken.

Aanpassing aan energie-infrastructuur

De groei van duurzame opwek en veranderende gebruikerspatronen vragen ook forse investeringen in onze energienetten. Naast verzwaren kunnen we ook slimmer gebruik maken van de infrastructuur, door te schakelen tussen verschillende energiedragers en vraag en aanbod lokaal te balanceren. We moeten voldoende kennis hebben over ons energiesysteem en het goed kunnen aansturen, zodat iedereen over de energie kan beschikken die hij of zij nodig heeft.

Samenwerking tussen gebruikers en producenten

Energiehubs zijn een lokale samenwerking tussen gebruikers en producenten van energie. Ze kunnen zich

bijvoorbeeld bevinden op een industriecomplex, een bedrijventerrein of in een wijk. Inwoners kunnen met elkaar en met bedrijven samenwerken in een energiehub. Zo stemmen ze energieopwek, -transport, -opslag, -conversie en -verbruik op elkaar af.

Om dit goed te laten werken, is een besturingsmechanisme nodig. Een dergelijk mechanisme hebben we ontwikkeld binnen dit SynergyS-project.

SynergyS: lokale clusters met sturingsmechanisme

Het idee achter SynergyS is dat je door lokale clusters en een lokale afstemming van vraag en aanbod binnen die clusters, beter gebruik kunt maken van alle beschikbare transport-, opslag- en conversiecapaciteit om zo tot een optimale inzet te komen. Deze afstemming vergt een lokaal sturingsmechanisme. Binnen het SynergyS-project hebben we dat via een lokale markt vormgegeven. Via deze markt komt een prijs tot stand, waarin kosten van opwek, conversie, opslag en transport zijn verwerkt.

Software voor multi-commodity energiehubs

Binnen het SynergyS-project hebben we een besturingssysteem gebouwd dat vraag en aanbod van elektriciteit, warmte en waterstof (multi-commodity) kan balanceren. De SynergyS-software is daarmee een multi-commodity collectief energiemanagementsysteem (Smart Multi-Commodity Energy System, SMCES) geworden.

Op dit moment is er nog geen enkel vergelijkbaar besturingssysteem op de markt. Vandaag de dag bestaan er systemen die de energiebehoefte op een bedrijventerrein kunnen balanceren. Deze software heeft echter beperkte capaciteiten vergeleken met de software die ontwikkeld is in het SynergyS-project. Het SynergyS aansturingssysteem gaat op vier aspecten verder dan de huidige oplossingen:

1. Het kan energiesystemen die gebruikmaken van elektriciteit, warmte en waterstof ten opzichte van elkaar optimaliseren.
2. Het kan gelijktijdig op de elektriciteits-, warmte- en waterstofmarkt in- en verkopen.
3. Het is breder inzetbaar dan alleen op bedrijventerreinen. Waterstof en warmte zijn immers energievormen die bij uitstek ook passen bij industriële complexen en woonwijken.
4. De modulaire opzet van het aansturingssysteem faciliteert naadloze inpassing van deelsystemen. Zo is onder andere het systeem voor financiële afhandeling gekoppeld.

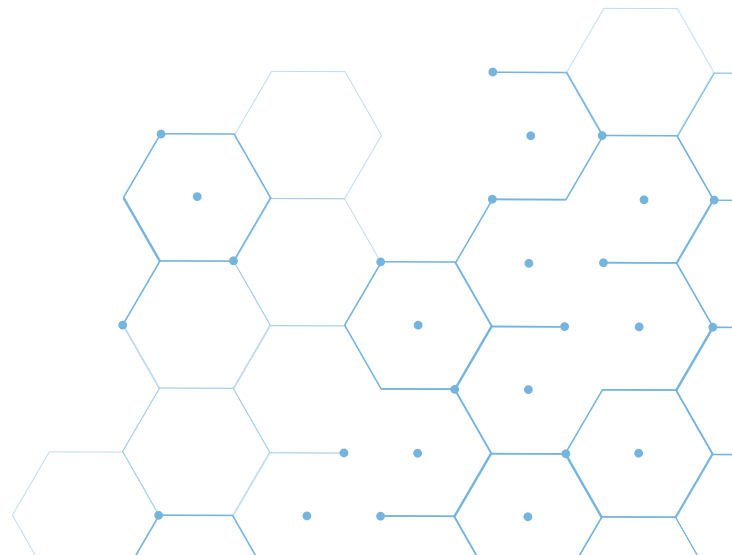
Technology Readiness Level van het prototype

De technologische ontwikkeling van het SMCES resulteerde in een prototype met een Technology Readiness Level tussen de 4 en 5. De software is niet alleen in theorie bedacht of gesimuleerd, het is ook echt in de praktijk getest. Dit is gedaan door het aansturen van kleinschalige energiesystemen op de proeftuin van Entrance in Groningen en bij The Green Village in Delft. Er moeten nog wel ontwikkelstappen gezet worden, voordat het systeem

commercieel toegepast kan worden. In lijn met de definities van RVO (Technology Readiness Levels (TRL) | RVO.nl) is de realisatie van een TRL 5 prototype een relatief tijd- en geldintensief traject.

Bouwstenen voor SMCES

In dit rapport beschrijven we de volgens ons belangrijke bouwstenen voor de software voor multi-commodity energiehub. De resultaten van dit project kunnen dienen als inspiratie voor het ontwikkelen van ontwerptools voor dergelijke energiehub en voor systemen die gebruikt kunnen worden in de exploitatiefase van multi-commodity energiehub.



Gebruikte definities

Energiehub (EH)

Een energiehub is een slim aangestuurd decentraal energiesysteem. Met energiehubbs kunnen we het energiesysteem voor een gebied verduurzamen en het bovenliggende energiesysteem ontlasten en/of versterken. Door lokale productie, consumptie, opslag, transport en conversie te combineren, kunnen we vraag en aanbod van energie zoveel mogelijk balanceren.

Assets

Energie-assets zijn eigendommen of middelen die worden gebruikt voor de productie, opslag, conversie, distributie en levering van energie. Je kan hierbij denken aan energiecentrales, zoals zonneparken en windturbines, opslagfaciliteiten, zoals batterijen en waterstofopslagtanks en distributienetwerken, zoals kabels en transformatoren.

Energiemanagementsysteem (EMS)

Een energimanagementsysteem bevat software die het energieverbruik van verschillende assets alleen of in samenhang monitort en aanstuurt. EMS-software kan binnen bepaalde vooraf gedefinieerde grenzen assets aansturen, zodat het geheel optimaal functioneert met vooraf ingestelde doelen. Een EMS-systeem opereert vaak achter een aansluiting. Het is in principe ook mogelijk dat een EMS-systeem op één specifieke asset werkt of juist over meerdere aansluitingen heen acteert.

Smart Multi Commodity Energie Systeem (SMCES)

Een Smart Multi Commodity Energie Systeem verzorgt het energiemanagement op het niveau van een energiehub met verschillende energiedragers. Het werkt samen met de individuele energimanagementsystemen op bedrijfsniveau. Hierdoor kan het een optimalisatie op hub-niveau uitrekenen en deze weer doorgeven aan de individuele EMS'en om bepaalde acties op bedrijfsniveau uit te voeren. Een SMCES helpt bij het waarborgen van de betrouwbaarheid en veiligheid van alle energieassets en infrastructuur binnen de hub. Het maakt het mogelijk om collectief in te spelen op de eisen van en veranderingen in het energienet.

Digital twin

Een digital twin is een virtuele representatie van een fysiek object, systeem of proces. Deze digitale kopie wordt gebruikt om het gedrag en de prestaties van het fysieke tegenhanger te simuleren, analyseren en optimaliseren. Op de proeftuinen van Entrance en The Green Village zijn verschillende assets aan elkaar gekoppeld als één werkend energiesysteem. Vervolgens is er een digital twin gemaakt van de daadwerkelijke situaties bij Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden. Met deze digitale versie kun je experimenten uitvoeren om erachter te komen hoe je het systeem zo optimaal mogelijk kunt laten werken.

Settlement

Settlement is het proces waarbij financiële verplichtingen tussen partijen worden vereffend. Binnen het SynergyS-project heeft dit betrekking op de afwikkeling van transacties in energie, waarbij de producent energie verkoopt en de consument energie verbruikt.

Datawarehouse

Het datawarehouse verzamelt en ontsluit alle data binnen het SMCES-systeem. Dit betreft zowel economische (marktresultaten, settlement) als technische data (meetdata, setpoints).

Setpoint

Een setpoint is de gewenste waarde die een asset probeert te handhaven. Voor een batterij is dat bijvoorbeeld het elektrisch vermogen waarmee de batterij op- of ontlad.

Echte wereld versus schaalmodel

In Nederland zijn vijf grote industrieclusters: Noord-Nederland, Noordzeekanaalgebied, Rotterdam-Moerdijk, Zeeland/West-Brabant en Chemelot. Daarnaast zijn er diverse grote bedrijven, verspreid over Nederland, die in het klimaatakkoord zijn gegroepeerd onder de naam cluster 6. Dit cluster bevat bedrijven uit negen verschillende sectoren, waaronder de levensmiddelenindustrie, papier- en kartonindustrie, keramische industrie, afvalverwerkers en datacenters. Dit soort bedrijven, maar natuurlijk ook huishoudens, liggen verspreid over het land met een hogere dichtheid in de steden.

Clusteren op basis van infrastructuur

Als je energie binnen een cluster wilt optimaliseren, ligt het voor de hand om naar de geografische nabijheid te kijken. Ordening langs de energie-infrastructuur is echter een logischer criterium. Immers, als er veel transportcapaciteit beschikbaar is tussen twee gebieden, is het waarschijnlijk beter om gezamenlijk te optimaliseren. Als er juist krapte is op de infrastructuur, dan leidt deze aanpak vanzelf tot een lokale optimalisatie.

Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden

Binnen het SynergyS-project hebben we gekeken naar twee clusters: Groningen Seaports (Eemshaven en Delfzijl) als onderdeel van het industriecluster Noord-Nederland en Energiecampus Leeuwarden als stedelijke omgeving met

woonwijken en bedrijven. Binnen deze clusters hebben we gekeken naar de balans tussen vraag en aanbod en naar mogelijke uitwisseling tussen beide clusters. Uit de opgevraagde energiegegevens bleek bijvoorbeeld dat er veel restwarmte beschikbaar is in het Groningen Seaports cluster, die gebruikt kan worden in het stedelijke cluster. Nu ligt Energiecampus Leeuwarden te ver van Delfzijl om dit ook echt te doen, maar in onze simulaties hebben we gedaan alsof deze afstand overbrugbaar is voor warmtetransport.



Afbeelding 1: Groningen Seaports

Fysiek schaalmodel

We hebben ervoor gekozen om niet alleen computersimulaties te doen, maar de beide clusters te realiseren in een fysiek schaalmodel. We hebben hiervoor de proeftuinen van Entrance (Hanze) en The Green Village (TU Delft) gebruikt en de daar aanwezige assets ingezet in een hardware-in-the-loop simulatie. Deze techniek combineert fysieke hardwarecomponenten met een gesimuleerde omgeving om realistische omstandigheden na te bootsen.

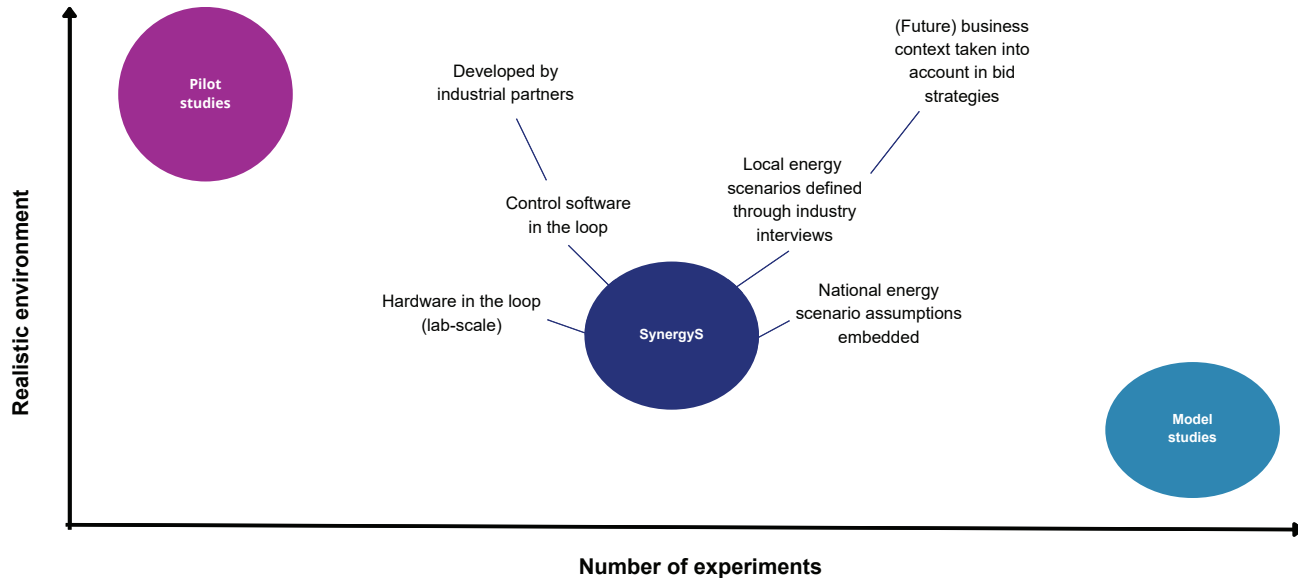
Bij Entrance is een schaalmodel gebouwd van het Groningen Seaports cluster en bij The Green Village een van het Energiecampus Leeuwarden cluster. Deze hebben we onderling verbonden via een digitale simulatieomgeving met digital twins voor alle ontbrekende componenten. De energie-infrastructuur is volledig digitaal gesimuleerd. Dit alles om een beeld te krijgen van de complexiteit van aansturing in de praktijk en om te laten zien wat het betekent om aansturing te doen.



Afbeelding 2: Energiecampus Leeuwarden

Unieke experimenteeromgeving

Door de beschikbaarheid van inzichten uit de praktijkvoorbeelden en fysieke schaalmodellen, konden we een unieke experimenteeromgeving realiseren, die tussen pilot- en modelomgevingen in zit (zie Figuur 1).



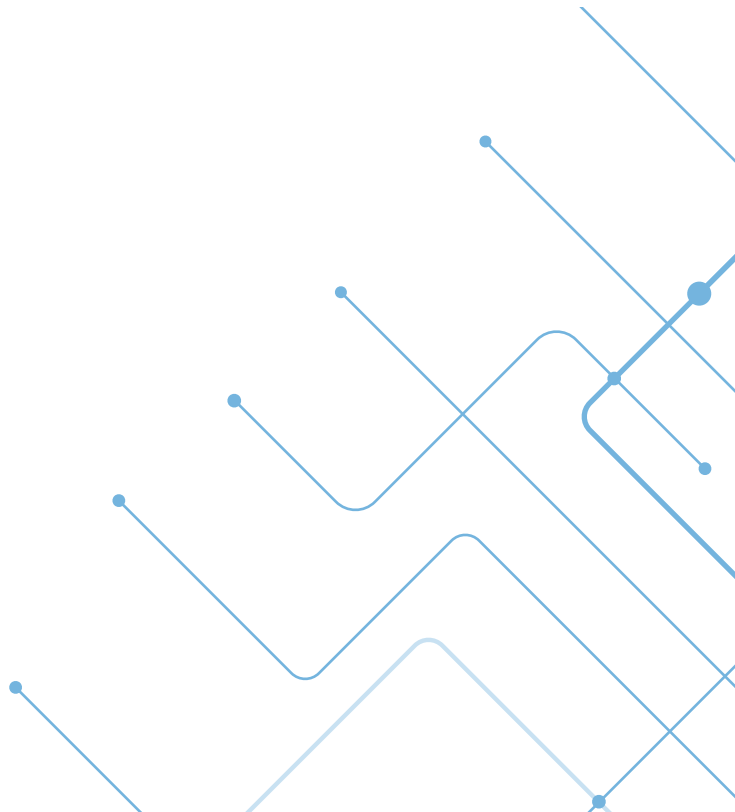
Figuur 1: Experimenteeromgeving SynergyS versus pilot- en modelstudies

Bij pilots in de echte wereld kun je een breed scala aan criteria evalueren op afzonderlijke experimenten. Parameters controleren is echter moeilijk. Bij simulaties in een modelwereld kun je veel experimenten uitvoeren, maar is het niet mogelijk om inzichten te genereren over de volle breedte van KPI's die een rol spelen bij een succesvolle implementatie van een innovatie. Vooral inzichten over het gebruikersperspectief, gebruikersgedrag en functionering van software- en hardwarecomponenten ontbreken.

In een realistische omgeving, zoals toegepast in dit SynergyS-project, kun je veel KPI's testen en vooral gebruikersspecifieke perspectieven evalueren. SynergyS simuleert met interactie uit de echte wereld. In de initialisatiefase maakten we gebruik van echte gebruikersperspectieven uit Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden. En in de simulatiefase maakten we gebruik van echte implementaties van software op fieldlab hardware, uitgevoerd door verschillende organisaties.

Voordeel van het gebruiken van deze meer realistische wereld ten opzichte van een simulatiemodel was dat we meer inzicht konden krijgen in de implementeerbaarheid van SMCES-oplossingen. Vergeleken met een pilot in de echte wereld, hadden we meer mogelijkheid om parameters te controleren, oftewel verschillende scenario's door te rekenen.

Het controleren van parameters door scenario's op te starten was wel beperkter dan in simulatiestudies, omdat we verschillende organisaties en systemen tegelijkertijd moesten opstarten in een nieuwe configuratie.



Energiemarkt SynergyS

Binnen het SynergyS-project beschouwen we een multi-commodity energiesysteem: een energiesysteem waarin we de rol van elektriciteit, duurzame gasen en warmte/koude integraal bekijken. Om het geheel behapbaar te houden, hebben we ons gelimiteerd tot elektriciteit, waterstof en warmte. Voor deze energiedragers zijn de meest voor de hand liggende assets voor opwek, verbruik, conversie, opslag en transport meegenomen in de simulatie. Denk hierbij aan batterijen, elektrolyse, brandstofcellen en warmtepompen.

Gebruikte assets

Op basis van gesprekken met belanghebbenden hebben we een inventarisatie gemaakt van (flexibele) assets die in 2030 naar verwachting operationeel zijn in de clusters van Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden. Zie Figuur 2 voor een schematisch overzicht van de verschillende soorten assets in het SMCES. Tabel 1 geeft de belangrijkste eigenschappen van de 40 assets die in deze studie zijn meegenomen.

Voor elk asset* is een digital twin ontwikkeld op basis van de Illuminator**. Voor zes assets is gebruik gemaakt van fysieke assets op de proeftuin van Entrance (Hanze) en

voor drie is gebruikt gemaakt van fysieke assets bij The Green Village (TU Delft).

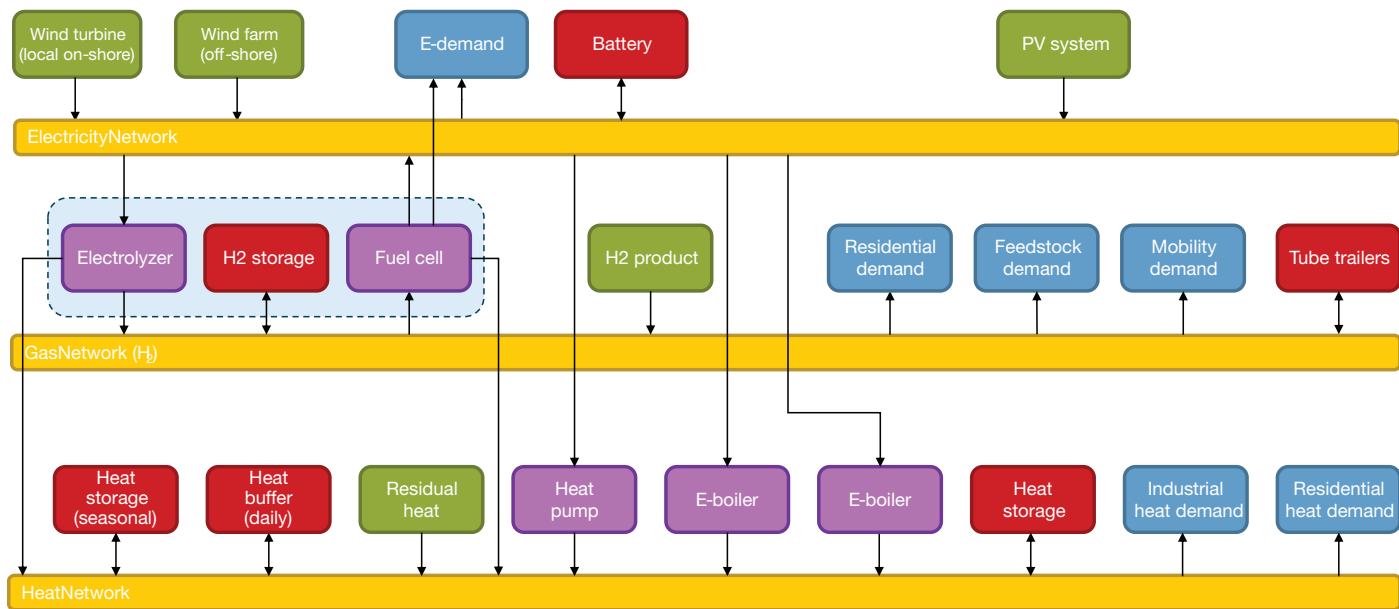
Eigendom en aansturing van de assets

De asseteigenaar bepaalt hoe de assets worden ingezet. De operationele aansturing wordt verzorgd door assetoperators. De interactie met het marktplatform verloopt via energiehandelaars die biedingen doen. De asseteigenaren hebben een contract met deze handelaars. Vaak wordt de rol van handelaar ingevuld door de eigen energieleverancier, maar dit kan ook via een onafhankelijke partij.

De energiehandelaar handelt in naam van de asseteigenaar of in naam van een groep van assets. Deze groep kan van dezelfde of verschillende eigenaren zijn. De energiehandelaar handelt op de groothandelsmarkten en op de lokale SMCES-markt. De asseteigenaar kan verschillende redenen hebben om actief te zijn op de lokale energiemarkt. Hij kan een verantwoordelijkheid hebben om bij te dragen aan lokale doelen, zoals afgesproken met andere stakeholders. Of hij doet mee omdat het extra inkomsten oplevert.

**) Heat pump digital twin is niet operationeel geweest*

***) De Illuminator is een doe-het-zelf demonstratie- en educatiepakket om het gedrag van energiesystemen na te bootsen en daarmee een beter begrip te krijgen van de vaak complexe uitdagingen rondom energiesysteemintegratie. De tool is open source en beschikbaar via <https://github.com/Illuminator-team/Illuminator>*



Figuur 2 Overzicht verschillende soorten assets en energiestromen binnen SynergyS SMCES:
 groen = productie - blauw = consumptie - rood = opslag - paars = conversie - geel = infrastructuur.

Cluster	Categorie	Asset	Eigenschappen
GSP	Consumptie	Elektriciteitsvraag	939 MW
GSP	Consumptie	Electriciteitsvraag	20 MW
GSP	Consumptie	Warmtevraag	46 MW
GSP	Consumptie	Waterstofvraag voor scheepvaart	1 kW
GSP	Consumptie	Vraag waterstof als grondstof	400 MW
GSP	Conversie	E-boiler	20 MW, 100% efficiency
GSP	Conversie	E-boiler	20 MW, 100% efficiency
GSP	Conversie	Electrolyser	20 MW, 80% efficiency
GSP	Conversie	Electrolyser	60 MW, 65% efficiency
GSP	Conversie	Electrolyser	50 MW, 65% efficiency
GSP	Conversie	Electrolyser	50 MW, 65% efficiency
GSP	Productie	Restwarmte	2 MW
GSP	Productie	Zonnepark	50 MW
GSP	Productie	Zonnepark	10 MW
GSP	Productie	Zonnepark	15 MW
GSP	Productie	Windpark	36 MW
GSP	Productie	Windpark	600 MW
GSP	Productie	Windpark	51 MW
GSP	Opslag	Batterij	100 MW, 200 MWh
GSP	Opslag	Warmteopslag	11 kW, 22 kWh
GSP	Opslag	Waterstofopslag	1 kW, 0,3 kWh

Tabel 1.1: SynergyS assets deel 1, GSP

Cluster	Categorie	Asset	Eigenschappen
Leeuwarden	Consumptie	Elektrische mobiliteit	24 kW, 48 kWh
Leeuwarden	Consumptie	Elektriciteitsvraag all-electric wijk	1,2 MW
Leeuwarden	Consumptie	Elektriciteitsvraag warmtenet wijk	1,1 MW
Leeuwarden	Consumptie	Elektriciteitsvraag primaire processen	2,5 MW
Leeuwarden	Consumptie	Elektriciteitsvraag primaire processen	60 kW
Leeuwarden	Consumptie	Elektriciteitsvraag primaire processen	1 W
Leeuwarden	Consumptie	Warmtevraag warmtenet wijk	2,5 MW
Leeuwarden	Consumptie	Warmtevraag primaire processen	1 MW
Leeuwarden	Consumptie	Vraag waterstof als grondstof	500 kW
Leeuwarden	Conversie	E-boiler	5 MW, 90% efficiency
Leeuwarden	Conversie	Electrolyser	500 kW, 67% efficiency
Leeuwarden	Conversie	Brandstofcel	500 kW, 67% efficiency
Leeuwarden	Conversie	Warmtepomp	825 kW, COP 4
Leeuwarden	Conversie	Warmtepomp	1 MW, COP 4
Leeuwarden	Productie	Restwarmte	10 kW
Leeuwarden	Productie	Restwarmte	10 kW
Leeuwarden	Productie	Zonnepark	4 MW
Leeuwarden	Opslag	Batterij	1 MW, 4 MWh
Leeuwarden	Opslag	Waterstofopslag	1 MW, 333 MWh

Tabel 1.2: SynergyS assets deel 2, Leeuwarden

Biedstrategieën

De biedstrategie van partijen hangt af van hun kennis over de groothandels- en lokale markt, het weer, hun eigen gebruik/opwek en de doelen van de asset eigenaar (inclusief doelen die voortkomen uit afspraken die zijn gemaakt met lokale stakeholders).

Voor de use cases hebben we met behulp van de BDI-methode¹ de biedstrategieën van handelaren in kaart gebracht. De BDI-methode (Beliefs, Desires & Intentions) brengt gestructureerd de kennis van handelaren en doelen van de assesteigenaren in kaart. Ook volgt uit de BDI-methode een gestandaardiseerde beschrijving van de strategie voor het plaatsen van biedingen op de lokale en/of groothandelsmarkt. Hiermee worden de doelen van de eigenaren gerealiseerd binnen de mogelijkheden (kennis, capaciteiten) die de partij heeft.

Marktmechanisme

Binnen het SynergyS-project sturen we het SMCES aan op basis van een marktmechanisme. We hebben aparte (lokale) markten voor elektriciteit, waterstof en warmte. Allereerst proberen we vraag en aanbod bij elkaar te brengen op de lokale markt. Als dit niet lukt, grijpen we terug op de nationale markt. Op alle markten handelen we voorafgaand op de dag van uitvoer (day-ahead) én op de dag zelf (intra-day) in tijdsblokken van 15 minuten. In de praktijk vindt de meeste handel day-ahead plaats en wordt de intra-day markt gebruikt voor bijstellingen.

Day-ahead markt

De lokale day-ahead markt volgt een pay-as-cleared veilingmechanisme; dit betekent dat alle partijen deze prijs krijgen op het moment van het sluiten van de veiling. Er geldt een uniforme prijs voor alle kopers en verkopers. De lokale markt is daarnaast geïntegreerd met de day-ahead markt op nationaal niveau.

Day-ahead clearing

Figuur 3 laat het clearing mechanisme zien van de day-ahead markt. Alle aanbod wordt geordend op prijs van laag naar hoog en alle vraag van hoog naar laag. Dit geeft twee kruisende lijnen. De evenwichtsprijs (clearing price) ligt op het kruispunt en geldt voor alle transacties (zie Figuur 3). Voor elk kwartier wordt zo een aparte prijs bepaald.

Intra-day markt

De intra-day markt volgt een pay-as-bid veilingmechanisme; elke partij (koper en verkoper) krijgt de prijs betaald die ze in hun bod hebben gespecificeerd. Het veilingmechanisme bevat een live orderportefeuille en functioneert onafhankelijk van de wholesale intra-day markt. De netbeheerder kan ook op deze lokale markt handelen om congestie op de verbinding met de groothandelsmarkt tegen te gaan.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Belief%E2%80%93desire%E2%80%93intention_software_model

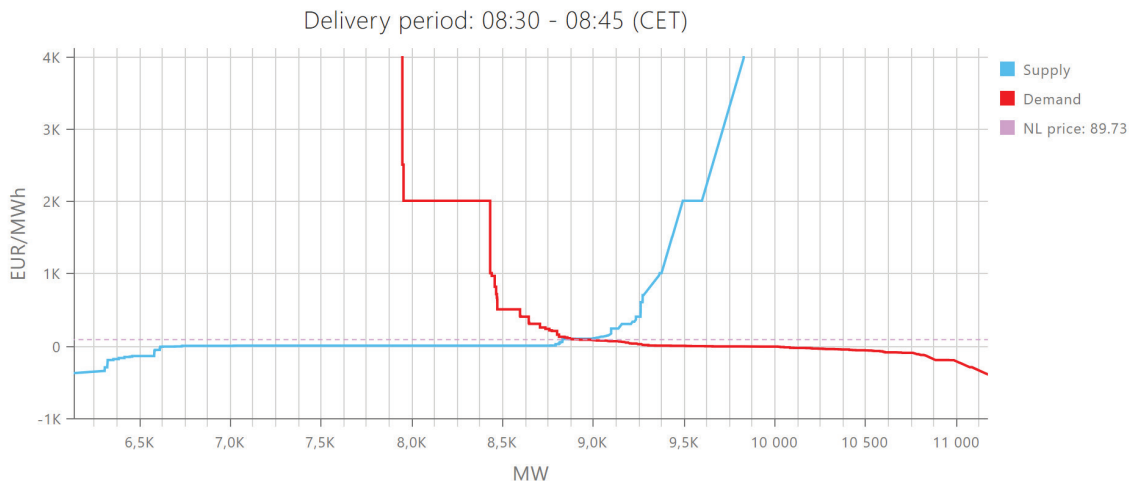
Belief%E2%80%93desire%E2%80%93intention_software_model

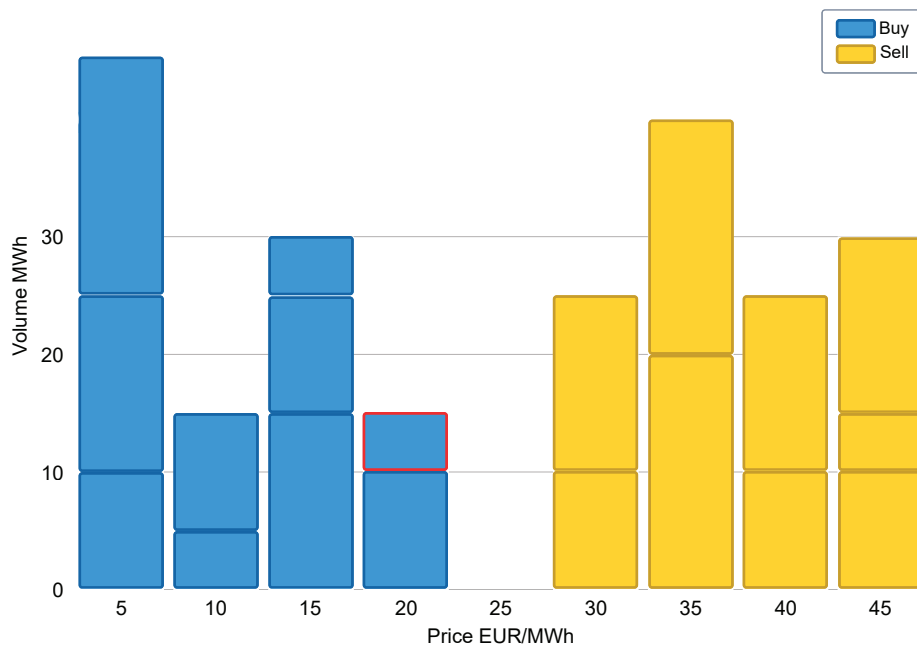
Intra-day clearing

Een live orderportefeuille bevat real-time koop- en verkooporders voor specifieke tijdvensters op de intra-day markt. Handel vindt alleen plaats wanneer de biedprijs van een koper overeenkomt met de vraagprijs van een verkoper. Als de prijzen niet overeenkomen, blijven de orders openstaan.

In Figuur 4 (rechts) staat een orderportefeuille die de openstaande koop- en verkooporders van de intraday-markt toont. Alle verhandelde orders (waarbij de prijs tussen vraag en aanbod matcht) zijn al verwijderd. Zodra er een nieuwe order binnenkomt die matcht met een openstaande, vindt er handel plaats. Als bijvoorbeeld een nieuwe kooporder wordt geplaatst voor een prijs van 30 euro wordt die weggestreept tegen een openstaande verkooporder voor 30 euro (geel).

Figuur 3: Voorbeeld prijsbepaling day-ahead markt (Bron: Nord Pool)





Figuur 4: orderportefeuille met openstaande koop- en verkooporders intraday-markt

Prijsvorming

De prijs voor een eenheid energie wordt gevormd op basis van de biedingen die agents doen. Elk kwartier komen vraag en aanbod bij elkaar voor de drie energiedragers. Opslag (capaciteit) en conversie (efficiency) worden niet apart geprijsd. Elke agent kent hier zelf een waarde aan toe in zijn biedstrategie en de resulterende biedingen.

We gaan er bij SynergyS vanuit dat er vrij kan worden gehandeld binnen het cluster en dat lokale transportkosten verwaarloosbaar zijn. Handel buiten het lokale cluster is niet altijd mogelijk of wenselijk door bijvoorbeeld congestie, transportkosten of lange termijnafspraken tussen partijen (bijvoorbeeld groepscapaciteitscontract). Daardoor kan de prijs lokaal afwijken van de nationale marktprijs op dat moment.

Binnen SynergyS is gekozen om bovenstaande te implementeren middels een vaste netvergoeding (euro/MWh) voor alle energie die geïmporteerd/geëxporteerd wordt naar/uit het cluster. Hiermee wordt een prijs gehangen aan transport over de grenzen van het cluster. De netvergoeding is niet van toepassing op lokaal verhandelde energie. Met andere woorden: lokaal transport is gratis.

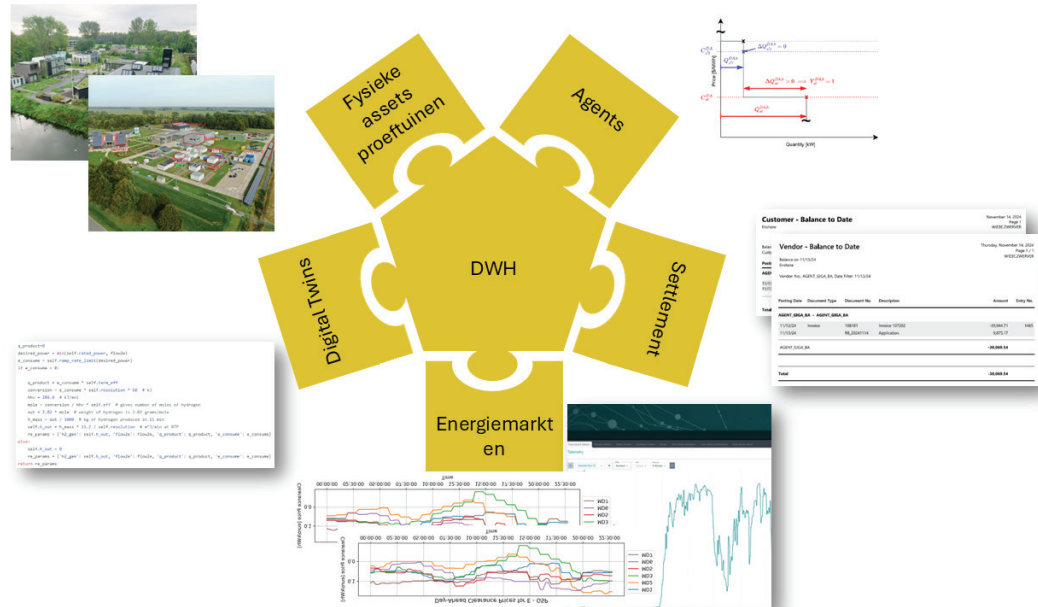
De vaste netvergoeding zorgt voor een positieve prikkel voor lokale transacties, waarmee partijen gestimuleerd worden eerst binnen hun eigen cluster balans te vinden. Als het prijsverschil tussen de lokale en nationale markt desondanks groot is, biedt SynergyS partijen de mogelijkheid hun energie alsnog extern te verhandelen. De markten zorgen voor een optimale (= laagste) prijs voor het gehele systeem.



Prototype

Het gerealiseerde SMCES-prototype is ontwikkeld als een operationeel systeem. Dit systeem maakt gebruik van bestaande (industriële) standaarden en draait realtime. Het prototype bestaat uit zes bouwstenen (zie Figuur 5):

- Datawarehouse
- Energiemarkten
- Agents
- Digital twins
- Fysieke assets
- Settlement



Figuur 5 Bouwstenen SynergyS SMCES

Datawarehouse

Het datawarehouse vormt de ruggengraat van het prototype. Het is een platform voor onderlinge communicatie en voor de opslag en ontsluiting van (historische) data. Met een beperkt aantal (industriële) standaarden (OPC UA1, MQTT2, REST API3) faciliteert het DWH de uitwisseling tussen partijen.

Energiemarkten

Op de energiemarkten worden vraag en aanbod per energiedrager bij elkaar gebracht. In totaal zijn negen verschillende markten ontwikkeld voor de verschillende locaties (nationaal, Groningen Seaports, Energiecampus Leeuwarden) en energiedragers (elektriciteit, waterstof, warmte). De energiemarkten werken met een tijdsresolutie van 15 minuten (energie wordt verhandeld in blokken van 15 minuten).

Agents

In ons systeem zijn agents verantwoordelijk voor de aansturing van de assets en voor de handel op de energiemarkten. Agents proberen de assets in hun portfolio zo optimaal mogelijk te benutten. Op basis van assetinformatie en voorspellingen bepaalt elke agent zijn biedingsstrategie. Op basis van het resultaat van de energiemarkten (is energie wel/niet aan-/verkocht) stellen agents een schema van setpoints voor hun assets op.

Digital twins

De digital twins zijn digitale kopieën van de assets zoals deze in 2030 op Groningen Seaports en in Energiecampus Leeuwarden zullen staan. Een groot deel van deze assets moet nog gerealiseerd worden, waarmee er geen fysieke tegenhanger is voor de digital twin. Digital twins ontvangen per 15 minuten een setpoint van hun agent en proberen deze zo goed mogelijk te volgen. Een setpoint is dus een streefwaarde; de waarde die een asset geacht wordt te leveren.

Fysieke assets

De fysieke assets op de twee proeftuinen vormen een fysiek schaalmodel van de assets in 2030. Net als de digital twins, volgen de fysieke assets een setpoint per 15 minuten. Belangrijk is te beseffen dat de 2030 assets een andere schaal hebben dan de proeftuin assets en dat de dynamiek op verschillende schalen anders kan zijn. Het SMCES is getest met een combinatie van fysieke assets en digital twins (hardware-in-the-loop).

Settlement

Aan het einde van de dag borgt settlement dat de afrekening tussen partijen netjes wordt afgehandeld. Enerzijds zijn dit de resultaten zoals die door agents op de energiemarkten zijn behaald (wat is er ver-/gekocht), anderzijds kijkt afrekening naar wat een agent daadwerkelijk geleverd heeft met de assets in zijn portfolio. Belangrijkste input hiervoor zijn de meetwaarden van de digital twins en de fysieke assets.

Eén waarheid met ESDL

Om het controleren van parameters mogelijk te maken in een omgeving waar meerdere partijen samenwerken, is een single source of truth nodig voor elk scenario dat we evalueren. Om een eenduidig beeld te krijgen van de scenario's maakten we gebruik van Energy System Description Language (ESDL)². Dit is een taal die is ontwikkeld om informatie over energiesystemen en de energietransitie op een uniforme en gestructureerde manier te beschrijven. Het maakt het mogelijk om gegevens uit verschillende energiemodellen te koppelen en uit te wisselen. ESDL is een open source model van TNO dat continu wordt doorontwikkeld.

Het scenario voor elk experiment dat is uitgevoerd in SynergyS, is vastgelegd in ESDL. Tijdens de testen gebruikten de partners in het project het ESDL-bestand om alle instellingen in hun eigen subsysteem te configureren. In de ESDL-scenario's zijn zowel alle vaste parameters vastgelegd (feiten over Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden) als de dynamische parameters (bijvoorbeeld vulgraad van een opslag).

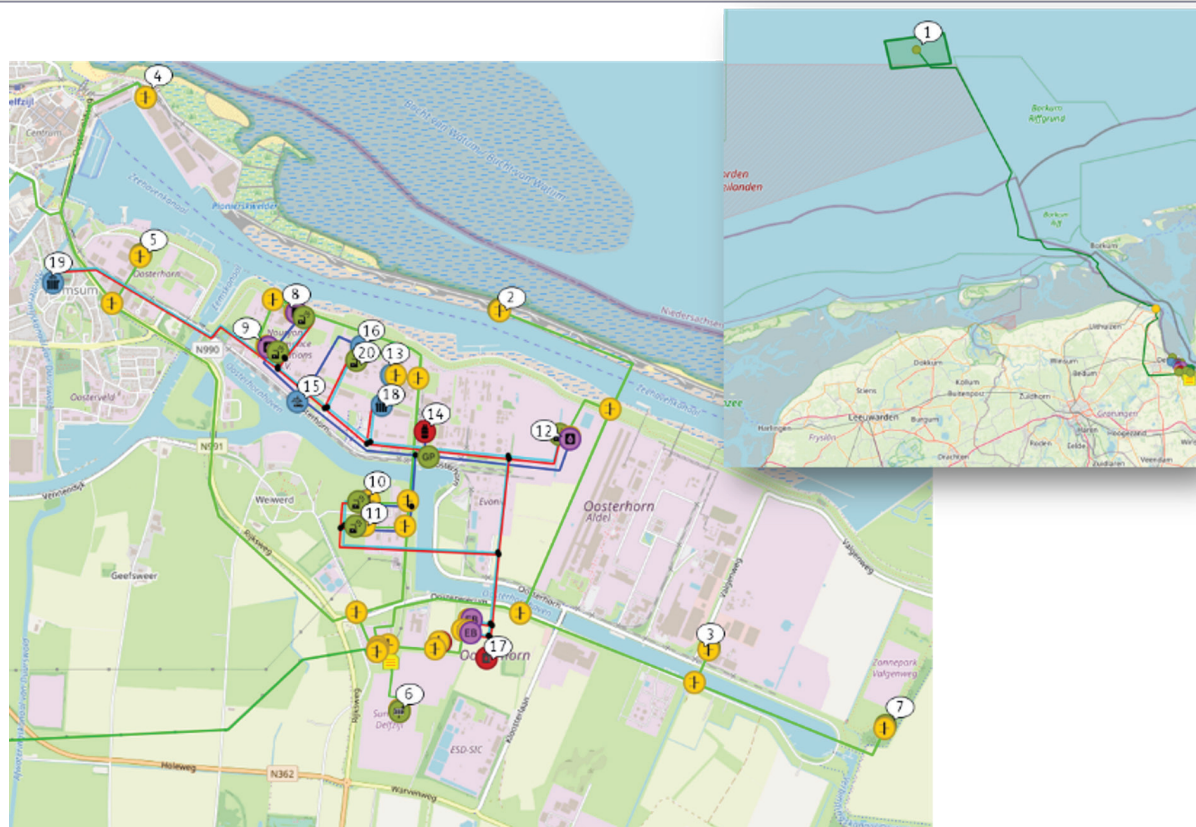
Met de ESDL-weergave van het SynergyS-project konden we het systeem en de scenario's ook in verschillende modellen gieten:

- vooraf om de juiste grootte van opslag- en conversieassets te vinden;
- achteraf om de impact te evalueren op de lokale netwerkinfrastructuur.

Zie Figuur 6 en 7 (volgende pagina) voor een schematische weergave van de twee clusters in de ESDL map editor. Deze weergave geeft een overzicht van de assets in de clusters (cirkels met cijfers) en hun onderlinge verbindingen (gekleurde lijnen).

² <https://www.esdl.nl/>

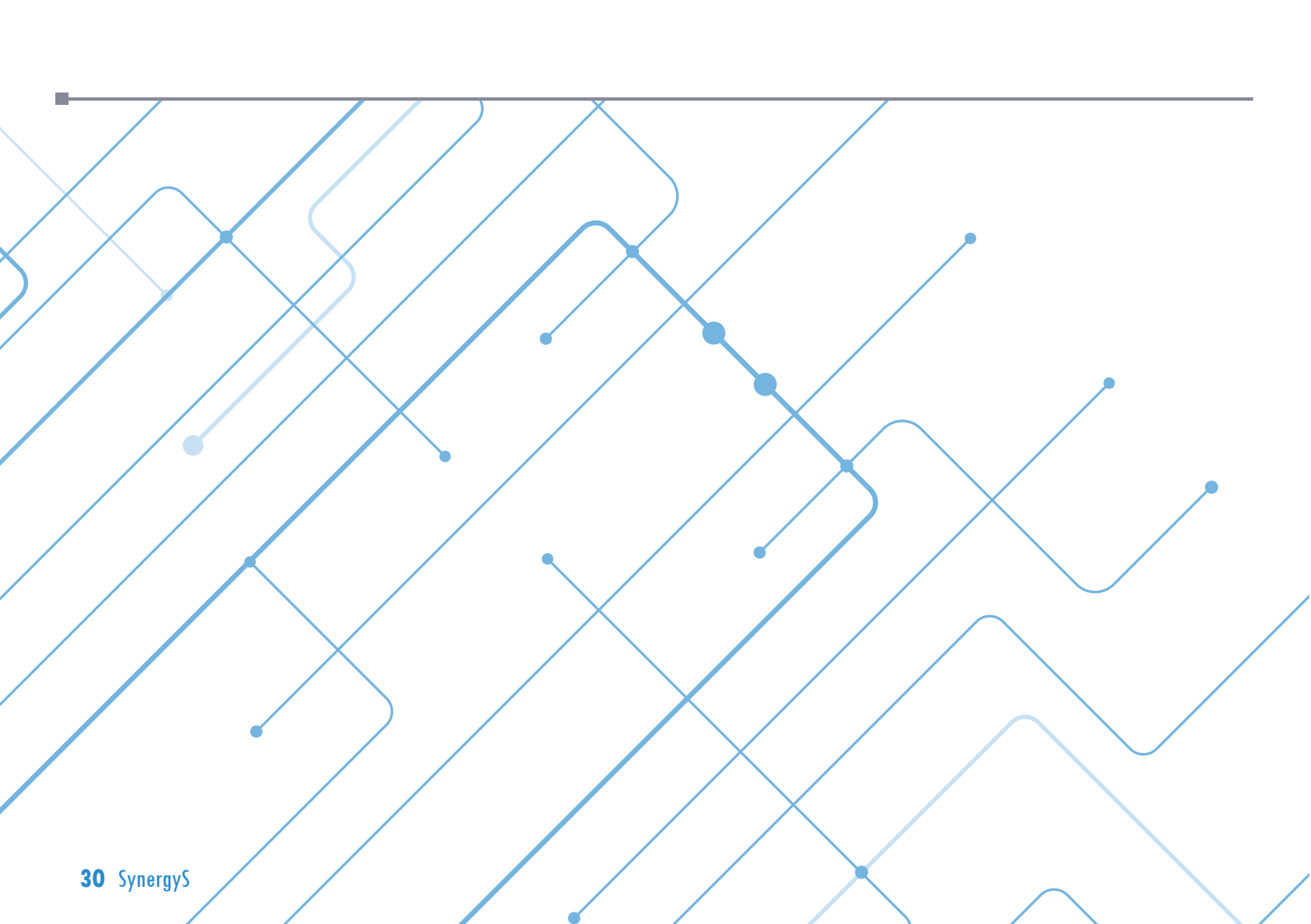




Figuur 6: Schematische weergave Groningen Seaports in ESDL studio. Cirkels met cijfers tonen de assets, de lijnen de infrastructuur (groen = elektriciteit, rood = warmte, blauw = waterstof)



Figuur 7: Schematische weergave van Energiecampus Leeuwarden en aanliggende woonwijk in ESDL studio. Cirkels met cijfers tonen de assets, de lijnen de infrastructuur (groen = elektriciteit, rood = warmte, blauw = waterstof)



De SynergyS-runs

Het in werking stellen van een SMCES is een complexe aangelegenheid. De grote diversiteit aan systemen en organisaties vraagt om nauwe afstemming. Het doel van het draaien van het SMCES, een zogenoemde SynergyS-run, is om de prestaties te testen in de praktijk. Om te bepalen of het systeem presteert, zijn in totaal zeven Key Performance Indicatoren (KPI's) vastgesteld.

Vastgestelde KPI's

De complexe dynamiek van het SMCES beschrijven we aan de hand van zeven KPI's (zie Tabel 2). De KPI's zijn opgesteld in een aantal werksessies en daarna geaccordeerd door het consortium. Na realisatie van een eerste versie van het prototype zijn de KPI's nogmaals geëvalueerd aan de hand van de beschikbare data.

KPI	Beschrijving
Verdienpotentieel	Extra opbrengsten per MW flex t.o.v. referentie – kosten van aansturingssysteem per MW flex (CAPEX).
Marktdekking	Percentage van de biedingen die door de markten gecleared zijn.
Tactische betrouwbaarheid	Percentage van de aanwezige flexibiliteit die daadwerkelijk ingeboden wordt door het jaar heen.
Asset betrouwbaarheid	Percentage van het gevraagde volume (MWh) dat (terug)geleverd is.
Lokale marktinzet	Percentage van de geclearde biedingen die door een lokale markt gecleared zijn.
Eindgebruiker emissies	CO2 emissies per verbruikte MWh t.o.v. de referentie.
Integratie hernieuwbare bronnen	Percentage van de totale opwek die door hernieuwbare bronnen (PV, wind, rest-warmte) is opgewekt.

Tabel 2: Gekozen KPI's SynergyS



Daarnaast zijn zeven modeldagen (zie Tabel 3) opgesteld op basis van de IP2024 scenario's van Netbeheer Nederland³. Elke modeldag komt overeen met een virtuele dag in het jaar 2030. De modeldagen zijn gekozen op basis van een combinatie van de hoeveelheid zon, wind, warmtevraag en vulgraad van de opslagen in het systeem. Gezamenlijk geven ze een representatief beeld van de weersomstandigheden gedurende een jaar.

Opzet van een SynergyS-run

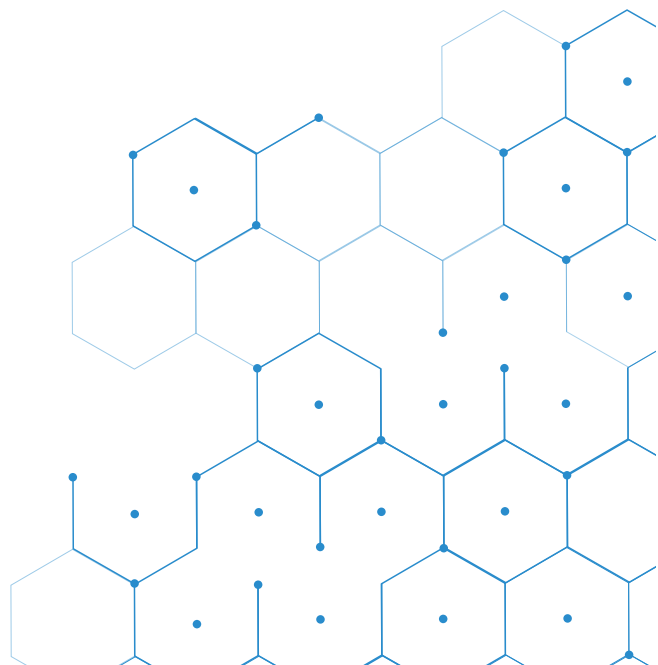
Met een SynergyS-run bedoelen we de operatie van het systeem voor een vooraf vastgestelde tijdsduur. Binnen het project is gekozen voor een looptijd van 23 uur, waarmee één uur beschikbaar blijft om het systeem voor te bereiden voor de volgende run. Zo konden er maximaal vijf runs per werkweek worden uitgevoerd. Hoewel het prototype grotendeels geautomatiseerd was, bleven enkele handmatige acties noodzakelijk. Tijdens elke run is gebruikgemaakt van een draaiboek. Zie figuur 8 (volgende pagina) voor een schematische weergave.

Elke run begint met een korte voorbereiding, waarbij systemen van de verschillende partners worden geconfigureerd. In het DWH wordt een testrun gedefinieerd met daarin de virtuele datum van de modeldag en de reële dag waarop de run wordt uitgevoerd. De tijdslijn in het plaatje toont de virtuele tijd.

Wanneer de systemen gereed zijn, beginnen agents met hun day-ahead-biedingen voor de volgende dag. Na de

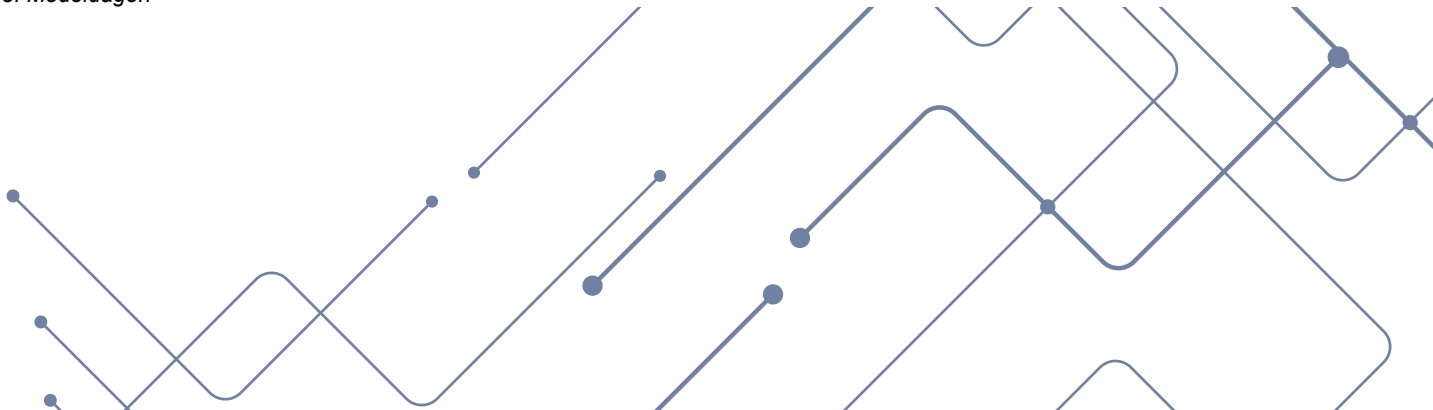
gate-closure van 23:30 verzamelt het marktpatform de day-ahead-biedingen en cleared deze. Om middernacht begint de operatie en volgen de assets de setpoints zoals deze door hun eigenaren zijn opgestuurd. Parallel aan de operatie wordt op de intra-day markt gehandeld. Dit leidt tot bijstellingen van de setpoints. Na 23 uren (23:00) stopt de operatie en worden marktresultaten en metingen verzameld voor de afrekening.

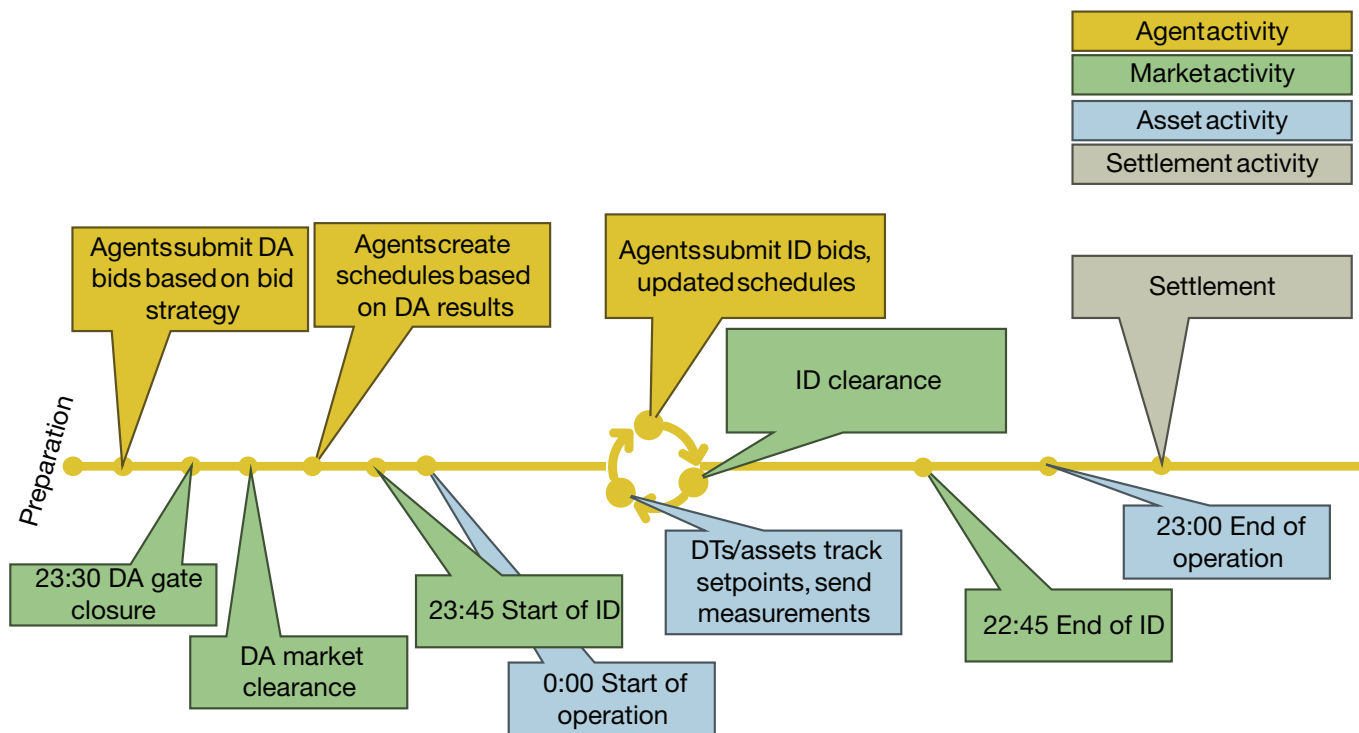
³ IP2024 scenario's van Netbeheer Nederland



Modeldag	Virtuele datum	Beschrijving
MD1	2-4-2030	Een dag met een gemiddelde hoeveelheid zon en wind en een gemiddelde warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 50%.
MD2	18-6-2030	Een dag met veel zon en wind en een lage warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 50%.
MD3	30-6-2030	Een dag met veel zon, weinig wind en een lage warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 50%.
MD4	23-6-2030	Een dag met veel zon en wind en een lage warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 90%.
MD5	5-11-2030	Een dag met weinig zon, veel wind en een hoge warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 50%.
MD6	3-12-2030	Een dag met weinig zon en wind en een hoge warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 50%.
MD7	17-11-2030	Een dag met weinig zon en wind en een hoge warmtevraag. Vulgraad van de opslagen aan het begin van de dag is 10%.

Tabel 3: Modeldagen





Figuur 8: Tijdlijn van een SynergyS-run

Data/resultaten SynergyS-runs

Tijdens de SynergyS-runs is veel data verzameld. Gezien de hoeveelheid en complexiteit van de data lichten we de belangrijkste resultaten toe aan de hand van een aantal representatieve grafieken. In de periode mei 2024 tot januari 2025 zijn in totaal 69 runs uitgevoerd. Elke run bevat 28 agents die gezamenlijk 40 assets aansturen. Uit deze 69 runs zijn 7 representatieve modeldagen gekozen waarvoor de hierboven beschreven KPI's berekend zijn. De resultaten van de KPI's lichten we later nader toe.

Modeldag januari 2025

We zoomen in op een van de modeldagen: RunR8_20250109, uitgevoerd op 9/10 januari 2025 voor modeldag 4 (23 juni 2030). Figuur 9 toont een drietal grafieken voor batterij DTWBA84F7, zonnepark DTWPV7ADA en elektrolyser DTWEL5EAB.

Biedingen

De linker kolom in figuur 9 toont de biedingen die de agent aanvankelijk instuurt naar de day-aheadmarkt. Deze biedingen komen voort uit de biedingsstrategie van de agent. Ze geven weer hoe de agent idealiter zijn asset zou aansturen. Voor de batterij hangt dit af van de verwachte prijsverschillen in de markten, terwijl de biedingen voor het zonnepark afhankelijk zijn van de weersvoorspelling.

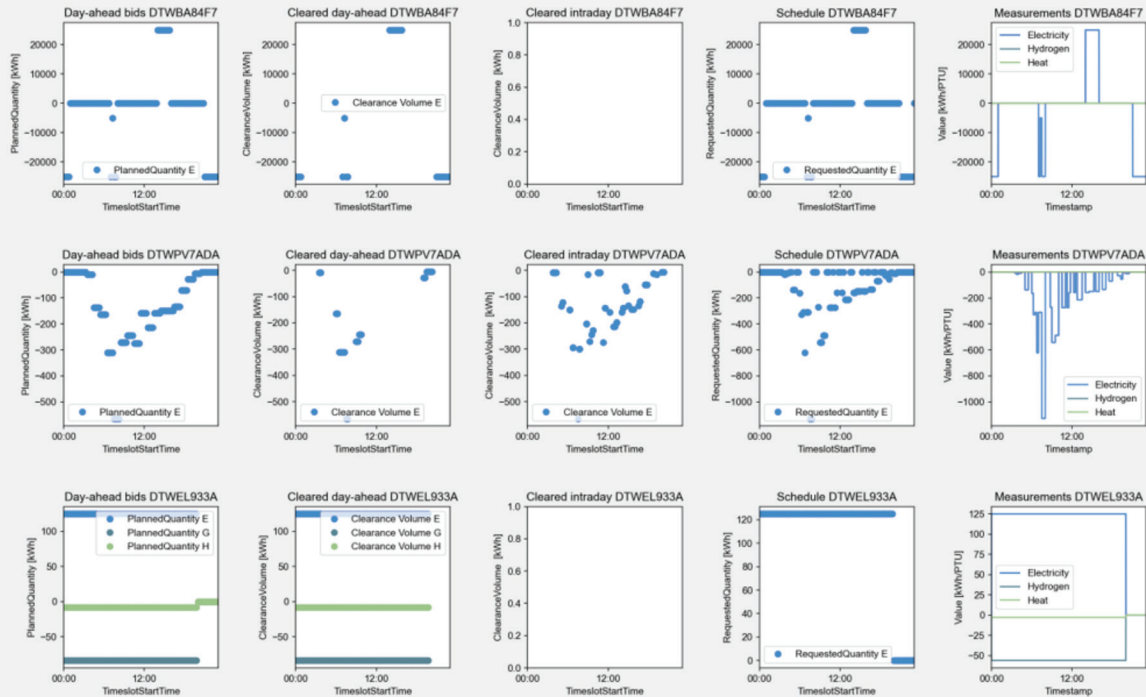
Resultaten

De tweede en derde kolom tonen de resultaten van de day-ahead en de intra-day markt. Voor de batterij en de elektrolyser worden alle biedingen al op de day-ahead markt gecleared. Voor het zonnepark wordt slechts een deel van de biedingen gecleared op één van beide markten. Doordat een deel van de biedingen voor het zonnepark niet gecleared wordt, moet het park zelfs regelmatig uitgeschakeld worden.

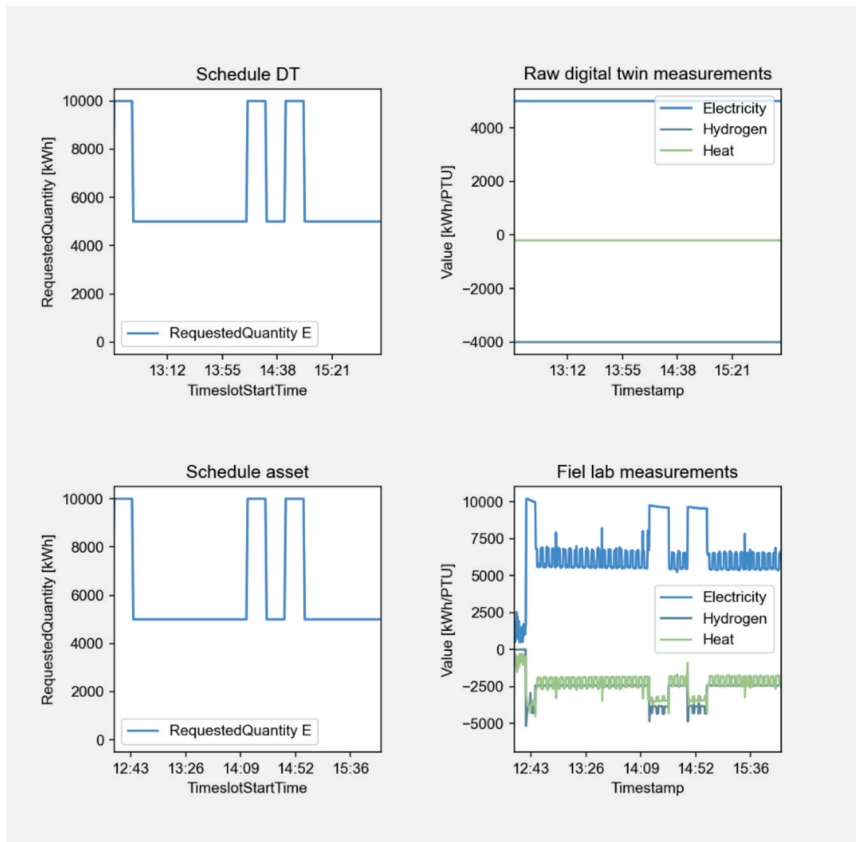
Dit is te zien in kolom 4 waar het schedule getoond wordt. Het schedule is een verzameling van 92 setpoints, één setpoint per 15 min. Het schedule volgt uit de clearance resultaten in kolom 2 en 3.

Meetwaarden

Tot slot worden in kolom 5 de meetwaarden van de assets getoond. Voor deze run waren dat digital twins. In de regel zal een digital twin zijn setpoints perfect volgen, tenzij hier bewust een verstoring wordt ingebouwd.



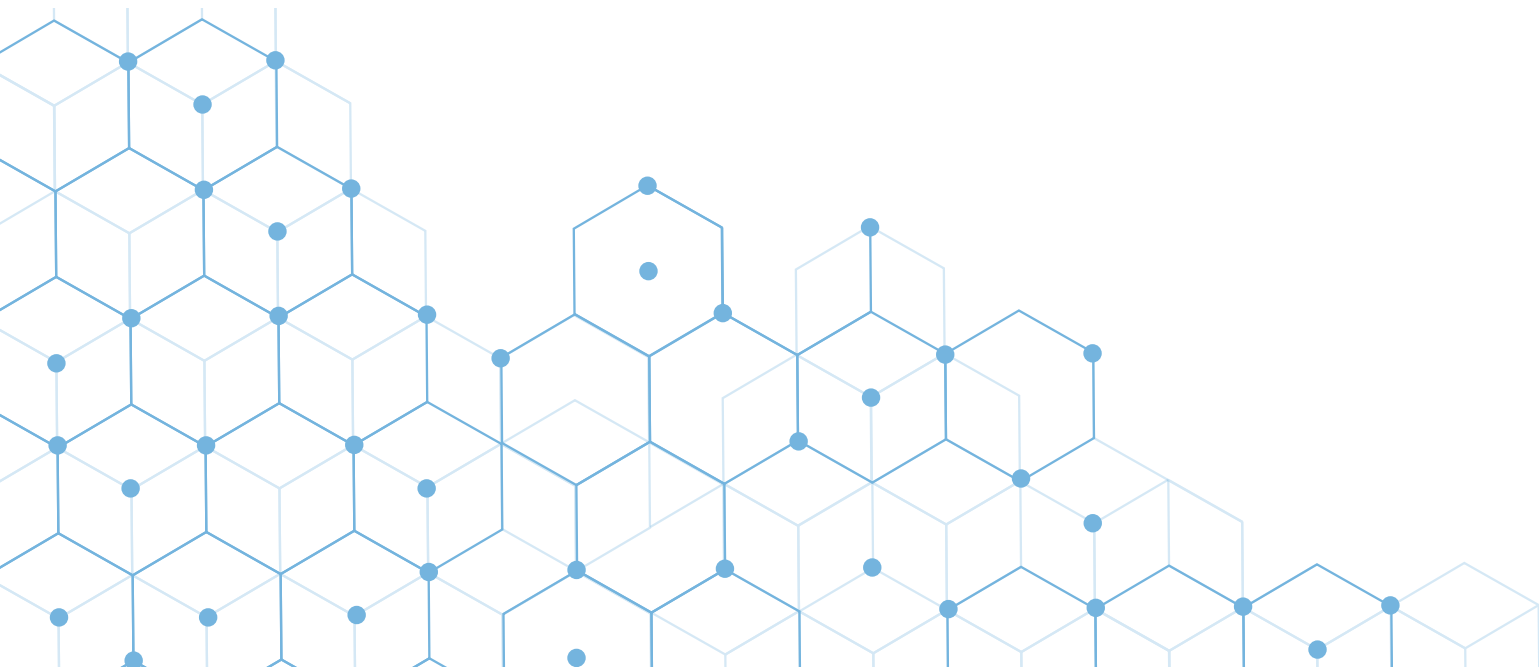
Figuur 9: Metingen modeldag 4, van links naar rechts: day-ahead biedingen, day-ahead resultaten, intra-day resultaten, schedules, meetwaarden. Van boven naar onder: batterij, zonnepark, electrolyser.



Figuur 10: Resultaten experiment met fysieke assets op 5 december 2024

Fysieke assets december 2024

Figuur 10 (vorige pagina) toont de resultaten van het experiment met fysieke assets van 5 december 2024. De linker grafiek toont de setpoints voor elektrische input van de electrolyser, de rechter grafiek toont de meetwaarden. Wat opvalt bij de fysieke metingen, is de grote ruis in de elektriciteitsmetingen. De piekvraag uit het schedule werden door de fysieke asset goed gevolgd worden, al behaalde deze niet geheel de gevraagde waarde.

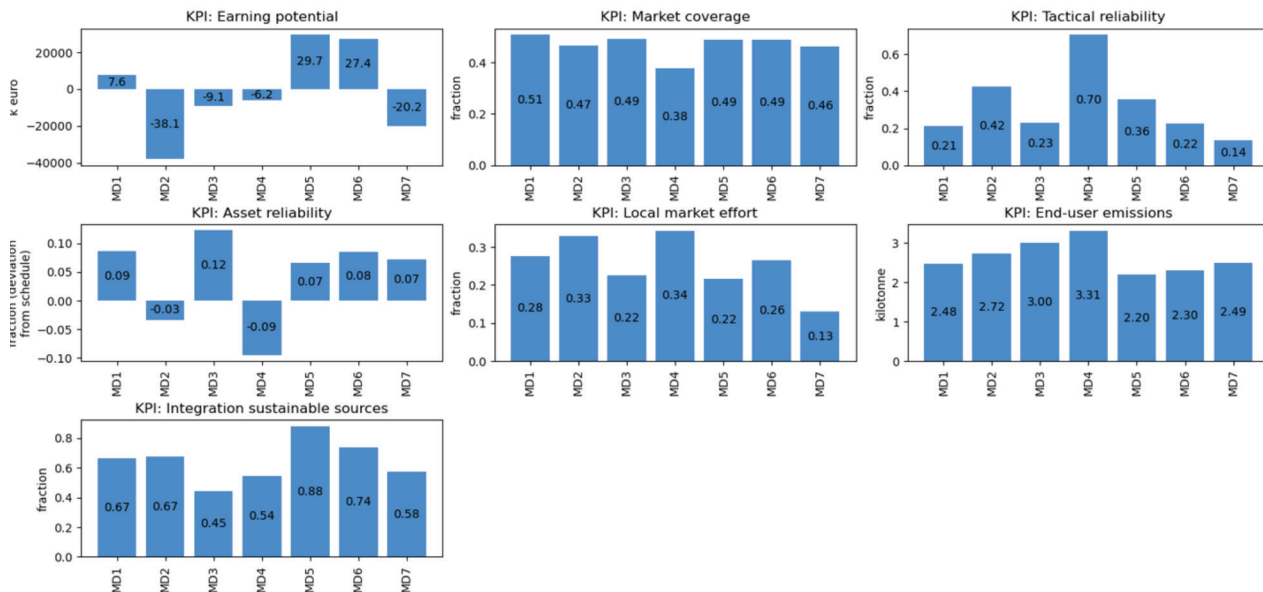


Resultaten KPI's

Een aantal van de Key Performance Indicators zijn gedefinieerd ten opzichte van een referentie, waarin geen SMCES aansturing aanwezig is. Het uitschakelen van de SMCES aansturing bleek echter niet haalbaar binnen de gerealiseerde experimenteertomgeving. In het R9-

deelrapport⁴ wordt hier nader op ingegaan en worden de technische en economische haalbaarheid nader toegelicht. Figuur 11 laat de berekende KPI's voor de zeven modeldagen zien.

⁴ R9-deelrapport op te vragen via info@entrance.eu



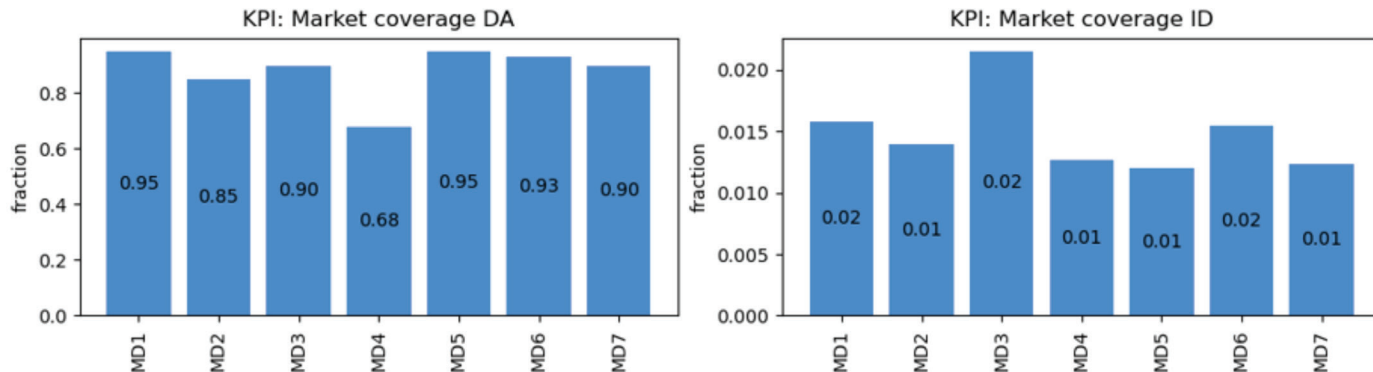
Figuur 11: Berekende KPI's voor de zeven modeldagen

Marktdkking

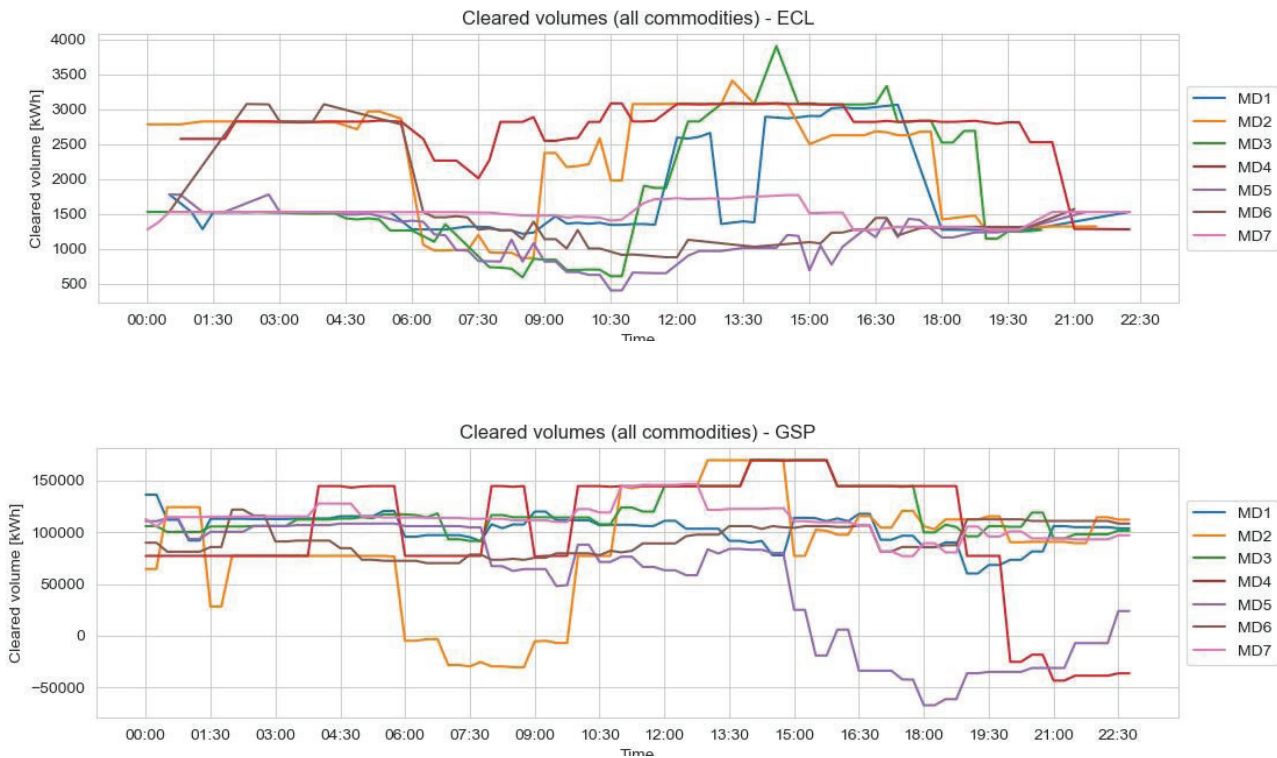
De KPI marktdkking geeft weer hoeveel procent van alle biedingen gecleared zijn. Met 50% is deze dekking aan de lage kant. De verklaring hiervoor zie je in Figuur 12. Hier zie je dat op de day-ahead markt 68-95% gecleared wordt, terwijl dit voor de intra-day rond de 1-2% schommelt. Verklaring hiervoor is dat agents hun biedingen zowel naar day-ahead als intra-day stuurden, onafhankelijk van of deze day-ahead biedingen al gecleared waren. Dit is na afronding van de experimenten gesignaleerd en kon niet meer worden aangepast. Daardoor valt de KPI marktdkking lager uit dan verwacht.

Tactische betrouwbaarheid

De tactische betrouwbaarheid toont hoeveel van de beschikbare flexibiliteit in het systeem aangeboden wordt op de markten. Voor de beschikbare flexibiliteit is aangenomen dat assets volledig flexibel inzetbaar zijn, tenzij de BDI-analyse daar een uitzondering op gaf (zogenaamde must-run assets). Hoewel deze KPI over het algemeen goed te berekenen is, heeft het weer een grote invloed heeft op het resultaat. Voor weersafhankelijke productie is de beschikbare flexibiliteit gerelateerd aan het piekvermogen, terwijl deze alleen onder gunstige weeromstandigheden behaald kan worden. Binnen het SMCES had wind een relatief groot aandeel, wat zich vertaalt naar een hogere tactische betrouwbaarheid voor windiger dagen (MD2, MD4, MD5).



Figuur 12: Marktdkking day-ahead en intra-day



Figuur 13: Totaal geclearde volumes per modeldag voor ECL (boven) en GSP (onder)

Asset betrouwbaarheid

De asset betrouwbaarheid geeft weer in hoeverre de assets hun setpoints gevolgd hebben. Deze KPI fluctueert tussen de -9 en +12%, wat redelijk betrouwbaar lijkt voor een prototype van TRL4/5.

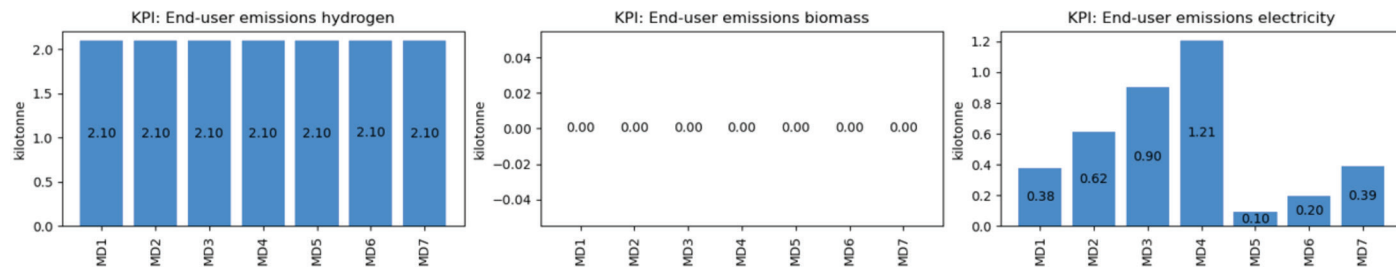
Lokale marktinzet

De lokale marktinzet geeft aan hoeveel procent van de geclearde biedingen door een lokale markt gecleared zijn. Op het middelste plaatje van Figuur 11 (local market effort) is te zien dat zo'n 30% van alle geclearde biedingen op de lokale markten gecleared is. Dat er slechts 30% lokaal gecleared wordt, lijkt het resultaat van onbalans binnen de clusters. Wanneer de vraag groter is dan het aanbod en vice versa, wordt het merendeel van de energie extern in-/verkocht. Figuur 13 illustreert dit. Hierin zie je de totale geclearde volumes in Energiecampus Leeuwarden en

Groningen Seaports. Bij een waarde niet gelijk aan nul is er geen lokale balans, waardoor de lokale marktinzet daalt.

Eindegebruiker emissies

Er zijn twee bronnen voor eindgebruiker emissies: de elektriciteitsmix van het landelijk net en de waterstofmix van het landelijke net. De biomassa centrale in het GSP cluster is tijdens de runs niet ingeschakeld, waarmee deze geen uitstoot heeft gehad. De overige assets in beide clusters hebben geen directe emissies. De emissiefactoren voor de landelijke netten is gebaseerd op www.co2emissiefactoren.nl (d.d. januari 2024). De gemiddelde hoge emissies voor 2030 komen uit het Net Zero Emissions scenario van de World Energy Outlook 2023. In Figuur 14 zie je de emissies per bron. Het grootste deel van de emissies komt van de geïmporteerde waterstof. De rest komt voor rekening van de elektriciteitsmix.



Figuur 14: Eindgebruiker emissies voor het landelijke waterstofmix (links), de biomassa centrale (midden) en landelijke elektriciteitsmix (rechts)

Integratie hernieuwbare bronnen

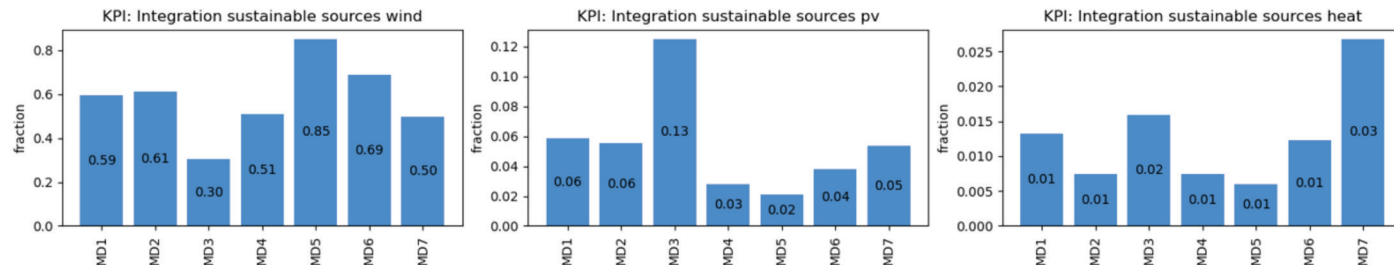
Tot slot hebben we voor drie hernieuwbare bronnen (wind, zonnepanelen, restwarmte) gekeken wat hun aandeel is in de op de markten geclearde energievolumes. Opvallend is dat de resultaten niet 1-op-1 te relateren zijn aan de weersomstandigheden. Dit was bij deze drie bronnen wel de verwachting. Wind heeft het grootste aandeel op de markt, gevolgd door zonnepanelen en restwarmte.

Leerpunten KPI's

Tijdens de evaluatie van het SCMES bleek het lastig, zo niet onmogelijk, om de (zeer) complexe systeemdynamiek te vangen in zeven statische getallen. De interpretatie van getallen en trends vraagt om de mogelijkheid de KPI's

nader te ontleden. Een interactief dashboard leent zich daar beter voor dan een (schriftelijk) rapport. Keerzijde is dat de ontwikkeling van een dergelijk dashboard een aanzienlijke investering vraagt, die ten koste (kan) gaan van het prototype.

Een ander leerpunt is de waarde van visualisaties in de ontwikkeling van het prototype. In dit project begonnen we met het berekenen van KPI's en de visualisaties daarvan tijdens de evaluatie. Hoewel de data vanaf het begin beschikbaar was, bleken nieuwe visualisaties/grafieken een sterk hulpmiddel te zijn in de doorontwikkeling van het prototype.



Figuur 15: Aandeel van duurzame bronnen t.o.v. de geclearde energievolumes voor wind (links), zon (midden) en restwarmte (rechts)

Evaluatie SMCES

Het SMCES is geëvalueerd op basis van de 1) operationele prestaties, 2) technische haalbaarheid en 3) economische haalbaarheid. Deze worden hieronder nader toegelicht.

Operationele prestaties

We zijn geen onoverkomelijk barrières tegengekomen om SMCES robuust, veilig, betaalbaar en betrouwbaar in te zetten in het Nederlandse energiesysteem. Dit concluderen we uit een beoordeling van de operationele prestaties van het SMCES op verhandelde marktvolumes, tactische- en asset betrouwbaarheid.

Afhankelijk van de context van de aansturing door het SMCES, zijn er nog wel stappen te zetten. Op de locaties GSP en ECL zien we dat zo'n 30% van alle handel lokaal plaatsvindt. Waarbij er wel een stevige financiële prikkel tot lokaal afstemmen is.

Technische haalbaarheid

Op basis van de bevindingen op de twee locaties kunnen we concluderen dat ter verbetering van de technische haalbaarheid van het SMCES-systeem de volgende punten in ogenschouw moeten worden genomen:

1. Gebruik van standaarden: Het implementeren van gestandaardiseerde protocollen zorgt voor een consistente en betrouwbare communicatie tussen verschillende systemen en componenten, wat de interoperabiliteit en efficiëntie verhoogt.
2. Betere documentatie: Uitgebreide en duidelijke documentatie is essentieel om de implementatie en het onderhoud van systemen te vergemakkelijken. Dit helpt niet alleen huidige ontwikkelaars, maar ook toekomstige teams die met het systeem zullen werken.
3. Afstemming lokale (veiligheids)logica ten opzichte van slimme aansturing van buitenaf: Het is cruciaal om lokale veiligheidslogica goed af te stemmen met externe slimme aansturing om de veiligheid en betrouwbaarheid van het systeem te waarborgen. Dit voorkomt conflicten en zorgt voor een naadloze integratie van verschillende controlelagen.
4. Verspreiding van functionaliteit: Het verdelen van functionaliteit over verschillende componenten en systemen kan de robuustheid en flexibiliteit van het geheel verbeteren. Dit maakt het systeem beter schaalbaar en te onderhouden.

Economische haalbaarheid

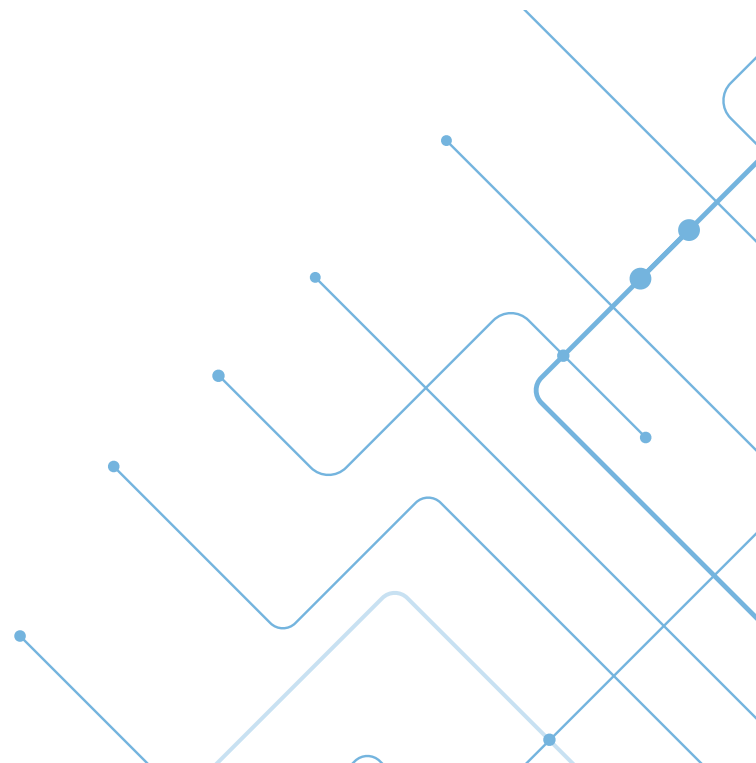
De scenario's voor het Nederlandse energiesysteem in 2030⁵ geven aan dat er veel behoefte is aan flexibiliteit. Zowel lokaal als richting het hoogspanningsnet. Er is echter nog onzekerheid over de precieze prikkels die ervoor moeten zorgen dat het co-optimaliseren over verschillende assets en energiedragers economisch aantrekkelijk is. We verwachten daarbij dat de aanleiding om een SMCES te overwegen lokaal bepaald wordt. Denk bijvoorbeeld aan congestie of een gezamenlijke verantwoordelijkheid voor de warmtevoorziening.

Afhankelijk van het type activiteiten en de hoeveelheid flexibiliteit die er binnen en buiten het systeem beschikbaar is, worden de eisen aan een SMCES anders. Zo moeten afspraken worden gemaakt over hoe integrale risicoanalyses worden gedaan en moeten de randvoorwaarden goed geregeld worden.

Op dit moment is lokale sturing nog geen noodzaak in het Nederlandse energiesysteem en daarmee is er ook nog geen reden om een SMCES te installeren. Diverse scenario's wijzen echter op de noodzaak van decentrale besturing op langere termijn en aangezien het tijd kost om tot een hoger TRL-niveau te komen, is het toch belangrijk

om de ontwikkeling van SMCES door te zetten en niet af te wachten. Een logische eerste stap zou zijn om het SynergyS SMCES in te zetten in een energiehubs met een beperkt aantal spelers en één of twee energiedragers.

⁵ Ref I13050, zie <https://www.tennet.eu/nl/over-tennet/publicaties/integrale-infrastructuurverkenning-2030-2050>.
Flexibiliteitsbehoefte: tabel 6, pagina 44.



Lessons learned

- Bij de opzet van lokale markten is het van belang dat de lokale clusters goed zijn gebalanceerd. Als er veel aanbod is van een bepaalde energiedrager en geen vraag, functioneert de lokale markt niet. Omgekeerd geldt hetzelfde. Tijdens de analyse van Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden bleek dat beide clusters niet goed in balans waren. In Groningen Seaports was een tekort aan stroom en waterstof en een overschot aan warmte. Om toch een zinvolle simulatie te kunnen doen, hebben we kunstmatig de balans aangepast.
- De keuze voor modeldagen werkte goed. Daarnaast zijn er 8 dagen met extreme omstandigheden bedacht voor stresstesten van het systeem. Deze bleken achteraf geen toegevoegde waarde te hebben.
- Bij de start van het project werkte het goed om gezamenlijk de KPI's te bepalen; dit bracht focus in het project. De gekozen set paste echter niet volledig bij het uiteindelijke systeem dat gebouwd is. Sommige KPI's bleken lastig berekenbaar, andere waren meteen voorspelbaar door keuzes in het marktontwerp. De set is in een later stadium aangepast en deze gewijzigde set is gebruikt in alle simulaties.
- De keuze voor BDI was goed en heeft snel geleid tot ontwerpkeuzes voor de agents. Ook de adoptie van ESDL heeft goed gewerkt. Op deze manier waren alle details van een simulatiedag op één centrale plek gedefinieerd. We hebben ervaren dat een SMCES een complex systeem is. Zeker in combinatie met hardware-in-the-loop simulaties, bleek er snel een fout in te kunnen sluipen. Hierdoor hebben we veel tijd besteed aan het integreren en aan de praat krijgen van het totale systeem. Dit was zwaar onderschat in het projectplan.
- Hoewel een computersimulatie veel sneller is en beter beheersbaar, had het veel toegevoegde waarde om met fysieke assets te werken. De 'nukken' van echte assets die optraden, zouden we nooit in een simulatie hebben gezien. Dit maakt dat we steeds focus hadden op het maken van een robuust systeem.
- Door de gekozen aanpak zijn we onvoldoende in staat geweest om alle mogelijke configuraties van een SMCES goed door te rekenen en harde uitspraken te doen over een optimaal marktontwerp. Waarschijnlijk zou een volledige computersimulatie voor dit doel beter gewerkt hebben.
- Bij verdere ontwikkeling is het relevant om verschil te maken in de implementatie bij industriële complexen en in woonwijken. Deze hebben zowel technisch als commercieel dermate verschillende focusgebieden dat we er niet vanuit kunnen gaan dat deze parallel aan elkaar blijven lopen bij de implementatie.

De belofte van SMCES

Het huidige energiesysteem is gebaseerd op een verleden van centrale (fossiele) opwekking en voorspelbaar verbruik. Inmiddels is er echter veel decentrale, weersafhankelijke energieopwek bijgekomen, en gebruiken verwarming, vervoer en industrie steeds vaker elektriciteit. Hierdoor is het karakter van het energiesysteem wezenlijk veranderd en zijn oude, centrale sturingsmechanismes niet meer vanzelfsprekend. Door de veelheid van stuurbare assets, die autonoom reageren op allerlei prikkels, zien we problemen ontstaan rond balanceren en congestie. Centrale sturing van al deze assets is veel te complex; we moeten naar een ander paradigma.

De aanwezige flexibiliteit in assets en processen is de sleutel naar betere stuurbaarheid van het energiesysteem. Het is echter niet makkelijk om deze flexibiliteit aan te boren en op de juiste manier in te zetten. We zien nu vaak dat flexibiliteit wordt 'vastgezet' in contracten of anderszins wordt beperkt om de huidige sturingsparadigma's overeind te houden.

SynergyS gaat uit van het holarchie-principe : zelfregelende clusters (holonen) die vanuit een bovenliggende hiërarchische laag randvoorwaarden meekrijgen of worden bijgestuurd. We combineren dat met een lokale markt met vrije toetreding. Dat heeft als voordeel dat partijen deel kunnen nemen aan de lokale uitwisseling zonder dat ze aan elkaar gebonden zijn via contracten. Op deze manier wordt flexibiliteit altijd

daar ingezet waar ze het meest nodig is, en levert dit de meest optimale sturing.

Er zijn al diverse energie-hubs in ontwikkeling en er wordt geëxperimenteerd met nieuwe contractvormen, veelal gedreven door de huidige congestieproblematiek en dus met focus op elektriciteit. Voor deze elektriciteits georiënteerde energiehub ontstaat een markt voor ontwerp/simulatie tooling en er zijn diverse aanbieders van sturing. SynergyS gaat een stap verder: de software-oplossing die binnen het SynergyS-project is ontwikkeld, is een eerste versie van een operationeel multi-commodity systeem. Het kan helpen om de energie hubs door te ontwikkelen naar volwaardige lokale, multi-commodity clusters.

Niet alle problemen in het huidige energiesysteem kunnen met een SMCES worden opgelost; zolang een groot deel van onze energie op de Noordzee wordt opgewekt is er nu eenmaal extra transportcapaciteit nodig. Wel kan een SMCES helpen om alle beschikbare transport- opslag- en conversiecapaciteit integraal te optimaliseren en zo optimaal in te zetten. Het holarchie-principe is schaalbaar en kan uitgroeien van kleine lokale implementaties naar een landelijk systeem. Juist daarom roepen we op om de stap te zetten van een proeftuinomgeving naar een praktijkimplementatie om het SMCES verder te ontwikkelen en op het vereiste TRL-niveau te komen voor grootschalige toepassing.

Het team

Het SynergyS-team bestond uit tien projectpartners in een publiek-private samenwerking. Het is een zeer diverse groep, waarin elke partner zeer specifieke kennis en kunde bijdroeg die noodzakelijk was voor de ontwikkeling van een operationeel SMCES, zoals dat naar verwachting nodig zal zijn om het energiesysteem van de toekomst aan te sturen.

Naam projectpartner	Type organisatie	Rol in het project
Hanze	Kennisinstelling	Penvoerder, systeemintegratie en aansturing, fysieke en virtuele experimenten, systeemprestatie-analyse.
Technische Universiteit Delft	Kennisinstelling	Regelalgoritmen, digital twins, fysieke en virtuele experimenten.
Rijksuniversiteit Groningen	Kennisinstelling	Biedstrategieën en optimalisaties.
TNO	Kennisinstelling	Modellering lokale clusters GSP en ECL en energiestromen, meteorologische prognoses, regelalgoritmen, biedstrategieën, prestatie-analyse.
Groningen Seaports	Grote onderneming	Aanleveren energiedata, assetdimensies en randvoorwaarden voor het industriële cluster.
Emerson	Grote onderneming	Advies industriële schaal meet- en regelapparatuur.
GAIN	MKB	Industriële automatisering, centraal software platform, regel algoritmen, IT-communicatie protocol, datawarehouse.
Enshore	MKB	Afhandeling marktprocessen en settlement.
Eneve	MKB	Marktplatform en marktprocessen, biedingen afhandelen.
D4	MKB	Aanleveren energiedata en input voor de systeemmodellering voor het stedelijke cluster (Leeuwarden).

Tabel 3: Projectpartners

Hanze en TU Delft

Vanuit de Hanze en TU Delft werden de twee grootste onderzoeksproeftuinen in Nederland gebruikt in het project: The Green Village op de TU Delft Campus en de industriële proeftuin van Entrance op de Zernike Campus in Groningen. Hierdoor had het project toegang tot fysieke assets zoals electrolysers, brandstofcellen, zon- en windopwek, batterijopslag en warmte-infra. TU Delft heeft digital twins voor de assets in beide clusters ontwikkeld. Hanze had de overall projectleiding en de rol van penvoerder.

TNO

TNO droeg expertise bij op het gebied van modeleren van energiestromen voor zowel industriële als stedelijke clusters. Hiervoor werd onder andere de door TNO ontwikkelde open source software EDSL en ESSIM gebruikt en de BDI methode Beliefs Desires and Intentions, om het gedrag van assets en agents te beschrijven. Het EDSL-model beschrijft de koppeling van de assets en infrastructuur.

Groningen Seaports en Energiecampus Leeuwarden

Groningen Seaports en D4 leverden de praktijkcases met de informatie over de huidige assets en de toekomstscenario's. Groningen Seaports is een van de vijf grote industriële clusters in Nederland en heeft de ambitie om de infrastructuur aan te passen voor de verduurzaming van de plaatselijke zware industrie. Energiecampus Leeuwarden is een stedelijk cluster, waar nu al congestie optreedt. De ontwikkeling van een SMCES zou door analyse en slim schakelen bij kunnen

dragen aan oplossingen op de beide locaties.

Gain

De combinatie van het digitale en fysieke systeem werd centraal aangestuurd vanuit de Datawarehouse, ontwikkeld door Gain. Zij brengen de noodzakelijke expertise vanuit de industriële automatisering mee op het gebied van Distributed Control Systems (DCS) voor real time aansturing. Als softwareplatform werd onder andere AspenTech ingezet.

Eneve

De keuzes om bepaalde assets aan- of af te schakelen of bijvoorbeeld meer of minder waterstof te maken of gebruiken, werden gestuurd vanuit een marktgedreven systeem, ontwikkeld door Eneve. Hierin kunnen agents inbieden op de day-ahead en intra-day markten voor elektriciteit, waterstof en warmte. Eneve bracht de specifieke kennis op het gebied van energie commodity marktplatforms en de E-base software.

RUG

Het gedrag van de agents werd geoptimaliseerd aan de hand van nieuwe algoritmes, die zijn ontwikkeld door de Rijksuniversiteit Groningen.

Enshore

De uiteindelijke financiële settlement is het expertise gebied van Enshore. Zij ontwierpen het systeem van waaruit de settlement tussen de agents voor daadwerkelijk geleverde en afgenomen energie en de facturatie geregeld werd.



Colofon

Het SynergS-project is uitgevoerd met subsidie van Topsector Energie (Systeemintegratie) van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.

Projectnaam: SynergyS II; Smart multi-commodity eNERGy sYstemS.

RVO referentie nummer TSYS222002



