

1600 MW Virtuele Energiecentrale in Zeeland

In het vierde jaar van de multidisciplinaire MSc-opleiding Sustainable Energy Technology (SET) aan de TU Eindhoven vormt het *System Integration Project* een kernvak. Gebaseerd op Challenge Based Learning verkennen studenten via een concrete vraag uit de praktijk een nieuw gedeelte van het energie-domein door eigen literatuuronderzoek en berekeningen en formuleren een advies.

Twee KIVI-ingenieurs, Koen Huizer en Richard Overkamp, hebben een challenge geformuleerd voor zes SET-studenten: is het technisch, economisch en geografisch haalbaar om de elektriciteitsproductie van een 1600 MW EPR-III kerncentrale te emuleren met combinatie van windenergie en zonne-energie, opslagsystemen en één centraal energimanagement?

Virtual Power Plant

Een Virtuele Energiecentrale is een systeem om gedistribueerde energiebronnen en/of opslagbronnen te managen zodat deze functioneren als één energiecentrale. Een dergelijk centraal gecoördineerd netwerk van assets staat in de literatuur bekend als een *Virtual Power Plant* (VPP). Het emuleren van het hoge constante 1600 MW vermogen en de hoge leveringszekerheid van een baseload kerncentrale is helemaal nieuw. Een EPR-III kerncentrale produceert 11 maanden van een jaar en heeft een stop van een maand om een deel van de brandstofstaven te wisselen. Dit levert per jaar 8000 vollasturen op en 12,8 terawattuur (TWh, 46,1 PJ) energie.

De challenge werd toegespitst op Zeeland omdat Borssele één van de mogelijke locaties is voor een nieuwe kerncentrale.

Om alternatieven te beoordelen, hebben de studenten zelf een gedetailleerd en interactief simulatieprogramma ontwikkeld. Dit programma maakt de gevolgen van uiteenlopende systeemkeuzes inzichtelijk qua technische, economische, geografische en sociale aspecten. Met een resolutie van 1 uur worden weersafhankelijke energieproductie en het management van batterijsystemen, elektrolyzers, waterstofgas opslag en gasturbine centrales gesimuleerd. Tegelijk wordt de impact qua ruimte en qua netbelasting ingeschat.

Met ook de Multi Criterium Analyse (MCA) in het programma zijn verschillende VPP-varianten en de baseline systematisch onderzocht.

Voor de financiële analyse is uitgegaan van vaste kostprijzen op prijspeil 2026; het toevoegen van prijsontwikkelingen en marktscenario's tussen nu en 2050 toe lieten de 4 maanden van het onderzoek niet toe.

De VPP scenario's

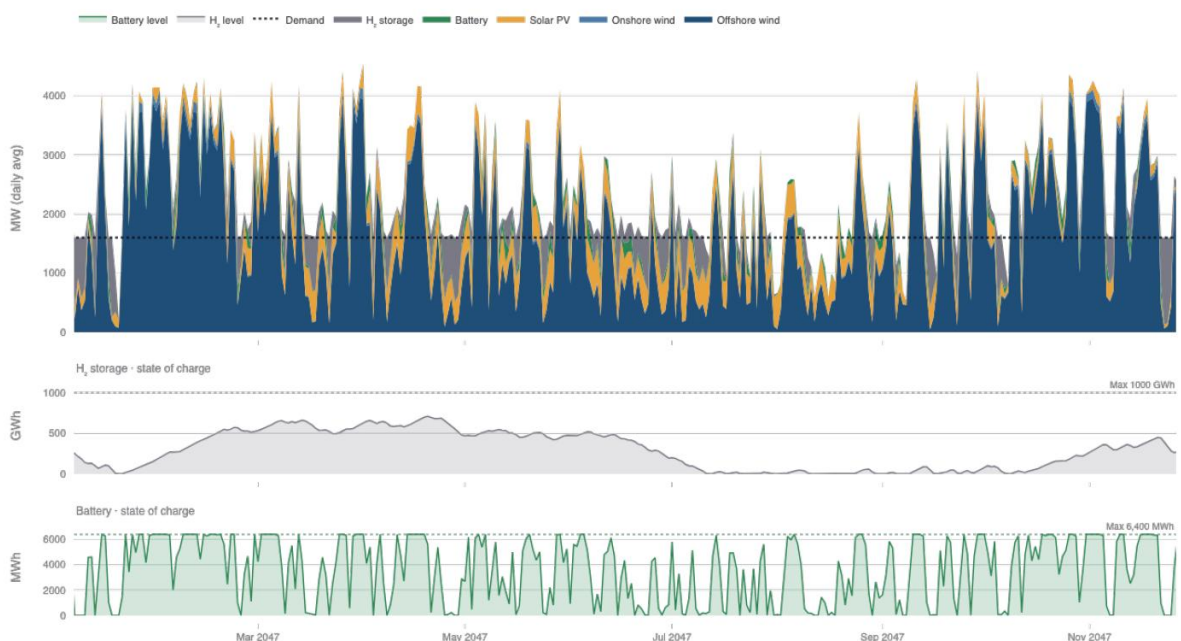
Concept 1 gebalanceerde mix, concept 2 hoog aandeel zonne-energie, concept 3 hoog aandeel offshore wind en een Gemini-AI concept

Subsystem	Concept 1	Concept 2	Concept 3	AI Concept
Onshore wind (MW)	250	200	150	300
Offshore wind (MW)	3000	3000	4000	2000
Solar PV (MW)	3600	5000	2200	3900
Battery power (MW)	1600	1600	1600	1950
Battery duration (h)	7	5	4	4
Electrolyser (MW)	1700	1850	1700	1000
Hydrogen-fired gas turbine (MW)	1700	1850	1700	1000

Gedurende het project traden de KIVI-ingenieurs op als coaches. Zij beantwoordden vragen, gaven uitleg over de werking van het bestaande energiesysteem en dachten mee over de inzetbaarheid en inpassing van de nieuwe duurzame systeemdelen.

De kosten van noodzakelijk 2 GW offshore HVDC verbindingen zijn meegeteld in de off shore wind kosten van de VPP concepten. Qua onshore wind is uitsluitend gebruik gemaakt van het extra vermogen dat ontstaat als bestaande windturbines vervangen worden door nieuwe grotere windturbines (repowering).

Na onderzoeken van negen grootschalige opslagsystemen is gekozen voor lithium ijzerfosfaat batterijsystemen. Bij alle zonneparken en zonnedaken zijn batterijsystemen geplaatst voor optimaal gebruiken van de geproduceerde zonne-energie en ook op de centrale locatie. Overmaat aan elektriciteit gaat naar een centraal elektrolyserpark. Voor alle concepten is een 3000 MWh lokale opslag van waterstofgas aangenomen en een toegang tot de geplande Hydrogen Backbone voor langere termijn opslag en later weer afnemen van waterstofgas voor de back-up (STEG) centrales.



Onderzoeksresultaten

Het produceren van 12,8 TWh elektriciteit met een vrijwel constant 1600 MW vermogen in Zeeland is technisch haalbaar met een Virtuele Energiecentrale gebaseerd op offshore

windparken en grootschalige zonne-energie systemen. Er is grootschalige energieopslag nodig. In feite is alleen het VPP energiemanagement een nieuwe technologie.

VPP concept 3 met 4 GW offshore windparken haalt de hoogste MCA score.

De VPP concepten presteren sterk op

- Snellere stapsgewijze implementatie dus eerdere start van de elektriciteitsproductie en al in 2040 in staat om 1600 MW gedurende 8000 uur te produceren
- In de tijd verdeelde investeringen
- De VPP realiseert tot 2050 een minstens twee keer zo grote cumulatieve reductie van CO₂-emissies (ca. 8 megaton CO₂ t.o.v. ca. 4 megaton CO₂ bij de kerncentrale). Duurzame bronnen worden stapsgewijs gebouwd en beginnen kort erop met CO₂-vrij produceren. Een kerncentrale gaat pas na een lange vergunningen- en bouwtijd CO₂-vrij produceren.
- Meer dan 8000 vollasturen zijn mogelijk
- De VPP's kennen veel lagere en overzichtelijkere End-of-Life kosten. Zonnepanelen, batterijen, windturbines en vermogenselektronica zijn nu al bijna geheel recyclebaar. Windturbineproducenten in Denemarken hebben ontwerp oplossingen gevonden zodat alle materiaal van turbinebladen herbruikbaar wordt. In schril contrast hiermee staan de benodigde COVRA-uitbreiding in Vlissingen en de complexe ontmanteling van een kerncentrale plus de nog te ontwikkelen oplossing voor zeer langdurige opslag van alle radioactieve afval.

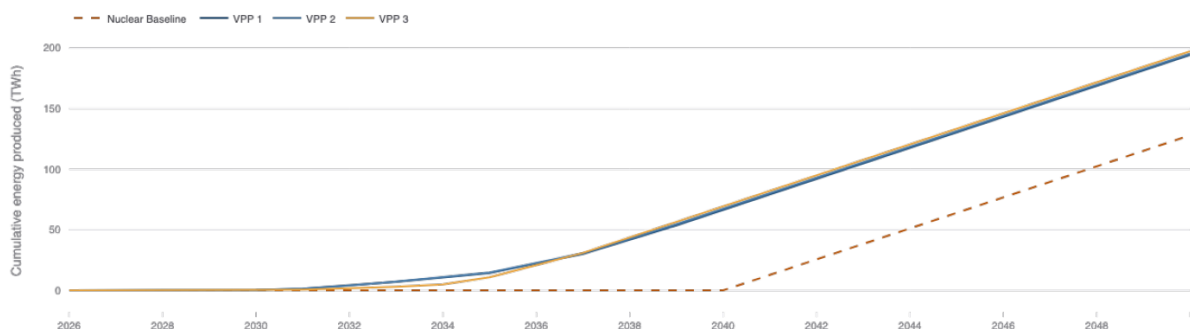


Figure 5.3: Cumulative electricity production 2024–2050

Er zijn wel belangrijke aandachtspunten

- Een VPP neemt fysiek aanzienlijk meer ruimte in (met op land zonneparken en op zee windparken) dan de compacte footprint van een kerncentrale.
- De investeringskosten (CAPEX) van de VPP concepten zijn in dezelfde grootteorde als een EPR-III kerncentrale, mede omdat 2x HVDC is meegeteld en nieuwbouw van gascentrales in Zeeland nodig is.
- 1600 MW gedurende 8000 uur per jaar garanderen, vereist een VPP met flinke overcapaciteit (circa 8000 MW totaal geïnstalleerd vermogen). De VPP concepten bevatten voor ruim voldoende vermogen aan nieuwe waterstof gascentrales wat een 100% redundantie geeft.
- Er zijn op veel plaatsen netverzwaringen nodig
- De Hydrogen Backbone moet op tijd in Borssele beschikbaar zijn om waterstofgas back-up systeem te laten werken.

Artificial Intelligence is niet meer te negeren

AI-tools spelen een steeds grotere rol bij het ontsluiten van kennis en data. Een nevendoelstelling van het onderzoek was het evalueren van Artificial Intelligence (Gemini-AI) bij het ontwerpen van een VPP.

- Bij de start van het onderzoek leverde Gemini-AI een systeemontwerp op dat na controle met simulaties technisch niet aan de 1600MW-eis voldeed.
- Uit een beknopte kwaliteits- en consistentiecheck bleek dat de gratis versie (Gemini 3 Flash) te onbetrouwbaar en oppervlakkig is voor de ontwikkeling en validatie het complexe energiesysteem. De geavanceerdere betaalde versie (Gemini 3.1 Pro) leverde weliswaar consistentere en cijfermatig onderbouwde resultaten op; leverde uit zichzelf een ontwerp dat voldeed aan de 12,8TWh eis, maar niet aan de 1600MW eis.
- AI vereenvoudigt het snel doorzoeken en synthetiseren van inhoudelijke informatie uit de enorme hoeveelheid informatie op internet. Het correct wetenschappelijk verantwoord vermelden van bronnen blijft echter een belangrijk zwak punt.
- Door gebruik van de Gemini, Claude en ChatGPT AI-tools bij ontsluiten van openbare informatie en databronnen en integreren van databronnen in het zelf ontwikkelde simulatieprogramma zijn processen sneller verlopen en is in de vier maanden een onderbouwd advies geformuleerd.

Een doordacht opgebouwde Virtual Power Plant kan een volwaardig, sneller te realiseren en ecologisch aantrekkelijk alternatief kan vormen voor een nieuwe kerncentrale in Zeeland. De doorslaggevende factoren voor succes liggen niet in het gebrek aan duurzame bronnen, maar in het tijdig opleveren van de ondersteunende netinfrastructuur en waterstofketen plus het vormen van een consortium dat een VPP echt wil realiseren.