

1600 MW VIRTUELE ENERGIECENTRALE in Zeeland

KIVI Elektrotechniek lunchwebinar

23 september 2026

Mats van den Brink, Koen Huizer, Richard Overkamp

TU/e SET Master Energy Challenge

1600 MW VIRTUELE ENERGIECENTRALE?

GEDURENDE 8.000 VOLLASTUREN PER JAAR

“Hoe kan dit worden gerealiseerd op basis van wind- en zonne-energie?”



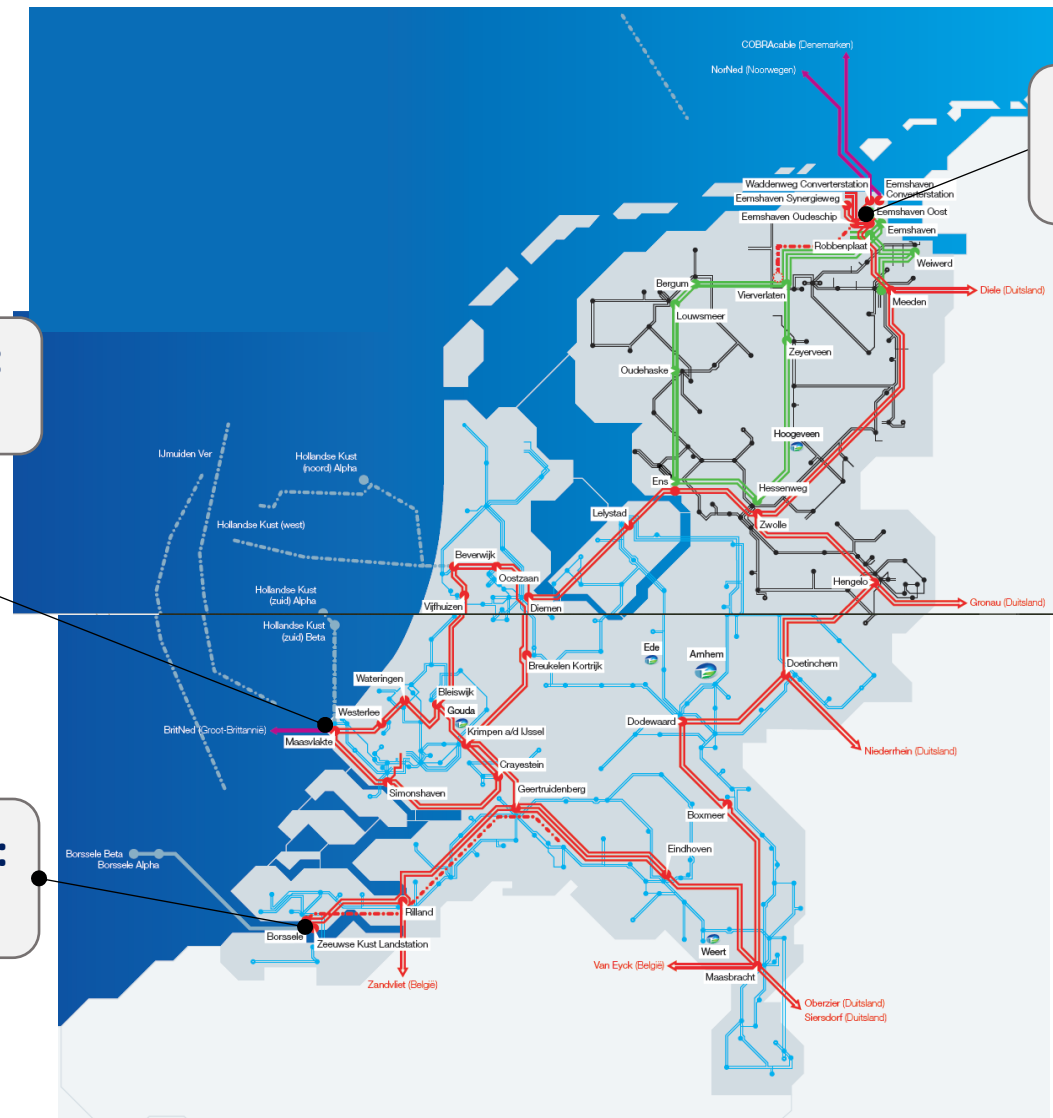
Richard, Julio, Emil, Dora, Youssef, Koen, Mats, Titouan

Beleid Nederlands regering voor CO₂ vrije elektriciteitsproductie in 2050 ~~twee~~ **vier** conventionele kerncentrales

Onderzochte locatie Rotterdam: Maasvlakte II (1)



Onderzochte locaties in Zeeland: Borsele (2) and Terneuzen (1)



Onderzochte locaties in Groningen: Eemshaven (3)

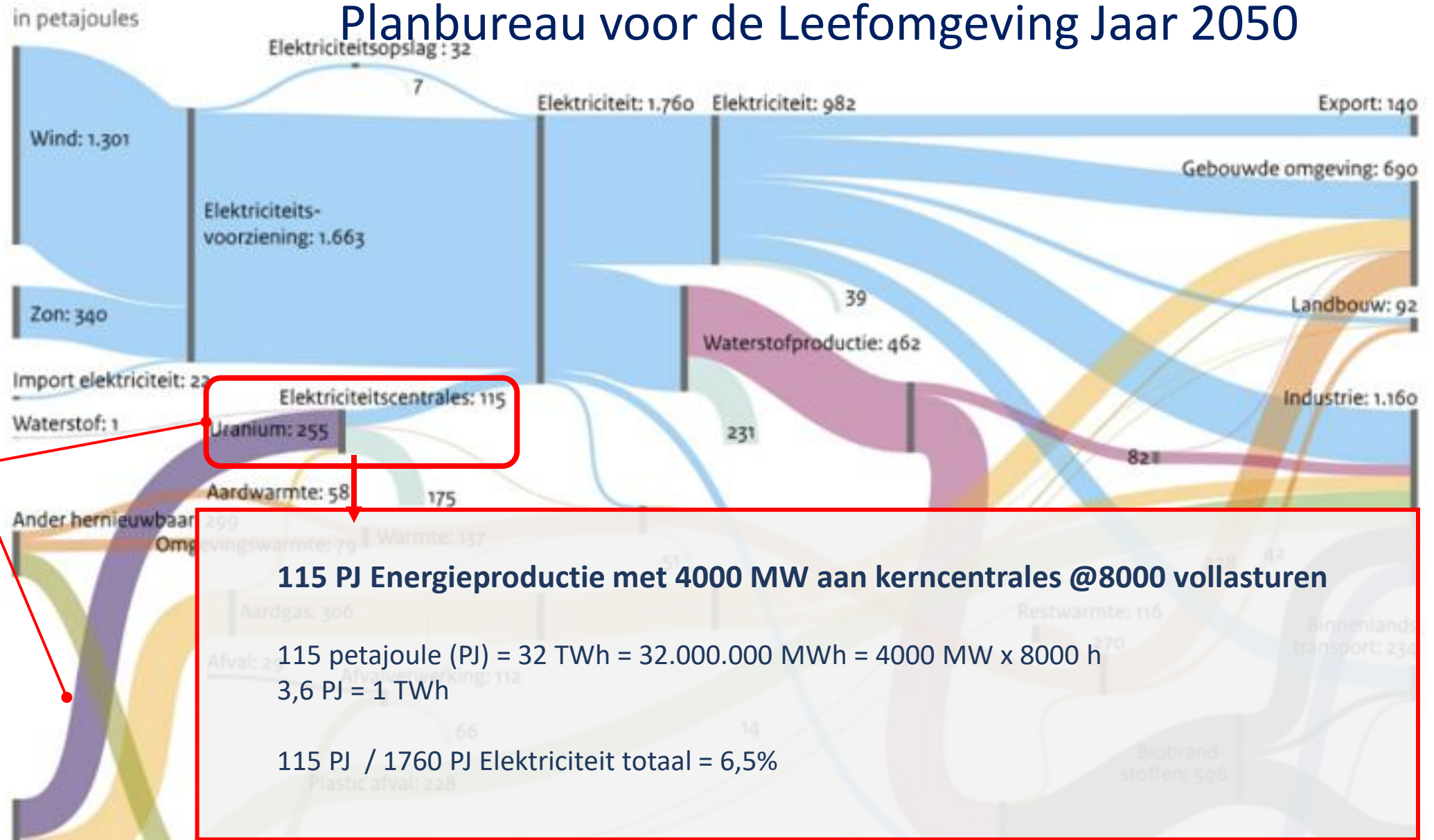
Nederlandse Hoogspanningnetten

Import/export met Duitsland, België, Noorwegen,
Denemarken en United Kingdom



Aan deze kaart kunnen geen rechten worden ontleend.
31 december 2019

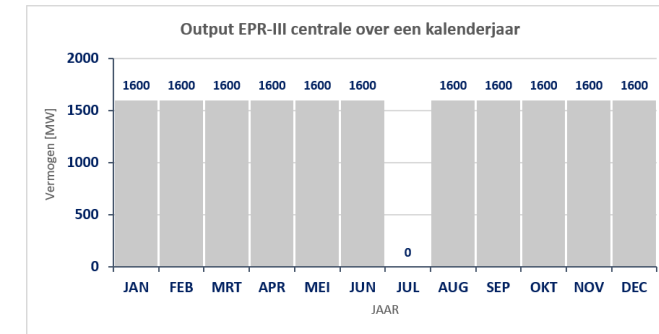
Planbureau voor de Leefomgeving Jaar 2050



Maar:

Tussen 2026 en 2040 verlagen de kerncentrales de CO₂-uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsproductie niet.

- Vergunningverlening: Traag proces.
- Kosten: Zeer hoge ontwikkel- en bouwkosten; financiering vergt tijd.
- Bouwtijd: Kan 10 tot 12 jaar duren.
- Bouwplaats als CO₂-bron:
 - Massaal gebruik van staal en beton.
 - Jarenlang transport van materialen, deelsystemen en personeel.
 - CO₂-uitstoot wordt pas na enkele jaren productie gecompenseerd.



Bedrijfsvoering:

- Inkomsten: Jaarlijkse productie (GWh) moet zo hoog mogelijk zijn gezien de hoge CAPEX
 - Bij voorkeur 8.000 vollasturen per jaar, oftewel 46,1 PJ (12,8 TWh).
- Nog steeds landelijke opslagcapaciteit nodig om vraagpieken, -dalen en weersafhankelijke fluctuaties op te vangen

Rendement en koeling:

- Slechts 1/3 van de primaire energie wordt omgezet in elektriciteit
 - 2/3 gaat verloren als warmte.
 - Circa 3.200 MW_{th} koelwatercapaciteit nabij vereist voor een centrale van 1.600 MW_e

KIVI Challenge: Virtuele Energiecentrale als Baseload-oplossing

- **Onderzoekscontext:**

- Zes MSc-studenten Sustainable Energy Technology (TU Eindhoven) onderzoeken via Challenge Based Learning een praktijkvraagstuk, geformuleerd door KIVI-ingenieurs Koen Huizer en Richard Overkamp.

- **Wat is een Virtual Power Plant (VPP)?**

- Een centraal aangestuurd netwerk van gedistribueerde energiebronnen (zoals zon en wind) en opslagsystemen.
- Eén slim energiemanagementsysteem coördineert alle losse assets, waardoor ze voor het net functioneren en leveren als één betrouwbare, samenhangende centrale.

- **De Onderzoeksvraag:**

- Is het technisch, economisch en geografisch haalbaar om met een op wind en zon gebaseerde VPP in Zeeland (Borssele) een continu vermogen van **1600 MW** en **12,8 TWh/jaar** (8000 vollasturen) te leveren?
- *Kernuitdaging:* Het emuleren van de hoge leveringszekerheid en constante baseload van een thermische centrale met weersafhankelijke bronnen en opslag.

1600 MW GREEN ENERGY VIRTUAL POWER PLANT



Hoe kan dit worden
gerealiseerd met behulp van
wind- en zonne-energie?

Wat is de beste strategie voor de inzet van de decentrale activa?

Hoe scoren alternatieven op risico, netimpact en landschappelijke inpassing (MCA)?

Hoe kunnen Artificial Intelligence tools helpen bij het vinden van het “juiste” antwoord?

Primaire onderzoeksvragen

a) **Systeemdimensionering & Technologieën**

- Welke componenten (technologieën en vermogens) zijn vereist voor een groene VPP met een equivalent elektrisch vermogen van **1600 MW bij 8000 vollasturen**

b) **Ruimtelijke inpassing (Regio Zeeland)**

- Passen de benodigde VPP-assets binnen **Zeeland en de bereikbare Noordzee?**
- *Randvoorwaarden & meekoppelkansen:*
 - Gereserveerde locaties voor nieuwe kerncentrales kunnen worden benut.
 - Bestaande grootschalige zon- en windparken mogen worden geïntegreerd in de VPP.
 - Benutting van restwarmte voor de gebouwde omgeving (vooral in koude maanden via lokale warmtenetten) meewegen bij locatiekeuzes.

c) **Kosten & Levelized Cost of Electricity (LCOE)**

- Wat zijn de totale investerings- en exploitatiekosten (CAPEX/OPEX)?
- Welke **LCOE** kan voor dit systeem worden verwacht?

d) **Doorlooptijd & Realisatie**

- Hoeveel tijd vergt de realisatie van de benodigde deelsystemen?
- Maak hierbij expliciet onderscheid tussen de **vergunningentrajecten** en de **daadwerkelijke bouwtijd..**

Hoe kan AI helpen bij het vinden van het “juiste” antwoord?

AI onderzoeksvragen

- **Literatuurverkenning:**

- Overzicht en synthese van relevante publicaties.

- **Toetsing van AI-concept:**

- Gemini AI genereerde bij de projectstart een VPP-voorstel (wind, PV, batterijen, H₂-opslag) op basis van een KIVI-prompt.
- *Toetsing:* Betrouwbaarheid van het advies, haalbaarheid van 1600 MW / 8000 uur en consistentie/reproduceerbaarheid van AI-antwoorden.

- **Agent-gedreven simulatie & MCA:**

- Versnelde bouw van een weersafhankelijke simulator; studenten bepalen de fysica en criteria, AI-agents schrijven en testen de rekenmodules.
- Vast uitgangsvermogen

Artificial Intelligence as a design tool – Gemini AI

Free model

- Large variability across runs
- Descriptive answers
- Weak quantification
- Not reliable

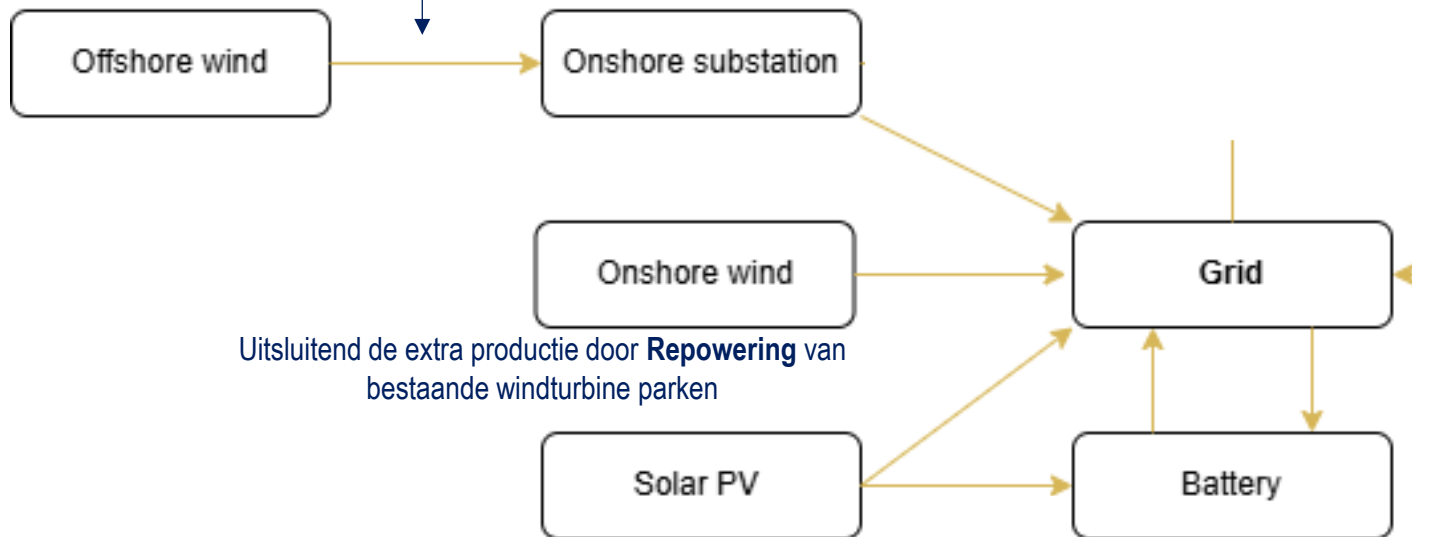
Paid model

- More consistent
- Better estimates
- Useful for concepting

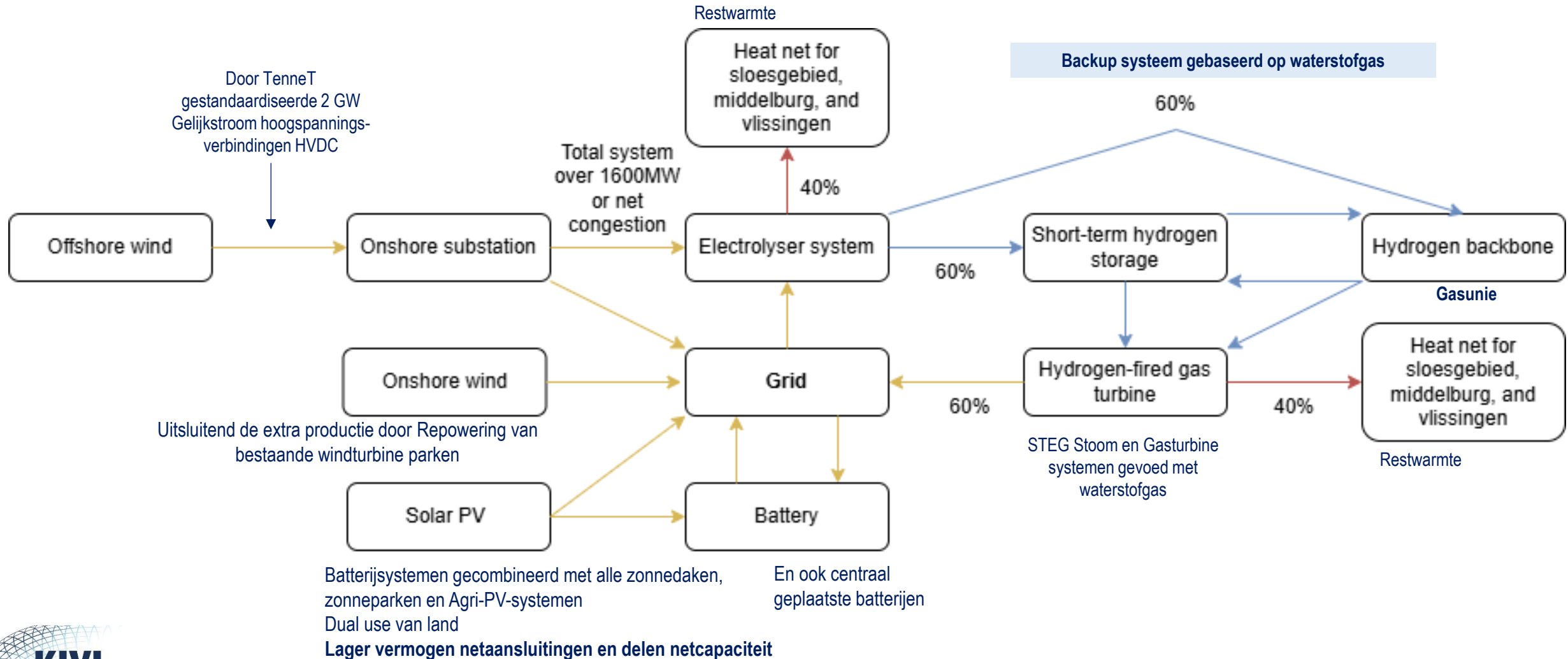
Maar: de Gemini AI voorgestelde systeemopzet voldoet niet aan de ~1600 MW constant en 8000 vollasturen

Blokschema / systeemopzet virtuele energiecentrale (1)

Door TenneT
gestandaardiseerde 2 GW
Gelijkstroom hoogspannings-
verbindingen **HVDC**



Blokschema / systeemopzet virtuele energiecentrale (2)



Onderzochte Virtual Power Plant scenario's

Subsystem	Balanced VPP 1	High Solar VPP 2	High Offshore Wind VPP 3
Onshore wind (MW)	250	200	150
Offshore wind (MW)	3000	3000	4000
Solar PV (MW)	3600	5000	2200
Battery power (MW)	1600	1600	1600
Battery duration (h)	7	5	4
Electrolyser (MW)	1700	1850	1700
Hydrogen-fired gas turbine (MW)	1700	1850	1700
1600 MW uren per jaar % van het jaar	8217 93,8%	8313 94,9%	8357 95,4%

Openingsscherm
simulatiemodel
met VVP3

Zeeland VPP

2050 feasibility model

SCENARIO

VPP 1

VPP 2

VPP 3

Custom

Balanced — moderate mix across all technologies

PORTFOLIO

Offshore wind

0 MW3000 MW4000 MW

Onshore wind

0 MW225 MW

Solar PV

0 MW3700 MW

H₂ storage

0 GWh1000 GWh

Electrolyser power

0 MW1700 MW

H₂ turbine power

0 MW1700 MW

Battery power

0 MW1600 MW

Battery duration

0 h6 h

Installed total: 6,925 MW (+5,325 vs target)

VIEW

Full year

Winter week

Summer week

Show transmission grid

Grid year

2035

Replacing 1 600 MW of nuclear baseload in Zeeland with offshore wind, onshore wind, solar PV and hydrogen storage — costed against real NL day-ahead prices.

VPP 1

1 600 MW · 12.8 TWh/yr

Flat demand target

2010 – 2024 ERA5

Weather years modeled

Atlite / ERA5 per-site

Generation source

Borssele replacement

Nuclear reference

Overview

Markets & economics

Climate & lifecycle

MCA

Audit / trace

AT A GLANCE - SELECTED PORTFOLIO

Headline numbers for the currently selected scenario and portfolio.

Capacity

9,066 MW

↑ +7,466 vs target

Annual energy

16.9 TWh

↑ +4.1 vs 12.8

Reliability (2024)

93.8%

↑ 541 LoL hrs in 2024

CAPEX

€22.5 B

↑ incl €1.0B grid

CO₂ reduction

0.3 Mt/yr avg

↑ 7.1 Mt cumulative by 2050

Generation: ERA5 per-site profiles · 2024 · Sites: 52 candidates, 31 selected

SITE SELECTION & LIVE SUPPLY

Where the selected offshore wind, onshore wind and solar sites sit, and how their combined hourly output tracks the flat 1,600 MW demand target over the chosen year.

SITES · GRID OVERLAY · 2035

2024

HOURLY SUPPLY VS DEMAND · 2024

Battery level

H₂ level

Demand

H₂ storage

Battery

Solar PV

Onshore wind

Offshore wind

MW

0

1000

2000

3000

4000

5000

6000

GWh

0

500

1000

MWh

0

5k

10k

Jan 2024

Mar 2024

May 2024

Jul 2024

Sep 2024

Nov 2024

Total H₂ used in 2024: ≈ 76,940 t · 855.8 million m³ at STP (LHV 33.33 kWh/kg)

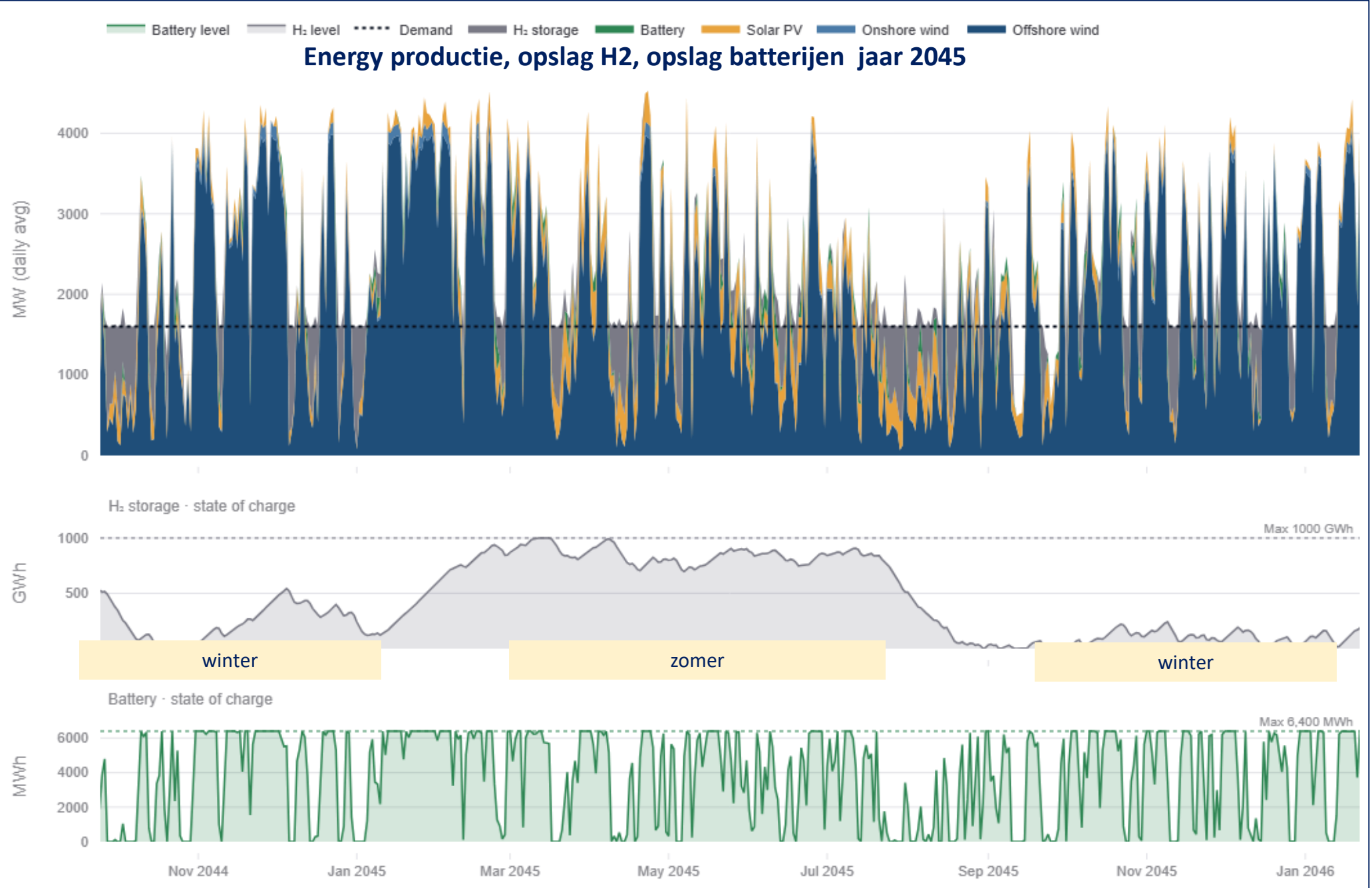

KIVI
Engineering Society
Afdeling Elektrotechniek

23 september 2026

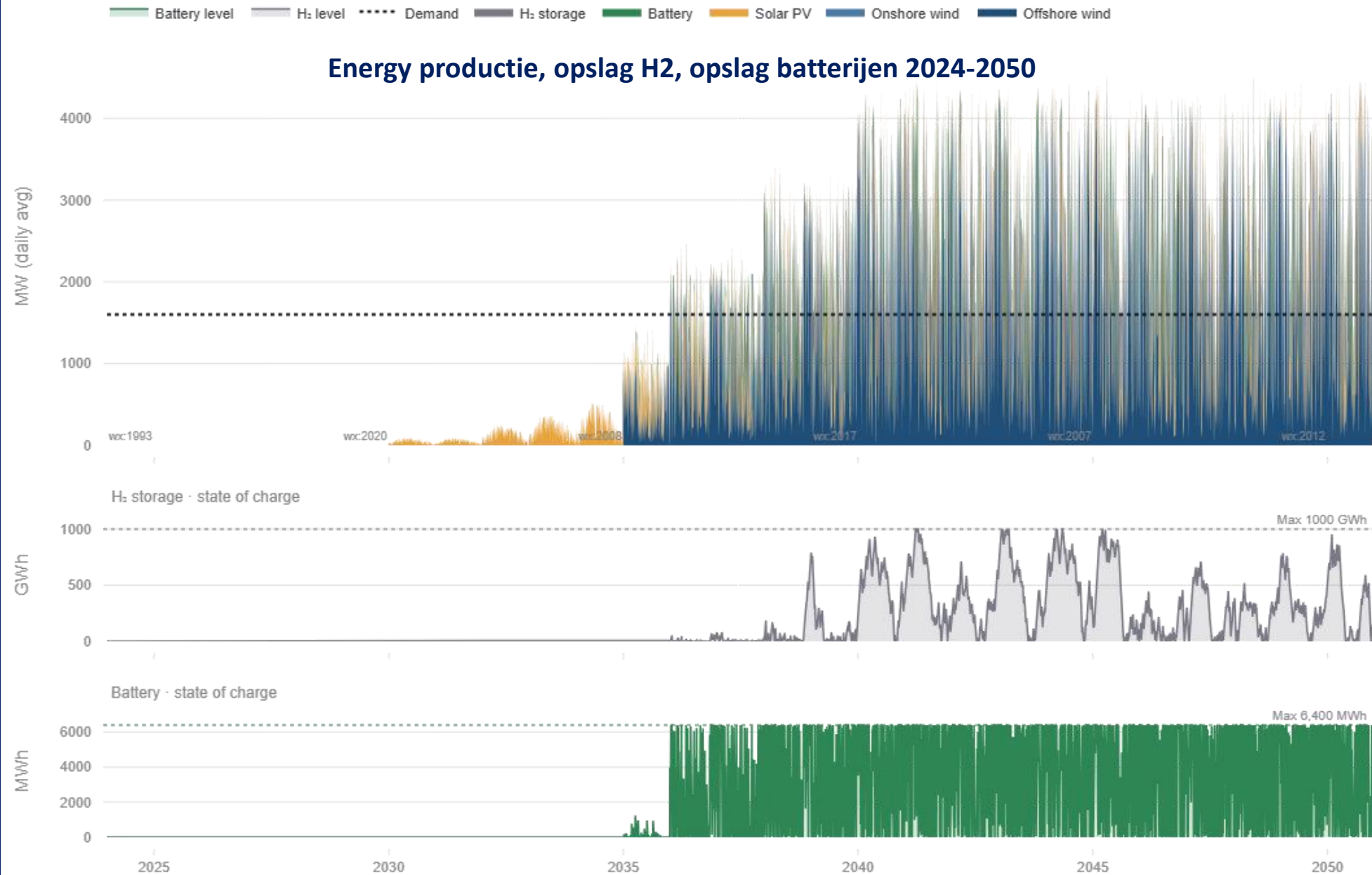
Lunchwebinar 1600 MW VPP Energy Challenge

14

Energy productie, opslag H2, opslag batterijen jaar 2045

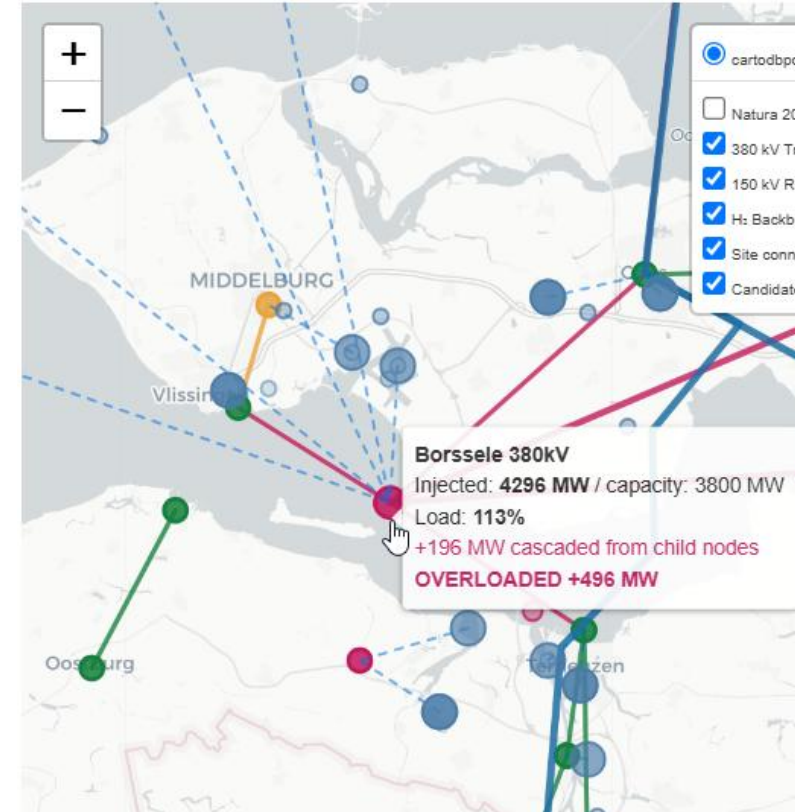
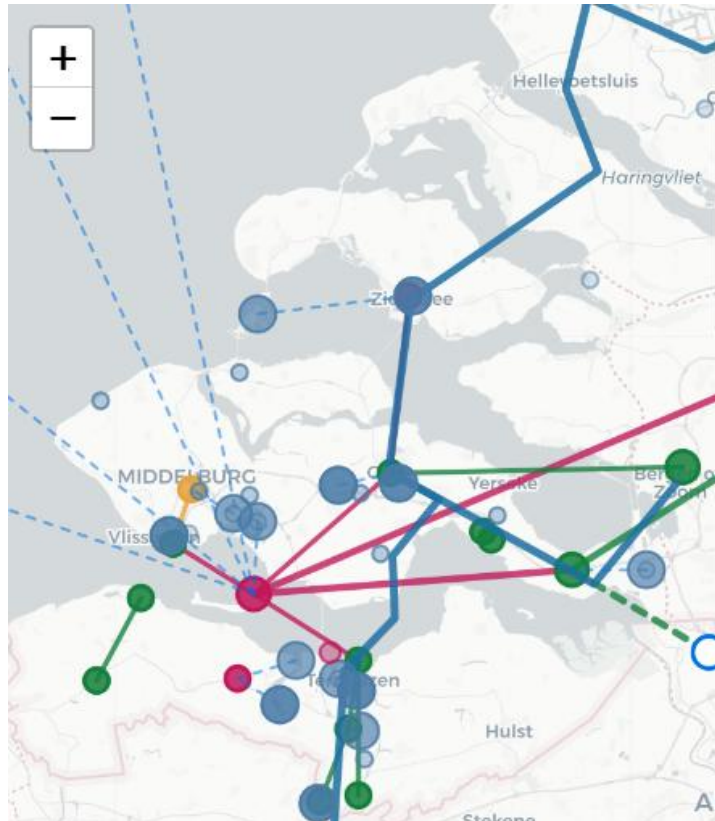


Energy productie, opslag H2, opslag batterijen 2024-2050

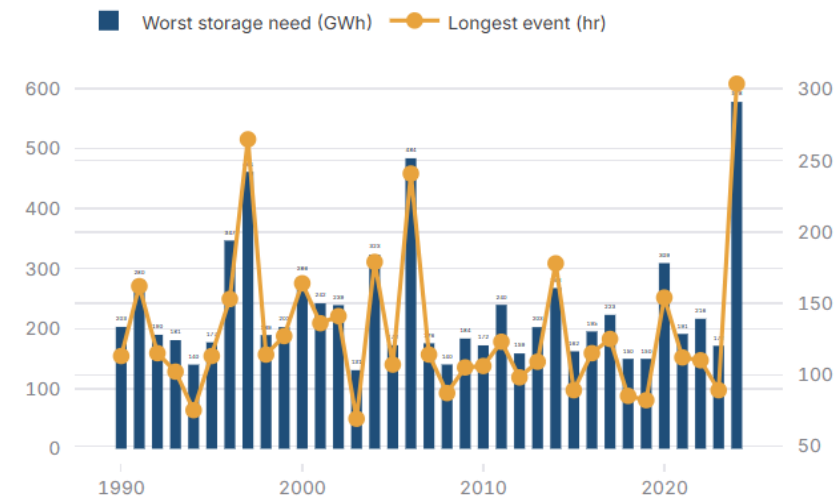
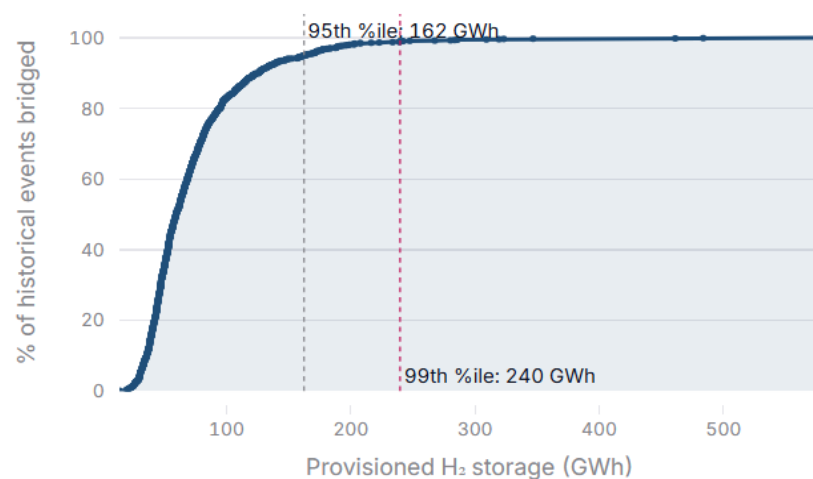


Interactieve kaart

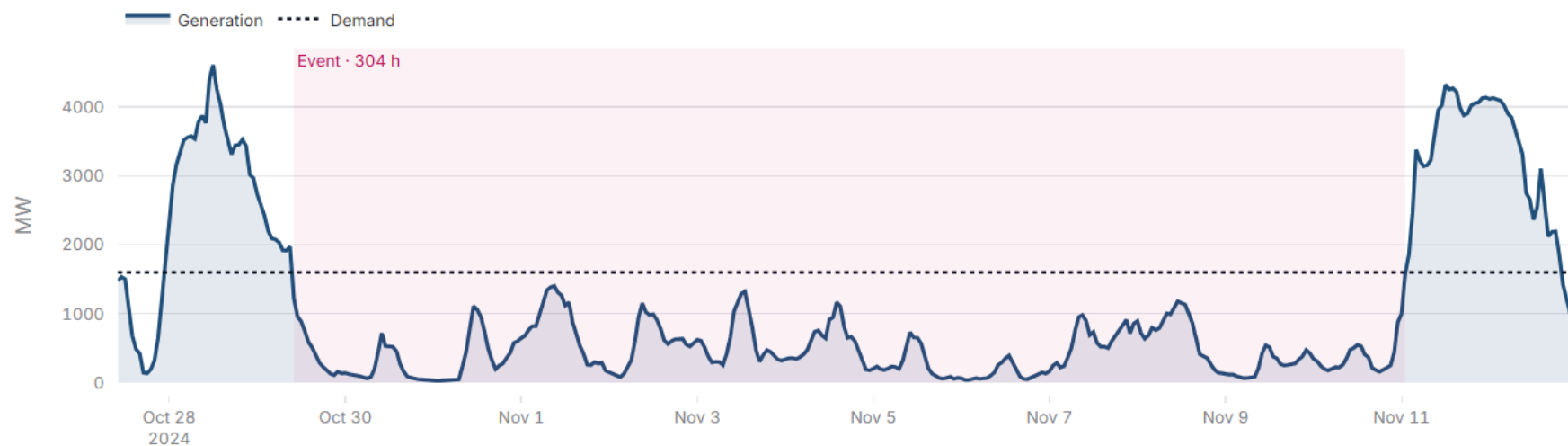
hoogspanningslijnen, transformatoren, waterstofgas leidingen



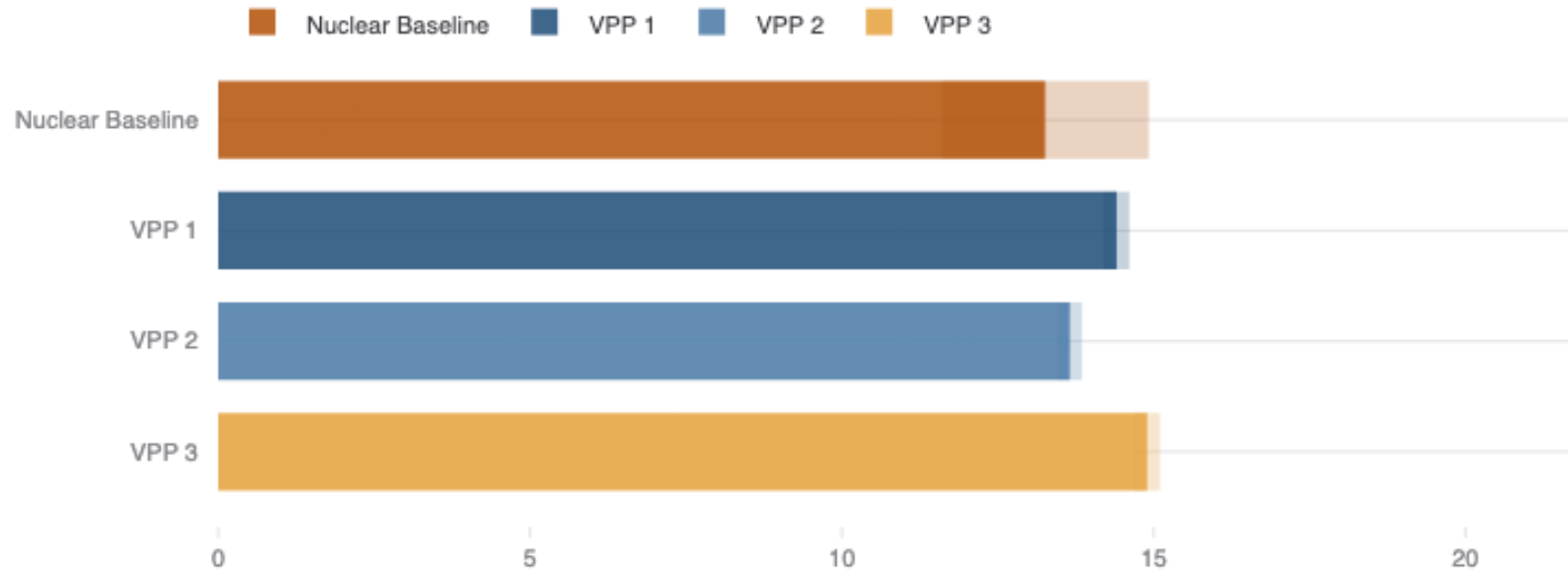
Dunkelflaute analyse



WORST EVENT - 2024



Multi Criterion Analysis (MCA)



- Overall score: **de scenario's liggen dicht bij elkaar**
 - Hoger getal = betere beoordeling
- Nucleaire scenario heeft **grootste risico's** en grootste variatie in totaalscore
- Toepassen van MCA tool van TU/e is één van de onderwijsdoelen van het SIP project

Multi Criterion Analysis (MCA)

1 Low 2 Medium 3 High

Risico

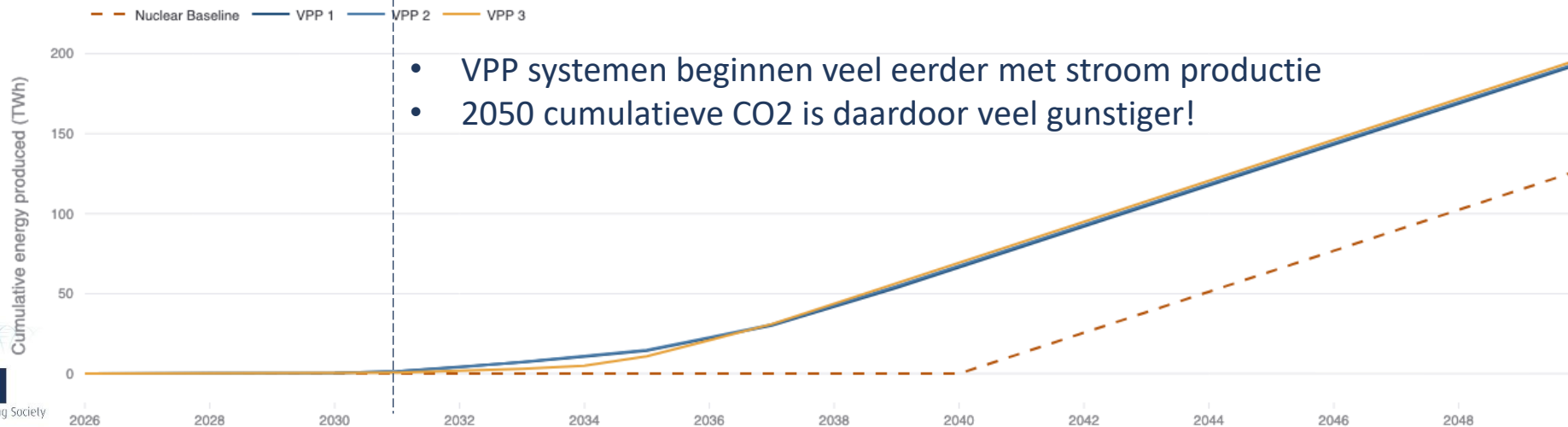
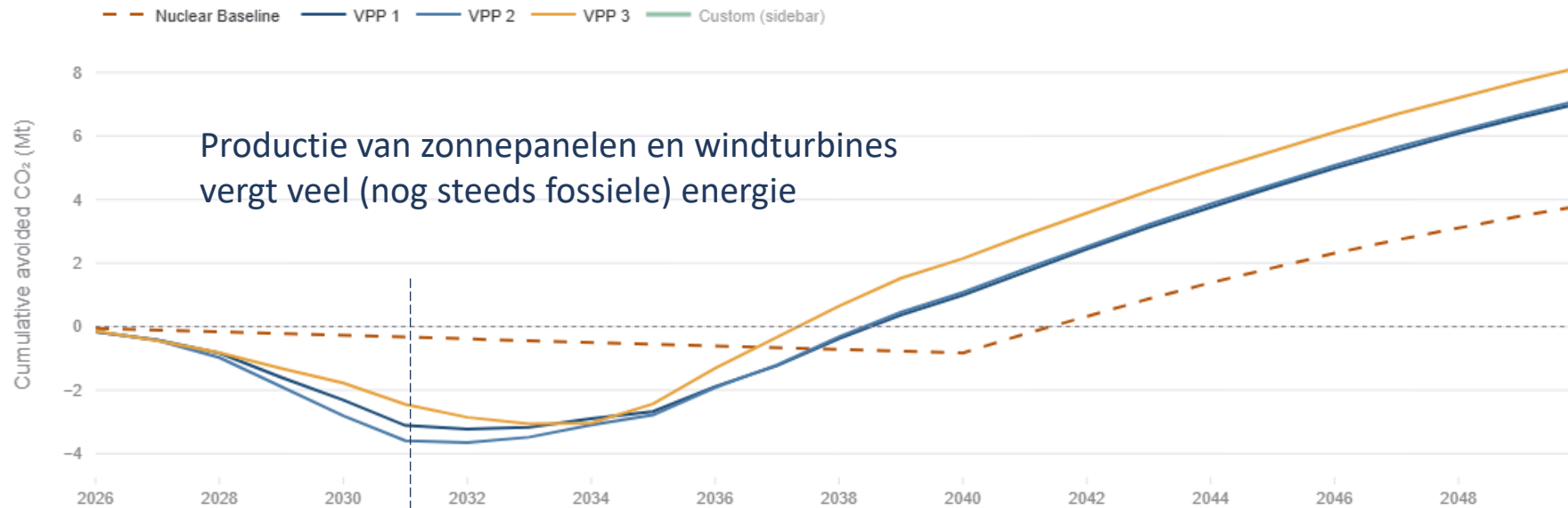
Lage score

Criterion	Weight	Nuclear base-line	Balanced	High Solar	High Offshore Wind
CAPEX	2	0.46–1.00	0.56–0.67	0.53–0.64	0.52–0.63
OPEX	1	1.00	0.59	0.56	0.53
LCOE	2	0.53–1.00	0.59–0.69	0.56–0.65	0.54–0.63
Emission reduction	3	0.47	0.86	0.87	1.00
Implementation time	3	0.50–0.93	1.00	1.00	1.00
Delay risk	2	0.16	0.98	1.00	0.95
Grid impact	3	0.73	0.22	0.00	0.32
Space requirement	2	1.00	0.00	0.00	0.00
Landscape integration	1	1.00	0.14	0.15	0.17
End-of-life performance	3	0.08	0.98	0.98	1.00
Total weighted score	22	11.60–14.92	14.20–14.61	13.46–13.85	14.69–15.10

Table 5.3: Normalized MCA scores (0–1) and total weighted outcome of the considered scenarios

Getallen zijn genormaliseerd tussen 0 (slechtste) ... 1 (beste)

Cumulatieve vermeden CO₂ emissies 2026-2050



Conclusies SIP onderzoek

- Het onderzoek toont aan dat een virtuele energiecentrale gebaseerd op wind- en zonne-energie
 - a) een serieus en concurrerend alternatief kan zijn voor een kerncentrale in Zeeland,
 - b) beter presteert dan het kernenergie basisscenario op de meeste beoordeelde criteria, met name de implementatiesnelheid, vroege emissiereductie en impact op het einde van de levensduur.
- De beslissende open vraag is niet of de duurzame energiebronnen bestaan ...
 - ...maar met name of het ondersteunende net en de waterstofinfrastructuur *tijdig en tegen een acceptabele prijs* beschikbaar komen
- De VPP is de voorkeursoptie onder die voorwaarde



Reflectie KIVI begeleiding

- Niet vergeten: de studenten hebben dit onderzoek afgerond binnen 4 maanden met *part-time* tijdbesteding
- Desondanks komen de resultaten professioneel over en zijn consistent met eerder (eigen) onderzoek en de resultaten van professionele partijen zoals bijv. TNO en CE-Delft
- Het gebruik van AI tools door deze studenten is zeer effectief gebleken
- Kernenergie is een keuze en niet onvermijdelijk
- Nader onderzoek is nodig naar de reële business case(s) voor een consortium dat een VPP echt wil realiseren
 - Wat is een betere praktische energiemangement strategie?
 - NIET 1600 MW constant!
 - Met eventuele noodzakelijke aanpassingen van wet- en regelgeving

1600 MW VIRTUELE ENERGIECENTRALE in Zeeland

Dank u wel voor uw aandacht

Over naar beantwoorden van vragen uit de chat

Support slides

TU/e SET Studyguide

5LEF0 Systems Integration project (Q3 and Q4 – 2025/2026)

In this course **the learning objectives** are:

- Setting up a project plan, applying Project Based Working Methods like Scrum;
- Communication with a client, coaches, professionals – involving stakeholders, building network;
- Combining theory and practice;
- Performing Multi-Criteria Analysis (MCA);
- Combining technical, economical and societal aspects of a project;
- Creating a roadmap for a solution
 - assessing short term (action) vs long term (transition perspective) aspects,
 - and considering the process of the solution implementation in phases;
- Report writing;
- Presenting results;
- Working as a team.

Zie voor algemene informatie de [TU/e SET webpagina](#)

Dutch gas distribution grid



+ Hydrogen Backbone

*Gasunie is taking important steps
in the right direction
with the Hydrogen Backbone*



Agri-PV: semi-transparante panelen met oost-west tracking



View of the Tützpatz 1 and Tützpatz 3 sub-areas (Photo: Vattenfall / Klas Neidhardt).

Total 73 MW_p vattenfall.com

Auf den Teilflächen Tützpatz 2 und Tützpatz 3 soll künftig Ackerbau mit verschiedenen Fruchtfolgen betrieben werden. Hier wurden so genannte Trackersysteme als Unterkonstruktion für die Solarmodule errichtet. Die Module sind auf einer Längsachse montiert, auf der sie dann in einer Ost-West-Ausrichtung aus der Horizontalen nach links und nach rechts gekippt werden können. Zudem sind die Abstände zwischen den Modulreihen größer. Bei gekippten Modulen sind die Ackerflächen dann mit Landmaschinen befahrbar und können so bearbeitet werden.



agrisolareurope.eu

<https://agrisolareurope.org/article/baywa-r-e-secures-e6-5-million-eu-funding-for-agri-pv/>

Consistentie test Gemini AI (april 2026)

de methode

- 6 accounts (gebruikers)
- 9 locaties
- 3 identieke prompts (vragen)
- Vergelijking van teksten met ChatGPT

Test Number	AI Version	Location / IP Context	Date
Test 1	Gemini 3.1 Pro (paid)	Eindhoven, NL	19-04
Test 2	Gemini 3 Flash (free)	Drunen, NL	20-04
Test 3	Gemini 3 Flash (free)	TU/e (Eindhoven), NL	20-04
Test 4	Gemini 3.1 Pro (paid)	Eindhoven, NL	20-04
Test 5	Gemini 3.1 Pro (paid)	TU/e (Eindhoven), NL	22-04
Test 6	Gemini 3 Flash (free)	TU/e (Eindhoven), NL	22-04
Test 7	Gemini 3 Flash (free)	New York, USA	22-04
Test 8	Gemini 3 Flash (free)	Houston, USA	22-04
Test 9	Gemini 3 Flash (free)	Paris, France	22-04

Consistentie test Gemini AI

Kopie van de tekst uit het eindrapport

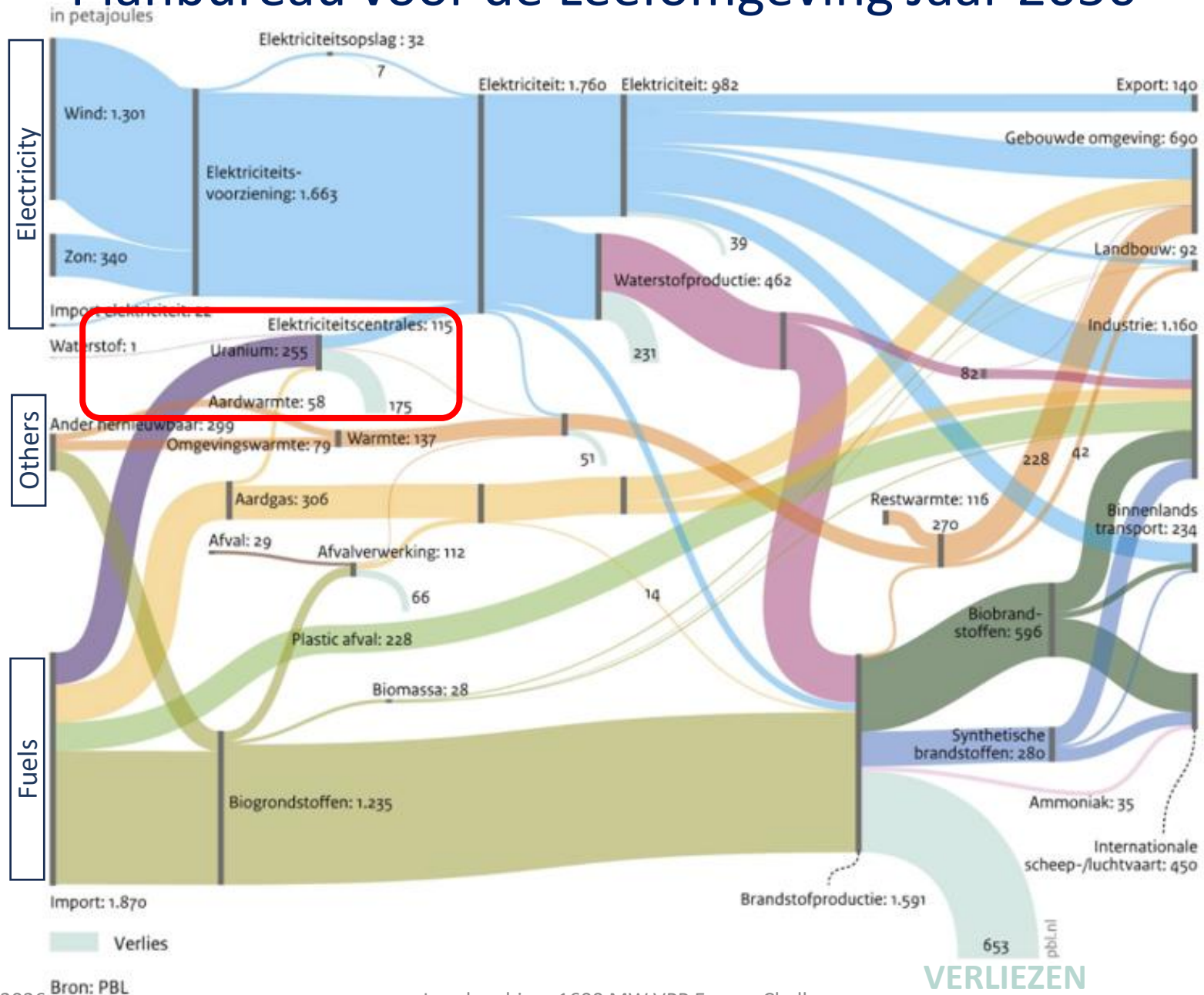
Final Assessment

The comprehensive analysis substantiates the following conclusions:

- Gemini 3.1 Pro functions as a consistent and analytically robust tool, highly suitable for early-stage VPP design and feasibility assessments, provided that its outputs are subjected to external verification and supplemented with proper academic citations. Since academic citations are not provided automatically, this must be incorporated explicitly into the prompts to improve traceability.
- Gemini 3 Flash demonstrates excessive variability and a critical lack of numerical rigor, rendering it unsuitable for stringent engineering validation tasks and restricting its utility to purely conceptual or exploratory ideation.

Planbureau voor de Leefomgeving Jaar 2050

INPUTS Bronnen



OUTPUTS Gebruik

Energie per jaar
In PJ petajoule

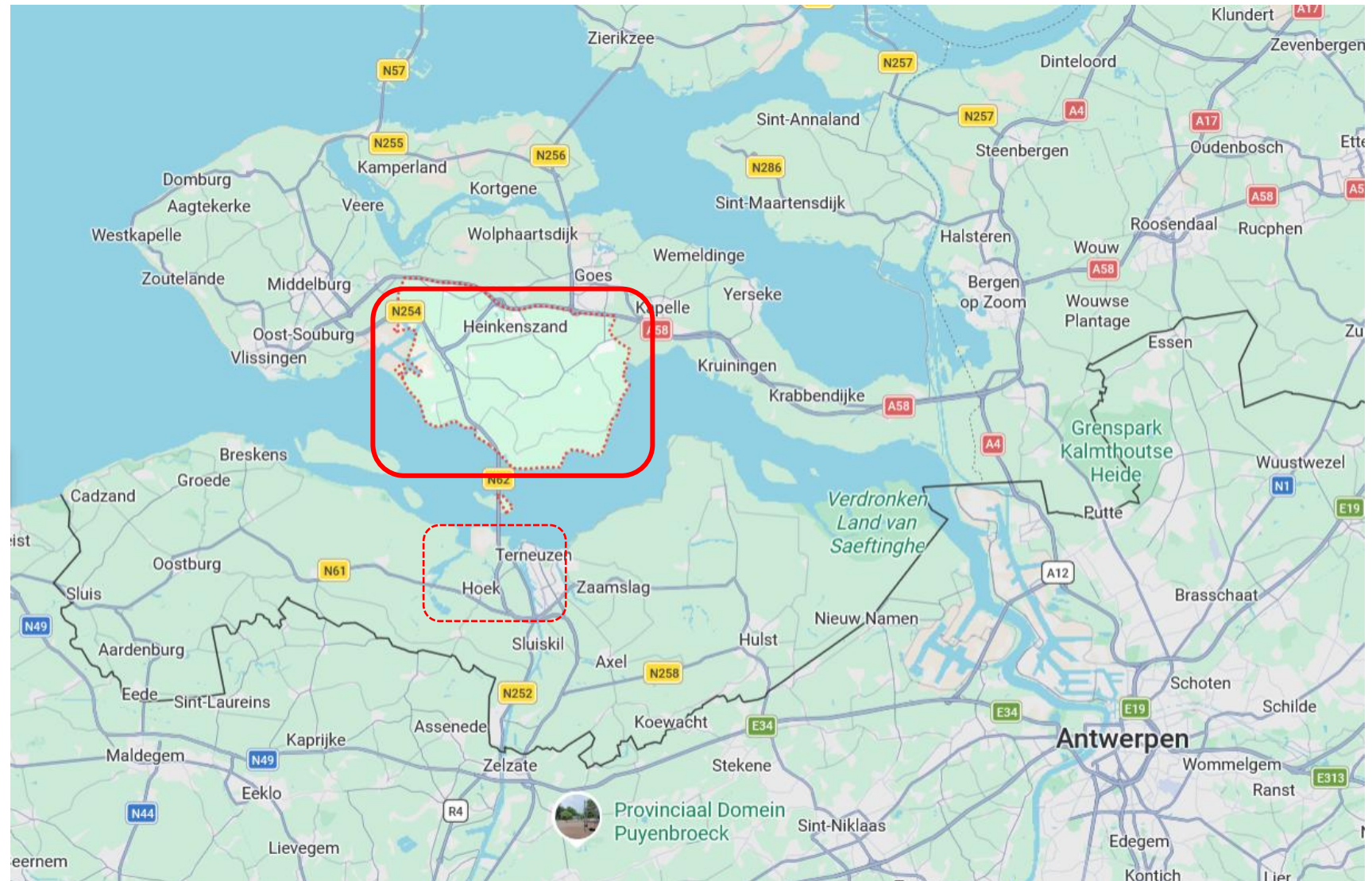
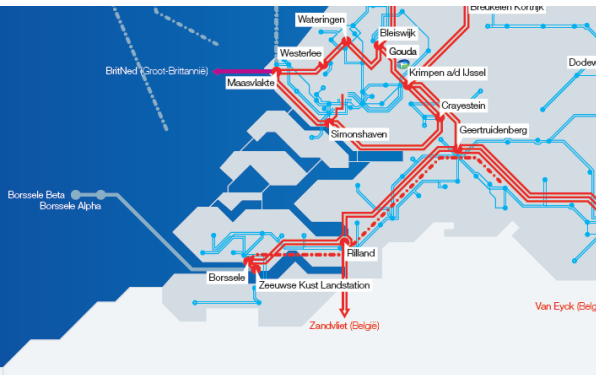
1 TWh = 3,6 PJ
1 PJ = 0,278 TWh

Energie eenheden: TWh of PJ voor landelijke schaalgrootte

VERMOGEN		x Tijdsduur		= ENERGIE in [Ws] [Wh] [J] [MJ] [GJ] [TJ] [PJ] [kWh] [MWh] [TWh]						
1	W x	1	s =	1	Ws	=	1 Joule (J)			
1	W x	1	h =	1	Wh	=	3.600 Joule (J)	3,6 kJ		
10	W x	1	h =	10	Wh	=	36.000 Joule (J)	36 kJ		
1	W x	1000	h =	1000	Wh	=	1 kWh = 3,6E+06 Joule (J)	3.600 kJ	3,6 MJ	
1000	W x	1	h =	1000	Wh	=	1 kWh = 3,6E+06 Joule (J)	3.600 kJ	3,6 MJ	
1	MW x	1	h =	1	MWh	=	1.000 kWh = 3,6E+09 Joule (J)		3.600 MJ	
									3,6 GJ	
x 1000										
1	GW x	1	h =	1	GWh	=	1.000.000 kWh = 3,6E+12 Joule (J)		3.600.000 MJ	
1000 MW									3.600 GJ	
									3,6 TJ	
1	GW x	1000	h =	1000	GWh	=	1.000.000.000 kWh = 3,6E+15 Joule (J)		3.600.000.000 MJ	
1000 MW						1	TWh		3.600.000 GJ	
									3.600 TJ	
									3,6 PJ	

1 jaar is 8760 h

Gemeente Borsele en Terneuzen zijn kandidaat voor 2 kerncentrales



Zeeland



Borssele dorp Kerncentrale EPZ en COVRA



**Centrale Organisatie
Voor Radioactief Afval**