



## Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem

Webinar TKI Urban Energy

11-11-2024



# Aanleiding studie

- Opdrachtgevers TKI Urban Energy en Ministerie Klimaat en Groene Groei
- Opdracht uitgevoerd door CE Delft en Witteveen+Bos

Lucas van Cappellen (CE Delft)

Seth van Wieringen (Witteveen+Bos)

## Doelstellingen

- Beter begrip van de systeemintegratie en marktdynamiek van Nationaal Plan Energiesysteem
- Onzekerheden in dat elektriciteitssysteem met ontwikkelingen in beleid, prijzen en externe omstandigheden
- Businesscase van technieken en uurlijkse elektriciteitsprijzen

Modellering met PyPSA  
van het Noordwest-Eu-  
ropese energiesysteem:

- 8 landen
- 30 gebieden

# I. WAT HEBBEN WE GEDAAN?

## DOELEN ONDERZOEK



- Hoe kan in 2035 een CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteits-systeem worden gerealiseerd binnen de grenzen van het NPE?
- Wat is de kosten-optimale invulling van flexibele bronnen?
- Welk beleid of onzekerheden hebben grote impact op het energiesysteem?
- Wat is de marktdynamiek en de business case per techniek in 2035?

## METHODE

Stap 1. Systemanalyse



Stap 2. Marktanalyse



Referentiescenario



x 31 varianten

# Model en aanpak

Open source energy modellering met PyPSA

- 30 gebieden op uurbasis voor één jaar; 2035 met clustering gebaseerd op elektriciteitsnet
  - o NL: 7 nodes gebaseerd op TenneT-pocketindeling 2035
- Vraagprofielen gebaseerd op TYNDP and IP24 scenario's

## 1. Systeemanalyse: maatschappelijk optimaal opgesteld vermogen van assets

- Productie: zon, wind, waterstofcentrales, etc.
- Infrastructuur: AC binnenlands, AC- en DC-interconnectie, waterstofinfrastructuur, etc.
- Opslag: Batterij, flowbatterij, mechanische 24-uurs opslag, waterstof, demand response, etc.

## 2. Marktdynamiek

- Dispatch model met vermogens uit systeemanalyse
- Uurlijkse inzet en prijzen vaststellen per geclusterde biedingszone (*perfect forecast, energy-only*)



# Referentiescenario

## 1. Doelwaarden NPE staan centraal

- 5% bandbreedte rondom doelwaarden
  - Zon **98 GW**
  - Wind op land **12 GW**
  - Wind op zee **35 GW**
  - Kernenergie **2.1 GW** (1.6 GW nieuw + Borselle)

## 2. Overige aannames

- Netuitbreiding beperkt tot 50% van huidige capaciteit (uitvoerbaarheidslimiet)
- Waterstofnetwerk mogelijk langs bestaande tracés (+ opslag waar zoutcavernes zijn + import bij havens)
- Nieuwe DC max +4 GW langs bestaand en investering mogelijk in DRC (6 en 2 GW segmenten)
- Vraagsturing mogelijk voor industriële vraag, elektrische voertuigen en warmtenetten

*Zie bijlage A van het rapport*

# Beleidsvarianten (13x)

Kernenergie zoals NPE

+0 GW

Referentie

+1.6 GW

variant →

+2.2 GW (SMR)

Waterstofbronnen centrales

alleen groene H<sub>2</sub>

blauwe/groene H<sub>2</sub>

Elektrolysecapaciteit zoals NPE

vast

vrij

Beschikbaarheid vraagsturing

laag

-

basisaannname

hoog

CO<sub>2</sub>-doelstellingen

95% reductie

98% reductie

CO<sub>2</sub>-vrij

Zelfvoorzienendheid landen jaarbasis

70%

80%

95%

100%

Uitbreiding infrastructuur

+25% vrij

IP NB's (+50% vrij)

+75% vrij



# Gevoeligheidsvarianten (17x)

Vrije optimalisatie opgesteld vermogen productie

Internationale H2-importprijs

Kosten kernenergie

Kosten hernieuwbare opwek

Kosten batterijopslag

Kosten electrolyse en waterstofinfrastructuur

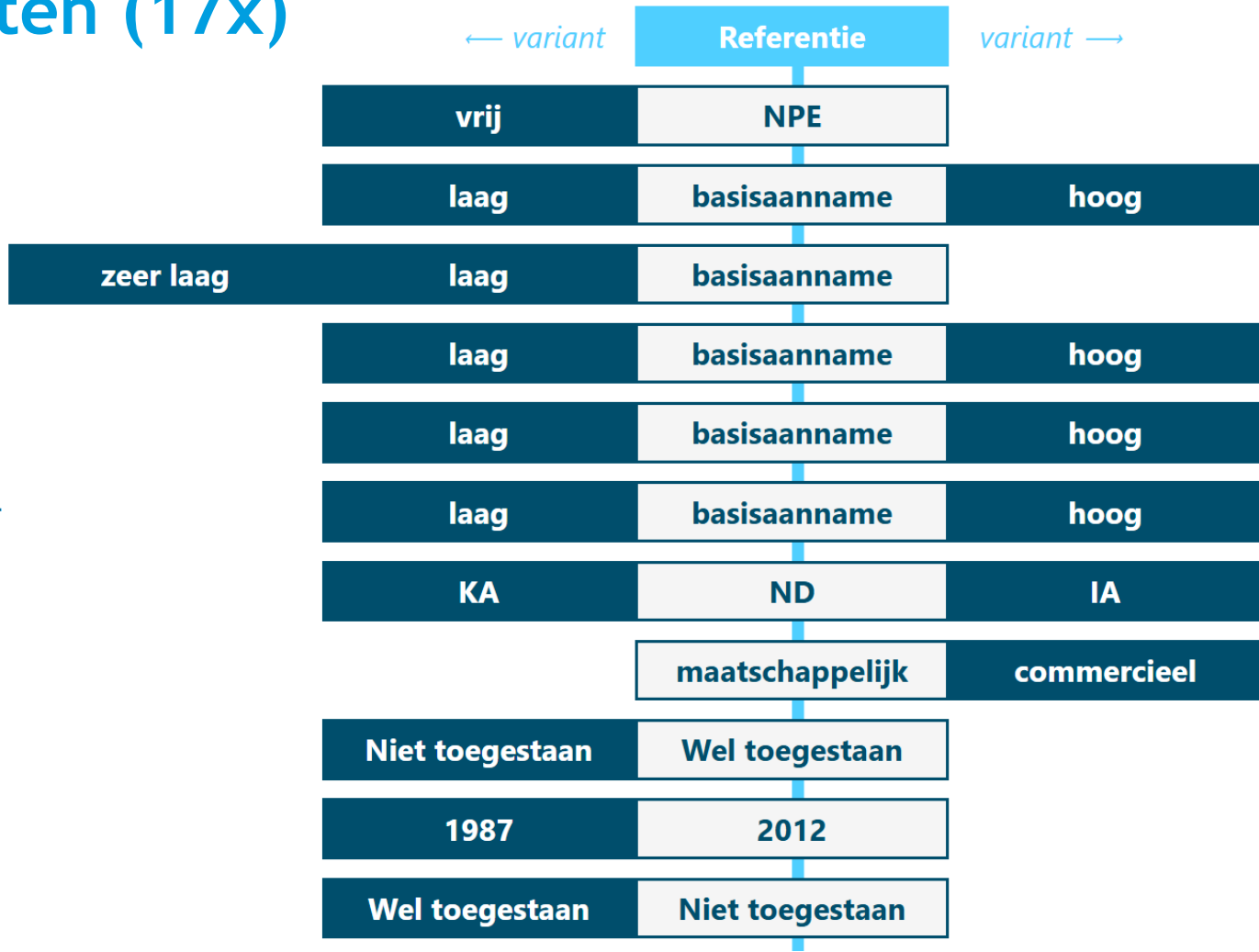
Vraagscenario

Discontovoet

CAES als grootschalige energieopslag

Extreem weerjaar

Biomassa retrofit





## Systemanalyse referentie

Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem



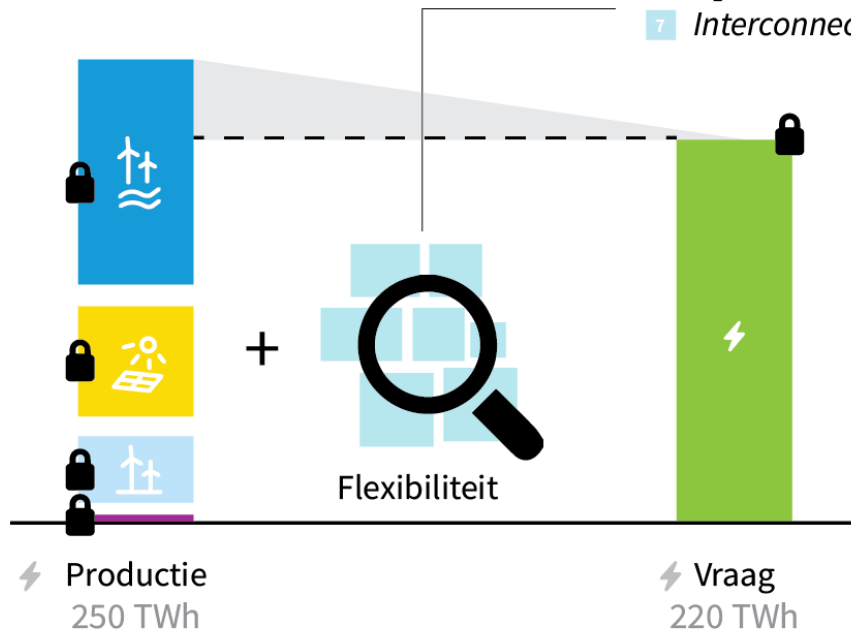


## II. REFERENTIESCENARIO (NPE)

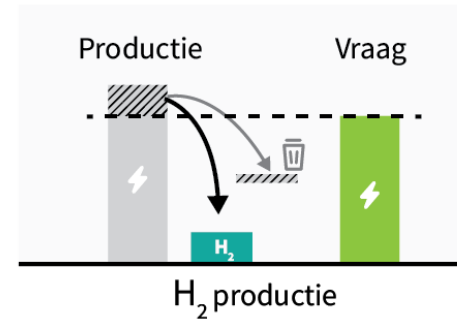
### UITGANGSPUNTEN:

- Richtwaardes NPE als basis;
- CO<sub>2</sub>-vrije elektriciteit;
- Minimaal 95% zelfvoorzienend;
- Blauwe waterstof, geen CCS voor elektriciteitsproductie;
- NW-Europa wel vrije optimalisatie.

- 1 *Elektrolyse*
- 2 *Curtaillment*
- 3 *Flexibele vraag*
- 4 *Langetermijnopslag (24-uurs)*
- 5 *Batterijen*
- 6 *H<sub>2</sub>-centrale*
- 7 *Interconnectie*



### RESULTATEN SYSTEEMANALYSE:



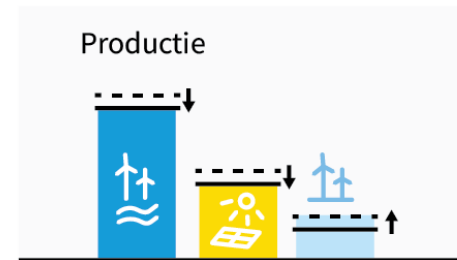
#### In NPE meer opwek dan vraag in 2035

Daarvoor veel elektrolyzers in Nederland, flexibiliteit door elektrolyse en curtaillment. Lagere behoefte aan andere flexibiliteitsbronnen.



#### Flexibiliteit: 24-uurs opslag potentieel erg belangrijk

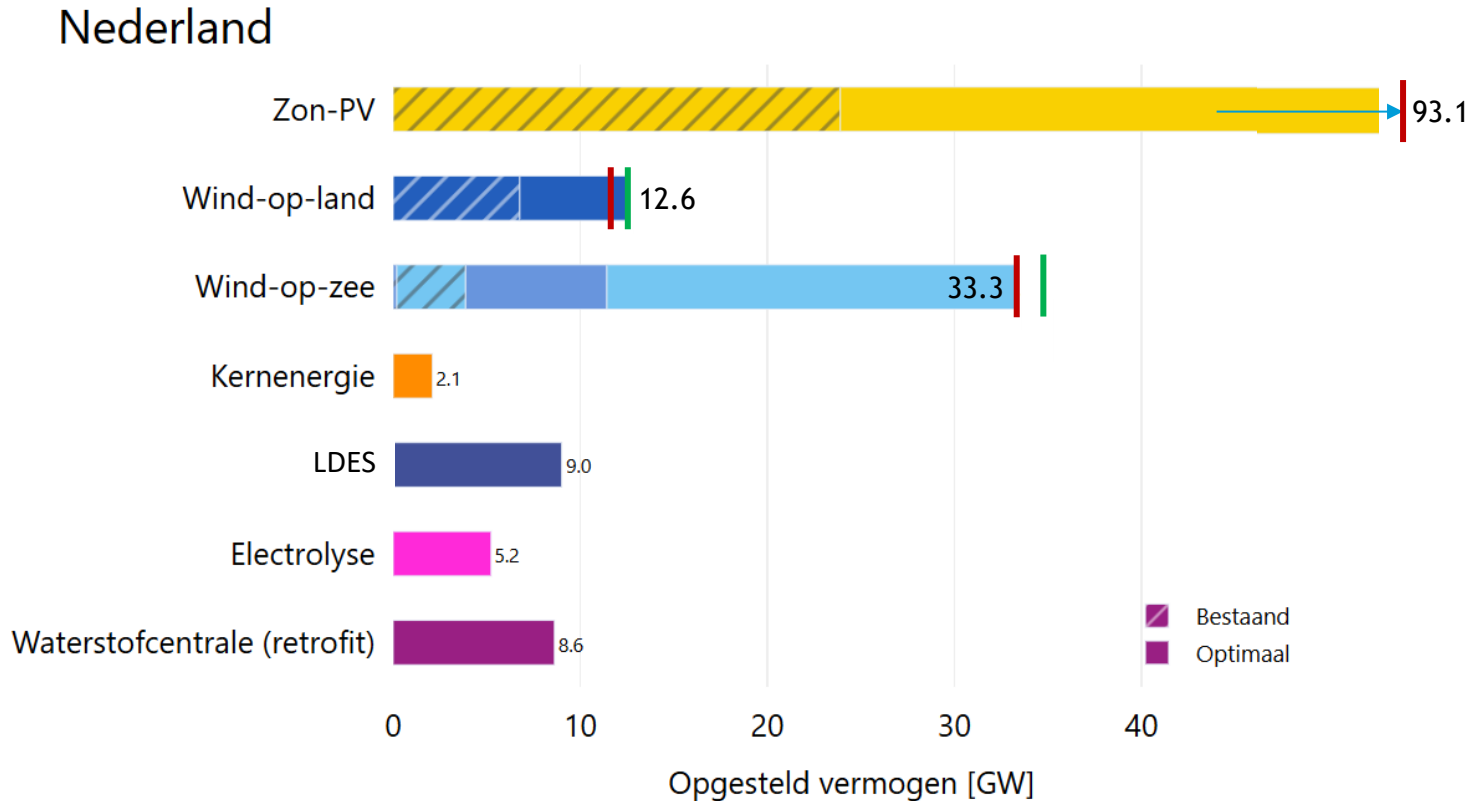
Vraag en aanbod worden op korte en lange termijn gebalanceerd door 24-uursopslag. Daarnaast is er behoefte aan H<sub>2</sub>-centrales.



#### Additional wind op land

De goedkoopste productietechniek ten opzichte van zon, wind en kernenergie. Maar ook andere effecten, zoals ruimte, zijn belangrijk.

# Systemanalyse - referentiescenario



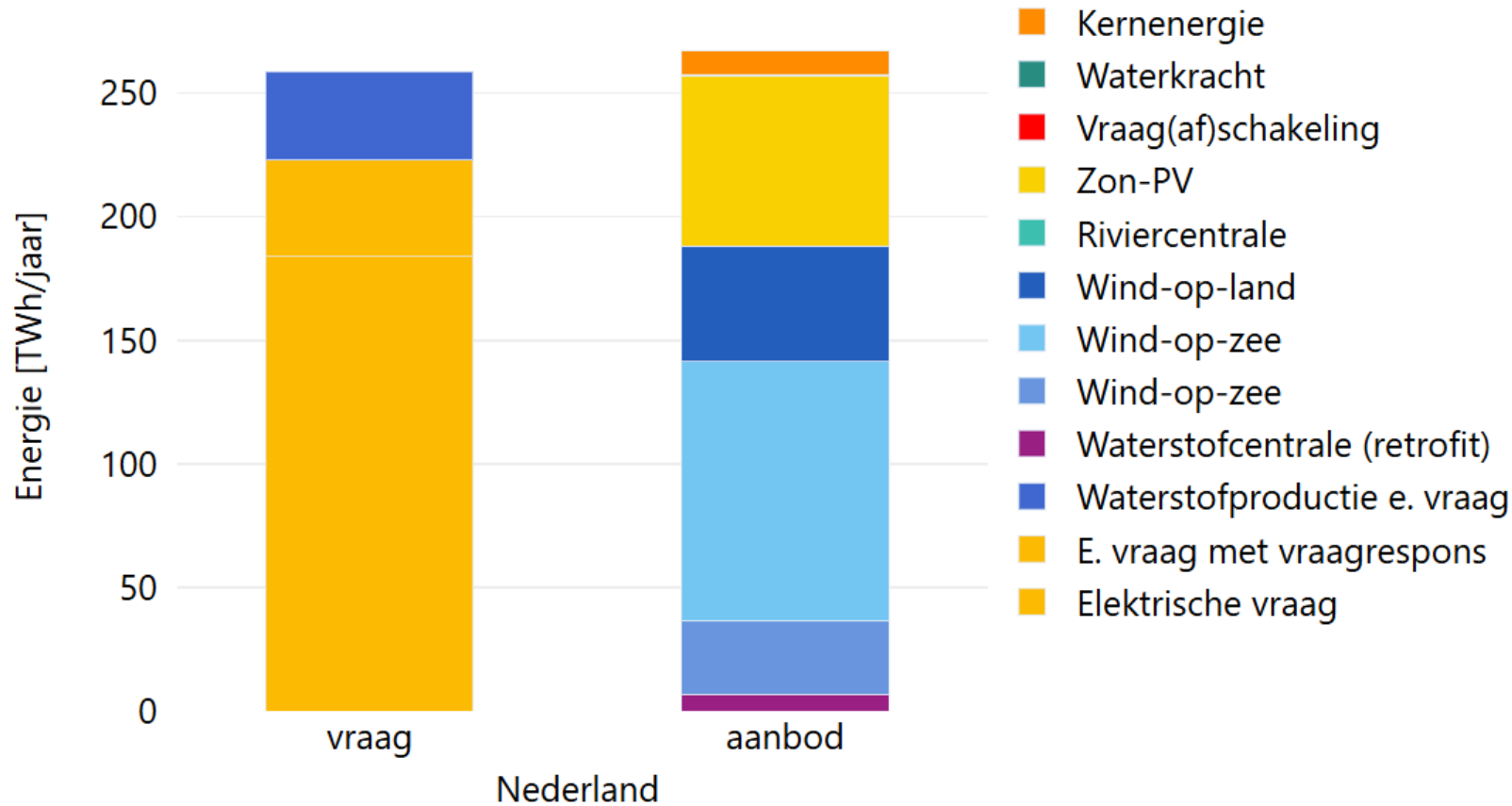
## NPE-waardes

- WOZ: 95% NPE-waarde
- Zon: 95% NPE-waarde
- WOL: 105% NPE-waarde

## Opslag en conversie

- 9 GW 24-uurs opslag
- 5 GW elektrolyse onder NPE waarde
- 11 GW H2-centrale (minder dan IP-scenario's)
- 2,4 TWh waterstofopslag

# Systemanalyse - referentiescenario

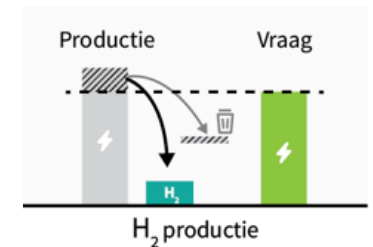


## Energiebalans

- Overproductie in NL door richtwaarden NPE
- Gunstig voor elektrolyse
- Netto exporteur

## Inzet waterstofcentrales

- **6.8 TWh** op blauwe H2



## Andere observaties

- **Netuitbreiding** interconnectie en nationale infrastructuur wordt maximaal uitgebouwd
- **Blauwe waterstof** voorkeursbron centrales, geen import van groene waterstof **buiten EU**
- **Vraagafschakeling** voor paar uur per jaar effectiever dan meer assets bouwen
- **Europa:**
  - Nagenoeg WOZ, veel WOL door kosten net op zee
  - Geen additionele kernenergie
  - Ook belangrijke rol 24-uurs opslag (LDES)



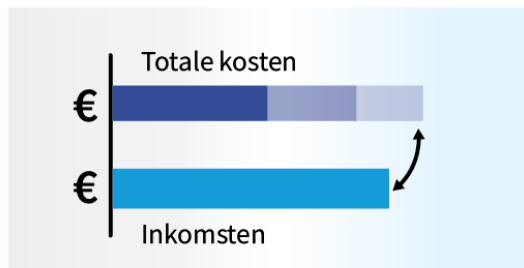
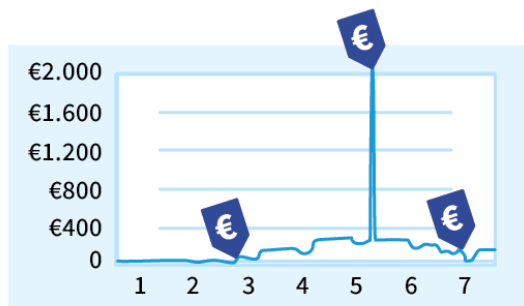
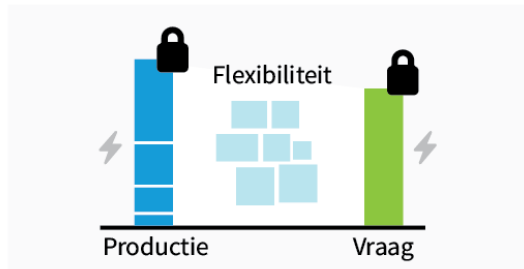
## Marktdynamiek in referentie

Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem



# III. MARKTANALYSE

## METHODE EN UITGANGSPUNTEN

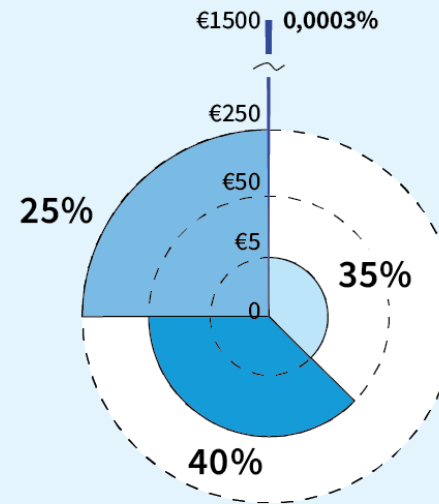


**Stap 1.**  
Opgesteld vermogen referentiescenario

**Stap 2.**  
Uurlijkse prijzen berekenen

**Stap 3.**  
Business case per techniek

## RESULTATEN BUSINESSCASE:



### Uurlijkse prijzen over het hele jaar

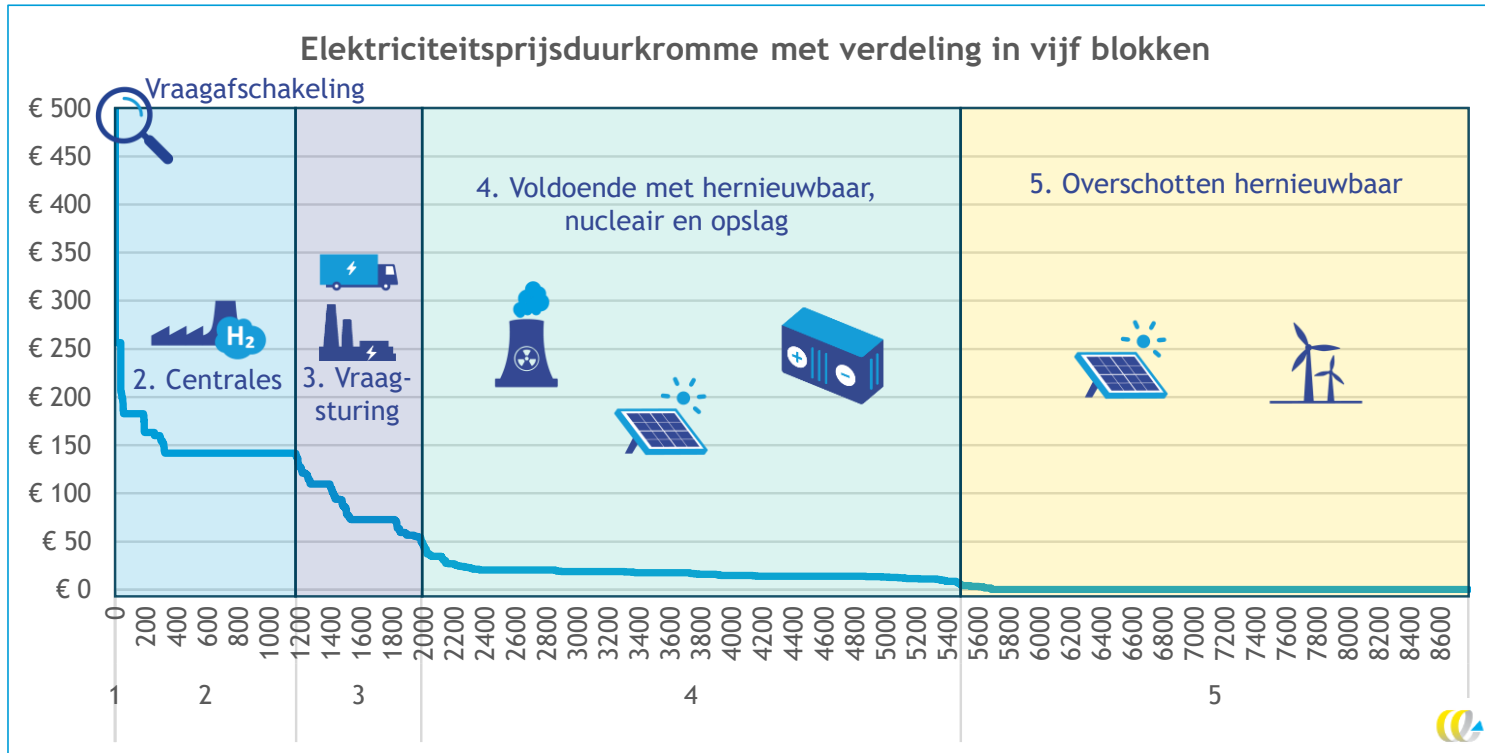
- >1.500 €/MWh: 3 uur per jaar**  
Deel industrie schakelt af, goedkoper dan realiseren extra regelbaar vermogen
- 50-250 €/MWh: 25%**  
Waterstofcentrales, opgeslagen dure elektriciteit en vraagsturing in industrie en mobiliteit bepalen de prijs
- 5-50 €/MWh: 40%**  
Hernieuwbare opwek, opgeslagen goedkope elektriciteit en kernenergie voorzien in elektriciteitsvraag
- < 5 €/MWh: 35%**  
overschotten van opwek ten opzichte van vraag

### BUSINESSCASE PER TECHNIEK: Resultaat kosten en inkomsten 2035



- Inkomsten verkoop elektriciteit plus andere markten.
- Beleid vereist voor businesscase en investeringszekerheid.

# Prijzen



- Behoorlijke fluctuatie in prijzen
- Gemiddelde prijs is 35 €/MWh
- Maximale prijs >1800 €/MWh door vraagafschakeling

# Businesscases

- Model omvat day-aheadmarkt
- Overige inkomsten ingeschat op termijn- en kortere termijn markten en GVO's

	Day-ahead markt	Day-aheadmarkt + overige inkomsten
Wind op zee	-38%	-23%
Wind op land	-34%	-26%
Zon-pv	-45%	-40%
Langetermijnopslag (24-uurs)	-77%	-40%
Waterstofcentrales	-70%	+40%
Vraagsturing	+134%	

- Conclusies:
  - Businesscase van vraagsturing en centrales zijn naar verwachting positief
  - Grote hoeveelheid hernieuwbare opwek, leidt tot lage prijzen en inkomsten
  - Lastige businesscase voor flexibiliteit







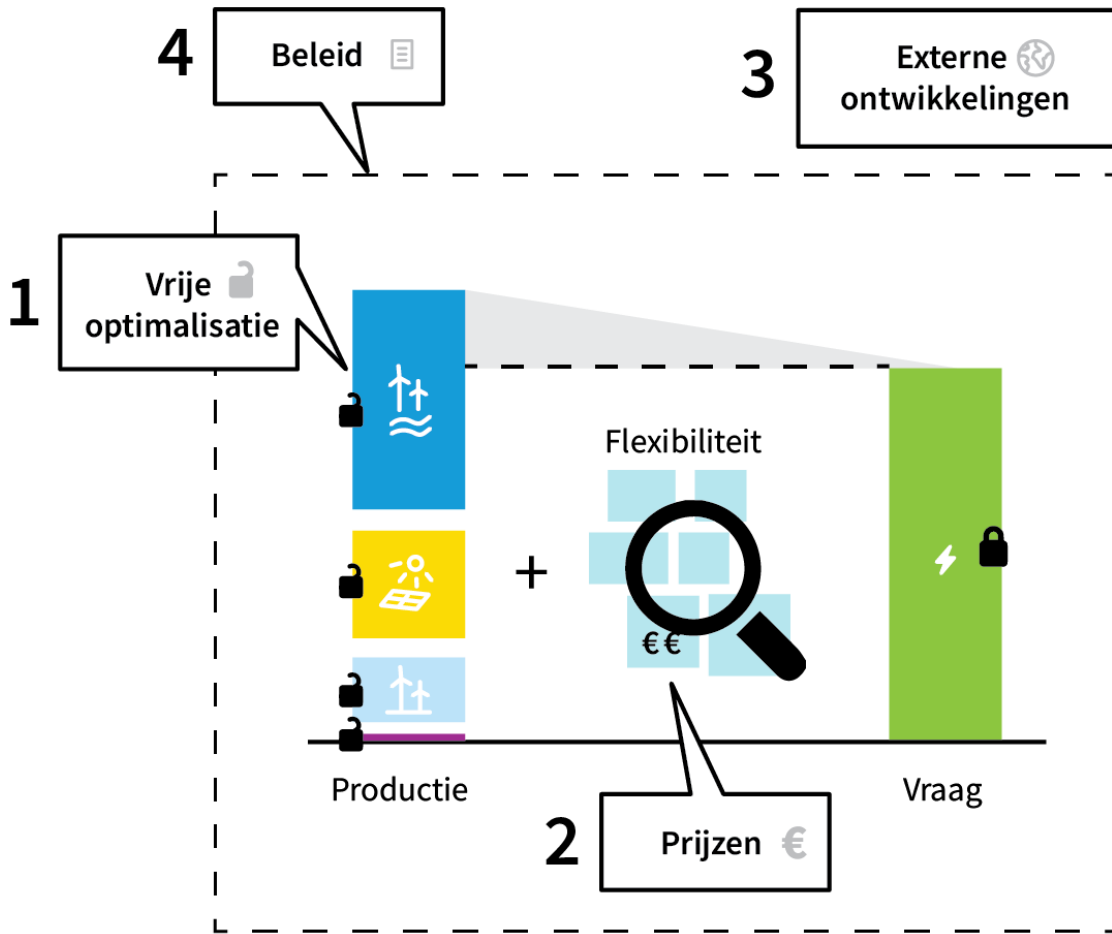
## Inzichten uit 31 varianten

Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem



# IV. 31 ANDERE VARIANTEN BEREKEND

## UITGANGSPUNTEN:



## RESULTATEN VARIANTEN:

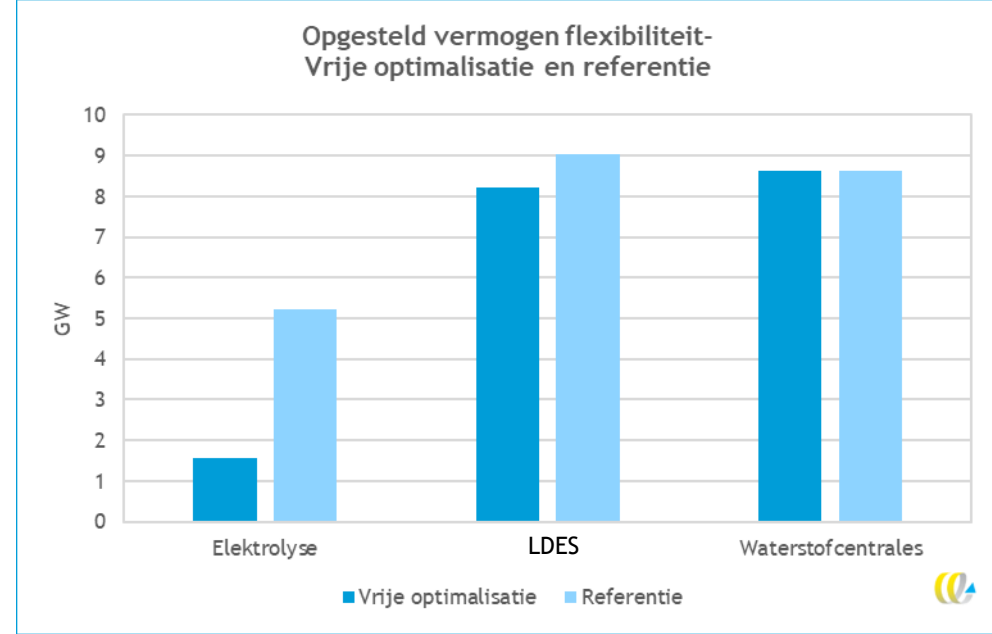
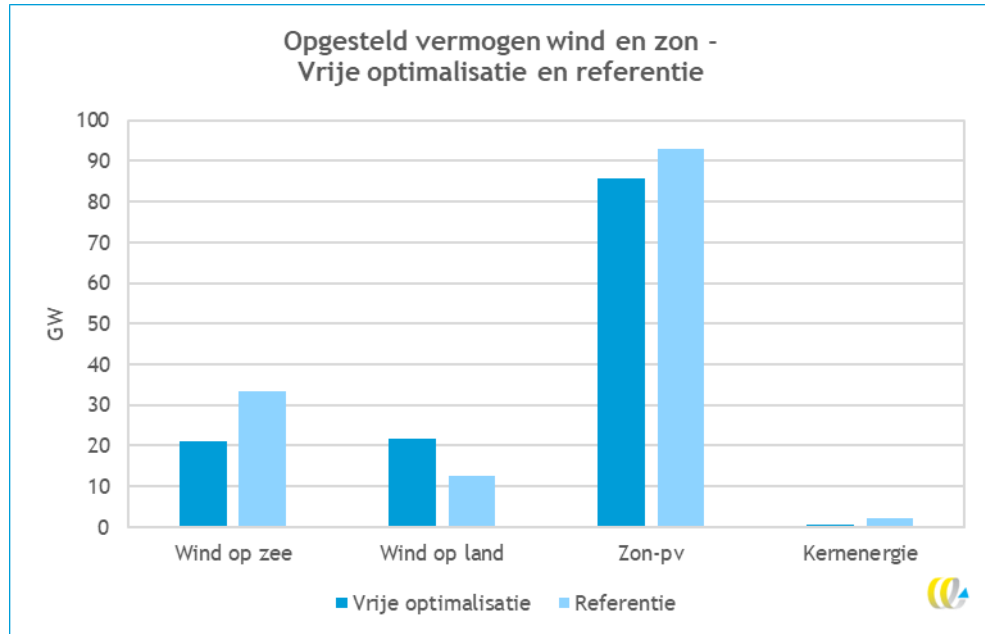
1. **Vrije optimalisatie:** Minder productie van wind op zee en zon-PV en geen kernenergie, import van waterstof. Lagere systeemkosten.
2. **Prijzen:** Wind op land en zon blijven kosteneffectief bij andere prijzen, dus voordeliger dan kernenergie en zon. Als batterijen sterker dalen in kosten, vervangen ze deel van vermogen 24-uurs opslag.
3. **Externe ontwikkelingen:** Vereist additioneel flexibel vermogen voor een extreem weerjaar of als ontwikkeling technieken minder snel gaat.
4. **Beleid met groot effect** zijn centrales op blauwe/groene waterstof of aardgas, doelstellingen CO<sub>2</sub> en kernenergie.



**Zekere trends:**

- Flexibiliteit via vraagsturing en vraagafschakeling industrie
- Opslag elektriciteit en waterstof, samen met H<sub>2</sub>-centrales
- Productie waterstof in NL en NW-EU, geen import van buiten
- Rol voor wind op land en zon, kernenergie niet kosteneffectief

# Vrije optimalisatie



- Geen kernenergie, minder wind op zee en zon-pv.
- Minder productie NL > minder elektrolyse NL
- Totale kosten 6% lager voor NL, wel meer afhankelijkheid van buitenland

# Weerjaar

- Weerjaar 1987: minder productie hernieuwbaar en lange periodes Dunkelflaute
- Belangrijkste effecten:
  - Meer waterstofcentrales nodig om ten alle tijden aan vraag te voorzien → deze centrales slechts eens in enkele jaren nodig
  - Stuk minder overschotten van hernieuwbare opwek
    - Minder productie groene waterstof, import nodig
    - Deel elektrolyzers en 24-uursopslag staat stil
  - Totale systeemkosten 7% hoger dan in gemiddeld weerjaar



## Niet CO2-vrij

- Scenario alle NW-Europese landen 95% reductie
- Vervanging 8,6 GW waterstofcentrales door 8,7 GW gascentrale
  - iets meer draaiuren van gascentrales
- Meer export vanuit Nederland
- EU kostendaling is 2,7%

# Lagere batterijkosten

- Ontwikkeling batterijprijzen laat sterke daling zien afgelopen maanden
- Verandering resultaten Nederland:
  - 8 i.p.v. 9 GW 24-uurs opslag
  - 1 GW 4-uurs batterijen
- Verandering resultaten EU:
  - Mix van 4-uurs (55 GW), 12-uurs (10 GW) en 24-uurs opslag (53 GW)





## Conclusies en aanbevelingen

Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem



# Conclusies uit andere varianten

- **Systeemanalyse**

- Voor CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem is veel hernieuwbare opwek (**overplanting**) optimaal, aangevuld met (24-uurs) opslag en deel waterstofcentrales
- Additioneel vermogen vereist voor onzekere ontwikkeling technieken en inspelen op **extreme** omstandigheden anders veel **vraagafschakeling**

- **Businesscase**

- Met **dominant hernieuwbare** energiemix wordt elektriciteit op veel uren **goedkoop**
- **Lastige** businesscase voor hernieuwbaar, deels ook voor opslag
- Markt biedt mogelijk **onvoldoende zekerheid** voor snelle investeringen



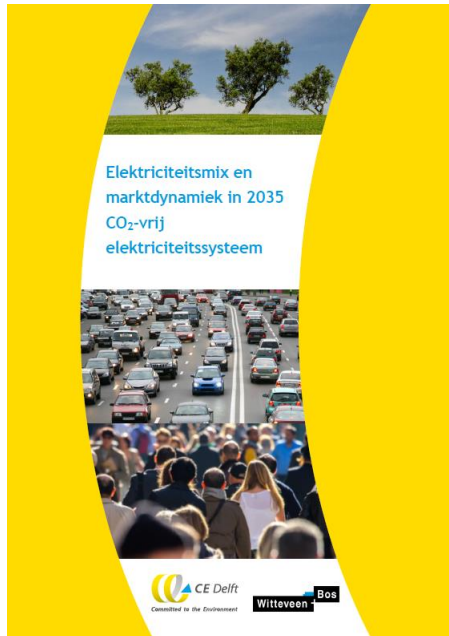


# Aanbevelingen

- Potentie en rol: 24-uurs opslag, DSR en WOL
- Nieuw beleid voor businesscases: normeren, beprijzen of subsidiëren
- 2035 is morgen; actie van overheid en bedrijven op zeer korte termijn vereist
- Verhouding opwek/vraag in 2035 en erna; timing bepaalt mede businesscase

# Dank!

- Voor meer vragen: [cappellen@ce.nl](mailto:cappellen@ce.nl) of [seth.van.wieringen@witteveenbos.com](mailto:seth.van.wieringen@witteveenbos.com)



- Bekijk het rapport: <https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/elektriciteitsmix-en-marktdynamiek-in-2035/>
- Verken zelf resultaten in de viewer: <https://witteveenbosdatalakeopen.z6.web.core.windows.net/>



## Vragen

Onderzoek energiemix en marktdynamiek CO<sub>2</sub>-vrij elektriciteitssysteem

