

Uitdagingen en oplossingen voor waterstof als optie voor lange termijn energieopslag

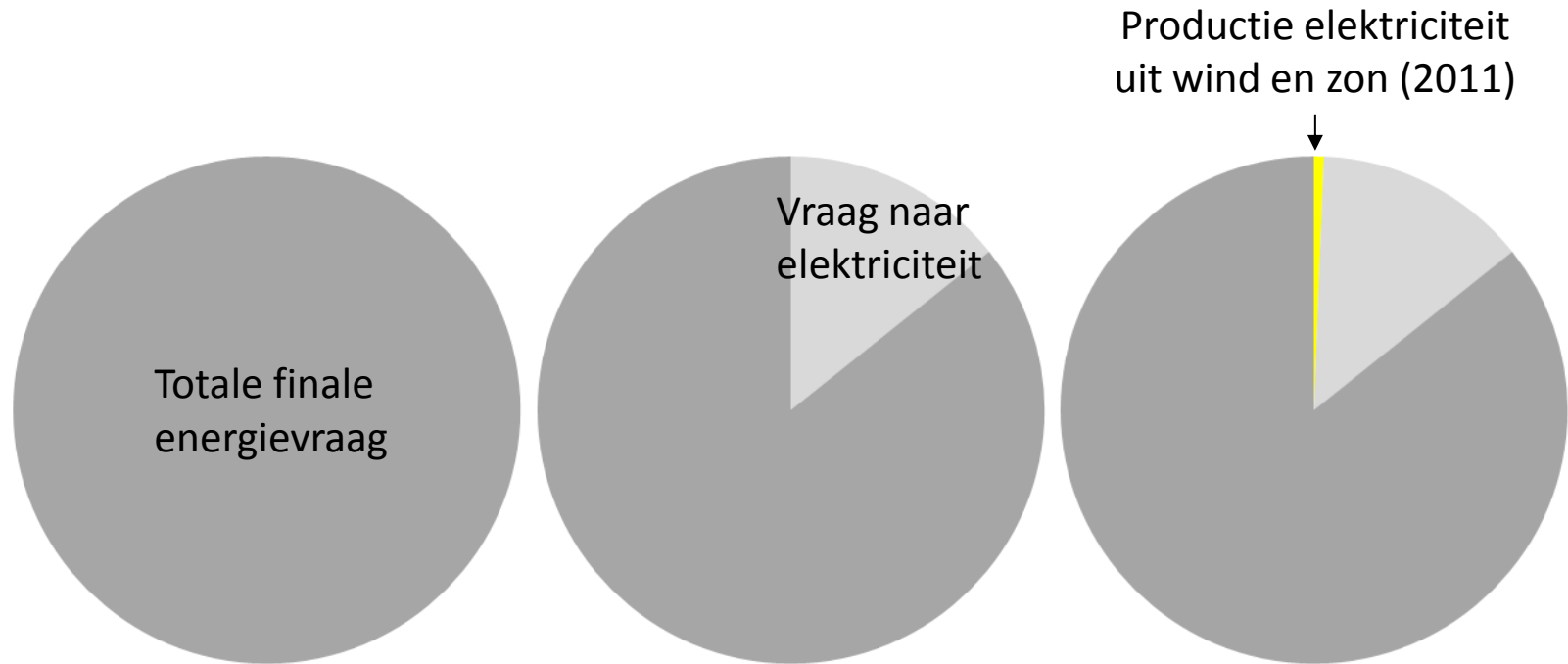
Marcel Weeda en Jeroen de Joode
ECN-L--14-047

KIVI
Solar-PV 2050 Power Lab, deel 2
24 april 2014, Utrecht

Power-to-Gas en waterstof: Relatie en belang?

- Gebruik van elektriciteit voor productie van een gasvormige energiedrager
 - Vaak wordt synthetisch aardgas bedoeld; $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Sabatier proces)
 - ... **maar eerste stap is altijd waterstof**; $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (elektrolyse)
- Aandacht door ontstaan van elektriciteit waar niet direct vraag naar is (“residual” electricity) bij voortgaande inzet van wind- en zonne-energie via windturbines en zonnepanelen
- Er is een relatie met elektriciteitsopslag, maar gaat bovenal over **integratie van energie uit intermitterende bronnen in het energiesysteem**
 - Over op het ene moment, maar tekort (hernieuwbare elektriciteit) op ander moment
 - Nog lang geen overschot (koolstofloze) hernieuwbare energiedragers

Onverschheid elektriciteit en energie!



Oplossingsrichtingen voor een duurzame energievoorziening

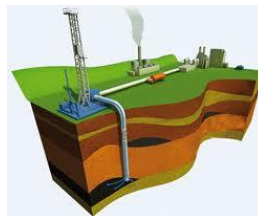
- Meerdere opties invulling uitdagingen gerelateerd aan fossiele energie



Energiebesparing



Biomassa



CO₂ afvang
en opslag



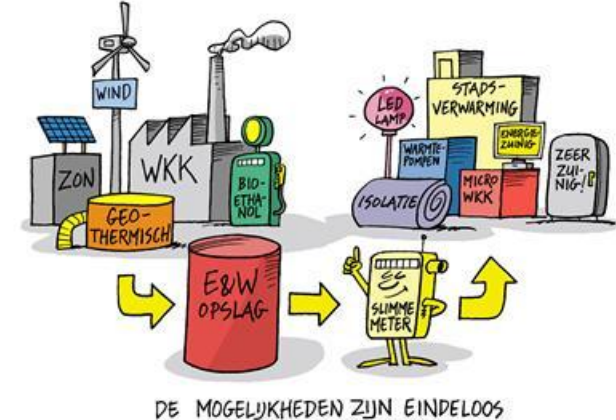
C-vrije energiebronnen
(veel elektriciteitsopties)

- Diverse “smaken” met mogelijkheden en beperkingen

➤ **Oplossing is niet “of-of”, maar “en-en”, ...
met een grote rol voor energie uit zon en wind**

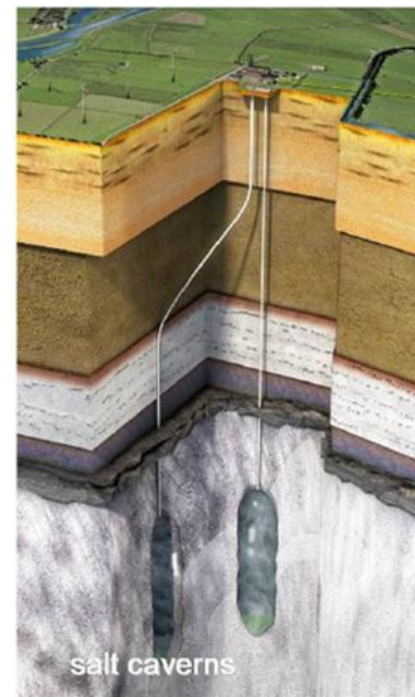
Dutch “P2G Systems Analysis” project

- Integral energy systems analysis to explore the potential role for P2G in a future Dutch energy system
- Provide stakeholders with insights for strategic decision-making (i.e. R&D, infrastructure investment, etc)
- Nov. 2012 – March 2014
- Project consortium:
 - ECN and DNV-KEMA
 - Supported by a wide range of affiliated parties
- Affiliated Parties (Dutch stakeholders)
 - Provide guidance, and knowledge and data
 - Extracting lessons



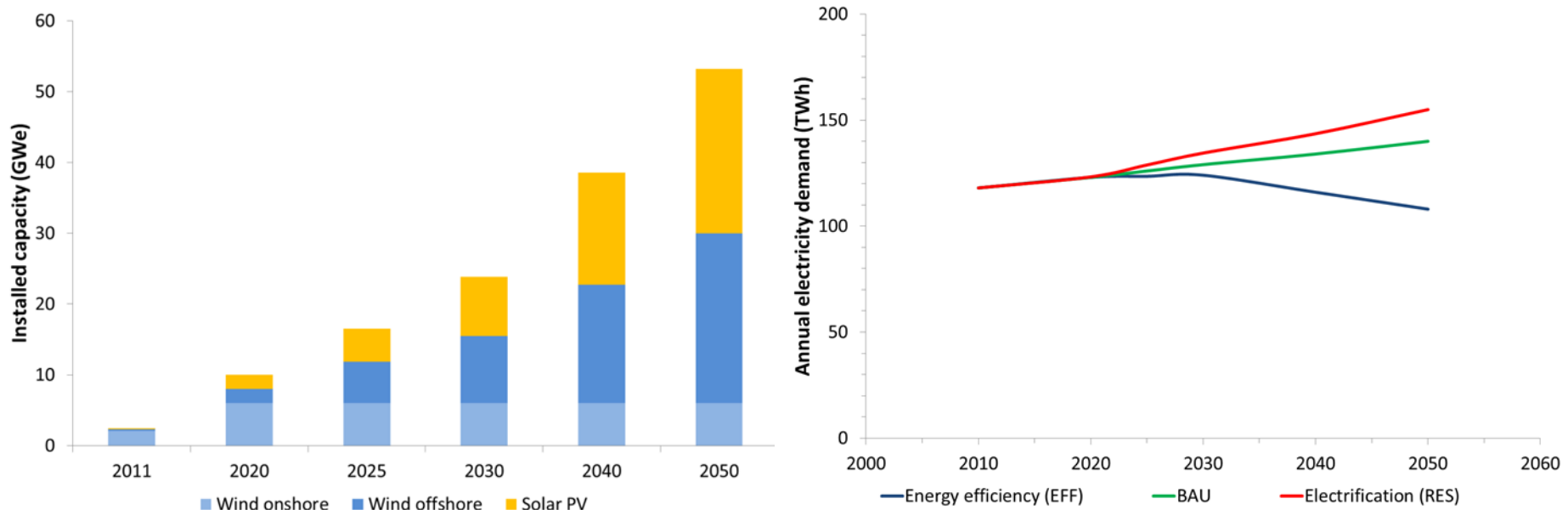
EU project **HyUnder**

- Assessment of the potential, actors, and relevant business cases for hydrogen underground storage to support large scale integration of intermittent renewable energy in Europe
- 2 year project started June 2012
- 6 case studies (France, Germany, Netherlands, Romania, Spain, UK), supported by a wide range of affiliated parties
- Project consortium:

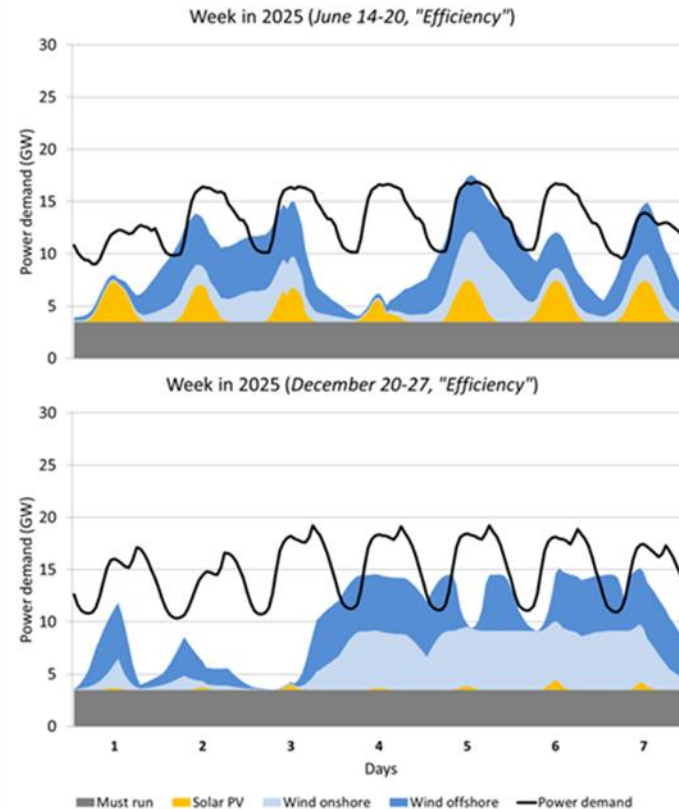
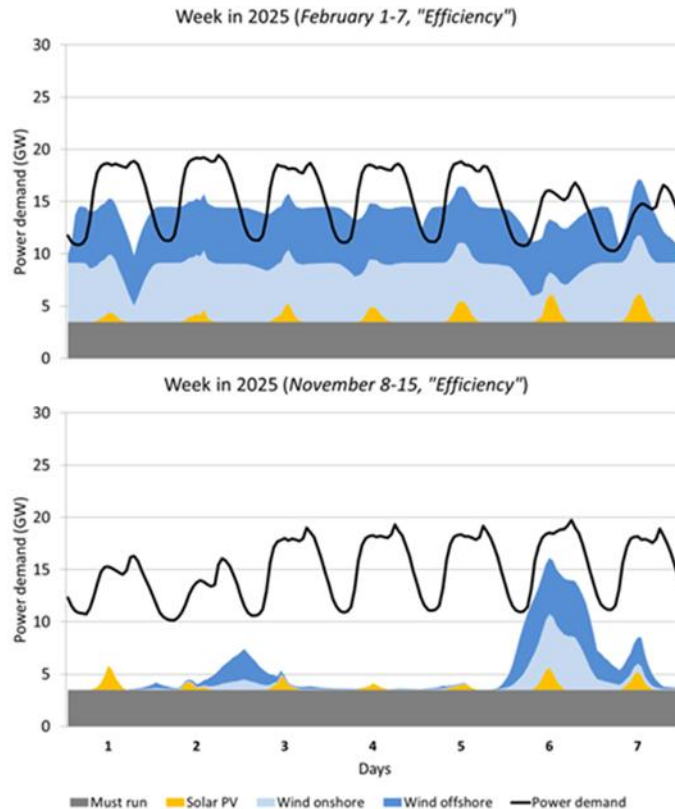


Vooruitzichten zon en wind in Nederland

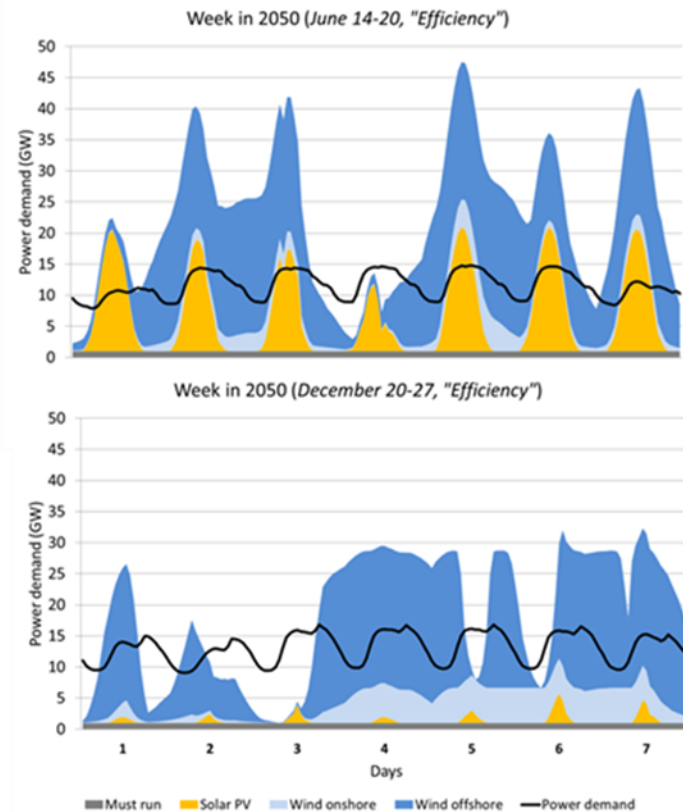
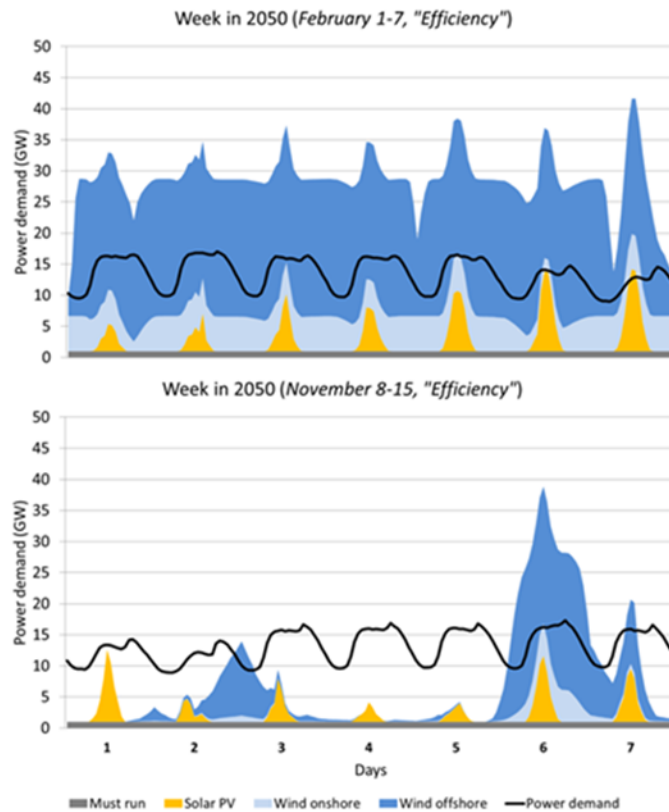
- Duidelijk doelen voor wind tot 2020-2023
- “Educated guess” voor zon en wind na 2023



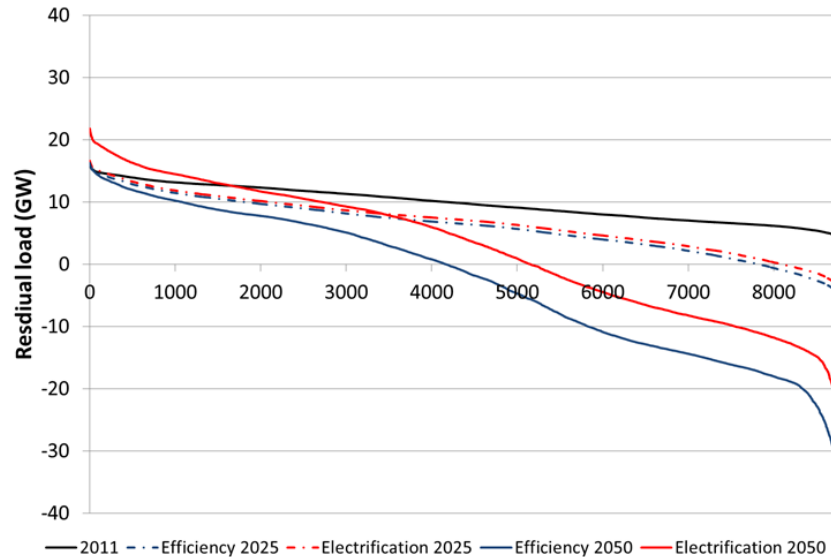
Vraag en aanbod elektriciteit; indicatie situatie 2025



Vraag en aanbod elektriciteit; indicatie situatie 2050

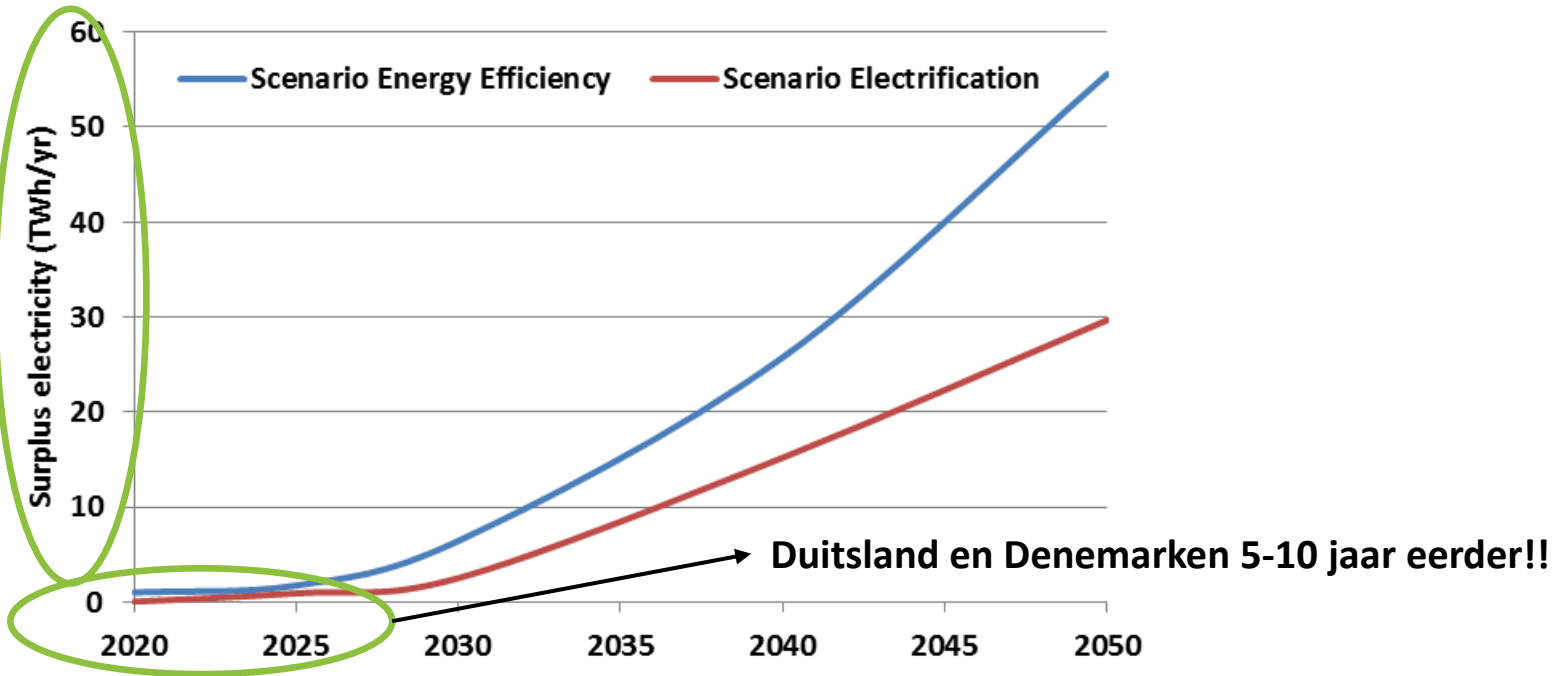


“Residual load curve” en “residual” elektriciteit 2025/50



'Surplus' electricity	2025	2050
	Electrification - Efficiency	
# hours / year	668 - 938	3609 - 4598
TWh / year	0.9 - 1.7	30 - 56
% of demand	0.7 - 1.4%	19 - 51%
% of wind & solar-PV production	2.3 - 4.4%	24 - 45%

Ordegrootte "residual" elektriciteit voor Nederland



- Nederlands vraagprofiel elektriciteit geschaald volgens verschillende scenario's voor vraagontwikkeling
- Geïnstalleerd vermogen wind en PV o.b.v. SER akkoord en % van maximum potentieel als schatting voor 2050
- Profielen voor wind op land, wind op zee en zonnestraling voor Nederland (2010)

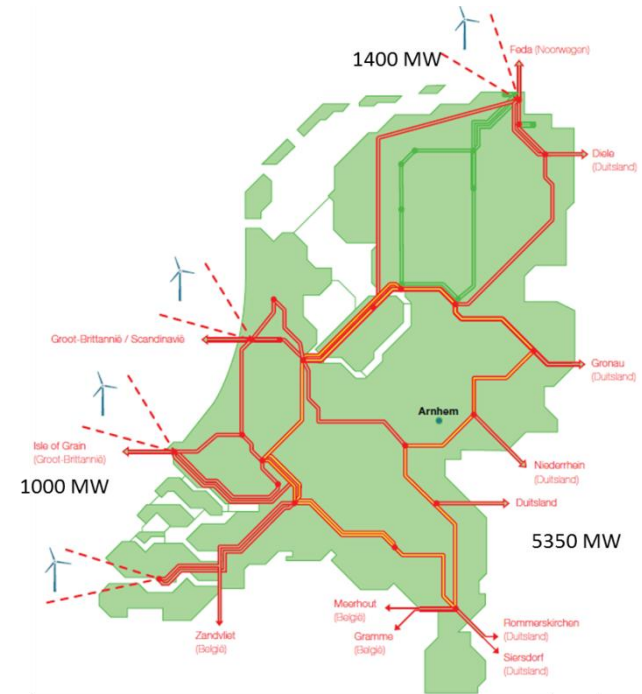
Options for facilitating the integration of intermittent RES

Issue is not new, but increasing, with need for:

- Dispatchable power plants
- Demand side management
- Curtailment
- Interconnection with adjacent markets
- “Electricity” storage options

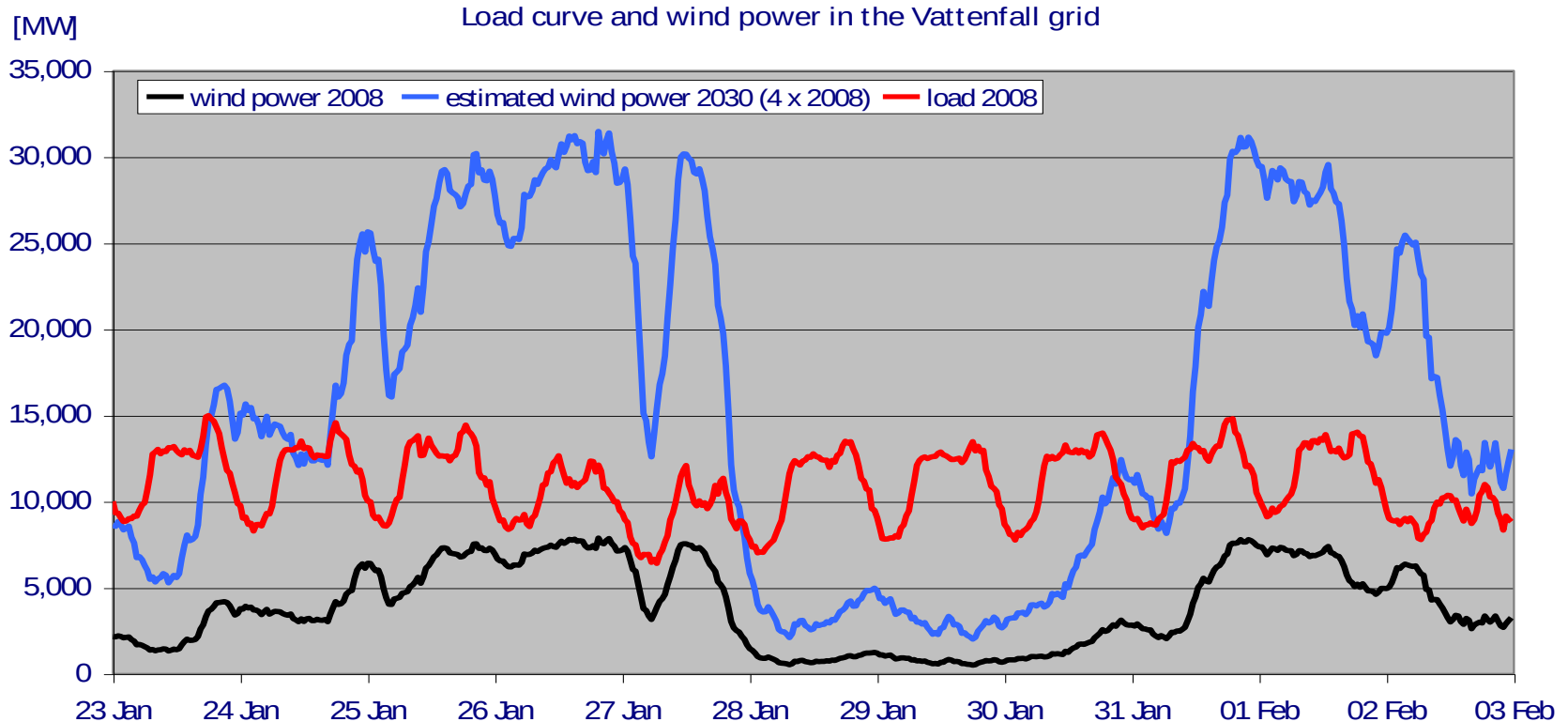
... but solutions are not sufficient for the (future) energy system:

- Further electrification of end use
- P2G



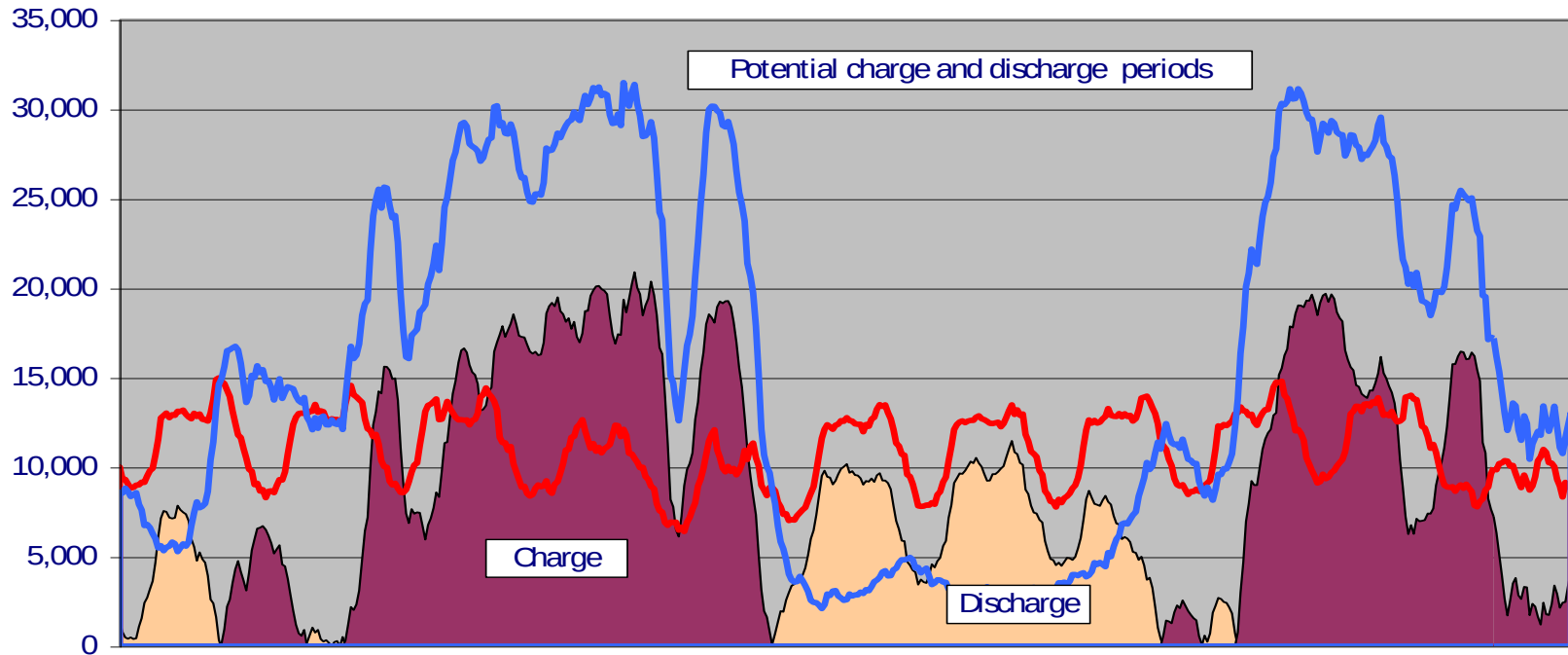
Source: TENNET

Challenge: Integration variable RES



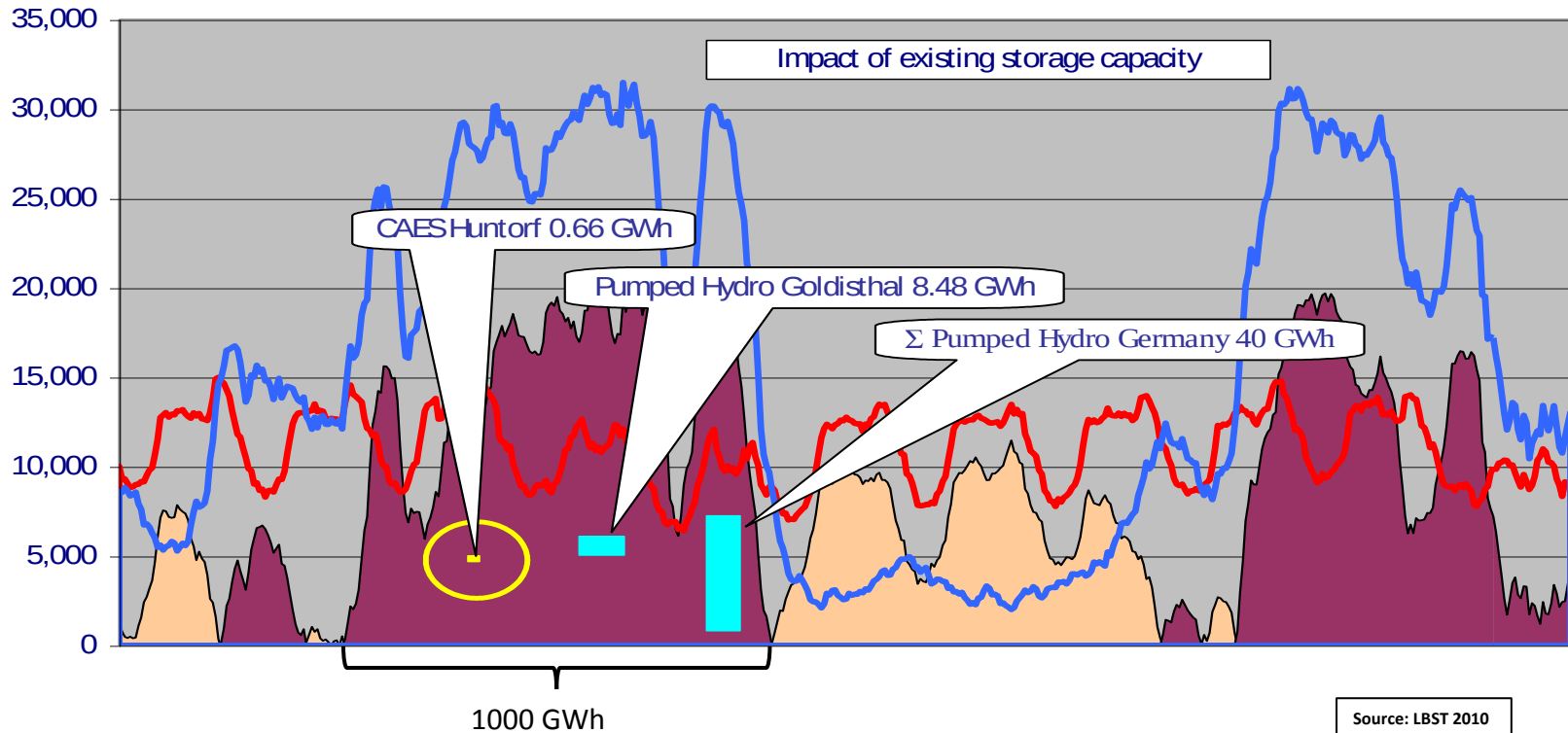
Challenge: Integration variable RES

Load curve and wind power in the Vattenfall grid

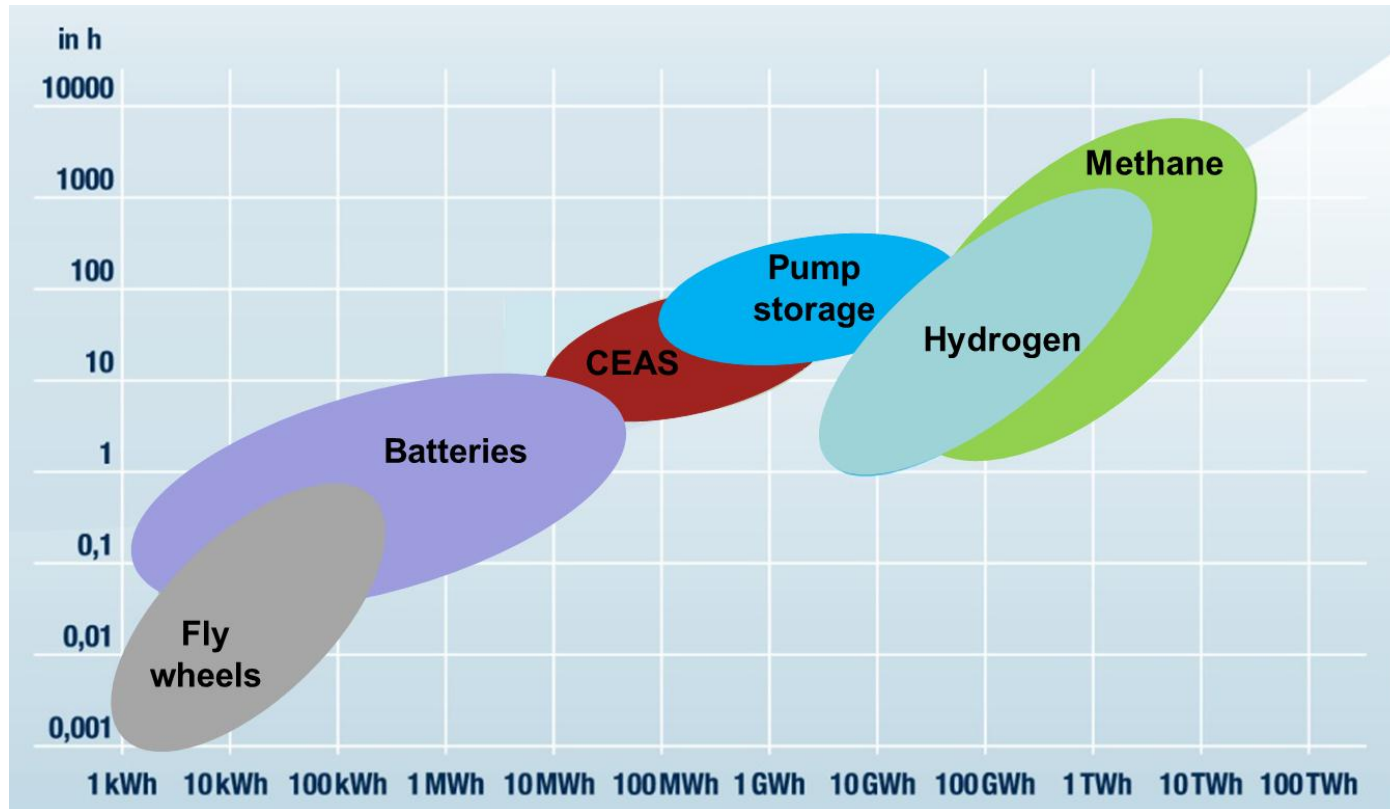


Challenge: Integration variable RES

Load curve and wind power in the Vattenfall grid



Technologie voor energie-opslag



Grootschalige opslag van waterstof

Benchmarking results for high pressure hydrogen storage options

	Salt Caverns	Depleted Oil Fields	Depleted Gas Fields	Aquifers	Lined Rock Caverns	Unlined Rock Caverns	Abandoned Salt Mines	Abandoned Limestone M.	Pipe Storage	Weighting coefficient
Safety										
Tightness of Storage	++	+	++	++	+	-	o	-	--	++
Feasibility to prove tightness	++	++	++	+	o	-	--	--	--	++
Practical experience	++	o	+	+	o	o	o	-	--	++
Technical feasibility										
Working gas capacity	+	++	++	++	o	-	+	+	o	--
Flexibility	++	o	o	o	+	+	+	+	+	++
Content of impurities	++	-	o	+	++	+	++	++	-	++
Damage to storage by reactions	++	-	-	-	++	++	++	++	-	++
Investment costs										
Exploration efforts	+	+	++	-	o	o	+	+	o	++
CAPEX	+	+	++	+	-	-	+	+	+	--
Operation										
Static and dynamic stability	++	+	+	+	++	+	o	o	o	++
OPEX	++	o	+	+	++	o	+	+	-	++
Rank	1.	5.	2.	3.	4.	6.				

Rating:	
very good	++
good	+
fair	o
poor	-
insufficient	--

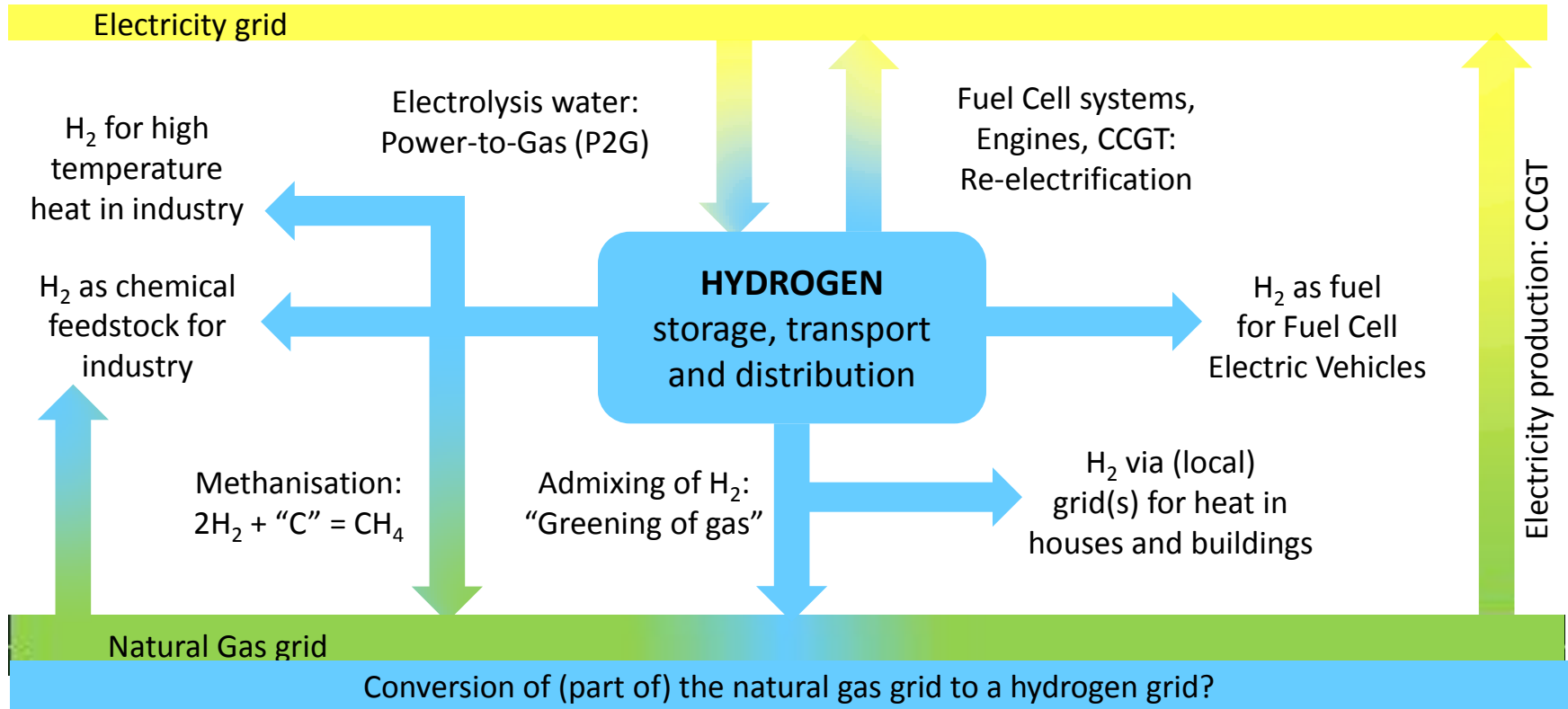
Opslagpotentieel
zout cavernes in
HyUnder MS:

- Ca. 2000 Mton
- Ca. 70.000 TWh

Source: HyUnder D3.3 Benchmarking
of selected storage options

P2G: Integrated perspective

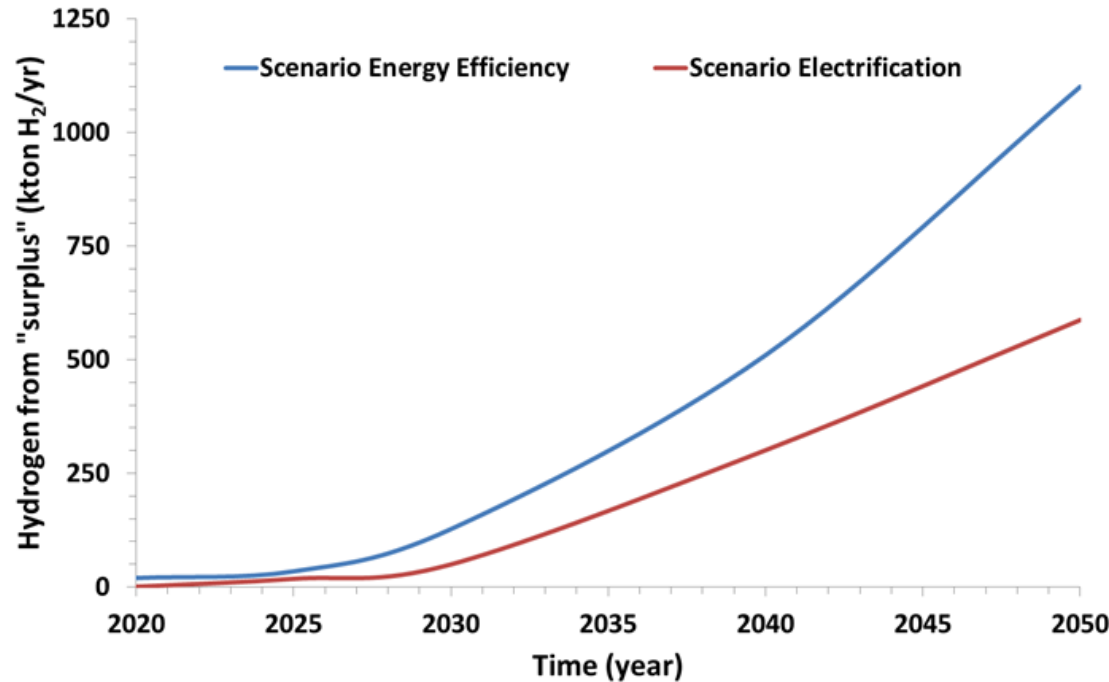
Full overview of options



P2G: Flexibiliteit; verschuiving van energie in drie dimensies

• Time-shifting	Elektriciteitsproductie	Brandstofcel Gasturbine Gasmotor
• Locatie shifting	Interregionaal Internationaal Intercontinentaal	
• End-use shifting	“Wind” gas Chemische grondstof Transportbrandstof	Injectie in NG-net SNG productie Productie kunstmest Olie raffinage ... GTL brandstoffen Brandstofcel (Verbrandingsmotor) ¹⁹

Inzet "residual" elektriciteit via waterstof in toepassingen



Vervanging van ca. 9% van de totale aardgasvraag in 2012 door waterstof

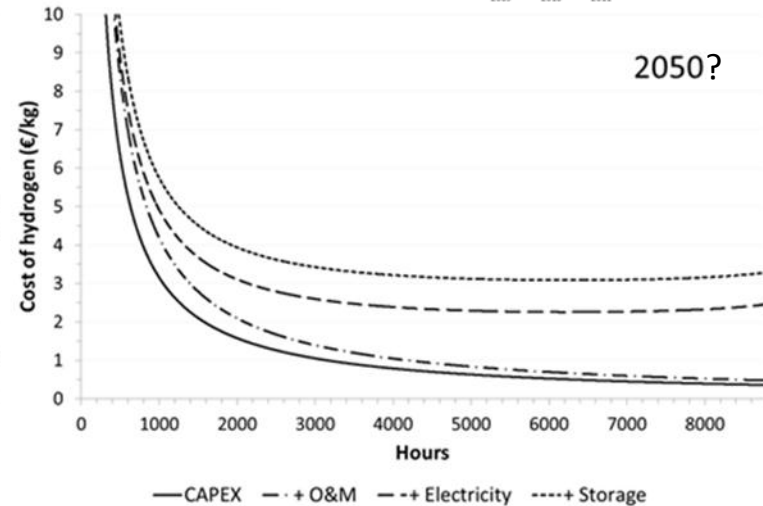
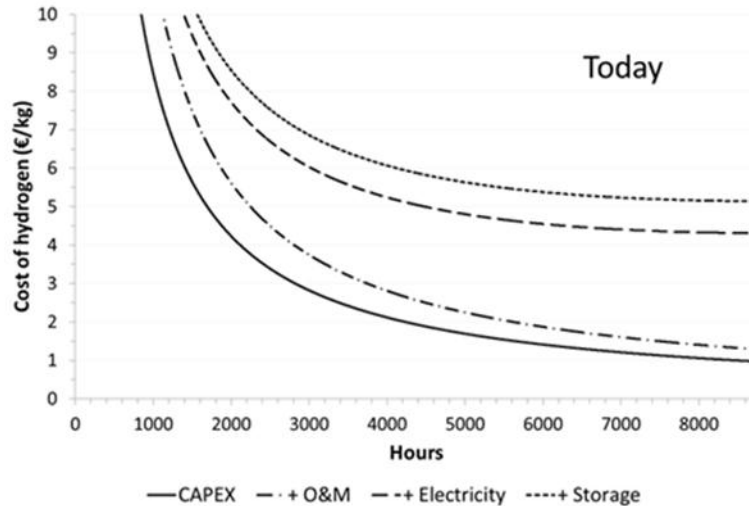
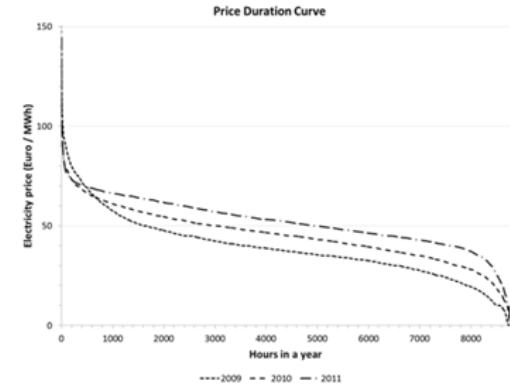
Volledige vergroening van de industriële waterstofvraag

Waterstof voor 4,5 mln auto's

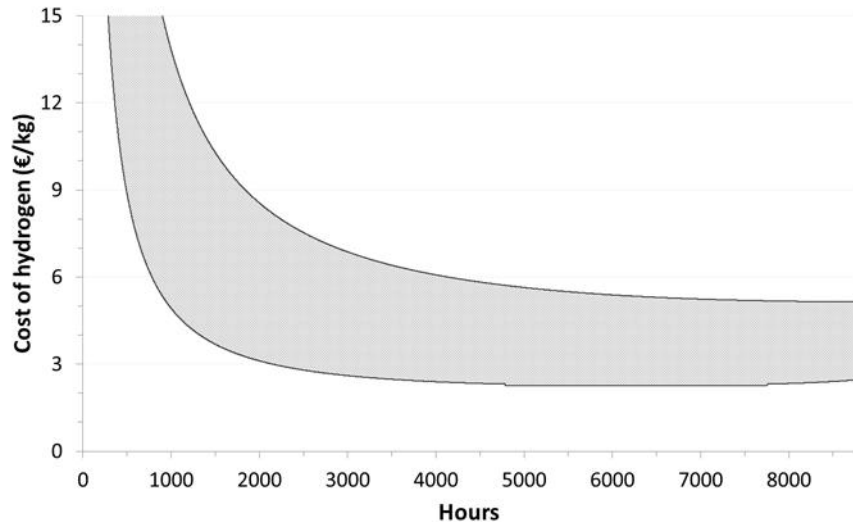
- 100% omzetting "residual" elektriciteit; elektrolyse efficiency 66% (LHV)
- Aardgas: aardgasverbruik 2012 is ca. 44 mld Nm³/jaar; ruim 400 TWh/jaar (CBS)
- Industrie: waterstofvraag ruim 900 kton/jaar in 2003 (SRI Consulting, 2004)
- Auto's: brandstofcelauto's; 13.000 km/jaar/auto; 1kg/100km

Cost of H₂ production via electrolysis

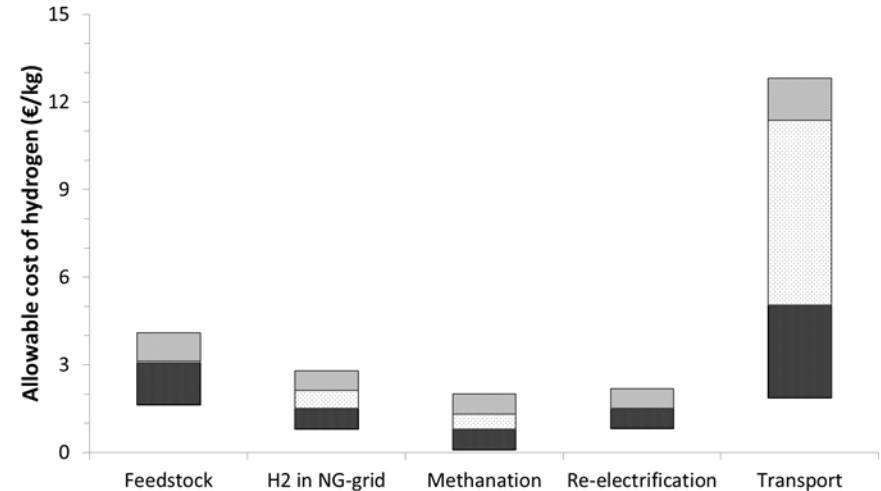
- Electrolyser investment cost: 1200 – 500 €/kWe
- Fixed annual O&M: 4% of electrolyser investment
- Current electricity market prices (APX)
- WACC of 8% and NPV = 0 after 20 years



Comparison cost of H₂ production and allowable cost



Range for cost of hydrogen



Based on reference energy prices Extra range energy tax/excise exemption Impact 100 euro/ton CO₂ tax

- Current outlook business cases hydrogen from electrolysis:
 - Favorable for use as transport fuel
 - Relatively favorable for use as feedstock in industry
 - Less favorable for greening of gas, and electricity and SNG production

Uitdagingen en oplossingen ...

- **Elektrolyse:** robuuste en flexibele systemen; schaalgrootte; kosteneffectief
- Vinden/ontwikkelen van “business cases”: integrale oplossingen – bredere blik dan alleen “residual” elektriciteit
- Nader overwegen en uitwerken rol waterstof in eindgebruik (bijvoorbeeld elektrificatie transport: batterijen en brandstofcellen)
- Reserveren en ontwikkelen van buffercapaciteit voor waterstof
- Transport en distributie-infrastructuur: aardgasnet geschikt? Kan het (deels) worden aangepast? Wat, hoe en wanneer?

Uitdagingen en oplossingen ...

- Overwinnen knelpunt tussen:
 - Gebrek aan korte termijn urgentie en duidelijke economische haalbaarheid
 - Langere termijn noodzaak t.b.v. vergaande integratie zon en wind in energiesysteem
- Gezamenlijke integrale visie op een duurzaam energiesysteem en de weg daar naar toe



Bedankt voor uw aandacht

 **Supported by:**



The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP/2007-2013) for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Technology Initiative under grant agreement n° (303417) 10.

“Power-to-Gas Systems Analysis” Supported by:



The research leading to these results has received funding from the Dutch Top Sector Knowledge and Innovation (TKI) Programme.

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
The Netherlands

P.O. Box 1
1755 ZG Petten
The Netherlands

T +31 88 515 49 49
F +31 88 515 44 80

info@ecn.nl
www.ecn.nl

Contact:

Marcel Weeda:
Jeroen de Joode:

weeda@ecn.nl
dejoode@ecn.nl