



FREMTIDENS ENERGIKILDER

- HVILKE GRØNNE ENERGIER, VIL DANNE RAMME OM FREMTIDENS
ENERGINET I DANMARK OG EUROPA?

Oplæg ved Summer School
2024-08-28

*Anders Bavnhøj Hansen, (abh@energinet.dk)
Chefingeniør
Energinet, Systemperspektiv*



Læs mere:
<http://www.energinet.dk/sys2035>
2024-05-23

DISPOSITION

1. Internationalt udsyn (Europæiske ENTSO-E scenarier)
2. Udviklingen i det danske energisystem system set i et perspektiv for el, brint og gas systemerne
3. Spørgsmål og drøftelse

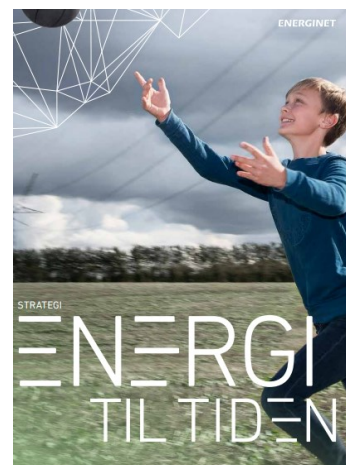
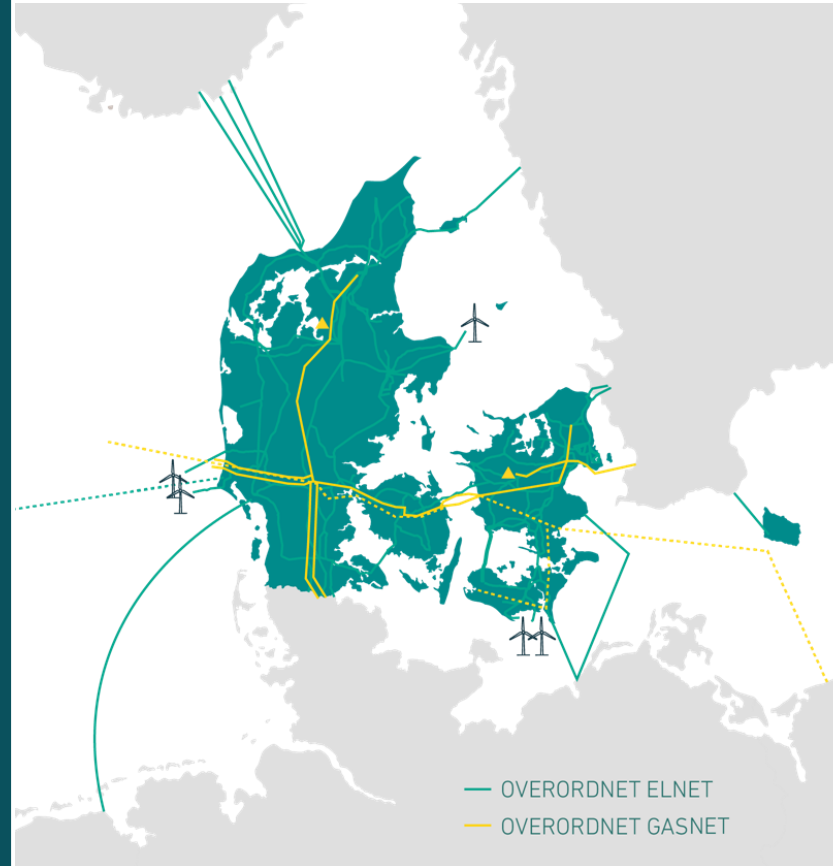
ENERGINET

Energinet er en selvstændig offentlig virksomhed under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet.

Energinet ejer og udvikler el- og gasnet i Danmark for at indpasse mere vedvarende energi, opretholde forsyningssikkerhed og sikre lige markedsadgang til nettene

Energinet har en central rolle i at etablere og drive fremtidens danske brintinfrastruktur

ENERGINET



Sektorkobling og samarbejde

For at lykkes skal vi først og fremmest optimere infrastrukturudbygningen via sektorkobling på tværs af el- og gas- samt fremtidens brint- og CO₂-systemer og på tværs af aktiver på land og til havs. Vi skal altså planlægge helhedsorienteret og med bredt udsyn, hvor vi i tæt dialog med vores omverden afstemmer forventningerne til den samlede udvikling i større geografiske områder og på tværs af sektorer.

[Energinet strategi "Energi til tiden"](#)



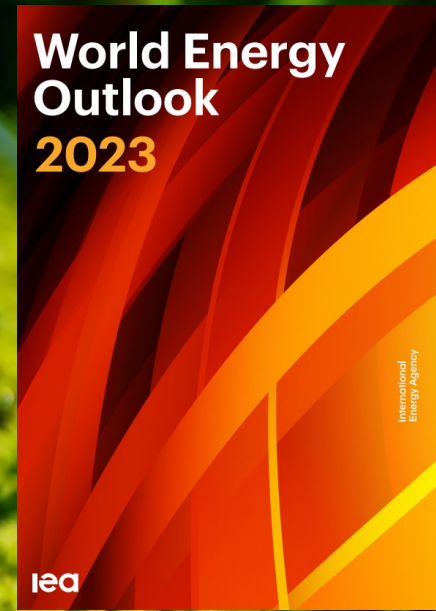
GRØN OMSTILLING

MÅL 2030:

70 % reduktion af
drivhusgasudledninger

MÅL 2045:

DK = Klimaneutral
100 % grøn energi



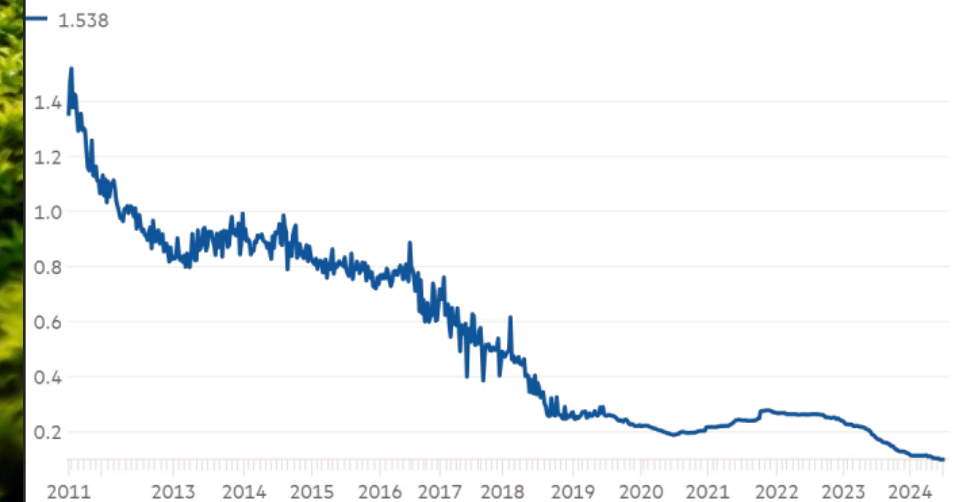
EU KLIMANEUTRALITET 2050

55% reduktion i 2030 (i forhold til 1990 udledning)

90-95% reduktion i 2040?

Solar panel prices have plummeted

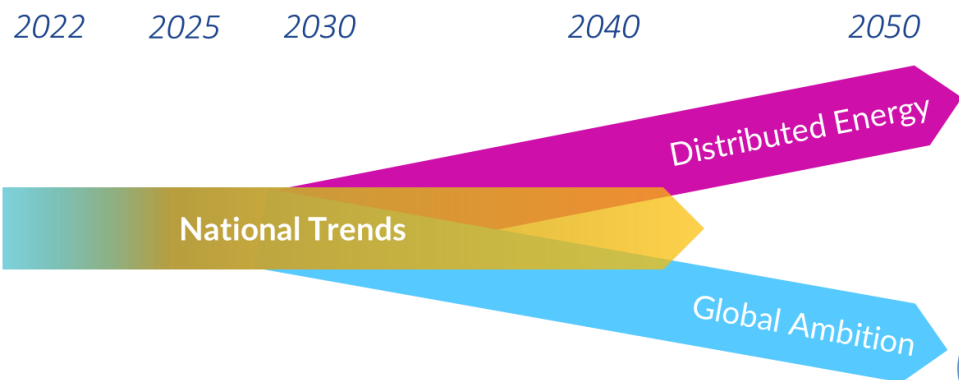
Monocrystalline silicon modules: \$/watt



Global module prices in free markets

EUROPÆISKE SCENARIER SOM RAMME

ENTSO-E/G samarbejdets tre scenarier til at definere udfaldsrum (TYNDP22)



Higher European autonomy with renewable and decentralised focus

Aggregation of national policies and strategies as stated end of 2020

Global economy with centralised low carbon and RES options

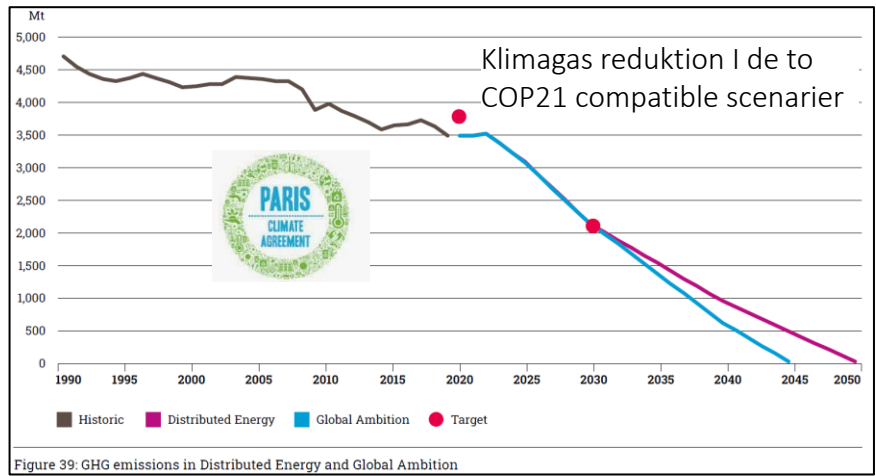
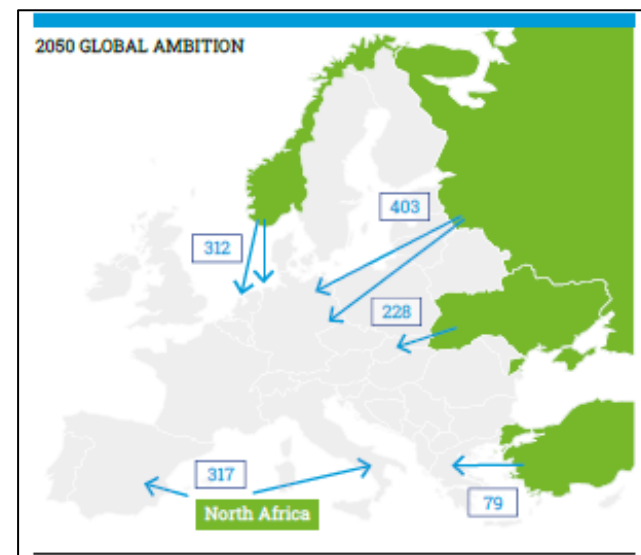
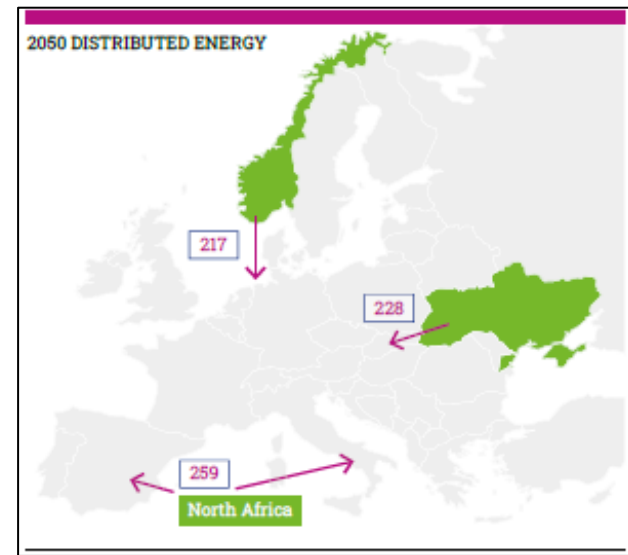


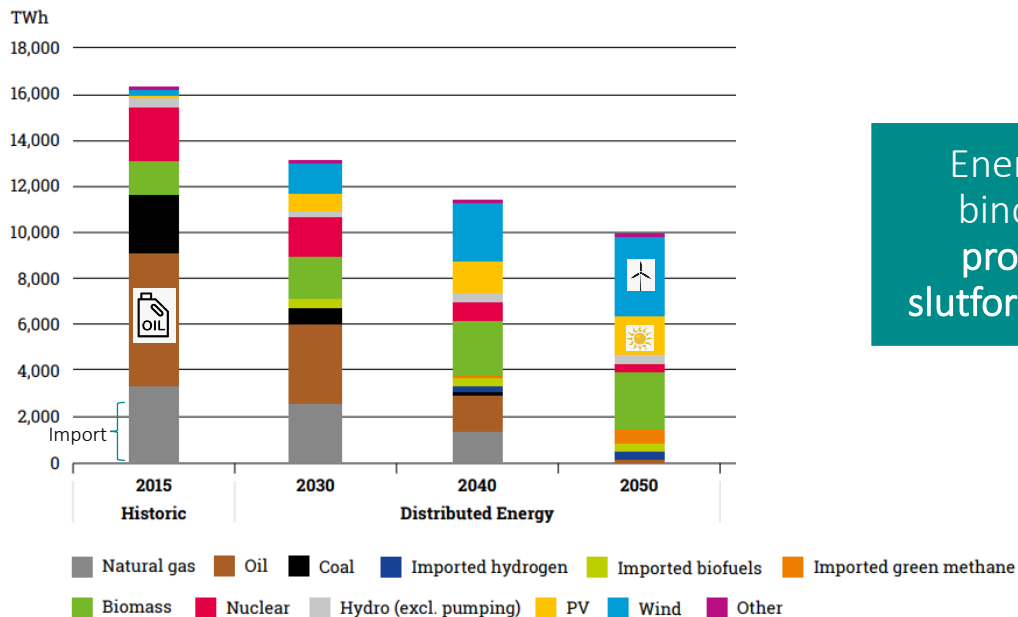
Figure 39: GHG emissions in Distributed Energy and Global Ambition

- Distributed Energy: Klimaneutralitet med højt fokus på Europæisk autonomi
- Global Ambition : Klimaneutralitet - men højere grad af import af naturgas
- Europa skal bruge store mængder brint til den grønne omstilling - potentielt fra danske VE-ressourcer

EUROPÆISK UDVIKLING I ENERGIFORSYNING

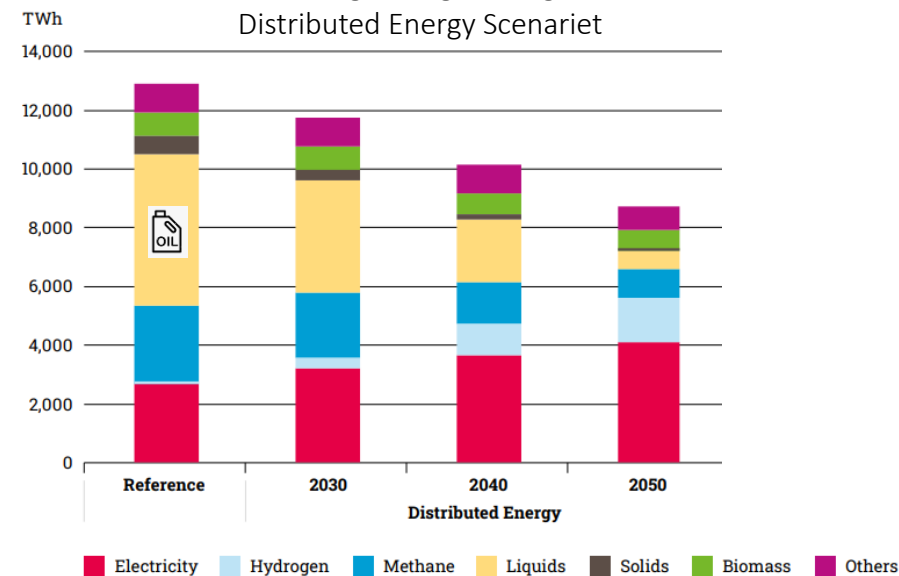
Fra olie domineret forsyning til el-domineret – og med brint som ny spiller i forsyning

Energiforsyning i Distributed Energy Scenariet



Energisystemet binder energi-produktion og slutforbrug sammen

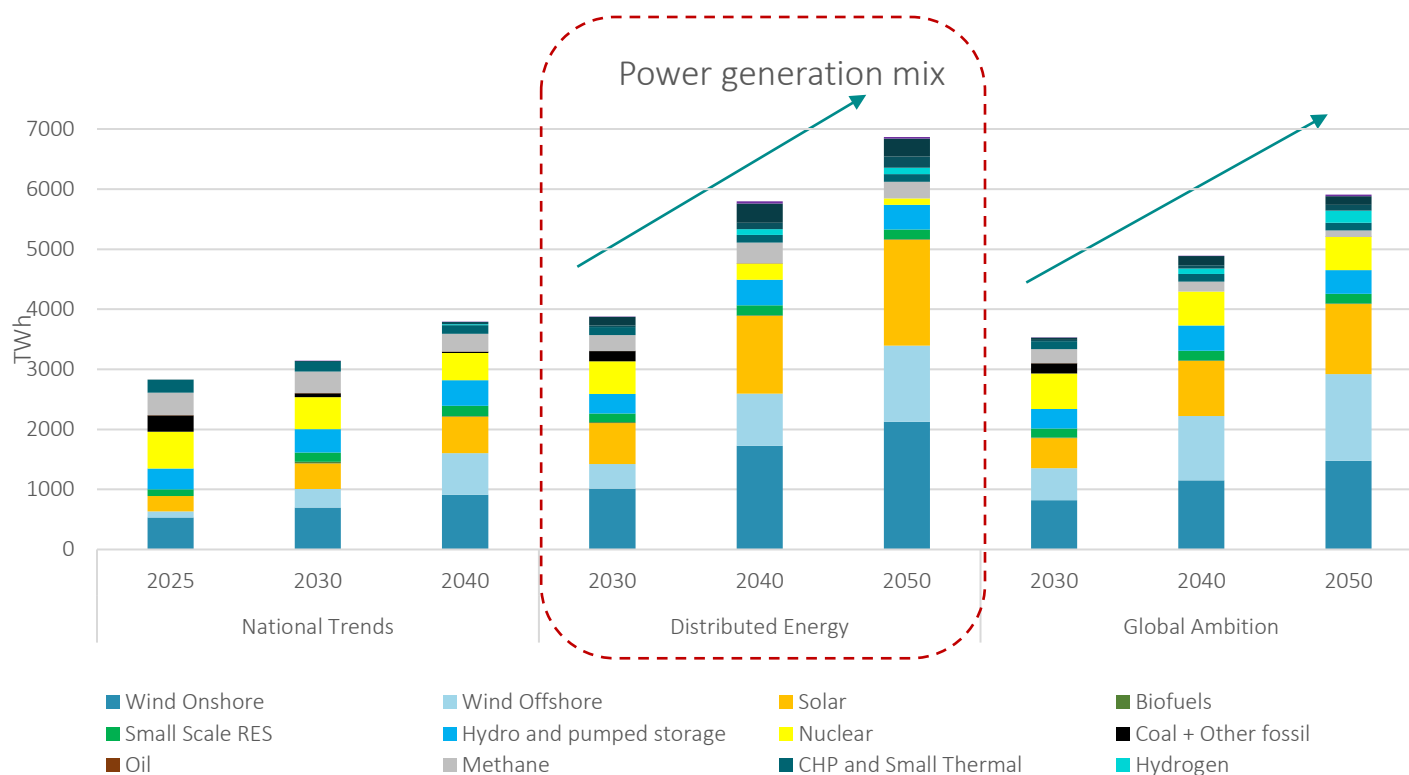
Endeligt energiforbrug i Distributed Energy Scenariet



- Kul hurtig udfasning
- Fossil olie udfasning
- Naturgas (metan) udfases
- Vind, sol og bio/affald bærende på længere sigte

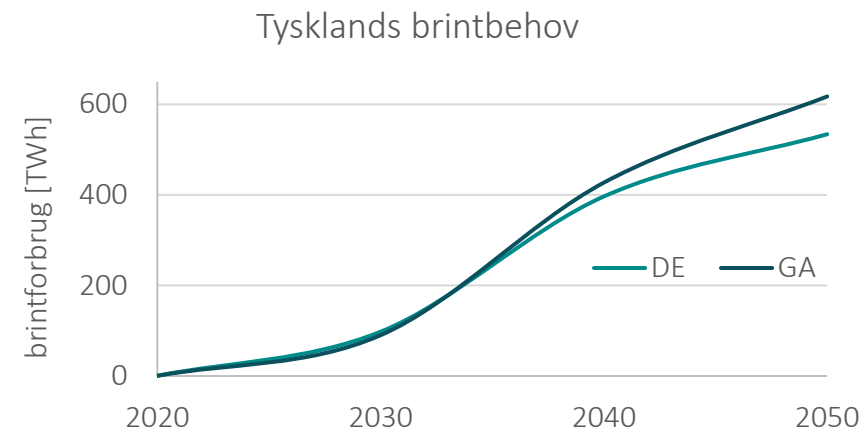
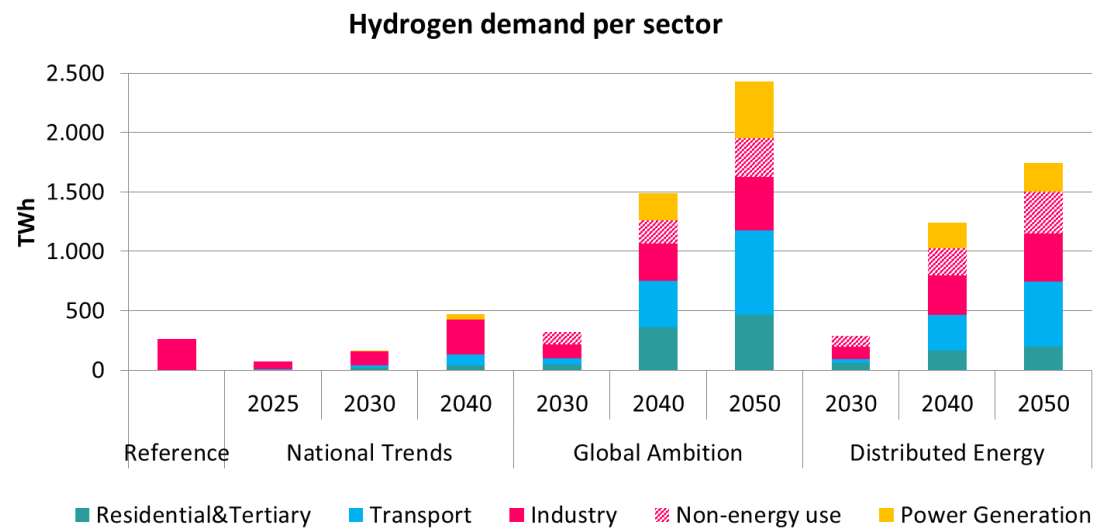
- Kraftig elektrificering (særligt transport og varme)
- Olie og metan i slutforbrug reduceres markant
- Brint (hydrogen) ny vigtig rolle i slutforbrug
- Energien udnyttes mere effektivt (jf. forhold mellem input og output)

ELPRODUKTION I EUROPÆISKE (ENTSO-E) SCENARIER



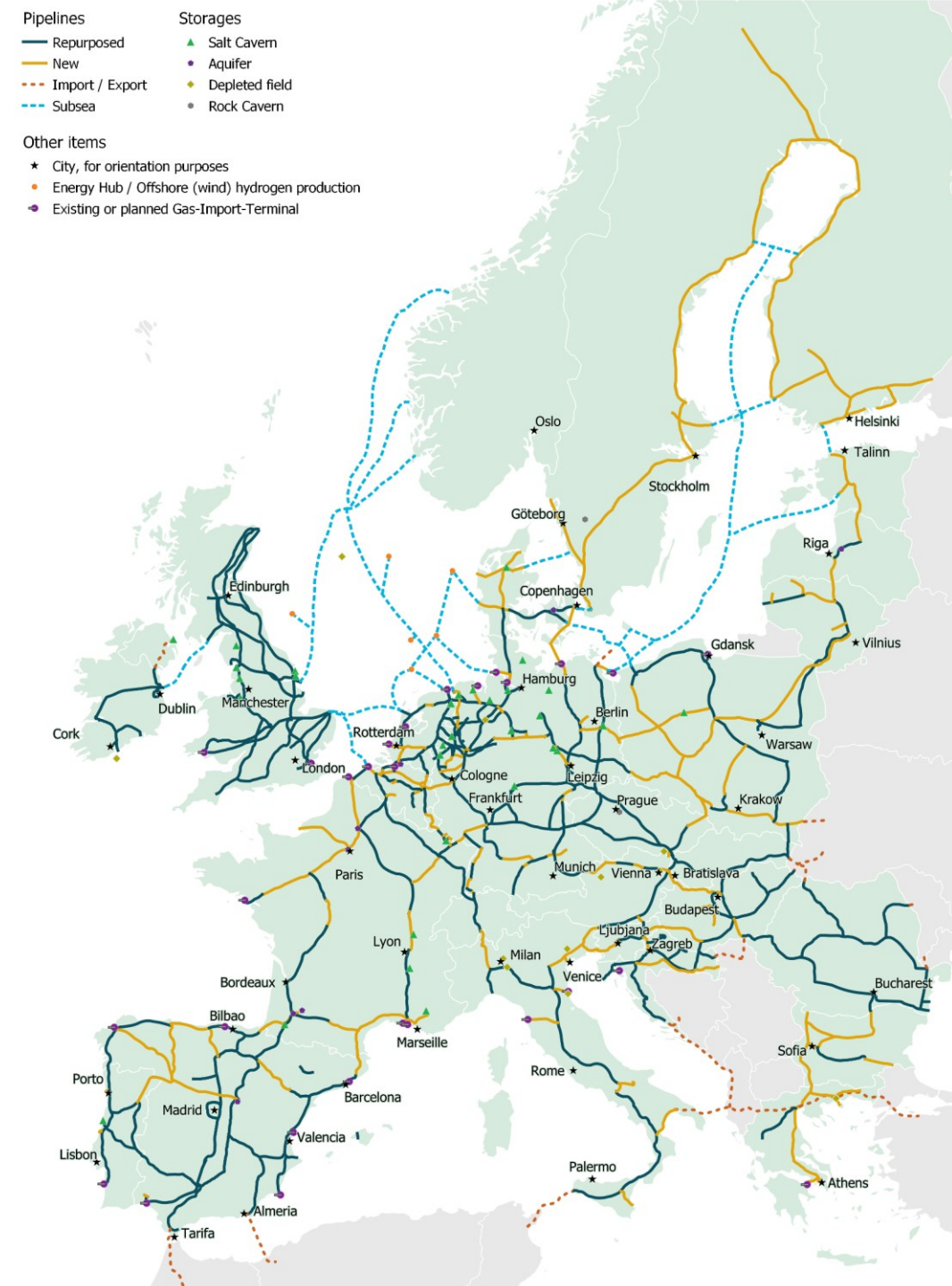
- Vindkraft og sol dominerer elproduktionen på længere sigte
- Elproduktion fra hydro, VE-gas, atomkraft og biomasse til at supplere vind og sol elproduktion

TYNDP: MASSIV VÆKST I BRINTBEHOV



Markedet for at eksportere brint til Tyskland er stort – og det har betydning for scenarier i perspektivanalysen

*“EUROPEAN HYDROGEN
BACKBONE” – EKSEMPEL
PÅ SCENARIE FOR BRINT-
INFRASTRUKTUR 2040*



ON TRACK MED PARIS-MÅL ?

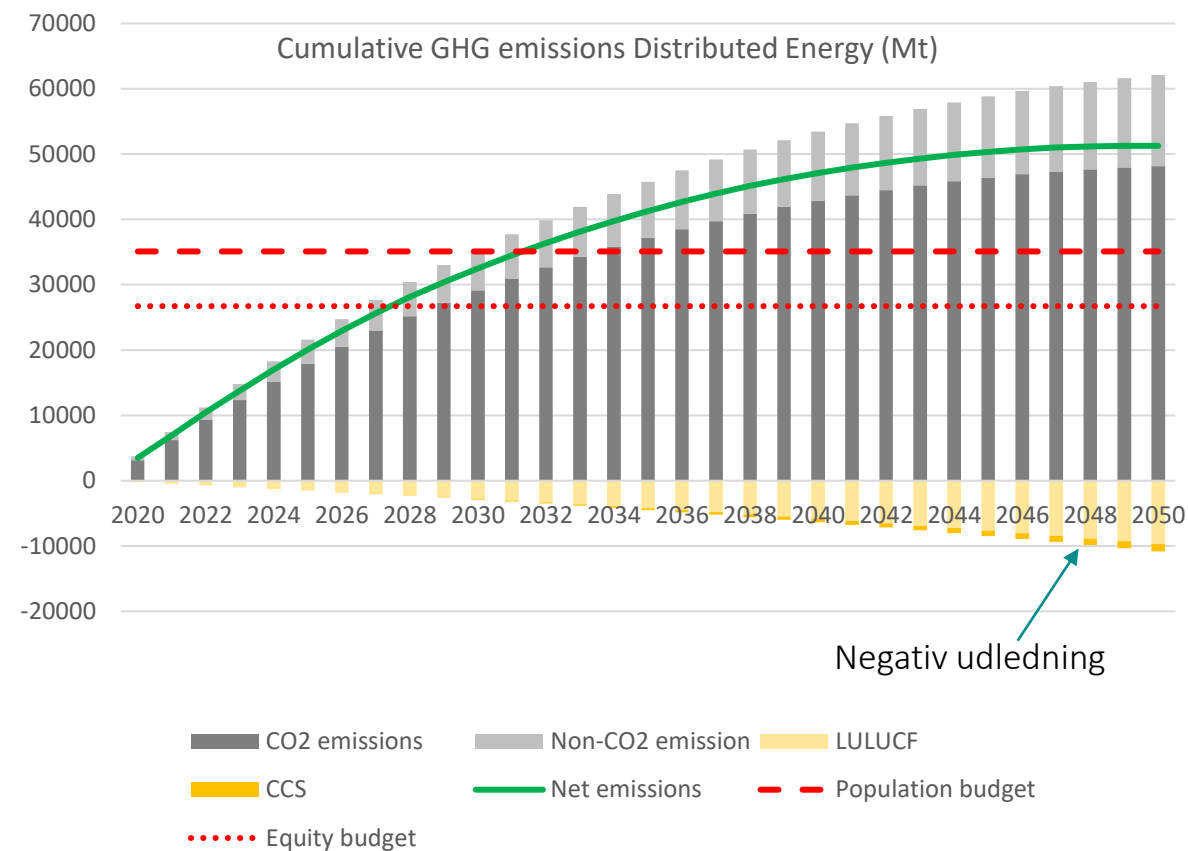
Paris-kompatibilitet vurderes i scenarier ift. et "klimagas budget".

Der ses her på:

- Population budget (samme budget pr. capita globalt)
- Equity budget (inkl. perspektiv til historisk udledning)

Overshoot af budget indenfor en kort årrække ->

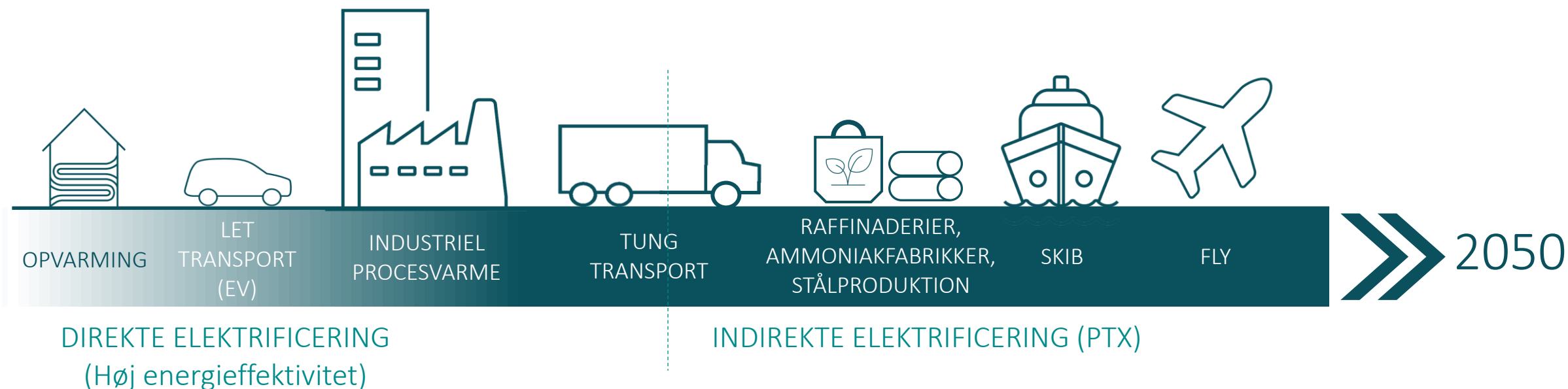
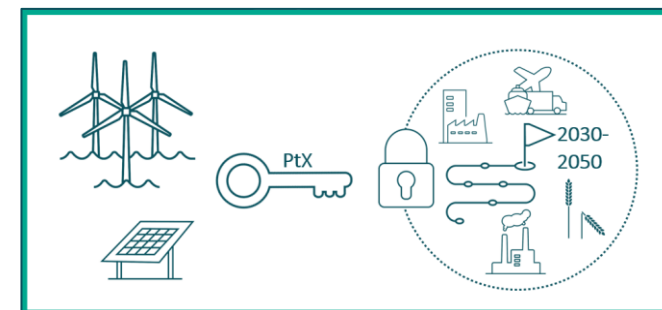
- men med negativ udledning efter 2050 kan klimagas budget potentielt godt realiseres inden år 2100



NORDSØEN OG DANMARK I ET EUROPÆISK PERSPEKTIV

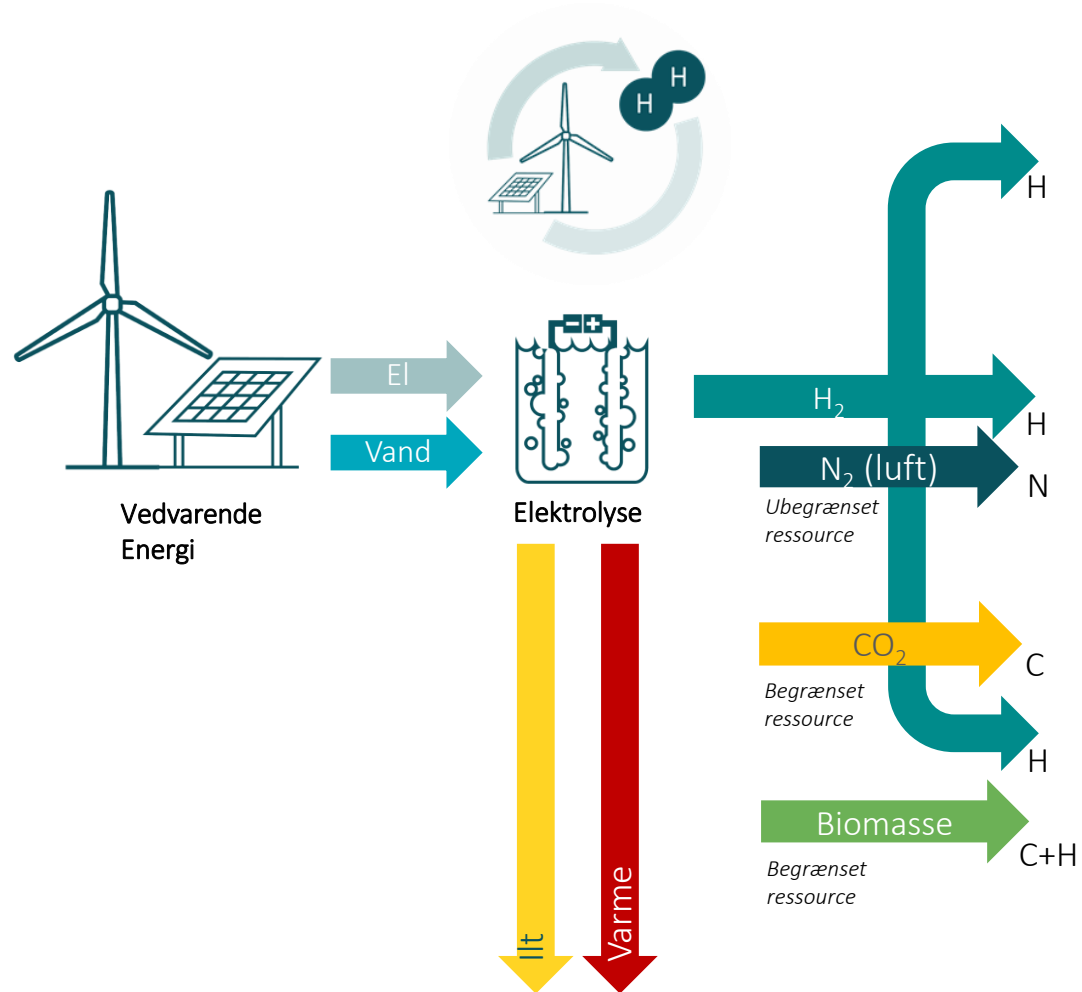
ELEKTRIFICERING OG POWER-TO-X

Danmarks store VE-potentialer kan bruges til direkte elektrificering og til indirekte elektrificering via Power-to-X til sektorer, der ikke kan "køre" på el.



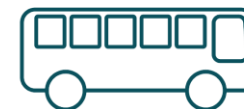
POWER-TO-X

Fra grønne elektroner til grønne molekyler



Direkte anvendelse

Brint



F.eks.:

- Tung transport
- Raffinaderier, stålindustri, ...
- Spidslast el og varme

Syntese uden kulstof

Ammoniak (NH₃)

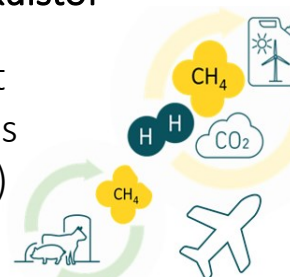


F.eks.:

- Skibsbrændstof
- Gødning

Syntese med kulstof

Kulstofbaseret
brændstof (gas
eller flydende)



F.eks.:

- Metanol, metan
- Flybrændstof
- Benzin og diesel
- Ethylen, plastprodukter
- Kemikalier

HVIS ET MÆRSK CONTAINER SKIB DRIVES AF ET GRØNT BRÆNDSEL – HVOR MANGE CONTAINERSKIBE KAN HAVMØLLEPARKEN HORNS REV 3 (~400 MW) LEVERE ELBEHOV TIL?

A. 2?

B. 10?

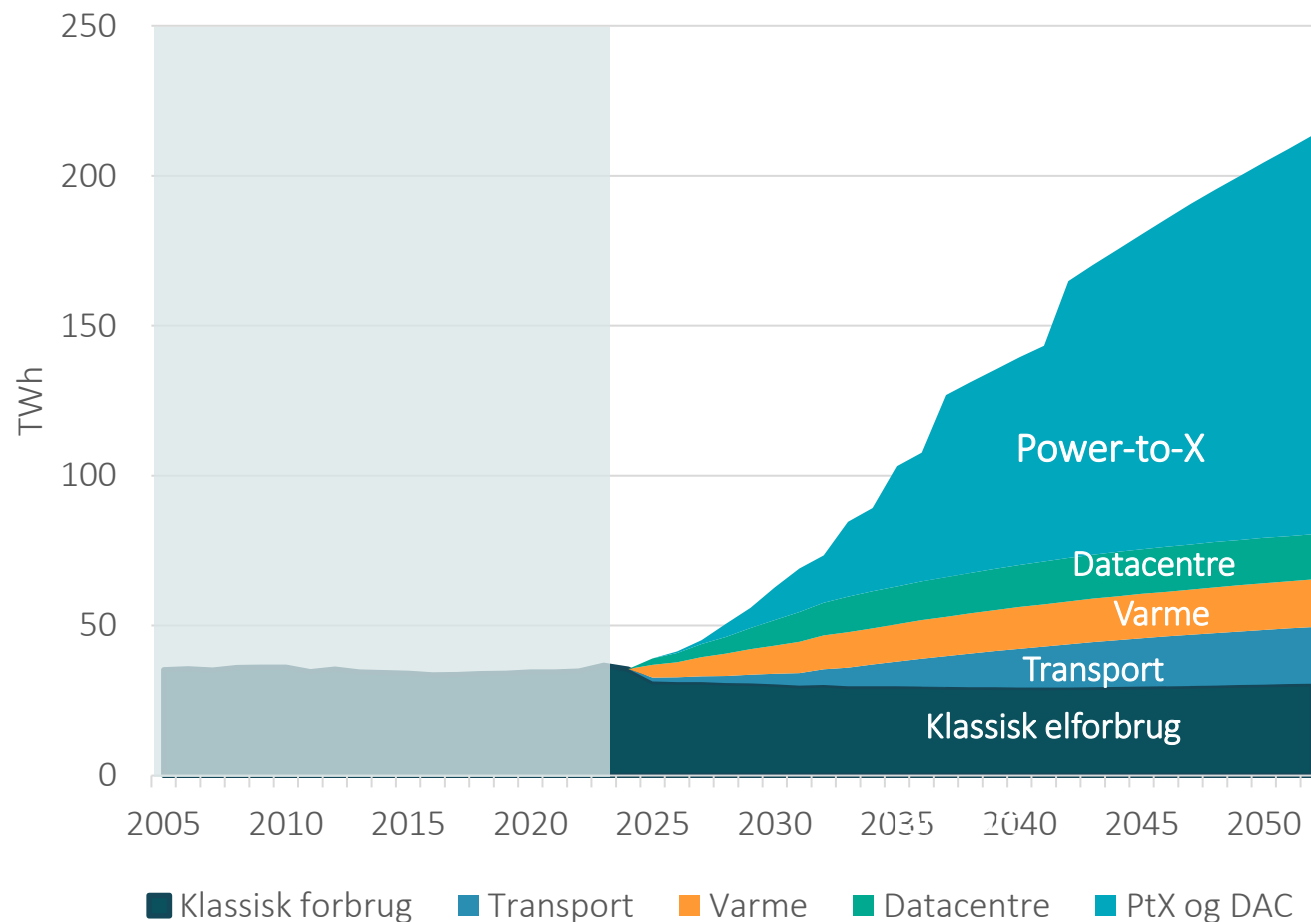
C. 30?



Netto elforbrug

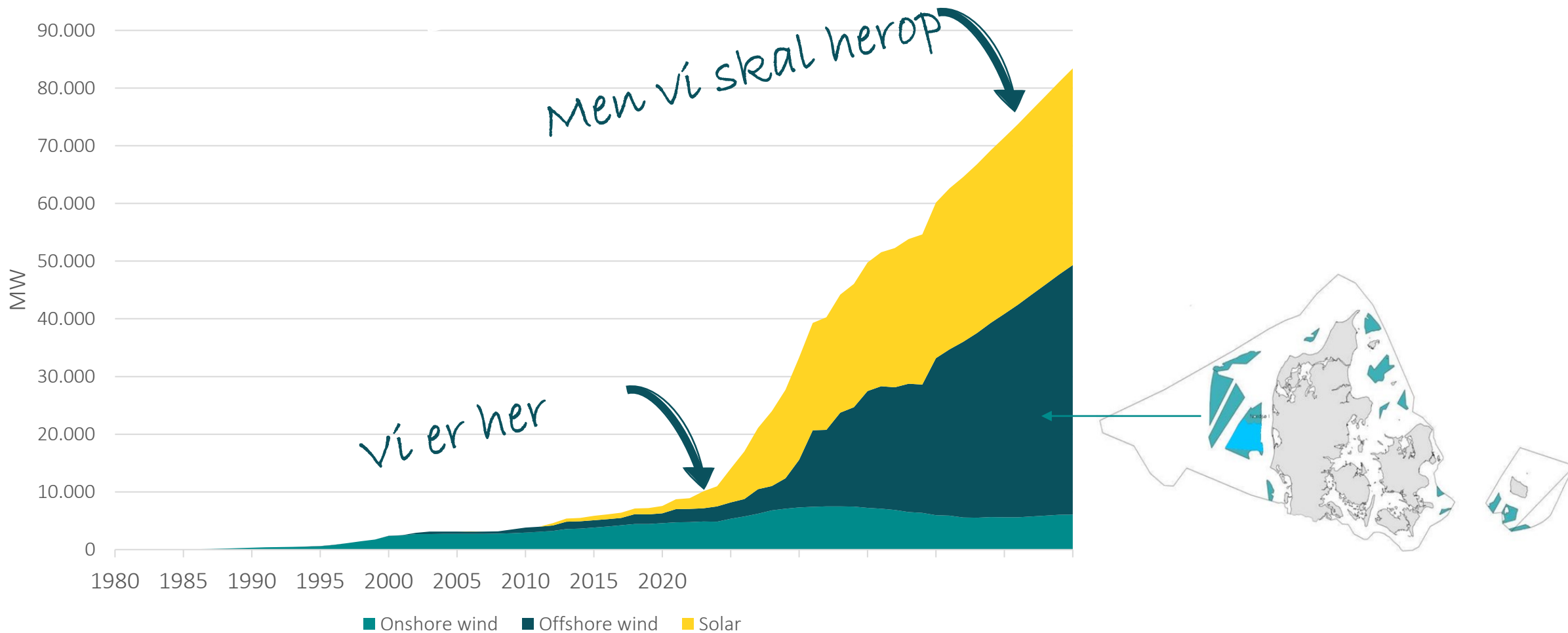
- Elbiler (el- eller plugin hybrid)
- El til varme
 - Opvarmning (indv. varmepumper)
 - Fjernvarme (varmepumper/elkedler)
 - Industriel procesvarme
- Power-to-X
 - 4-6 GW Power-to-X frem mod 2030
 - På lang sigt over 30 GW Power-to-X

Nettoelforbrug analyseforudsætninger (AF23)

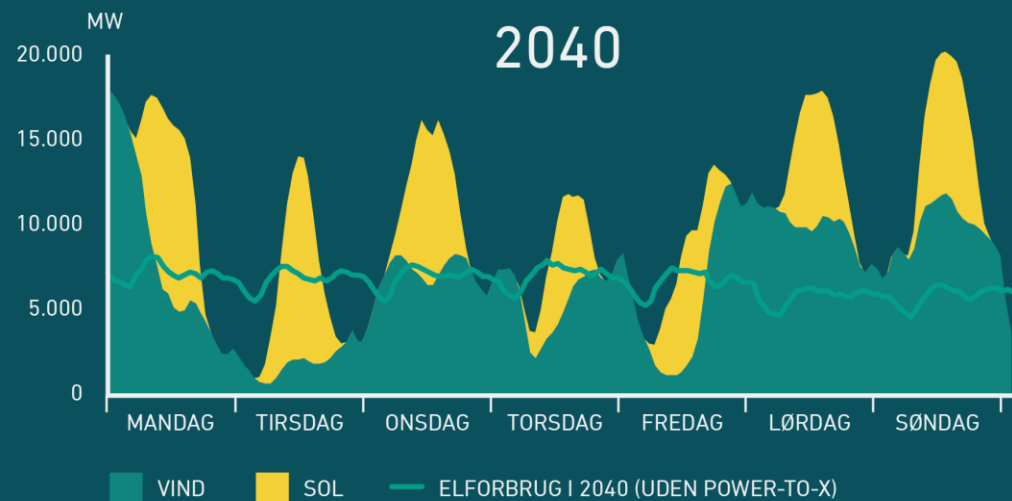
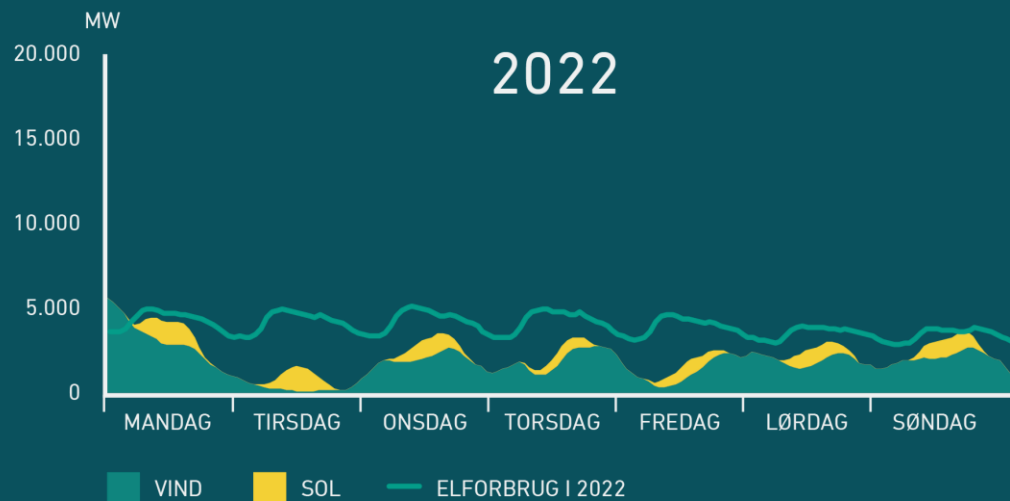


OVER 40 ÅRS VINDPRODUKTION I DANMARK

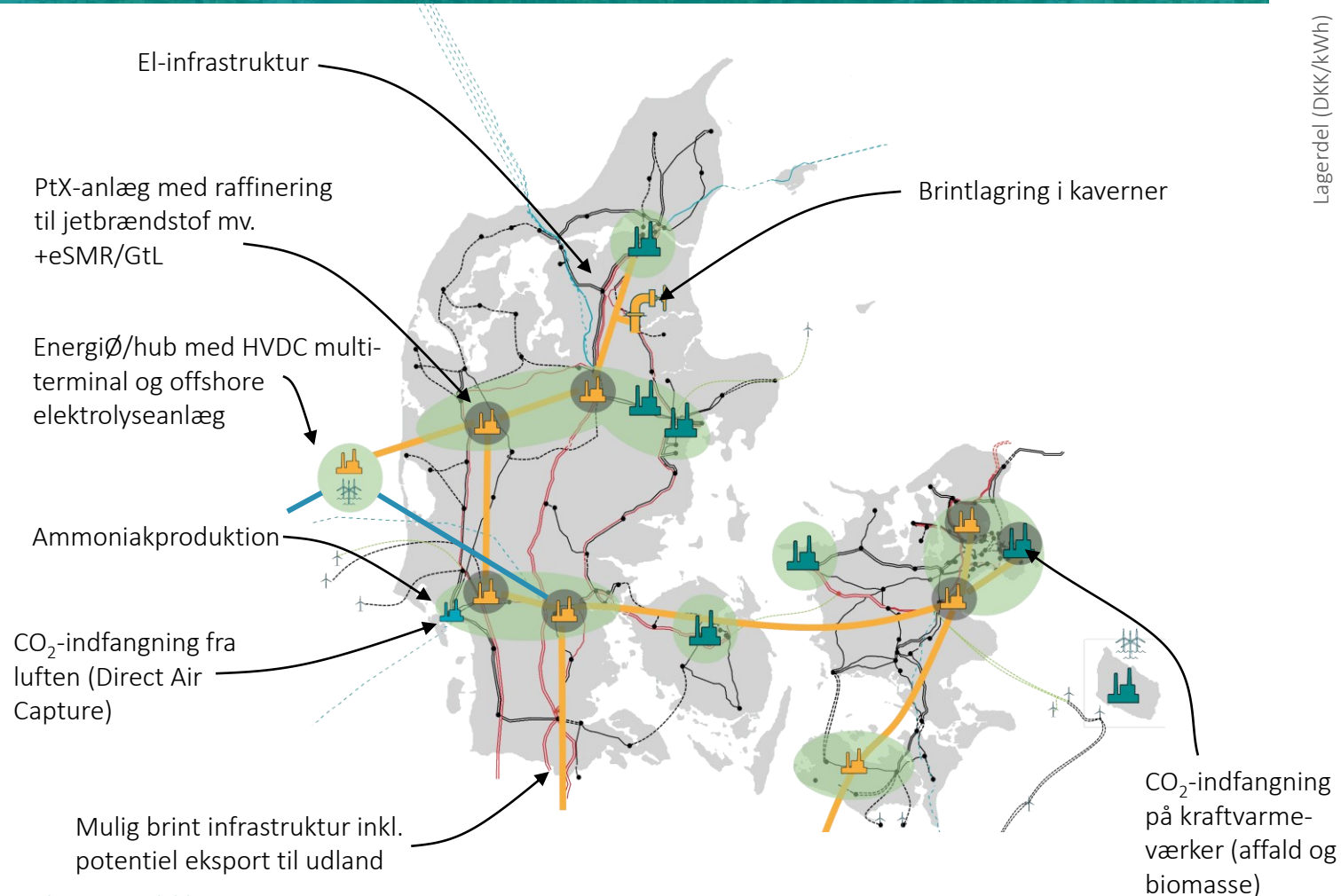
MEN NYE MÅL – NYE UDFORDRINGER



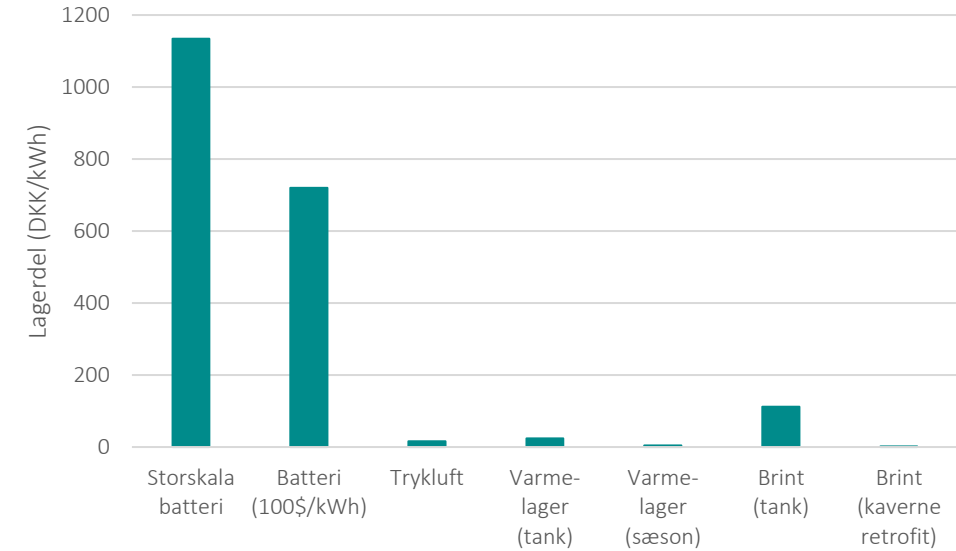
FORBRUG OG PRODUKTION FØLGES IKKE NØDVENDIGVIS AD, OG UBALANCERNE FORVENTES AT STIGE - VIGTIGT MED FLEKSIBILITET FRA FORBRUG OG LAGER-LØSNINGER



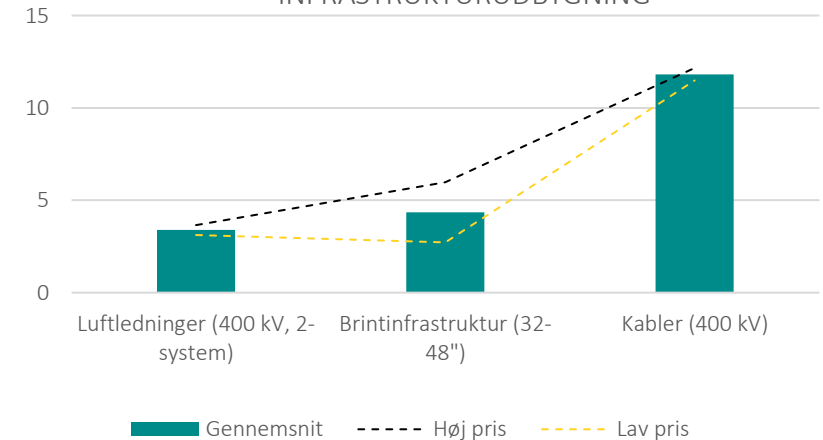
SEKTORKOBLING MELLEM EL, BRINT, GAS OG CO2



LAGEROMKOSTNINGER (ENERGI-DELEN)



ESTIMEREDE OMKOSTNINGER FOR INFRASTRUKTURUDBYGNING



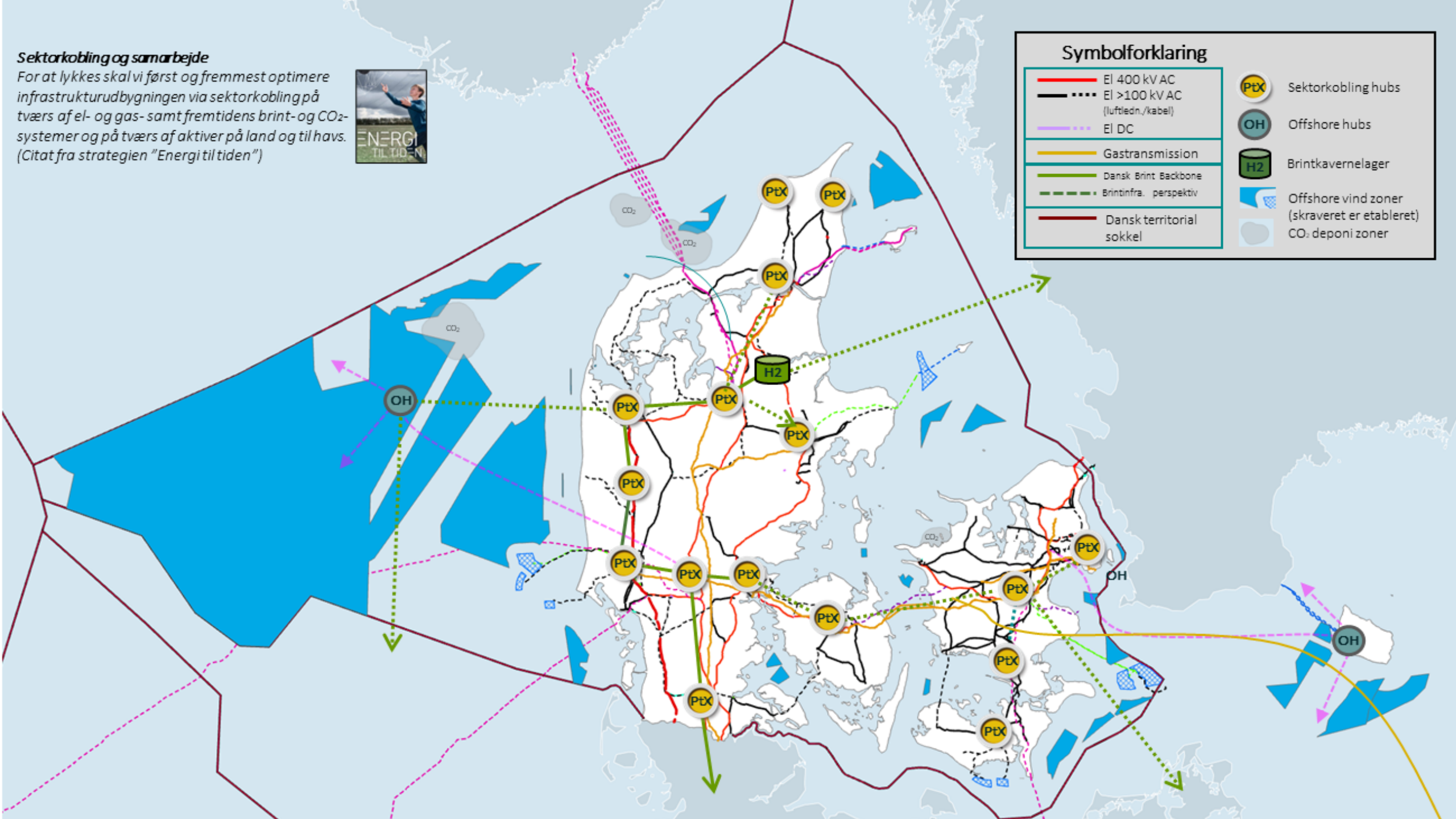
Sektorkobling og samarbejde

For at lykkes skal vi først og fremmest optimere infrastrukturudbygningen via sektorkobling på tværs af el- og gas- samt fremtidens brint- og CO₂-systemer og på tværs af aktiver på land og til havs. (Citat fra strategien "Energi til tiden")

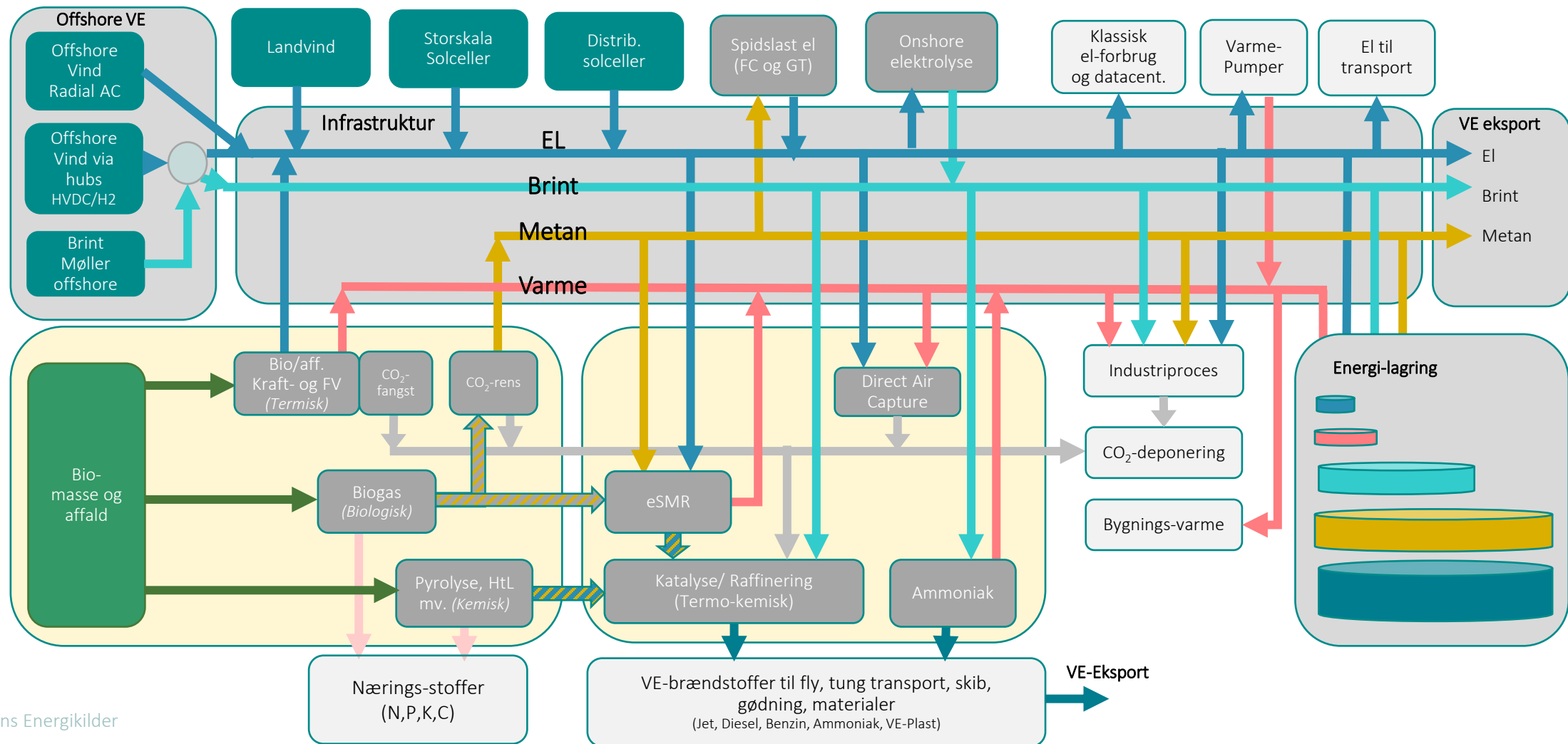


Symbolforklaring

	El 400 kV AC		Sektorkobling hubs
	El >100 kV AC (luftledn./kabel)		Offshore hubs
	El DC		Brintkavernelager
	Gastransmission		Offshore vind zoner (skraveret er etableret)
	Dansk Brint Backbone		CO ₂ deponi zoner
	Brintinfra. perspektiv		
	Dansk territorial sokkel		

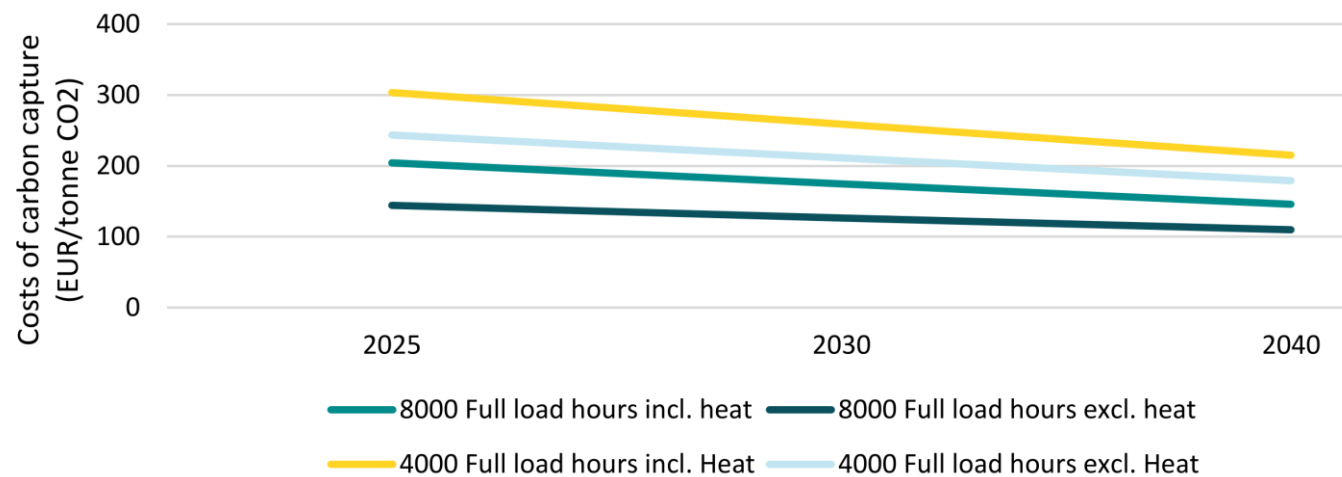
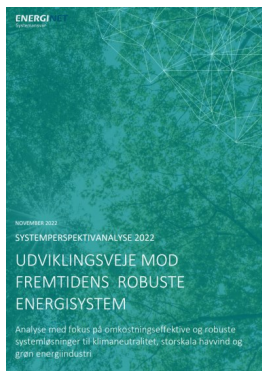
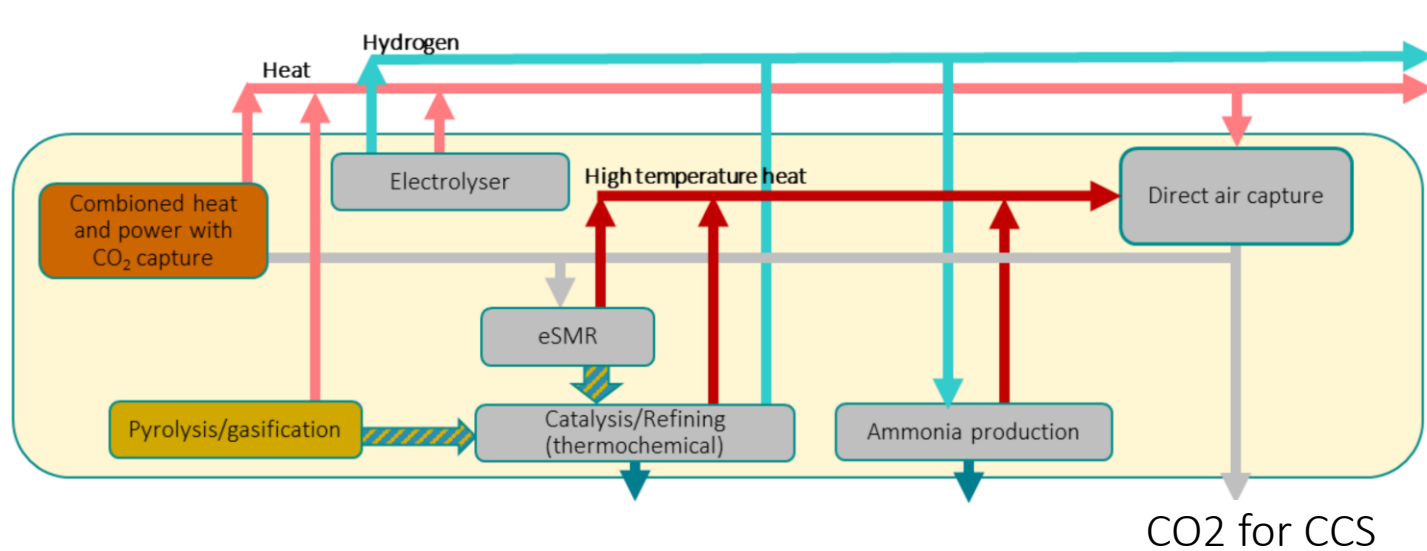


SEKTORKOBLING I MODELLEN



DIRECT AIR CAPTURE (DAC) – ESSENTIAL COUPLING WITH PTX

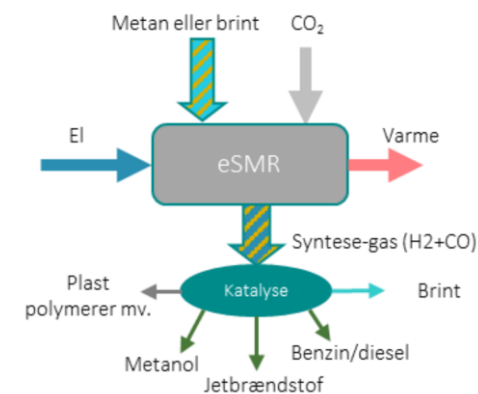
Use of surplus heat from Power-to-X can be a gamechanger for Direct Air Capture



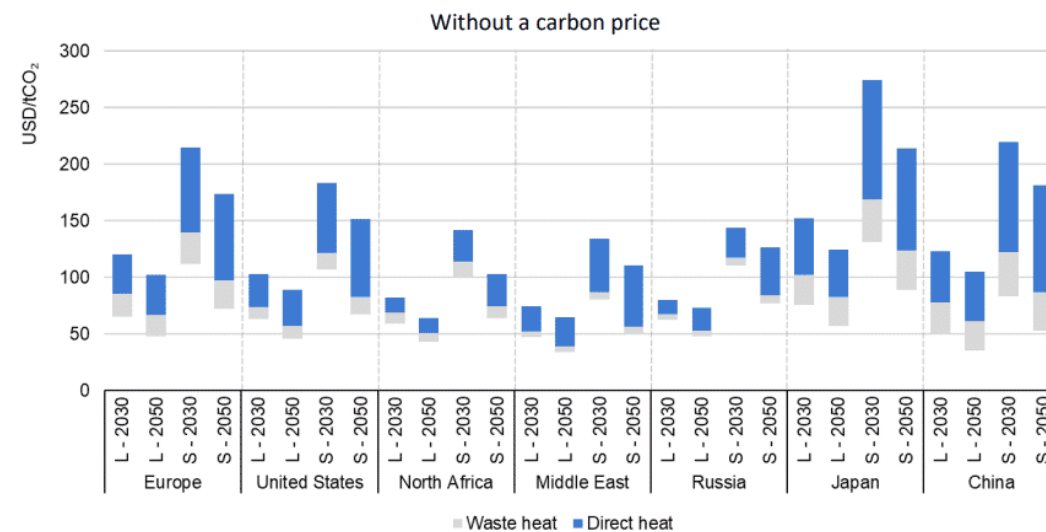
NYE MULIGHEDER FOR BRINT, GAS OG CCUS

- Samspil brint, gas og CO₂

- Elbaseret konvertering af gas (eSMR) – gassystemets transformator
- CCS på tilbageværende kraftværker og Direct Air Capture ned i prisniveau
- Mange synergimuligheder på varme og biprodukter



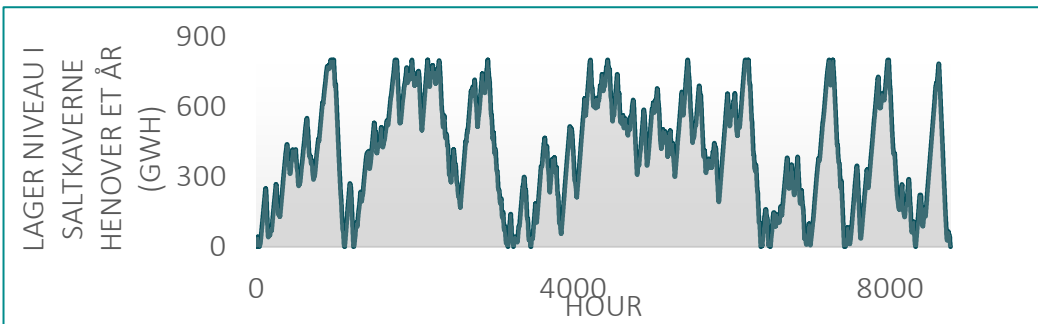
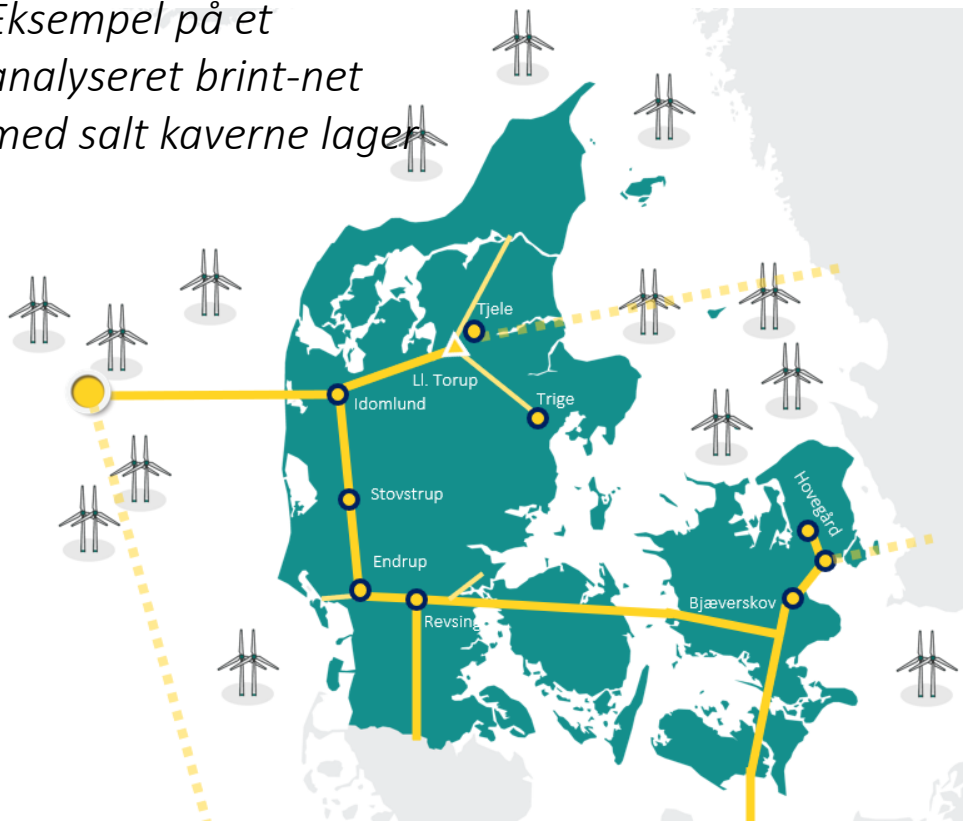
Levelised cost of capturing carbon by DACS technology for selected regions, 2030 and 2050



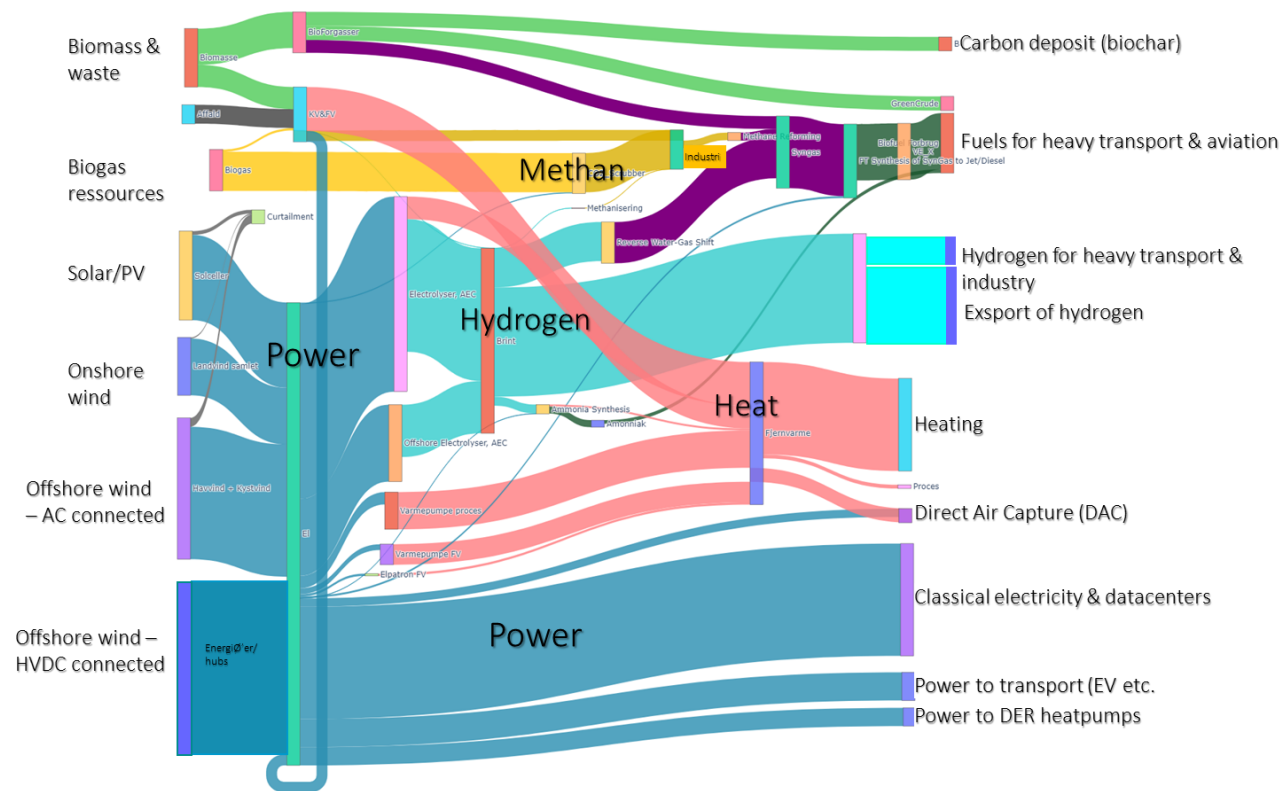
Kilde: IEA - DirectAirCapture, A key technology for net zero, april 2022

EKSEMPEL PÅ SCENARIE MED 35 GW OFFSHORE VIND OG 35 GW SOLCELLER

Eksempel på et analyseret brint-net med salt kaverne lager



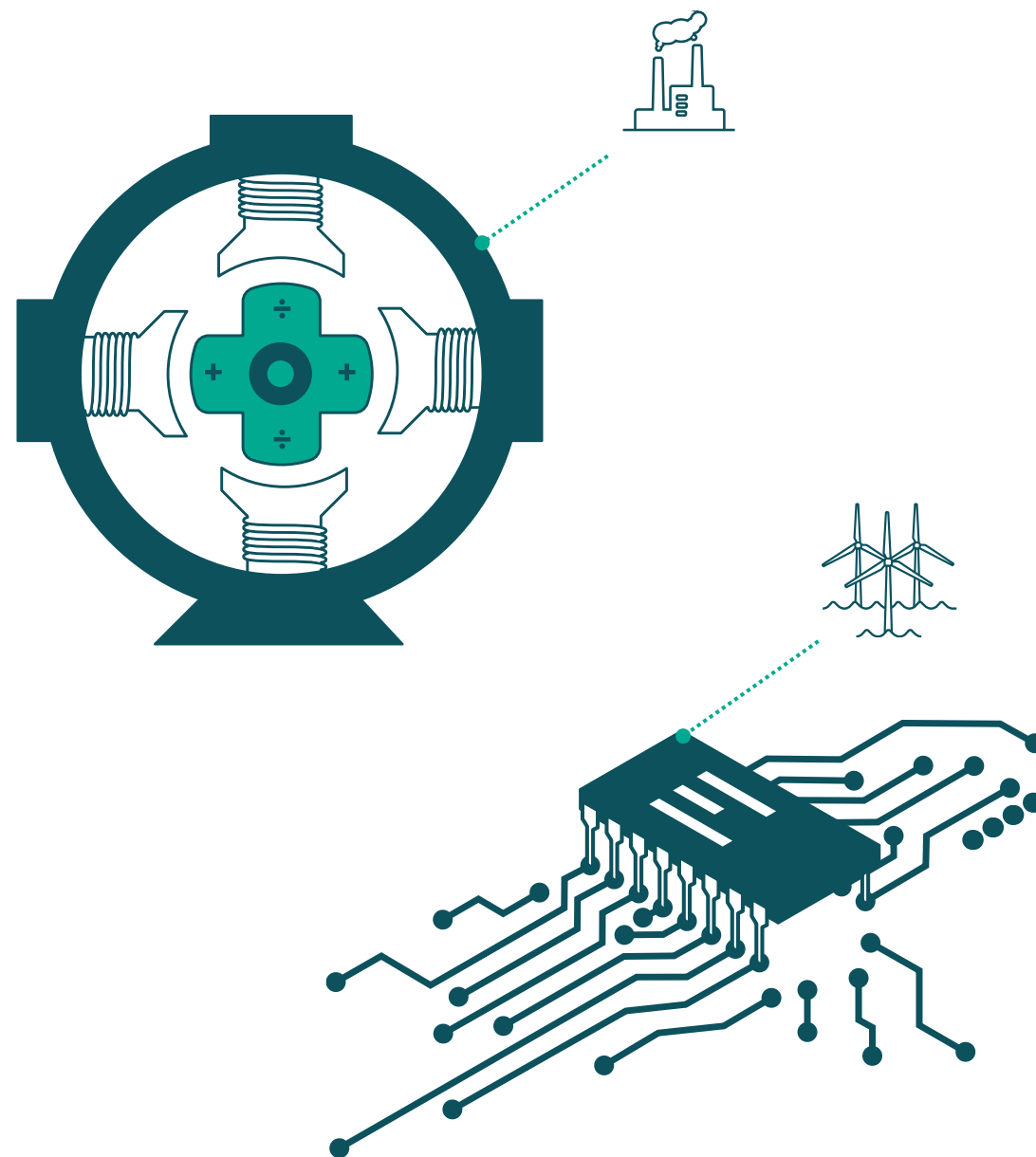
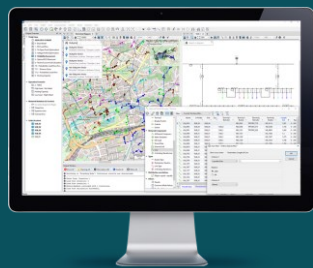
Årligt energiflow i scenariet



STABILITET I ELSYSTEMET

- i udviklingen mod klimaneutralitet

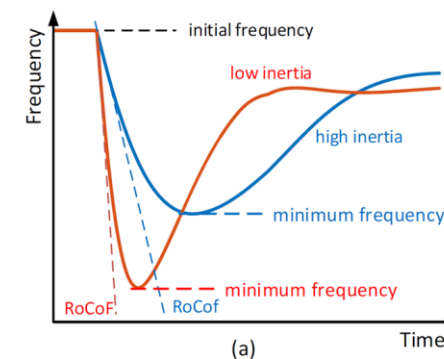
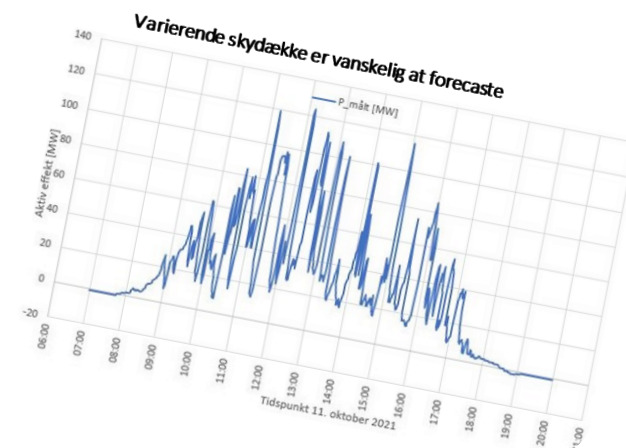
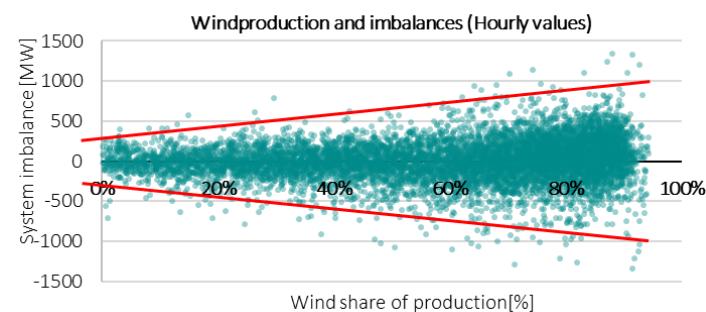
- Effektelektronik tilsluttede anlæg både i forbrug og produktion ændrer fundamentalt i systemets naturlige **dynamiske stabilitet**
- Effektelektronikken kan skabe mange nye problemer for stabilitet
 - Men med god viden er det også muligt at bruge effektelektronikken til at **stabilisere systemet!**
- Stabilitetsberegninger kræver **massiv computerkraft** og mange timers simulering!
 - men kan med ny beregningskraft blive en del af **systemdriften i realtid**





Der er brug for nye markedspladser for systemydelse og for **FLEKSIBILITET FRA FORBRUGERE OG PRODUCENTER**, som ikke i dag kender til behovet og muligheden.

NY GRØN BALANCEKUNST – 50 Hz



SMARTGRID MANDATORY TO HANDLE GRID EDGE

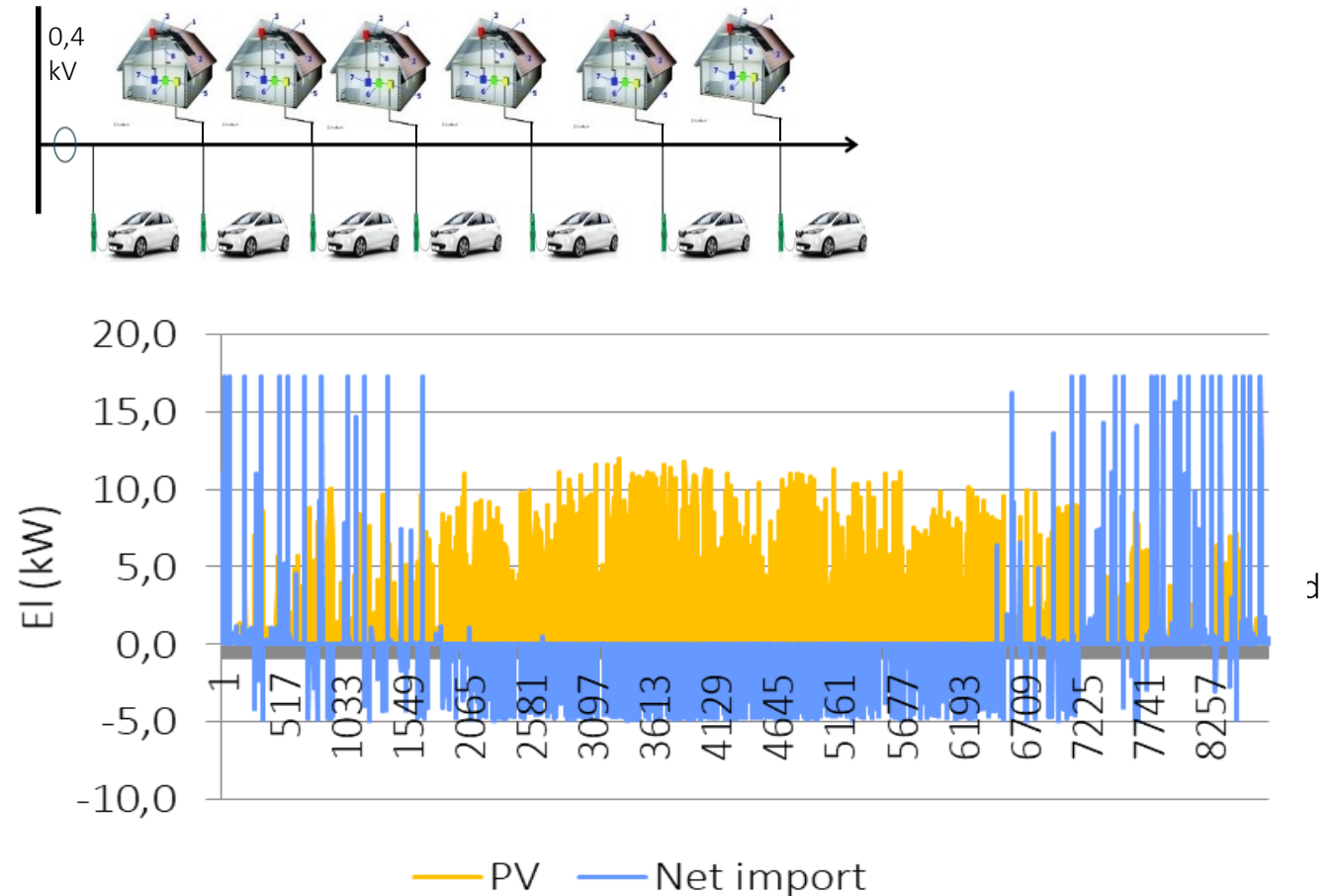
Post 2030 a typical house could have PV-solar, EV-charger and a battery storage

The analysis:

Analysis of a typical 0,4 kV feeder in single house area in 2030 with EV and heatpump

Analysis results:

- Investment in up to 12 kW solar and 10-25 kWh battery
- Offgrid is not economical feasible (more than 150 "Teslawalls" is needed!)
- Without SmartGrid a very high need for grid reinforcement is found
- With SmartGrid the electrification is efficiently handled without very high reinforcement



SmartGrid solutions and TSO/DSO market integration mandatory to handle DER's

SMARTGRID MANDATORY TO HANDLE GRID EDGE

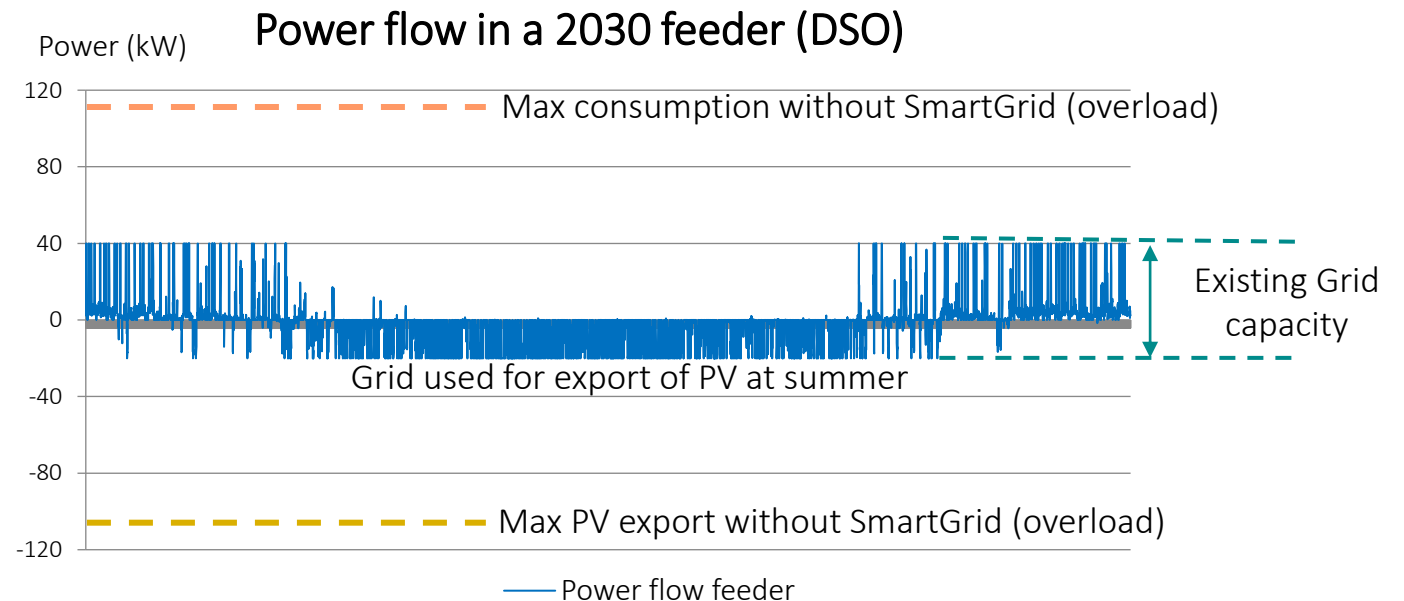
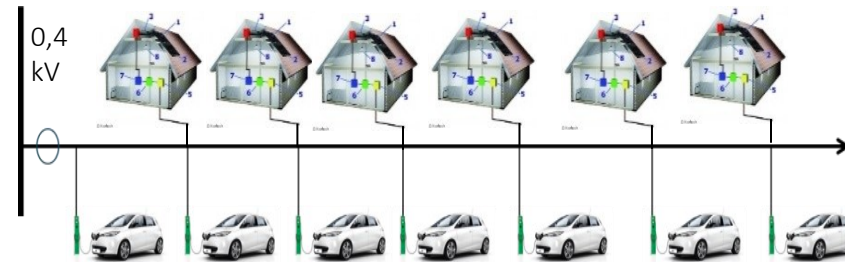
Post 2030 a typical house could have PV-solar, EV-charger and a battery storage

The analysis:

Analysis of a typical 0,4 kV feeder in single house area in 2030 with EV and heatpump

Analysis results:

- Investment in up to 12 kW solar and 10-25 kWh battery
- Offgrid is not economical feasible (more than 150 "Teslawalls" is needed!)
- Without SmartGrid a very high need for grid reinforcement is found
- With SmartGrid the electrification is efficiently handled without very high reinforcement

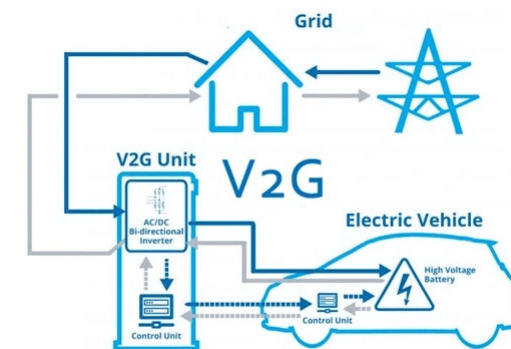
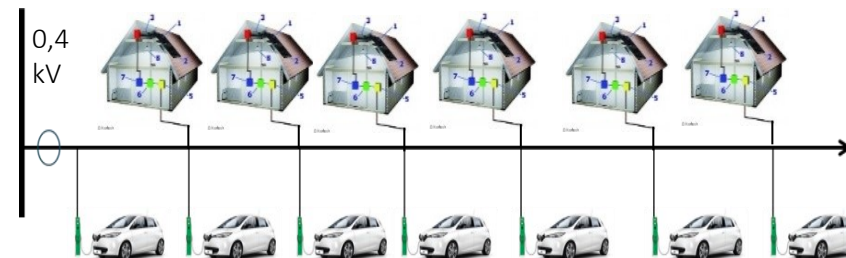
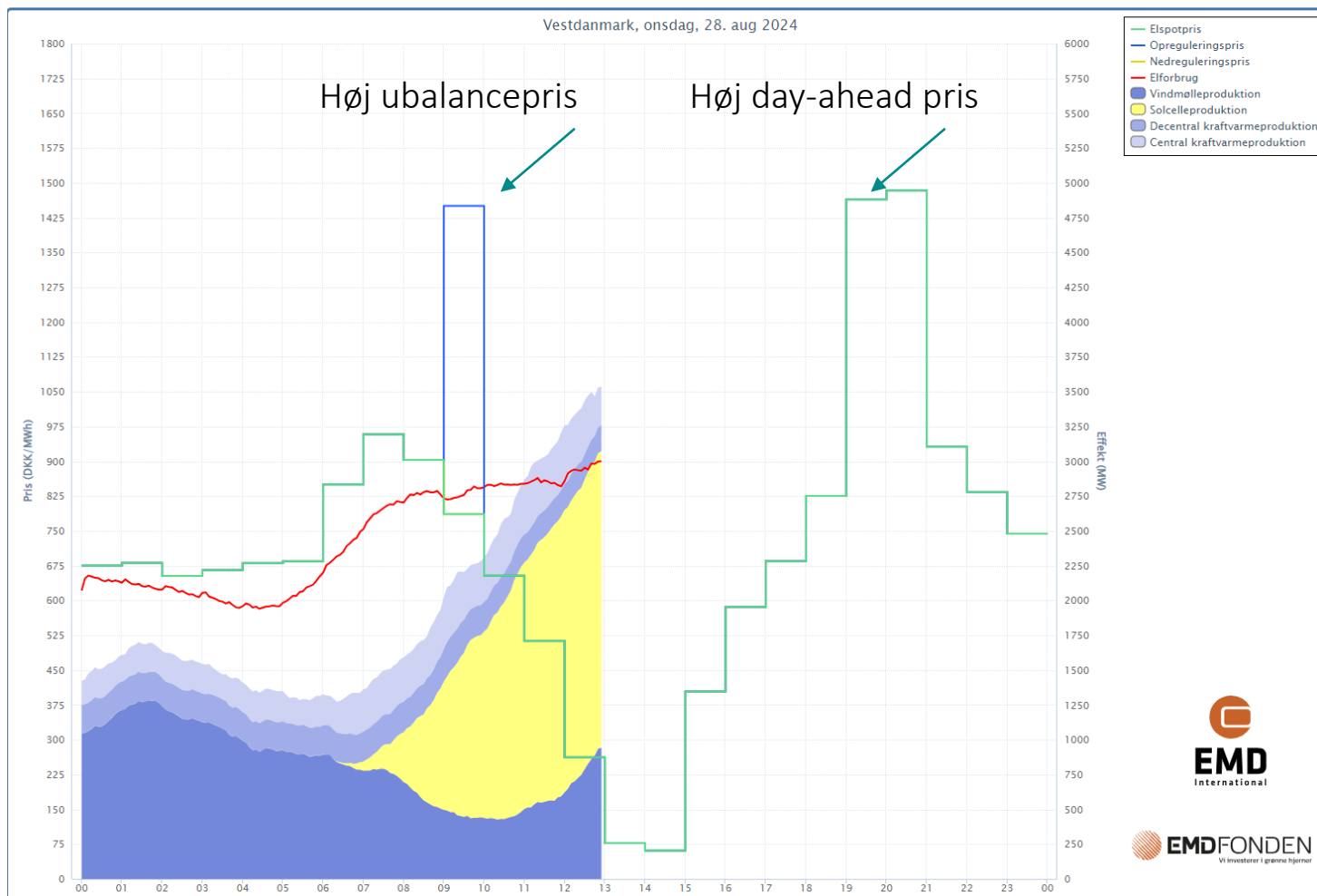


SmartGrid solutions and TSO/DSO market integration mandatory to handle DER's

ELPRIS DAY-AHEAD OG UBALANCEPRIS

Elpriser og estimeret elproduktion

1 dag 28-08-2024



OPSAMLING

- En kraftig elektrificering med både elbiler, varmepumper og Power-to-X anlæg øger elforbrug med faktor 3-5 de kommende årtier
- Vind og sol kan levere den nødvendige elproduktion når den suppleres med spidslast elproduktion fra biomasse, biogas og brint
- **Sektorkobling mellem el, metangas, brint, varme og CO2 er helt centralt for at få omkostningseffektive systemløsninger**
- Flexibelt elforbrug fra elbiler, varmepumper og i særdeleshed Power-to-X leverer meget stor fleksibilitet til at balancere den fluktuerende produktion fra vind og sol
- Udvikling af både systemløsninger og komponenter til et effektivt sektorkoblet energisystem er en udvikling hvor Danmark er godt med – men det har også stort fokus i globale scenarier (IEA)

OPSAMLING

- En kraftig elektrificering med både elbiler, varmepumper og Power-to-X anlæg øger dansk elforbrug med faktor 3-5 de kommende årtier
- Vind og sol kan levere den nødvendige elproduktion når den suppleres med spidslast elproduktion fra biomasse, biogas og brint
- Spidslast elproduktionen fra biomasse, biogas og brint har relativt få årlige driftstimer
- Sektorkobling mellem el, metangas, brint, varme og CO₂ er helt centralt for at få omkostningseffektive systemløsninger
- Flexibelt elforbrug fra elbiler (inkl. V2G), varmepumper og Power-to-X kan levere meget stor fleksibilitet til at balancere den fluktuerende produktion fra vind og sol
- Et stærkt elnet nationalt og internationalt er centralt for at håndtere indpasning af vind og sol
- Et brint-system med "backbone" kan binde PtX-anlæg sammen i et brintnet som er forbundet til storskala lagring af brint. (feks kavernelagre der i dag anvendes til naturgas og opgraderet biogas)
- Kraftværker med rotationsmasse (inerti) leverer i dag stabilitet til elsystemet. Der foregår globalt en kraftig udvikling med at få Vindkraft, sol, batterier mv. til at levere denne stabilitet

A photograph of two white wind turbines on a grassy dune overlooking the ocean under a blue sky with scattered clouds. The turbines are positioned on a grassy dune, with the ocean and a sandy beach visible in the background. The sky is a deep blue with some light clouds. The text "Tak for opmærksomheden" is overlaid in the center of the image.

Tak for opmærksomheden