

Power-2-X

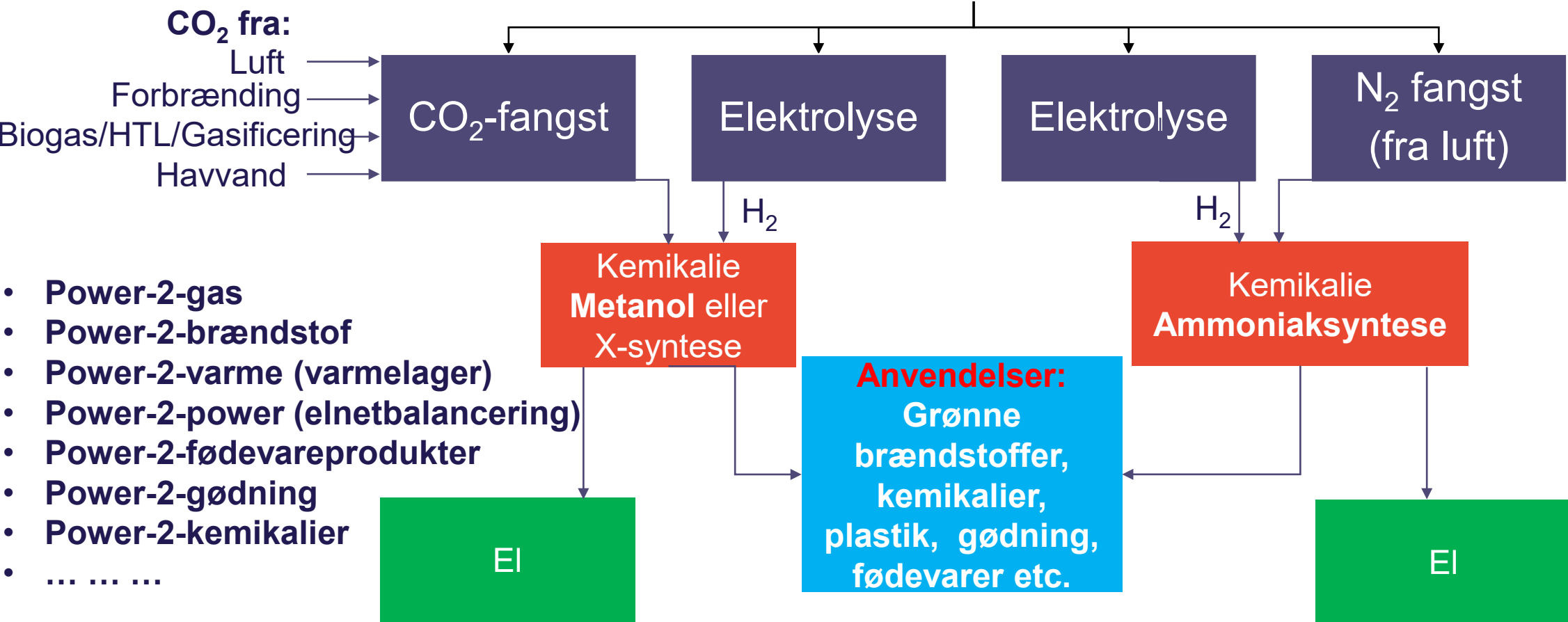
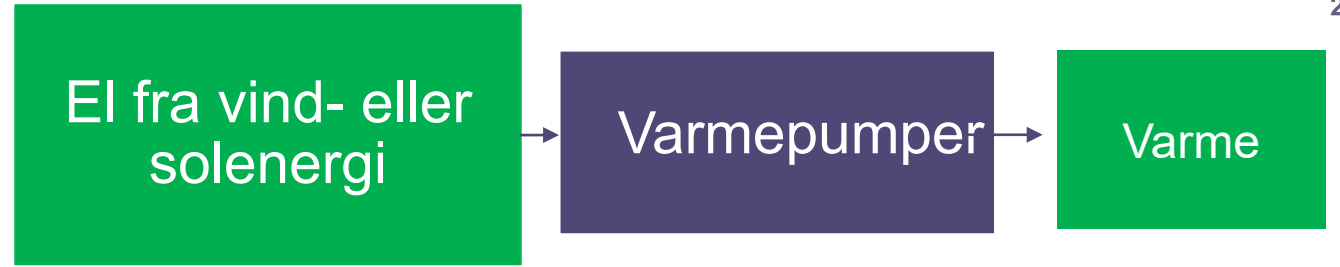
Mads Pagh Nielsen, Professor, Leder af Hydrogen & Electro-Fuels, AAU Energi



Pontoppidanstræde 101-111



Hvad er Power-2-X?

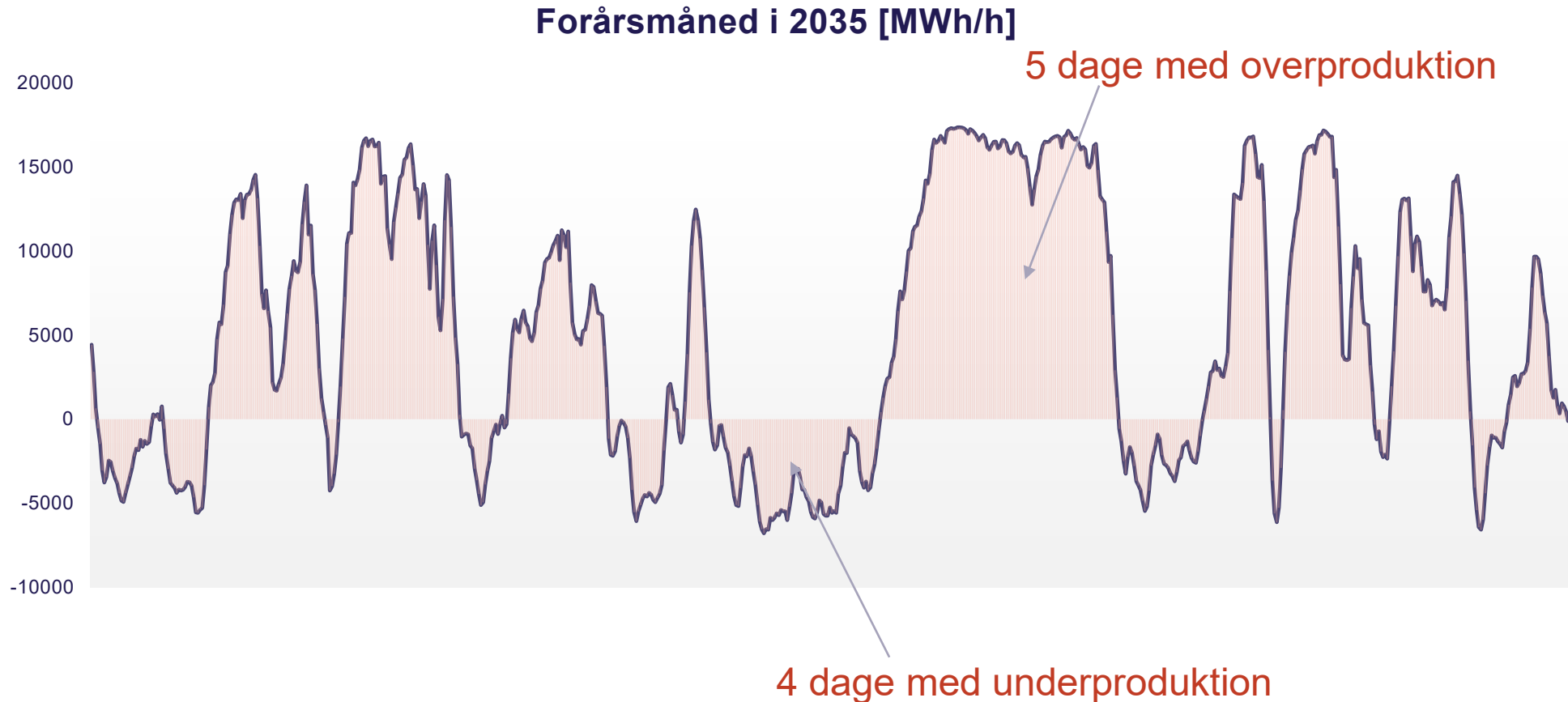


- Power-2-gas
- Power-2-brændstof
- Power-2-varme (varmelager)
- Power-2-power (elnetbalancering)
- Power-2-fødevarerprodukter
- Power-2-gødning
- Power-2-kemikalier
-

En stor mængde spildvarme fra de forskellige processer kan genanvendes!

Balancering af elnet

Elforbruget i Danmark er i snit ca. 6000-7000 MWh/h



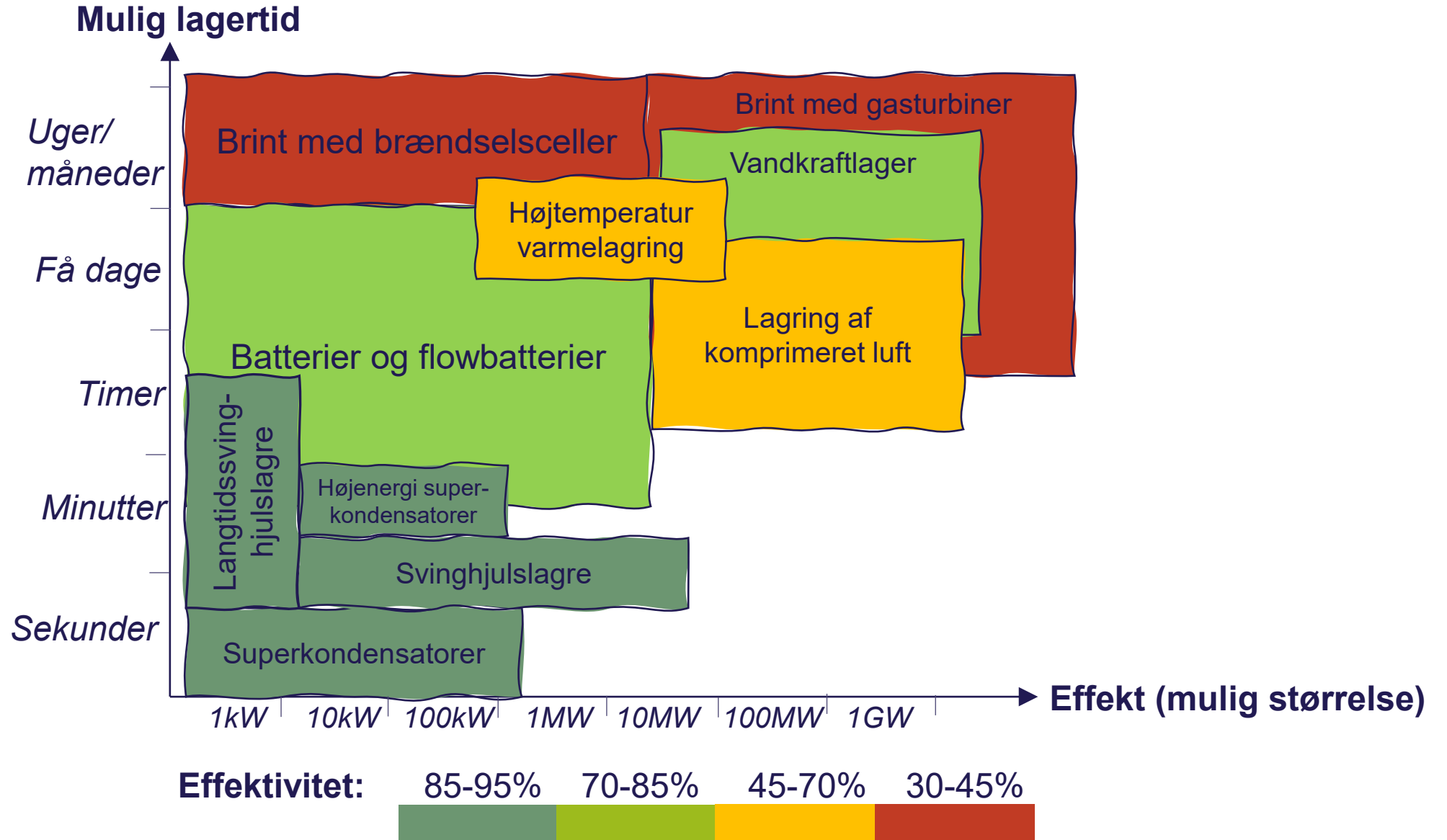
Positiv: Overproduktion – mere el end vi bruger (noget til P2X – noget til el-balancering!).

Negativ: Underproduktion – mindre el end vi bruger (lager skal levere vores strøm).

Nødvendigt energilager: Vurderes til at skulle lagre ca. 2-3 uger af vores nuværende gennemsnitsforbrug!

El-lagring med "Power-2-Power"

En forudsætning for et carbon-negativt energisystem i 2050!



Hvorfor ikke blot lave et kæmpestort batteri?

5

- Den største batteripark i verden kan lagre 3300 MWh el. Den fylder adskillige km².
- 3300 MWh el svarer til Danmarks middel-elforbrug over året i kun ~ ca. ½ time (jf. forrige slide)!!
- Minimum den samme mængde energi skal i fremtiden i Danmark lagres i ca. 3 uger i nogle situationer!
- Det kræver et areal der svarer til mindst 30% af Fyns areal og koste langt mere end et tilsvarende P2X-system! Et batterisystem der lagrer 1 kWh el koster pt. ca. 2000 kr./kWh ved [Tesla]!.



”Batteripark Danmark”



(Containere med batterier i Mojave-ørkenen i Californien)

Elektrificering ikke mulig i al transport

- ▶ Eurelectro (brancheorganisation for elektrificering i Europa) siger at kun 40-60% af vores energiforbrug kan elektrificeres!
- ▶ Når metanol eller ammoniak skal bruges i konventionelle motorer skal der tilsættes et "pilot fuel". Det kan ikke benyttes i 100% ren form.



1.500 km rækkevidde med 60 tons
~ **30 tons batterier**
(Ekstra tankning kan afhjælpe lidt)
Metanol overvejes



10.000 km rækkevidde med 60 kilotons
~ **55.000 tons batterier**
(Brint og ammoniak overvejes)

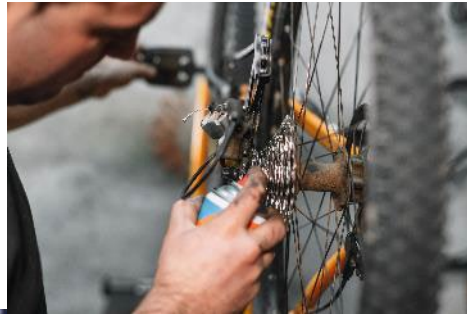


10.000 km rækkevidde med 600 tons
~ **7.400 tons batterier**
(Batterivægt overstiger nyttelasten!)
Jetfuel skal have > 40 MJ/kg



Ting der i fremtiden (også) skal baseres på bæredygtigt kulstof:

- ▶ Erstatninger for fossile plastikprodukter
- ▶ Byggematerialer – cement, beton, gips, stål, etc.
- ▶ Tekstiler
- ▶ Farmaceutiske produkter
- ▶ Smøremidler og andre kemiske stoffer
- ▶ ...



AALBORG UNIVERSITET



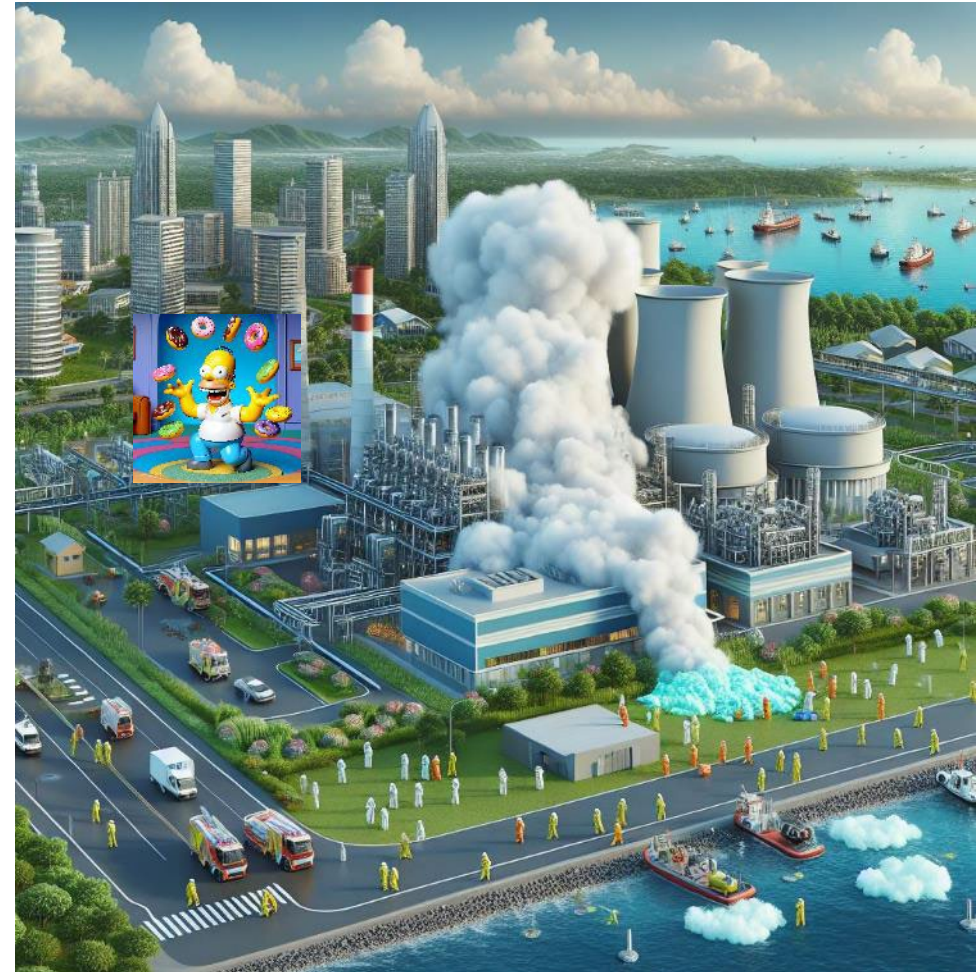
[Fotos fra ColorBox]

Et 1 GW P2X-anlæg som det kunne se ud i Nordhavn i København [copilot]...

(Generativ AI kan have en noget dyster "ironi"!)

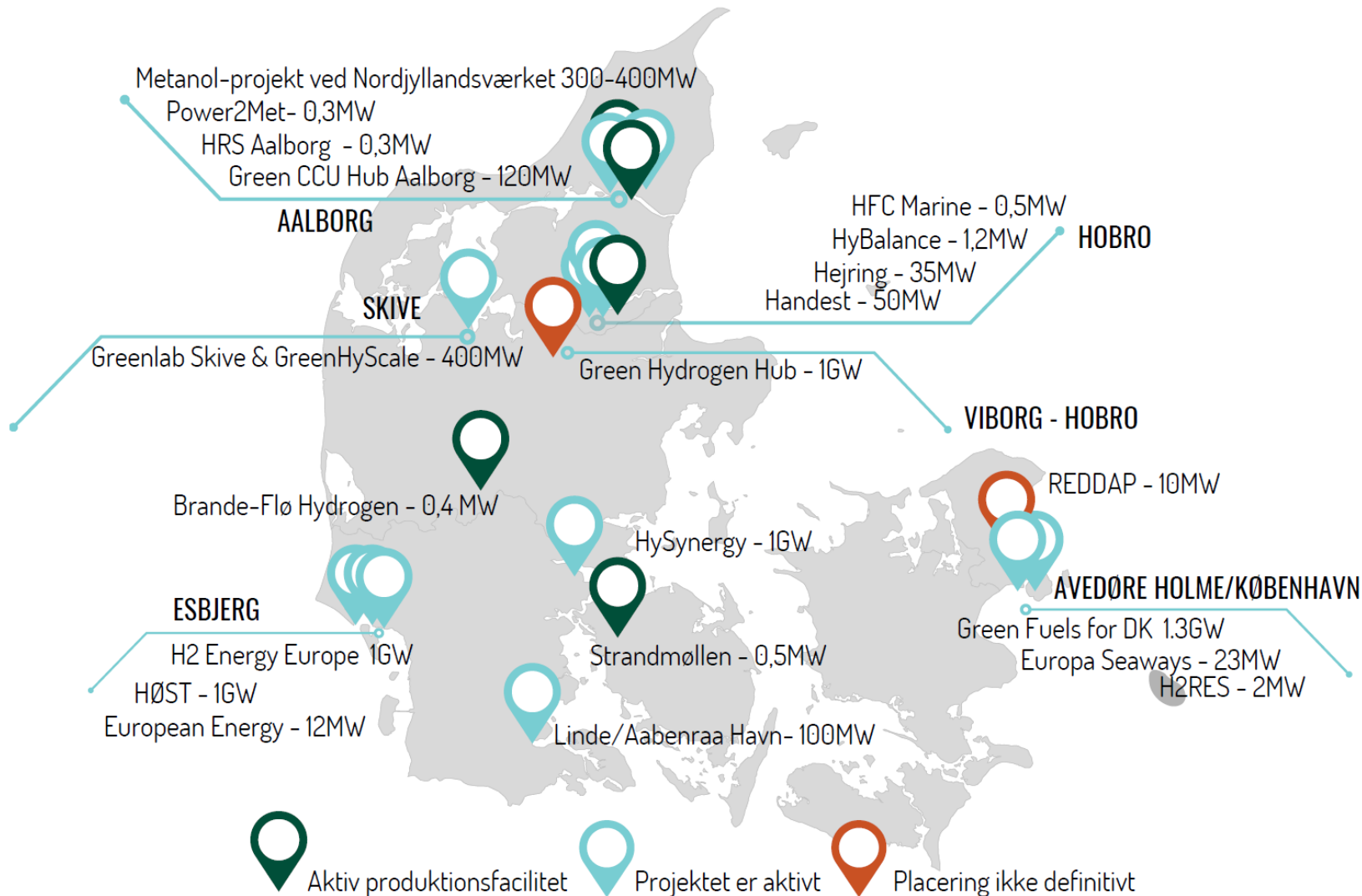


(Metanolproduktionsanlæg)



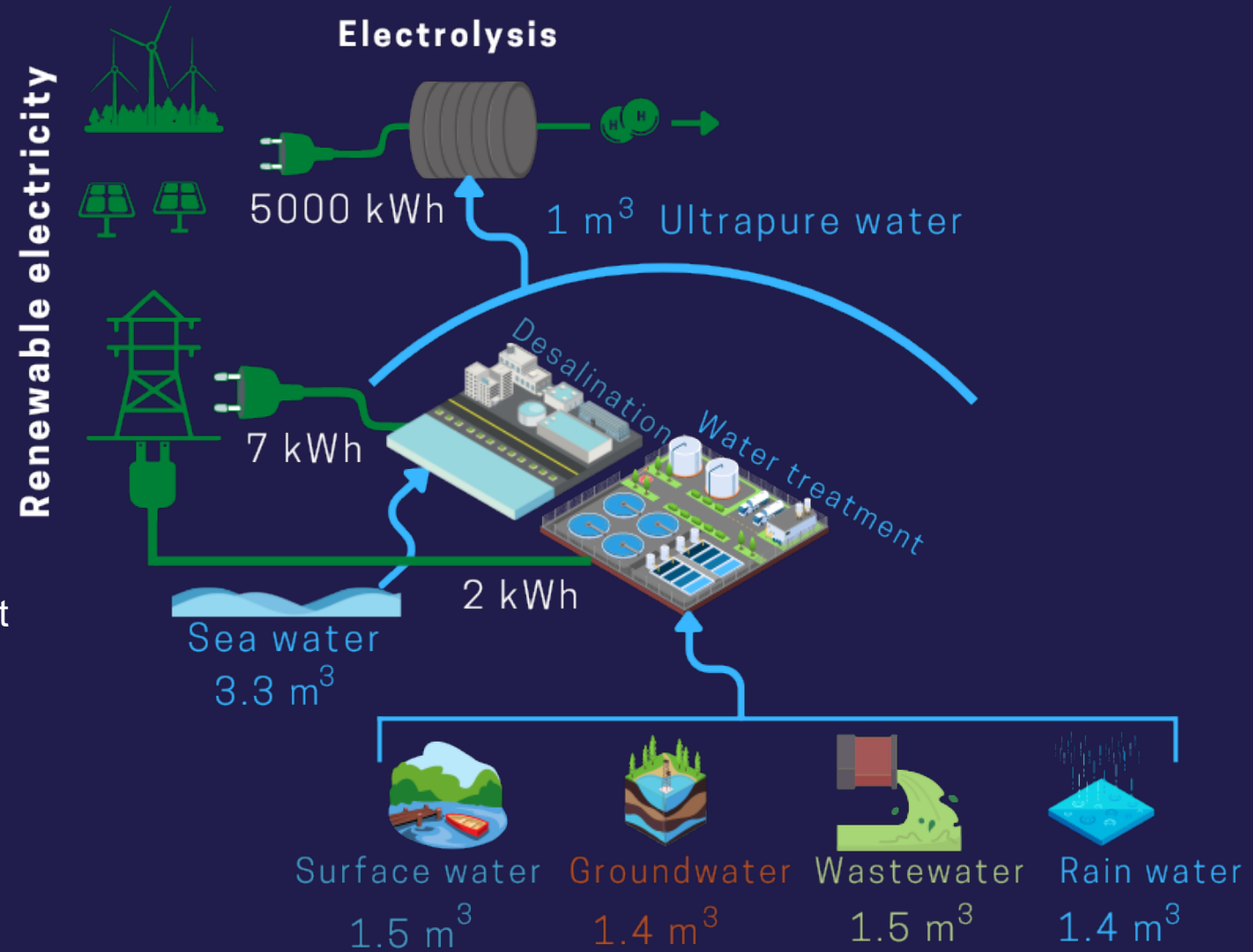
(Ammoniakproduktionsanlæg)

Danske PtX-projekter



Vand til P2X

- Produktion af et kilo brint kræver knap 9 kg vand
- I virkeligheden en del mere. Snarere mellem 11 og 20 kg afhængig af vandkilden.
- Kulstoffangst kræver ydermere meget damp!
- Afsaltning af brak- eller saltvand kan give problemer med bio-fouling.
- Spildevand kan variere meget, men er her angivet som gennemsnit efter normal oprensning.



Vand til P2X (igen!)

- ▶ PtX kan fordoble industriens vandforbrug i 2050 ^[1]
- ▶ Elektrolyse kræver ultrarent vand!
- ▶ Danmarks vandbehov til P2X vurderes at være mellem 18-46 million m³/år ^[2], inklusive fordampning, spildevand og køling.
- ▶ Nationalt estimeres at PtX < 15 % af Danmark totale vandforbrug
- ▶ Der er næsten 3 gange så meget spildevand i Danmark som krævet for P2X, men dette skal oprensnes.
- ▶ Hvordan ser det egentlig ud om 5-6 år ifølge prognoserne – altså i 2030? Vi skal bruge godt 6% af Danmarks vandreserver til P2X iflg. planerne!
- ▶ <http://homes.et.aau.dk/mpn/snees.zip> (software med flere beregningseksempler fra P2X)



^[1] Anders Refsgaard, COWI, November 2022, Sustainable water sources for PtX webinar, Brintbranchen

^[2] Martin Rygaard, HOFOR, November 2022, Sustainable water sources for PtX webinar, Brintbranchen

Data on illustration: Silhorko-Eurowater A/S



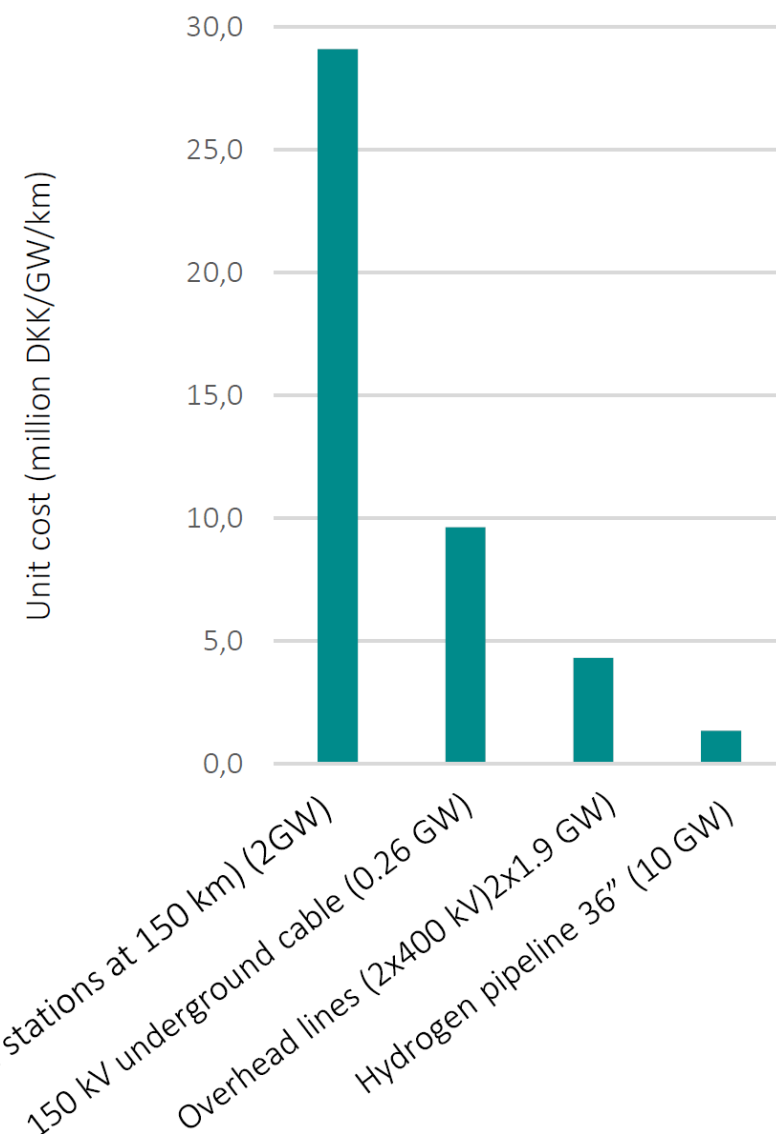
'Drought is on the verge of becoming the next pandemic'

Brintinfrastruktur – skal PtX-anlæg bygges on-shore eller off-shore?

- ▶ Højkapacitetsoverførsel af energi i form af brint i rørledninger er mindst en faktor 5 billigere end el-kabler.
- ▶ Konverteringstab for vindmøllestrøm kan spares ved at have PtX-anlæg på energiøerne.
- ▶ Problem: Spildvarmen kan ikke genanvendes på en energiø!
- ▶ **Brintrørledninger planlægges i både Danmark og resten af Europa.**

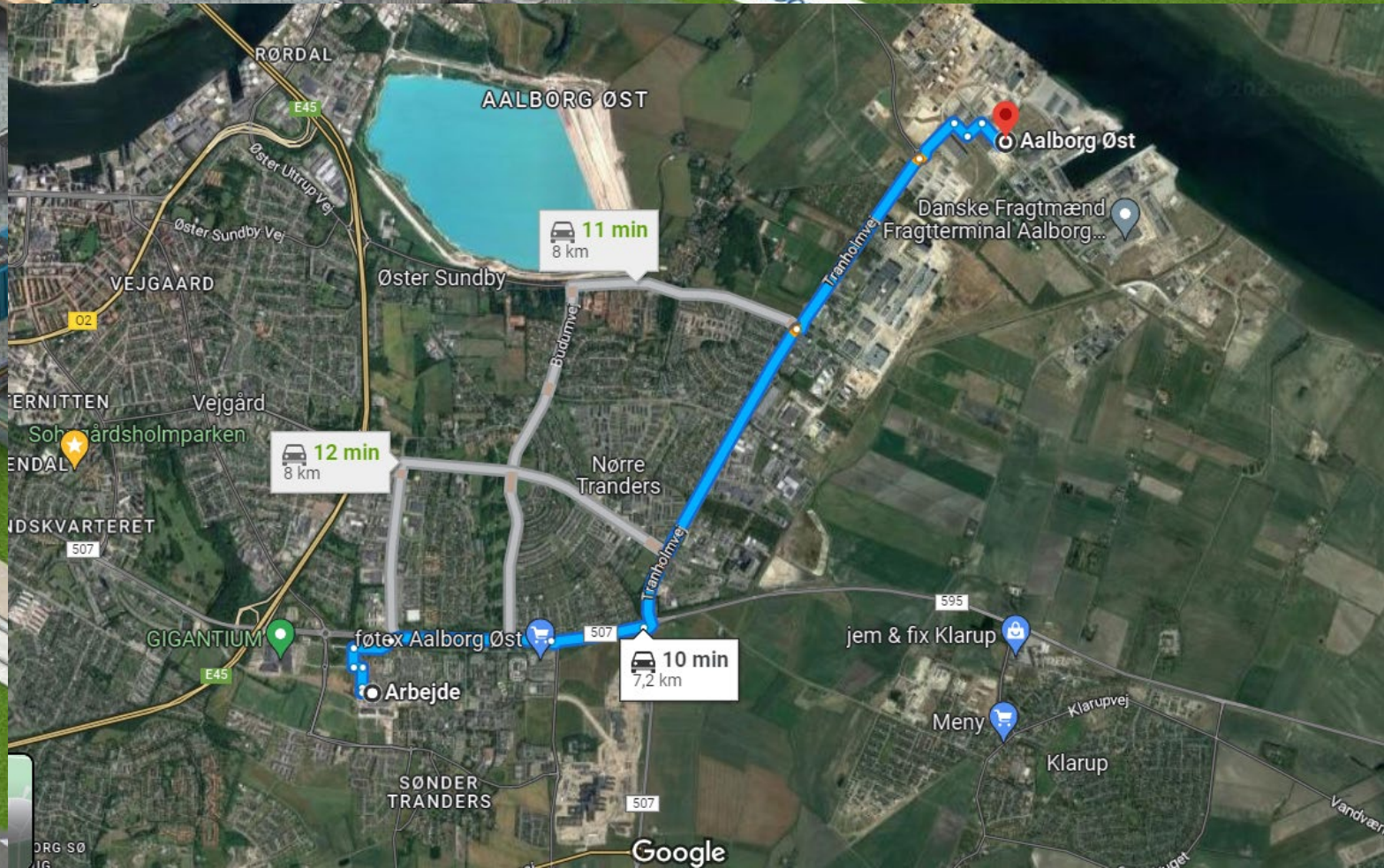
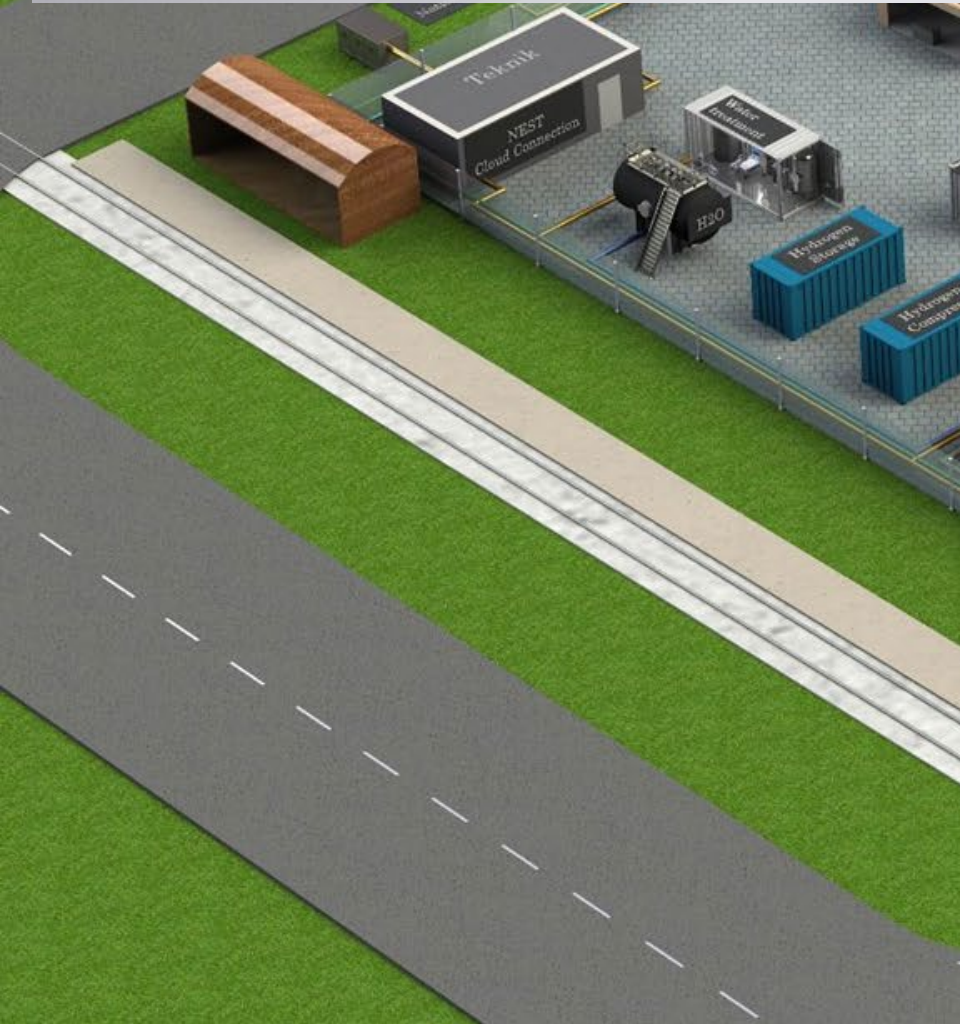


Indicative unit cost of new infrastructure



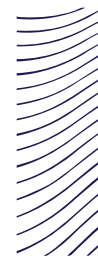
Port-of-Aalborg / Aalborg Universitet CCUS-Hub

- Opskalering og test af virkelige systemer!



Vores “Studenterambassadører”

14



- ▶ Besøger skoler og gymnasier med hardware!
- ▶ Arrangerer besøg inkl. undervisning, forsøg og rundvisninger i vores laboratorier.
- ▶ Vi kan direkte levere opgaver, skriftligt materiale, software og videoer til undervisning i STEM-fag.
- ▶ AAU-on-demand – studenterundervisere:
<https://www.on-demand.aau.dk/>
- ▶ Gymnasieportalen på AAU:
<https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier>

Besøg vedrørende P2X, AAU Energi:

- ▶ Power-2-X: <https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier/besoeg/institut-for-energi/power-to-x>
- ▶ CO₂-fangst: <https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier/besoeg/institut-for-energi/co2-fangst>
- ▶ Elektrokemisk konvertering i brændselsceller og elektrolyse: <https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier/besoeg/institut-for-energi/electrochemical-conversion-fuel-cells-and-electrolyzers>
- ▶ Produktion og test af bæredygtigt jetbrændstof: <https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier/besoeg/institut-for-energi/production-analysis-and-testing-of-sustainable-aviation-fuels>





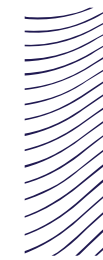
Elbiler er udset som et vigtigt tiltag for at reducere CO2 udledningerne både i Danmark og resten af verden. Men selvom elbilerne er blevet bedre, kan de stadig ikke køre så langt som almindelige biler med forbrændingsmotorer. I denne forelæsning fortæller Erik Schaltz om drivsystemet i elbiler, hvordan hastigheden påvirker rækkevidden og om levetiden af batterier.

Har relevans for fagene:

Bæredygtighed, Fysik, Matematik, Materialeteknologi, Programmering, Statistik, Teknikfag - byggeri og energi, Teknikfag - udvikling og produktion, Teknologi, Innovation

Opgaver:

[Hent opgavesæt](#)



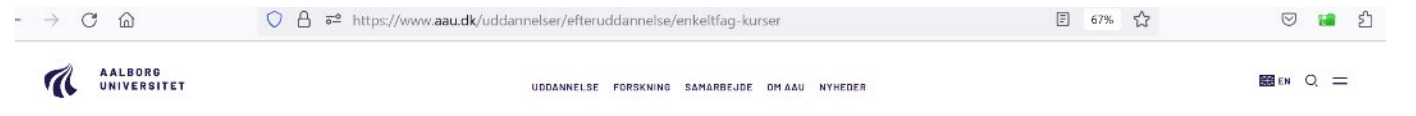
AAU Play:

► Se:
<https://www.aau.dk/samarbejde/tilbud-til-gymnasier/aau-play>

= korte videoer + opgaver der kan benyttes direkte i undervisning!

Efter- og videreuddannelse på AAU:

- ▶ Mulighed for at tage enkeltfag (særskilte moduler) om power-2-x og energisystemer generelt (10 moduler på masterniveau, 2 moduler på diplomingeniørniveau)
- ▶ I regi af dansk center for energilagring (DaCES) er det muligt på tværs af de danske universiteter over 6 år at tage en fleksibel master i power-2-x!
- ▶ Mulighed for deltagelse på tompladsordning på vores energiuddannelser.
- ▶ Skræddersyede kursus.



<https://www.aau.dk/uddannelser/efteruddannelse/enkeltfag-kurser>

DELTIDSUDDANNELSER

ENKELTFAG, KURSER OG MODULER

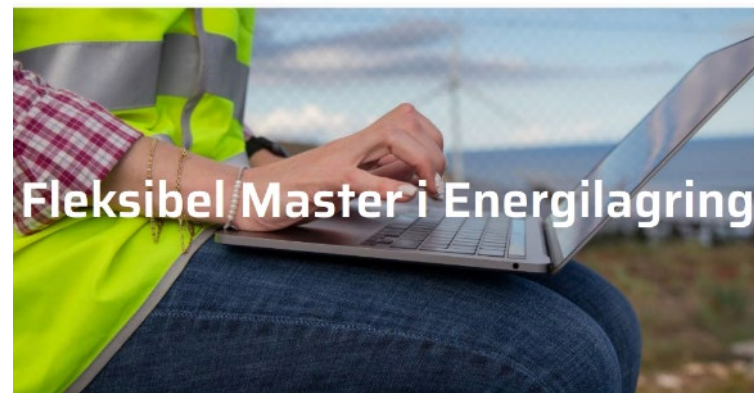
Har du brug for ny viden inden for et specifikt område - eller for at dygtiggøre dig hen ad vejen - så kan du følge vores enkeltfag (kaldes også enkeltmoduler eller kurser). Enkeltfagene kan være fra nogle af Aalborg Universitets deltidsuddannelser, eller det kan være et såkaldt særskilt modul.

[Brochure om enkeltfag](#)



<https://daces.dk/efteruddannelse-i-energilagring/>

[Nyheder](#) [Arrangementer](#) [Arbejdsgrupper](#) [Uddannelse & projekter](#) [Partnerkreds](#) [Bliv medlem](#) [Om centre](#)



<https://daces.dk/efteruddannelse-i-energilagring/>

Det er nu muligt for erfarne medarbejdere eller selvstændige med en teknisk eller naturvidenskabelig baggrund at skærpe eller udvide sine kompetencer gennem en fleksibel master inden for energilagring.



**AAU
ENERGY**

VORES 3 FØRSTE UDDANNEDE STUDERENDE I "AVANCEREDE POWER-2-X-SYSTEMER"!

Mere generel information og kilder:

- **Road map for Grønne Brændstoffer (Innomission 2):** <https://innovationsfonden.dk/sites/default/files/2021-08/Appendix%203%20%201112-00008A%20-%20Roadmap%20for%20Green%20Fuels%20in%20Transport%20and%20Industry%20Innomission%202%20%282021%29.pdf>
- **GreenCEM** projektet: <http://greencem.dk>
- **Power2Met** projektet: <http://hydrogenvalley.dk/power2met/>
- **Systemperspektiv 2035:** The future Danish Energy System: <https://energinet.dk/systemperspektiv2035>
- **Systemperspektiver for 70%-målet og P2X:** <https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/Systemperspektiver-70-pct-og-havvind>
- **Direct Air Capture af CO₂:** DAC I Danmark (Maria Maigaard Paulsen et al.)! https://vbn.aau.dk/files/714724649/DAC_white_paper_AAU_DK.pdf
- **Interaktivt PtX-atlas (uden for Europa):** <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/>

Tøv ikke med at kontakte mig med spørgsmål ☺!

Mads Pagh Nielsen

AAU Energi, Aalborg Universitet

Pontoppidanstræde 111, Lokale 1.110

Tlf.. +45 24255093 / e-mail: mpn@energy.aau.dk



Tak for opmærksomheden! 😊

