



Analyseforudsætninger til Energinet 2022 – Power-to-X og DAC

Baggrundsnotat

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
5. januar 2023

J nr. 2022 – 13659

/CHWO

Indholdsfortegnelse

Udvikling frem mod 2050.....	2
Metode og antagelser	2
Generel introduktion.....	2
Udbygning med PtX til primo 2030	5
Udbygning med PtX efter primo 2030.....	8
Udbygning med DAC efter primo 2030	10
Usikkerhed.....	12
Efterspørgsel efter PtX-brændstoffer	13
Specifikke PtX-teknologier	13
Placering af elektrolyseanlæg og deres elforbrug	13
Ændringer ift. AF21	15

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700
E: ens@ens.dk

www.ens.dk

Udvikling frem mod 2050

Figuren herunder viser den samlede udvikling i elforbruget til PtX i AF22. Fremskrivningen viser en markant stigning frem mod 2050.



Figur 1: Samlet elforbrug til PtX (MW, primo året | TWh).

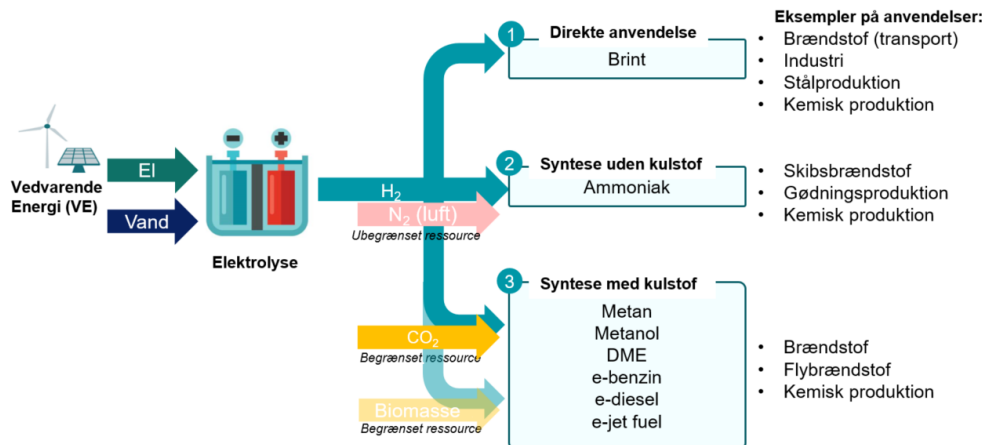
Forløbene i Analyseforudsætningerne til Energinet er opgjort i kapacitet primo hvert år. Al kapacitet og dens produktion eller forbrug, som antages etableret i løbet af et år, medregnes med fuld kapacitet fra det efterfølgende år af pba. af det modeltekniske grundlag.

Metode og antagelser

Generel introduktion

PtX er en betegnelse, der dækker over en række forskellige teknologier, der kan anvendes til produktion af CO₂-neutrale brændstoffer i gas- eller flydende form. Power-to-X (PtX) dækker over en række teknologier, som alle tager udgangspunkt i, at strøm udnyttes til at fremstille brint. I Danmark taler man om Power-to-X. I udlandet kalder man det grøn brint eller "electrofuels" ("e-fuels"), men begge begreber beskriver den proces, hvor strøm og vand bliver lavet om til brint gennem elektrolyse. Brinten kan bruges direkte i fx lastbiler, færger eller industrien, men kan også viderekonverteres til andre brændstoffer. Kulstofholdige PtX-produkter omfatter desuden også fx plast- og tekstilmaterialer. Fælles for det danske fokus på PtX-produkter, hvad end det er brint, ammoniak eller kulstofholdige produkter og brændstoffer, er, at brintproduktionen er baseret på elektrolyse fra VE-kilder som fx sol og vind. Der er tale om en meget bred vifte af potentielle teknologier,

produktionskæder og slutprodukter, hvoraf kun en lille andel er kommercielle i større skala i dag. Med udgangspunkt i elektrolyse fra VE-el produceres brint, som kan anvendes direkte eller videreforarbejdes til enten ammoniak (uden brug af kulstof) eller en række forskellige brændstoffer (kombineret med brug af kulstof). Dette er illustreret på figuren nedenfor.



Figur 2: Diagram over de overordnede produktionskæder for PtX-brændstoffer (flydende eller gasformig). Kilde: Energistyrelsen.

Afgrænsning i AF22

PtX inkluderes i AF22 med det formål at estimere et fremtidigt effekttræk og tilhørende elforbrug samt mulige behov for brintinfrastruktur og udvikling af el- og gasmarkederne, da dette er de væsentligste faktorer i forhold til Energinets opgaver. I forbindelse med fremskrivningen udarbejdes nogle overordnede vurderinger af, hvilke typer af brændstoffer, der produceres. På kort sigt og frem mod 2030 sker dette med afsæt i informationer omkring de offentlige projektudmeldinger, som Energistyrelsen har kendskab til (henvises herefter til som 'PtX-pipeline'), og som præsenteres nedenfor. For den antagne udvikling af PtX på lang sigt efter 2030 anvendes Folketingets målsætning om klimaneutralitet i 2050 som pejlemærke. PtX-brændstoffer forventes primært at kunne anvendes inden for tung transport og industri, herunder landbrug.

Produktionsniveauer af PtX-brændstoffer i 2050 bygger i AF22s centrale forløb på de antagne forbrugsniveauer af Energistyrelsens elscenarie i 2050, som blev udarbejdet ifm. i Klimaprogrammet (KP22). Scenariet præsenterer anvendelser af brændstofferne til forskellige formål, som indeholder antagelser om både **indenrigsforbrug** af PtX-brændstoffer samt fremskrevne forbrug af brændstoffer til **udenrigstransport**, dvs. den mængde brændstof, der antages at bruges til bunkering i de danske havne og lufthavne. Det høje og lave udfaldsrum i AF22's PtX-fremskrivning i 2050 svarer til efterspørgslen af PtX-brændstoffer i de alternative scenarier til baggrund for KP22 Bio & CCS samt Nye Markeder. Det bemærkes, at det realiserbare udfaldsrum til PtX- og DAC-udbygningen kan være



større end de tegnede udfaldsrum i AF22, da Energistyrelsens scenarier til baggrund for Klimaprogrammet er nogle enkelte ud af flere tænkelige betragtninger af et dansk system, som er klimaneutralt senest i 2050.

Nettoeksport af PtX-produkter bliver ikke belyst i KP22, men for at kompensere for en resterende mængde fossile brændstoffer i 2050 inden for international luft- og søfart, er der i KP22-scenarierne på simpel vis antaget en produktion af brint (PtX), der modsvarer dette fossile energiforbrug. Denne mængde brint antages eksporteret. I AF22 indgår der desuden en yderligere eksportmængde i en separat vurdering oveni de mængder, som antages i KP22 i national kontekst. Der antages således et eksportpotentiale af PtX-produkter, som er koblet til den langsigtede udbygning med havvind, som er nærmere beskrevet i baggrundsnotatet derom. Vurderingen om eksportpotentialet er behæftet med stor usikkerhed.

Som del af udviklingen frem mod 2050, som AF22 dækker, kan der blive etableret elektrolyseanlæg med udgangspunkt i produktion af brændstoffer til eksport, evt. i tilknytning til energikilderne eller øvrig havvind. Det er samlet set endnu usikkert, hvordan elektrolyseanlæggene bedst indgår i det danske energisystem, herunder mulighederne for samplacering nær VE-kilderne for at reducere behovet for store og lange effekttransporter, produktion af PtX via rene brintmøller, hvor elproduktion ikke er koblet til nettet, direkte linjer med delvis produktion uden om det kollektive elnet m.v., sådan så elektrolyseanlæggene bidrager til en samlet effektiv udvikling og omstilling af energisystemet. Pga. usikkerheden omkring disse emner anbefales det derfor, at de relevante spørgsmål og emner vedr. disse forhold kan analyseres nærmere pba. AF22 og via følsomheder.

PtX-produktionsteknologier

De tekniske data for forskellige PtX-teknologier er i udgangspunktet baseret på Energistyrelsens Teknologikatalog for fornybare brændstoffer¹.

Der tages udgangspunkt i, at det fulde behov for brændstoffer opfyldes ved brint og brændstoffer produceret på brint med efterfølgende syntese til forskellige typer af slutprodukter i form af både kulstofholdige og ikke kulstofholdige brændstoffer. Virkningsgraden for brintproduktionen (elektrolyse) antages i Energistyrelsens analyser at være ca. 68%², og virkningsgraden for en efterfølgende synteseproces afhænger af typen af proces og brændstof. Det er antaget, at kulstofkilder er baseret på affaldsforbrænding, proces-udledninger fra industrien, biogas og i mindre omfang biomasseforbrænding eller DAC. Dette er dog udelukkende beregningstekniske antagelser ift. virkningsgrader, og der er ikke i AF22 taget yderligere stilling til typen af eventuelle kulstofkilder.

¹ <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-fornybare>

² Forventet elvirkningsgrad for alkalisk elektrolyse i 2030, jf. Teknologikataloget. Der findes konkurrerende elektrolyseteknologier med andre karakteristika, herunder højere virkningsgrad.



Der tages højde for, at produktionen af nogle typer af brændstoffer giver flere slutprodukter, som også kan anvendes til at dække andre energibehov. Dette er bl.a. tilfældet for produktionen af VE-flybrændstof, der vil have en samproduktion af andre brændstoffer, fx VE-diesel, der kan anvendes til at dække energibehovet i den tunge transport (antaget anvendt i lastbiler). Udnyttelsen af samproduktionen giver et lavere elforbrug til produktion af PtX-brændstof i den tunge transport.

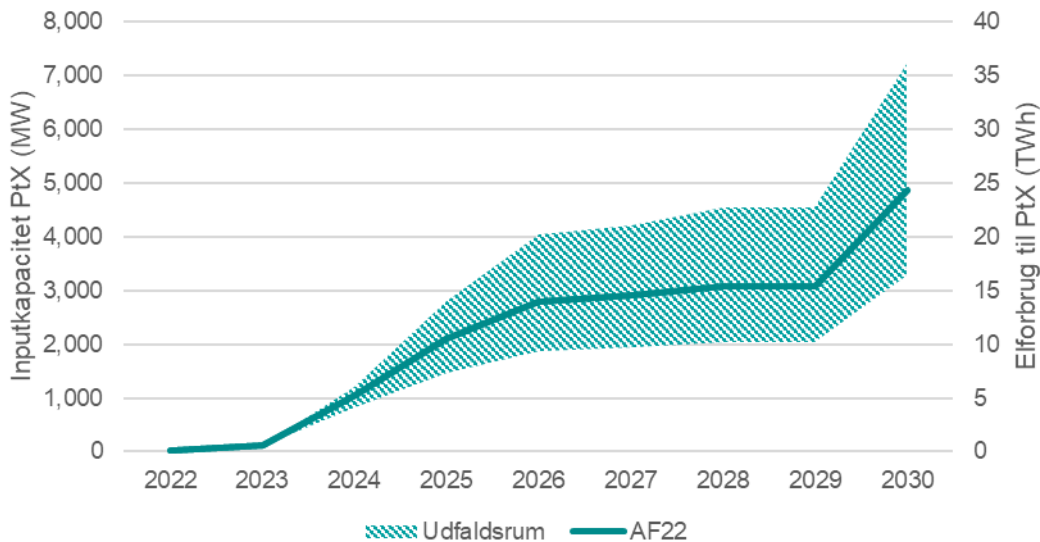
Udbygning med PtX til primo 2030

Udbygningen med PtX til og med 2030 er baseret på projekterne i PtX-pipelinen med skæringsdato 1. august 2022. Ud fra informationerne om projekterne i PtX-pipelinen, herunder forventet idriftsættelsesdato og opskalering af evt. projektfaser, indmeldt støtte til projekterne, samt evt. købs- eller andre aftaler, er der udarbejdet et overordnet estimat for forventet udbygning af elforbrugskapacitet af disse.

PtX-udbuddet med 200 MW indgår separat i den centrale fremskrivning efter det antagne etableringstidspunkt af kapaciteterne som antaget i KF22. Det kan antages, at projekterne fra PtX-pipelinen vil deltage i udbuddet. Det overordnede estimat prøver at tage højde for dette.

Den centrale fremskrivning bliver suppleret med et højt og lavt udfaldsrum, som ligger omkring det centrale forløb. Det høje udfaldsrum forudsætter 100% etablering af alle kapaciteter i PtX-pipelinen til den fra udviklerne forventede idriftsættelsesdato og kan derfor ses som øjeblikkeligt makspotentiale af det danske PtX-marked frem mod 2030. Da PtX-pipelinen udelukkende er et billede på annoncerede projekter til dags dato og kontinuerligt er under forandring, skal fremskrivningen samt udfaldsrummene ses som behæftet med betydelig usikkerhed.

Udviklingen i elforbruget til PtX forventes at være kontinuerligt stigende til 4,9 GW i primo 2030 i det centrale forløb med et udfaldsrum mellem 3,3 – 7,2 GW. Udviklingen accelerer sent i årtiet pga. flere projektudmeldinger, som sigter mod at etablere enten hele projektet, eller en betydelig andel af den samlede kapacitet, til 2030. Frem mod udgangen af 2030 forventes der yderligere stigninger, som bliver beskrevet i det næste afsnit. Udviklingen præsenteres i figuren nedenfor.



Figur 3: Fremskrivning af elforbrug til PtX frem mod primo 2030 samt udfaldsrum til følsomheder (MW, primo året | TWh).

Elforbruget i AF22 bliver anvendt til de følgende slutprodukter i 2030:

Tabel 1: Elforbrugskapacitet ift. den samlede elforbrugskapacitet i 2030, opdelt efter udmeldte slutprodukter af projekterne i PtX-pipelinen og målt på elforbrug til PtX.

Slutprodukt	Andel på samlet kapacitet i 2030
Brint	55%
Ammoniak	10%
Jet-fuel	20%
Metanol	10%
Metan	5%

Udgangspunktet for produktion fra PtX i TWh er i det centrale skøn 5.000 FLT svarende til niveauet i AF21. 5.000 FLT svarer til en afrunding af de forventede produktionsmængder fra havvind jf. Energistyrelsens Teknologikatalog, samt et skøn af produktion fra PtX forsynet med landbaseret elproduktion. Fuldlasttimerne og driften af PtX-anlæggene vil i realiteten afhænge af adskillige faktorer, herunder elprissammensætning og øvrige udgifter til drift, samt investeringsomkostninger. I praksis må der forventes en betydelig spredning mellem de forskellige anlægstyper baseret på bl.a. elektrolyseteknologi mv. Fuldlasttimerne bør derfor ses som overordnet skøn til driften af anlæg, som kan variere i nogle år, og som der kan laves tilsvarende følsomheder omkring.

Der foreligger forskellige detaljegrader omkring informationer om mulige aftager fra projekterne i PtX-pipelinen, og aftag af slutprodukterne i de enkelte projekter kan blive tilvejebragt enten via bilaterale aftaler, eller vha. evt. tilgængelig brintinfrastruktur og tilhørende nye eller eksisterende markedsstrukturer.



De langsigtede scenarier fra Energistyrelsen som baggrund til Klimaprogrammet skitserer derudover antagelser omkring, hvor mange PtX-brændstoffer der vil efterspørges til indenrigsforbruget og til udenrigstransport (bunkering). Den forventede udbygning baseret på estimatet fra PtX-pipelinen overopfylder med de i AF22 antagne fuldlasttimer energibehovet fra PtX-brændstoffer, som skitseret i Klimaprogrammets scenarier, hvorfor det kan antages, at de resterende mængder PtX-brændstof overordnet vil kunne afsættes til eksport.

Tabellen nedenfor viser efterspørgslen af PtX-produkter omregnet til kapaciteterne i AF22 i primo 2030. Det centrale forløb svarer til antagelser i Energistyrelsens elscenarie som baggrund til KP22, hvorimod det lave og det høje udfaldsrum svarer til scenarierne Nye Markeder og Bio & CCS. I det lave udfaldsrum antages det, at mængderne kan afsættes nationalt og til bunkering, hvorimod der i det centrale og høje forløb er et eksportpotentiale af PtX-brændstoffer til primo 2030. Det bemærkes, at nedenstående omregning forudsætter antagelser om type og drift af PtX-anlæggene, jf. beskrivelsen om fuldlasttimer. Den centrale forudsætning for Energinets planlægning er således PtX-produktionen, og ikke nedenstående elforbrug som kan variere betydeligt. Det bemærkes desuden, at infrastrukturbehov alt efter projektsammensætning og placering kan variere, da der er øvrige faktorer ud over anvendelserne, som bestemmer infrastrukturbehovet.

Tabel 2: Opdeling mellem en mulig anvendelse af PtX-brændstoffer fra fremskrivningen baseret på PtX-pipelinen, målt på GW elforbrug til PtX under antagelse af 5000 FLT og bestemte virkningsgrader. Disse omregninger er behæftet med usikkerhed og alene vist for at give en indikation på mulige gennemsnitlige effekttæk for PtX- anlæggene.

Anvendelse primo 2030	Lavt udfaldsrum	AF22	Højt udfaldsrum
Indenrigsforbrug	2,0 GW	2,4 GW	2,7 GW
Udenrigstransport	1,3 GW	0,9 GW	1,4 GW
Nettoeksport	0 GW	1,6 GW	3,1 GW

Det er muligt at anvende overskudsvarmen fra elektrolyse til brug i fjernvarmen. Dette kræver, at et givent elektrolyseanlæg er placeret i nærheden af et fjernvarmenet. Til analyser af samspil mellem elektrolyse og fjernvarme anbefales Energinet at anvende Energistyrelsens teknologikataloger for Power-to-X teknologier. For generelle analyser kan Energinet derimod antage, at 10% af elforbruget til et givent elektrolyseanlæg omsættes til overskudsvarme, der kan anvendes til fjernvarme. Det teknologiske potentiale for udnyttelse af overskudsvarme er højere end 10%, og antagelsen afspejler altså en forventning om at ikke al overskudsvarmen vil blive udnyttet i fjernvarmenettet, fx pga. driftsmønster, geografisk placering osv.



Udbygning med PtX efter primo 2030

For den antagne udvikling af PtX på lang sigt efter 2030 anvendes den langsigtede målsætning om klimaneutralitet i 2050 som pejlemærke. PtX-brændstoffer forventes primært at kunne anvendes inden for erhverv og transport.

Derudover indgår der en vurdering om eksportpotentialet fra PtX-produktion gennem særligt havvind i Nordsøen, som udbygges med som beskrevet i baggrundnotatet herom. Havvind vurderes som den primære VE-kilde til PtX på lang sigt.

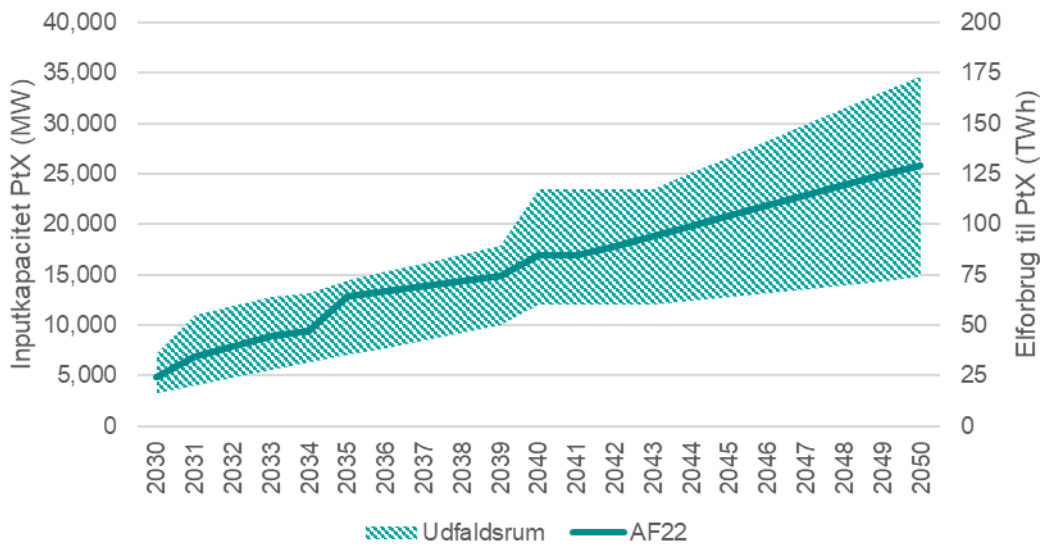
Udgangspunktet for fremskrivningen er en interpolation til at opnå de elforbrugsniveauer, som antages i Energistyrelsens elscenarie som baggrund til KP22, men fremskrivningen tager decideret højde for nogle enkelte indfasninger af PtX-kapacitet ifm. udbygningen af Energiøen i Nordsøen, samt halvdelen af de yderligere under *Klimaaftalen om grøn strøm og varme* af 25. juni 2022 aftalte 4 GW havvind, som skal etableres inden udgangen af 2030 (som bliver medregnet til primo 2031). Analysearbejdet om udbudsdesign af parkerne er igangværende, herunder om eller hvor stor en andel af havvindkapaciteterne der skal direkte sammentænkes med PtX, hvorfor denne antagelse er et foreløbigt bud, som skal revurderes, når der foreligger flere informationer. Antagelsen bliver suppleret med alternative udfaldsrum omkring.

Ved udgangen af 2030 (primo 2031) antages der, at den aggregerede mængde baseret på vurderingen om PtX-pipelinen, samt yderligere 2 GW forsynet af halvdelen af de parker, der blev besluttet i *Klimaaftalen om grøn strøm og varme* af 25. juni 2022. I det centrale forløb bliver den centrale el-kapacitet dermed ca. 7 GW til PtX i primo 2031. De 2 GW fra *Klimaaftalen om grøn strøm og varme* antages i det centrale forløb at udgøre eksportmængder, som i det centrale forløb direkte vil kunne eksporteres til omkringliggende landes forbrugscentre. Det anbefales, at Energinet regner på følsomheder, om denne mængde energi i alternative forløb kan aftages i det danske net.

I *Aftale om udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer* af d. 15. marts 2022 blev aftalt, at Danmark skal sigte efter at bygge 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Det centrale forløb overstiger denne kapacitet med ca. 1 GW, hvorimod det lave udfaldsrum ligger inden for aftalens sigtelinje.

Elforbruget til PtX antages at stige yderligere og kontinuerligt frem mod 2050, og kendetegnet ved antaget tilknyttede udbygninger på Energiø Nordsøen i 2035 (3 GW) og 2040 (2 GW). Halvdelen af de antagne fuld udbyggede 10 GW fra Energiø Nordsøen antages dermed i AF22 knyttet til PtX-produktion. Det bemærkes, at denne fordeling ikke er baseret på politiske aftaler. Frem mod 2050 ligger elforbruget til PtX på ca. 26 GW i det centrale forløb med et udfaldsrum omkring 15-35 GW. Udfaldsrummene tegner nogle mulige alternative forløb i

udbygningen af PtX knyttet til Energjør Nordsøen, og det antages, at udbygninger knyttet dertil sker i trin frem for den ellers antagne interpolerede udbygning frem mod de antagne pejlemærker i 2040 og 2050.



Figur 4: Fremskrivning af elforbrug til PtX efter primo 2030 samt udfaldsrum til følsomheder (MW, primo året | TWh).

Det langsigtede eksportpotentiale af PtX fra havvind er blevet undersøgt baseret på en antagelse om, at størstedelen af den langsigtede produktion af PtX-brændstoffer bliver forsynet af havvind opstillet i Nordsøen. Ud fra en antagelse om de forventede produktionsmængder fra havvind på lang sigt, samt baseret på et estimat på den langsigtede efterspørgsel af PtX i Europa³ med en antagelse om, at mindst halvdelen af PtX vil blive produceret fra europæiske PtX-anlæg, er der blevet simuleret et udfaldsrum af den mulige andel fra dansk produceret PtX til det europæiske eksportmarked. Dette udfaldsrum kommer oveni de mængder, som antages i Energistyrelsens scenarier som baggrund til Klimaprogrammet, og er ikke bundet til scenarierne. Vurderingen om eksportpotentialet er også pga. dens uafhængighed til Energistyrelsens langsigtede scenarier til baggrund for KP22 behæftet med meget stor usikkerhed.

Den antagne anvendelse af PtX-produkter, målt på elkapacitet til PtX, er beskrevet i tabellen nedenfor.

³ Baseret på FCH2JU, "Hydrogen Roadmap Europe", 2019 (lavt og højt scenarie af PtX-produktion); EU-Kommissionen: "A Green Planet for All, 2018; EU-Kommissionen: "Hydrogen Strategy", 2020; EU-Kommissionen, "Impact Assessment", 2020 (lavt og højt scenarie)



Tabel 3: Opdeling mellem en mulig anvendelse af PtX-brændstoffer fra fremskrivningen på lang sigt efter primo 2030, målt på elforbruget til PtX. Den resulterede elkapacitet til PtX i fremskrivningen er baseret på en antagelse om 5000 FLT og virkningsgrader fra Energistyrelsens Teknologikatalog.

Primo 2050	Lavt udfaldsrum	AF22	Højt udfaldsrum
Indenrigsforbrug	19,4 TWh	30,4 TWh	34,8 TWh
Udenrigstransport	46,4 TWh	59,1 TWh	58,6 TWh
Nettoeksport	8,1 TWh	39,8 TWh	80,1 TWh

Udbygning med DAC efter primo 2030

I AF22 præsenteres et spænd, der angiver mulige udfald for udviklingen af Direct Air Capture (DAC) til brug for følsomhedsanalyser. Udviklingen af DAC er behæftet med stor usikkerhed grundet teknologiens modenhed. DAC er kun demonstreret i begrænset omfang og teknologien er endnu ikke kommercialiseret. Denne usikkerhed er afspejlet i spændet over antaget CO₂-fangst fra DAC frem mod 2050.

DAC er en teknologitype, som bruges til at fange CO₂ direkte fra luften. Efterfølgende kan man enten lagre den indsamlede CO₂ i geologiske lagre også kendt som Carbon Capture and Storage (CCS), eller genanvende CO₂'en til brændstofproduktion med brint fra elektrolyse også kendt som Carbon Capture and Utilisation (CCU).

DAC antages at kunne få en betydning for det danske energisystem, når målet om klimaneutralitet senest i 2050 skal opfyldes. DAC har et relativt stort elforbrug, som kan udgøre en væsentlig andel af det samlede elforbrug i Danmark. Der er dog stor usikkerhed om teknologiens langsigtede udbredelse i Danmark, ligesom der må forventes en gradvis indfasning, hvis teknologien bliver udbredt i Danmark.

AF22 følger Energistyrelsens elscenarie som baggrund til KP22 og dets antagne elforbrug til DAC i 2050 og bygger videre på den metode, der er blevet præsenteret i AF21, hvor DAC indgik som følsomhed. Fremskrivningen er afgrænset til den overordnede indflydelse på elsystemet. DAC kræver, ligesom elektrolyse, store mængder strøm. Dette kan skabe konkurrence om elektriciteten blandt DAC og elektrolyseteknologier. Antagelserne til følsomhedsberegninger om udbredelse af DAC i Danmark er behæftet med meget stor usikkerhed og følger scenarierne Bio & CCS til det høje udfaldsrum, som antager en større mængde fanget CO₂ gennem DAC, samt i det lave spænd scenariet Nye Markeder, som antager, at DAC ikke udbredes i Danmark.

Elforbruget til DAC-anlæg er baseret på antagelser om en fremtidig efterspørgsel på CO₂ fanget fra atmosfæren på 0-5,0 mio. ton CO₂ i 2050 med en central antagelse om 3,2 mio. ton CO₂. Efterspørgslen på CO₂ fanget via DAC afhænger bl.a. af hvordan målet om klimaneutralitet opnås, herunder behovet for



kulstofbaserede PtX-brændstoffer og behovet for negative udledninger som kompensation for udledninger i fx transport- og landbrugssektorer. Herpå er der antaget virkningsgrader fra Energistyrelsens Teknologikatalog samt en gennemsnitlig drift på ca. 8.000 fuldlasttimer per år. Det forventede elforbrug til DAC er således ca. 0-0,1 TWh i 2030 og 0-4,8 TWh i 2050, med et centralt skøn på 3,0 TWh. Det er antaget i det høje udfaldsrum, at forbruget er gradvist stigende mellem 2030 og 2050, og at det antagne elforbrug til DAC i det centrale skøn i 2040 er et mellemskøn mellem det høje og det lave udfaldsrum. Elforbruget interpoleres i årene imellem.

Usikkerhederne i forbindelse med udbredelse og opskalering af DAC er meget store, og udfaldsrummet kan afvige fra det her skitserede. Blandt andet kan ændringer i arealanvendelse ifm. biodiversitetsforpligtelser nedbringe behovet for at indfange CO₂ fra luften.

Den geografiske placering antages at være i DK1. Det er dog udelukkende en beregningsteknisk antagelse, som ikke afspejler en vurdering af, hvor DAC bedst placeres.

Elforbruget, samt kapacitet til DAC og indfanget CO₂ er præsenteret i tabellen nedenfor. Elforbruget til DAC antages at være 1,14 MWh/ton CO₂ i 2030 og faldende til 0,95 MWh/ton CO₂ i 2040.

Da fremskrivningen af DAC er baseret på CO₂-mængder, vil et alternativ driftsmønstre med fx lavere fuldlasttimer føre til tilsvarende højere kapaciteter til at imødekomme fangstmængderne.

Tabel 4: Antagne forudsætninger for udbredelse af DAC i det centrale forløb. Antaget indfangning af CO₂ fra DAC, antaget DAC-kapacitet og estimeret elforbrug til DAC i 2030 - 2050.

Primo året	Indfanget CO₂ (antaget)	DAC-kapacitet (beregnet)	Elforbrug (beregnet)
2030	0 mio. ton CO ₂	0 MW	0,0 TWh
2040	1,5 mio. ton CO ₂	175 MW	1,4 TWh
2050	3,2 mio. ton CO ₂	375 MW	3,0 TWh

Udfaldsrummet omkring de centrale antagelser er præsenteret i tabellen nedenfor.



Tabel 5: Forudsætninger til brug for følsomhedsberegninger for udbredelse af DAC. Antaget indfangning af CO₂ fra DAC, antaget DAC-kapacitet og estimeret elforbrug til DAC i 2030 - 2050.

Primo året	Indfanget CO ₂ (antaget)	DAC-kapacitet (beregnet)	Elforbrug (beregnet)
2030	0 – 0,1 mio. ton CO ₂	0 – 25 MW	0 – 0,1 TWh
2040	0 – 2,5 mio. ton CO ₂	0 – 325 MW	0 – 2,6 TWh
2050	0 – 5,0 mio. ton CO ₂	0 – 600 MW	0 – 4,8 TWh

Overskudsvarme er ikke inkluderet og ligeledes er der ikke gjort antagelser om kobling til fjernvarmenettet.

Usikkerhed

Udviklingen i PtX afhænger af en lang række faktorer, der overordnet kan opdeles i forhold til hhv. anvendelsen og produktionen af PtX-brændstoffer. De væsentligste faktorer og usikkerheder, der afgør udviklingen, forventes at være:

1. Mulighederne for en bæredygtig anvendelse af VE-brændstoffer uden stor import af biomasse. Dette er sandsynliggjort bl.a. i Energistyrelsens vind- og brint-scenarier fra 2014⁴. Antagelser om ressourcebegrænsningerne på fx kulstof kan have betydning for anvendelse af PtX- og andre typer VE-brændstoffer på lang sigt.
2. Danmarks position i det internationale marked for VE-brændstoffer, som afhænger af den teknologiske udvikling og modning af markederne. Afhængigt af konkurrenceevnen for danskproducerede brændstoffer samt udviklingen af en fælles europæisk brintinfrastruktur vil dette have betydning for omfanget af import/eksport af PtX-brændstoffer.
3. Regulatoriske rammevilkår både på produktions- og efterspørgselssiden: PtX er omfattet af meget forskellig regulering på tværs af de forskellige sektorer, både på europæisk og nationalt niveau, hvilket har direkte betydning for vilkårene for produktion og anvendelse af PtX-produkter.

Udviklingen af elektrolyseanlæg er underlagt stor usikkerhed, og Energistyrelsen anbefaler derfor, at Energinet supplerer AF22 med følsomhedsanalyser på udviklingen og omfanget af elektrolyse, som vist i Figur 1 og jf.

metodebeskrivelsen, hvor det høje udfaldsrum svarer til det forbrug, som antages i Energistyrelsens Bio & CCS-scenariet som baggrund til i KP22, imens det lave udfaldsrum svarer til det forbrug, som antages i scenariet Nye markeder. Ud over det absolutte niveau kan der også laves yderligere følsomhedsberegninger på udviklingens indvirkning på elinfrastrukturen, herunder muligheder og effekter ved

⁴ <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/scenarieanalysen>



samplacering af elektrolyseanlæg tæt ved VE-kilderne (på energiø, nær ilandføring af havvind eller sammen med fx landbaseret vind/sol), således at behovet for store effekttransporter over længere afstand i elinfrastrukturen reduceres.

Efterspørgsel efter PtX-brændstoffer

Den primære usikkerhed er omfanget af efterspørgslen efter PtX-brændstoffer, som især er betinget af den generelle vækst i det antagne energiforbrug og mulighederne for at anvende andre teknologier til dækning af energiforbruget inden for transport og erhverv, herunder begrænsninger i adgangen til kulstofkilder. De tekniske muligheder og omkostninger for at lave direkte elektrificering og energieffektiviseringer er en vigtig parameter, ligesom de tilgængelige CO₂-ressourcer fra fx biogas og biomasse kan være begrænsende og også få betydning for den langsigtede anvendelse af PtX.

Produktionen og efterspørgsel af PtX-brændstoffer vil som nævnt også være påvirket af de regulatoriske rammevilkår, både i EU og nationalt, samt af det internationale marked og Danmarks placering heri, dvs. mulighederne for eksport og import, som kan påvirke den samlede udvikling i elforbruget til PtX markant, både på kort og lang sigt.

Specifikke PtX-teknologier

Der er usikkerhed omkring, hvilke konkrete teknologier, der vil vinde indpas, og hvordan udviklingen af dem bliver i forhold til effektivitet og økonomi. Dette gælder både ift. teknologier til produktion såvel som anvendelse af PtX-brændstoffer.

En væsentligt anderledes teknologiudvikling end antaget vil kunne fremskynde udviklingen i kapacitet for PtX-anlæg eller udskyde den i forhold til det angivne forløb. Dette gælder bl.a. teknologierne til termisk forgasning af biomasse, som endnu ikke er kommercielle, men forventes at blive det frem mod 2040, og hvor brint fra elektrolyse vil kunne medtænkes i forskellige anlægsdesign. Det vurderes dog, at usikkerheden omkring disse teknologier især ligger efter 2030.

Der bør anvendes specifikke tekniske data i det omfang, der analyseres på mere konkrete udviklinger, hvor Energinet har kendskab til den forventede anvendte teknologi og elforbrug i forbindelse med produktionen.

Placering af elektrolyseanlæg og deres elforbrug

Da der endnu ikke er etableret kommercielle anlæg i større skala eller truffet endelige beslutninger om det, er den konkrete placering af en stor del af de fremtidige anlæg usikker. Derudover er Energistyrelsen ikke bekendt med konkrete planer til projekter efter 2030, hvor der ligger den største tilvækst af kapacitet til PtX



i fremskrivningen. Der er mange faktorer, der spiller ind på valget af placeringer for anlæggene, og det anbefales derfor, at der udføres følsomhedsberegninger med forskellige geografiske placeringer af elforbruget.

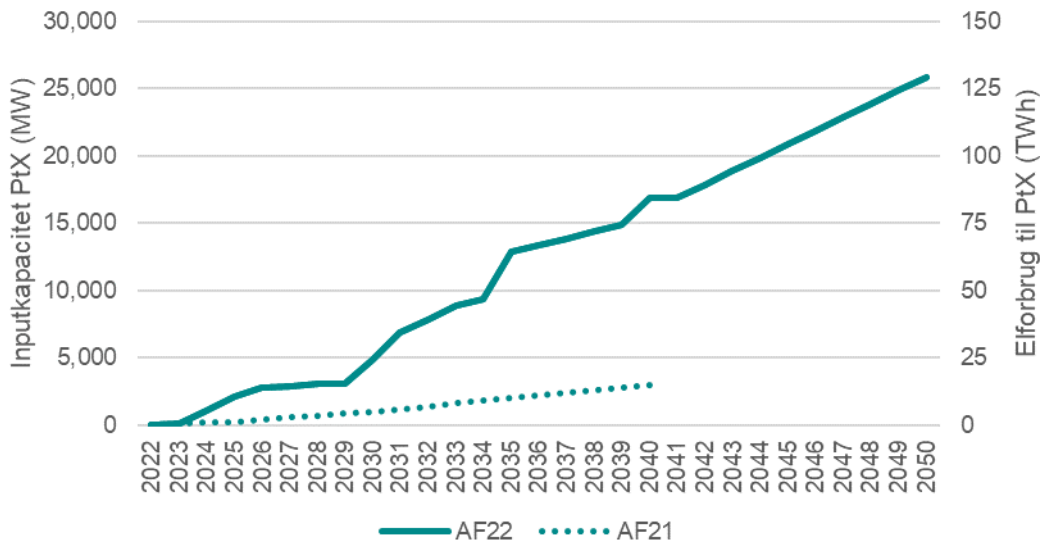
Udbygningen med PtX bliver på lang sigt antaget at forsynes primært af de stigende mængder havvindkapacitet, som antages at blive etableret, jf. baggrundsnotatet herom. De følsomheder, som justerer for elforbruget til PtX, vil derfor kræve en tilsvarende justering af primært havvindkapacitet på lang sigt.

Det er desuden endnu behæftet med stor usikkerhed, hvor stor en andel af elproduktion til PtX-anlæg, der rammer det kollektive elnet i hvilket omfang, især på lang sigt. Direkte linjer med elforbrug til PtX uden om det kollektive elnet, begrænset netadgang til elkunder der producerer PtX-brændstoffer, rene brintmøller hvor brint bliver produceret ved selve vindmøllen, og øvrige hensyn kan gøre, at det kollektive net i forskellig grad vil kunne blive påvirket af elforbrug til PtX. PtX har dog stort potentiale til at indpasse stigende mængder af fluktuerende VE fleksibelt, hvis driften af anlæggene tilpasser sig de fluktuerende produktionsmønstre af VE. Det samme forhold vil umiddelbart kunne gælde, hvis anlæggene i højere grad sammenplaceres med produktion af VE.

Udbygningen med PtX fra 2041 og frem antages derfor enten at blive tilsluttet til det kollektive elnet eller produceret direkte i rene brintmøller, via direkte linjer, andre løsninger eller en kombination heraf. Udbygningen er behæftet med mange usikkerheder, og Energistyrelsen anbefaler derfor Energinet at supplere analyseforudsætningerne med følsomhedsanalyser hvori al PtX efter 2040 er tilkoblet nettet, samt et forløb hvor al strømmen til PtX omdannes udenfor elnettet. Disse følsomheder angiver dermed et udfaldsrum for graden af tilslutning af elektrolyse til elnettet som vil kunne bruges til videre analyser.

Ændringer ift. AF21

Figuren herunder viser den samlede elforbrugskapacitet til PtX i hhv. AF22 og AF21. Fremskrivningen i AF21 ender i 2040, hvorimod fremskrivningen i AF22 ender i 2050.



Figur 5: Samlet elforbrug til PtX i AF22 og AF21 (MW, primo året | TWh).

Metoden i AF22 ift. fremskrivningen af PtX er blevet ændret sammenlignet med AF21.

Forskellen i udbygningen med PtX er markant anderledes, da fremskrivningen i AF21 præsenterede den samme fremskrivning som i AF20, da der forventedes afklaringer fra PtX-strategiarbejdet før større ændringer ville blive implementeret. Fremskrivningen til det tidspunkt gengav også den daværende mindre interesse, der har været i branchen ift. udmeldinger af konkrete PtX-projekter.

Fremskrivningsmetoden i AF22 blev desuden sammenlignet med AF21 udvidet med at tage højde for et eksportpotentiale af produktion fra PtX i Danmark, samt at der i energiforbrugsstigninger blev taget højde for stigninger i energiforbruget, som ikke er indbefattet af de nationale langsigtede klimamålsætninger, såsom brændstofforbrug til udenrigstransport.

De ovennævnte årsager gør, at stigningen i elforbruget til PtX ligger markant højere i AF22 sammenlignet med AF21.