



Analyseforudsætninger til Energinet 2024 – PtX

Baggrundsnotat

Indholdsfortegnelse

1. Introduktion	2
2. Elektrolysekapacitet.....	2
2.1 Udviklingen frem mod 2050	2
2.1.1 Præsentation af AF24-forløbet frem mod 2050	2
2.1.2 Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23	4
2.2. Metode og antagelser	5
2.2.1. Metode og antagelser til AF24	5
2.2.2 Ændringer ift. AF23	13
3. Brintforbrug	14
3.1. Dansk brintforbrug	14
3.2. Europæisk brintforbrug	15
4. Usikkerheder og følsomhedsberegninger	17
4.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet	17
4.2 Anbefalede følsomhedsberegninger	18
5. Planlagt udvikling fremadrettet	18
6. Bilag	19
Bilag (til offentligheden)	19
Bilag 1: Links til politiske aftaler og ordninger	19
Bilag 2: Supplerende figurer	19

Dette baggrundsnotat er en del af Analyseforudsætninger til Energinet 2024 (AF24). AF24 er et målopfyldelsesscenarie, hvilket vil sige, at AF24 grundforløbet som udgangspunkt er kompatibelt med opfyldelse af de politiske målsætninger på klima- og energiområdet. Det er dog ikke alle målsætninger på klima- og energiområdet, der er direkte afspejlet i AF24, og AF24 specificerer endvidere ikke konkrete virkemidler til at indfri de politiske målsætninger.

Kontor/afdeling
Systemanalyse og
Innovation

Dato
9. oktober 2024

J nr.
2024 – 979

DNMD / BRP

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk



1. Introduktion

Dette notat beskriver forløbet for elektrolysekapacitet (produktion af brint) inkl. væsentlige forudsætninger, samt antagelser for det fremtidige brintforbrug. Notatet er opdelt mellem elektrolysekapacitet i Danmark, som gennemgås i afsnit 2, og forbrug af brint, som gennemgås i afsnit 3. Afsnit 3 beskriver både dansk og europæisk forbrug af brint. Antagelserne er behæftet med væsentlig usikkerhed, som beskrives i afsnit 4. Det danske forbrug opdeles ikke efter det endelige slutprodukt, idet brint opdeles til direkte anvendelse og til viderekonvertering. Det direkte forbrug af brint vil potentielt være afhængig af brintinfrastruktur, hvorimod det ikke kan udelukkes, at viderekonvertering af brint vil blive samplaceret med elektrolyseanlægget, og dermed vil være uafhængig af brintinfrastruktur, men i stedet vil bruge anden type af infrastruktur til at transportere brændstoffet videre.

2. Elektrolysekapacitet

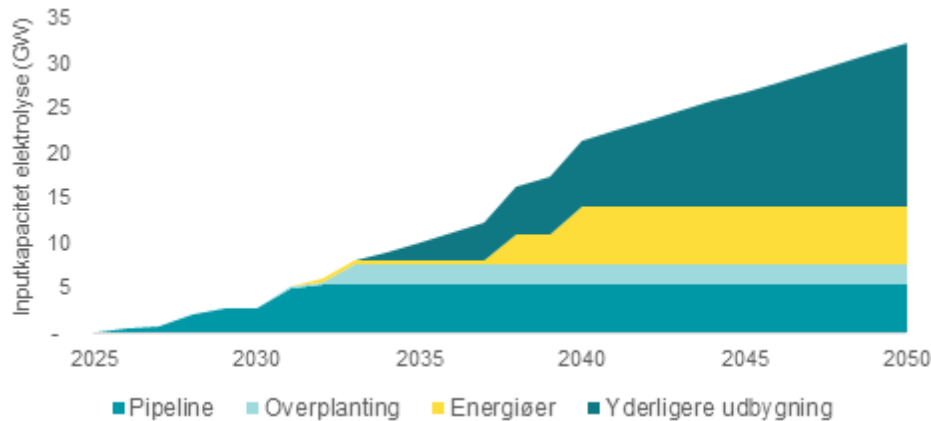
2.1 Udviklingen frem mod 2050

2.1.1 Præsentation af AF24-forløbet frem mod 2050

Figuren herunder viser den samlede udvikling i elektrolysekapacitet. Elektrolysekapaciteten er opgjort som elinputkapacitet. Figuren viser en stigning i elektrolysekapacitet igennem hele perioden fra 2025 til 2050.

På kort sigt baseres fremskrivningen efter målsætningen om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030, og på lang sigt baseres fremskrivningen på en antagelse om produktion af brint til at imødekomme et indenrigsforbrug, og ikke mindst et eksportpotentiale. Eksportpotentialet på lang sigt hænger sammen med det langsigtede ønske om at høste Danmarks havvindpotentiale¹ med en antagelse om, at dele af potentialet bliver anvendt til produktion af brint og andre PtX-produkter.

¹ Jf. Delaftale om mere grøn strøm fra 2022, <https://www.regeringen.dk/media/11470/klimaaf-tale-om-groen-stroem-og-varme.pdf>



Figur 1: Samlet inputkapacitet til elektrolyse (MW), primo året. I figuren er Hesselø indeholdt i overplanting af radial havvind.

Fremskrivningen er opdelt i følgende fire kategorier, som gennemgås mere detaljeret i afsnit 2.2:

- Ved **PtX-Pipeline** forstås et estimat af udbygning frem mod 2030 som følge af konkrete offentlige projektudmeldinger, og denne del af Analyseforudsætningerne er konsistent med PtX-målsætningen om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030.
- Ved **Overplanting af radial havvind** forstås mulig PtX-kapacitet knyttet til øvrig havvindudbygning, der indgår i politiske aftaler, men endnu ikke er etableret, jf. baggrundsnotatet til AF24 om Havvind.
- Ved **Energiøer** forstås PtX-kapacitet koblet til udbygningen af de to energiøer ved Bornholm og i Nordsøen, jf. baggrundsnotatet til AF24 om Havvind.
- Ved **Yderligere udbygning** forstås øvrig PtX-udbygning efter 2033 til at imødekomme en antaget udbygning med elektrolyse til eksport, som bl.a. følger den politiske ambition om udbygning af havvind, jf. 6. Bilag 1: Links til politiske aftaler og ordninger, samt baggrundsnotatet til AF24 om Havvind.

Væsentlige usikkerheder ift. AF24 forløbet omfatter følgende (jf. også afsnit 4):

- Udbygningen efter 2030 og især på lang sigt er behæftet med stor usikkerhed. Dette gælder både den samlede udbygning af kapacitet, ligesom det gælder antagelserne om tilkobling til det kollektive elnet og placeringen af anlæg. Usikkerheden skyldes i høj grad betydelig usikkerhed omkring europæisk brintefterspørgsel, da store dele af den

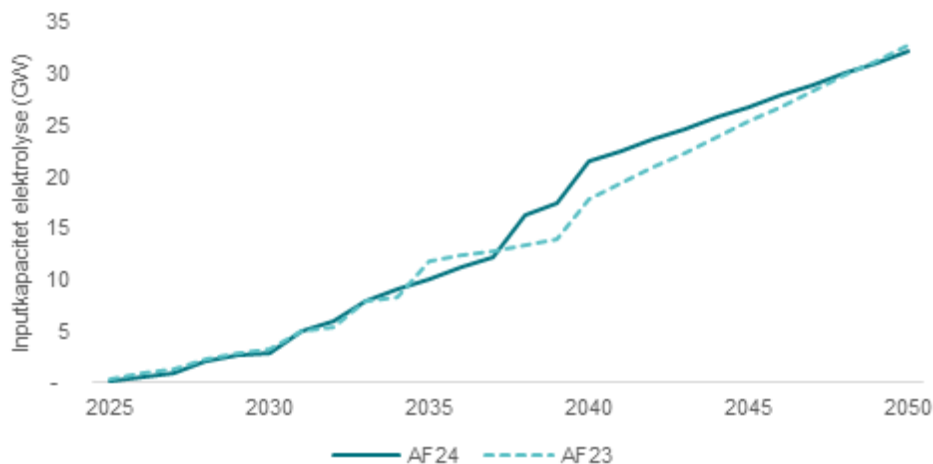


danske udbygning af elektrolyse forventes at skulle imødekomme et eksportpotentiale.

- Antagelser om slutprodukter og anvendelser samt dansk efterspørgsel af PtX-produkter er ligeledes behæftet med stor usikkerhed. AF24 indeholder ikke en konkret fremskrivning af dansk brintforbrug, men bruger på lang sigt tal fra Energistyrelsens elscenarie til baggrund for Klimaprogrammet 2022 (KP22) til at anskueliggøre mulige anvendelser, jf. afsnit 3.1.

2.1.2. Uddybning af AF24 forløb og kvalificering ift. AF23

Figur 2 viser forløbet for PtX-kapacitet i AF24 sammenlignet med forløbet i AF23. De to forløb ligner i høj grad hinanden. Afvigelserne skyldes primært en opdatering af udbygningsfaserne for Energiø Nordsøen samt en konstant yderligere PtX-udbygning fra 2033-2050, som i AF23 var højere i den sidste del af fremskrivningsperioden. Trods en opdatering af forudsætninger for den samlede PtX-kapacitet i 2050, opnås en PtX-kapacitet på omtrent samme niveau som i AF23 (ca. 0,7 GW lavere i AF24).



Figur 2: Samlet elektrolysekapacitet i Danmark i AF24 sammenlignet med AF23.

De væsentligste ændringer i AF24 ift. AF23 omfatter følgende (jf. også afsnit 2.2):

- Opdaterede informationer og projektmeldinger baseret på PtX-pipelinen medfører en langsommere indfasning af PtX-kapacitet frem mod slutningen af 2030. Den største forskel er i 2027, hvor AF24 indeholder ca. 550 MW mindre PtX-kapacitet end i AF23. Forskellen bliver indhentet frem mod 2031, hvor kapaciteten i AF24 overstiger kapaciteten fra AF23 med ca. 100 MW.
- I AF23 blev det forudsat, at danske elektrolyseanlæg i gennemsnit havde 5.000 fuldlasttimer, og modelteknisk blev der antaget et dansk brintmarked



isoleret fra det europæiske brintmarked. I AF24 integreres det danske brintmarked modelteknisk med det fælleseuropæiske brintmarked. Det sker med en indfasning fra 2032 og frem til 2040, hvorefter al dansk elektrolysekapacitet bidrager til at opfylde den europæiske brintefterspørgsel. Det betyder, at anlæggene modelleres til at drifte fleksibelt i stedet for i et givent antal fuldlasttimer.

- På baggrund af en opdatering af Energistyrelsens Teknologikatalog² i januar 2024 er virkningsgraden for elektrolyseanlæg blevet justeret i nedadgående retning, hvilket reducerer effektiviteten af elektrolyseanlæg i modelleringen sammenlignet med AF23.

2.2. Metode og antagelser

2.2.1. Metode og antagelser til AF24

Generelt

Følgende afsnit beskriver nogle generelle metodiske forudsætninger angående elektrolyseanlæg, og hvordan de er modelleret i Energistyrelsens Energisystemsmode, Ramses. Det drejer sig om forudsætninger for fuldlasttimer, netttilslutning, levetid, effektivitet, overskudsvarme samt fleksibilitet.

Fuldlasttimer

I AF23 fulgte udbygningen af dansk elektrolysekapacitet efter 2030 udbygningen af overplanting af radial havvind, energioer samt yderligere udbygning af havvind i Nordsøen, hvor driften af danske elektrolyseanlæg blev baseret på en gennemsnitlig antagelse om 5.000 fuldlasttimer. I AF24 antages elektrolyseanlæg frem til 2030 at køre 5.000 fuldlasttimer, som i AF23. Baggrunden for fortsat at antage 5.000 fuldlasttimer i 2030 er, at et europæisk brintmarked på det tidspunkt ikke antages at være tilstrækkeligt modent, bl.a. pga. manglende brintinfrastruktur i Europa. Som noget nyt i AF24 modelleres der efter 2030 et europæisk brintmarked, som det danske brintmarked gøres til en del af, så danske elektrolyseanlæg konkurrerer på markedsvilkår med europæiske. Indfasningen sker fra 2032, så det danske brintmarked i 2040 er fuldt integreret i det europæiske. På det europæiske marked opnår danske elektrolyseanlæg dermed ikke nødvendigvis 5.000 fuldlasttimer i gennemsnit, da fuldlasttimerne i stedet defineres på markedet. Den danske elektrolysekapacitet i 2050 defineres endogent af Energistyrelsens langsigtede investeringsmodel (PEERS)³. Det europæiske brintmarked er modelleret uden begrænsninger for investeringer i brintinfrastruktur, så længe disse er rentable i modellen. Europæisk brintefterspørgsel uddybes i afsnit 3.2.

² <https://ens.dk/service/teknologikataloger/teknologikatalog-fornybare-braendstoffer>

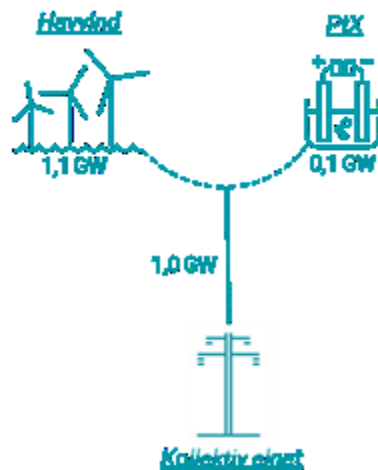
³ PEERS simulerer via omkostningsminimering en markedsbaseret langsigtet udbygning af el og brintsystemet i Europa



Nettilslutning

Analyseforudsætningerne præsenterer en samlet udvikling af PtX-kapacitet. Det beskrives nærmere inden for de følgende afsnit på hvilken måde den pågældende PtX-kapacitet i Analyseforudsætningerne antages at være tilsluttet. Valget om nettilslutningen for et projekt afhænger af adskillige faktorer, som i et projektspecifikt tilfælde kan afvige fra de her præsenterede overordnede metoder, hvorfor det anbefales, at Energinet supplerer det centrale forløb med følsomheder herom. I Analyseforudsætningerne differentieres mellem tre grader af nettilslutning:

- Fuld nettilslutning, hvor elektrolysekapaciteten er fuldt tilsluttet det kollektive elnet og dermed trækker al elinput fra det kollektive net
- Ingen nettilslutning, hvor elektrolysekapacitet ikke er tilsluttet det kollektive elnet i Danmark. Elektrolysekapacitet med ingen nettilslutning kan f.eks. være i form af PtX på en direkte linje, hvor hverken PtX eller VE er tilsluttet det kollektive elnet, i form af brintmøller eller i form af PtX tilknyttet direkte til udlandet (f.eks. til Tyskland).
- Delvis nettilslutning, hvor et elektrolyseanlæg er tilsluttet et VE-anlæg, og tilslutningen til det kollektive net er mindre end den samlede VE-kapacitet. Dvs. elektrolyseanlægget både kan modtage strøm fra VE-anlægget samt fra det kollektive net, hvis VE-anlægget (f.eks. pga. begrænset vind) ikke producerer. Delvis nettilslutning er illustreret med et eksempel (Hesselø) i figur 3:



Figur 3: Illustration af delvis nettilslutning til det kollektive elnet (Hesselø)

Levetid

Der regnes med en levetid af elektrolyseanlæg på 25 år, jf. Energistyrelsens Teknologikatalog. Nogle delkomponenter kan have kortere levetider. Her antages disse komponenter løbende udskiftet gennem det samlede anlægs levetid. Det



antages, at PtX-kapacitet opstillet før 2025 vil blive erstattet af ny PtX-kapacitet efter endt levetid.

Effektivitet

Effektiviteten er baseret på virkningsgrader i Energistyrelsens Teknologikatalog. I de tilfælde det er ukendt hvilken elektrolyseteknologi, der vil anvendes i et konkret projekt fra PtX-pipelinen, baseres tal for effektiviteten på alkalisk elektrolyse. Dette bliver også gjort for de PtX-kapaciteter, hvor det er ukendt, hvilket slutprodukt der vil produceres. På baggrund af en opdatering af Energistyrelsens Teknologikatalog i januar 2024 er virkningsgraden for elektrolyseanlæg blevet justeret i nedadgående retning, hvilket reducerer effektiviteten af elektrolyseanlæg.

Overskudsvarme

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 PtX-teknologier. Analyseforudsætningerne antager, at overskudsvarme fra elektrolyseanlæg følger KF24. Overskudsvarmen leveres uden omkostninger til fjernvarmenettet. Overskudsvarme fra viderekonverteringsanlæg, som kan anvendes til fjernvarme, er ikke medtaget i Analyseforudsætningerne, da der er stor usikkerhed om det endelige PtX-slutprodukt.

Fleksibilitet/minimumslast

Energistyrelsen har i efteråret 2023 udarbejdet en analyse af fleksibilitet fra PtX-anlæg⁴. Analysen er gennemført med inddragelse af centrale aktører med fokus på de væsentligste faktorer, herunder tekniske og økonomiske forhold, som påvirker fleksibilitet fra PtX-anlæg. PtX-teknologier har som udgangspunkt de tekniske forudsætninger for at kunne opereres fleksibelt.

Dialog med centrale aktører peger på, at elektrolyseanlæg kan opereres kontinuerligt ned til lastniveauer på mellem 5 og 20 pct. for hvert enkelt elektrolysemodul afhængig af teknologi. Slukkes elektrolyseanlæggene vil elforbruget falde til mellem 0 og 3,5 pct. af nominel kapacitet afhængig af teknologien. Selvom det teknisk er muligt at operere elektrolyseanlæg fleksibelt, er der andre omstændigheder, som kan have betydning for, hvor fleksibelt anlæggene vil blive opereret.

Disse omstændigheder kan eksempelvis skyldes, at det er uvist, hvor meget fleksibel drift vil påvirke effektivitet og levetid for anlæggene og dermed hvor store meromkostninger fleksibel drift medfører. Samtidig spiller brintinfrastruktur med tilhørende lager en afgørende rolle for at opnå fuld fleksibilitet fra elektrolyse, fordi

⁴ https://ens.dk/sites/ens.dk/files/analyse_af_fleksibilitet_fra_ptx-anlaeg.pdf



det gør det muligt at afkoble produktion og forbrug af brint. Der er dog ikke sikkerhed for, at alle PtX-anlæg vil have adgang til en brintinfrastruktur. Herudover kan forpligtelser på aftagersiden om levering af PtX-brændstoffer også betyde, at PtX-producenters mulighed for fleksibel drift reduceres.

På baggrund af de tekniske forhold og andre omstændigheder der kan påvirke mulighederne for fleksibel drift fra anlæggene, er der i AF24 antaget et samlet minimums elforbrug fra PtX-anlæg på 10 pct. i 2030 faldende lineært til 2 pct. frem mod 2040 i takt med udviklingen af teknologien og et europæisk brintmarked. Fra 2040 til 2050 fastholdes minimumslast på 2 pct.

Udbygning frem til 2030: PtX-Pipeline

Udbygningen af PtX-kapacitet til og med 2030 er baseret på projekter i PtX-pipelinen med skæringsdato 1. juni 2024 samt PtX-strategien og målsætningen om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. 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 sandsynlighed for de enkelte projekter i PtX-pipelinen.

PtX-udbuddet blev afgjort ultimo 2023, hvor fem projekter på samlet 209 MW har opnået støtte. Projekterne skal på baggrund af udbudsbetingelserne være i drift senest 4 år efter tilsagn og dermed være idriftsat ultimo 2027. Projekterne har til hensigt at producere forskellige PtX-brændstoffer, herunder brint, e-metan, e-metanol og e-jetfuel. Udbuddet medfører en større elektrolysekapacitet på 9 MW i forhold til den estimerede effekt på 200 MW, som tidligere har indgået i KF. Da PtX-pipelinen udelukkende er et billede på annoncerede projekter, der kontinuerligt er under forandring, skal fremskrivningen ses som et øjebliksbillede og er behæftet med betydelig usikkerhed.

Udbygning knyttet til Hesselø-havvindmølleparken på 100 MW indgår separat i fremskrivningen. PtX-pipelinen går til ultimo 2030, og da PtX-anlæg relateret til Hesselø forventes opstillet i ultimo 2030, medtages kapaciteten i PtX-pipelinen og i målsætningen om 4-6 GW i 2030.

Udbygningen fremgår af tabellen herunder. Tabellen viser den akkumulerede udbygning frem mod udgangen af 2030.



År (ultimo)	År (primo)	Akkumuleret kapacitet DK1 (MW)	Akkumuleret kapacitet DK2 (MW)	Akkumuleret kapacitet (MW)
2024	2025	77	6	83
2025	2026	539	16	555
2026	2027	639	156	794
2027	2028	1.752	226	1.978
2028	2029	2.477	226	2.702
2029	2030	2.477	296	2.772
2030	2031	4.634	396	5.029

Tabel 1: Forudsætninger for udbygning fra PtX-pipeline, PtX-udbuddet og fra Hesselø. Tal er her også opgjort som ultimo år for at visualisere den samlede fremskrivning frem mod 2030-målsætningen.

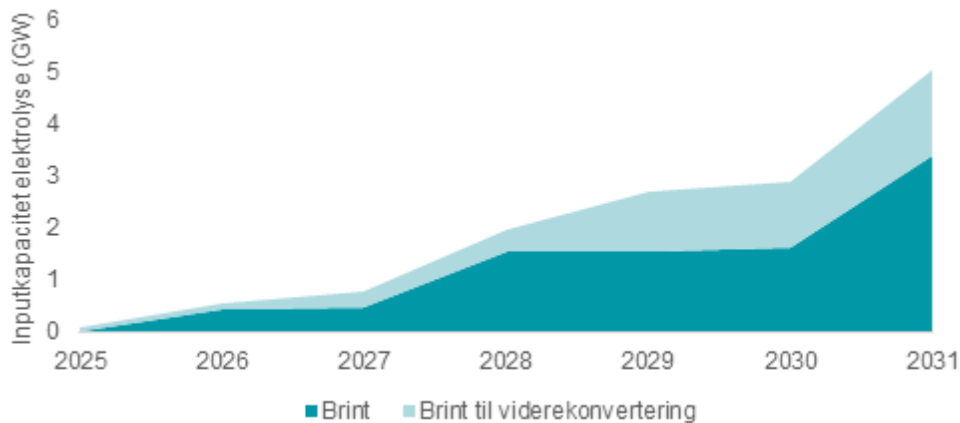
Udviklingen i elektrolysekapacitet forventes at være stigende til ca. 5,0 GW til udgangen af 2030. Udviklingen er konsistent med sigtelinjen om 4-6 GW elektrolysekapacitet fra *Aftale om udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer* af d. 15. marts 2022. Udviklingen er størst tættere på 2030 pga. flere projektudmeldinger, som sigter mod at etablere enten hele projektet, eller en betydelig andel af den samlede PtX-kapacitet, frem mod 2030. I samme periode sker der en stor udbygning af vedvarende energi (VE). En udbygning af PtX-kapacitet, som opstilles i et kortere tidsrum, kan betyde yderligere usikkerhed om opfyldelse af målsætningen om 4-6 GW i 2030. Som beskrevet ovenfor, vil PtX-pipelinen frem til ultimo 2030, inkl. Hesselø, fortsat antages at køre 5.000 fuldlasttimer i gennemsnit, ligesom i AF23.

Nettilslutning for PtX-pipeline projekter

Elforbrugskapaciteten fra PtX-pipelinen (ekskl. Hesselø) antages at være tilsluttet til det kollektive elnet. Det er muligt, at enkelte projektudviklere, for konkrete projekter, beslutter at etablere en direkte linje med reduceret netbehov enten over projektperioden eller de første år efter idriftsættelsen og inden den nødvendige netforstærkning kan stå klar. Derfor anbefales det som skrevet ovenfor, at fremskrivningen suppleres med følsomheder for at analysere konsekvenser ved en reduceret elnetudbygning. Det antages i Analyseforudsætningerne, at elektrolysekapacitet på Hesselø er delvist nettilsluttet, jf. Figur 3.

Slutprodukter fra produktion af PtX

Figuren herunder viser forløbet af elektrolysekapacitet frem mod ultimo 2030/primo 2031, som overvejende er baseret på konkrete projektudmeldinger PtX-pipelinen, kategoriseret efter deres udmelding om brint som slutprodukt eller om brinten forventes viderekonverteret til anden PtX-brændsel (metanol, ammoniak m.v.).



Figur 4: Slutprodukter af fremskrivningen baseret på PtX-pipelinen, opgjort i elforbrugskapacitet til elektrolyse (MW), primo året.

Baseret på konkrete udmeldinger om PtX-pipelinen frem til og med 2030 anvendes den fremskrevne PtX-kapacitet hovedsageligt til produktion af brint som slutprodukt. Det er desuden ikke alle projekter i PtX-pipelinen, som har udmeldt hvilket slutprodukt, de sigter til at producere. Her er det modelleringsteknisk antaget, at der produceres brint.

Den PtX-kapacitet, som ikke har meldt et konkret slutprodukt ud, antages modelleringsteknisk ligeledes at producere brint. Det er dog muligt, at de danske PtX-kapaciteter producerer andre produkter end brint for at imødekomme en efterspørgsel af andre produkter. Det er usikkert, hvorvidt anlæg til viderekonvertering til andre PtX-brændstoffer ønsker tilslutning til en brintinfrastruktur eller om viderekonverteringen sker i samplacering med brintproduktionen. Derfor antages det, at der ikke er behov for rørbunden brintinfrastruktur til denne del af brintproduktionen.

Overplanting af radial havvind

I AF24 antages den følgende udbygning med PtX knyttet til øvrige radiale havvindsudbudsparker:



Projekt	Placering	År for idriftsættelse (medregnes fra året efter)	Kapacitet (MW)
Hesselø	DK2	2030	100 (fremgår også af Tabel 1)
Kriegers Flak II	DK2	2032	400
Kattegat	DK1	2032	100
Nordsøen I (del 1)	DK1	2032	500
Nordsøen I (del 2)	DK1	2032	500
Nordsøen I (del 3)	DK1	2032	500

Tabel 2: Forudsætninger for udbygning knyttet til øvrige radiale udbudsparker.

Beregningsteknisk antages det, at 50% af den mulige overplanting knyttet til radiale havvindsudbudsparker udnyttes til PtX-kapacitet. F.eks. er der i udbuddet af Hesselø havvindpark mulighed for overplanting op til 200 MW. Heraf medtages de 100 MW i Analyseforudsætningerne, og det antages at der opstilles PtX-kapacitet svarende til hele den overplantede VE-kapacitet (100 MW).

Nettilslutning for overplanting af radial havvind

For nettilslutningen af PtX knyttet til de øvrige radiale udbudsparker gælder overordnet samme antagelser som for Hesselø, dvs. at PtX-kapaciteten er delvist nettilsluttet. PtX-kapaciteten er både tilsluttet havvindkapaciteten og er samtidigt tilkoblet det kollektive elnet, jf. figur 3. Dette skyldes, at den tilhørende PtX-kapacitet antages at blive etableret på land og dermed kan tilsluttes det kollektive elnet. Det kan dog være muligt, at nogle af anlæggene grundet projektspecifikke årsager alligevel ikke vælger at tilslutte sig det kollektive elnet. Energinet opfordres derfor til at lave supplerende følsomheder med alternative tilslutningskoncepter.

Energier

I AF24 antages den følgende udbygning med PtX knyttet til energierne:

Projekt	Placering	År for idriftsættelse	Kapacitet (MW)
Energio Bornholm	EØB	2032	400
Energio Nordsø (Fase 2)	EØN	2038 (primo)	3.000
Energio Nordsø (Fase 3)	EØN	2040 (primo)	3.000

Tabel 3: Forudsætninger for udbygning knyttet til energier.



Det skal bemærkes, at der aktuelt ikke er lovhjemmel til brintproduktion på havet, hvorfor antagelserne omkring brintproduktion for Energiø Nordsøen er behæftet med væsentlig usikkerhed.

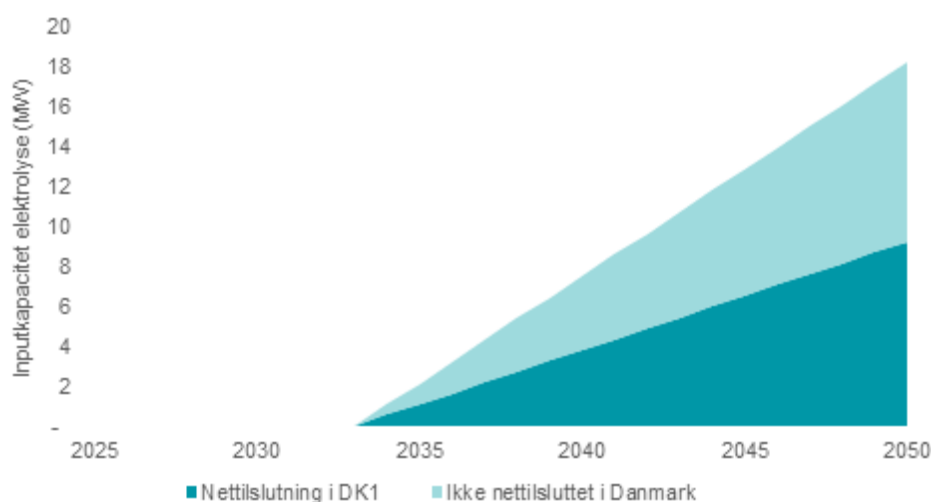
Nettilslutning for Energiøer

Som del af mulighederne for at overplante yderligere havvind tilknyttet Energiø Bornholm udover den tilladte nettilslutningskapacitet, lægges det til grund, at der etableres en tilsvarende mængde PtX-kapacitet, som følger den antagne overplantede havvindkapacitet. Beregningsteknisk antages det, at 50% af den forventede mulige overplantning på Energiø Bornholm udnyttes, således at der opstilles 400 MW elektrolyse. Energiø Bornholm antages at være delvist nettilsluttet, hvoraf 3 GW havvind tilsluttes priszonen omkring Energiø Bornholm og de resterende 400 MW overplantning antages tilsluttet elektrolyseanlæg på 400 MW via direkte linjer, jf. figur 3.

Der er ikke taget politisk beslutning til faseudbygningen for Energiø Nordsøen, men der er i forbindelse med denne fremskrivning beregningsteknisk lagt til grund, at udbygningen i faser antages at være med 4 GW i 2036, 3 GW i 2038 og 3 GW i 2040, jf. baggrundsnotatet om havvind. De sidste 6 GW af de antagne fuldt udbyggede 10 GW fra Energiø Nordsøen antages i AF24 knyttet til PtX-produktion. Det lægges for Energiø Nordsøen til grund, at udbygningen med PtX kobles til den offshore budzone

Yderligere udbygning

Den yderligere udbygning af PtX i AF24 fremgår af figur 5:



Figur 5: Yderligere udbygning af elektrolysekapacitet frem til 2050.



Som beskrevet i afsnit 2.2.2 om fuldlasttimer, defineres den samlede PtX-kapacitet i 2050 endogent af Energistyrelsens langsigtede investeringsmodel (PEERS). Den yderligere udbygning i 2050 antages at være forskellen mellem den samlede PtX-kapacitet på 32,1 GW fratrukket PtX-pipelinen samt PtX knyttet til overplanting af radial havvind og energigøer. Udbygningen foregår lineært fra 2033-2050, hvilket følger fremskrivningen i havvind samt elforbruget og kapaciteter for udlandet. Der antages hermed en udbygning på 1,1 GW PtX-kapacitet om året fra 2034-2050. Den yderligere udbygning er i høj grad drevet af en høj europæisk brintefterspørgsel, da store dele af den danske udbygning af elektrolyse forventes at skulle imødekomme et eksportpotentiale. Den europæiske brintefterspørgsel er behæftet med betydelig usikkerhed, jf. afsnit 3.2. Det anbefales derfor, at Energinet supplerer det centrale forløb med følsomheder herom.

Nettilslutning for yderligere udbygning

I 2050 er graden af nettilslutning defineret endogent af PEERS. PEERS definerer, at ca. halvdelen af den yderligere PtX-udbygning (9,0 GW) ikke tilsluttes det kollektive elnet i Danmark. Den resterende del af den yderligere udbygning (9,2 GW) antages nettilsluttet i DK1. Graden af nettilslutning i forbindelse med udbygningen på lang sigt er dog behæftet med betydelige usikkerheder, da PtX-kapaciteten både kan nettilsluttes det kollektive elnet, eller ikke nettilsluttes, f.eks. via direkte linjer bag måleren, brintmøller eller tilslutning til nabolande, jf. afsnit 2.2.1 om nettilslutning. Det anbefales derfor, at Energinet supplerer det centrale forløb med følsomheder herom.

2.2.2 Ændringer ift. AF23

I udarbejdelsen af AF24 er der foretaget en række ændringer af forudsætningerne for dansk elektrolysekapacitet. Forudsætningerne er beskrevet mere detaljeret i afsnit 2.2.1. De væsentligste ændringer er:

- **Effektiviteter:** På baggrund af en opdatering af Energistyrelsens Teknologikatalog⁵ i januar 2024, er virkningsgraden for elektrolyseanlæg justeret i nedadgående retning, hvilket reducerer effektiviteten af elektrolyseanlæg. Alt andet lige medfører lavere virkningsgrad, at brint bliver dyrere at producere.
- **Fuldlasttimer:** Som beskrevet i afsnit 2.1, indføres det danske brintmarked modelteknisk som en del af det europæiske brintmarked fra 2032 og frem til 2040, hvorefter det danske brintmarked er fuldt integreret i det europæiske brintmarked. De danske elektrolyseanlæg leverer dermed på efterspørgslen i det europæiske marked, og derfor antages der ikke et fast antal fuldlasttimer i AF24, som ellers var antagelsen for alle danske elektrolyseanlæg i den fulde fremskrivningsperiode i AF23.

⁵ <https://ens.dk/service/teknologikataloger/teknologikatalog-fornybare-braendstoffer>



- Ikke nettilsluttet PtX-kapacitet: I AF23 var det beregningsteknisk lagt til grund, at halvdelen af udbygningen efter 2040 etableres som offshore brintmøller, dvs. ikke nettilsluttet det kollektive elnet. I AF24 defineres ikke nettilsluttet PtX-kapacitet i 2050 endogent af Energistyrelsens langsigtede investeringsmodel (PEERS).
- Flexibilitet: Energistyrelsen har i efteråret 2023 udarbejdet en analyse af fleksibiliteten af PtX-anlæg. På baggrund af analysen, er der i AF24 lavet et samlet estimat for det minimale elforbrug for PtX-anlæg på 10 pct. 2030 faldende til 2 pct. frem mod 2040.

3. Brintforbrug

3.1. Dansk brintforbrug

Der er ikke lavet en egentlig fremskrivning af det danske brintforbrug til AF24. AF24 bruger i stedet tal fra Klimastatus og –fremskrivning 2024 (KF24) samt Energistyrelsens elscenarie til baggrund for Klimaprogram 2022 (KP22) til at anskueliggøre et muligt forbrug af brint for hhv. 2030 og 2050. Fsva. dansk forbrug af brint til viderekonvertering i 2030 antages, at den del af PtX-pipelinen med konkrete udmeldinger om viderekonvertering til andet PtX-brændsel, vil blive forbrugt i Danmark. Tabel 4 viser det danske forbrug af brint i hhv. 2030 og 2050 opdelt på forbrug af ren brint samt brint til viderekonvertering.

	2030	2050
Dansk direkte forbrug af brint, TWh brint	0,25	2
Dansk forbrug af brint til viderekonvertering, TWh brint	5	14

Tabel 4: Forudsætninger for dansk brintforbrug i 2030 og 2050, TWh brint. Bemærk, at tallene er opgjort i TWh brint, hvilket adskiller sig fra AF23, hvor det danske brintforbrug var opgjort i TWh elforbrug til elektrolyse.

Den producerede brint, som ikke forbruges i Danmark, antages eksporteret til udlandet. Det er generelt antaget, at der etableres tilstrækkelig infrastruktur til at realisere indenlandsk brintforbrug samt eksport. Fsva. forbrug af brint til viderekonvertering er det muligt, at viderekonverteringen vil ske på samme lokation som elektrolysen, hvormed brintforbruget vil være uafhængig af brintinfrastruktur. Det er også muligt, at viderekonverteringen vil ske på en anden lokation, hvormed brintinfrastruktur vil være nødvendig. Konkret sandsynliggjort efterspørgsel skal lægges til grund for udbygningen af rørbunden brintinfrastruktur, jf. 1. delaftale om Ejerskab og drift af fremtidens danske, rørbundne brintinfrastruktur af d. 22. maj



2023. De fremviste tal er ikke tilstrækkeligt underbyggende til at kunne anvendes som en konkret sandsynliggjort efterspørgsel.

I beregningen af forbruget af brint til viderekonvertering er det beregningsteknisk lagt til grund, at hele det danske forbrug af brint og PtX-brændsler dækkes af dansk produktion. Forbruget af PtX-brændstoffer i Danmark kan imidlertid både dækkes med dansk producerede brændstoffer og via import, da der reelt må forventes både import og eksport af forskellige PtX-brændsler. Ved fastholdt dansk produktion af brint, vil import af brint og PtX-brændstoffer beregningsteknisk blive modsvaret af en tilsvarende større bruttoeksport af dansk brint og danske PtX-brændstoffer.

Dansk brintforbrug i 2030

Det danske forbrug af brint i 2030 antages at følge forbruget i KF24, dvs. 890 TJ svarende til 0,25 TWh brint. KF24 indeholder det seneste bud på et brintforbrug i Danmark givet en *frozen policy* udvikling. I 2030 forventes brint primært anvendt på raffinaderi. Det resterende brint i KF24 anvendes til opgradering af biogas samt vejtransport. For nærmere beskrivelse af KF24 scenariet henvises til <https://www.kefm.dk/klima/klimastatus-og-fremskrivning/klimastatus-og-fremskrivning-2024>. Det danske forbrug af brint til viderekonvertering er baseret på den del af PtX-pipelinen i 2030, som producerer brint til viderekonvertering.

Dansk brintforbrug i 2050

KF24 går ikke til 2050, og det danske brint forbrug i 2050 baseres derfor overordnet på Energistyrelsens elscenarie til baggrund for KP22, som det danske brintforbrug i AF23 også var baseret på. Til AF24 medregnes bunkering ikke i det danske brintforbrug, da brændstof til bunkering ikke nødvendigvis vil blive produceret i Danmark. Desuden medregnes eksport af brint til at fortrænge et fossilt forbrug i 2050 ikke i det danske brintforbrug. Disse antagelser adskiller sig fra AF23, hvor brændstof til bunkering samt eksport af brint til at fortrænge et fossilt forbrug var en del af det danske brintforbrug. For nærmere beskrivelse af elscenariet til KP22 henvises til <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/tekniske-analyser-til-baggrund-klimaprogram-2022>. Der er stor usikkerhed om dansk brintforbrug. Energinet opfordres derfor til at lave følsomhedsanalyser på det danske brintforbrug, jf. afsnit 4.

3.2. Europæisk brintforbrug

Europæisk brint forbrug i 2050

Potentialet for at etablere PtX i Danmark overstiger forventningen til det indenlandske forbrug af brint og andre PtX-brændsler, og en væsentlig del af den dansk producerede brint antages at gå til eksport til vores nabolande. Derfor er den



europæiske efterspørgsel efter brint i høj grad determinerende for det danske eksportpotentiale af brint, og det er væsentligt at belyse usikkerheden i den europæiske brintefterspørgsel.

AF24 anvender ENTSO-E's TYNDP22 Distributed Energy-scenarie (DE) som forudsætning for den europæiske efterspørgsel efter brint i 2050.

Brintefterspørgslen inkluderer brint til viderekonvertering. TYNDP22 DE angiver en samlet mængde brint til viderekonvertering i EU, og har dermed ikke fordelt denne efterspørgsel ud på enkelte lande. Der anvendes derfor en fordelingsnøgle til at fordele imellem landene baseret på den geografiske placering af bunkering for international sø- og luftfart. Der er dog stor usikkerhed knyttet til fremskrivningen af det europæiske brintforbrug.

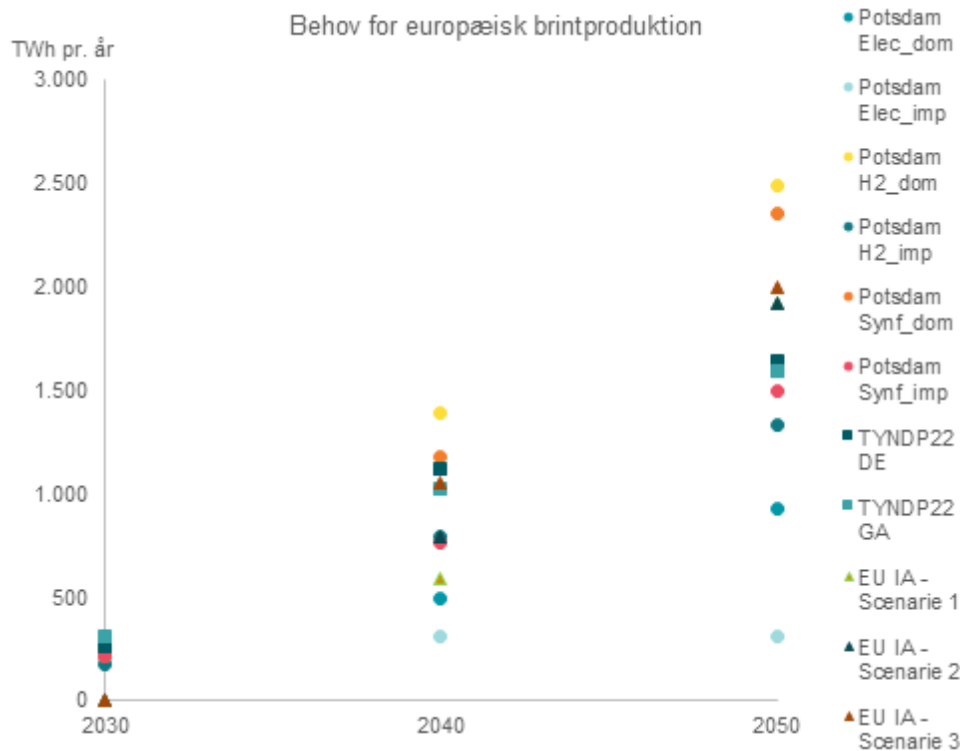
Figur 6 viser udviklingen i behovet for produktion af brint i Europa ifølge en række scenarier for omstillingen af det europæiske energisystem, hvor importdelen er fratrukket bruttoefterspørgslen. Udover TYNDP22 DE, indeholder figuren et alternativt scenarie fra ENTSO-E, TYNDP22 Global Ambition, 6 scenarier fra Potsdam Institute for Climate Impact Research (Potsdam) samt tre scenarier fra Europa-Kommissionens seneste Impact Assessment (EU IA).

Potsdam er en tysk uafhængig forskningsinstitution inden for klima og bæredygtighed. De 6 scenarier er publiceret i tidsskriftet *One Earth* i februar 2024⁶ og udgør dermed et nyere studie af mulige omstillingsveje for det europæiske energisystem. Scenarierne adskiller sig fra hinanden på overordnet set to dimensioner, nemlig forholdet mellem direkte og indirekte elektrificering (med tre kategorier, hvor vægten er på hhv. direkte elektrificering, brint eller afledte PtX-produkter) samt graden af import (hvor der enten er størst fokus på produktion af brint og afledte PtX-produkter inden for Europa eller hvor der primært sættes på import).

Europa-Kommissionen udkom i februar 2024 med en konsekvensanalyse (Impact Assessment) vedrørende EU's klimamål for 2040 og vejen mod klimaneutralitet i 2050⁷. Heri indgår tre hovedscenarier for omstillingen, som alle bygger på den nuværende udvikling ift. elektrificering, energieffektivitet og udbygning af VE, men adskiller sig fra hinanden i forhold til, hvor hurtigt omstillingen foregår samt anvendelsen af bl.a. brint, PtX og teknologier til kulstofopsamling.

⁶ "Distinct roles of direct and indirect electrification in pathways to a renewables-dominated European energy system", <https://www.cell.com/one-earth/fulltext/S2590-3322%2824%2900037-X>.

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/>.



Figur 6: Behov for europæisk (EU27) brintproduktion i 2030, 2040 og 2050 ifølge 11 scenarier fra samlet set tre studier. Studierne varierer i detaljeringsgrad, og der skal tages forbehold for eventuelle forskelle i opgørelsesmetode og kategoriseringer.

Figur 6 udspringer et stort udfaldsrum for det europæiske brintproduktionsbehov og illustrerer tydeligt usikkerheden forbundet med den fremtidige omstilling af det europæiske energisystem både på den korte og mellemlange bane, men særligt for 2050. De to scenarier fra TYNDP22 ligger i den høje ende i 2030 og 2040, mens de for 2050 ligger mere eller mindre i midten af udfaldsrummet. Hvis behovet for produktion af grøn brint i Europa bliver lavere end antaget i TYNDP22 DE, vil afsætningsmulighederne for dansk produceret brint, alt andet lige være mindre.

4. Usikkerheder og følsomhedsberegninger

4.1 Usikkerheder ift. AF24-forløbet

Udbygningen efter 2030 og især på lang sigt efter 2040 er behæftet med stor usikkerhed. Dette gælder både den samlede udbygning af kapacitet, ligesom det gælder antagelserne om tilkobling til det kollektive net og placeringen af anlæg i



nett. Usikkerheden skyldes i høj grad den betydelige usikkerhed omkring europæisk brintefterspørgsel, jf. afsnit 3.2, da store dele af den danske udbygning af elektrolyse forventes at skulle imødekomme et eksportpotentiale.

Antagelser om slutprodukter og anvendelser samt dansk efterspørgsel af PtX-produkter er ligeledes behæftet med stor usikkerhed. AF24 indeholder ikke en konkret fremskrivning af dansk brintforbrug, men bruger tal fra KF24 samt Energistyrelsens elscenarie til baggrund for Klimaprogrammet 2022 (KP22) for hhv. 2030 og 2050 til at anskueliggøre mulige anvendelser, jf. afsnit 3.1.

Der er desuden en væsentlig usikkerhed i forudsætningerne bag brintinfrastrukturen, idet der inden for landene er forudsat den nødvendige brintinfrastruktur til, at brinten kan transporteres rundt. Det anbefales derfor ikke at bruge ét sæt af antagelser for planlægning af brintinfrastruktur, da brintmængderne angivet i AF24 ikke alene er tilstrækkeligt grundlag. Det vil derfor være nødvendigt at supplere Analyseforudsætningerne med relevante følsomheder, om muligt gerne baseret på viden fra konkrete projekter.

4.2 Anbefalede følsomhedsberegninger

Der er antaget forskellige forudsætninger for nettilslutning af de forskellige kategorier af PtX-kapacitet (PtX-pipeline, overplanting af radial havvind, energigør og yderligere udbygning). Valget om nettilslutningen for et specifikt projekt afhænger dog af adskillige faktorer, som i et projektspecifikt tilfælde kan afvige fra de her præsenterede overordnede metoder om hhv. ingen, fuld eller delvis nettilslutning. Desuden vil graden af en delvis nettilslutning variere mellem konkrete projekter, hvorfor Energinet anbefales at supplere det centrale forløb med følsomheder herom.

5. Planlagt udvikling fremadrettet

Energistyrelsen arbejder løbende på at forbedre kvaliteten af Analyseforudsætningerne, herunder forudsætningerne for PtX-kapacitet og brintforbrug.



6. Bilag

Bilag (til offentligheden)

Bilag 1: Links til politiske aftaler og ordninger

Aftale om udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer af d. 15. marts:

<https://www.regeringen.dk/media/11146/aftale-om-udvikling-og-fremme-af-brint-og-groenne-braendstoffer.pdf>

1. delaftale: Ejerskab og drift af fremtidens danske, rørbundne brintinfrastruktur af d. 22. maj 2023: <https://kefm.dk/Media/638204311368810699/Aftaletekst%20-%20mulighed%20for%20etablering%20af%20brintinfrastruktur.pdf>

Esbjerg-erklæringen: <https://kefm.dk/aktuelt/nyheder/2022/maj/historisk-erklæring-skal-sikre-groen-stroem-til-230-mio-europaeiske-husstande>

[Tillægsaftale om udbudsrammer for 6 GW havvind og Energiø Bornholm:

[https://kefm.dk/Media/638210643069728737/Tillægsaftale%20om%20udbudsrammer%20for%206%20GW%20havvind%20og%20Energiø%20Bornholm%20\(002\).pdf](https://kefm.dk/Media/638210643069728737/Tillægsaftale%20om%20udbudsrammer%20for%206%20GW%20havvind%20og%20Energiø%20Bornholm%20(002).pdf)

]

Bilag 2: Supplerende figurer

