



## Analyseforudsætninger til Energinet 2020 – Power-to-X (PtX)

Baggrundsnotat

**Kontor/afdeling**  
Systemanalyse

**Dato**  
27. august 2020

**J nr.** 2020-8581

/MEG

### Indholdsfortegnelse

Udvikling frem mod 2040 .....	2
Metode og antagelser .....	3
Afgrensning i AF20 .....	3
Generelle antagelser om betydning og udvikling af PtX i Danmark og globalt.....	4
Import/eksport af PtX-brændstoffer i AF20 .....	5
Dansk efterspørgsel efter PtX-brændstoffer i AF20.....	5
PtX-produktionsteknologier .....	7
Udviklingsforløb frem mod 2040 og 2050 .....	8
Geografisk fordeling .....	9
Usikkerhed .....	9
Efterspørgsel efter PtX-brændstoffer .....	10
Specifikke PtX-teknologier .....	10
Placering af PtX-anlæg og deres elforbrug .....	11
Ændringer i forhold til AF19 .....	11

#### Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

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

[www.ens.dk](http://www.ens.dk)



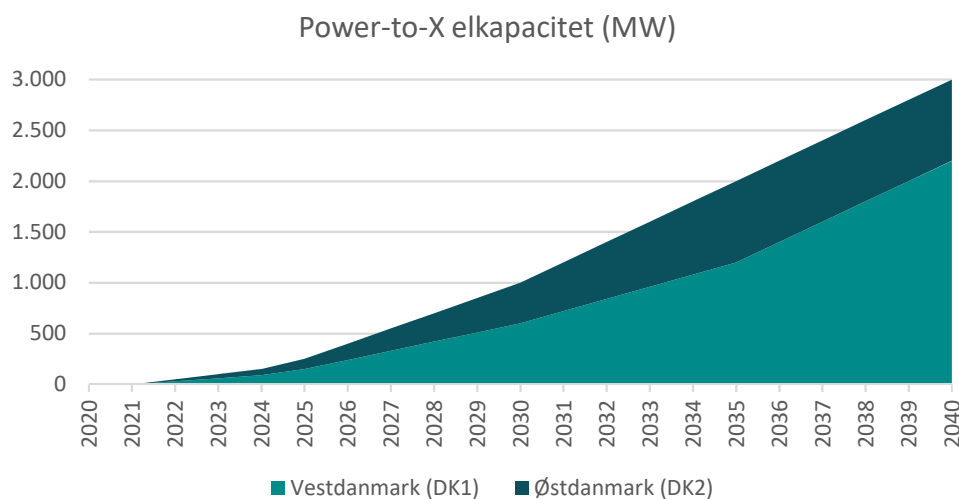
## Udvikling frem mod 2040

Produktionen af CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer baseret på Power-to-X teknologier (herefter blot PtX) forventes at få en betydning for det danske energisystem på langt sigt, når målet om klimaneutralitet senest i 2050 skal opfyldes<sup>1</sup>. Produktionen af PtX-brændstoffer har et stort elforbrug, som på langt sigt forventes at udgøre en væsentlig andel af det samlede elforbrug i Danmark. Der forventes dog en gradvis udvikling, da teknologierne endnu ikke er fuldt ud kommercielle og i stand til at konkurrere med alternative VE-brændstoffer.

AF20 inkluderer en estimeret udvikling for PtX, som dog er afgrænset til den overordnede indflydelse på elsystemet og ikke i detaljeret grad ser på specifikke teknologier og brændstoftyper.

Antagelserne om PtX-brændstoffernes anvendelse i Danmark, og særligt tilhørende produktion heraf, er behæftet med meget stor usikkerhed, jf. *afsnit om usikkerheder*.

Figuren nedenfor viser udviklingen i elkapaciteten for PtX-anlæg frem mod 2040. Der forventes en gradvis udbygning med en kapacitet på ca. 1 GW i 2030 og ca. 3 GW i 2040.



Figur 1. Udvikling i elkapaciteten for PtX-anlæg (MW).

Udbygningen med PtX-anlæg er baseret på en antagelse om en gennemsnitlig drift på 5.000 fuldlasttimer per år. Det forventede elforbrug til PtX er således ca. 5 TWh i 2030 og 15 TWh i 2040.

<sup>1</sup> Det forventes, at den danske anvendelse af el på sigt vil blive dækket udelukkende af VE-baseret elproduktion i tråd med målsætningen både i Danmark og EU. Det antages, at der vil ske en yderligere i udbygning med VE baseret elproduktion i takt med at elforbruget stiger, hvorfor PtX-brændstofferne anses for at være CO<sub>2</sub>-neutrale.



Effekttrækket fra PtX vil først og fremmest være afhængigt af hvor meget PtX-produktion, der udbygges med i Danmark. Derudover vil selve elforbruget være afhængigt af, hvordan de enkelte anlæg drives, hvilket kan være vanskeligt at estimere, da der endnu ikke er erfaringer omkring dette.

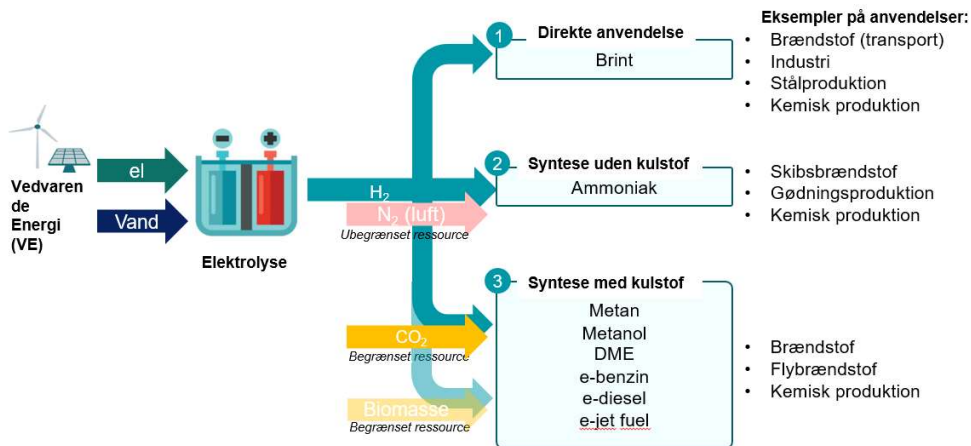
Det forventes, at især elektrolyseanlæggene, der er de væsentligste elforbrugende enheder i PtX-produktionen, vil drives med en høj grad af fleksibilitet i forhold til elnettet. Dels vil driften afhænge af elprissignaler og dels antages anlæggene at have vilkår som afbrydelige kunder. Som udgangspunkt kan udviklingen for PtX derfor ikke i sig selv antages at drive investeringer i hverken ny spidslast elproduktionskapacitet eller bagvedliggende netforstærkninger. Omvendt kan den mere fleksible drift af elektrolyseanlæg (set ift. andre, traditionelle elforbrugere) bidrage til indpasning af fluktuerende VE-elproduktion.

Det øgede elforbrug til produktion af PtX-brændstoffer antages at kunne dækkes af dansk VE-elproduktion. Der er derfor taget højde for dette elforbrug i forudsætningerne for udviklingen af særligt havvind, som forventes at være den væsentligste forøgelse af produktionskapaciteten. Dette er beskrevet i det særskilte baggrundsnotat herom.

## Metode og antagelser

### Afgrænsning i AF20

PtX er en betegnelse, der dækker over en række forskellige teknologier, der kan anvendes til produktion af CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer i gas- eller flydende form. 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.

PtX inkluderes i AF20 kun på et overordnet niveau med det formål at estimere et fremtidigt effekttræk og tilhørende elforbrug, da dette er den væsentligste faktor i forhold til Energinets planlægningsopgaver. Der udarbejdes i AF20 således ikke vurderinger af præcist hvilke typer af brændstoffer der produceres, i hvilke sektorer de anvendes eller hvilke teknologier, der tages i brug i forbindelse med slutanvendelsen. Der anvendes gennemsnitlige antagelser, der dækker bredt over de forskellige teknologier i produktionskæderne ud fra en forventning til et samlet forbrug af PtX-brændstoffer.

På langt sigt kan slutprodukterne (brint, metan) have en mere væsentlig indvirkning på gasnettet, men dette er dels usikkert, og forventes desuden ikke at ske på kortere sigt og er derfor ikke inkluderet i AF20.

## Generelle antagelser om betydning og udvikling af PtX i Danmark og globalt

Udviklingen i PtX afhænger af en lang række faktorer, der overordnet kan opdeles i forhold til hhv. den danske anvendelse og den danske produktion 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 2014<sup>2</sup>. Antagelser om ressourcebegrænsningerne har betydning for anvendelse af både 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.

<sup>2</sup> <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/scenarieanalysen>



Afhængigt af konkurrenceevnen for dansk producerede brændstoffer vil dette have betydning for omfanget af import/eksport af PtX-brændstoffer.

AF20 tager udgangspunkt i en langsigtet udvikling, hvor både den danske anvendelse og produktion af PtX-brændstoffer ligger i midten af et muligt udfaldsrum for de to overordnede parametre.

### Import/eksport af PtX-brændstoffer i AF20

En udbygning med kapacitet til produktion af PtX-brændstoffer, der specifikt er møntet på eksport eller andre formål end energi (forskellige typer af kemikalier og materialer), kan have betydning for den danske infrastruktur, men dette inkluderes ikke særskilt i AF20 i forhold til dansk PtX-produktion på langt sigt. Ligesom der kan opstå produktion af brændstoffer, der anvendes til nettoeksport, kan der også være import af brændstoffer. AF20 er baseret på, at produktion og forbrug af PtX-brændstoffer til at dække energibehov i Danmark balancerer på langt sigt. Dette er udgangspunktet, da AF20 tager afsæt i det danske system såvel som at dette vil være et midtpunkt i forhold til den væsentlige usikkerhed omkring Danmarks position i de internationale markeder for PtX-brændstoffer.

Som del af udviklingen i perioden 2020-2040, som AF20 dækker, kan der blive etableret PtX-anlæg med udgangspunkt i produktion af brændstoffer til eksport, evt. i tilknytning til eller på energigørerne. Det er samlet set endnu usikkert hvordan PtX-anlæggene bedst indgår i det danske elsystem, herunder mulighederne for tilkobling direkte ifm. energigør eller såkaldte indfødningszoner, så PtX-anlæggene bidrager til en samlet effektiv udvikling af elsystemet og tilslutningen af energigørerne. Dette beskrives derfor ikke i antagelserne i AF20, så netop de relevante spørgsmål og emner vedr. disse forhold kan analyseres nærmere pba. AF20.

Energinet skal naturligvis håndtere nye forbrugere som konkrete projekter efter sædvanlige processer i det omfang, de opstår, uanset formålet med det konkrete projekt.

### Dansk efterspørgsel efter PtX-brændstoffer i AF20

Den langsigtede målsætning om CO<sub>2</sub>-neutralitet i 2050 anvendes som pejlemærke for den forventede udvikling af PtX på lang sigt. Inden for en national ramme forventes det, at det samlede danske energiforbrug<sup>3</sup> dækkes af CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer, der produceres ud fra danske ressourcer. PtX-brændstoffer forventes primært at kunne anvendes inden for erhverv og transport.

PtX-teknologierne er generelt mere teknisk komplekse og økonomisk omkostningsfulde end opfyldelse af energibehov via direkte elektrificering, energieffektivisering, anvendelse af biometan (opgraderet biogas) og nogle typer

---

<sup>3</sup> Det samlede energiforbrug inkluderer i denne sammenhæng salget af brændstoffer i Danmark, dvs. energiforbrug til internationale transportaktiviteter som udenrigsluftfart og -skibsfart (bunkring).



biofuels. CO<sub>2</sub>-neutrale PtX-brændstoffer forventes derfor som udgangspunkt taget i brug efter disse alternativer er udtømte (som følge af enten tekniske eller ressourcemæssige begrænsninger).

Der er opstillet to forløb med forskellige grader af behov for PtX-brændstoffer ud fra, hvor stor en andel af det endelige energiforbrug, der kan dækkes af andre teknologier og brændstoffer. Udviklingen i AF20 baseres på et gennemsnit mellem de to udviklingsforløb. Dette skyldes, at der er stor usikkerhed omkring den fremtidige teknologiske udvikling og deraf mulighederne/begrænsningerne i at anvende andre teknologier end PtX.

I tabellen herunder fremgår antagelserne for andelen af behovet, der antages at skulle dækkes af PtX-brændstoffer på langt sigt (2050). I pejlemærket for den langsigtede efterspørgsel i 2050 inkluderes der ikke særskilt efterspørgsel fra andre lande eller til andre typer af produkter. Produktion til øvrige formål eller eksport kan i praksis være en del af den løbende udvikling på området frem mod 2050, men der tages ikke stilling til forholdet mellem import og eksport i perioden 2020-2040. Antagelserne om den langsigtede efterspørgsel tager udgangspunkt i en fortsat udviklingstakt som i 2040 og frem.

*Tabel 1. Antagelser om udfaldsrummet for efterspørgslen på VE-brændstoffer til at dække det danske energiforbrug i industri- og transportsektoren i 2050 og hvor stor en andel der er antaget dækket af PtX-baserede brændstoffer. Andelen af PtX-brændstoffer afhænger især af de økonomiske muligheder og ressourcemæssige begrænsninger for andre teknologier, der forventes at blive anvendt før PtX.*

Sektor	Anvendelse	Antaget langsigtet efterspørgsel (PJ)	Antaget andel der dækkes af PtX-brændstoffer*	
Industri*	Gasformigt brændstof	12	50%	0%
	Flydende brændstof	15	100%	50%
Transport	Varebiler	21	25%	0%
	Lastbiler	27	50%	0%
	Busser	4	50%	0%
	Luftfart, udenrigs	45	100%	0%
	Luftfart, indenrigs + forsvar	2	100%	0%
	Søfart	14	100%	50%
<b>I alt (PJ)</b>		<b>140</b>	<b>105</b>	<b>15</b>



\* Her inkluderes kun brændstofforbrug der ikke umiddelbart kan dækkes af direkte elektrificering og energieffektivisering. Brændstofforbruget er derfor primært til højtemperatur procesenergi og intern transport.

Der ses derfor et meget bredt spænd for den mulige efterspørgsel på lang sigt, hvor PtX-brændstoffer kan tænkes at dække mellem 15 og 105 PJ af den samlede efterspørgsel på brændstoffer i de angivne sektorer på 140 PJ. Middelværdien svarer til ca. 60 PJ eller 45% af efterspørgslen. Både det samlede forbrug og andelen, der dækkes af PtX, kan være væsentligt højere eller lavere for de enkelte sektorer, og AF20 er baseret på gennemsnittet på tværs.

### PtX-produktionsteknologier

De tekniske data for forskellige PtX-teknologier er i udgangspunktet baseret på Energistyrelsen og Energinets Teknologikatalog for fornybare brændstoffer<sup>4</sup>.

Der tages udgangspunkt i, at det fulde behov for brændstoffer opfyldes ved brændstoffer produceret på brint med efterfølgende syntese til et slutprodukt i form af kulstofholdigt brændstof. Virkningsgraden for brintproduktionen (elektrolyse) er ca. 66 %<sup>5</sup>, 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 Direct Air Capture (DAC). Dette er dog udelukkende beregningstekniske antagelser ift. virkningsgrader, og der er ikke i AF20 taget yderligere stilling til typen af eventuelle kulstofkilder.

Der er antaget en sandsynlig brændstofftype for de forskellige anvendelser, som ligger til grund for beregning af elforbruget og eleffekten. Dette er blot bagvedliggende antagelser, der således ikke kan anvendes til andre analyser af udviklingen i PtX end elforbruget i AF20.

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 Jet-fuel, 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.

---

<sup>4</sup> <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-fornybare>

<sup>5</sup> Forventet elvirkningsgrad for teknologien i 2030, jf. Teknologikataloget



## Udviklingsforløb frem mod 2040 og 2050

Ud fra de angivne antagelser, vil der være et behov for PtX-baserede brændstoffer på mellem 15-105 PJ i 2050, hvilket vil resultere i et sandsynligt elforbrug på mellem 10-60 TWh årligt i 2050.

Der forventes en længere indfasningsperiode for teknologierne, da der ikke findes kommercielle anlæg i større skala eller er besluttede investeringer om udbygninger til produktion af de CO<sub>2</sub>-neutrale og mere avancerede, kulstofholdige brændstoffer på nuværende tidspunkt. Forventninger til konkrete anlæg på kortere sigt er inkluderet i fremskrivningen, hvilket dækker to projekter, det har modtaget tilsagn om støtte<sup>6</sup> samt fremtidige anlæg som følge af klimaaftalen juni 2020<sup>7</sup> på i alt ca. 130 MW.

Udviklingstakten forventes derfor at være forholdsvis lav frem til 2030 for derefter at stige i perioden 2030-2040. Den største del af udviklingen mod det langsigtede mål forventes dog at ligge i peioden efter 2040. Dette er baseret på forventningerne om, at PtX-løsningerne vil være nogle af de sidste, der bliver taget i brug for at nå det langsigtede mål om klimaneutralitet, ligesom modenheden af teknologierne generelt er lavere end andre løsninger til CO<sub>2</sub>-reduktion. I figuren herunder angives en skitse for udviklingsforløbet med en gradvis stigende udbygning.

Slutpunktet i 2050 er som nævnt baseret på et forventet nationalt behov. For perioden 2020-2040 som AF20 dækker, er der ikke lavet en konkret vurdering af nationalt behov til opfyldelse af eksempelvis 70%-målet i 2030, da dette kan opfyldes med varierende grad af PtX. En del af produktionen kan derfor godt gå til eksport. Usikkerheden omkring den samlede produktion af PtX-brændstoffer i Danmark vurderes derfor umiddelbart særlig stor i opadgående retning fra det centrale forløb, da der også på kort sigt kan etableres anlæg med udgangspunkt i muligheder for eksport.

---

<sup>6</sup> GreenLab i Skive og HySynergy i Fredericia. Se bl.a.:

<https://presse.ens.dk/news/energistyrelsen-stoetter-power-to-x-projekter-med-128-mio-kr-390387>

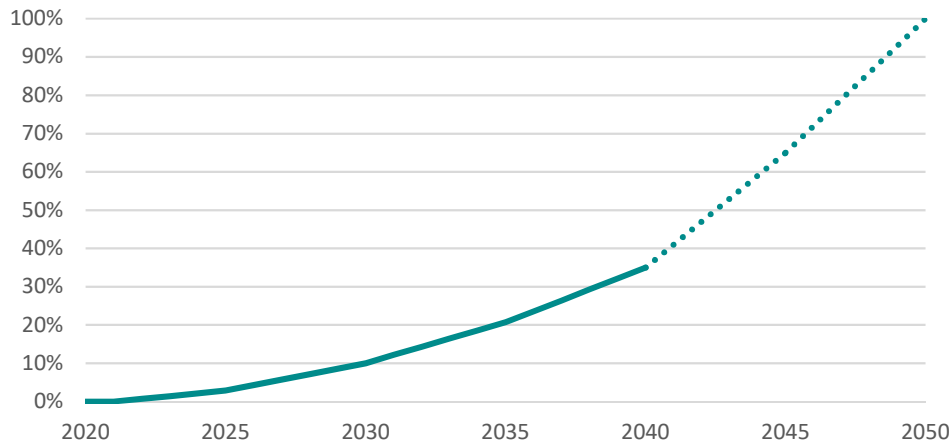
<sup>7</sup> Etablering af PtX-anlæg på forventet ca. 100 MW som følge af aftale mellem Danmark og Nederlandene om statistisk overførsel af VE inkl. i klimaafale. Se bl.a.:

<https://kefm.dk/aktuelt/nyheder/2020/jun/regeringen-sikrer-massiv-investering-i-power-to-x/>





Udvikling af dansk produktion af PtX-brændstoffer ift.  
2050-niveau



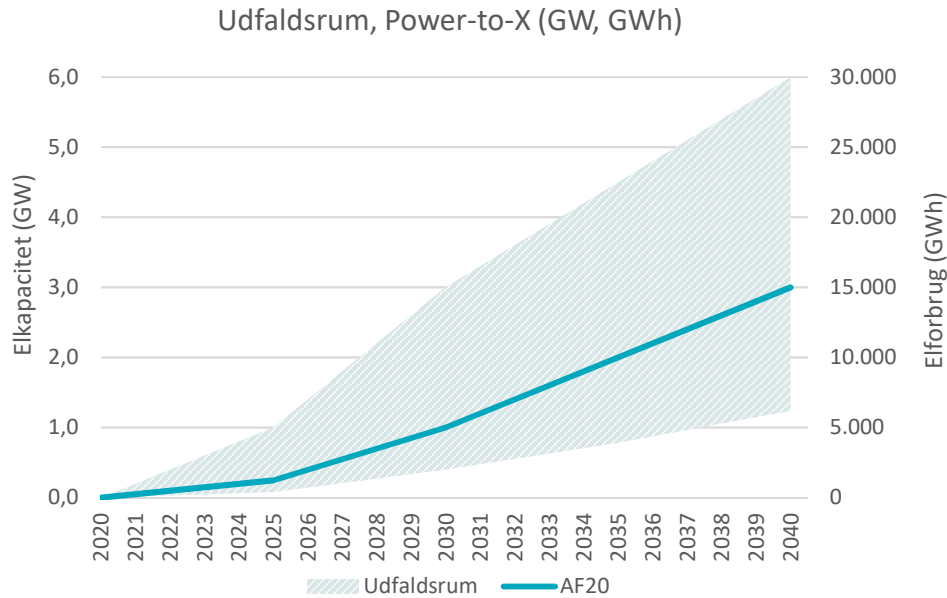
Figur 3. Skitse for det antaget udviklingsforløbet for produktion af PtX-brændstoffer ift. det skønnede niveau i 2050, der ligger til grund for AF20 fremskrivningen.

## Geografisk fordeling

Der er i AF20 lavet en overordnet vurdering af placeringen af PtX-anlæg i hhv. Vest- og Østdanmark. Det er antaget, at størstedelen af kapaciteten vil være placeret i Vestdanmark bl.a. fordi der vurderes at være flere relevante placeringer for større anlæg og der er en højere grad af elproduktion fra havvind i Nordøsen. Der forventes dog også at blive placeret anlæg i Østdanmark. Der er skønsmæssigt lavet en fordeling af kapaciteten på 60 % i Vestdanmark og 40% i Østdanmark frem til 2035. Efter 2035, hvor det umiddelbare potentiale for havvind i Østdanmark er udnyttet, udbygges ny kapacitet alene i Vestdanmark. I 2040 er ca. 80% af kapaciteten således placeret i Vestdanmark. Der er ikke lavet yderligere vurderinger af anlægs geografiske placering i AF20.

## Usikkerhed

Udviklingen PtX-anlæg er underlagt stor usikkerhed, og Energistyrelsen anbefaler derfor, at Energinet supplerer AF20 med følsomhedsanalyser på udviklingen og omfanget af PtX. Figuren herunder angiver det udfaldsrum, Energistyrelsen har udarbejdet ifm. AF20, som Energinet anbefales at tage udgangspunkt i. Ud over det absolutte niveau kan der også laves følsomhedsberegninger på udviklingens indvirkning på elinfrastrukturen, herunder muligheder og effekter ved etablering af PtX-anlæg som del af energigør direkte tilkoblet havvind eller som del af såkaldte indfødningszoner.



Figur 4. Udfaldsrum for udviklingen i elkapacitet for PtX-anlæg frem mod 2040, som det anbefales, Energinet anvender til følsomhedsberegninger. De illustrerede usikkerheder vedrører mængden af PtX der fremstilles til forbrug i Danmark, jf. den generelle metodeantagelse. Det angivne elforbrug er indikativ ud fra Energistyrelsens simuleringer.

## Efterspørgsel efter PtX-brændstoffer

Den primære usikkerhed er omfanget af efterspørgslen efter PtX-brændstoffer, som især er betinget af den generelle vækst i energiforbruget og mulighederne for at anvende andre teknologier til dækning af energiforbruget inden for transport og erhverv, herunder begrænsninger i adgangen til bæredygtige kulstofkilder. De tekniske muligheder og omkostninger for at lave direkte elektrificering og energieffektiviseringer er en vigtig parameter, ligesom de tilgængelige CO<sub>2</sub>-ressourcer fra biogas og biomasse kan være begrænsende og også få betydning for anvendelsen af PtX.

Produktionen af PtX-brændstoffer vil som nævnt også være påvirket 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. Usikkerhederne omkring import/eksport er ikke nærmere undersøgt i AF20.

## 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 indtænkes 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 PtX-anlæg og deres elforbrug**

Da der endnu ikke er etableret eller konkrete planer om kommercielle anlæg i større skala, er den konkrete placering af fremtidige anlæg usikker. 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.

### **Ændringer i forhold til AF19**

Introduktionen af PtX som særskilt type af elforbruger er en væsentlig ændring i forhold til AF19. Det øgede elforbrug for PtX er i sig selv en stigning af elforbruget på ca. 15 TWh, svarende til ca. 20% af det samlede elforbrug, i 2040.

Det øgede elforbrug til PtX vil resultere i et øget behov for VE-baseret elproduktionskapacitet. Hvis dette elforbrug skal dækkes af en dansk VE-elproduktion, vil det give anledning til en øget udbygning med havvind i en størrelsesordenen på ca. 1,1 GW i 2030 og 3,2 GW i 2040. Det øgede elforbrug til PtX er således en del af baggrunden for en forventning til større udbygning med havvind end i AF19.