

# Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark til den grønne omstilling

---

April 2021

The logo for Dansk Energi, featuring a stylized white 'DE' symbol to the left of the text 'DANSK ENERGI' in a bold, white, sans-serif font.

**DANSK  
ENERGI**

## Indhold

<i>Sammenfatning</i> .....	1
<i>Biogen CO<sub>2</sub> og dens værdi i den grønne omstilling</i> .....	2
<i>Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark</i> .....	3
<i>Omkostninger ved CO<sub>2</sub>-fangst</i> .....	4
<i>CCUS til opfyldelse af 70%-målet</i> .....	6
<i>Behovet for biogen CO<sub>2</sub> til grønne PtX-brændsler</i> .....	7
<i>Vurdering om CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale er tilstrækkelig</i> .....	10
<i>National strategi for CCUS og PtX</i> .....	12
<i>Bilag</i> .....	14

## Sammenfatning

**Fangst af biogen CO<sub>2</sub> får en afgørende rolle, hvis Danmark skal nå klimamålene i 2030 og 2050. Derfor skal en samlet national strategi sætte rammerne for, at biogen CO<sub>2</sub> anvendes dér, hvor den skaber størst værdi.**

Behovet for CO<sub>2</sub>-fangst kan blive stort de næste 20-30 år. Også langt større end Danmarks samlede fangstpotentiale. Allerede efter 2030 forventes behovet for CO<sub>2</sub>-fangst at overstige det samlede fangstpotentiale. Uden CO<sub>2</sub>-fangst som middel til at 70%-målet i 2030, lægges der pres på andre sektorer og klimatiltag til at levere de nødvendige CO<sub>2</sub>-reduktioner, hvilket kan gøre rejsen mod Danmarks klimamål dyrere.

Særligt fangst af den biogene CO<sub>2</sub> kan blive et vigtigt redskab i den grønne omstilling og vejen mod et klimaneutralt samfund i 2050. Det skyldes, at den biogene CO<sub>2</sub> har flere anvendelser. Den kan lagres i undergrunden, og dermed fungere som negative udledninger (BECCS<sup>1</sup>). Køb af sådanne negative udledninger kan være interessante for sektorer, hvor omkostningerne ved at komme af egne udledninger er meget høje., fx i dele af industrien og landbruget. Alternativt kan den biogene CO<sub>2</sub> bruges i produktionen af grønne PtX-brændsler, som kan erstatte fossile brændsler (CCU/PtX). Særligt i den tunge del af transportsektoren, såsom luftfart og skibsfart, forventes PtX-brændsler med grøn CO<sub>2</sub> at kunne spille en afgørende rolle.

Biogen CO<sub>2</sub> kan opsamles ved at installere fangstanlæg på energianlæg. I 2030 vil størstedelen af den biogene CO<sub>2</sub> i Danmark komme fra biomassekraftværker. Her vil biomasseværkerne kunne levere omkring 2 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> til en maksimal fangstomkostning på 1.000 kr. pr tons. Tilsvarende vil affaldsværker og biogasopgraderingsanlæg til sammen kunne levere ca. 3 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> om året. Frem mod 2050 vil det samlede biogene potentiale falde til omkring 3,5 mio. tons. Den generelle usikkerhed til fremtiden, kombineret med at kraftværker kigger ind i lavere årlig driftstid, at der også kan stilles spørgsmålstegn ved, om det overhovedet er realistisk at etablere CO<sub>2</sub>-fangst på det fulde økonomiske potentiale, som analysen identificerer i 2030.

En samlet national strategi for CCUS<sup>2</sup> og PtX bør derfor tage stilling til, om fangst af biogent CO<sub>2</sub> skal spille en rolle i at nå danske klimamål, herunder angive en retning for, hvor meget CCS og PtX forventes at skulle levere.

Da biogen CO<sub>2</sub> forventes at blive en begrænset ressource og kun kan anvendes ét sted, skal CCUS-strategien tage stilling til hvilke rammer, som sikrer en effektiv allokering, så den biogene CO<sub>2</sub> anvendes der, hvor den skaber mest værdi. Dette vil højst sandsynligt være i sektorer, som luft- og skibstransport eller dele af landbruget, hvor der er få grønne alternativer, og hvor forbrugerne fortsat vil efterspørge deres ydelser. Det kræver samtidigt at der skabes de rette økonomiske rammer for CO<sub>2</sub>-fangst. Dette kan fx ske gennem støtteordninger og CO<sub>2</sub>-afgifter. På samme tid skal den grønne værdi af det biogene CO<sub>2</sub> slås fast ved brug af en ensartet definition og certificering på EU-niveau. Desuden skal barrierer i ETS-systemet fjernes. Samlet set er det afgørende, at der skabes de rette økonomiske incitamenter for anvendelse af biogen CO<sub>2</sub> til enten negative emissioner eller grønne PtX-brændsler.

---

<sup>1</sup> BECCS: Bio energy carbon capture and storage

<sup>2</sup> I klimaaf tale for energi og industri mv. fra 2020 blev det besluttet, at der skal udarbejdes en samlet strategi for CO<sub>2</sub>-fangst, lagring og anvendelse (CCUS) og PtX i Danmark. Strategien skal understøtte udbredelsen af fremtidens grønne løsninger.

Den nationale strategi bør også forholde sig til, hvordan man i forbindelse med evt. etablering af dansk CO<sub>2</sub>-lagringskapacitet og tilhørende infrastruktur undgår et teknologisk lock-in af den biogene CO<sub>2</sub>, som begrænser danske muligheder for at udvikle og anvende PtX-brændsler.

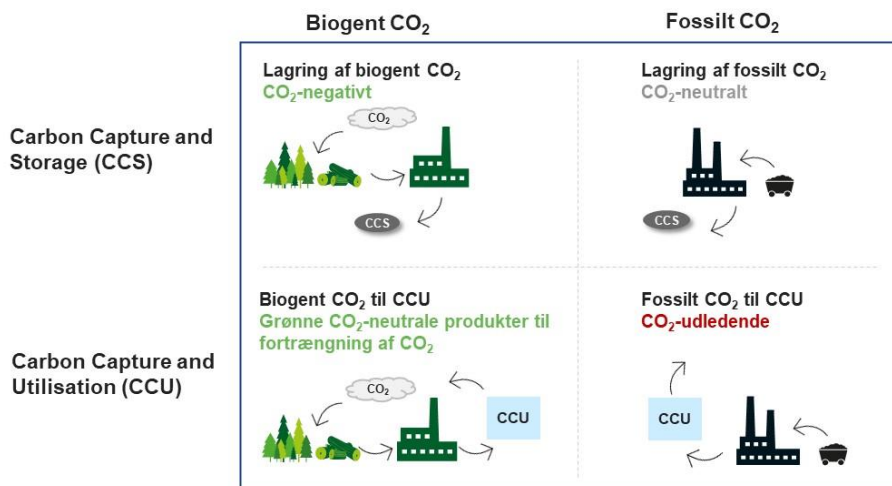
### *Biogen CO<sub>2</sub> og dens værdi i den grønne omstilling*

#### **Biogen CO<sub>2</sub> har stor værdi for den grønne omstilling, da det både kan anvendes i produktionen af grønne PtX-brændsler og til negative emissioner ved CCS.**

Der findes aktuelt ingen definition af, hvad grønt CO<sub>2</sub> er. Hverken i dansk eller europæiske lovgivning. Der er dog bred international anerkendelse af, at bæredygtige biogene kilder trækker CO<sub>2</sub> ud af atmosfæren, hvilket giver negative emissioner, hvis den lagres i undergrunden. Dette fremgår bl.a. af rapporter fra FN's IPCC<sup>3</sup> og metoden for opgørelse af nationale CO<sub>2</sub>-udledninger. Derfor er det også uklart, om grønt CO<sub>2</sub> omfatter flere typer CO<sub>2</sub>, end blot den biogene. Kilder til biogen CO<sub>2</sub> omfatter biomasseværker, biogasopgradering, biogent affald samt direct-air-capture.

Biomasse optager løbende CO<sub>2</sub> fra atmosfæren inden den høstes. Når den høstede biomasse eller biogent affald efterfølgende anvendes i et energianlæg, frigives CO<sub>2</sub>'en igen. Hvis CO<sub>2</sub>'en fra den bæredygtige biomasse, biogent affald eller opgraderet fanges og lagres (CCS), fjernes CO<sub>2</sub> fra kredsløbet, hvilket fører til negative CO<sub>2</sub>-emissioner. Negative emissioner kan anvendes af sektorer til at kompensere for egne CO<sub>2</sub>-udledninger, som er svære at undgå eller meget dyre at reducere. Dette kan fx ske ved, at "CO<sub>2</sub>-fangeren" sælger certifikater for de negative emissioner til en "CO<sub>2</sub>-udleder". Til sammenligning fører fangst og lagring af fossilt CO<sub>2</sub> til CO<sub>2</sub>-neutralitet<sup>4</sup> for det pågældende anlæg, hvor CO<sub>2</sub>'en fanges. Lagring af fossilt CO<sub>2</sub> kan dermed ikke bruges til at kompensere for andres CO<sub>2</sub>-udledning. Figuren nedenfor giver et overblik over kredsløbet.

**Figur 1 | Illustration af forskellen på biogen og fossilt CO<sub>2</sub>**



Kilde: Dansk Energi baseret på FN's metoder til opgørelse af CO<sub>2</sub>-udledning

Den grønne omstilling bør ske så omkostningseffektivt som muligt. Det vil derfor ikke være samfundsmæssigt hensigtsmæssigt, hvis alle sektorer skal nå klimamålene hver for sig. Nogle sektorer vil have vanskeligere end andre ved at reducere sine CO<sub>2</sub>-udledninger uden at omkostningerne bliver

<sup>3</sup> FN's Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report: Global Warming of 1.5°C: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

<sup>4</sup> Da det kun er teknisk muligt at fange ca. 85-95% af den udledte CO<sub>2</sub>, som energi- eller industrianlæg udleder, vil der ikke være tale om fuldstændig CO<sub>2</sub>-neutralitet for det pågældende anlæg.


uhensigtsmæssigt høje. Dette kan fx gælde i dele af landbruget, samt dele af transport og industri. De sektorer, som ikke kan reducere deres CO<sub>2</sub>-udledningerne ved fx at elektrificere, effektivisere eller skifte til grønne brændsler såsom PtX-produkter, har brug for at CO<sub>2</sub>-kompensere på en anden måde. Fx ved brug af negative emissioner via CCS. Det er dog vigtigt, at der omstilles til vedvarende energi hvor det er muligt, og at negative emissioner fra CCS ikke bliver en undskyldning for at fortsætte anvendelse af fossile brændsler. Der er dog bred enighed hos både regeringen og i erhvervslivet om, at der er brug for CCS, CCU og PtX for at nå 2030-målet.

Hvis CO<sub>2</sub> fanges og anvendes (CCU), fx til produktion af PtX-brændsler, resulterer den biogene CO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>-neutrale produkter, som kan anvendes i stedet for produkter med fossilt CO<sub>2</sub> og dermed fortrænge forbrugerens CO<sub>2</sub>-udledning. Hvis der i stedet anvendes fossilt CO<sub>2</sub> til PtX-brændsler, vil det blot føre til en udskydelse udledningen af CO<sub>2</sub>, hvor forbrugeren ender med at udlede CO<sub>2</sub>, i stedet for anlægget med CO<sub>2</sub>-fangst.

### PtX-brændsler til grøn omstilling af transportsektoren

PtX-brændsler, herunder brændsler som kræver biogen CO<sub>2</sub>, er særligt relevant til omstillingen af den tunge transportsektor, hvor elektrificering ikke vurderes mulig.

Figur 2 | Illustration af PtX-brændsler til transportsektoren



Elektrificering	Meget korte ruter	Meget korte ruter	Let og mellemtung vejtransport
Grøn brint	Mellemlange ruter	Færger o.l.	Lastbiler
PtX-fuels med CO <sub>2</sub>	E-kerosen	E-metanol	E-diesel/e-DME
Andre PtX-fuels	Grøn ammoniak		
Øvrige grønne brændsler	Bio-fuels	Bio-LNG	Bio-fuels/biogas

Kilde: Dansk Energi baseret på PtX-partnerskabet

Grundstenen i PtX er grøn brint produceret ved spaltning af vand i elektrolyseanlæg, som anvender grøn elektricitet. Den grønne brint kan anvendes direkte eller kan viderebearbejdes med synteseanlæg og blive til forskellige typer af PtX-brændsler. En række PtX-brændsler, som skal anvendes til omstilling af transportsektoren, skal bruge kulstof fra CO<sub>2</sub> for at opnå den nødvendige energitæthed. Dette gælder fx e-kerosen til anvendelse i luftfarten, e-metanol, som er et af de brændstoffer som skibsfarten satser på, og e-diesel/e-dimetylæter (e-DME) til anvendelse i vejtransport.

### CO<sub>2</sub>-anvendelse til øvrige sektorer

Biogen CO<sub>2</sub> kan desuden anvendes i andre sektorer, som har brug for grøn kuldioxid eller grønt kulstof. Dette kan være relevant for at komme helt i mål med den grønne omstilling af plastindustrien eller andre sektorer.

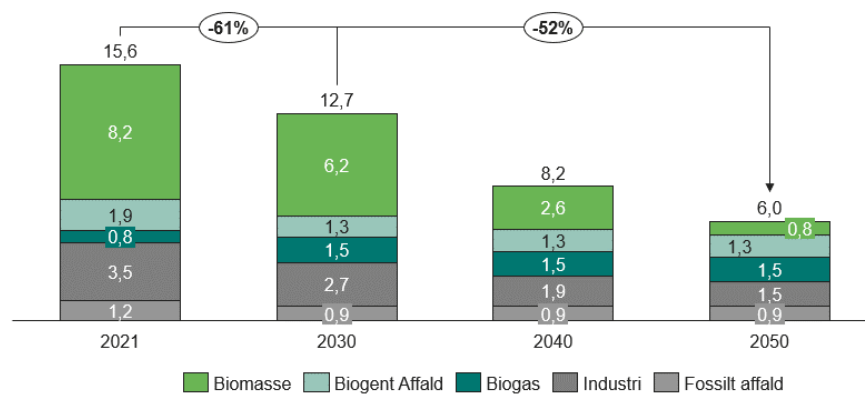
### Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark

**Størstedelen af det biogene CO<sub>2</sub> kommer fra biomassekraftværker, men potentialet reduceres kraftigt frem mod 2050 pga. udfasning af eksisterende biomasseanlæg.**

En screening af potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark viser et teknisk fangstpotentiale på 12-13 mio. ton CO<sub>2</sub> årligt i 2030, hvoraf størstedelen kommer fra biomasseværkerne, som det fremgår af figur 3. Potentialet falder til 6 mio. ton CO<sub>2</sub> årligt i 2050. Til sammenligning er det samlede potentiale i 2021 opgjort til 15,6 mio. ton. Over 80% af faldet fra 2030 til 2050 kommer fra reduktionen i antallet af biomasseværker. Det skyldes, at når eksisterende biomasseværker har behov for gennemgribende renowering eller levetidsforlængelse forventes store varmepumper at være konkurrencedygtige og vil derfor erstatte eksisterende værker<sup>5</sup>.

Potentialet fra industri forventes at falde pga. effektiviseringer og skift til mindre CO<sub>2</sub>-udledende brændsler<sup>6</sup>. Potentialet fra biogas forventes at stige frem til 2030 og er herefter konstant til 2050. Af-fald<sup>7</sup> forventes derimod at falde frem til 2030, hvorefter det er konstant over perioden 2030-2050.

**Figur 3 | Samlet teknisk potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst fra 2021 til 2050 (mio. tons CO<sub>2</sub>/år)**



Kilde: EA Energianalyse

Screeningen omfatter alle væsentlige CO<sub>2</sub>-punktkilder i Danmark, herunder energianlæg<sup>8</sup> som anvender biomasse, affald og biogasopgradering. Naturgasfyrede energianlæg er udeladt ved en grundantagelse om, at der ikke er økonomi i CCUS på grund af for lav koncentration af CO<sub>2</sub> i røggassen samt lave driftstimer. Det tekniske potentiale er her forstået ved alle tænkelige CO<sub>2</sub>-punktkilder i Danmark, hvor der er et formodet potentiale for at etablere CO<sub>2</sub>-fangst. Der er i den forbindelse ikke antaget nogen nedre grænse for anlægsstørrelse, mens det er antaget at praktiske forhold som areal og energikilde til fangstanlæg er til stede ved alle punktkilder. Dermed er der tale om et teoretisk potentiale med stor risiko for overvurdering. I næste afsnit behandles forskellige økonomiske fangstpotentiale.

## Omkostninger ved CO<sub>2</sub>-fangst

**Der kan fanges 3-5 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> om året fra 2030 til en fangstpris på under 1.000 kr. pr tons.**

<sup>5</sup> EA Energianalyse: *Potentialet for nye teknologier i el- og fjernvarmesektoren* <https://www.danskeenergi.dk/sites/danskeenergi.dk/files/media/dokumenter/2021-02/Potentialet-for-nye-teknologier-i-el-og-fjernvarme-eaea.pdf>. Der forudsættes, at der kan etableres tilstrækkelig varmekapacitet med varmepumper (overskudsvarme eller lign) til at erstatte varmeproduktionen fra biomasseanlæg.

<sup>6</sup> Det forudsættes at industrien bredt set kan opnå 30% CO<sub>2</sub>-reduktioner i perioden 2021-2030 gennem effektivisering og skift af produkt. Jævnfør Klimapartnerskabets rapport for energiintensive virksomheder.

<sup>7</sup> Det forudsættes at kapaciteten på affaldsforbrændingsanlæg reduceres med 30% mod 2030 jævnfør " Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi"

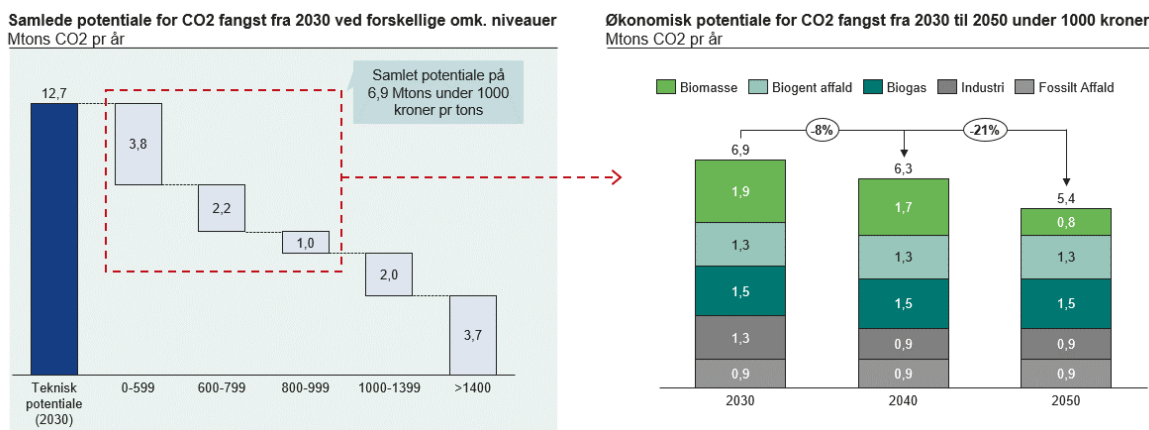
<sup>8</sup> Alle eksisterende anlæg eller anlæg hvor der er taget investeringsbeslutning indgår i screeningen. Anlæg over 20 MW indgår direkte. Mindre anlæg indgår aggregeret. I opgørelse af de tekniske potentialer, tages der ikke hensyn til resterende levetid i anlægget.

Det samlede tekniske potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst kan inddeles i omkostningsintervaller<sup>9</sup>. Størstedelen af potentialet ligger i den billigste kategori (0-599 kr./pr tons CO<sub>2</sub>) med et potentiale på 3,8-3,6 mio. tons årligt i perioden frem mod 2050. Fællesnævneren for punktkilderne som vurderes billigst er, at de alle er relativt store punktkilder med relativt mange årlige drifttimer og som forventes at være i drift frem til 2050. Derudover er alle punktkilder koblet til store fjernvarmenet<sup>10</sup>, hvorved overskudsvarmen fra CO<sub>2</sub>-fangstprocessen kan udnyttes og dermed reducere omkostningerne.

De mellemdyrene fangstpotentiale (600-799 og 800-999 kr. pr. tons CO<sub>2</sub>) er mellemstore anlæg, hvoraf nogle af dem har kortere levetider. Samtidigt ligger nogle af dem også i mellemstore fjernvarmenet, hvor det vurderes, at en mindre del af overskudsvarmen kan afsættes.

De dyreste potentiale (1.000-1.399 og >1.400 kr. pr. tons CO<sub>2</sub>) omfatter små anlæg med kortere levetider, enkelte store anlæg med meget korte levetider og industrianlæg, hvor der forventes brændselskift til naturgas. Potentialet i disse kategorier er relativt stort i 2030 og næsten ikkeeksisterende i 2050, hvilket understreger, hvorfor disse anlæg har høje fangstomkostninger.

**Figur 4 | Potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst ved forskellige omkostningsintervaller**



Kilde: Ea Energianalyse

I den offentlige debat fremhæves ofte 1.500 kr. pr. tons CO<sub>2</sub>, som en skæringsgrænse til at nå 70%-målet. Grænsen repræsenterer den forventede marginalomkostning ved de dyreste CO<sub>2</sub>-reduktions tiltag, som er nødvendige for at nå klimamålet i 2030. Transport og lagring af indfanget CO<sub>2</sub> vurderes at koste omkring 500 kr. pr. tons i 2030<sup>11</sup>.

Ud fra det perspektiv vil det altså, alt andet lige, være attraktivt at realisere CO<sub>2</sub>-fangstpotentialet under 1.000 kr. til at levere reduktioner til 70%-målet. Her tages ikke højde for, at der kan komme en yderligere efterspørgsel efter indfanget CO<sub>2</sub> fra sektorer, hvis CO<sub>2</sub>-udledninger ikke tæller med i den nationale opgørelse, såsom international flyvning. Dette kan presse prisen på indfanget CO<sub>2</sub> op, og gøre det attraktivt at fange CO<sub>2</sub> ved anlæg med fangstomkostninger over 1.000 kr. pr. tons.

I 2030 vil der være et samlet potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst på 6,9 mio. tons årlig under 1.000 kr. Dette potentiale forventes at falde til 5,4 mio. tons i 2050. I 2030 vil størstedelen af dette potentiale komme fra biomasseværkerne svarende til 1,9 mio. tons om året. I 2050 vil dette potentiale dog falde til 0,8 mio. tons. Faldet skyldes de forventede lukninger af biomasseværker. Kun enkelte værker forventes at være i drift efter 2050. En mindre del af faldet kan også tilskrives færre forventede drifttimer i 2050.

<sup>9</sup> Den fem omkostningsintervaller: 0-599 kr./ton CO<sub>2</sub>; 600-799 kr.; 800-999 kr.; 1.000-1.399 kr.; over 1.400 kr.

<sup>10</sup> Med undtagelse for biogasopgraderingsanlæg.

<sup>11</sup> Rambøll: CO<sub>2</sub> FANGST PÅ DANSKE AFFALDSENERGIANLÆG. Et omkostningsniveau på ca. 500 kr. pr tons., afhænger dog af transport- og lagringsteknologi. I eksemplet tages der udgangspunkt i transport med lastbil og lagring til havs.



Potentialet fra affald og biogas under 1.000 kr. forventes at være uændret over perioden 2030-2050. Industri falder efter 2030 pga. forventninger om løbende effektiviseringer i energiforbruget og skift af brændsel.

Ved etablering af CO<sub>2</sub>-fangst på anlæg med relativ kort levetid, vil der potentielt være mulighed for, at energianlægget kan levetidsforlænges på samme tid. Hvis dette er tilfældet, vil afskrivningsperioden på fangstanlægget blive længere, hvilket isoleret set vil resultere i lavere fangstomkostninger pr. tons CO<sub>2</sub>. Men som nævnt tidligere er det forventningen, at store varmepumper kan være et billigere alternativ end biomassefyrede anlæg. Afhængigt af den fremtidige betallingsvillighed for biogen CO<sub>2</sub>, kan det ikke udelukkes, at businesscasen for levetidsforlængelser kan blive tilstrækkeligt forbedret pga. indtjeningsmulighederne fra salg af biogen CO<sub>2</sub> til at levetidsforlængelser vil være at foretrække. Potentielle levetidsforlængelser er ikke indregnet i de ovenstående potentialer.

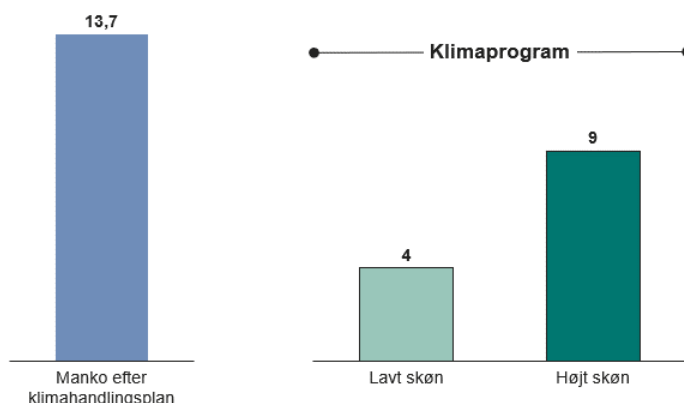
### CCUS til opfyldelse af 70%-målet

**Klimaprogrammet peger på et årligt CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale på 4-9 mio. tons til at anskueliggøre at 70%-målet skal nås.**

Som en del af klimaloven skal Klima-, energi og forsyningsministeren hvert år lave et klimaprogram. Programmet har til formål at anskueliggøre, hvordan klimalovens 70%-mål kan nås. I programmet fra 2020 indgår CCUS som et af flere tiltag i et såkaldt udviklingsspor. Foruden allerede kendte virkemidler skal udviklingsporet levere tilstrækkelige CO<sub>2</sub>-reduktioner til at 70%-målet kan nås. Klimaprogrammet konkluderer, at det ikke muligt at nå alle reduktioner ved hjælp af kendte virkemidler. Derfor er det afgørende at udviklingstiltagene modnes, så potentialer herfra kan indfries inden 2030.

Overordnet angiver klimaprogrammet, at CCUS potentielt kan levere reduktioner mellem 4 og 9 mio. tons CO<sub>2</sub> årligt i 2030. I klimaprogrammet antages det endvidere, at potentialet anvendes til CCS, og dermed ikke PtX. Til sammenligning er reduktionsmankoen i december 2020 opgjort til 13,7 mio. tons CO<sub>2</sub><sup>12</sup>.

**Figur 5 | Teknisk potentiale for CCS frem mod 2030 ifølge regeringens klimaprogram (mio. tons CO<sub>2</sub>/år)**



Kilde: Regeringens Klimaprogram og Klimahandlingsplan.

<sup>12</sup> I Klimahandlingsplanen er mankoen i december 2020 opgjort til 13,7 mio. tons CO<sub>2</sub>. Mankoen er den mængde CO<sub>2</sub> som skal reduceres (udover allerede besluttede virkemidler) i 2030 for at nå 70%-målet. Klimahandlingsplanen består af de sektorstrategier og aftaler, der er aftalt med Folketinget, igangsatte initiativer til inddragelse af erhvervsliv og civilsamfund samt indikatorer for de forskellige sektorer.



Potentialerne i klimaprogrammet er behæftet med usikkerhed. Derfor kan det endelige behov for CCUS ende med at blive lavere. Fx hvis teknologi og innovation i andre sektorer muliggør store potentialer fra andre tiltag. Eller hvis yderligere reduktioner kan findes med kendte virkemidler. Omvendt kan behovet også vise sig at blive større, hvis det ikke lykkes at modne nogle af de andre udviklingstiltag eller hvis de ikke viser sig at være omkostningseffektive.

Klimahandlingsplanen indeholder allerede CO<sub>2</sub>-reduktioner fra CCS. Nærmere bestemt 0,9 mio. tons i 2030. Dette er en del af klimaaftalen for energi og industri, hvor der blev afsat støtte midler til CCS. Det betyder, at det samlede behov for CCUS kan blive mellem 4,9-9,9 mio. tons i 2030 for at nå 70%- målsætningen<sup>13</sup>. Til sammenligning har Klimarådet anbefalet en vej til at nå 70%-målet, hvor CO<sub>2</sub>-fangst til CCUS bidrager med 4,5 mio. tons årligt i 2030<sup>14</sup>. Og i det Miljøøkonomiske Råds seneste vismandsrapport peger de på, at negative emissioner fra fangst af biogent CO<sub>2</sub> til CCS skal levere 5 mio. tons i 2030, hvis 70%-målet skal nås omkostningseffektivt<sup>15</sup>.

Som tidligere nævnt, fremhæves 1.500 kr. pr tons CO<sub>2</sub>, ofte som den skæringsgrænse en generel CO<sub>2</sub>-afgift burde ligge på, hvis 70%-målet skal nås omkostningseffektivt. Som vist tidligere svarer det potentielt til, at CO<sub>2</sub>-fangst kan levere 6,9 mio. tons CO<sub>2</sub>-reduktioner i 2030. Hvis ikke CCUS kan levere dette potentiale, vil det kræve at en generel CO<sub>2</sub>-afgift skal sættes betragteligt op for at realisere dyrere reduktionsteknologier. Det Miljøøkonomiske Råd har tidligere vurderet at afgiften skal op over 2000 kr. pr tons. for at opnå 70 pct.-målsætningen<sup>15</sup>, hvis man ikke medtager reduktioner fra CCS. Dermed stiger de samfundsøkonomiske omkostninger og den samlede regning for den grønne omstilling stiger.

## *Behovet for biogen CO<sub>2</sub> til grønne PtX-brændsler*

### **Hvis transportsektoren skal være CO<sub>2</sub>-neutral i 2050, kræver det 7 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> om året til produktion af grønne PtX-brændsler.**

I modsætningen til de fleste danske sektorer, sker en størstedelen af transportsektorens samlede CO<sub>2</sub>-udledninger uden for landets grænser. Eksempelvis kommer kun 2-3% af dansk luftfarts udledninger fra indenrigsflyvninger. De danske transportsektorer såsom luftfart og skibsfart har sat målsætninger om at være helt CO<sub>2</sub>-neutrale i 2050. Det gælder både deres udledninger som tæller med i den nationale opgørelse, og udledninger uden for landets grænser. For at nå dette målet har dansk luftfart brug for at tanke grønne brændstoffer, såsom PtX-jetfuel, i Danmark uanset om brændstoffet anvendes til indenrigs- eller udenrigsflyvninger. Det samme gælder skibsfarten, selvom dansk skibsfart i større omfang tanker brændstof udenfor Danmark.

I dette notat tager vi derfor udgangspunkt i transportsektorens behov for grønt brændstof i Danmark, som både fører nationale og internationale CO<sub>2</sub>-reduktioner. Behovet for CO<sub>2</sub>-fangst til produktion af PtX-brændsler<sup>16</sup> er dermed baseret på de mængder flybrændstof, som tankes i danske lufthavne, og de mængder skibsbrændstof, som bunkeres i Danmark. Vejtransporten har ikke i samme omfang udenrigsudledninger baseret på brændstof tanket i Danmark.

<sup>13</sup> Da 70%-målet i 2030 blot er et delmål mod et helt klimaneutralt samfund i 2050, forudsættes det her, at behovet for CCUS også vil være til stede frem mod 2050. Behovet kan potentielt stige efter 2030 i takt med at CO<sub>2</sub>-fortrængninger bliver sværere og dyrere at realisere. Omvendt behovet kan også falde som følge af teknologispring.

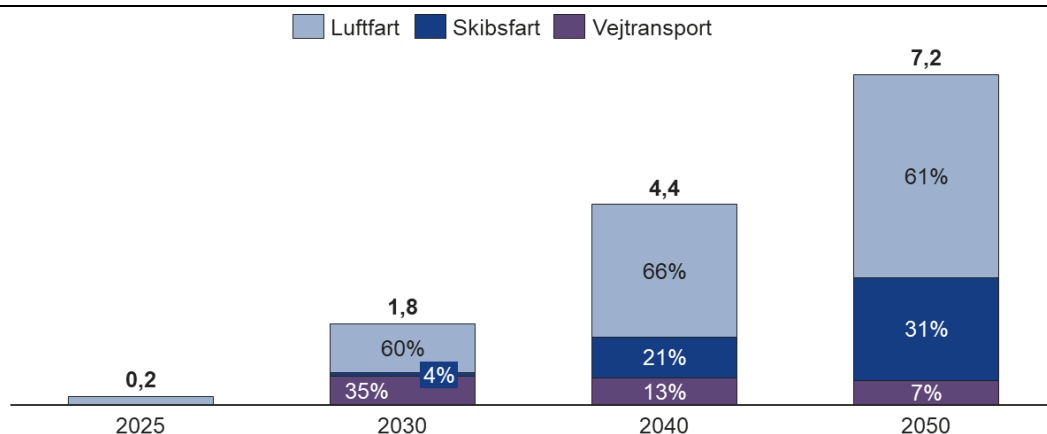
<sup>14</sup> Klimarådet: [https://klimaraadet.dk/sites/default/files/downloads/70\\_pct\\_analyse.pdf](https://klimaraadet.dk/sites/default/files/downloads/70_pct_analyse.pdf)

<sup>15</sup> Det Miljøøkonomiske Råd: [https://dors.dk/files/media/rapporter/2020/m20/diskussionoplaeg/diskussionsoplaeg\\_oeonomi\\_og\\_miljoe\\_2020\\_web.pdf](https://dors.dk/files/media/rapporter/2020/m20/diskussionoplaeg/diskussionsoplaeg_oeonomi_og_miljoe_2020_web.pdf)

<sup>16</sup> Klimaprogrammet og klimahandlingsplanen angiver et teknisk potentiale for danske CO<sub>2</sub>-reduktioner fra PtX på 0,5-3,5 mio. tons CO<sub>2</sub> i 2030. Dette omfatter alle PtX-brændsler, hvoraf kun en del indeholder kulstof fra CO<sub>2</sub>. Baseret på klimaprogrammets angivelse af hvilke sektorer, som PtX kan reducere udledninger i, har vi estimeret CO<sub>2</sub>-behovet til PtX, som tæller med i de danske klimamål. Dette har vi sammenholdt med beregninger fra PtX-rapporten for PtX med kulstof fra CO<sub>2</sub>, som tæller med i de danske klimamål. Både klimaprogrammet og PtX-rapporten indikerer behov på 0,5-0,6 mio. tons CO<sub>2</sub> til danske CO<sub>2</sub>-reduktioner ved anvendelse af PtX-brændsler.

Det samlede behov for biogen CO<sub>2</sub> til PtX-brændsler forventes at være ca. 1,8 mio. tons i 2030 i et scenarium, hvor CO<sub>2</sub>-holdige PtX-brændsler bliver drivende for den grønne omstilling af transportsektoren. Det ventes at stige til ca. 4,4 mio. tons i 2040 og ca. 7,2 mio. tons i 2050. Uden adgang til PtX-brændsler med biogen CO<sub>2</sub>, vurderes det vanskeligt for transportsektorerne og Danmark at nå klimamålene. Det fremgår desuden af klimaloven, at Danmark skal være et grønt foregangsland og aktivt bidrage til at mindske globale udledninger.

**Figur 6 | Behov for CO<sub>2</sub> til produktion af PtX-brændsler frem mod 2050 (mio. tons CO<sub>2</sub>/år)**



Kilde: Dansk Energi på baggrund af rapporten "Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X", Klimapartnerskabet for luftfart, Klimapartnerskabet for skibsfart, Danmarks Statistik, Statista, Miljøstyrelsen.

De danske transportsektorer tanker betydelige mængder brændstof i Danmark, både til transport ud og ind af landet. Udledninger uden for landets grænser tæller ikke med i det danske CO<sub>2</sub>-regnskab. Alene luftfarten forventes at skulle bruge ca. 3 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> til e-kerosen i 2040 og ca. 4,5 mio. tons i 2050, hvis Danmarks og luftfartens klimaambitioner skal indfries<sup>17</sup>. Derudover forventes skibsfarten at skulle bruge ca. 1 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> til PtX-brændstoffet e-metanol i 2040 og knap 2,5 mio. tons i 2050<sup>18</sup>. Endeligt forventes vejtransporten at skulle bruge ca. 0,5 mio. tons biogen CO<sub>2</sub> i 2040 og 2050 til PtX-brændstofferne e-diesel og/eller e-dimetylæter (e-DME)<sup>19</sup>. Nærmere beskrivelser af de tre transportsektorer fremgår nedenfor.

<sup>17</sup> Luftfartens brændselsbehov er fremskrevet på baggrund af forventninger til passagerer og effektivisering, og det er antaget, at e-kerosen udgør 30% af luftfartens brændstof i 2030, knap 55% i 2040 og 90% i 2050. CO<sub>2</sub>-udledningen fra indenrigsluftfart udgør ca. 3% af dansk luftfarts udledning, mens de resterende 97% sker udenrigs og dermed ikke tæller med i opgørelsen af Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning.

<sup>18</sup> Det er antaget, at 40% af det skibsbrændstof, som bunkeres i Danmark, vil være grønt i 2040 og 100% af brændstoffet at være grønt i 2050. Halvdelen af dette antages at udgøres af grøn metanol. Under 3% af Det Blå Danmarks CO<sub>2</sub>-udledninger sker i dansk farvand, mens de resterende 97% sker i internationalt farvand og dermed ikke tæller med i opgørelsen af Danmarks CO<sub>2</sub>-udledning.

<sup>19</sup> I PtX-rapport blev det vurderet, at en mindre del af vejtransport vil anvende PtX-brændslerne e-diesel eller e-DME (ca. 7 PJ), som kræver CO<sub>2</sub>-input. Dette svarer til et CO<sub>2</sub>-behov på ca. 0,5 mio. tons CO<sub>2</sub>, hvilket er anvendt i hele perioden i denne analyse.

## Luftfart<sup>20, 21</sup>

### Klimamål og tiltag

Dansk luftfart satte i sektorens klimapartnerskab et mål om, at 30% af flybrændstoffet skal være såkaldt "sustainable aviation fuel" i 2030 samt at sektoren skal være klimaneutral i 2050.

Fem store europæiske luftfartsorganisationer har i et klimainitiativ kaldet Destination 2050 sat et mål om, at luftfarten i Europa inden 2050 skal udlede netto-nul CO<sub>2</sub>. Dette skal nås gennem fire overordnede tiltag, herunder bæredygtige brændstoffer.

Sustainable aviation fuel omfatter både grøn brint (PtX), e-kerosen (PtX med biogen CO<sub>2</sub>) og bio-fuels. Bio-fuels er produceret med biomasse såsom fedt- eller sukkerholdige energiafgrøder eller restbiomasse<sup>18</sup> og er underlagt bæredygtighedskrav i direktivet for vedvarende energi.

## Skibsfart<sup>22</sup>

### Klimamål og tiltag

Sektoren for skibsfart (Det Blå Danmark) satte i sektorens klimapartnerskab et mål om at sætte det første oceangående nulemissionsskib i drift senest i 2030 og at være klimaneutral i 2050. Dette er mere ambitiøst end klimastrategien fra International Maritime Organisation (IMO).

Mærsk meldte i februar 2021 ud, at rederiet vil sætte sit første CO<sub>2</sub>-neutrale skib, som skal sejle på grøn metanol (PtX med biogen CO<sub>2</sub>), i drift i 2023. Dette er syv år tidligere end den oprindelige ambition om idriftsættelse i 2030.

Mærsk har udpeget en lille udvalg af grønne brændstoffer, som rederiet satser på som fremtidens skibsbrændstof, herunder grøn metanol og grøn ammoniak. Valget af metanol til det første CO<sub>2</sub>-neutrale skib skyldes, at det aktuelt er den mest fremskredne teknologi.

## Vejtransport<sup>23</sup>

### Klimamål og tiltag

Sektoren for landtransport identificerede i sektorens klimapartnerskab tiltag til CO<sub>2</sub>-fortrængning svarende til en reduktion på 55% i 2030. Der blev desuden formuleret et mål om, at hele transportbranchen skal køre på 100 procent CO<sub>2</sub>-frie drivmidler i 2050.

Elektrificering vil med stor sikkerhed udgøre en del af fremtidens grønne teknologi for personbiler og en del af busserne. Der er endnu ikke klarhed over, hvad fremtidens grønne teknologi er til den tunge transport, men klimapartnerskabet nævner, at lastbiler fx kan omstilles til el, brint eller biogas. I rapporten med anbefalinger til en dansk strategi for PtX blev det vurderet, at brintlastbiler forventelig vil blive konkurrencedygtige med konventionelle lastbiler frem mod 2030.

<sup>20</sup> Klimapartnerskabet for Luftfart (marts 2020), Destination 2050 (februar 2021) fra den europæiske luftfartssektor: [https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/02/Destination2050\\_Report.pdf](https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/02/Destination2050_Report.pdf)

<sup>21</sup> Den anvendte biomasse afhænger af hvilken generation af bio-fuels der er tale om: 1. generation: fødevare-afgrøder såsom palmeolie, sukkerrør eller hvede; 2. generation: fedt- eller sukkerholdige energiafgrøder eller restbiomasse; 3. generation: alger; 4. generation: ikke-biologiske ressourcer og genetisk modificerede organismer. Kilde: Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components (juli 2020).

<sup>22</sup> Klimapartnerskabet for Det Blå Danmark (marts 2020)

<sup>23</sup> Klimapartnerskabet for Landtransport (marts 2020)

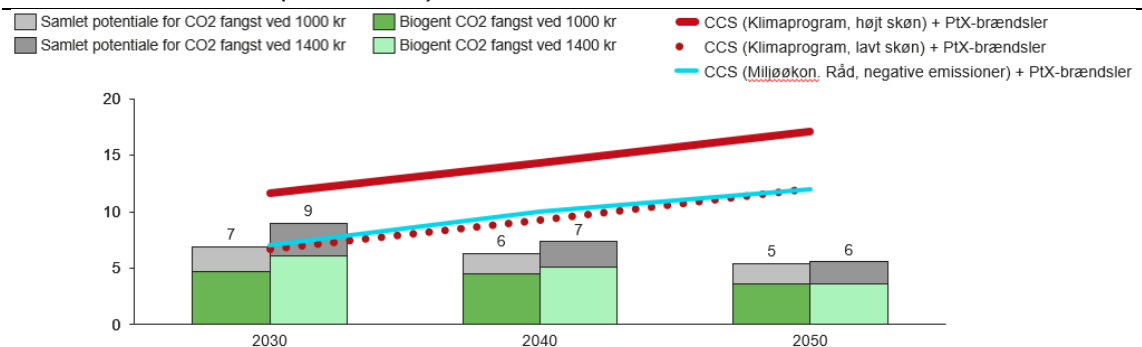
## Vurdering om CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale er tilstrækkelig

**Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst er ikke stort nok til at dække samtlige behov. Derfor er det afgørende, at det biogene CO<sub>2</sub> anvendes dér, hvor det skaber mest værdi.**

Ved at lægge CCUS-potentiale i regeringens klimaprogram, som kan blive nødvendige til at nå 70%-målet, sammen med transportsektorens behov for biogen CO<sub>2</sub> til PtX-brændsler, får man indikation af det samlede behov for CO<sub>2</sub>-fangst i 2030 og frem mod 2050. Sammenlagt svarer behovet for CO<sub>2</sub>-fangst til mellem 7-12 mio. tons om året i 2030 gående mod 12-17 mio. tons i 2050, som det fremgår af figur 7.

Herefter kan det samlede behov sammenholdes med fangstpotentiale. Her ser vi både på det samlede potentiale hvis fangstomkostninger vurderes at ligge under hhv. 1.000 kr. og 1.400 kr. pr. tons<sup>24</sup>.

**Figur 7 | Samlet behov for CO<sub>2</sub> sammenholdt med økonomisk potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst ved 1.000 kr. og 1.400 kr./ton CO<sub>2</sub> frem mod 2050 (mio. tons CO<sub>2</sub>)**

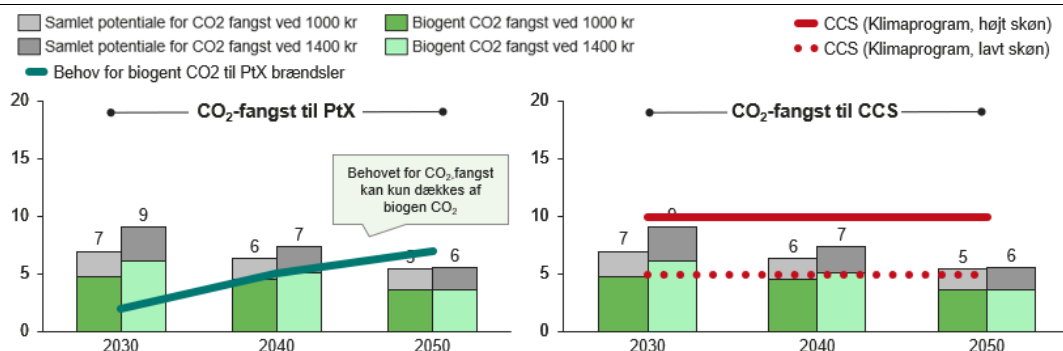


Kilde: Dansk Energi på baggrund af regeringens klimaprogram, PtX-partnerskab og EA Energianalyse

Hvis det samlede behov for CCS til at nå 70%-mål ender med at ligge op ad Klimaprogrammet høje skøn, vil der ikke være et tilstrækkeligt stort fangstpotentiale til at dække det samlede behov i nogen del af perioden 2030-2050. Hvis det samlede behov for CCS omvendt ligger op ad det lave skøn, vil der være et tilstrækkeligt fangstpotentiale ved omkostninger på 1.400 kr. pr tons til at dække behovet i 2030. Herefter er behovet større end fangstpotentialet. I 2050 er behovet over 100-200% større end fangstpotentialet.

<sup>24</sup> Her medtages ikke det samlede tekniske potentiale, da der mere er tale om et teoretisk potentiale med stor risiko for overvurdering.

**Figur 8 | Behov for CO<sub>2</sub> til hhv. PtX og CCS sammenholdt med økonomisk potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst ved 1.000 kr. og 1.400 kr./ton CO<sub>2</sub> frem mod 2050 (mio. tons CO<sub>2</sub>)**



Kilde: Dansk Energi på baggrund af Ea Energianalyse, Klimaprogram og Partnerskabet for PtX.

Selvom det er en klar forventning at der både vil være behov for både CCS og PtX til at nå klimamålsætning, kunne en alternativ tilgang være at se på, om fangstpotentialet i stedet vil være tilstrækkeligt stort til at kunne dække hele behovet til enten CCS eller PtX<sup>25</sup>.

I så fald vil fangstpotentialet være stort nok til at dække hele behovet til PtX indtil 2040, hvis samtlige punktkilder, under 1.400 kr. pr. tons anvendes. I 2050 vil behovet dog overstige fangstpotentialet med 100%. Hvis man i stedet kigger på klimaprogrammets lave skøn for CCS, vil fangstpotentialet under 1.000 kr. pr. tons være tilstrækkeligt til at dække behovet i hele perioden. Hvis behovet for CCS i stedet ligger sig op af klimaprogrammet høje skøn, vil fangstpotentiale ikke være stort nok på noget tidspunkt i perioden.

Den indfangede CO<sub>2</sub> ikke kan bruges to gange. Hvis den biogene CO<sub>2</sub> bruges til CCS, kan den ikke bruges til PtX-brændsler. Derfor bør der skabes en effektiv fordelingsmekanisme. Det forventes at et marked vil sikre den optimale fordeling af den biogene CO<sub>2</sub> imellem anvendelsesformer, så CO<sub>2</sub>'en kan blive anvendt der, hvor betalingsvilligheden er størst, og dermed skaber mest mulig værdi.

Det er dog vigtigt at nævne, at der i behovsvurderingen af CO<sub>2</sub>-fangst ikke tages stilling til, betalingsvilligheden for CO<sub>2</sub>-fangst. Derfor kan overstående figur ikke bruges til entydigt at konkludere, at den fremtidige efterspørgsel for CO<sub>2</sub>-fangst vil overstige det potentielle udbud. Eksempelvis vil prisen på alternative virkemidler være afgørende for efterspørgslen og betalingsvilligheden efter CCS<sup>26</sup>.

Dog indikerer sammenholdningen af behov og fangstpotentiale for CO<sub>2</sub>, at særligt den biogene kan forventes at blive en knap ressource i fremtiden. Et marked for biogen CO<sub>2</sub> giver også et prissignal til andre potentielle leverandører – enten af biogen CO<sub>2</sub> eller alternative løsninger, eksempelvis ikke-karbonholdige grønne brændsler.

En alternativ teknologi kunne være Direct-Air-Capture (DAC). Det er en teknologi der ikke kræver en punktkilde, men i stedet suger CO<sub>2</sub>'en direkte ud af luften. Teknologien er stadig i sin tidlige udviklingsfase. Det vurderes at omkostningerne til at indfange 1 ton CO<sub>2</sub> med DAC i 2025 vil ligge mellem 1.800 og 5.500 kr. pr. tons. I 2075 forventes omkostningerne at falde til mellem 1.100-2.750 kr. i pr. tons<sup>27</sup>.

<sup>25</sup> Behovet for CO<sub>2</sub> til PtX kan kun dækkes af biogen CO<sub>2</sub>. Dette er nødvendigvis ikke et krav til CCS i klimaprogrammet, medmindre CCS skal levere negative emissioner.

<sup>26</sup> Hvis andre teknologier modnes og billiggøres, som kan levere billigere CO<sub>2</sub>-reduktioner end CO<sub>2</sub>-fangst, eksempelvis indenfor landbruget eller den tunge industri, vil dette reducere efterspørgslen efter CO<sub>2</sub>-fangst og lagring. Omvendt kan man også forestille sig, efterspørgslen vil stige yderligere jo tættere vi kommer på 2050, eksempelvis fra udenlandske industrier og den internationale transportsektor, som ønsker enten at købe negative emissioner fra CCS eller CO<sub>2</sub>-neutrale brændsler fra PtX.

<sup>27</sup> <https://www.nature.com/articles/s41467-020-20437-0>

## *National strategi for CCUS og PtX*

### **En samlet national strategi for CCUS og PtX skal afklare, om CO<sub>2</sub>-fangst på biogene punktkilder skal spille en rolle i at nå danske klimamål.**

Investeringer i CO<sub>2</sub>-fangstanlæg forventes at ligge i milliardklassen. Den generelle usikkerhed til fremtiden, kombineret med at flere punktkilder kigger ind i lavere årlige driftstider eller relativt få års tilbageværende levetid, gør at der under nuværende rammevilkår kan stilles et stort spørgsmål ved, om man vil etablere CO<sub>2</sub>-fangstanlæg på de punktkilder, som ikke kigger ind i omfattende driftstid efter 2030. Uden tilstrækkelig klarhed omkring fremtidige rammer, vil investeringer i fangstanlæg være risikofyldte og derfor potentielt ikke foretages. Dermed anses det heller ikke realistisk, under nuværende rammevilkår, at etablere CO<sub>2</sub>-fangst på det fulde økonomiske potentiale, som analysen identificerer i 2030.

For at minimere investeringsrisikoen i CO<sub>2</sub>-fangstanlæg på biogene punktkilder er det derfor helt afgørende, at der tages stilling til om fangst af biogent CO<sub>2</sub> skal spille en rolle i at nå danske klimamål, herunder angive en retning for, hvor meget CCS og PtX forventes at skulle levere.

Samlet skal en national strategi for CCUS og PtX afklare, om CO<sub>2</sub>-fangst på biogene punktkilder skal spille en rolle i at nå danske klimamål. Behovet for biogen CO<sub>2</sub> forventes at blive stort. Både til at nå 70%-målet og frem mod 2050. Derfor er det afgørende, at Danmark kommer hurtigt i gang med CO<sub>2</sub>-fangst. Strategien skal give en retning for, hvor meget CCS og PtX forventes at skulle levere til klimamålsætningen. Samtidig skal strategien afklare hvilke danske og internationale regulatoriske barrierer, som skal fjernes, for at CO<sub>2</sub>-fangst kan komme hurtigt i gang. Eksempelvis er det i dag ikke tilladt at lagre CO<sub>2</sub> i den danske undergrund<sup>28</sup>. Og det er også uvist om dansk indfangede negative emissioner kan tælles med i det danske klimaregnskab, hvis den biogene CO<sub>2</sub> lagres i udlandet.

I fremtiden forventes biogen CO<sub>2</sub> at blive en begrænset ressource. Derfor skal den samlede CCUS og PtX-strategi også tage stilling til, hvordan der bedst muligt skabes rammer, som sikrer en de rette incitamenter og prissignaler, så den biogene CO<sub>2</sub> anvendes der, hvor den skaber mest værdi. Dette vil højst sandsynligt være i sektorer, fx luft- og skibstransport samt dele af landbruget, hvor der er få grønne alternativer, og hvor forbrugerne fortsat vil efterspørge deres ydelser. I den forbindelse bør strategien også forholde sig til, hvordan man undgår et teknologisk lock-in af den biogene CO<sub>2</sub>, som vil begrænse danske muligheder for at udvikle og anvende PtX-brændsler, ved etablering af dansk CO<sub>2</sub>-lagringskapacitet og tilhørende infrastruktur,

Derudover skal følgende punkter afklares for at punktkilder har den nødvendige sikkerhed og klarhed til at kunne investeringer i CO<sub>2</sub>-fangstanlæg:

#### ***Klar definition og bred accept af værdien af CO<sub>2</sub> fra bæredygtig biomasse***

Hvis CO<sub>2</sub>-fangst fra biomasseværkerne skal spille en afgørende rolle i den grønne omstilling, er der behov for en bred og vedvarende accept af, at biogen CO<sub>2</sub> fra biomasseværker har en værdi og skal løse en del af klimaudfordringen. Uden en bredt accepteret definition af, at CO<sub>2</sub> fra bæredygtig biomasse er grøn, vil investeringer i CO<sub>2</sub>-fangstanlæg risikere at blive undergravet, hvis politiske vinde pludseligt blæser i en anden retning.

Samtidig skal der være en klar definition og certificeringsordning af grøn CO<sub>2</sub>, så værdien af biogen CO<sub>2</sub> kan slås fast og kan dokumenteres. Her bør Danmark presse på, for at definitionen af grøn CO<sub>2</sub> sker på EU-niveau og sikre at certifikater anerkendes på tværs af EU på samme måde som certifikater for vedvarende elektricitet.

<sup>28</sup> Det er dog tilladt ifølge EU-lovgivningen, så det kræver blot en ændring i dansk lovgivning, hvilket der er enighed om i forligskredsen bag klimaaf-talen.

### **Økonomiske rammer skal på plads**

Det er nødvendigt at skabe de rette økonomiske incitamenter og betalingsvillighed hos de sektorer, som kan få gavn af den biogene CO<sub>2</sub>. Derudover skal regulatoriske barrierer for anvendelse eller lagring af biogen CO<sub>2</sub> fjernes. Disse barrierer omfatter bl.a. manglende mulighed for at anvende negative emissioner i ETS-systemet og det faktum, at dansk lovgivning ikke muliggør CO<sub>2</sub>-lagring i den danske undergrund.

Desuden kan efterspørgslen efter biogen CO<sub>2</sub> øges ved at skabe de rette økonomiske incitamenter. Dette kan ske gennem normregulering, eksempelvis iblandingskrav i flybrændstof. Alternativt gennem udviklingen af en generel CO<sub>2</sub>-afgift. I den forbindelse det vigtigt, at negative emissioner fra biogen CO<sub>2</sub> tages med i udarbejdelsen af en bred, ensartet CO<sub>2</sub>-afgift<sup>29</sup>. Eksempelvis skal afgiften indrettes så selskaber, som ønsker købe negative emissioner via biogen CCS eller CO<sub>2</sub>-neutrale PtX-brændsler, ikke betale CO<sub>2</sub>-afgifter for fossile udledninger.

Samtidigt vil det være nødvendigt, at der ydes offentlig støtte til at etablere og drive af CO<sub>2</sub>-fangstanlæg. Med sektorstrategien for energi og industri blev der afsat en markedsbaseret pulje på ca. 16 mia. kr. til CCUS svarende til 800 mio. kr. årligt. Puljen indføres fra 2024 og løber i 20 år, hvilket forventes at føre til årlige CO<sub>2</sub>-reduktioner på 0,9 mio. ton i 2030. Udmøntningen af støttemidlerne bør målrettes, så der skelnes mellem sort og biogen CO<sub>2</sub>. Udmøntningen bør desuden tage højde for, at der ikke tildeles støtte til CO<sub>2</sub>-fangst på fossile kilder, hvis emissioner herfra kan undgås via elektrificering eller anden mere økonomisk effektiv grøn omstilling.

### **3) Transparens og sikkerhed omkring kraftværkernes rolle i det fremtidige energisystem**

Der skal skabes mere klarhed om fremtidige behov for kraftværkerne til at understøtte en grøn elforsyningssikkerhed ved at levere effekttilstrækkelighed og produktionsfleksibilitet. Særligt set i lyset af 70%-målet og elektrificeringen af samfundet, hvor der fortsat er stor usikkerhed om hastigheden af elektrificeringen og udviklingen i forbrugsfleksibilitet.

---

<sup>29</sup> Med aftalen om en grøn skattereform blev regeringen, Venstre, Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti og Konservative enige om, at en ekspertgruppe skal belyse mulige modeller for, hvordan en ensartet CO<sub>2</sub>-afgift kan indrettes, så den bliver et afgørende instrument til 70%-målet.



## Bilag

### Teknisk bilag: Opgørelse af CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale i Danmark

EA Energianalyse har kortlagt det danske CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale for Dansk Energi. Til at identificere samtlige relevante biomasse- og affaldsværker tager kortlægningen udgangspunkt i Energistyrelsens Energiproducenttælling 2018. Omtrent 50 biomassefyrede- og affaldsforbrændingsanlæg med en indfyret kapacitet over 20 MW er blevet screenet gennem en finsortering. Anlæggene er screenet med henblik på at opdatere listen over anlæg ift. nedlukninger og nye anlæg siden 2018. Anlæg med en kapacitet under 20 MW (omkring 60 værker) er inkluderet på et aggregeret niveau – derved er alle biomassefyrede og affaldsforbrændingsanlæg søgt dækket af screeningen. For hvert af de screenede anlæg er et skøn til forventede resterende levetider blevet anslået baseret på kendskab til værkerne, screening af planer samt en betragtning af værkeres aldre

I kortlægningen forudsættes det at kapaciteten på affaldsforbrændingsanlæg reduceres med 30% mod 2030<sup>30</sup>. Her tages der udgangspunkt i KL's kapacitetstilpasningsplan, og at det antages samtidigt hvis kapacitetstilpasningen skal ske ved liberalisering af sektoren fremfor KL's tilpasningsplan, vil potentialet for CCUS være det samme. Affaldsanlæg som er i drift efter 2030 levetidsforlænges efter behov og holdes i drift frem til 2050. Screeningen forholder sig ikke til nyetablering af nye biomasse- og affaldsanlæg, hvor der ikke allerede er taget beslutning om investering.

Kortlægningen af industri inkluderer omkring 70 punktkilder til CO<sub>2</sub> udledning i industri-/energiintensive virksomheder. Punktkilderne og deres emissioner er identificeret gennem Energistyrelsens CO<sub>2</sub> rapportering (verificerede emissioner). Til fremskrivning af industriens emissioner tager screeningen udgangspunkt i Klimapartnerskabets for energiintensive virksomheder vurderinger af energibehovet, herunder effektiviseringer og skift af brændslet frem mod 2030 og herefter. I tilfælde af konkrete planer om konvertering til bionaturgas<sup>31</sup>, er dette taget i betragtning ved at sænke CO<sub>2</sub> potentialet med op til 50-70%, da det antages, at det ikke er økonomisk attraktivt at implementere CCUS ved afbrænding af bionaturgas pga. for lavt CO<sub>2</sub> indhold i røggassen. Desuden antages det ud fra en generel betragtning om fallende olieefterspørgsel, at de to olieraffinaderier lukker ned for driften i perioden 2040-2050

CO<sub>2</sub>-fangst fra biogasopgraderingsanlæg er relativt billigt, da det er et biprodukt ved opgraderingen af biogas til bionaturgas. Omkostningerne består derfor hovedsageligt af tryksætning, transport og evt. lagring (onsite). Dog ligger anlæggene ofte geografisk adspredt og i små koncentrationer, hvilket giver et ringe økonomisk potentiale for nogle anlæg at opfange CO<sub>2</sub> og transporterer den videre til et større lager. På nuværende tidspunkt er der omkring 50 biogasopgraderingsanlæg i Danmark.

Det forudsættes at biogasefterspørgslen driver en fortsat stigende udvikling i biogasproduktion og -opgradering. Det antages at mængden af opgraderet biogas stiger til omkring 45 PJ frem mod 2030-2040. Det vurderes at det samlede danske biogaspotentiale er i omegnen af 60 PJ, mens mængden af opgraderet biogas der indgår i screeningen dog holdes fast i hele perioden 2030-2050. CO<sub>2</sub> biproduktet fra biogasopgradering er regnet ved forudsætning om en gennemsnitlig brændværdi på 0,028 GJ/m<sup>3</sup>, CO<sub>2</sub> koncentration på 37,5% og massefylde på 2 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>30</sup> Regeringen: Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi

<sup>31</sup> Dette er tilfældet for Rockwool og Nordic Sugar.

## Teknisk bilag: Økonomisk analyse af omkostninger ved CO<sub>2</sub>-fangst

EA Energianalyse har dernæst lavet en økonomisk analyse, som vurderer omkostninger til CO<sub>2</sub>-fangst på de identificerede punktkilder. Derudover indregnes omkostninger til mellemtransport til udnyttelse eller havnelager.

Den økonomiske analyse er bygget på nogle generelle antagelser. Dermed kan der være afvigende i de enkelte cases. Dog giver analysen et overblik over, fordelingen af det tekniske potentiale. I den økonomiske analyse tages der højde for det enkelte anlægs:

- Forventede levetid (afskrivning)
- Antal årlige drifttimer
- Værkets/anlæggets størrelse (skala)
- Adgang til fjernvarmenet (mulighed nyttiggørelse af overskudsvarme)
- Melletransport til udnyttelse eller lagring (geografi)

CO<sub>2</sub>-fangstanlægget dimensioneres så det har en fangst-rate på 85% tilpasset værkets størrelse og røggassens CO<sub>2</sub>-koncentration. Baseret på erfaringer fra Norge kan CCUS projektforløb vare op mod 9 år. Det er muligt at anlæg der eksempelvis allerede er påbegyndt processen kan etablere CCUS inden 2030, men for generaliserbarhed antages 2030 som første investeringsår. Ved etablering af CO<sub>2</sub> fangst på anlæg med kortere levetider, vil det potentielt være en mulighed at energianlægget levetidsforlænges på samme tid. Hvis dette er tilfældet, vil afskrivningsperioden på fangst-anlægget blive længere og dermed resultere i lavere fangstomkostninger pr tons CO<sub>2</sub>. Dette er dog ikke undersøgt nærmere her.

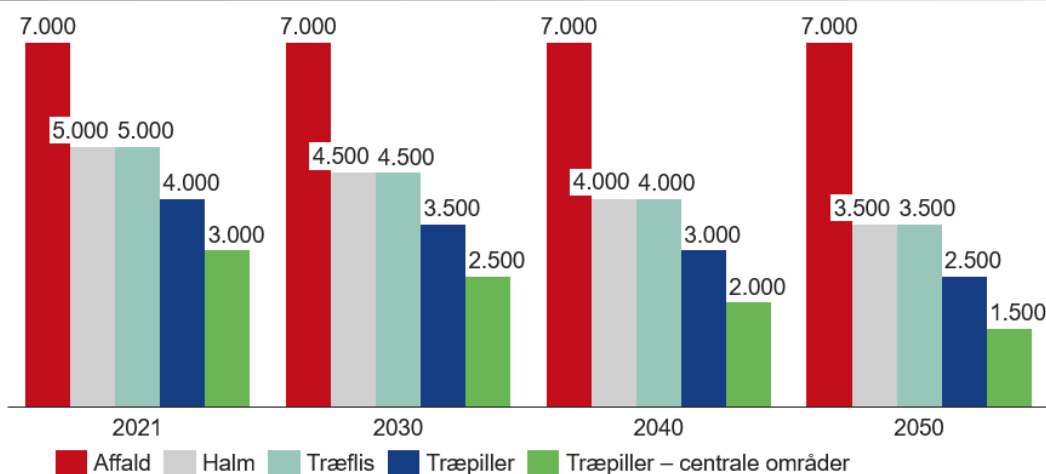
Som nævnt tidligere er det forventningen, at store varmepumper kan være et billigere alternativ end biomassefyrede anlæg. Men afhængigt af den fremtidige betallingsvillighed for biogen CO<sub>2</sub>, kan det ikke udelukkes, at businesscasen for levetidsforlængelser vil blive tilstrækkeligt forbedret til af indtjeningsmulighederne fra salg af biogen CO<sub>2</sub> til at levetidsforlængelser vil være at foretrække. Potentielle levetidsforlængelser er ikke indregnet i de ovenstående potentialer.

Punktkildens (energianlægget) **forventede levetid** er yderst relevant for den samlede økonomi i CO<sub>2</sub>-fangstanlægget. Det skyldes, at desto længere den resterende levetid er i et anlæg, desto flere år kan investeringen afskrives over. I den økonomiske analyse af de screenede afskrives fangst-anlægget med en rente på 4% over 5-20 år afhængigt at dets resterende levetid fra 2030.

Til sammen angiver anlæggets **årlige drifttimer** og **anlæggets størrelse**, tilsammen med det bestemte brændsels emissionsfaktor<sup>32</sup>, de samlede årlige CO<sub>2</sub>-udledninger, som kan potentielt kan opsamles fra punktkilden. Det forventes at affaldsværker vil have flest årlige drifttimer (7.000), hvorimod anlæg som anvender træpiller vil have færrest.

<sup>32</sup> De anvendte emissionsfaktorer fremgår af [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CO2/standardfaktorer\\_for\\_2020.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CO2/standardfaktorer_for_2020.pdf) og [https://ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2020/02/CO2\\_effekt\\_af\\_biomasse\\_fremfor\\_kul.pdf](https://ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2020/02/CO2_effekt_af_biomasse_fremfor_kul.pdf)

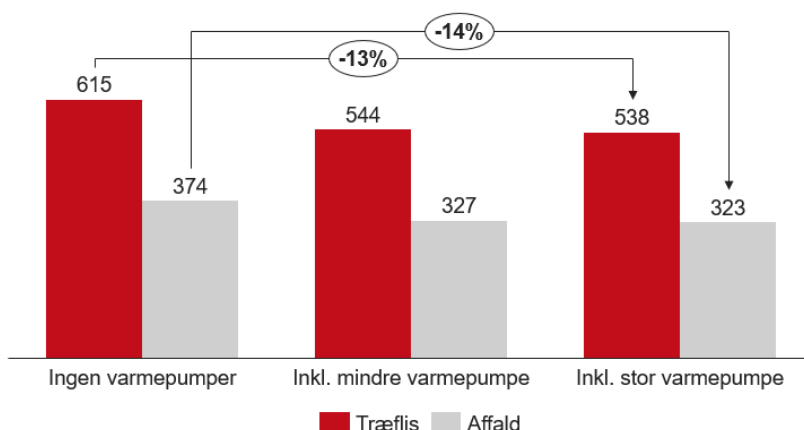
Forventede fuldlasttimer for gennemsnitsanlæg inddelt efter brændselstype  
Timer om året



Kilde EA Energi analyse

Driften af CO<sub>2</sub>-fangst er relativt energitungt og genererer store mængder overskudsvarme. Helt konkret kræver CO<sub>2</sub> fangst på et affalds- eller biomassekraftværk kræver ca. 0,8 MWh varme og 0,03 MWh el pr. ton opsamlet CO<sub>2</sub><sup>33</sup>. Hvis punktkilden har **adgang til fjernvarmenet**, er der mulighed for at udnytte overskudsvarmen og dermed reducerer den samlede omkostninger for CO<sub>2</sub>-fangst. Enten direkte og ved hjælp af varmepumper. Med varmepumper kan den samlede varmeproduktion fra energianlæg øges med op til 20% ift. før installation af CO<sub>2</sub> fangst. Muligheden for at reducere de samlede omkostninger ved salg af overskudsvarme vil variere fra anlæg til anlæg og afhænge af mulighederne for afsætte den ekstra varme, samt værdien af varmen<sup>34</sup>. I nedenstående eksempel reducerer udnyttelsen af overskudsvarmen den samlede omkostning for CO<sub>2</sub>-fangst pr. tons med 13-14%. Her tages udgangspunkt i et fangstanlæg på 30 ton CO<sub>2</sub> i timen og en levetid på 20 år.

Skyggepris for CO<sub>2</sub> fangst for forskellige energianlæg med en fangst kapacitet på 30 ton CO<sub>2</sub>/time  
Kroner pr tons indfanget CO<sub>2</sub>



I den økonomiske analyse antages det, at punktkilder i større fjernvarmeområder kan anvendes store varmepumper, svarende til en yderligere varmeproduktion på 20%, da der antages, at der er tilstrækkeligt varmeafdrag. I mellemstore fjernvarmeområder, antages det, at der kan anvendes mindre varmepumper, svarende til en yderligere varmeproduktion på 10%. I mindre områder antages det ikke muligt at udnytte overskudsvarmen.

<sup>33</sup> ENS: Teknologikataloget <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-procesvarme-og-carbon>

<sup>34</sup> I den konkrete businesscase bør den evt. gevinst fra salg af overskudsvarme også sammenholdes med værdien af den tabte el-indtægt.

I den økonomiske analyse kigges tages der ikke højde for evt. kaskadeeffekter, altså hvis to eller flere anlæg i samme større fjernvarmenet etablerer CO<sub>2</sub>-fangst kombineret med store varmepumper, og det derfor ikke vil være tilstrækkeligt varmeaftag. Som nævnt ovenfor vil dette betyde, at de samlede omkostninger vil være større.

Hvis der samtidigt etableres PtX-produktion kombineret med CO<sub>2</sub>-fangst på flere punktkilder i et større fjernvarmeområde vil det generere yderligere store mængder overskudsvarme.

Den indfangede CO<sub>2</sub> skal transporteres videre fra punktkilden for at kunne nyttiggøres. Enten til CCS eller CCU/PtX. Derfor medtager den økonomiske analyse også omkostninger til **melletransport til udnyttelse eller havnelager**. Helt konkret tages der ikke konkret stilling til, hvor den opfangede CO<sub>2</sub> skal hen. Og der indregnes en omkostning til melletransport svarende til at 50 km for samtlige punktkilder. De billigste transportomkostninger er forbundet med de største punktkilder, som bedst kan udnytte transportkapaciteten pga. de større mængder. De store centrale biomassefyrede kraftværker har alle havneadgang, hvilket potentielt fjerner behovet for melletransport, alt afhængigt af hvor den opfangede CO<sub>2</sub> til hen.

#### **Muligheder for CO<sub>2</sub>-klynger og adgang til elnet.**

Flere biomasseværker ligger relativt tæt på andre punktkilder, særligt affaldsværker. Her vil der altså mulighed for at lave mere grønt CO<sub>2</sub> og dermed relevant til CCS eller PtX-klynger. Det giver mulighed for at flere punktkilder går sammen og at investere i kollektiv rørkapacitet. Som dermed kan reducere melletransportomkostningerne yderligere. Dette er dog ikke analyseret nærmere.

Da CO<sub>2</sub> fra biogas kan anses som et biprodukt fra biogasopgradering er der ikke medregnet fangstomkostninger for CO<sub>2</sub> fra biogas. Der er dog inkluderet et omkostningsestimat for tryksætning af CO<sub>2</sub> på biogasopgraderingsanlæg på 75 kr./ton CO<sub>2</sub>. Dog er biogasanlæggene ofte meget små og geografiske spredte. Derfor er omkostninger til melletransport meget afgørende for, om det vil være økonomisk attraktivt at indfange CO<sub>2</sub>en. Biogasanlæg beliggende tæt på øvrige store punktkilder vil alt andet lige være mere attraktivt, qua de lavere transportomkostninger. Dermed kan større punktkilder også give adgang til, at andre relativt små punktkilder i nærheden, bliver økonomisk attraktive pga. lavere transportomkostninger.

#### **Adgang til elnet.**

PtX og CCU er energikrævende processer, som kræver enorme mængder grøn strøm. Partnerskab for PtX forventer, at der i 2030 skal bruges mellem 15-20 TWh grøn strøm til PtX-formål, svarende til produktionen fra 3-4 GW havvind eller 5-10 GW landvind og sol. Til sammenligning var det samlede danske elforbrug var i 2019 35 TWh. Den samlede omkostning til at forsyne PtX og CCU-anlæg med grøn strøm afhænger af en række forhold, herunder hvor i elnettet anlægget tilsluttes (spændingsniveau) og behovet til udbygning af elnettet. Etablering og udbygning af elnet, som kan transportere disse store mængder strøm, kan blive særdeles omkostningstungt. Og den samlede regning til elnettet vil afhænge af de konkrete geografiske placeringer af CCU/PtX-anlæg. Hvis der allerede er plads i det eksisterende elnet, vil omkostningen reduceres.

De store kraftværker er koblet til store elnet på høje spændingsniveau på grund af deres nuværende elproduktion. Både på transmission og distributionsnettet. Hvis der er tilstrækkelig ledig forbrugskapacitet, kan der realiseres store besparelser til udbygning af elnettet, hvis en CCU/PtX fabrik placeres på en eksisterende kraftværksgrund. Man kan dog ikke undgå helt investeringer i elnetforstærkninger, da der vil være omkostninger forbundet med at forbruge større mængder strøm i dele af elnettet, som normalt anvendes til produktion. Hvis landføring af havvindmøller også sker i nærheden af kraftværkerne, kan der høstes yderligere synergipotentialer i form af lavere omkostninger til elnetudbygninger. De konkrete besparelspotentialer er ikke værdisat i denne analyse

## Teknisk bilag: Opgørelse af behov for biogen CO<sub>2</sub> til PtX-brændsler

### Luftfart

I rapporten med anbefalinger til en dansk PtX-strategi, som er udarbejdet i et partnerskab etableret af Dansk Energi med bl.a. Københavns Lufthavne og SAS, blev det vurderet, at e-kerosen kan ventes at udgøre ca. 30% af luftfartens brændstof i 2030.

Til vurdering af behovet for PtX-fuels i 2040 og 2050 har vi i denne analyse fremskrevet luftfartens brændstofbehov baseret på oplysninger om brændstofforbrug pr. passager, fremskrivning af antallet af passagerer og luftfarten egen vurdering af effektivisering af brændstofforbrug pr. passager. Med afsæt i luftfartens målsætninger for 2030 og 2050 har vi antaget, at sustainable aviation fuel udgør 60% af luftfartens brændstof i 2040 og 100% af luftfartens brændstofforbrug i 2050. PtX-fuels antages at udgøre 90% af sustainable aviation fuel. Den faktiske fordeling mellem grønne brændstoffer i fremtiden afgøres af en række faktorer, bl.a. tilgængelighed af og priser for brændstofferne samt udviklingen af fremtidens fly såsom brintfly.

### Skibsfart

Skibsfarten, som omfatter alt for fiskefartøjer og færger til store containerskibe, har forskellige mulige grønne brændstoffer til omstilling af sektoren. Kortere ruter kan elektrificeres eller anvende brint i brændselscellemotorer, mens længere ruter vil kræve brændstoffer med højere energi tæthed såsom ammoniak (PtX-produkt baseret på brint som tilføres kvælstof) eller e-metanol (PtX-produkt baseret på brint som tilføres karbon fra CO<sub>2</sub>).

I rapporten med anbefalinger til en dansk PtX-strategi, som er udarbejdet i et partnerskab etableret af Dansk Energi med bl.a. Mærsk, blev det vurderet, at skibsfarten i 2030 vil anvende 1 PJ PtX-fuel i form af e-metanol. 1 PJ svarer til 1,5% af den samlede mængde skibsbrændstof, som blev bunkeret i Danmark i 2018. Dette antages at være til feeder-skibe, der opsamler containere på flere pladser og leverer dem på containerterminaler, hvor de store containerskibe anløber.

Til vurdering af behovet for PtX-fuels i 2040 og 2050 har vi i denne analyse taget udgangspunkt i mængden af skibsbrændstof, som bunkeret i Danmark. I Danmark blev der i 2018 tanket 66 PJ brændstof til skibsfarten, som sejler indenrigs og udenrigs, jf. en opgørelse fra Miljøstyrelsen. En del af dette vil blive erstattet af el og brint til korte og mellemlange ruter for fx færger, mens det resterende skal dækkes af grønne brændstoffer som grøn metanol, grøn ammoniak eller bio-LNG for at nå sektorens målsætning om klimaneutralitet i 2050. I denne analyse antages 40% af brændstoffet at være grønt i 2040 og 100% af brændstoffet at være grønt i 2050, hvoraf halvdelen antages at udgøres af grøn metanol. Den faktiske fordeling mellem grønne brændstoffer i fremtiden afgøres af en række faktorer, bl.a. tilgængelighed af og priser for brændstofferne samt udviklingen af fremtidens skibe.