



## Punktkilder til CO<sub>2</sub> – potentialer for CCS og CCU

**Kontor/afdeling**

Center for Systemanalyse

**Dato**

15-06-2021

### Hovedkonklusioner

- I 2040 vurderes potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst fra punktkilder, under stor usikkerhed, at udgøre ca. 4,5-9 mio. ton CO<sub>2</sub>, hvoraf ca. 3,5-6 mio. ton stammer fra biogene kilder. Dertil kommer et potentielt meget stort potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst fra atmosfæren (DAC).
- Hovedparten af potentialet (op mod ca. 6,5 mio. ton CO<sub>2</sub>) i 2040 stammer fra punktkilder koncentreret i 5 klynger omkring København, Aarhus, Aalborg og i Sydjylland.
- Der kan forventes at være et betydeligt potentiale for fangst af CO<sub>2</sub> fra punktkilder i Danmark frem mod 2030 og 2040. Potentialet er følsomt over for en række faktorer, herunder særligt størrelsen på den enkelte punktkilde og fremtiden for de biomassefyrede anlæg i el- og fjernvarmesektoren.
- Teknologi til opsamling af CO<sub>2</sub> fra mindre punktkilder under 100.000 ton CO<sub>2</sub> per år kan blive afgørende for realisering af potentialet.
- Størstedelen af potentialet (ca. 6-8 mio. ton) vurderes at være forbundet med omkostninger til fangst (heri ikke indregnet omkostninger til transport, mellemlagring og lagring) under 800-1.000 kr./ton.

### Behov for yderligere viden og teknologiudvikling

- Potentialet er følsomt over for størrelsen af de medregnede punktkilder, herunder økonomien i opsamling af CO<sub>2</sub> fra kilder under 100.000 ton per år. Disse kilder vurderes at ville kunne anvende standardiseret fangsteknologi, som er under anvendelse på biogasopgraderingsanlæg i dag. Der kan med fordel iværksættes undersøgelser i mulighederne for opsamling fra anlæg i denne størrelsesorden.
- Potentialet for punktkilder er af begrænset størrelse, sammenlignet med størrelsen af udledninger i andre sektorer. Der kan være behov for at øge

**Energistyrelsen**

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

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

www.ens.dk

mængden af biogens kulstof fx gennem fremme af udviklingen af teknologi til opsamling af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.



## Analysen

### INDHOLD

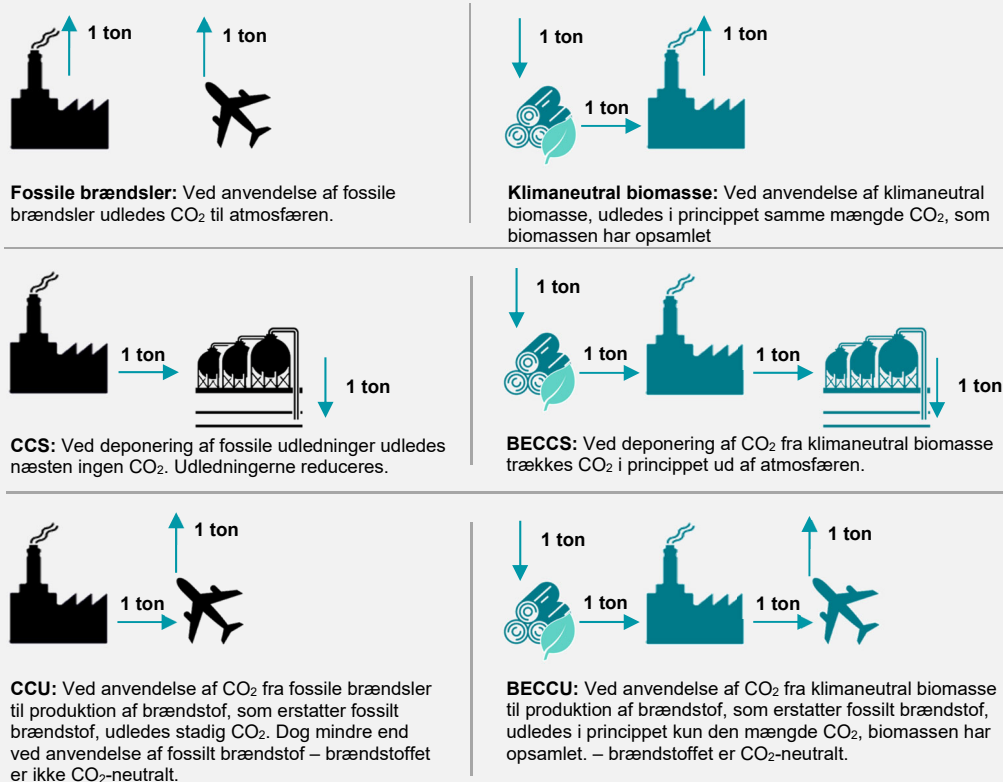
Punktkilder til CO <sub>2</sub> – potentialer for CCS og CCU .....	1
Hovedkonklusioner .....	1
Analysen .....	3
INDHOLD.....	3
Indledning .....	4
Formål med analysen .....	5
Opsamling af CO <sub>2</sub> fra punktkilder .....	5
Metode .....	6
Afgrensning af potentialet .....	7
Relevante størrelser af punktkilder for opsamling .....	7
Opgørelse af punktkilder i Danmark.....	10
Perspektivering til andre punktkildeopgørelser .....	12
Sektorspecifikke overvejelser .....	15
Industri .....	15
Affaldsforbrænding.....	18
El- og fjernvarmeproduktion.....	20
Anlæg til opgradering af biogas .....	25
Opgørelse af potentialet efter omkostninger .....	27
Geografisk fordeling af punktkilder .....	28
Bilag 1 – Metode.....	40
Afgrensning af potentialet .....	41
Omkostninger til CO <sub>2</sub> -fangst .....	41



## Indledning

Teknologierne CCS (fangst og lagring af CO<sub>2</sub>) og CCU (fangst og anvendelse af CO<sub>2</sub>) afhænger begge af, at CO<sub>2</sub> opsamles, hvorefter det enten kan lagres geologisk eller anvendes til produktion af brændstoffer eller kemikalier. I det perspektiv kan CO<sub>2</sub> opfattes som en ressource, der er nødvendig, for at de givne teknologier (CCU og CCS) kan levere de nødvendige "klimatjenester". I tilfælde af CCU er tjenesten *fossilfrigørelse* gennem produktion af grønne ækvivalenter til nuværende fossile forbrug af brændstoffer eller kemikalier. I tilfælde af CCS lagres CO<sub>2</sub>'en geologisk i undergrunden. Hvis kulstoffet stammer fra fossile brændsler eller lign., er CCS-tjenesten *nulemission*. Er der derimod tale om klimaneutral, biogen CO<sub>2</sub>, eller CO<sub>2</sub> der stammer fra luften, er tjenesten *negative emissioner*. Dette illustreres i Figur 1 nedenfor. I denne sammenhæng er udledninger fra kemiske processer i industrien (altså ikke fra anvendelsen af brændsler) at regne for fossile, såfremt de kommer fra raffinaderiproduktion, mineralogiske processer eller lign. som fx cementproduktion, hvorimod udledninger fra biologiske processer i industrien som fx gæring er at regne for biogene.

Figur 1 - Principper for CO<sub>2</sub>-udledninger i forskellige anvendelser



Potentialet for anvendelse af teknologierne afhænger derfor bl.a. af den mængde CO<sub>2</sub>, der er til rådighed, og som det er teknisk muligt og økonomisk hensigtsmæssigt at opsamle.



## Formål med analysen

Formålet med nærværende analyse er at opgøre de forventede udledninger fra punktkilder samt hvilken andel af dette potentiale, der vurderes at være tilgængeligt for opsamling og efterfølgende lagring eller anvendelse i 2025, 2030 og 2040. Frem mod 2030 og 2040, forventes der at være CO<sub>2</sub> til rådighed for fangst fra anlæg, som allerede eksisterer i dag og fra nyetableringer, som endnu ikke er kendte. Denne analyse beskæftiger sig med kendte anlæg samt reinvesteringer og nyetablerede anlæg i affaldsforbrændingssektoren, el- og fjernvarmesektoren og for biogasopgraderingsanlæg. Der er således ikke taget stilling til muligheden for etablering af nye store industrianlæg, kraftvarmeværker eller lign.

## Opsamling af CO<sub>2</sub> fra punktkilder

Den bedst kendte teknologi til CO<sub>2</sub>-fangst er aminbaseret røggasrensning, som ifølge Energistyrelsens teknologikatalog kan opsamle op mod 90-95 pct. af CO<sub>2</sub> i røggassen<sup>1</sup>. Med denne teknologi ledes røggassen fra fx et kraftvarmeværk gennem en reaktor hvor CO<sub>2</sub> "vaskes" ud af røggassen med en vandig aminopløsning. Den nu CO<sub>2</sub>-holdige væskestrøm varmes op i en anden reaktor, hvorved CO<sub>2</sub> frigives og kan renses og komprimeres, før den transporteres til deponering eller anvendelse. Denne type anlæg er komplicerede proceskemiske anlæg, som vurderes typisk at være underlagt skalaøkonomi (enhedsomkostningerne falder, jo større anlæg der kan etableres), ligesom den efterfølgende transport og lagring er. Dette giver et naturligt fokus på store punktkilder til CO<sub>2</sub>. Det vurderes fx ikke at være rentabelt, at etablere CO<sub>2</sub>-opsamling på fx gasfyr, lastbiler eller tilsvarende meget små, spredte kilder.

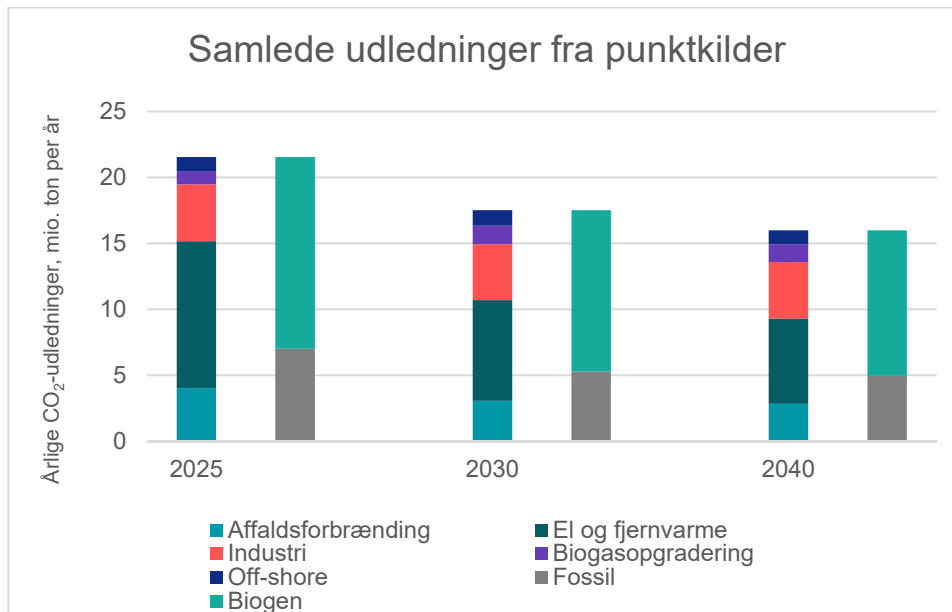
Store CO<sub>2</sub>-punktkilder kan fx være fossile eller biomassefyrede kraftvarmeværker, affaldsforbrænding eller industrianlæg, der enten anvender brændsler til deres processer, eller hvor processen i sig selv udleder CO<sub>2</sub> (eksempelvis cementindustri). Der kan også være tale om mindre kilder som fjernvarmeværker, mindre industrianlæg, off-shore anlæg eller anlæg til opgradering af biogas, hvor CO<sub>2</sub>'en allerede i dag separeres fra biogassen og udledes til atmosfæren, inden biogassen kan fødes ind i naturgasnettet. De ovennævnte typer af anlæg fordeler sig på fem sektorer, som det fremgår nedenfor.

Ifølge Energistyrelsens seneste *Klimastatus og -fremskrivning 2021* (KF21) forventes der i 2025 at være i alt ca. 21,5 mio. ton CO<sub>2</sub>-udledninger pr. år fra de pågældende sektorer, faldende til ca. 17,5 mio. ton i 2030. Herefter vurderes udledningerne af falde yderligere til ca. 16 mio. ton i 2040.<sup>2</sup> Disse tal inkluderer biogene udledninger, som ikke tælles med i det nationale CO<sub>2</sub>-regnskab ift. opfyldelse af 70-pct. målsætningen. Biogene kilder er dog relevante i forbindelse

<sup>1</sup> Energistyrelsens teknologikatalog for procesvarme og carbon capture, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-procesvarme-og-carbon>

<sup>2</sup> Fremskrivningsmetoden beskrives nærmere i afsnittet "Metode" og i Bilag 1.

med både deponering og anvendelse af CO<sub>2</sub> som beskrevet ovenfor, og de opgøres derfor også i dette notat. Den langsigtede udvikling for alle punktkildernes CO<sub>2</sub>-udledninger er dog behæftet med betydelig usikkerhed.



*Figur 2 CO<sub>2</sub>-udledninger inkl. fossile udledninger, biogene udledninger og procesudledninger fra sektorer med punktkilder i Danmark. Affaldsforbrænding, el- og fjernvarmeproduktion samt industri indeholder både fossile og biogene udledninger. Industrisektoren indeholder tillige procesudledninger. Tallene kan ikke sammenlignes med opgørelser af udledninger i KF21, jf. Bilag 1, eller opgørelser af de nationale udledninger eller mankoen ift. målopfyldelse i 2030, da biogene udledninger ikke indgår i opgørelsen ift. 70 pct.-målet. Kilde: Energistyrelsen*

## Metode

Opgørelserne i dette notat tager udgangspunkt i Energistyrelsens Klimastatus og – Fremskrivning 2021 (herefter KF21), som indeholder en *frozen policy*-fremskrivning af udviklingen i det danske energisystem frem til 2030 – det som tidligere var kendt som Energistyrelsens basisfremskrivning. Sektorerne affaldsforbrænding, el- og fjernvarmeproduktion samt off-shore fremskrives direkte i KF21, mens industri og biogasopgradering er fremskrevet på baggrund af aggregerede forløb fra KF21. Perioden mellem 2030 og 2040 indgår ikke i KF, men er i stedet vurderet ud fra tendenserne i KF21 og fremskrevet frem til 2040. Dette beskrives nærmere i *Bilag 1 – Metode*.

Opgørelsen tager udgangspunkt i udledninger fra alle kendte punktkilder i de pågældende sektorer, og er aggregeret efter sektorer på en anden måde end i KF21. Hertil kommer, at rene kondensværker (elproduktion uden samtidig



varmeproduktion) ikke er medtaget i denne opgørelse, da disse anlæg kun har få årlige driftstimer og derfor ikke er relevante for CO<sub>2</sub>-fangst.

## Afgrænsning af potentialet

Fra fremskrivningen beskrevet ovenfor opnås de samlede udledninger for de forskellige sektorer i 2025, 2030 og 2040. Ikke alle disse udledninger vil kunne opsamles i praksis. Derfor afgrænses potentialet på følgende måde:

Først og fremmest kan typiske amineranlæg til CO<sub>2</sub>-fangst i dag maksimalt opsamle omkring 90 pct. af CO<sub>2</sub>-indholdet i røggas. Derfor nedskrives potentialerne for alle sektorer på nær biogasopgradering<sup>3</sup> med 10 pct. Herefter baseres det øvre skøn for fangspotentialet ift. punktkildernes størrelse for hver sektor, og det nedre skøn beror på en følsomhedsvurdering for de enkelte sektorer. Dette beskrives løbende i resten af notatet.

### Off-shore medregnes ikke

Offshore-sektoren dækker over olie- og gasudvinding i Nordsøen, og sektoren tegner sig samlet set for godt 1 mio. ton i 2025. Emissionerne stammer fra en række mindre kilder, som umiddelbart vurderes vanskelige og omkostningstunge at indsamle, samt anvende/deponere. Det kan dog ikke afvises, at udledningerne fra sektoren vil kunne opsamles og deponeres i undergrunden under Nordsøen. Omvendt, vurderes hovedparten af udledningerne at stamme fra energiproduktion, som har et vist elektrificeringspotentiale. Dette analyseres i den igangværende elektrificeringsanalyse jf. Nordsøaftalen fra december 2020. Endelig vurderes olie- og gasaktiviteterne at blive udfaset frem mod 2050. Det er derfor uafklaret hvorvidt CO<sub>2</sub> udledninger fra offshore-sektoren vil være egnede til indfangning af CO<sub>2</sub>, og sektorens udledninger er derfor ikke behandlet nærmere i denne analyse.

## Relevante størrelser af punktkilder for opsamling

Energistyrelsens teknologikatalog viser, at der må forventes at være en vis storskalafordele forbundet med CCS-anlæg<sup>4</sup>. Dette gælder både selve anlægget til fangst og efterbehandling af CO<sub>2</sub> men også for transport og mellemlagring. Dermed må det – alt andet lige – forventes at være billigere at opsamle, transportere og lagre et ton CO<sub>2</sub> fra én stor punktkilde placeret tæt på andre punktkilder og tæt på lageret end fra mange små kilder placeret langt fra hinanden.

Dette giver et naturligt fokus på store punktkilder og punktkilder i klynger tæt på havne som oplagte kandidater til tidlige indsatser. Samtidig vurderes det for

---

<sup>3</sup> Udledningerne fra biogasanlæg er allerede separeret fra røggassen og kan anvendes efter rensning og tryksætning. De opgjorte udledninger skal derfor ikke gennem et nyt amineranlæg først og mister derfor ikke de 10 pct.

<sup>4</sup> Kilde: Energistyrelsens teknologikatalog for procesvarme og carbon capture, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-procesvarme-og-carbon>.



nuværende, at der er CO<sub>2</sub>-kilder, som er for små til, at det kan betale sig at opsamle CO<sub>2</sub> fra dem.

#### **Boks 1 Opgradering af biogas – eksisterende CO<sub>2</sub>-fangst**

Der eksisterer i dag mere end 50 anlæg, der fanger CO<sub>2</sub> i forbindelse med opgradering af biogas i Danmark. I disse processer separeres CO<sub>2</sub>-indholdet (ca. 30-40 pct.) i den rå biogas og udledes til atmosfæren, inden den opgraderede (CO<sub>2</sub>-fri) biogas indføres i naturgasnettet. Disse anlæg findes i drift i størrelser mellem 1.000 og 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år. Disse anlæg vil kunne blive opfattet som værende for små til, at det kan betale sig at etablere fangstanlæg til at opsamle CO<sub>2</sub>'en. Punktkildeopgørelsen i regeringens *Klimaprogram 2020* arbejder med en minimumsstørrelse for punktkilder i affaldssektoren, fjernvarmesektoren og industrien på 50.000 ton per år. Da CO<sub>2</sub>'en allerede separeres fra biogassen, vurderes disse anlæg alligevel at være relevante som punktkilder til CO<sub>2</sub>. Da CO<sub>2</sub>'en fra biogasanlæg ikke er behæftet med bæredygtighedsproblematikker i samme omfang som andre biogene kilder, vurderes CO<sub>2</sub>'en fra biogasanlæg desuden at kunne have en merværdi ift. CCU.

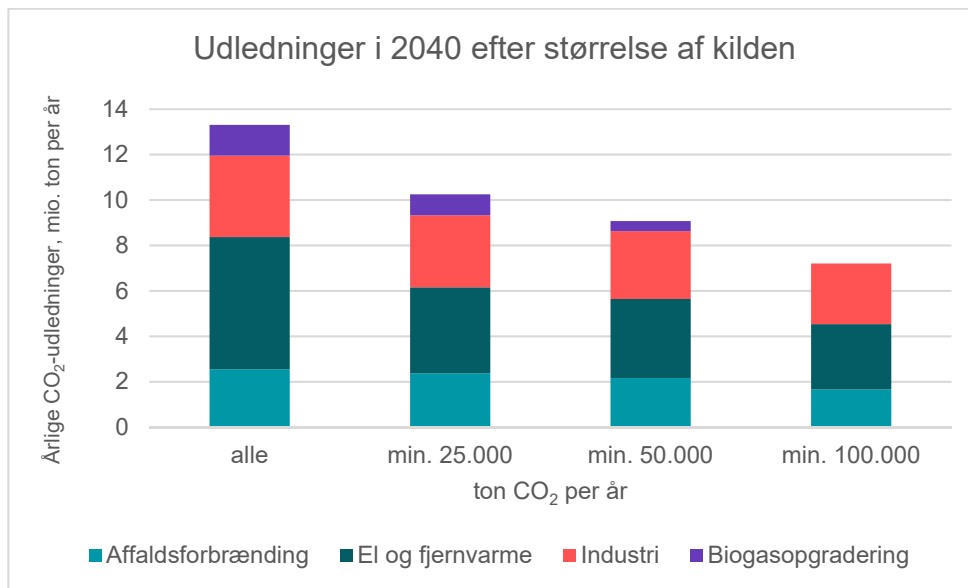
Separering af CO<sub>2</sub> i forbindelse med opgradering af biogas, jf. boks 1 foregår i mindre modulære anlæg i modsætning til de store specialbyggede anlæg, der kan anvendes på fx centrale kraftvarmeværker. Det vurderes, at masseproduktion og standardisering af denne type mindre CO<sub>2</sub>-separeringsanlæg potentielt muliggør, at anlægsomkostningerne for denne type anlæg kan være lavere end for store anlæg. Der er indikationer på, at dette kan medføre lavere fangstomkostninger for små anlæg, og der er eksempler på bl.a. affaldsforbrændingsanlæg, der er i gang med at etablere CO<sub>2</sub>-fangst svarende til ca. 50.000 ton per år baseret på teknologien fra biogasopgradering.

De ovenstående overvejelser kunne tale for at anvende en lavere grænse for punktkilder i forbindelse med potentialeopgørelsen. I tillæg til størrelsen (CO<sub>2</sub>-udledning per år), spiller en række andre faktorer dog ind på økonomien i fangst af CO<sub>2</sub>:

- Størrelse af punktkilden (ton per år)
- Transportafstand til mellemlager og udskibning/lagring/anvendelse
- Afstand til andre punktkilder/placering i klynger
- Etableringsomkostninger (CAPEX) og dermed også den forventede forrentning (WACC)
- Årlig driftstid for anlægget (antal fuldlasttimer), som definerer CAPEX andel af omkostningen per opsamlet ton CO<sub>2</sub>
- Placering ift. et fjernvarmenet af en vis størrelse, der muliggør udnyttelse af overskudsvarme fra fangstprocessen, hvilket kan give et bidrag til økonomien.



Der er ikke udarbejdet en konkret analyse af samspillet af disse faktorer for de hundredevis af mindre punktkilder i Danmark, da dette i en vis udstrækning vil kræve individuelle konkrete vurderinger. I Figur 3 vises dog en opgørelse af potentialet i 2040 baseret på forskellige afskæringer i størrelse.



Figur 3 Opgørelse af udledninger i 2040 afhængig af størrelsen på kilderne, der indgår. Fremtidige biogasopgraderingsanlæg er antaget at have størrelser over 50.000 ton per år.

Figuren viser, at det samlede potentiale i vid udstrækning afhænger af, hvor små punktkilder, der medregnes. Opgørelsen viser yderligere en række karakteristika ved store og små punktkilder og afhængighed af forskellige sektorer.

### De største punktkilder ligger generelt i byer ved vandet

De største punktkilder i landet findes i affaldssektoren, industrien og de store kraftvarmeværker. Heraf ligger stort set alle de største punktkilder i eller tæt ved de fem største byer i landet, som alle er havnebyer. Undtagelser herfor er tre af de ti største affaldsforbrændingsanlæg i 2025 (Maabjergværket i Holstebro, Vestforbrænding i Glostrup og ARGO i Roskilde) og to af de ti største udledere i el- og fjernvarmesektoren (Herningværket og Randers Kraftvarmeværk). Dermed ligger hovedparten af de store udledere og dermed hovedparten af potentialet i klynger omkring de store byer, hvor koncentrationen af store kilder forventes at kunne bidrage positivt til økonomien i transport, mellemlagring samt deponi/anvendelse. Dette taler for at basere opgørelsen primært på de største punktkilder. Små og mellemstore udledere kan dog blive særligt interessante, hvis de ligger tæt på større klynger eller kan organiseres i egne klynger, eller hvis de ligger i nærheden af anden industri eller lign., som kan tænkes at anvende opsamlet CO<sub>2</sub>. Den geografiske fordeling af punktkilderne behandles nærmere i slutningen af dette notat.



### Store punktkilder ligger i store fjernvarmenet

Placering i store fjernvarmenet muliggør potentielt udnyttelse af overskudsvarme fra fangstprocessen. Der er behov for fjernvarmenet af en vis størrelse, for at sikre, at disse fleksibelt kan aftage de relativt store mængder overskudsvarme, der potentielt kan være til rådighed fra fangstanlæggene. Dette vil være størst til fordel for store punktkilder nær store byer sammenlignet med mindre punktkilder, da de store kilder alt andet lige vurderes at ville have nemmere ved at afsætte overskudsvarmen og herved opnår et positivt bidrag til økonomien i projektet.

### Industrien har typisk højere forrentningskrav end forsyningssektoren

CO<sub>2</sub>-fangst er forbundet med store initialomkostninger til ombygning og etablering af nye anlæg, og de aktører, der skal etablere anlæggene, må forventes at have visse forrentningskrav til investeringerne. Disse krav kan forventes at være højere end de relevante sektors normale forrentningskrav (WACC), da der i nogen grad er tale om ny teknologi og nye markeder, hvilket øger investeringernes risici. De fleste industrivirksomheder arbejder desuden med interne forrentningskrav, som er markant højere end de kendes fra fx forsyningssektorerne. Dette kan potentielt betyde, at særligt industrisektoren kan finde investeringer i CO<sub>2</sub>-opsamling uinteressante, også set i relation til, at energi og miljø sjældent er en del af virksomhedens hovedforretning. Dette taler for, at anlægge en højere minimumsgrænse for industrisektoren i forbindelse med opgørelsen.

### Opsamling

Baseret på ovenstående, vurderes punktkilder over 50.000 ton CO<sub>2</sub>/år i industrien, affaldsforbrænding samt el- og fjernvarmesektoren relevante for opsamling i tillæg til alle biogasopgraderingsanlæg, at være relevante for opsamling og efterfølgende anvendelse eller deponering. Dette uddybes yderligere i beskrivelserne for de enkelte sektorer nedenfor.

## Opgørelse af punktkilder i Danmark

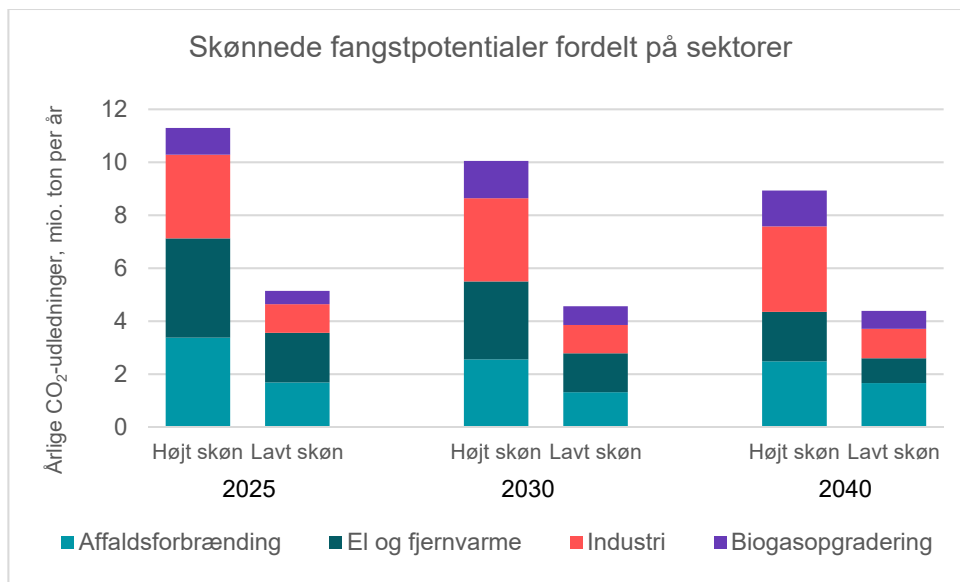
I det følgende redegøres for CO<sub>2</sub> punktkilder i Danmark, herunder mængden af CO<sub>2</sub>-udledning frem mod 2025, 2030 og 2040, typer af punktkilder mv. for de fire sektorer affaldsforbrænding, industri, el og fjernvarme samt biogasopgradering.

Der er forskel på punktkilderne i de fire sektorer, både i forhold til CO<sub>2</sub>-koncentration i røggassen, antallet af årlige driftstimer, økonomiske forhold og regulering omkring de pågældende aktører, placering og i forhold til usikkerheden om, hvorvidt kilderne er tilgængelige og velegnede til indfangning af CO<sub>2</sub> i fremtiden. Baseret herpå vurderes det, at indfangningspotentialet fra punktkilder i 2040 er ca. 4,5-9 mio. ton pr. år. Dette kunne fordele sig på sektorerne som angivet nedenfor. Heraf forventes op til ca. 3 mio. ton at stamme fra fossile brændsler og procesudledninger i industrien og en mindre mængde fossilt forbrændingsaffald, mens op mod ca. 6 mio. ton forventes at stamme fra biogene kilder.



Det estimeres, at nedenstående udledninger vil være teknisk tilgængelige til indfangning i 2040 for de forskellige sektorer. Vurderingerne, der ligger til grund for de enkelte potentialeskøn gennemgås efterfølgende.

- **Affaldsforbrænding:** Ca. 1,5-2,5 mio. ton CO<sub>2</sub> pr. år fra anlæg over 50.000 ton per år. Heraf vurderes knap 1 mio. tons at kunne komme fra de tre største affaldsværker i Storkøbenhavn.
- **EI- og fjernvarmeproduktion:** Ca. 1-2 mio. tons CO<sub>2</sub> pr. år fra anlæg over 50.000 tons per år med driftstider over 2.500 fuldlasttimer per år, hvoraf det største centrale biomassekraftvarmeverk, Amagerværkets Blok 4 forventes at udlede op mod 1 mio. tons alene.
- **Industri:** Ca. 1-3 mio. tons CO<sub>2</sub> pr. år, som for det høje skøn svarer til udledningerne fra Aalborg Portland, såfremt de erstatter deres forbrug af petrokoks med ledningsgas og fra raffinaderierne i Kalundborg og Fredericia samt øvrige industrielle udledere over 50.000 ton per år.
- **Biogasopgradering:** ca. 0,7-1,3 mio. tons CO<sub>2</sub> pr. år, spredt over mange (>50) mindre punktkilder. Biogasanlæggende medtages, da CO<sub>2</sub> allerede separeres i processen til biogasopgradering.



Figur 4 Øvre og nedre skøn over opsamlingspotentialer fordelt på sektorer frem til 2040. Det er behæftet med usikkerhed, hvorvidt punktkilderne vil være til stede i 2030 og 2040, samt hvor meget driftstid – og dermed udledninger – de enkelte anlæg har på sigt.  
Kilde: Energistyrelsen



## Perspektivering til andre punktkildeopgørelser

Figur 4 viser Energistyrelsens skøn for fangstpotentialerne i denne opgørelse. Spændene i de enkelte år udgør samlet set ca. 4,5-10 mio. ton CO<sub>2</sub> per år i 2030 og ca. 4,5-9 mio. ton CO<sub>2</sub> per år i 2040. Tabel 1 viser en sammenligning med skøn fra andre opgørelser.

Som det fremgår udgør nærværende opgørelse en mindre nedjustering ift. potentialeopgørelsen i Klimaprogram 2020. Årsagen til dette skal findes i flere modsatrettede udviklinger: Den mere indgående behandling af mindre punktkilder samt den opjusterede prognose for biogasopgradering trækker opad, mens sænkningen i forventede udledninger fra særligt affaldsforbrænding som følge af *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* og en mere indgående behandling af biomassekraftvarme trækker nedad.

Tabel 1 Sammenligning af opgørelser af fangstpotentiale.

Opgørelse	Potentialeskøn, mio. ton CO <sub>2</sub> per år			
	Total 2030	Heraf fossil	Total 2040	Heraf fossil
Denne analyse	4,5 - 10	1 - 3	4,5 - 9	0,5 - 3
Klimaprogram 2020	5 - 10	-	5 - 10	-
Dansk Energi, 2021	6,9	1,8	6,3	1,8
DØRS, 2021	3,5 - 6,5	0,5 - 1	-	-
Klimarådet, 2020	4,5	-	7,5 <sup>a</sup>	-

Noter:

<sup>a</sup>: Klimarådets opgørelse indeholder ikke et potentiale for 2040, men et samlet langsigtet potentiale, her anført i kolonnen for 2040.

Potentialet ligger endvidere lidt højere end potentialeopgørelserne fra Dansk Energi (DE), 2021<sup>5</sup>, De Økonomiske Råd (DØRS), 2021<sup>6</sup> og Klimarådet, 2020<sup>7</sup> jf. tabellen. Opgørelserne fra DE og DØRS udgør økonomiske potentialer, der på baggrund af en række antagelser identificerer en andel af de samlede udledninger som egnede til opsamling, givet en bestemt betalingsvillighed. Begge opgørelser medregner kun i begrænset omfang mulighederne for billig opsamling fra små punktkilder baseret på modulær teknologi fra biogasopgradering, og opgørelsen fra DØRS medregner ikke potentialerne for opsamling fra biogas. Opgørelsen fra Klimarådet er en teknisk opgørelse baseret på økonomiske overvejelser, som kun medregner én punktudleder fra el- og fjernvarmesektoren. Klimarådet angiver i øvrigt ikke et

<sup>5</sup> Potentialet for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark til den grønne omstilling, Dansk Energi, 2021, <https://www.danskeenergi.dk/udgivelser/potentialet-co2-fangst-danmark-til-groenne-omstilling>

<sup>6</sup> Økonomi og Miljø 2020, Kapitel I: Dansk klimapolitik frem mod 2030, Det Økonomiske Råds Sekretariat, <https://dors.dk/vismandsrapporter/oekonomi-miljoe-2020>

<sup>7</sup> Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion, Klimarådet, 2020, <https://klimaraadet.dk/da/rapporter/kendte-veje-og-nye-spor-til-70-procents-reduktion>



potentiale i 2040, men opererer med et samlet potentiale (angivet i kolonnen for 2040 i tabellen), hvoraf en andel vurderes at kunne realiseres i 2030. Nærværende opgørelse forholder sig ikke til, hvad der vil kunne realiseres inden 2030 eller 2040.

Sammenligningen peger også på de centrale usikkerheder i nærværende opgørelse:

- Særligt i el- og fjernvarmesektoren består en stor del af det opgjorte potentiale af mindre og mellemstore kilder. De økonomiske perspektiver i opsamling af CO<sub>2</sub> fra disse kilder vurderes at afhænge af, at teknologien fra biogasanlæg kan udbredes til fjernvarmesektoren med lavere omkostninger til følge.

En væsentlig udfordring ved de små punktkilder – givet at opsamlingsteknologien er billig nok – er transportafstande. Her henledes opmærksomheden på det samlede potentiale opgjort for de fem klynger i slutningen af dette notat, som i 2040 vurderes at udgøre op mod 7 mio. ton CO<sub>2</sub> per år. Omkring 75 pct. af det i denne analyse opgjorte potentiale vurderes altså at have relativt korte transportafstande i områder med andre store udledere, hvilket vurderes at kunne fremme økonomien i nedstrøms dele af værdikæden.

- Fremtiden for anvendelse af biomasse til energiformål, herunder særligt kraftvarme- og varmeproduktion, har afgørende indflydelse på størrelsen af fangspotentialet. I denne opgørelse medtages anlæg med flere end 2.500 fulldlastimer i det øvre skøn, hvilket giver et potentiale fra sektoren på knap 2 mio. ton. Hæves grænsen derimod til 3.500 fulldlastimer, falder potentialet til ca. 0,5 mio. ton, bl.a. i kraft af, at de ca. 1 mio. ton fra Amagerværkets Blok 4 så ikke medregnes. Det øvre spænd for punktkildeopgørelsen er således særligt sårbar for udviklingen i el- og varmesektoren i perioden 2030-2040, som ikke indgår i KF21.

Ovenstående taler dels for, at de nedre skøn for særligt el- og fjernvarmesektoren og i nogen grad affaldssektoren tillægges størst vægt. Anvendelse af potentialer over det nedre skøn kan således medføre risici for, at der bevares CO<sub>2</sub>-udledninger fra punktkilder, med afsætning til CCUS, som alternativt ville være lukket eller reduceret af sig selv.

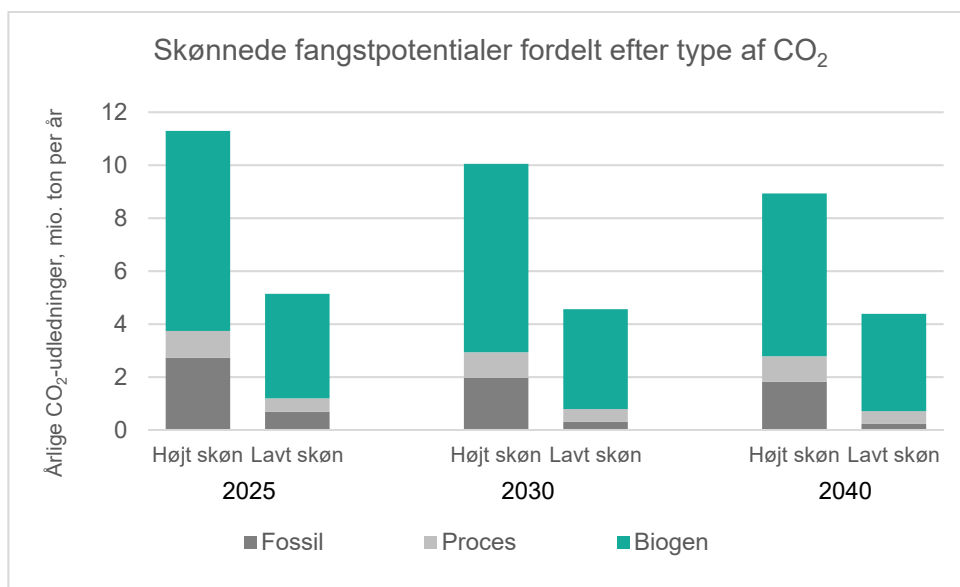
Hertil peger overvejelserne på, at der er behov for en yderligere kvalificering af omkostningerne ved opsamling af CO<sub>2</sub> fra de forskellige punktudledere, og særligt på et behov for øget viden om opsamling af CO<sub>2</sub> fra mindre anlæg med anvendelse af standardkomponenter kendt fra biogasopgradering.



### Fossil eller biogen CO<sub>2</sub>

Som det fremgår af indledningen, indtager biogen CO<sub>2</sub> en særlig rolle, idet disse kilder kan anvendes til produktion af CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer (CCU) eller negative emissioner til kompensation for udledninger i andre sektorer (BECCS).

Figur 5 viser fangstpotentialet i denne opgørelse fordelt på fossile, biogene og procesudledninger, hvoraf de biogene vurderes at udgøre ca. 3,5-6 mio. ton i 2040. Som nævnt i indledningen bør procesudledninger fra fx cementindustri og raffinaderier medregnes som fossile udledninger. Til sammenligning vurderer Dansk Energi, at potentialet for opsamling af biogen CO<sub>2</sub> i 2040 beløber sig til ca. 4,5 mio. ton. Forskellen mellem DE's opgørelse og det høje skøn i nærværende analyse stammer hovedsageligt fra affaldssektoren og fra industrien. Fsva. affaldssektoren vurderes forskellen at stamme fra overvejelserne om størrelser af punktkilderne, som beskrevet ovenfor, mens forskellen i industrien vurderes at afvige pga. forskellige forudsætninger vedrørende omstilling til VE-gas (biogas og andre grønne gasser som brint) i industrien.



Figur 5 Øvre skøn over opsamlingspotentialer fordelt på biogene, fossile og procesudledninger frem mod 2040. Kilde: Energistyrelsen.

Der må forventes en betydelig efterspørgsel efter biogen CO<sub>2</sub> i fremtiden. Med en simpel omregning af PtX-potentialet i Klimaprogram 2020, anslås et CO<sub>2</sub>-behov på op mod ca. 1,5 mio. ton om året i 2030, mens Dansk Energi har opgjort efterspørgslen alene til produktion af PtX-brændstoffer i transportsektoren til 1,8 mio. ton i 2030 og 4,4 mio. ton i 2040. Hertil kommer potentielle behov for grøn CO<sub>2</sub> til negative emissioner.

Det falder uden for formålet med dette notat at opgøre det samlede behov for grøn CO<sub>2</sub> til negative emissioner og PtX-brændstoffer – særligt frem mod klimaneutralitet



i 2050. Dansk Energi peger dog på, at der allerede i 2040 vil opstå mangel på grøn CO<sub>2</sub> til dækning af disse behov, hvilket ikke umiddelbart afkræftes af nærværende potentialeopgørelse. En mulig tilgang til denne ubalance kan være øget import af biomasse. En anden kan være udvikling af teknologier til direkte opsamling af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, kaldet DAC (direct air capture), hvilket Klimarådet også peger på<sup>8</sup>.

## Sektorspecifikke overvejelser

Forskellige karakteristika præger de fire sektorer mht. både CO<sub>2</sub>-koncentration i røggassen, antallet af årlige driftstimer, økonomiske forhold og regulering omkring de pågældende aktører, placering og i forhold til usikkerheden om, hvorvidt kilderne er tilgængelige og velegnede til indfangning af CO<sub>2</sub> i 2040.

De forskellige sektorer og deres særlige karakteristika ift. CO<sub>2</sub>-fangst gennemgås nedenfor, hvoraf det fremgår hvilken tilgang, der er valgt til afskæring ifht. størrelse og vurdering af egnethed til CO<sub>2</sub>-opsamling.

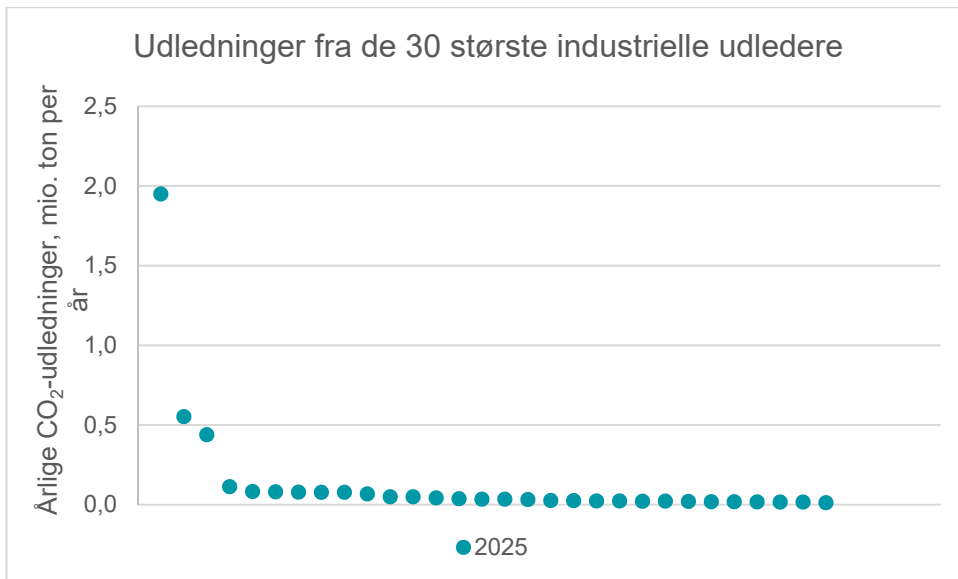
### Industri

Opgørelsen er baseret på de 30 største industrielle CO<sub>2</sub>-udledere i Danmark, som forventes at have samlede udledninger på knap 4,5 mio. tons i 2025, heraf godt 3,5 mio. tons fra fossile udledninger og procesudledninger. Dette skønnes herefter at være stort set uændret frem mod 2040.

Den danske industrisektor er præget af tre meget store udledere, og en lang række mindre og meget små udledere, særligt inden for tegl, fødevarebranchen mv. Dette illustreres i Figur 6, der viser de 30 største industrielle udledere. Efter de tre største udledere, er der kun syv udledere med mere end 50.000 ton CO<sub>2</sub> om året og herefter yderligere syv udledere med mere end 25.000 ton om året.

---

<sup>8</sup> Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion, Klimarådet, 2020, <https://klimaraadet.dk/da/rapporter/kendte-veje-og-nye-spor-til-70-procents-reduktion>

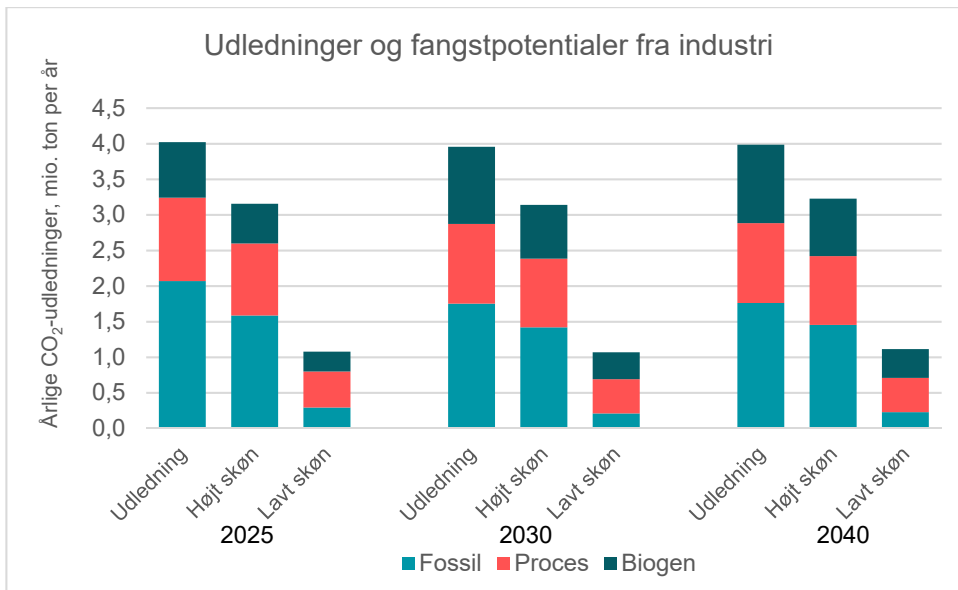


Figur 6 Størrelser for de 30 største industrielle CO<sub>2</sub>-udledere baseret på kvoteregisteret og fremskrevet på baggrund af KF21.

For nogle af de industrielle punktudledere er elektrificering ikke muligt, da de industrielle processer foregår ved høje temperaturer og anvendelse af brændsel direkte i produktionsprocessen, eksempelvis i forbindelse med produktion af cement, kalk, glasuld osv. Disse udledere må forventes fortsat at have et brændselsforbrug – og dermed CO<sub>2</sub>-udledninger – fremover. Dog ikke nødvendigvis fossile. Punktudledere med et lavere temperaturbehov, og som pt. anvender gas- eller oliekedler, vil på sigt have et potentiale for at omstille til procesvarmepumper eller andre vedvarende energikilder. Generelt vurderes der at eksistere et betydeligt potentiale for omstilling til VE, elektrificering og energieffektiviseringer i industrien, som i KF21 ikke forventes realiseret uden yderligere tiltag. Det vurderes, at realisering af væsentlige dele af dette potentiale vil være billigere end CCS, og vil kunne forekomme gennem eksempelvis stigninger i ETS kvoteprisen eller nye nationale virkemidler. Dette taler for, at det langsigtede potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst i industrien er lavere end de fremskrevne udledninger i KF21. Hertil kommer, at der må forventes en vis omlægning fra fossile til biogene udledninger, særligt fra skift fra naturgas til biogas som følge af den stigende VE-andel i gasnettet. Dette afspejles i et sænket "lavt skøn" for industrisektoren.

Der antages en minimumsstørrelse på 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år for industrielle punktudledere i opgørelsen af det fangstpotentiale. Det samlede fangstpotentiale i industrien bliver dermed omkring 1-3 mio. ton CO<sub>2</sub> per år, jf. Figur 7.





Figur 7 Samlede udledninger og fangstpotentialer for CO<sub>2</sub>-opsamling i industrien. De samlede udledninger er baseret på oplysninger fra kvoteregisteret, som er fremskrevet på baggrund af KF21 og herefter forlænget frem til 2040. Forlængelsen frem mod 2040 er ikke en del af den konsoliderede fremskrivning, og er derfor forbundet med væsentlig usikkerhed. Fangstpotentialer er begrænset til udledere over 50.000 ton per år, og heri indgår endvidere nedenstående eksempelberegning for Aalborg Portlands annoncerede omstilling til ledningsgas.

### Aalborg Portland

Cementfabrikken Aalborg Portland er landets største industrielle udleder af CO<sub>2</sub>, og forventes i KF21 at udlede godt 2,2 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030. Produktionen og dermed udledningen af CO<sub>2</sub> vurderes at være relativt konstant året rundt. CO<sub>2</sub>-koncentrationen i røggassen anslås til ca. 16 pct. for cementfabrikker generelt.<sup>9</sup>

Aalborg Portland indgik i september 2020 en aftale med regeringen om at sikre CO<sub>2</sub>-reduktioner på samlet set 660.000 tons per år og til at samarbejde om yderligere reduktioner<sup>10</sup>. Dele af denne aftale indgår i vurderingen af udledningerne fra Aalborg Portland i KF21's grundforløb<sup>11</sup>.

I foråret 2021 indgik virksomheden endvidere en aftale med Evida<sup>12</sup> om forsyning med ledningsgas fra 2022. Det danske gasnet indeholder omkring 20 pct. opgraderet biogas iblandt den fossile naturgas og forventes i Energistyrelsens

<sup>9</sup> <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/coal/010820-us-45q-tax-credit-key-to-developing-carbon-capture-facility-in-colorado>

<sup>10</sup> Klima-, energi og forsyningsministeriet, 2020, <https://kefm.dk/aktuelt/nyheder/2020/sep/aalborg-portland>

<sup>11</sup> KF21 forudsætningsnotat om cementproduktion, Energistyrelsen, 2021, [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/7d\\_kf21\\_forudsætningsnotat\\_-\\_cementproduktion.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/7d_kf21_forudsætningsnotat_-_cementproduktion.pdf)

<sup>12</sup> Evida, 2021, <https://evida.dk/nyheder/evida-kobler-aalborg-portland-pa-gasnettet/>



*Analyseforudsætninger til Energinet 2020 (AF20)* at stige til op mod 100 pct. i 2040. Dette kan bidrage til at sænke udledningerne fra Aalborg Portland, da naturgas udleder mindre CO<sub>2</sub> per GJ energiindhold end den petrokoks, som Aalborg Portland bl.a. anvender i dag. Gasnettets stigende andel af biogas vil desuden give anledning til et delvist skift fra fossile til biogene CO<sub>2</sub>-udledninger. Den præcise udformning af de tekniske løsninger og de resulterende udledninger fra Aalborg Portland i fremtiden er ikke kendt. I denne opgørelse er det derfor antaget, at det i KF21 forventede energiforbrug af kul og petrokoks erstattes 1:1 med ledningsgas, hvor der er forsøgt at tage højde for den lavere energitæthed i gas ift. kul og petrokoks, hvilket giver anledning til lavere samlede udledninger og let stigende biogene udledninger.

En omlægning af Aalborg Portlands produktion til gas skaber en væsentligt øget efterspørgsel efter ledningsgas, uden der nødvendigvis skabes et større udbud af opgraderet biogas. Denne effekt vurderes – alt andet lige – at ville sænke andelen af opgraderet biogas i nettet for øvrige aftagere af ledningsgas i opgørelsen.

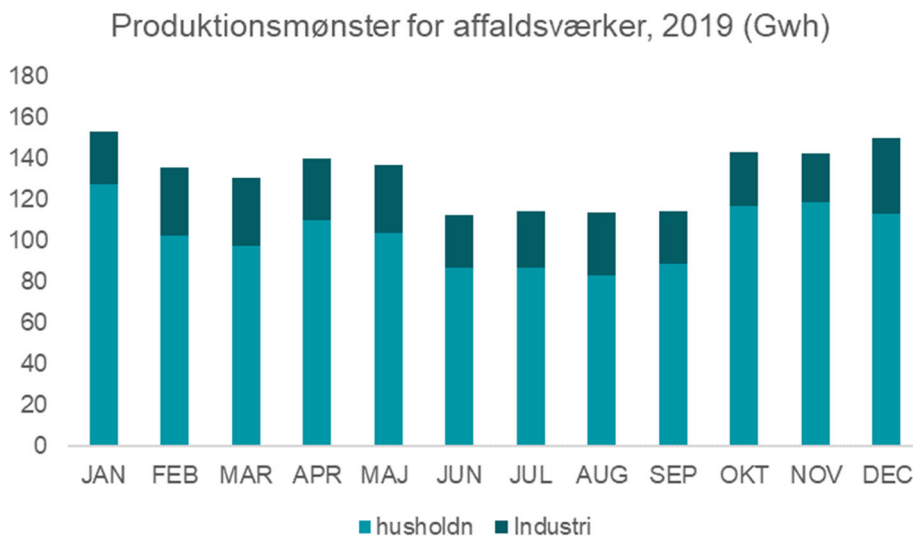
### Raffinaderierne

Equinor og Shell raffinaderierne i hhv. Kalundborg og Fredericia forventes i KF21 at udlede knap 1 mio. ton CO<sub>2</sub> tilsammen i 2030 og er dermed de næststørste udledere af CO<sub>2</sub> i den industrielle sektor. Raffinaderiernes rolle i det fremtidige energisystem er uvis, og de fremtidige udledninger herfra er derfor behæftet med betydelig usikkerhed. Frem mod 2040 forventes der dog stadig at være et forbrug af olieprodukter. På linje med øvrige industrivirksomheder vurderes fangspotentialet fra raffinaderierne at ligge lavere end de samlede udledninger opgjort i KF21.

### Affaldsforbrænding

Udledningerne fra affaldsforbrænding forventes at være knap 4 mio. tons i 2025, og forventes i KF21 at falde til ca. 3 mio. tons i 2030, bl.a. som følge af aftalen om *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* fra juni 2020. Herefter vurderes kun et mindre fald frem mod 2040. Heraf forventes fossile udledninger at udgøre ca. 0,5 mio. ton i 2040. De tre største punktkilder forventes under betydelig usikkerhed at udgøre knap 1,5 mio. tons i 2040. Den største udleder af CO<sub>2</sub> blandt affaldsværkerne er Amager Ressourcecenter (ARC).

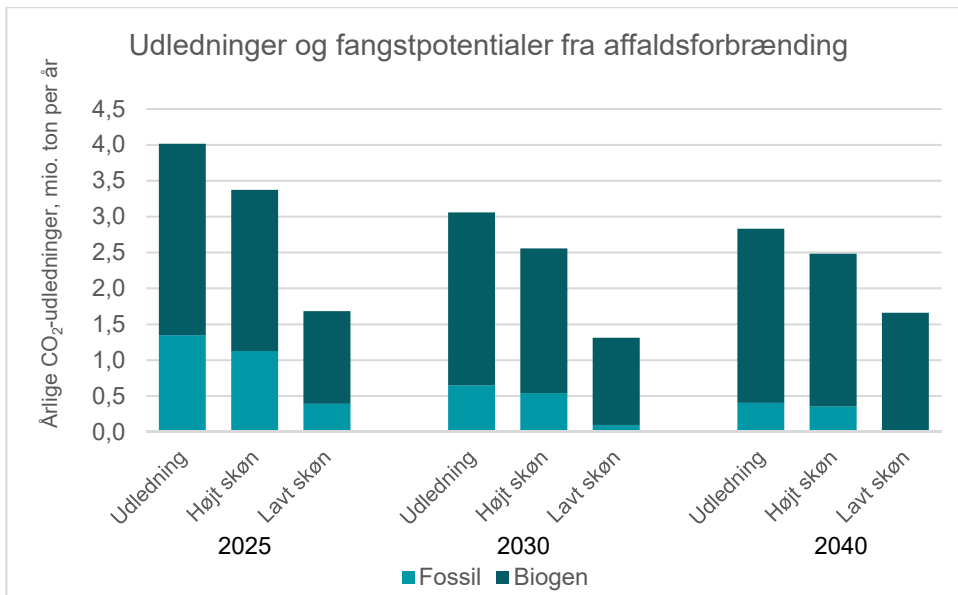
Affaldsforbrændingsanlæg er generelt kendetegnet ved at køre i fuld drift det meste af året, da driften defineres af behovet for behandling af affald og ikke af et svingende forbrug af el og fjernvarme. Dette er illustreret i Figur 8 nedenfor, hvor brændselsforbruget til afbrænding af affald er vist for 2019. Her fremgår det, at variationen over året er begrænset. Det betyder, at udledningen af CO<sub>2</sub> hen over året ligeledes forventes at være stabil. I fremskrivningen, der ligger til grund for denne opgørelse, vurderes alle affaldsforbrændinger at have høje antal fuldlasttimer – typisk mellem 6.000 og 8.000 fuldlasttimer.



Figur 8 Brændselsforbrug på affaldsforbrændingsanlæg hen over året i 2019.  
Kilde: Hovedbrændselsopgørelsen.

Den stabile drift medvirker til at sænke omkostningerne til afskrivning af fangstanlægget. I tillæg hertil kommer, at affaldsforbrænding frem mod 2040 vurderes fortsat at indeholde en fossil fraktion, som de fortrinsvist kommunalt ejede affaldsforbrændingsanlæg må forventes at have ønsker om at håndtere som end el af lokale målsætninger. Affaldsforbrændingsanlæg må derfor forventes at have relativt lave interne forrentningskrav.

Baseret på ovenstående medtages CO<sub>2</sub>-udledninger fra affaldsforbrændingsanlæg med flere end 50.000 ton CO<sub>2</sub> om året i opgørelsen af fangstpotentialet, som vurderes at være knap 1,5-2,5 mio. ton per år i 2040, jf. Figur 9. Det lave skøn repræsenterer en situation, hvor kun de største anlæg i de største byer etablerer CO<sub>2</sub>-fangst.



Figur 9 Samlede udledninger og fangstpotentiale for affaldsforbrænding. Fangstpotentialet er begrænset til udledere over 25.000 ton per år for det høje skøn og til udledere over 100.000 ton per år i de største byer for det lave skøn. Kilde: Energistyrelsen.

## El- og fjernvarmeproduktion

CO<sub>2</sub>-udledningerne fra el- og fjernvarmeproduktion kommer i dag primært fra de store centrale kul-, og biomassefyrede kraftvarmeverker. Kraftvarmeverkerne og en lang række rene varmeverker forventes samlet set at stå for en udledning på ca. 7,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030, som primært kommer fra de centrale, biomassefyrede værker. Ca. 3,5 mio. tons kommer fra de ti største centrale værker og omkring 2,0 mio. ton fra sektorens tre største udledere. I perioden efter 2030 forventes flere store kraftværksblokke at lukke, jf. bl.a. Energistyrelsens *Analyseforudsætninger til Energinet 2020 (AF20)*<sup>13</sup>. Herefter vurderes omkring halvdelen af sektorens resterende punktkildeudledninger på i alt ca. 6,5 mio. ton at stamme fra de 8 største punktkilder. Såfremt der indføres initiativer til reduktion af biomasseforbruget i Danmark, jf. nedenfor, må CO<sub>2</sub>-udledningerne herfra forventes reduceret tilsvarende.

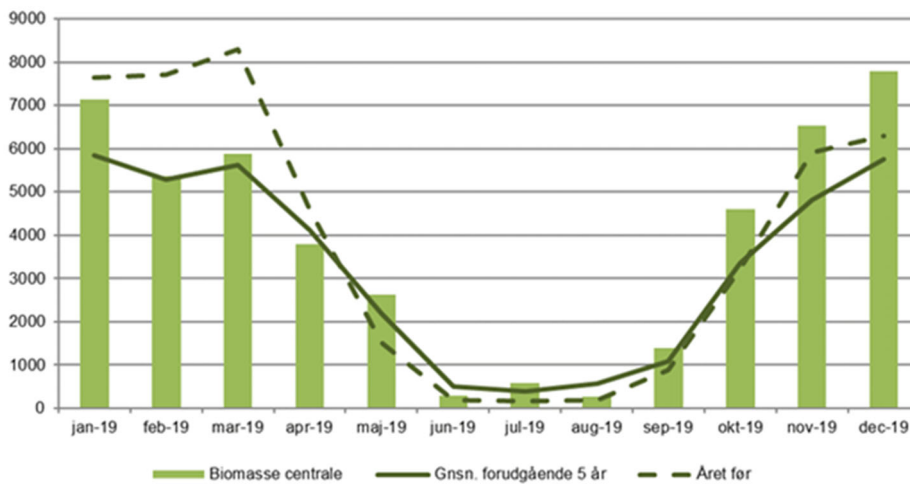
Den største udleder for denne sektor forventes at være Amagerværkets Blok 4. Det sidste kulfyrede værk forventes at blive udfaset i 2028, og det vil således kun være udledninger fra biomasseværker, som potentielt kan indfanges. CO<sub>2</sub>-koncentrationen i røggassen på biomasseværkerne anslås at være ca. 10-13 pct.

### Opsamling af CO<sub>2</sub> fra biomassekraftvarmeverker

Produktionen på biomassekraftvarmeverkerne følger i høj grad varmeefterspørgslen, og udledningen herfra er derfor begrænset i sommerhalvåret, jf. Figur 10. Dette medfører, at fangstanlæg samt nedstrømsanlæg som CO<sub>2</sub>-

<sup>13</sup> Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet, 2020, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/analyseforudsætninger-til-energinet>

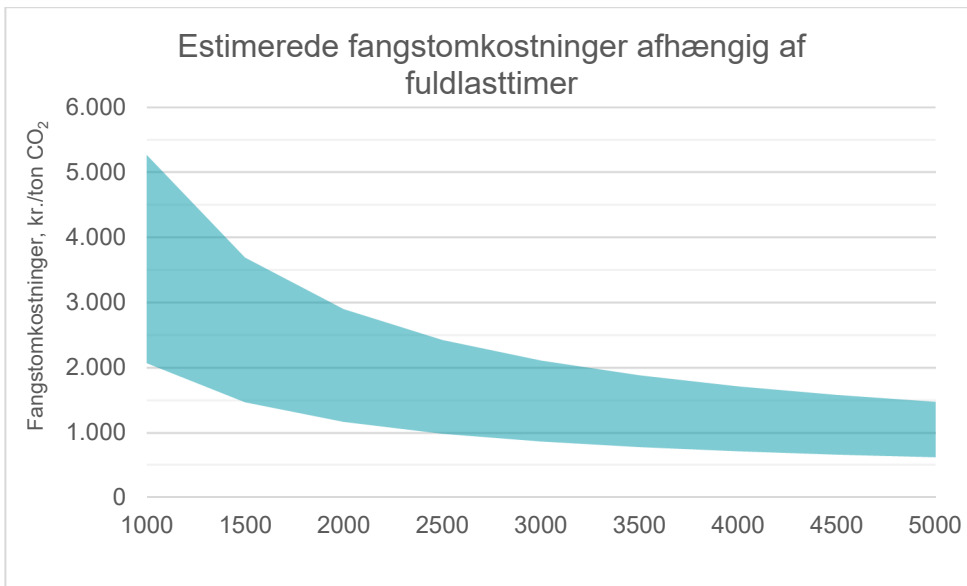
rensning, komprimering, transport og mellemlagring har behov for stor kapacitet til at dække det høje forbrug i vintermånederne, mens der vil være stor ledig kapacitet i sommermånederne.



Figur 10 Biomasseforbrug på centrale kraftvarmeværker fordelt hen over året i 2019 og foregående år. Enhed i TWh. Kilde: Energistyrelsens Energistatistik

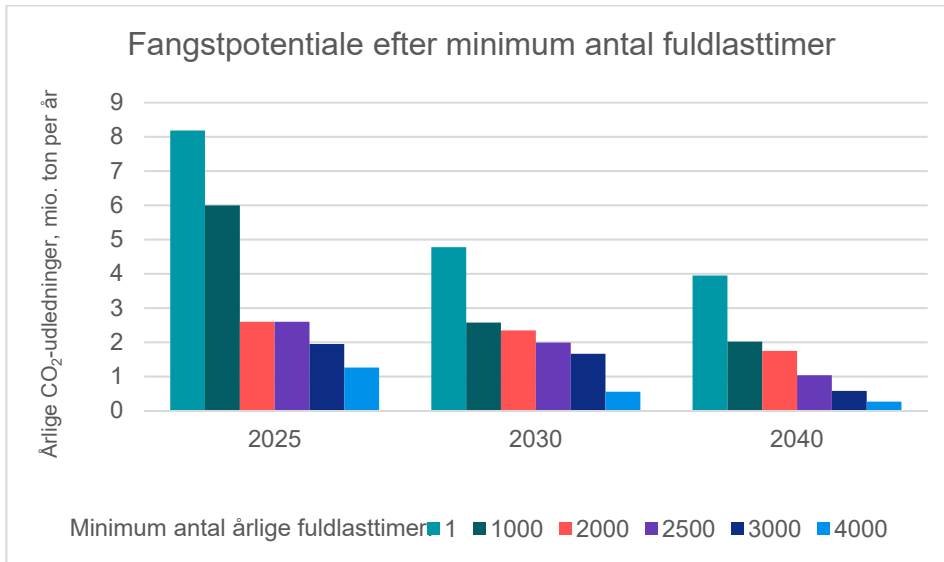
Et mål for, i hvor høj grad kapaciteten i et anlæg udnyttes, er anlæggets antal af såkaldte fuldlasttimer på et år. Hvis et anlæg har 8760 fuldlasttimer, er 100 pct. af kapaciteten udnyttet i alle årets 8760 timer. Har et anlæg derimod 4380 fuldlasttimer (halvdelen af 8760), svarer det til, at anlægget kører med halv kapacitetsudnyttelse i alle årets timer eller fuld kapacitetsudnyttelse i halvdelen af årets timer. Eller en kombination af disse. Typiske grundlastanlæg som flisfyrede kraftvarmeværker har i dag typisk mellem 4.500 og 5.000 fuldlasttimer om året.

De store udsving i produktionen betyder, at kapaciteten på både varmeproduktionsanlægget og fangstanlægget udnyttes dårligere, da der i mange timer vil være uudnyttet kapacitet. Dermed må afskrivningerne på investeringen i et fangstanlæg fordeles på færre ton opsamlet CO<sub>2</sub>. Dette øger omkostningerne per ton CO<sub>2</sub> til afskrivning af anlægget markant, som eksempelberegningerne i Figur 11 viser. Dette vurderes at gælde for alle kraftvarme- og fjernvarmeanlæg, selvom udsvingene vurderes at være mere udtalte for de store anlæg i de store fjernvarmeområder, hvor affaldsforbrænding og overskudsvarme typisk dækker det meste af varmebehovet om sommeren.



Figur 11 Regneeksempel for fangstomkostninger ved et "post-combustion" anlæg til CO<sub>2</sub>-fangst afhængig af antallet af årlige fuldlasttimer på anlægget. Kilde: Energistyrelsens teknologikatalog for "Post combustion – large biomass".

Ovenstående har også en markant indflydelse på det økonomiske potentiale for opsamling af CO<sub>2</sub> fra el- og fjernvarmeproducerende anlæg. Dette illustreres i Figur 12, der viser det samlede potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst fra alle anlæg over 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år, afhængig af hvor mange fuldlasttimer der kræves for, at anlægget tælles med. Den grønne kolonne til venstre for hvert år viser alle anlæg med mindst 1 fuldlasttime om året (alle anlæg i drift), mens fx den røde kolonne viser potentialet fra alle anlæg med mindst 2.000 fuldlasttimer om året osv.



Figur 12 Fangspotentialer i 2025, 2030 og 2040 opgjort for anlæg over 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år med forskellige minimum antal af årlige fuldlasttimer. Enkelte fossile kraftvarmeverker indgår i figuren, uden at det flytter på konklusionen. Kilde: Energistyrelsen.

CO<sub>2</sub>-fangst fra el- og fjernvarmeanlæg er altså økonomisk udfordret pga. relativt lave antal driftstimer. Dermed bliver kravene til placering af biomassefyrede anlæg større, fordi der kræves kortere transportafstande og storskalafordele i forbindelse med fx klynger af andre udledere, hvor transportinfrastruktur mv. kan deles med andre anlæg.

### Biomasseforbruget i fremtiden

Biomasseværkernes driftsmønster og fremtid særligt i et længere perspektiv er usikkert pga. øget konkurrence fra andre kilder mv. På baggrund af *Klimaaftalen for Energi og Industri 2020* er en analyse under udarbejdelse, der skal vurdere konsekvenserne for biomasseforbruget, elforsyningsikkerhed, fjernvarmepriser mv. forbundet med forskellige tilgange til at begrænse anvendelsen af biomasse til energiformål. Analysen er ikke færdig. Men det vurderes indledningsvis, at en begrænsning af biomasseforbruget kan medføre tre overordnede tendenser:

1. Begrænsning af forbrug medfører færre, mindre biomassebaserede punktkilder og dermed færre CO<sub>2</sub>-udledninger.
2. Af hensyn til forsyningssikkerhed vedr. både el- og varmforsyning, kan en række biomassefyrede anlæg forventes fastholdt – dog evt. i ændrede roller, hvor de i højere grad anvendes som spidslastanlæg for fjernvarmenettet og spids- og reservelastanlæg i elsystemet. Der vurderes dog også at være en vis sandsynlighed for at disse ydelser i stigende omfanget bliver leveret af gasturbiner og gasmotorer baseret på biogas. Dette vurderes at kunne medføre et sænket antal fuldlasttimer for de pågældende anlæg.



3. Der kan muligvis også forventes et lagsigtet skift væk fra biomassefyrede kraftvarmeværker over mod biomassekedler til ren varmeproduktion i vinterhalvåret som supplement til varmepumper og overskudsvarme.

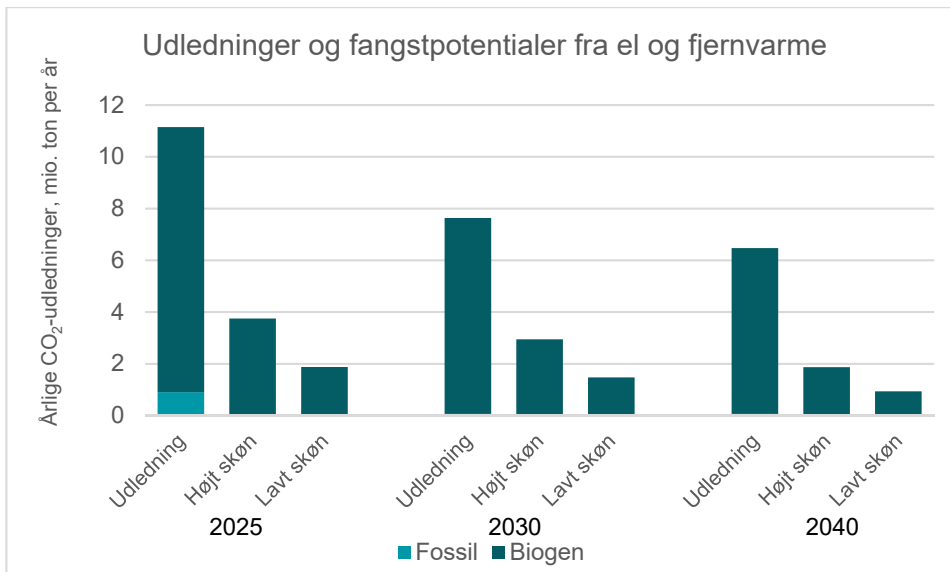
Alle tre effekter må forventes at medføre forringede økonomiske vilkår for angst, lagring og anvendelse af CO<sub>2</sub> fra de større punktkilder, mens mindre punktkilder, under betydelig usikkerhed vurderes at levere hovedparten af udledningerne.

En mulig modsatrettet effekt kan opstå, såfremt der etableres et marked for opsamlet CO<sub>2</sub> eller på anden måde gives økonomiske incitamentter til CO<sub>2</sub>-fangst. Det kan ikke udelukkes, at sådanne økonomiske incitamentter kan forbedre driftsøkonomien i biomassekraftvarmeværker og biomasse-varmeværker. Dette kan give eksisterende anlæg flere driftstimer, eller give incitamentter til fastholdelse, levetidsforlængelse eller etablering af nye biomasseforbrugende anlæg. Dette er ikke nærmere analyseret i nærværende analyse.

De store biomassefyrede værker, som er etableret/konverteret for nyligt, må dog forventes at producere en vis periode fremover, uanset hvilken tilgang, der vælges.

Baseret på ovenstående vurderes el- og fjernvarmeproducerende anlæg at være relevante for CO<sub>2</sub>-opsaling i størrelser over 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år. Samtidig vurderes anlæg med mindre end 2.500 årlige fuldlasttimer at medføre for høje omkostninger til at det er rentabelt at opsamle CO<sub>2</sub>'en, jf. Figur 11. Dermed skønnes fangstpotentialiet fra el- og fjernvarmeproduktion omkring 1-2 mio. ton per år i 2040, jf. Figur 13. Det vurderes, at det mest sandsynlige udfald ligger i den nedre del af spændet.



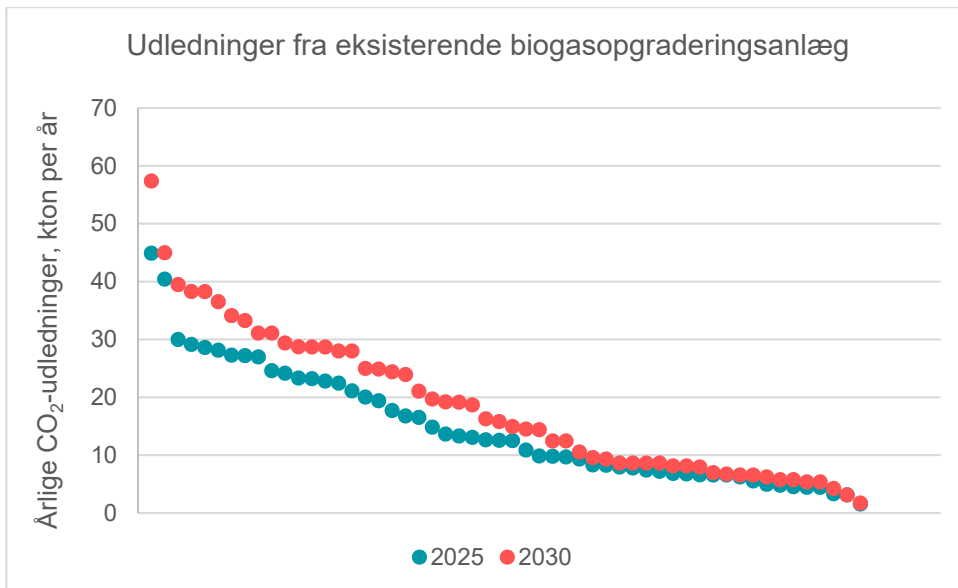


Figur 13 Samlede udledninger og fangstpotentialer for CO<sub>2</sub>-opsamling fra el- og fjernvarmeproducerende anlæg. Det høje skøn er begrænset til udledere over 50.000 ton per år. Kilde: Energistyrelsen.

### Anlæg til opgradering af biogas

Biogas fra biogasanlæg indeholder generelt omkring 60-70 pct. metan og omkring 30-40 pct. CO<sub>2</sub>. Som et led i opgraderingen af biogassen forud for indfødning i gasnettet, separeres og udledes CO<sub>2</sub>-fraktionen ved hjælp af aminbaseret CO<sub>2</sub>-fangst på samme måde som røggas kan renses på kraftværker eller lign. Den udledte CO<sub>2</sub> stammer fra biomasseinputtet i anlægget, og opfattes som klimaneutral.

Der er i dag ca. 50 opgraderende biogasanlæg i Danmark. Der er store forskelle på produktionen på de enkelte anlæg og dermed også på CO<sub>2</sub>-udledningerne, som vurderes at ligge mellem ca. 1.000 og ca. 50.000 ton per år. Figuren viser den årlige CO<sub>2</sub>-udledning fra de 54 eksisterende biogasopgraderingsanlæg i Danmark.



Figur 14 Årlige udledninger fra kendte biogasopgraderingsanlæg i Danmark baseret på KF21 for 2025 og 2030.

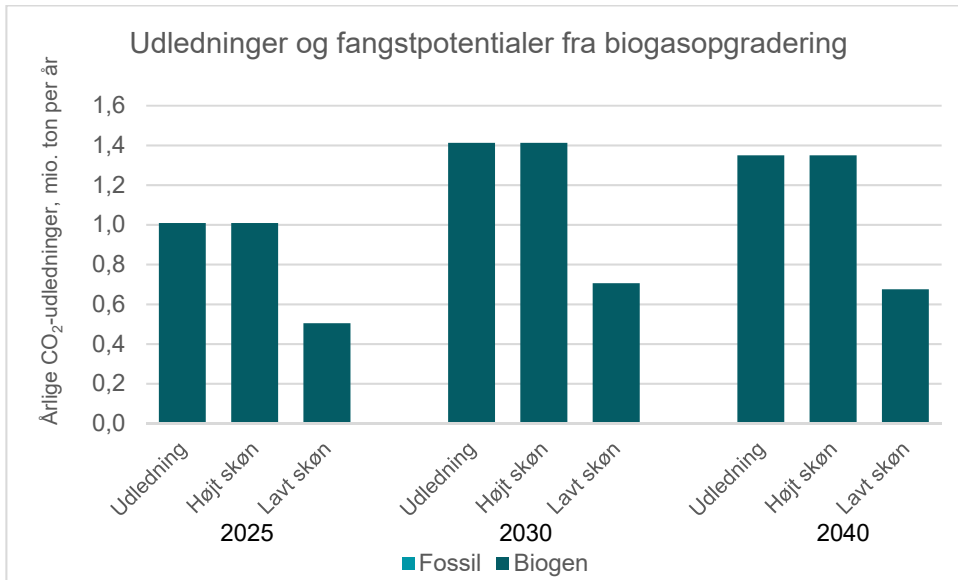
Kilde: Energistyrelsen.

Biogasprognosen og KF21 indeholder en fremskrivning af produktionen for de eksisterende anlæg til 2030 samt en vurdering af den yderligere produktion, der vil komme som følge af de seneste biogasudbud samt de udbud til biogas og andre grønne gasser, der forventes iværksat fra 2022 eller 2023. De langsigtede udledninger er fastholdt fra 2030 til 2040, dog med en mindre justering som følge af ophør af støtteordninger i starten af 2030'erne.

Det forventes, at nye, kommende biogasanlæg vil være i samme størrelsesorden som de større anlæg bygget i 2019 og 2020. Derfor medregnes de kommende anlæg alle med størrelser over 50.000 ton per år.

Som beskrevet separeres CO<sub>2</sub> allerede i dag fra biogassen som led i opgraderingsprocessen. CO<sub>2</sub>-udledningerne fra biogasanlæg er derfor i princippet klar til anvendelse. Dermed får punktkildens størrelse mindre betydning for økonomien i opsamling. Der vurderes dog at være behov for yderligere rensning og komprimering samt evt. et mellemlager, såfremt CO<sub>2</sub>-en skal klargøres til transport eller anvendes, hvilket dog vil være forbundet med markant lavere omkostninger end CO<sub>2</sub>-fangst fra røggas på større anlæg. Hertil kommer, at der kan være en øget betalingsvillighed for CO<sub>2</sub> fra biogasanlæg, da den anvendte biomasse i mindre grad er udfordret mht. bæredygtighed og klimaneutralitet end fx importeret træbiomasse i centrale kraftværker. Derfor inkluderes alle biogasopgraderingsanlæg i opgørelsen.

Det samlede CO<sub>2</sub>-fangstpotentiale for biogasopgradering skønnes dermed at være omkring 0,5-1 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2025 og forventes at stige til 0,7-1,3 mio. ton i 2040.



Figur 15 Samlede udledninger og fangspotentialer for CO<sub>2</sub>-opsamling fra biogasopgraderingsanlæg. Det samlede potentiale er baseret på KF21 frem til 2030, hvorefter produktion og dermed udledninger er fastholdt med en mindre justering frem til 2040. Alle kendte og forventede biogasanlæg er medtaget i det økonomiske potentiale.

## Opgørelse af potentialet efter omkostninger

Som beskrevet ovenfor, er der store forskelle på omkostningerne forbundet med CO<sub>2</sub>-fangst fra forskellige typer af anlæg baseret på størrelse, driftsmønster, anlægstype mv. I det følgende anskuelliggøres dette gennem en opdeling af det vurderede fangspotentiale efter omkostningerne til fangst af CO<sub>2</sub>'en.

Fangstomkostningerne er beregnet for hvert enkelt anlæg, der indgår i analysen på baggrund af de fremskrevne udledninger samt fremskrevne eller antagne antal af årlige fuldlasttimer. Der medregnes ikke omkostninger til transport eller mellemlagring af CO<sub>2</sub>. Fordelingen afspejler derfor ikke variation i omkostninger ift. anlæggenes placering. Metoden for beregningerne er beskrevet i *Bilag 1 – Metode*.

Tabel 2 viser fordelingen af potentialet afhængig af, hvilken øvre grænse, der lægges for fangstomkostningerne. Der tages udgangspunkt i det øvre potentialeskøn jf. ovenfor.

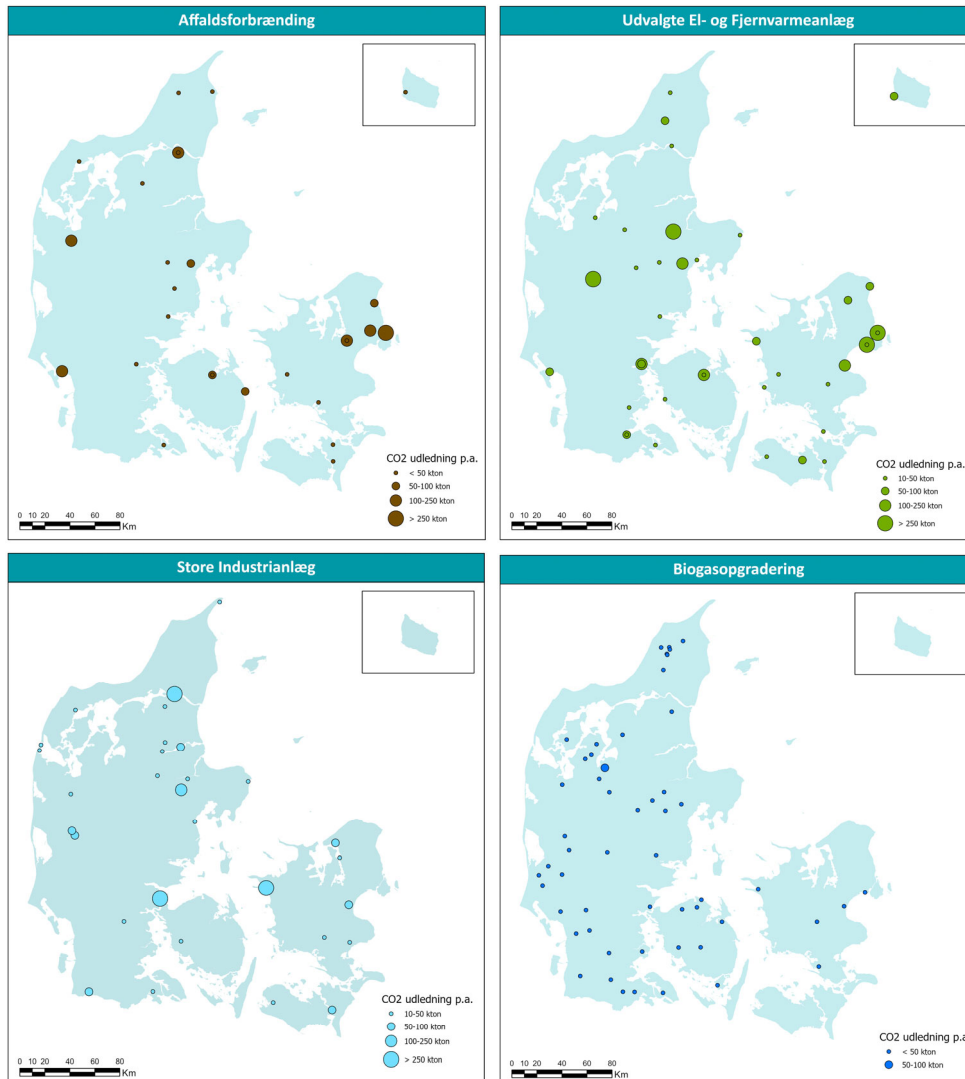
Tabel 2 Fordeling af fangspotentialet efter omkostninger til fangst

Enhed: mio. ton CO <sub>2</sub> /år	2040-udledninger		< 600 kr./ton		< 800 kr./ton		< 1.000 kr./ton		< 1.200 kr./ton	
	Fossil	Biogen	Fossil	Biogen	Fossil	Biogen	Fossil	Biogen	Fossil	Biogen
Affaldsforbrænding	0,4	2,4	0,2	1,4	0,3	2,1	0,4	2,1	0,4	2,1
Fjernvarme	0,1	6,4	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	1,9	0,0	1,9
Industri	3,4	0,8	0,0	0,0	0,1	0,2	2,4	0,8	2,4	0,8
Biogasopgradering	0,0	1,3	0,0	1,3	0,0	1,3	0,0	1,3	0,0	1,3
<b>Sum</b>	<b>3,9</b>	<b>11,0</b>	<b>0,2</b>	<b>2,8</b>	<b>0,4</b>	<b>3,9</b>	<b>2,8</b>	<b>6,1</b>	<b>2,8</b>	<b>6,1</b>
<b>Total</b>	<b>14,9</b>		<b>3,0</b>		<b>4,3</b>		<b>8,9</b>		<b>8,9</b>	

Fordelingen af fangspotentialet i Tabel 2 opgøres efter en øvre grænse for fangstomkostningerne. Til sammenligning vurderes omkostningerne til transport mellemlagring og lagring i undergrunden at udgøre i omegnen af 200-600 kr./ton afhængig af punktkildernes beliggenhed, transportformer, lagerets udnyttelse og en række antagelser. I dette notat er potentialet indledningsvist opgjort for øvre grænser på hhv. 600, 800, 1.000 og 1.200 kr./ton, jf. tabellen.

## Geografisk fordeling af punktkilder

De forskellige punktkilder til CO<sub>2</sub> ligger spredt ud over landet efter forskellige trends: Affaldsforbrændinger og fjernvarmeanlæg ligger fx omkring større byer, mens biogasopgraderingsanlæg typisk ligger på landet. Figur 16 viser fordelingen af punktkilder for de fire sektorer behandlet i dette notat.



Figur 16 CO<sub>2</sub>-punktkilder for de fire opgjorte sektorer i 2040. Kilde: Energistyrelsen

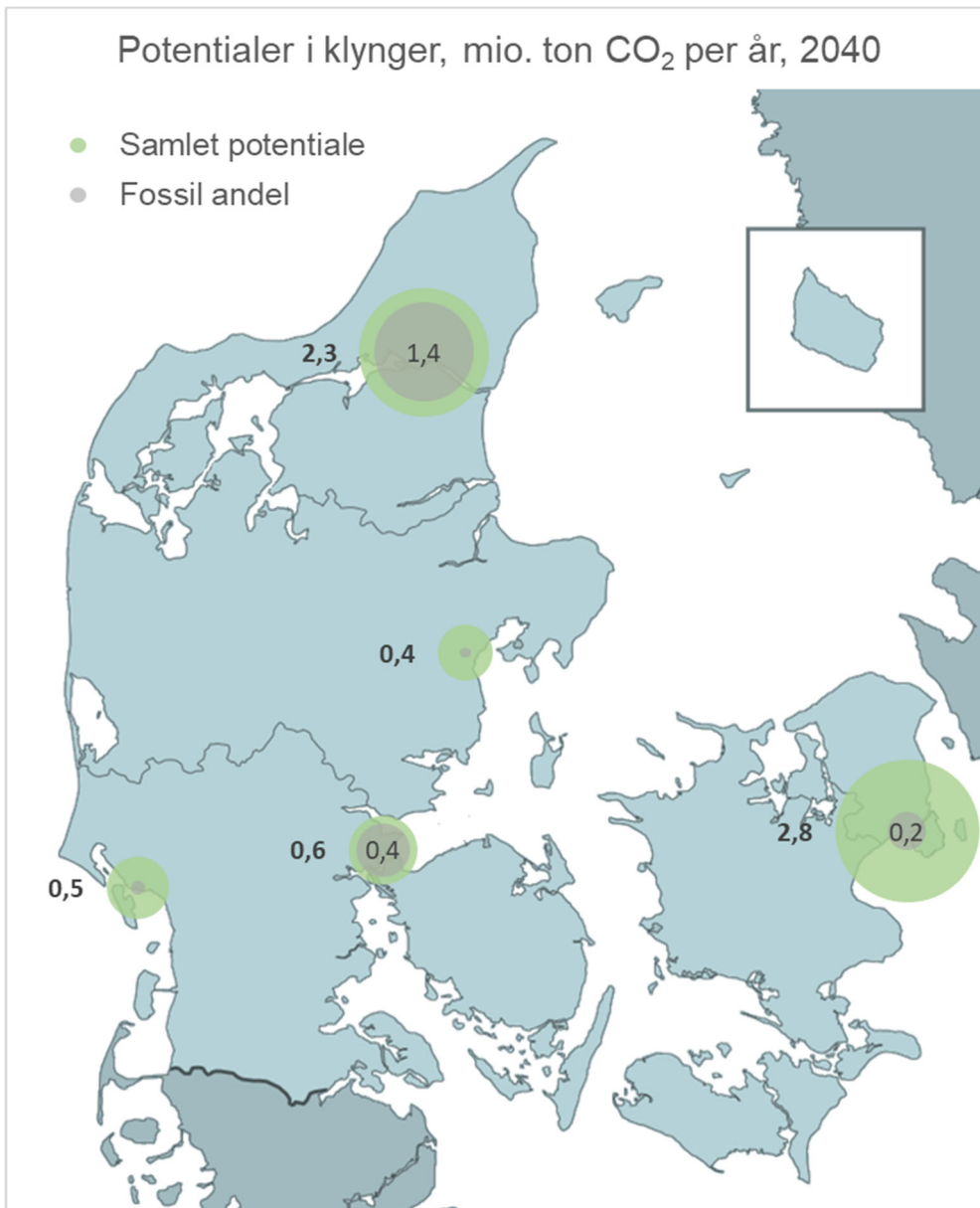
De store punktkilder i fremtiden er koncentreret omkring store og større byer. Dette kommer særligt af, at affaldsforbrænding og de største fjernvarmeproducenter udgør hovedparten af potentialet, og at disse anlæg normalt er placeret i eller i nærheden af de byer, de servicerer.

På denne baggrund, er det høje skøn for fangspotentialet opgjort for fem forskellige geografiske områder centreret omkring København, Aalborg, Aarhus, Esbjerg og Fredericia. Dette fremgår af Tabel 3 nedenfor. For hvert område er udledningerne fra de største udledere (særligt affaldsforbrænding og store kraftvarmeanlæg) opgjort. Udledningerne fra de enkelte virksomheder aggregeres af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne. Opgørelserne er særligt følsomme over for fremtiden for de biomassefyrede kraftvarmewærker, som forventes delvist udfaset gennem perioden, men som potentielt kan opnå forbedret

driftsøkonomi, hvis der gives økonomiske incitamenter til CCS. Herunder vises de øvrige udledninger i potentialeopgørelsen i nærheden af de store punktkilder aggregeret for hver sektor. Disse opgørelser er behæftet med betydelig usikkerhed, og afhænger af de valgte transportafstande for punktkilder i oplandet. Figur 17 viser en geografisk fremstilling af punktkilderne, som er indeholdt i de fem klynger i Tabel 3.

*Tabel 3 Fangstpotentialer for punktkilder fordelt i geografiske områder. Skønnene er behæftet med stor usikkerhed, da de afhænger af de valgte transportafstande. Summen er mindre end summen af de enkelte klynger, da der er overlap mellem oplandet til Esbjerg og Fredericia.*

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Storkøbenhavn	4,3	3,1	2,8	3,7	2,8	2,6	0,6	0,3	0,2
Nordjylland	2,1	2,2	2,3	0,6	0,8	0,9	1,6	1,3	1,4
Århus	1,6	0,6	0,4	1,5	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0
Esbjerg	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,0	0,0
Fredericia	0,8	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4
<b>Sum</b>	<b>9,3</b>	<b>7,0</b>	<b>6,7</b>	<b>6,6</b>	<b>4,9</b>	<b>4,7</b>	<b>2,7</b>	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>



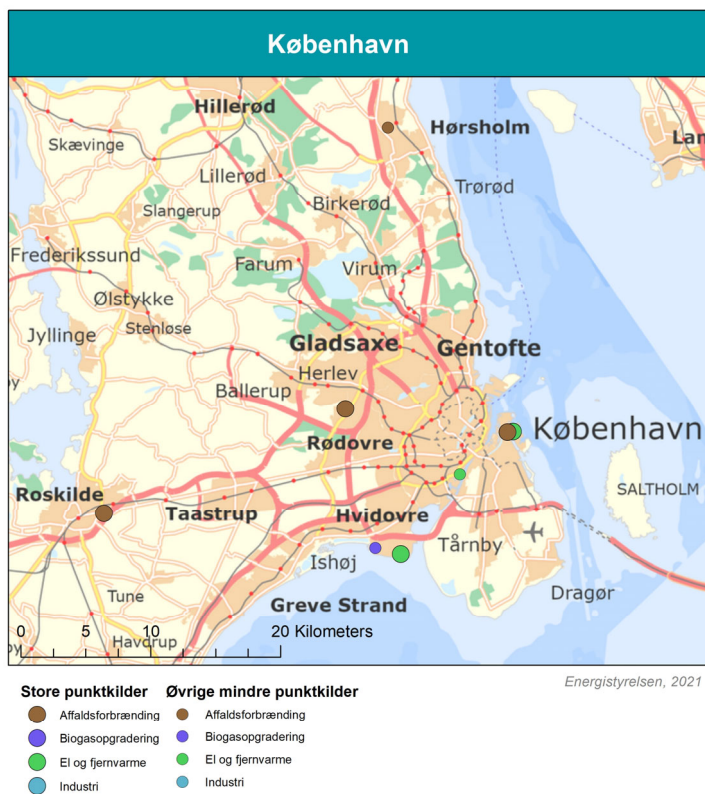
Figur 17 Geografisk fremstilling af de fem identificerede klynger fra Tabel 3. Størrelsen af den grønne cirkel angiver den samlede udledning i klyngen i 2040, mens den grå cirkel viser den andel, der stammer fra fossile brændsler og procesudledninger.

Tallene er udspecificeret for de enkelte geografiske områder i det følgende.

### Storkøbenhavn

Samlingen af store CO<sub>2</sub>-udledere omkring København vurderes i 2040 at omfatte Amager Ressourcecenter (ARC), Vestforbrænding, Amagerværkets Blok 4, Avedøreværket og ARGO i Roskilde. Ud over disse store punktkilder indeholder klyngen få mindre anlæg, afhængig af hvilken afstand der lægges til grund. Udlederne er illustreret i Figur 18 og potentialet er vist i

Tabel 4. Avedøreværket er medtaget, selvom værket i denne opgørelse vurderes at have for få årlige fuldlasttimer i 2040 til, at CO<sub>2</sub>-opsamling vil være rentabel og anlægget ikke forventes at være i drift efter 2040, jf. Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet. Denne vurdering er dog særdeles usikker, og værket er derfor medtaget her. Det er derfor væsentligt at være opmærksom på, at eventuelle CCUS-anlæg knyttet til Avedøreværket kan medføre, at der udledes og fanges CO<sub>2</sub> fra anlægget som alternativt ville have væsentligt færre driftstimer eller være helt lukket. Det samme gør sig principielt gældende for andre anlæg.



Figur 18 Overblik over punktkilder i Storkøbenhavn. Kilde: Energistyrelsen.



Tabel 4 Fangstpotentialer for store og små punktkilder omkring Storkøbenhavn. Der er anvendt samme skæringspunkter vedr. størrelser og antal fuldlasttimer som for sektoropgørelserne i øvrigt. Udledningerne fra de enkelte virksomheder er aggregeret af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne.

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Store udledere	4,3	2,9	2,7	3,7	2,6	2,5	0,6	0,3	0,2
- Amager									
Ressourcecenter									
- Vestforbrænding									
- Amagerværket, Blok 4									
- Avedøreværket									
- ARGO									
Øvrige mindre udledere									
- Affaldsforbrænding	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
- El og fjernvarme	0,0	0,1	0,0	0	0,1	0	0,0	0,0	0,0
- Industri	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
- Biogasopgradering	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sum</b>	<b>4,3</b>	<b>3,1</b>	<b>2,8</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>

Noter.:

<sup>1</sup>: Avedøreværket forventes at have for få driftstimer fremover til at være inkluderet i det samlede potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark. Anlægget er medtaget i denne klyngeangivelse, eftersom det også indgår i C4-samarbejdet i Hovedstadsområdet<sup>14</sup>.

### Nordjylland

Landets største CO<sub>2</sub>-udleder er placeret i Aalborg nær ved Nordjyllandsværket og affaldsforbrændingen Reno Nord. Hertil kommer en række mindre punktkilder i oplandet til Aalborg. Dette giver grundlag for en klynge, som vist i tabellen nedenfor. Udlederne er illustreret i Figur 19 og potentialet er vist i Tabel 5.

Nordjyllandsværket er ikke medtaget i opgørelsen, da det ikke vurderes rentabelt at etablere CO<sub>2</sub>-fangst på anlægget. Årsagen er, at ejerne, Aalborg Forsyning har meldt ud, at Nordjyllandsværkets drift udfases gradvist og ophører endeligt med udgangen af 2028.

<sup>14</sup> C4 er et samarbejde mellem store punktudledere og øvrige CCS-interessenter i Hovedstadsområdet: <https://a-r-c.dk/c4/>.



Figur 19 Overblik over punktkilder i Nordjylland. Kilde: Energistyrelsen.

Tabel 5 Fangstpotentiale for store og små punktkilder i Nordjylland. Der er anvendt samme skæringspunkter vedr. størrelser og antal fuldlasttimer som for sektoropgørelserne i øvrigt. Udlledningerne fra de enkelte virksomheder er aggregeret af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne.

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
<b>Store udledere</b>	1,9	1,9	1,9	0,4	0,5	0,6	1,5	1,3	1,3
- Aalborg Portland									
- Reno Nord									
<b>Øvrige mindre udledere</b>									
- Affaldsforbrænding	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- El og fjernvarme	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
- Industri	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
- Biogasopgradering	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>Sum</b>	<b>2,1</b>	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>

## Århus og omegn

I Århus forventes Studstrupværket, Lisbjerg Kraftvarmeanlæg og Affaldscenter Aarhus at være i drift frem mod 2040. Studstrupværket er medtaget, selvom værket i denne opgørelse vurderes at have for få årlige fuldlasttimer i 2040 til, at CO<sub>2</sub>-opsamling vil være rentabel og anlægget ikke forventes at være i drift efter 2040, jf. Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet. Denne vurdering er dog særdeles usikker, og værket er derfor medtaget her. Det er derfor væsentligt at være opmærksom på, at eventuelle CCUS-anlæg knyttet til Studstrupværket kan medføre, at der udledes og fanges CO<sub>2</sub> fra anlægget som alternativt ville have væsentligt færre driftstimer eller være helt lukket. Det samme gør sig principielt gældende for andre anlæg.

Hertil kommer en række mindre anlæg i oplandet samt i Randers. Udlederne er illustreret i Figur 20 og potentialet er vist i Tabel 6.



Figur 20 Overblik over punktkilder i Aarhus og omegn. Kilde: Energistyrelsen.

Tabel 6 Fangstpotentialer for store og små punktkilder omkring Aarhus og Randers. Der er anvendt samme skæringspunkter vedr. størrelser og antal fuldlasttimer som for sektoropgørelserne i øvrigt. Udledningerne fra de enkelte virksomheder er aggregeret af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne.

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Store udledere	1,5	0,5	0,3	1,4	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0
- Studstrupværket									
- Lisbjerg									
Kraftvarmeværk									
- Affaldscenter Aarhus									
Øvrige mindre udledere									
- Affaldsforbrænding	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- El og fjernvarme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Industri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Biogasopgradering	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
<b>Sum</b>	<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

Noter:

<sup>1</sup>: Studstrupværket forventes at have for få driftstimer fremover til at være inkluderet i det samlede potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark. Anlægget er dog medtaget i denne klyngeangivelse, da der ikke er konkrete udmeldinger om lukning.

<sup>2</sup>: Der eksisterer en produktionsvirksomhed i området, der – som følge af de generelle fremskrivninger i KF21 - antages at elektrificere sit brændselsforbrug. Der er dog ikke foretaget en virksomhedsspecifik vurdering, og dermed kan potentialet være undervurderet med ca. 50.000 ton CO<sub>2</sub> per år.

## Esbjerg

Esbjerg havn kan potentielt udgøre udskibningssted for CO<sub>2</sub> til lagring i Nordsøen. Samtidig ligger affaldsforbrændingen Energnist i Esbjerg, og Esbjergværket forventes erstattet bl.a. af en større biomassefyret kedel. Hertil kommer en række store biogasopgraderingsanlæg i Sydjylland mv. Udlederne er illustreret i Figur 21 og potentialet er vist i Tabel 7.



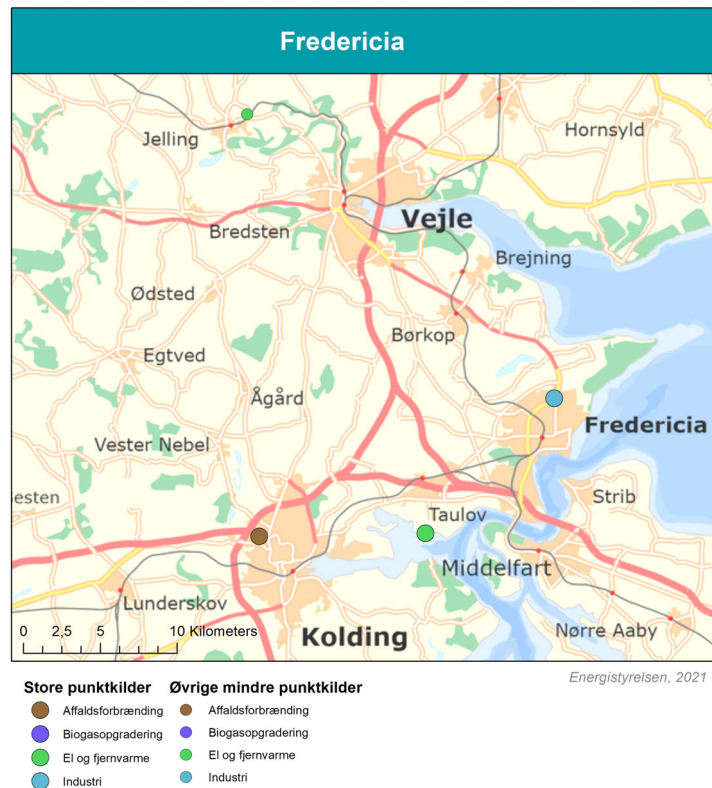
Figur 21 Overblik over punktkilder i Esbjerg og omegn. Kilde: Energistyrelsen.

*Tabel 7 Fangspotentialer for store og små punktkilder omkring Esbjerg. Der er anvendt samme skæringspunkter vedr. størrelser og antal fuldlasttimer som for sektoropgørelserne i øvrigt. Bemærk betydeligt overlap med opgørelsen for området omkring Fredericia. Udledningerne fra de enkelte virksomheder er aggregeret af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne.*

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Store udledere	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0
- Energnist, Esbjerg									
- Ny fliskedel, Esbjerg									
Øvrige mindre udledere									
- Affaldsforbrænding	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- El og fjernvarme	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
- Industri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Biogasopgradering	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
<b>Sum</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

### Fredericia og Trekantsområdet

I Trekantsområdet findes Shells raffinaderi i Fredericia, Skærbækværket og Energnists affaldsforbrænding i Kolding. Hertil kommer en række store biogasopgraderingsanlæg i Sydjylland. Bemærk, at der er overlap mellem oplandet til Esbjerg og Fredericia. Udlederne er illustreret i Figur 22 og potentialet er vist i Tabel 8. Skærbækværket er medtaget, selvom værket i denne opgørelse vurderes at have for få årlige fuldlasttimer i 2040 til, at CO<sub>2</sub>-opsamling vil være rentabel og anlægget derfor ikke regnes med i det samlede nationale potentiale i denne analyse. Det er derfor væsentligt at være opmærksom på, at eventuelle CCUS-anlæg knyttet til Skærbækværket kan medføre, at der udledes og fanges CO<sub>2</sub> fra anlægget som alternativt ville have væsentligt færre driftstimer. Det samme gør sig principielt gældende for andre anlæg.



Figur 22 Overblik over punktkilder i Fredericia og omegn. Kilde: Energistyrelsen.

Tabel 8 Fangstpotentialer for store og små punktkilder omkring Fredericia og trekantsområdet. Der er anvendt samme skæringspunkter vedr. størrelser og antal fuldlasttimer som for sektoropgørelserne i øvrigt. Bemærk overlap med opgørelsen for området omkring Esbjerg. Udledningerne fra de enkelte virksomheder er aggregeret af hensyn til potentielt kommerciel følsomhed af oplysningerne.

	Samlede udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Biogene udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år			Fossile udledninger, mio. ton CO <sub>2</sub> /år		
	2025	2030	2040	2025	2030	2040	2025	2030	2040
Store udledere	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4
- Shell Raffinaderiet									
- Skærbækværket									
- Energnist, Kolding									
Øvrige mindre udledere									
- Affaldsforbrænding	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- El og fjernvarme	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Industri	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- Biogasopgradering	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sum</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>

Noter:

<sup>1</sup>: Skærbækværket forventes at have få driftstimer fremover til at være inkluderet i det samlede potentiale for CO<sub>2</sub>-fangst i Danmark. Anlægget er dog medtaget i denne klyngeangivelse, da der ikke er konkrete udmeldinger om lukning.



## Bilag 1 – Metode

Opgørelserne i dette notat tager udgangspunkt i Energistyrelsens Klimastatus og – Fremskrivning 2021 (herefter KF21). Dette produkt indeholder en såkaldt *frozen policy* fremskrivning af hele energisystemet – det som tidligere var kendt som Energistyrelsens basisfremskrivning. Fremskrivningen kortlægger, hvordan energisystemet forventes at udvikle sig frem til 2030 i fravær af ny politik, og anvendes således som baseline-forløb for effektivurderinger af politiske tiltag mv. Af samme årsag rækker KF21 derfor også kun frem til 2030.

Opgørelserne i denne analyse rækker frem til 2040, hvilket er nødvendigt, da de investeringer, der foretages i anlæg til CO<sub>2</sub>-opsamling må forventes at eksistere minimum 20 år frem. Tilgangen til fremskrivningen varierer mellem de behandlede sektorer, og er beskrevet herunder.

Udledninger fra affaldsforbrænding samt fra el- og fjernvarmeproduktion i dette notat er aggregeret efter sektorer på en anden måde end i KF21. Derfor kan de opgjorte udledninger fra disse sektorer ikke genfindes direkte i KF21. Hertil kommer at rene kondensværker (elproduktion uden samtidig varmeproduktion) ikke er medtaget i denne opgørelse, da disse anlæg kun har få årlige driftstimer og derfor ikke er relevante for CO<sub>2</sub>-fangst.

### Affaldsforbrænding

Kapaciteten og produktionen i affaldsforbrændingssektoren er fremskrevet i KF21 frem til 2030, på baggrund af dels et fald i den årlige miljøgodkendte kapacitet til affaldsforbrænding på de 23 nuværende dedikerede og multifyrede affaldsforbrændingsanlæg, og dels en forventet stigning i udsortering af særligt plastaffald til genanvendelse. Udviklingen baseres derudover på forventede løbende nedlukninger af en række ældre udslidte ovnløser, samt yderligere nedlukning af kapacitet og implementering af virkemidler som følge af Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi. Fra 2030 til 2040 er udviklingen forlænget med tilsvarende frozen policy-antagelser.

### El- og Fjernvarmeproduktion

Kapaciteten og produktionen i el- og fjernvarmesektoren er fremskrevet i KF21 frem til 2030 ved hjælp af modellen DH-Invest på baggrund af brændselspriser, teknologikataloger, samt gældende afgifter og regulering. Fra 2030 til 2040 er udviklingen forlænget med tilsvarende frozen policy-antagelser samt en yderligere vurdering af lukninger og erstatning af forældet kapacitet i perioden 2030 til 2040.

### Industri

Industrivirksomheder repræsenteres med en enkelt undtagelse ikke separat i KF21. Opgørelsen bygger derfor på oplysninger fra kvoteregisteret for CO<sub>2</sub>-udledninger fra de 30 største kvoteomfattede industrielle punktudledere i Danmark. Disse er fremskrevet med udviklingen i sammensætning af brændselsforbrug i delbrancher





ifølge KF21, hvilket bl.a. omfatter udviklingen i aktivitetsniveau (vækstforløb) og energieffektivisering/elektrificering. Dertil indgår virksomhedsspecifikke vurderinger, som f.eks. Nordic Sugars og Rockwools omlægning til naturgas. Aalborg Portlands omlægning til naurgas er ikke en del af KF21 grundforløbet. Fremskrivningen fra 2030 til 2040 er baseret på en forlængelse af udviklingen i KF21 frem til 2040. Forlængelsen frem mod 2040 er ikke en del af den konsoliderede fremskrivning, og er derfor forbundet med væsentlig usikkerhed.

### Biogasopgradering

KF21 indeholder en fremskrivning af biogasproduktionen på eksisterende anlæg med biogasopgradering frem til 2030. Disse anlæg vurderes at have en samlet produktion på omkring 28,9 PJ i 2030. Hertil kommer en yderligere produktion på ca. 11,7 PJ i 2030 fra overståede og kommende udbud, herunder udbuddene til biogas og andre grønne gasser fra 2022/2023. CO<sub>2</sub>-udledningerne fra både eksisterende og kommende produktion er beregnet på baggrund af fangsteffektiviteter fra Energistyrelsens teknologikatalog. Frem mod 2040 fastholdes produktionen og udledningerne, dog med et mindre dyk i produktionen som følge af ophør af støtte for de ældste anlæg tidligt i perioden.

### Off-shore

Olie- og gasudvinding på Nordsøen beskrives i KF21 frem til 2030. Den videre fremskrivning til 2040 udgør en forlængelse af tendensen frem mod 2030. Der er ikke foretaget en opdeling på de enkelte punktkilder i sektoren.

### Afgrænsning af potentialet

Fra fremskrivningen beskrevet ovenfor opnås de samlede udledninger for de forskellige sektorer i 2025, 2030 og 2040. Ikke alle disse udledninger vil kunne opsamles i praksis. Derfor afgrænses potentialet på følgende måde:

Først og fremmest kan typiske anlæg til CO<sub>2</sub>-fangst i dag kun opsamle omkring 90 pct. af CO<sub>2</sub>-indholdet i røggas. Derfor nedskrives potentialerne for alle sektorer på nær biogasopgradering med 10 pct. Herefter baseres det øvre skøn for fangstpotentialet ift. punktkildernes størrelse for hver sektor, og det nedre skøn beror på en følsomhedsvurdering for de enkelte sektorer.

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

Omkostningerne til opsamling er beregnet for de enkelte anlæg i analysen på baggrund af den årlige CO<sub>2</sub>-udledning og et fremskrevet eller antaget antal fuldlasttimer (for biogas antages 8.500 fuldlasttimer, for industrivirksomheder antages 7.000 fuldlasttimer, jf. dog nedenfor. For el- og fjernvarmeproduktion samt affaldsforbrænding er den årlige driftstid fremskrevet som i KF21. Der tages udgangspunkt i Energistyrelsens teknologikatalog mht. fangstteknologier samt en række antagelser, bl.a. mht. rente, el- og varmepriser mv. På den baggrund beregnes omkostninger til etablering, drift og vedligehold (fast og variabel) samt energitab på anlægget og anvendelse af inputenergi.



### **Energiinput og -tab**

Fangst af CO<sub>2</sub> fra punktkilder anvender inputenergi i form af mellemtemperatur varme. På kraftvarmeanlæg som biomasseanlæg og affaldsforbrænding forventes dette input at komme fra lavtryksdamp turbinen. Dette sænker elproduktionen på anlægget markant, og der vurderes at være tale om tab af el- og varmeproduktion på hhv. 15-50 pct. og 15-30 pct. afhængig af typen af anlæg mv. Der er indregnet skøn for omkostningerne til dette. Ændringen i output fra anlægget vurderes dog også at kunne få betydning for anlæggenes driftsmønster, hvilket potentielt kan medføre yderligere tab. Disse er ikke medregnet i denne opgørelse, hvilket betyder, at estimerne skal læses konservativt – særligt mht. kraftvarmeanlæg og affaldsforbrænding.

Det antages i øvrigt, at overskudsvarmen fra fangstanlægget ikke udnyttes til fjernvarme, hvilket vurderes at ville være tilfældet nogle steder. Dette rykker dog ikke markant ved resultatet.

### **Industrialnæg**

Der er begrænset viden om driften af industrialnæg og meget stor usikkerhed om fremskrivningen af denne type anlæg. Opgørelsen omfatter 10 virksomheder, som alle udgøres af enten fødevarer virksomheder eller energiintensive virksomheder (stål, cement, raffinaderi, tegl). Alle disse virksomheder vurderes at drifte i skiftehold og dermed have høje antal af fuldlasttimer (7.000). Undtagelsen er en indeholdt sukkerfabrik, som driftes i årlige kampagner. Her antages 2.500 årlige fuldlasttimer. Hertil kommer, at industrivirksomheder vurderes, at have betydeligt højere forrentningskrav end de fleste aktører i forsyningssektoren. Der er således regnet med interne forrentningskrav (WACC) på 10 pct. for industrivirksomheder i modsætning til de 3,5 pct. der antages for affaldsforbrænding, el- og fjernvarmeproduktion og biogasopgradering.