



Opgørelse af tekniske reduktionspotentialer frem mod 2030

Kontor/afdeling

Center for Systemanalyse

Dato

29-09-2021

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	3
2. Tekniske reduktionspotentialer i Klimaprogram 2021	5
2.1. Overordnet metode og forbehold	7
2.2. Kriterier for opstilling af reduktionspotentialer	7
3. Husholdninger	9
3.1. Metode.....	9
3.2. Resultater (input til Tabel 1)	9
3.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	10
3.4. Refleksion.....	10
4. Erhverv	11
4.1. Metode.....	11
4.2. Resultater (input til Tabel 1)	12
4.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	13
4.4. Refleksion.....	14
5. Transport.....	15
5.1. Metode.....	16
5.2. Resultater (input til Tabel 1)	20
5.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	20
5.4. Refleksion.....	21
6. Produktion af brændstoffer	22
6.1 Nordsøen.....	22
6.2. Raffinaderier	23
6.3. Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	24
7. Affald	26
7.1. Metode.....	26
7.2. Resultater (input til Tabel 1)	26
7.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	26

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

T: +45 3392 6700

E: ens@ens.dk

www.ens.dk



7.4. Refleksion.....	27
8. Landbrug og skov	28
8.1. Metode.....	28
8.2. Resultater (input til Tabel 1)	28
8.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	32
8.4. Refleksion.....	32
9. Optag – CCS og DAC	33
9.1. Metode.....	33
9.2. Resultater (input til Tabel 1)	34
DAC	34
9.3. Overlap mellem reduktionspotentialer.....	34
9.4. Refleksion.....	35
10. Effekter på systemniveau.....	36



1. Indledning

Det følger af Klimaloven, at Klimaprogrammet skal indeholde en anskueliggørelse af, hvordan regeringen vil realisere 70 pct.-målsætningen i 2030. Med dette baggrundsnotat gennemgås de enkelte teknologier, der rent teknisk vil kunne bidrage til CO₂-reduktioner inden 2030.

Der arbejdes i dette notat med såkaldte "tekniske reduktionspotentialer" af drivhusgasser. Dette dækker over den teknisk muligt realiserbare reduktion i 2030 ved de enkelte teknologier¹ under hensynstagen til tidsmæssige og tekniske begrænsninger. Reduktionspotentialerne dækker således ikke økonomiske, virkemiddelmæssige eller politiske begrænsninger for realisering af potentialerne, men forholder sig til den tidsmæssige indfasning af teknologierne.

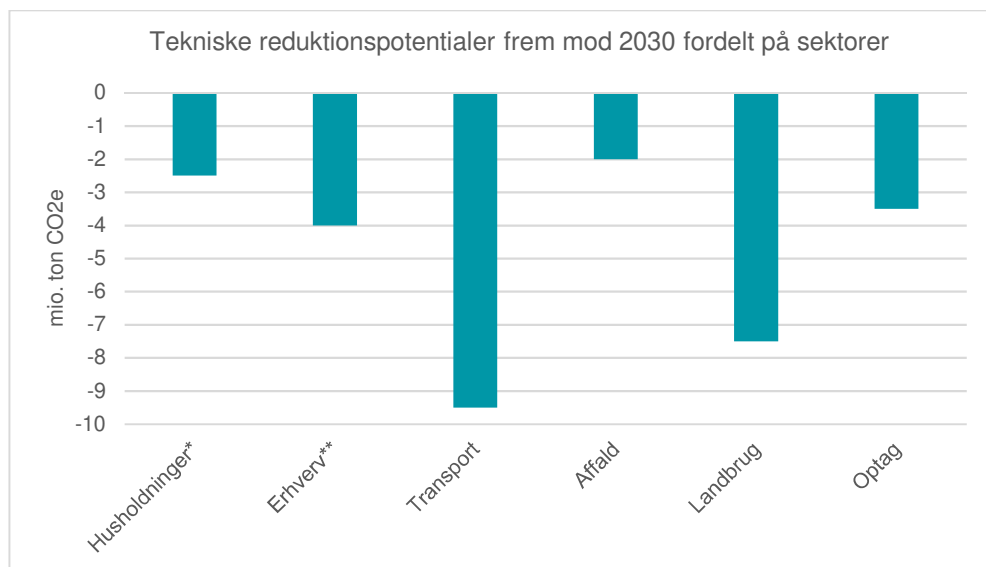
De tekniske reduktionspotentialer i Klimaprogrammet er potentialer *ud over* de forventede reduktioner på baggrund af eksisterende tiltag som fremskrevet i Energistyrelsens *Klimastatus og -fremskrivning 2021* (KF21). Reduktionspotentialerne her i notatet kræver *yderligere* indsatser (tiltag, virkemidler, mm.), før de kan forventes helt eller delvist indfriet.

Teknologiernes tekniske reduktionspotentialer opgøres for de sektorer, som teknologierne i udgangspunktet hører hjemme i. Visse tekniske reduktionspotentialer forventes dog at have overlap (både negative og positive) med andre sektorer eller teknologier. Disse overlap er der forsøgt taget højde for i summerne på sektorniveau (se Tabel 1). Dertil kan nævnes, at hvis initiativer i en sektor betyder, at der frigøres opgraderet biogas til brug *uden for* sektoren, så vil drivhusgasreduktionen knyttet til denne brug blive henregnet til den pågældende sektor (selvom selve reduktionen altså sker uden for sektoren).

De skønnede tekniske reduktionspotentialer, der kan bidrage til opfyldelse af 70 pct.-målsætningen, opsummeres på sektorniveau i nedenstående diagram. Det bemærkes, at der ikke er taget højde for overlap sektorerne imellem.

¹ Begrebet teknologi anvendes i indværende notat som en samlebetegnelse for en række elementer, herunder eksempelvis CCS, Elektrificering i Nordsøen og Yderligere skovinitiativer.

Figur 1. Tekniske reduktionspotentialer på sektorniveau.



* Husholdninger, el og fjernvarme og biogas.

** Erhverv og produktion af brændstoffer

Figur 1 illustrerer reduktionspotentialer summeret for hver sektor. Summen for hver sektor er til illustrativt brug opgjort som gennemsnit af intervallerne for reduktionspotentialer angivet i Tabel 1 nedenfor.

2. Tekniske reduktionspotentialer i Klimaprogram 2021

Tabel 1 herunder viser de tekniske reduktionspotentialer i Klimaprogram 2021. Potentialerne er summeret på sektorniveau. Der er taget højde for, at der kan være overlap mellem de enkelte potentialer.

Tabel 1. Tekniske reduktionspotentialer på sektor- og teknologiniveau.

Sektor og teknologi	Reduktionspotentiale i 2030 mio. ton CO ₂ e
<i>Husholdninger, el og fjernvarme og biogas</i>	¹ 1 - 4
Husholdninger: Individuelle olie-/gasfyr til varmepumper/fjernvarme	0,1
Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering	0,1-0,2
CCS: El og fjernvarme og biogas ²	³ 0,8-3,3
Afledt systemeffekt: Frigjort opgraderet biogas	0,2
<i>Erhverv og produktion af brændstoffer</i>	¹ 2-6
Serviceerhverv: Individuelle olie-/gasfyr til varmepumper/fjernvarme	0,1
Energieffektivisering, procesenergi og intern transport i erhverv (ekskl. landbrug)	0,2
Elektrificering, procesenergi og intern transport i erhverv (ekskl. landbrug)	0,5
Konvertering til gas/PtX i direkte fyrede processer i erhverv (ekskl. landbrug)	0,7-0,9
Konvertering til biofuels/PtX i intern transport i bygge & anlæg og fremstilling	0,2-0,4
Energieffektivisering og brændselsskift på raffinaderier	0,05-0,4
Elektrificering i Nordsøen	0,3-0,6
CCS: Industri og raffinaderier	³ 0,1-3
Afledt systemeffekt: Frigjort opgraderet biogas	0,6-1
<i>Transport</i>	9-10
Elektrificering (og brint)	4
VE-brændstoffer (inkl. biobrændstoffer og PtX-brændstoffer)	8
<i>Affald</i>	1-3
Genanvendelse og reduktion af plastaffald	0,1-0,2
CCS: Affald	³ 0,6-2,5
<i>Landbrug</i>	7-8
Implementeringsspor i regeringsoplæg til <i>Grøn omstilling af landbruget</i>	1,8
Udviklingsspor i regeringsoplæg til <i>Grøn omstilling af landbruget</i>	5
Heraf Fodertilsætningsstoffer	1
Heraf Håndtering af gylle og gødning	1
Heraf Udvidet lavbundspotentiale	0,5
Heraf Fordobling af det økologiske areal	0,5
Heraf Brun bioraffinering som for eksempel pyrolyse	2
Landbrugets energirelaterede udledninger	
Konvertering til biofuels/PtX i intern transport i landbruget	0,3-0,5
Energieffektiviseringer i landbrugets procesenergi og interne transport	0,1
Elektrificering i landbrugets procesenergi og interne transport	0,3
<i>Optag</i>	3-4
Yderligere skovinitiativer	0,2
DAC (Direct Air Capture)	⁴ 3-4
Sum for CCS-potentiale på tværs af sektorer	3,5-8
Sum for PtX-potentiale på tværs af sektorer	9
I alt (inkl. implementeringsspor i regeringsoplæg til <i>Grøn omstilling af landbruget</i>)	⁵ 26-33
I alt (ekskl. implementeringsspor i regeringsoplæg til <i>Grøn omstilling af landbruget</i>)	⁶ 24-32



¹ Sektorpotentialer indeholder frigjort opgraderet biogas, der reelt reducerer CO₂ i en anden sektor

² Potentialer er afgrænset til kun at omfatte CCS fra el og fjernvarme og biogas. Evt. øvrigt reduktionspotentialer ved udfasning af fossil brændsel inden for el- og fjernvarme er ikke vurderet, da udledningen i 2030 på det område forventes af være meget lille (ca. 1 pct. af de samlede udledninger).

³ De høje skøn for sektorspecifikke potentialer for CCS tager ikke højde for de 0,9 mio. ton, der forventes som følge af CCS-indsatsen i *Klimaaf tale om energi, industri mv. 2020*, da det ikke vides, hvor disse reduktioner kan komme. De lave skøn er alle korrigeret for dette (ligesom det høje skøn i summen nævnt i tabellen). Det er muligt, at CCS ikke fuldt kan realiseres sammen med alle andre potentialer (da punktkilderne reduceres). CCS vurderes ikke at kunne realiseres fuldt ud samtidig med fuld PtX-produktion, uden at DAC også realiseres (for at sikre tilstrækkelige mængder CO₂ til både lagring og produktion af grønne brændstoffer).

⁴ Potentialer er afgrænset til at være baseret på et regneeksempel på, hvad der kan leveres af el fra en 1 GW havvindmøllepark

⁵ Summen på tværs af sektorer tager højde for overlap mellem potentialer, dog er der i det høje skøn ikke taget højde for de ovennævnte forbehold vedr. CCS. Dertil kommer, at der afhængig af gennemførelsen af potentialer kan opstå en situation, hvor der er et overskud af biogas, som der ikke er taget højde for i summen på tværs af sektorer.

⁶ Det samlede tekniske reduktionspotentialer eksklusiv implementeringsspor i regeringsoplæg til *Grøn omstilling af landbruget* er opgjort ved at trække 1,8 mio. ton CO₂e fra det samlede tekniske reduktionspotentialer inklusiv implementeringsspor, hvor der tages højde for afrundede tal.

2.1. Overordnet metode og forbehold

De tekniske reduktionspotentialer er alle skøn. Skønnene er behæftede med betydelig usikkerhed, hvad angår både størrelsen af de enkelte reduktionspotentialer og eventuelle overlap mellem potentialerne. Usikkerheden skyldes manglende data, der har medført forsimplede analyser og antagelser. Dertil kommer, at skøn for 2030 i alle tilfælde vil være behæftet med væsentlig usikkerhed, da der er tale om et fremtidigt år. Skønnene for de tekniske reduktionspotentialer kan dog give et billede af de tekniske og teoretiske muligheder for, i hvilken grad deres realisering vil kunne bidrage til at reducere drivhusgasudledninger.

Det er desuden muligt, at der kan forekomme teknologispring for teknologier, som ikke er berørt i dette notat, som potentielt kan lede til yderligere reduktioner. De bagvedliggende metodemæssige forudsætninger og antagelser for skønnene beskrives i underafsnittet "*Metode*" for hver sektor.

De estimerede reduktionspotentialer forholder sig ikke til konkrete virkemidler for at realisere potentialerne eller til afledte effekter.

2.2. Kriterier for opstilling af reduktionspotentialer

Reduktionspotentialerne er udvalgt og deres størrelser skønnet med afsæt i Energistyrelsens eksisterende viden tilvejebragt bl.a. gennem arbejdet med KF21. Metoden bag skønsangivelserne er beskrevet mere specifikt i de følgende afsnit.

Afgrænsningen for potentialerne er, hvad det maksimalt er *teknisk muligt* at realisere i 2030 udover, hvad der allerede indgår i KF21 (dvs. potentialerne er eksklusiv eventuelle reduktioner, der er indregnet i KF21). Skønnene er baseret på foreliggende vidensgrundlag. Vidensgrundlaget har forskellig karakter fra potentialer til potentialer og er beskrevet nærmere i de enkelte afsnit. Forskellighederne i samt forskellen i vidensgrundlag gør, at der ikke kan opstilles generelle kriterier for beregning af potentialer, dog kan følgende afgrænsninger nævnes:

- For nogle af de potentialer, som vedrører løbende indfasning af en teknologi fordelt på mange aktører (fx elbiler), gælder, at potentialer er valgt afgrænset



af den maksimale naturlige teknologiudskiftning (fx at nybilssalget er rammesættende for potentialet). Det betyder, at ekstreme omstillinger ikke indgår (fx forbud mod/påbud om en bestemt teknologi).

- For DAC er det teoretiske potentiale i princippet ubegrænset. Teknologien er dog fortsat under udvikling, og der må forventes at være en teknisk begrænsning for, hvor stor kapacitet der vil kunne etableres inden 2030. Til illustration af potentialet er der anvendt et regneeksempel.
- Reduktionspotentialet indeholder ikke opgørelse af evt. indirekte effekter i andre sektorer ved realisering af et bestemt potentiale, og da el og fjernvarme i 2030 er baseret på VE, regnes evt. øget el- og fjernvarmeproduktion som nul rent emissionsmæssigt. Dvs. at der i potentialerne ikke er taget højde for, at fx elektrificering vil kræve udbygning med el baseret på VE (fx vindmøller).

Der er tale om *tekniske* potentialer, dvs. det aktivitetsniveau i samfundet, som er antaget i KF21, er fastholdt, når skønnene er foretaget. Det betyder, at der ikke er set på reduktionspotentialer forbundet med fx adfærdsregulering.



3. Husholdninger

Husholdninger forventes i 2030 at udlede ca. 0,5 mio. ton CO₂e, hvoraf de 0,4 mio. ton CO₂e kommer fra opvarmning, jf. KF21. Udledninger af drivhusgasser fra husholdningerne er kendetegnet ved, at de primært kan relateres til *individuel* opvarmning (transport er medtaget under transportsektoren). Sektorens samlede udledninger vil derfor teknisk set over tid fuldt ud kunne elektrificeres.

Udledningerne fra opvarmning af erhvervsbygninger skønnes at udgøre 0,2 mio. ton CO₂ i 2030. Da der metodemæssigt er overensstemmelse mellem potentialeopgørelsen for individuel opvarmning i husholdninger og i erhverv dækker dette afsnit alle potentialer inden for individuel opvarmning (*både* husholdninger og erhverv).

Elektrificeringen af individuel opvarmning forventes allerede med nuværende rammevilkår at stige frem mod 2030 jf. KF21, hvor bl.a. bygningspuljen² mv. støtter konvertering fra fossile opvarmningskilder til bl.a. varmepumper. Stigning i antallet af varmepumper er allerede med til at øge efterspørgslen på kvalificerede installatører. Reduktionspotentialer i dette afsnit er *ud over* den reduktion, der er en del af forløbet i KF21.

3.1. Metode

Teknisk set kan alt fossilt forbrug til individuel opvarmning udfases, men det vurderes ikke realistisk i 2030. Mange olie- og gasfyr er forholdsvis nye, og en udfasning af alle disse inden 2030 vil betyde, at de skal skrottes inden, de er udtjent.

I beregningen af reduktionspotentialerne antages det, at alle nyinstallerede olie- og gasfyr, der indgik i KF21, erstattes med varmepumper og fjernvarme. Som nævnt er det for potentialerne forudsat, at et evt. øget forbrug af el og fjernvarme regnes som klimaneutralt i 2030 og derfor ikke påvirker reduktionspotentialer.

3.2. Resultater (input til Tabel 1)

Hvis der fra 2021 ikke installeres nye olie- og gasfyr i husholdningerne, vil det reducere de samlede danske udledninger fra opvarmning af boliger med 0,3 mio. ton CO₂. Heraf stammer 0,1 mio. ton CO₂ *direkte* fra de opgjorte udledninger fra husholdningerne. De resterende 0,2 mio. ton CO₂ er en afledt effekt på systemniveau, der skyldes frigørelsen af opgraderet biogas i ledningsgasnettet, som fortrænger fossil naturgas andre steder i det danske energisystem (svarende til, at realiseringen af potentialer medfører, at andelen af opgraderet biogas i ledningsgasnettet stiger). Som følge af den valgte metode, hvor fyrenes levetid er bestemmende for, hvor hurtigt udfasningen vil foregå, vil kun en del af de fyr, der er tilbage i 2030, blive udfaset. Frem mod 2035 vil en fortsættelse af udfasningen betyde, at stort set alle fyr konverteres.

Hvis der ligeledes ikke installeres nye olie- og gasfyr til opvarmning af erhvervsbygninger fra 2021, vil de samlede danske udledninger reduceres med 0,2 mio. ton.

² [Bygningspuljen](#) stammer fra Energiaftalen 2018 og er målrettet besparelser i energiforbruget i helårsboliger, herunder tilskud ved skift til varmepumper.

Heraf er 0,1 mio. ton CO₂ *direkte* knyttet til de opgjorte udledninger for opvarmning af erhvervsbygningerne. Den resterende del er, som nævnt for husholdningerne, en afledt effekt på systemniveau, der skyldes frigørelsen af opgraderet biogas, som fortrænger fossil naturgas andre steder i det danske energisystem.

3.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Opvarmning af husholdninger og erhvervsbygninger har ikke overlap til andre potentialer.

På systemniveau medfører den øgede udfasning af olie- og gasfyr et øget el- og fjernvarmeforbrug. En øget el- og fjernvarmeproduktion antages som nævnt CO₂-neutral i 2030. Reduktionen af gasforbruget fra udfasningen betyder, at der på systemniveau frigives mere opgraderet biogas, som kan bruges i andre sektorer. Dette er opgjort under afsnit 3.2.

3.4. Refleksion

At alle nye fyr ikke er baseret på fossilt brændsel er en forsimpning af potentialet. Til yderligere kvalificering af reduktionspotentialet kunne man opstille flere udviklinger, fx en endnu hurtigere udskiftning eller en langsommere udskiftning baseret på hvilke områder og hustyper det er mest realistisk ikke at forny med samme type fyr. Dertil kunne følsomhedsanalyser være med til at belyse usikkerheden af antagelserne.



4. Erhverv

I KF21 er erhvervslivet estimeret til at udlede 4,75 mio. ton CO₂e i 2030 (inkl. udledninger knyttet til energiforbrug i landbruget). Heraf stammer 0,2 mio. ton CO₂e fra individuel opvarmning i serviceerhverv (individuel opvarmning er medtaget under afsnittet om husholdninger).

Sektoren dækker over virksomheder, som producerer varer, der sælges til private eller andre virksomheder samt serviceerhverv (offentlig og privat service). Ift. *Erhverv og produktion af brændstoffer* i Tabel 1 afviger teksten i nærværende notat på følgende punkter:

- Energirelaterede udledninger i landbrug, gartneri og fiskeri er i tabellen opgjort separat under "Landbrug", men da der metodemæssigt er overensstemmelse med de øvrige opgørelser for erhverv, indgår landbrug, gartneri og fiskeri (estimeret til ca. 1,05 mio. ton CO₂e i 2030) her.
- Udledninger knyttet til produktion af brændstoffer (olie og gas, dvs. raffinerier og boreplatforme) er i tabellen opgjort under *Erhverv og produktion af brændstoffer*, men er i notatet behandlet separat (6. Produktion af brændstoffer) og indgår ikke i afsnit 4.

Effekten af den allerede igangværende energieffektivisering og elektrificering i erhvervene indgår i KF21. Således betyder bl.a. elektrificering, herunder varmepumper, og energieffektivisering i KF21 at udledningerne forventes at falde frem mod 2030. Reduktionspotentialet i dette afsnit er *ud over* det fald i udledninger, der er en del af forløbet i KF21.

Metode og resultater for erhvervslivets rumvarmeforbrug er beskrevet i afsnittet om husholdninger.

4.1. Metode

Potentialeopgørelsen for erhvervslivet baserer sig på de potentialevurderinger af de enkelte teknologier, som ligger til grund i Energistyrelsens IntERACT-model, der også anvendes i KF21. Konkret opgøres reduktionspotentialet som den resterende del af det fossile energiforbrug for de enkelte energitjenester, som ikke allerede er fortrængt af elektrificering, investeringer i rentable energibesparelser eller som følge af en øget mængde bionaturgas i ledningsgassen. Udover CCS (beskrives i afsnit 9) omfatter potentialerne energieffektivisering, elektrificering, brændselsskifte fra kul til gas og omstilling af industriens interne transport.

Potentialevurderingen for energieffektivitet er baseret på kortlægningen af energisparepotentialer i erhvervslivet³ udarbejdet af COWI for Energistyrelsen i 2015 samt Energistyrelsens egne beregninger og analyser. For så vidt angår potentialet for elektrificering, baserer dette sig bl.a. på teknologikataloget for procesvarme og Ener-

³ [Kortlægning af Energisparepotentialer i Erhvervslivet](#), COWI 2015. Kortlægningen er afgrænset af rentabilitet og ser dermed på et vist udsnit af det tekniske reduktionspotentiale.



gistryrelsens egne beregninger og analyser. Det bemærkes, at der kan være yderligere tekniske potentialer for direkte elektrificering, som ikke er fuldt afspejlet/medtaget/medregnet.

Herudover vil der for visse fremstillingsvirksomheder, hvor det ikke er teknisk muligt at elektrificere, være et yderligere potentiale for CO₂-reduktion gennem omstilling fra kul til ledningsgas eller PtX-gasser, særligt for cementproduktion. Der er også et lille potentiale for nyttiggørelse af alternative brændsler (fx affald) i produktionen. Det er dog ikke opgjort separat, da det overlapper med opgørelsen af øvrige brændselsskifter.

Metoden til at opgøre potentialet ved brændselsskifte i fremstillingsvirksomheder beror på en vurdering af det tekniske reduktionspotentiale ved konvertering fra faste brændsler til gas i direkte fyrede industriprocesser ud fra Energistyrelsens teknologikatalog for procesvarme samt Energistyrelsens egne beregninger. Derudover er der foretaget en grov vurdering af andelen af produktionsprocesser, der kan nå at omstille til gas i 2025/2030. Det nedre skøn for potentialet er opgjort i form af konvertering til ledningsgas og det øvre skøn for potentialet i form af konvertering til PtX-gasser. PtX-gasser er medtaget, da ledningsgas i 2030 fortsat indeholder en andel fossilt brændsel i form af naturgas.

Der vil desuden være et teknisk reduktionspotentiale gennem øget anvendelse af biomasse. Biomasse medtages ikke her i opgørelsen af potentialer, da det omfatter en række forbehold, herunder udledninger fra LUC⁴, der gør øget omlægning til biomasse mindre interessant.

Endelig udregnes et teknisk potentiale for omstilling af industriens interne transport, særligt landbrugets og byggeriets maskiner fra olie til biobrændsler og/eller PtX. Metoden er identisk med den anvendte metode for tung transport i afsnit 5. Omstillingen af fiskerbåde er medtaget sammen med skibsfart i afsnit 5 om transport.

4.2. Resultater (input til Tabel 1)

Jf. ovenstående metodebeskrivelse vurderes reduktionspotentialet i 2030 gennem energieffektiviseringer, elektrificering og brændselsskifte i erhvervslivet (inkl. landbrugets energirelaterede udledninger, men ekskl. energisektoren) at udgøre ca. 3-6 mio. ton CO₂ i forhold til KF21. Heraf er potentialet direkte i sektoren 2-5 mio. ton CO₂ (herunder op til 3 mio. ton fra CCS⁵), mens de resterende 0,6-1 mio. ton CO₂ er en afledt effekt på systemniveau, der skyldes frigørelsen af opgraderet biogas i ledningsgasnettet, som fortrænger fossil naturgas andre steder i det danske energisystem.

⁴ Ændringer i arealanvendelse (Land-Use Change), herunder fældnings af skov.

⁵ Carbon Capture and Storage



Det samlede reduktionspotentiale gennem elektrificering og energieffektivisering i forhold til KF21 forventes at udgøre ca. 30-35 pct. af de tilbageværende energirelaterede udledninger i fremstillingserhverv og bygge- og anlægsbranchen i 2030 på ca. 2,1 mio. ton CO₂.

Det fulde reduktionspotentiale gennem **elektrificering** af procesenergi i fremstillings- erhverv og bygge- og anlægsbranchen, indgår i Energistyrelsens modeller. Det forventes i 2030, at ca. 50 pct. af det samlede potentiale for reduktioner i indirekte lav- og mellemtemperatur procesvarme kan realiseres gennem omstilling til procesvarmepumper. Herudover er der et teknisk potentiale for elektrificering via omstilling til elkedler. Udledninger fra indirekte lav- og mellemtemperatur procesvarme ventes i 2030 at udgøre ca. 20 pct. af de samlede udledninger i erhvervslivet og ca. 2/3 af det samlede reduktionspotentiale gennem elektrificering. Elektrificering af lav- og mellemtemperatur procesvarme udgør ca. 65 pct. af det samlede reduktionspotentiale gennem elektrificering (beregnet ved ledningsgas som i KF21 i 2030, dvs. 28 pct. fossil naturgas).

Det er også i lav- og mellemtemperatursegmentet, at det vurderes, at der er størst potentiale for reduktioner gennem **energieffektiviseringer**. Således forventes det tekniske reduktionspotentiale at udgøre ca. halvdelen af det samlede reduktionspotentiale. Herudover forventes også et reduktionspotentiale gennem effektiviseringer af højtemperatursegmentet (15 pct. reduktion) samt intern transport (35 pct. reduktion).

Endvidere kan der være et teknisk elektrificeringspotentiale for maskiner i bygge- og anlægsbranchen gennem elektrificering af byggepladser samt implementering af batteridrevne entreprenørmaskiner.

4.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Det enkelte reduktionspotentiale er opgjort uden hensyntagen til overlap med andre potentialer. Der vil være betydelige overlap mellem reduktionspotentialerne for så vidt angår elektrificering gennem konverteringer til eksempelvis varmepumper og energibesparelser, da de vil kunne reducere samme fossile forbrug. Samtidig vil konvertering til mere energieffektive teknologier, såsom varmepumper medføre energibesparelser.

For hele erhvervssektoren (dvs. inkl. energiforbrug i landbrug, men ekskl. raffinaderier og boreplatforme) skønnes det, at de enkelte reduktionspotentialer vil have et overlap svarende til ca. 0,4 – 0,9 mio. ton CO₂. Mellem energieffektiviseringer og elektrificering er der 0,1 mio. ton CO₂ overlap. Yderligere forventes et overlap på 5 pct. svarende til ca. 0,04 mio. ton CO₂ mellem energieffektivisering og konvertering fra kul, koks og petrokoks til ledningsgas. Overlap mellem elektrificering og konvertering til biobrændsler og/eller PtX i intern transport er estimeret til at udgøre 30 pct. for landbrug og 40 pct. for det resterende (bygge & anlæg og fremstilling) svarende til 0,2 – 0,3 mio. ton CO₂. Overlap mellem CCS og omstilling af direkte fyrede processer forventes at være betragtelig, da CCS er mest relevant inden for netop direkte

fyrede processer. I 2030 er overlappet estimeret til at udgøre mellem 0,1 – 0,45 mio. ton CO₂.

På systemniveau medfører den øgede udfasning af olie- og gaskedler et øget elforbrug. En øget el-produktion antages CO₂-neutral i 2030. Reduktionen af gasforbruget fra udfasningen betyder, at der på systemniveau bliver frigivet mere opgraderet biogas, som kan bruges i andre sektorer, selv efter konvertering fra kul, koks og petrokoks til ledningsgas. Dette er opgjort under afsnit 4.2.

4.4. Refleksion

Energistyrelsen har påbegyndt et arbejde med en industrianalyse (Grøn Industrianalyse), der skal undersøge potentialer og barrierer for omstilling af industrien. Det er forventningen, at der særligt for direkte procesenergi tilvejebringes ny viden omkring tekniske og økonomiske potentialer ved konverteringer til vedvarende energiformer. Energistyrelsen er også ved at igangsætte en ny kortlægning af energiforbruget og opgørelsen af besparelspotentialerne i produktionserhvervene⁶. Dette projekt, som forventes afsluttet i foråret 2022, vil skabe grundlag for en opdatering af disse potentialer.

Omfanget af teknisk mulig elektrificering af intern transport vurderes at være særligt usikker grundet manglende datagrundlag og kortlægning af potentialer for forskellige størrelser af entreprenørmaskiner. I forbindelse med Grøn Industrianalyse vil potentialet blive nærmere undersøgt.

⁶ Landbrug, skovbrug og gartneri, fiskeri, fremstillingsvirksomhed, bygge- og anlægsvirksomhed



5. Transport

Udledningerne fra transportsektoren forventes ifølge KF21 at udgøre ca. 11,5 mio. ton CO₂e i 2030 fordelt på transportmidler, hovedsageligt vejtransport, men også banetransport, indenrigs skibsfart og indenrigs luftfart. Voksende trafikarbejde modsvares af øget energieffektivitet, øget iblanding af VE-brændstoffer og voksende elektrificering, så samlet forventes udledningerne at falde frem mod 2030. Tankning af skibe og fly på internationale ruter regnes ikke med i de nationale udledninger og dermed heller ikke ift. 70 pct.-målsætningen. For jernbaner er der allerede en elektrificering i gang, som inden 2030 vil reducere anvendelsen af diesel til tog med op mod 75 pct. Dermed forventes udledningerne fra banetransporten reduceret til 0,1 mio. ton i 2030.

Realisering af reduktioner i transportsektoren kan fx ske gennem erstatning af fossile brændstoffer med VE-baserede drivmidler, fx el, brint, biobrændstoffer eller avancerede PtX-brændstoffer. Nogle af disse drivmidler, herunder el og brint, kræver nye køretøjer eller retrofit (ombygning/eftermontering) af motorer, mens andre, herunder flere bio- og PtX-brændstoffer, kan iblandes fossile brændstoffer. For lette køretøjer som personbiler og varebiler er en fuld elektrificering allerede i dag en mulighed, mens den tunge transport som shipping og flytrafik ikke ventes at kunne elektrificeres på den korte bane. For busser og lastbiler er der et vist potentiale, men ikke alle segmenter kan dækkes inden 2030.

Potentialerne for elektrificering begrænses af, hvor hurtigt biler eller skibe i den nationale flåde kan udskiftes. Det skyldes, at en omstilling afhænger af, hvornår forbrugere og virksomheder vælger at udskifte deres køretøjer, og om de vælger at skifte til fx. elbiler inden for de reguleringsmæssige rammer, der måtte være her for. Med en teknisk levetid for personbiler på over 15 år i gennemsnit, kan en fuld omstilling tage over 20 år.

Direkte anvendelse af brint i fx biler eller skibe vil have et noget lavere potentiale end elektrificering, da den globale produktion af transportmidler på brint fortsat er begrænset. I det omfang der sælges brintbiler mv., vil det blot reducere potentialet for elektrificering tilsvarende, derfor opgøres dette potentiale ikke eksplicit.

Det er teknisk muligt at erstatte al diesel i alle anvendelser inden for transportsektoren med PtX- eller biobrændstoffer (i bestemte varianter). For visse varianter af PtX-brændstoffer fordres dog også skift af transportmiddelteknologi (eller omstilling af motorer), hvorfor en indfasning vil strække sig over længere tid lige som for elektrificering.

For benzin er der pt. ikke alternative VE-brændstoffer på markedet, som kan erstatte benzin 1:1 (og der er heller ikke noget på trapperne). Derfor vurderes potentialet som gennemsnit at være begrænset til ca. 10 pct. iblanding.

For fly vil det ligeledes være muligt at anvende VE-brændstoffer i stedet for fossile brændstoffer.



5.1. Metode

De forskellige tilgange til at skabe reduktioner i udledninger fra transportsektoren, herunder elektrificering, anvendelse af biobrændstoffer og anvendelse af PtX-brændstoffer har overlappende, og i nogle tilfælde sammenfaldende, potentialer, men forskellige omkostninger.

Personbiler på el

Der er i dag godt 2,7 mio. personbiler i Danmark, heraf ca. 1 pct. rene elbiler. Den gennemsnitlige levetid for nye personbiler er 15-17 år, og den gennemsnitlige danske bil er ca. 9 år gammel. De sidste år er der solgt godt 220.000 nye biler årligt, og salget forventes at stige. Med den gældende regulering og forventninger til markedet for elbiler (priser, antal modeller mv.) forventes der i KF21 at være ca. 730.000 elbiler (inkl. plug-in hybridbiler) i 2030. Hvis alle nye biler fra 2022 er rene elbiler, forventes det, at der i 2030 vil være godt 1,8 mio. elbiler. Det vil sige, at et yderligere teknisk maksimalt potentiale for solgte elbiler er ca. 1 mio. stk. (eller 1,2 mio. rene elbiler, da der også vil være et skift fra plug-in hybridbiler til rene elbiler) og en CO₂e-reduktion på ca. 3 mio. ton ift. KF21.

Brintbiler

Det antages, at brintbiler, i det omfang disse vinder indpas, blot vil reducere potentialet for elbiler tilsvarende (dette gælder både for person-, vare- og lastbiler samt busser). Pt. er den globale produktion og antallet af modeller begrænset. Dertil kommer, at bilerne er væsentligt dyrere end elbiler. Eksempelvis blev der i 2019 solgt 2,1 mio. el- og plug-in hybridpersonbiler på verdensplan, hvilket bragte det samlede antal op på ca. 7,2 mio., mens der på verdensplan var en bestand på ca. 25.000 brint personbiler i 2019.

Varebiler på el

Der er ca. 380.000 varebiler i Danmark, men tallet er stigende. Levetiden er ca. den samme som for personbiler. Det årlige nysalg er på godt 30.000 stk.

Der gør sig næsten de samme forhold gældende som for personbiler. Ved rent metodemæssigt at anvende den samme indfasning som for personbiler (at nybilssalget fra 2022 er 100 pct. rene eldrevne køretøjer) vil man nå en bestand af varebiler på el på omkring 220.000 stk. i 2030 mod knap 90.000 i KF21. Dette giver en ekstra CO₂e-reduktion på 0,6-0,8 mio. ton i 2030.

Lastbiler på el

Der er ca. 45.000 lastbiler (sættevogne, sololastbiler mv.) i Danmark. Levetiden er kortere for lastbiler (6-10 år) end for personbiler. Dog er levetiden meget ujævn, hvor de små lastbiler typisk har en ret lang levetid. Det tekniske potentiale for lastbiler på el må anses for at være betydeligt mindre end det årlige samlede nysalg af lastbiler. Det skyldes bl.a. følgende forhold:



- Der produceres i dag kun meget få ellastbiler på det globale marked. Derudover er antallet af modeller meget begrænset og vil langt fra kunne dække alle segmenter endnu.
- Det kan være en udfordring at få udrullet ladeinfrastruktur til den tunge transport, hvor der vil være behov for høj effekt for at reducere ladetiden.
- Man vil være afhængig af, at der også ned gennem Europa udrulles tilstrækkelig ladeinfrastruktur.
- Godserhvervet er stærkt konkurrenceudsat, så skrappe krav i Danmark kan føre til udflagning, så godstransport i højere grad udføres med udenlandsk indregistrerede køretøjer.

Frem mod 2030 antages potentialet primært at bestå af mindre distributionskøretøjer med nogenlunde fast kørselsmønster. Det er de køretøjer, der er lettest at elektrificere, men også de lastbiler der har den længste levetid, hvilket vil begrænse og forsinke en naturlig indfasning. Det er samtidig disse lastbiler, der har det laveste dieselforbrug og dermed lave udledninger.

Samlet vurderes det, at 5-10 pct. af lastbilerne vil kunne elektrificeres inden 2030, og det vil primært være de mindste lastbiler, og ingen lastbiler over 34 ton.

Ud fra dette anslås det, at 2.000-4.000 lastbiler vil køre på el i 2030. Det vil give en reduktion på maksimalt 0,1 mio. ton i 2030. For at opnå flere reduktioner vil man skulle øge udskiftningshastigheden på både små og mellemstore lastbiler ift., hvad der ligger til grund i KF21.

Busser på el

Udskiftningen af rutebusser til el- og brintbusser er politisk bestemt (og dermed ikke en privatøkonomisk beslutning). Den offentlige kollektive rutebuskørsel, herunder også specialkørsel for trafikelskaber og kommuner, udgør en stor andel af den samlede buskørsel i Danmark.

En del af omstillingen af den kollektive bustrafik indgår allerede i KF21, hvorfor det ekstra potentiale er relativt begrænset. Det forventes, at reduktionspotentialet er på 0,1-0,2 mio. ton CO₂e årligt. For turistbusser forventes potentialet i 2030 at være endnu mere begrænset, da en vis andel af turistbuskørslen foregår i udlandet, hvorfor branchen i udgangspunktet er afhængig af, hvad der sker i andre lande mht. etablering af infrastruktur.

Biobrændstoffer og andre VE-brændstoffer

Iblandingen af biobrændstoffer (eller VE-) i benzin og diesel forventes med nogen usikkerhed (bl.a. ift. tilgængelighed af bæredygtige brændstoffer og hvordan fortrængningskravet konkret vil blive opfyldt) i gennemsnit at nå op på ca. 12 pct. i 2030, jf. KF21. Det vil især for diesel være teknisk muligt at øge anvendelsen yderligere, det er mest et spørgsmål om, hvor høje prisstigninger man vil acceptere, da de marginale omkostninger er høje.



Da der i KF21 allerede indgår en løbende elektrificering, vil forbruget af brændstoffer være faldende over tid. Derfor vil effekten af at iblande biobrændstoffer ligeledes være faldende.

Benzin

For benzin tillades pt. ikke højere iblanding end svarende til E10 (6,66 pct. iblanding efter energi). Derudover ville man kunne iblande syntetisk benzin (fx. baseret på Fischer-Tropsch teknologi). Syntetisk benzin produceres ikke i dag på verdensmarkedet, idet bl.a. tidligere planlagte anlæg ikke er blevet realiseret. Der er således ikke umiddelbart udsigt til, at det vil være muligt at erstatte fossil benzin 1:1 med tilsvarende VE-baserede brændstoffer. Det kan dog ikke udelukkes, at nyere benzinbiler i nogen udstrækning vil være godkendt til fx E20 i 2030, hvorfor et teknisk maksimalt potentiale er sat til gennemsnitligt 10 pct. iblanding i benzin efter energi (da ældre biler vil skulle forsættes med E10). Dog forventes dette kun at bidrage ganske lidt, da benzinsalget vil være faldende som følge af øget elektrificering frem mod 2030.

Diesel

For diesel findes allerede i dag et VE-brændstof på markedet, der kan erstatte diesel 1:1, HVO (hydrotreated vegetable oil). Det vil således i princippet være muligt, at erstatte al diesel anvendt i Danmark med HVO. PtX-brændstoffer vil ligeledes kunne antage en form, som kan anvendes på samme vis.

Hvis al diesel erstattes af HVO, vil man årligt kunne reducere udledningen i transportsektoren med 7,8 mio. ton CO₂e i 2030. Det er det teknisk maksimale potentiale, men det vil medføre betydelige meromkostninger.

En øget iblanding kan realiseres inden for relativ kort tid (1-1½ år).

Det skal dog pointeres, at der kan være EU-regulering, tab af konkurrenceevne, bæredygtigheden af det anvendte brændstof, grænsehandelsproblematikker og afledte statslige provenutab mv. afhængigt af, hvordan et tiltag udformes.

Skibstransport

Den nationale skibstransport ventes ifølge KF21 at give anledning til en årlig udledning på ca. 0,6 mio. ton CO₂e i 2030. Heraf stammer knap 0,2 mio. ton fra ruter mellem Danmark og hhv. Grønland og Færøerne, og omkring 0,25 mio. ton stammer fra færger. De resterende ca. 0,25 mio. ton stammer fra godstransport og fartøjer som uddybningsfartøjer, slæbebåde mv. Oven i de 0,6 mio. ton fra skibstransport kommer yderligere godt 0,2 mio. ton fra fiskerflåden.

Transporten til Færøerne og Grønland samt fiskerflåden vurderes ikke at kunne elektrificeres i praksis bl.a. pga. lange afstande og driftstider. Her vil anvendelse af PtX- eller biobrændstoffer være eneste tekniske mulighed for at reducere forbruget af fossile brændsler.

For færgernes vedkommende vurderes en mindre andel af udledningerne på ca. 0,03 mio. ton at stamme fra ruter, som det vurderes teknisk fordelagtigt at elektrificere,



mens skibe på de resterende ruter vurderes at have behov for anvendelse af brændstof. Med stor usikkerhed⁷ vurderes en tilsvarende andel af gruppen godstransport og andre fartøjer at kunne elektrificeres.

For de fartøjer, der ikke umiddelbart vil kunne elektrificeres, vurderes omstilling til brint, ammoniak eller metanol at være mere realistisk på lang sigt. Det er dog forbundet med opbygning af anlæg til produktion, transport og tankning samt investeringer i nye skibe og evt. retrofit af eksisterende motorer. På kort sigt er anvendelse af HVO en mulighed, om end det vil være forbundet med høje omkostninger. De større danske operatører er i gang med forskellige projekter for skift af brændsler, og det vurderes derfor teknisk muligt at omstille hovedparten af sektoren til enten eldrift, brint eller ammoniak inden 2030. Der må dog forventes udfordringer i nogle tilfælde, særligt i forbindelse med specialfartøjer med lang levetid eller lign. Med stor usikkerhed vurderes det muligt at omstille mellem 50 og 90 pct. af brændstofforbruget til PtX- eller biobrændstoffer. Det vil formentlig især være økonomiske og forsyningsmæssige forhold, der i sidste ende vil være afgørende for, hvor langt man kan nå.

Baseret på ovenstående vurderes det samlede elektrificeringspotentiale at være knap 0,1 mio. ton, mens det samlede potentiale for anvendelse af PtX- eller biobrændstoffer er omkring 0,4-0,8 mio. ton CO₂e i 2030.

Luftfart

Indenrigsluftfarten ventes ifølge KF21 at give anledning til en årlig udledning på ca. 0,2 mio. ton CO₂e i 2030.

Baseret på teknologiernes udviklingsstadiet vurderes det ikke teknisk muligt på kort sigt at omstille nogen væsentlig andel af ruterne til brint eller el, selvom flere store flyproducenter overvejer disse drivmidler til luftfarten i fremtiden. Alternativet er derfor anvendelse af bio- eller PtX-baseret flybrændstof, jetfuel. VE-brændstoffer kan afvige fra fossile flybrændstoffer på en række tekniske parametre som vandindhold (skal fjernes helt, da der ikke må være vand i flybrændstof), frostegenskaber mv., hvorfor flere standarder (bl.a. fra IATA og ASTM) tillader op til 50 pct. iblanding afhængig af typen. Det er dog muligt, typisk med øgede omkostninger til følge, at tilpasse brændstoffernes egenskaber, ligesom standarderne evt. kan ændres over tid.

Med stor usikkerhed antages det derfor, at 10-75 pct. af flybrændstoffer i indenrigsluftfarten kan omlægges til PtX- eller biobrændstoffer i 2030, hvilket giver en reduktion på op til 0,1 mio. ton CO₂e per år. Usikkerheden er knyttet dels til tilgængeligheden af anvendeligt brændstof, der pt. ikke produceres i noget særligt omfang på globalt plan, og dels reguleringsmæssige forhold – om flyene kan godkendes til anvendelse af mere end 50 pct. iblanding af ikke-fossile brændstoffer. Endelig vil der være tale om ganske betydelige meromkostninger til brændstof.

⁷ Usikkerheden er knyttet til begrænset viden om de enkelte skibes konkrete anvendelse, driftsmønstre og størrelse mv. I KF21 og Energistatistikken tages primært afsæt i det konkrete salg af brændstof – og ikke de enkelte skibe, der varierer fra helt små passagerfærger til store bilfærger, der betjener Kattegatruterne.



Gas i tung transport

Der vil være en lille effekt, hvis man skifter et dieselskøretøj ud med et gaskøretøj. Netto svarer det til at skifte fra diesel (med iblandet biodiesel) til naturgas. Pt. vil det give en reduceret udledning af drivhusgasser, men i takt med at iblandingen af VE-brændstoffer i diesel øges – vil effekten af at skifte til gas blive udlignet. Som enkeltstående potentiale indgår gas i tung transport derfor ikke.

Der gøres dog opmærksom på at i en situation, hvor det samlede gasforbrug er lavere end den mængde biogas, der produceres (dvs. der er biogas til overs), vil det give god mening, at gasforbruget i transportsektoren øges, således at biogassen kan finde afsætning i Danmark. Biogas er generelt en bedre udnyttelse af biomassen end flydende biobrændstoffer.

5.2. Resultater (input til Tabel 1)

Tabel 2. Uddybning af det tekniske reduktionspotentiale knyttet til transport.

Transportform og teknologi	Reduktionspotentiale i 2030 mio. ton CO ₂ e pr. år
<i>Personbiler</i>	
Elektrificering og brint	3,0
<i>Tung vejtransport</i>	
Udskiftning af varebiler til el/brint	0,6-0,8
Udskiftning af busser til el/brint	0,1-0,2
Udskiftning af lastbiler til el/brint	0-0,1
<i>Skibstransport og fiskeri</i>	
Indenrigs, omstilling til el	0,1
Indenrigs, omstilling/iblanding af PtX-/biobrændstoffer	0,4-0,8
<i>Luftfart</i>	
Indenrigs, iblanding af 50 pct. syntetisk/biojetfuel	0,1
Iblanding af biobrændstoffer og PtX-brændstoffer (100 pct. i diesel og 10 pct. i benzin) i al brændstof i transportsektoren	7,8-8,0
I alt	9-9,5

I vurderingen af det samlede potentiale er der taget afsæt i det maksimalt opnåelige samtidig med, at der er taget højde for overlap mellem de enkelte elementer.

De tekniske potentialer kan være vanskelige at realisere i praksis, grundet grænseoverskridende transport og privatøkonomiske forhold i forbindelse med personbilsanskaffelser.

5.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Der er væsentlig overlap i reduktionspotentialerne for hhv. elektrificering og iblanding af VE-brændstoffer, da det er rettet mod de samme flåder af køretøjer, skibe og fly. Potentialet for anvendelse af VE-brændstoffer vil således blive reduceret i takt med

at der elektrificeres. Det maksimale potentiale for VE-brændstoffer er således baseret på, at der ikke elektrificeres mere end det, der fremgår af KF21. Der er taget højde for dette overlap i sektorens samlede reduktionspotentiale, som således dækker over det fulde potentiale for elektrificering – og et deraf afledt reduceret potentiale for VE-brændstoffer.

På systemniveau medfører en øget indfasning af eldrevne fartøjer et øget elforbrug. Som nævnt er det antaget, at en øget el-produktion er CO₂-neutral i 2030.

5.4. Refleksion

Det skal understreges, at det formentlig i praksis ikke vil være muligt at iværksætte tiltag, der sikrer en fuld opfyldelse af de angivne potentialer. Dels kan der være tale om tiltag, der strider mod EU-lovgivning (fx. statsstøtteregele og regle om det indre marked) eller tiltag, der giver mulighed for en generel omgåelse (fx levetidsforlængelse af gamle køretøje eller udflagning af godstransport, så lastbiler indregistreres uden for Danmark). Endelig skal man være opmærksom på grænsehandelseffekte, hvor brændstofsalg og udledninger blot flyttes til vore nabolande, hvis prisen her bliver for høj.



6. Produktion af brændstoffer

6.1 Nordsøen

Der anvendes afgiftsfri, egenproduceret fossilt brændsel til energiforbruget ved produktion af gas og olie i Nordsøen. Der er også mindre udledninger fra flaring (afbrænding) af naturgas. Udledningerne er omfattet af EU's kvote-handelssystem. Den anvendte naturgas anvendes i turbiner, der driver kompressorer, pumper og el-generatorer ved olie- og gasproduktionen i Nordsøen, og til ilandtagning. I 2030 forventes udledninger fra Nordsøen jf. KF21 at udgøre 1,04 mio. ton CO₂e, svarende til cirka 3 pct. Af de samlede udledninger. Udledningerne forventes jf. KF21 at være konstante fra 2020 til 2030.

Udledningerne i tilknytning til olie- og gasudvindingen er ikke direkte korrelerede med olie-gas-produktionens størrelse eller energiforbruget, der anvendes til produktionen.

6.1.1. Metode

Der er sandsynligvis et potentiale for yderligere energieffektiviseringer svarende til, at udledningerne kan reduceres 0-5 pct. Herudover kan der opnås reduktioner, hvis dele af energiforbruget kan erstattes af el, der leveres i kabel fra land eller fra vindmøller i Nordsøen.

Jf. *Aftale om fremtiden for olie- og gasindvinding i Nordsøen af 3. december 2020* skal der igangsættes et samarbejde med branchen om en analyse af potentialet for elektrificering. Målet er at nedbringe udledningerne fra den eksisterende olie- og gasproduktion. Det fremgår af aftalen, at analysen særligt skal fokusere på CO₂-reduktionspotentialer og omkostninger. Undersøgelsen forventes afsluttet ultimo 2021. Før undersøgelsen er afsluttet, er det ikke muligt at give et fagligt velkonsolideret skøn over potentialerne og de tilhørende omkostninger. I stedet anvendes tidligere vurderinger og skøn.

6.1.2. Resultater (input til Tabel 1)

I aftalen af 3. december 2020 nævnes det, at Klimapartnerskabet for energi og forsyning samt Klimarådet har vurderet, at det var muligt at reducere udledningerne fra olie- og gasplatformene med 0,6 mio. ton CO₂ i 2030. Det anvendes som det høje skøn.

Energistyrelsen har tidligere skønnet et potentiale på op mod 0,3 mio. ton CO₂, hvis der sker en elektrificering af de platforme, hvor det er mest oplagt. Det anvendes som det lave skøn.

6.1.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Hvis elektrificeringen sker med kabler fra land, kan det påvirke det samlede elsystem, og udledningerne herfra. Som nævnt er det antaget at i elproduktion i 2030 er CO₂-neutral.

6.1.4. Refleksion



De angivne skøn er meget usikre. Den igangsatte analyse af potentialet for elektrificering vil frem mod næste klimaprogram skabe et bedre grundlag for at vurdere potentialerne.

6.2. Raffinaderier

I Danmark er der to raffinaderier, et i Fredericia og et i Kalundborg, der forarbejder råolie til hovedsageligt benzin og diesel. CO₂-udledningerne stammer primært fra anvendelse af raffinaderigas i raffineringsprocessen. Raffinaderigassen fremkommer i forbindelse med raffineringen af råolien. Tilsammen forventes de to raffinaderier at udlede omkring 1 mio. ton CO₂ i 2030. Udledningerne forventes at være konstante fra 2020 til 2030, jf. KF21.

6.2.1. Metode

På nuværende tidspunkt er det vanskeligt at sige noget konkret om reduktionsmulighederne. Energieffektiviseringsmulighederne vurderes at være begrænsede.

I dag bliver fossil brint dannet i forbindelse med reformering af fuelgas ligesom konventionel brintproduktion fra naturgas. Brinten vil kunne erstattes med grøn brint, men det vurderes dog ikke umiddelbart at have nogen påvirkning på produktionen af fuelgas på raffinaderier, da fuelgas er et overskudsprodukt fra raffineringen af råolie. Hvis den overskydende fuelgas i stedet flares (afbrændes uden anvendelse), fordi den ikke længere anvendes til at fremstille brint, vil det medføre CO₂-udledning svarende til udledningen forbundet med fremstillingen af fossil brint. De direkte udledninger fra raffinaderier reduceres dermed ikke umiddelbart ved at anvende grøn brint med mindre, raffinaderierne finder en alternativ anvendelse af fuelgassen, som ikke udleder CO₂.

Reduktionsmulighederne undersøges i Grøn industrianalyse, men på nuværende tidspunkt foreligger der ikke yderligere viden fra denne analyse, der kan inddrages i nærværende arbejde.

6.2.2. Resultater (input til Tabel 1)

I det lave skøn, hvor der alene medtages effekter af energieffektivisering, er potentialet i 2030 skønnet til 0,05 mio. ton (5 pct.). Det høje skøn på 0,4 mio. ton bygger dels på en højere realisering af energieffektivisering dels på, at Klimarådet tidligere har vurderet, at der er et reduktionspotentiale på 0,2 mio. ton CO₂ i 2030 ved at erstatte fossilt produceret brint til raffineringsprocessen med brint produceret med fx grøn el. Derudover er der ifølge Klimarådet et potentiale på 0,1 mio. ton CO₂ i 2030 ved at erstatte el produceret med raffinaderigas med el fra nettet⁸.

6.2.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Hvis en del af raffinaderigassen direkte eller indirekte erstattes af el, som øger det samlede elforbrug, kan det påvirke det samlede elsystem. Som nævnt er det antaget,

⁸ Klimarådet 2020, "Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion".



at elproduktion i 2030 er CO₂-neutral. Herudover kan elektrificering også reducere potentialet for CCS, eftersom det vil reducere de punktkilder, som CCS trækker på.

6.2.4. Refleksion

De angivne potentialeskøn er meget usikre. Det er forventningen at Grøn Industri-analyse vil skabe et bedre grundlag for at vurdere de tekniske muligheder for at reducere udledningerne.

6.3. Biogasomlægning fra kraftvarme til opgradering

I KF21 er der regnet med, at størstedelen af den danske biogasproduktion opgraderes og tilføres gasnettet. Hermed kan gassen lagres og finde anvendelse til mange forskellige formål. En ikke ubetydelig del af biogassen, ca. 8 PJ i 2030, forventes dog i 2030 fortsat anvendt til kraftvarmeproduktion fortrinsvis i gasmotorer, der er tilknyttet det enkelte biogasanlæg.

I takt med udviklingen og billiggørelsen af vindmøller, solceller og varmepumper er produktion af VE-el og VE-varme blevet markant billigere i løbet af de senere år. Det betyder, at produktion af VE-el og VE-varme ved anvendelse af biogas i dag er markant relativt dyrere end alternativerne. Hertil kommer, at el- og varmeproduktionen fra biogasanlæggene stort set ikke kan reguleres over tid, da biogasproduktionen er jævnt fordelt over alle årets timer, og da det enkelte anlæg ikke har tankkapacitet til at gemme nævneværdige mængder biogas. Det betyder bl.a. også, at anlæggene producerer el uanset, om markedsprisen er lav, og også producerer varme om sommeren, Hvor varmen ofte ikke kan nyttiggøres.

Et reduktionspotentiale er derfor at omlægge anvendelsen af biogas fra produktion af el og varme til opgradering og indføddning i gasnettet.

6.3.1. Metode

En omlægning til opgradering kræver, at biogassen produceres relativt tæt på eksisterende gasnet. Det vides p.t. ikke i hvor høj grad, dette er tilfældet for eksisterende biogasanlæg.

Hvis det skønsmæssigt antages, at 25–50% af de 8 PJ biogas vil kunne omlægges til opgradering, vil der kunne opnås en CO₂-fortrængning i størrelsesordenen 0,1–0,2 mio. ton CO₂ pr. år.

Reduktionspotentialet for omlægning af biogas fra kraftvarme til opgradering er beregnet under forudsætning af, at der stadig anvendes mindst 2 – 4 PJ fossil ledningsgas (naturgas) i 2030. Hvis der anvendes en mindre mængde fossil gas end dette, nedskrives reduktionspotentialet tilsvarende. I den situation vil biogassen dog muligvis i stedet kunne anvendes til produktion af flydende biobrændsel, der kan fortrænge fossilt flydende brændsel.

6.3.2. Resultater (input til Tabel 1)

Det skønnede reduktionspotentiale i 2030 er på 0,1-0,2 mio. ton CO₂.

6.3.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Den el og fjernvarme, som ikke længere leveres fra kraftvarmeanlæggene ved en omlægning af biogassen til opgraderet biogas i gasnettet, forventes i 2030 at kunne leveres billigt og effektivt af vindmøller, solceller og varmepumper. Som nævnt er det antaget, at øget el- og fjernvarmeproduktion er CO₂-neutral i 2030.

6.3.4. Refleksion

Den førnævnte gasstrategi, der er under udarbejdelse, kan give et forbedret grundlag for opgørelse af reduktionspotentialer forbundet med biogas i forbindelse med den kommende KP22.



7. Affald

Teknologier og løsninger kan reducere mængden af plastik- og fossilt affald og understøtte indfrielsen af aftalen om *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi*⁹ herunder design og produktion af plastikemballager og produkter til genbrug og genanvendelse, sporings- og genkendelsesteknologier til mærkning af plastikprodukter og emballager, sorterings- og oparbejdningsteknologier, der giver en høj kvalitet i genanvendelsen og et lavt tab af materialer og sortering, samt oparbejdning og genanvendelse af plastikholdige tekstiler. Disse teknologier og løsninger skal spille sammen for at få en høj genanvendelse af plastmaterialer, hvor plast indgår i kredsløb igen og igen.

I 2030 forventes affald og F-gasser at udlede 1,8 mio. ton CO₂e, svarende til 5 pct. af Danmarks samlede udledninger. *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi*, deponeringsforbud og løbende strammet regulering af F-gasser betyder et forventet fald i udledningerne frem mod 2030.

7.1. Metode

Ifølge KF21 bliver den samlede udledning af drivhusgasser fra affaldssektoren ca. 0,65 mio. ton CO₂e i 2030, der dermed udgør loftet for mulige reduktioner. Ud fra *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* er det tekniske reduktionspotentiale i forbindelse med affaldsforbrænding fastlagt ud fra en forudsætning om 80 pct. frasortering af plast i 2030.

KF21 fremskriver med initiativer fra *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi* en øget frasortering af plast i 2030, der betyder, at der samlet set i 2030 udsorteres en mængde svarende til ca. 60 pct. af den samlede plastmængde i dansk affald i 2020.

7.2. Resultater (input til Tabel 1)

Opjusteres frasorteringen af plast til 80 pct., vil det betyde en reduktion i udledninger fra affaldsforbrænding på 0,1-0,2 mio. ton CO₂. Reduktionen i affaldsmængden til forbrænding vil alt andet lige medføre afledte effekter i forhold til importeret affald, som er medregnet her under antagelse af, at udsorteret affald erstattes 1:1 med import af forbrændingseget affald¹⁰. Indfrielse af det teknologiske reduktionspotentiale er helt afhængig af den endelige udvikling af løsninger til øget sortering samt de nødvendige investeringer i og implementering af løsninger og samarbejde mellem aktører i værdikæden.

Opfyldes det tekniske reduktionspotentiale, estimeres det, at sektorens samlede udledning i 2030 reduceres med lidt under 10 pct. Det skal bemærkes, at der af ovennævnte årsager er en vis usikkerhed forbundet med visionen om 80 pct. frasortering.

7.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

En reduktion inden for affaldsforbrænding vil også reducere potentialet for CCS, da affaldsforbrændingsanlæg er potentielle punktkilder. En reduktion af biobaseret plast

⁹ *Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi*, [Regeringen 2020](#).

¹⁰ Importeret affald antages jf. klimastatus og –fremskrivning 2021 at have en fossil fraktion på 35 pct.

i de forbrændingsegneede mængder vil ligeledes påvirke sektorens mulighed for at bidrage med negative drivhusgasudledninger og grøn CO₂ til PtX. Derudover betyder reduceret el- og fjernvarmeproduktion fra affaldsforbrændingen, at der skal produceres el og fjernvarme andre steder i energisystemet, da en stor del af energien tages ud af affaldsforbrændingssektoren. Som nævnt er det antaget, at øget el- og fjernvarmeproduktion er CO₂-neutral i 2030.

7.4. Refleksion

Der er ikke opgjort et potentiale for en evt. reduktion af udledninger fra deponier grundet mangel på data. KEFM og MIM indleder et analysearbejde i andet halvår af 2021, med henblik på at identificere virkemidler til at reducere drivhusgasudledninger fra deponier. Resultatet af dette arbejde kan muligvis indgå i forbindelse med vurdering af det tekniske reduktionspotentiale i forbindelse med KP22.



8. Landbrug og skov

Landbrugssektoren omfatter udledninger fra landbrugets produktion, hvor de største emissionsopgørelseskategorier er husdyrs fordøjelse, gyllehåndtering og brug af gødning på landbrugsarealer. Udledningerne er især et resultat af produktionen af svin, mælkeprodukter og kødkvæg, og består langt overvejende af drivhusgasserne metan og lattergas. I Tabel 1 indgår også reduktionspotentialer knyttet til energiforbrug i landbruget, der rent tekstmæssigt er håndteret i afsnit 4 Erhverv.

Landbrug og skov indeholder udledninger under den såkaldte LULUCF-kategori (Land Use, Land-Use Change and Forestry), der dækker over udledninger og optag fra landbrugsarealer, skovarealer og øvrige arealer i form af by- og vådområder. Udledningen fra disse øvrige arealer er beskeden og behandles ikke yderligere i dette afsnit. De vigtigste kilder i LULUCF er CO₂-udledning fra kulstofrige landbrugsarealer, samt udledninger og optag af CO₂ fra skov og CO₂-optag i mineraljorde.

Ifølge KF21 udgjorde udledninger fra landbrugssektoren og LULUCF (ekskl. energiforbrug) samlet 13,2 mio. ton CO₂e i 2019, hvoraf 11,1 mio. ton CO₂e var fra landbrugets produktion af husdyr og afgrøder (husdyrs fordøjelse, gyllehåndtering og gødskning af landbrugsarealer), 5 mio. ton CO₂e fra jorder på landbrugsarealer og -2,9 mio. ton CO₂e (nettooptag) fra skovarealer samt i puljen af høstede træprodukter. Frem mod 2030 forventes en svag stigning i udledningerne, jf. KF21.

I landbrugssektoren er der et reduktionspotentiale ved at implementere kendte teknologier så som hyppig udslusning af gylle fra stalde og tilsætning af mere fedt i foderet til malkekvæg, som indgår i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget 2021*. Der er desuden et usikkert reduktionspotentiale ved omlægning til økologi, hvor en del af de forventede reduktioner kommer fra en lavere produktion pr. arealenhed, da husdyrintensiteten er lavere på økologiske arealer. Vidensgrundlaget på dette område kan med fordel forbedres. Kvælstofregulering kan mindske afgasningen af N₂O fra mineraljorder, mens udtagning af lavbundsgrunde, enten ved ekstensivering eller oversvømmelse, kan mindske udledningerne af CO₂ fra kulstofrige jorder. Der er desuden forskning, som peger på store potentialer fra nedpløjning af biokul (fra pyrolyse af biomasse) i landbrugsarealer, iblanding af fodertilsætningsstoffer samt nye teknologier til håndtering af gylle og gødning, men realiseringen af potentialerne kræver forudgående forskning og efterfølgende demonstration i stor skala.

8.1. Metode

Skønnene for reduktionspotentialer er baseret på en række forskellige kilder, herunder regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget 2021*, DTU, LBST, DCA, IGN, WRI og Klimarådet. Potentialerne er opdelt i seks relativt grove underkategorier og er beskrevet kort under resultater nedenfor.

8.2. Resultater (input til Tabel 1)

De estimerede udledninger i 2030 fra KF21 for landbrug, landbrugsarealer og skovarealer er 14,7 mio. ton CO₂e. Heraf 10,5 mio. ton CO₂e fra landbrugets produktion



af husdyr og afgrøder (husdyrs fordøjelse, gyllehåndtering og gødskning af landbrugsarealer), 3,8 mio. ton CO₂e fra jorder på landbrugsarealer og 0,4 mio. ton CO₂e fra skov (inklusive kulstof lagret i træprodukter). Hvis alle reduktionspotentialer i Tabel 1 indfries, er der en restudledning fra landbrug og LULUCF på ca. 8 mio. ton CO₂e/år i 2030. Langt størstedelen af reduktionspotentialerne bygger på antagelser om forudgående forskning og stor-skala demonstration, der sammen med et stort spænd for potentialet for udtag og vådgøring af kulstofrige organiske arealer gør estimaterne meget usikre.

Potentialerne er udarbejdet af Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri og Miljøministeriet og indgår i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget 2021* med undtagelse af teknologien Yderligere skovinitiativer, som er baseret på de beregninger, der nævnes i afsnittet nedenfor om skov.

Tabel 3. Teknologier og tekniske reduktionspotentialer for landbrug og LULUCF i 2030.

Teknologi	Teknisk reduktionspotential i 2030 mio. ton CO ₂ e pr. år	Kilde
Implementering af oplæg til Grøn omstilling af landbruget	1,8	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget
Fodertilsætningsstoffer	1	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget
Håndtering af gylle og gødning	1	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget
Udvidet lavbundspotentiale	0,5	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget, Klimarådet 2020
Fordobling af det økologiske areal	0,5	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget, DCA 2020
Yderligere skovinitiativer	0,2	IGN 2019
Brun bioraffinering, fx pyrolyse	2	Oplæg til Grøn omstilling af landbruget, Klimarådet 2020, DTU 2019

Som det fremgår af regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* er de tekniske reduktionspotentialer behæftet med betydelig usikkerhed, og der kan være overlap mellem potentialerne. Realisering af de tekniske potentialer vil bl.a. kræve yderligere finansiering, forskning samt udbredelse.

Implementering af oplæg til Grøn omstilling af landbruget

Implementeringen af kendte teknologier i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* er estimeret til at have et samlet reduktionspotential på 1,8 mio. ton CO₂e/år. Heri indgår tiltag som hyppig udslusning af gylle fra stalde (0,17 mio. ton CO₂e/år), tilsætning af mere fedt i foderet til malkekvæg (0,16 mio. ton CO₂e/år), udtagning af landbrugsjorder og ekstensivering af landbrugsarealer (0,43 mio. ton CO₂e/år) og målrettet kvælstofregulering (0,54 mio. ton CO₂e/år) samt øvrige indsatser under EU's fælles landbrugspolitik mm.



Fodertilsætningsstoffer¹¹

Fodertilsætningsstoffer kan reducere metanudledningen fra husdyrenes fordøjelse. Stoffet Bovaer eksisterer allerede, og der er ansøgt om EU godkendelse, som forventes i 2022. Bovaer ventes at kunne reducere metanudledningen fra fordøjelsen med 20-30 pct. Derudover forskes der i stoffet "X", hvor forsøg viser en potentiel reduktion af metan fra kvæg på op til 40 pct. Frem til 2030 anslås reduktionspotential for fodertilsætningsstoffer at være 1 mio. ton CO₂e pr. år. Antages yderligere 40 pct. reduktion fra husdyrenes fordøjelse fra stoffet "X", giver det 1,6 mio. ton CO₂e/år, men fuld reduktion fra alle husdyr vurderes ikke realistisk.

Håndtering af gylle og gødning¹²

Der forskes aktuelt i gylletilsætningsstoffer, der i laboratorieforsøg har vist at kunne reducere metanudledningen fra gylle. Der findes desuden en række andre tiltag til håndtering af gylle og gødning, herunder brug af biofiltre, nitrifikationshæmmere og andre tilsætningsstoffer, men det er uvist, om effekterne akkumulerer eller ej. Det er eksempelvis forventningen, at gyllen kun kan behandles én gang med fuld effekt. I 2030 anslås reduktionspotential at være 1 mio. ton CO₂e.

Udvidet lavbundspotentiale¹³

Der findes lidt over 291.000 ha jorder med over 6 pct. kulstof. Heraf anvendes 171.500 ha til landbrug, og ifølge KF21 udledte disse arealer 4,8 mio. ton CO₂e i 2019. Forskellige kilder har vurderet varierende reduktionspotentialer for disse udledninger. Variationerne skyldes bagvedliggende antagelser, hvor minimumsvurderingen kommer fra regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget*, mens en maksimumsvurdering kan findes i bl.a. materiale fra Klimarådet. Potentiale vurderingen i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* er baseret på et skøn over, hvor stor en del af det kulstofholdige areal i omdrift eller anvendt til permanent græs det i praksis er muligt at udtage aktivt, dvs. hel eller delvis oversvømmelse og derved tilbageføring til iltfattige forhold¹⁴. Samtidig antages en relativt lav reduktionseffekt, bl.a. fordi erfaringer viser, at ikke alle arealer der udtages, er fuldt drænede. Regeringsoplæggets potentiale for 2030 er 0,4 mio. ton CO₂e med et udvidet potentiale, der er angivet til 0,5 mio. ton CO₂e/år. Realisering af det udvidede potentiale forudsætter blandt andet tilvejebringelse af ny viden om bl.a. jordernes udbredelse, kulstofindhold, vandstandsforhold mv. Til sammenligning angiver Klimarådet et teknisk potentiale på 4,1 mio. ton CO₂e/år, hvilket svarer til aktiv udtagning af tæet på hele arealet for både omdrift og permanent græs. Samtidig forudsættes en højere reduktionseffekt¹⁵. Givet den nuværende erfaring med udtag af lavbundsjorder virker det

¹¹ Regeringsoplæg til *Grøn omstilling af landbruget* 2021, FVM og MiM

¹² Regeringsoplæg til *Grøn omstilling af landbruget* 2021, FVM og MiM

¹³ Regeringsoplæg til *Grøn omstilling af landbruget*, FVM og MiM, Klimarådet og data fra DCA og LBST.

¹⁴ De reduktionspotentialer ved udtagning af lavbundsjorder der nævnes i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* er estimeret ud fra en antagelse om, at arealerne ikke er fuldt drænede. I DCE's emissionsopgørelse antages jorderne er fuldt drænede, hvormed udtag af et givent areal vil afspejles med en større reduktionseffekt i DCE's emissionsopgørelse.

¹⁵ Klimarådets angivelse af det tekniske potentiale er baseret på tæet på hele arealet for både omdrift og permanent græs og forudsætter at alle arealerne er fuldt drænede samt at vandstanden kan hæves fuldt ud, baseret på den metode DCE anvender i den nationale emissionsopgørelse til FN og de tal der ligeledes anvendes i Energistyrelsens årlige klimastatus og –fremskrivning.



af Klimarådet angivne tekniske potentiale på 4,1 mio. ton CO₂e/år svært opnåeligt. Regeringsoplæggets potentiale vurdering og lavere reduktionseffekt baserer sig på praktiske erfaringer og anerkendelse af en række barrierer. For at udtage kulstofrige jorder, er det i praksis nødvendigt i varierende omfang at udtage tilstødende arealer, der ikke er vurderet som kulstofrige i nuværende datakilder.

Fordobling af det økologiske areal¹⁶

Ifølge Landbrugsstyrelsens Statistik over økologiske jordbrugsbedrifter var der i maj 2020 et samlet økologisk produktionsareal på 310.000 ha., hvoraf de 250.000 ha er angivet som fuldt omlagt økologisk areal. På baggrund af nye oplysninger fra DCA i 2020 vurderes der at kunne opnå en reduktion på ca. 2 ton CO₂e/år/ha for økologisk omlagte arealer, hvor der tidligere blev antaget ca. 0,6 ton. Dermed vil en fordobling af det økologiske areal fra 250.000 til 500.000 hektar give et reduktionspotentiale på 0,5 mio. ton CO₂e/år. Ifølge DCA er det kun emissioner, der finder sted i Danmark, der er indregnet, og ikke importeret foder og handelsgødning. Der er forskel på omlægning fra konventionel til økologisk malkekvæg (reduktion på 3,6 ton CO₂e/ha/år), svineproduktion (reduktion på 3,7 ton CO₂e/ha/år) og planteavl (reduktion på 0,8 ton CO₂e/ha/år). Det gennemsnitlige reduktionstal pr. hektar er baseret på en arealanvendelse, der svarer til den nuværende fordeling (tal fra 2020). En stor del af effekten fra omlægning til økologi kommer fra et lavere antal husdyr pr. areal.

Det betyder, at kriteriet om at holde samme aktivitetsniveau som i KF21, derfor ikke er overholdt her, idet der for dette reduktionspotentiale er tale om en reduceret landbrugsproduktion.

Skove

I regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget 2021* er ny skovrejsning angivet til et optag af CO₂ på 0,03 mio. ton CO₂e/år i 2030. Som gennemsnitsbetragtning optager skov begrænsede mængder CO₂ de første 10-20 år, hvorfor skovrejsning er mere interessant i et længere tidsperspektiv, fx i år 2050.

I forbindelse med Klimaprogram 2021 er der opgjort et potentiale for øget optag i skov i 2030 på ca. 0,2 mio. ton CO₂e fra yderligere plantering af skov baseret på Naturstyrelsens og Miljøstyrelsens erfaringer med hidtidige statslige skovrejsningsinitiativer samt fra reduceret hugst i eksisterende skove.¹⁷ Vurderingen af potentialet for 2030 er således baseret på erfaringer og ikke det teoretiske areal, der kunne anvendes til skovrejsning.

Mulige potentialer for øget optag frem mod 2050 er udfoldet i Energistyrelsens notat *Forudsætninger for KP21-scenarier – Landbrug, jorder og skov*.

¹⁶ Regeringsoplæg til *Grøn omstilling af landbruget 2021*, FVM, MiM, Klimarådet og data fra DCA og LBST

¹⁷ Kilde: MIM



Brun bioraffinering som for eksempel pyrolyse¹⁸

Pyrolyse kan omdanne biomasse til biokul samt pyrolysegas og -olie. En betydelig del af biomassens oprindelige indhold af kulstof vil herefter være bundet i kullet og derved agere som kulstoflager. Biokul kan nedmuldes i landbrugsjord, såfremt det ikke indeholder stoffer, der er problematiske for miljøet. Pyrolysegas kan desuden anvendes til energiformål og dermed potentielt substituere fossile brændsler, men er ikke opgjort som et separat reduktionspotentiale. De 2 mio. ton CO₂-reduktion i 2030, der indgår i regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* omfatter alene effekten af at lagre biokul og giver dermed en reduktion af nettoudledningen fra landbrugsarealer ved nedpløjning. Skønnet er baseret på estimer fra DTU og er behæftet med væsentlig usikkerhed.

En rapport fra DTU¹⁹ angiver et reduktionspotentiale ved nedpløjning af biokul på 5,8 mio. ton CO₂e/år. Omvendt har Klimarådet i sin statusrapport fra 2021 peget på, at det tekniske potentiale kan være i størrelsesordenen 1,2-1,5 mio. ton CO₂ mindre.

8.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Der kan være overlap med anden anvendelse af biomasse ift. pyrolyse. Endvidere er det uvist, om biogasproduktionen vil påvirkes af fodertilsætningsstoffer, gyllehåndtering og omlægning til økologi.

8.4. Refleksion

Der pågår et arbejde med vidensopbygning i ENS ift. udledninger og fremskrivning for landbrug og LULUCF. Derfor bygger potentialeestimerne på en sammenstyknings fra forskellige kilder med regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* 2021 som hovedreference.

¹⁸ DTU, regeringsoplægget til *Grøn omstilling af landbruget* 2021, FVM og MiM

¹⁹ DTU; *Reduktion fra landbrugets klimaaftryk ved hjælp af pyrolyse* 2019



9. Optag – CCS og DAC

Fangst og lagring af CO₂ (CCS – Carbon Capture and Storage) består i at indfange CO₂ fra røggassen fra punktkilder inden for fx industrien, affaldsforbrænding, kraftvarme og biogasanlæg. Efterfølgende kan den opsamlede CO₂ transporteres til et mellemlager, hvorfra den udskibes til permanent lagring fx i gamle gasfelter i Nordsøen. Når CO₂ fra fossile kilder som cementproduktion lagres i undergrunden, svarer det til, at cementproduktionen bliver tæt ved CO₂-neutral. Hvis der lagres CO₂ fra biogene kilder som biogasanlæg, kan dette tælles med som såkaldt negative emissioner, som kan anvendes til at kompensere for udledninger i sektorer, som er sværere at omstille. Den opsamlede CO₂ kan alternativt anvendes til produktion af kulstofholdige PtX-brændstoffer. I KF21 indgår CCS med en reduktion på 0,9 mio. ton CO₂ i 2030.

En lignende teknologi går på at opsamle CO₂ direkte fra atmosfæren (DAC – Direct Air Capture). Den opsamlede CO₂ kan efterfølgende lagres og skabe negative emissioner eller anvendes til produktion af PtX-brændstoffer.

9.1. Metode

Potentialet for anvendelse af CCS begrænses umiddelbart af de tilgængelige CO₂-udledninger, der kan opsamles. Potentialeskønnene er baseret på udledninger fra både fossile og biogene udledninger.

Der vurderes at være et væsentligt potentiale for import af opsamlet CO₂ fra vores nabolande. Lagring af disse mængder vurderes dog ikke umiddelbart at ville kunne tælles med i de danske opgørelser, da oprindelseslandet så ikke vil kunne godskrives for opsamlingen. Det kan ikke udelukkes, at der vil kunne opstå et marked for import af biogen CO₂ fra kilder i andre lande, som vil kunne medtælles som negative udledninger i Danmark. Det afhænger dog af de konkrete landes og/eller internationale regulering af handel med CO₂ og er derfor ikke medregnet. Potentialet for CCS baseres derfor på en opgørelse af fremtidige CO₂-udledninger fra punktkilder i Danmark, begrænset af en række tekniske og økonomiske vurderinger baseret på punktkildernes størrelser og driftsmønstre²⁰.

Direkte opsamling af CO₂ fra atmosfæren (DAC) vurderes på sigt at kunne bidrage med yderligere CO₂-mængder, som kan øge potentialerne for negative emissioner gennem CCS og produktion af brændstof (CCU). Det tekniske potentiale for anvendelse af DAC i Danmark er i princippet kun begrænset af mængden af VE-el til at drive de kommende anlæg. Hertil kommer, at der er betydelig usikkerhed om omkostningerne ved udrulning af teknologien, fordi DAC i høj grad stadig er uafprøvet i stor skala. Det er derfor ikke meningsfyldt at angive et potentiale for anvendelse af DAC til CCS- eller CCU-formål. Nedenfor er dog medtaget et regneeksempel for reduktionspotentialet for DAC ved anvendelse af energien fra 1 GW havvind.

²⁰ Kilde: *Punktkilder til CO₂ – potentialer for CCS og CCU*, Energistyrelsen, 2021. Potentialet er afgrænset på baggrund af tekniske og økonomiske overvejelser og dermed ses alene på et vist udsnit af de samlede udledninger fra punktkilder.



9.2. Resultater (input til Tabel 1)

I opgørelsen af punktkilder i regeringens CCS-strategi identificeres et fangstpotentiale på ca. 4,5-10 mio. ton i 2030 og ca. 4,5-9 mio. ton i 2040. Det vurderes ikke realistisk, at der etableres fangstanlæg på punktkilder, der tages ud af drift efter en kortere periode, hvorfor reduktionspotentialet i 2030 her dimensioneres efter de punktkilder, der ventes at være tilgængelige frem til 2040. Hertil kommer, at der i *Klimaaftalen for energi og industri* blev afsat en pulje på ca. 16 mia. kr., der skønnes at medføre CO₂-reduktioner på 0,4 mio. ton i 2025 stigende til 0,9 mio. ton i 2030, der er medregnet i KF21. Baseret på dette vurderes potentialet for fangst og lagring i 2030 at være ca. 3,5-8 mio. ton i 2030 dog med betydeligt overlap til fangst og anvendelse (PtX/CCU). Fangstpotentialet stammer fra fire sektorer og fordeler sig som vist i Tabel 4 (de 0,9 mio. ton fra klimaaftalen for energi og industri er ikke fordelt på sektorer, og er derfor ikke trukket fra her).

Tabel 4. Fangstpotentialet fra CCS i 2030 fra fire sektorer.

Sektor	Potentialet for fangst og lagring i 2030
	mio. ton CO ₂ e pr. år
Affald	ca. 1,5-2,5
El- og fjernvarme og biogas	ca. 1-2
Industri og raffinaderier	ca. 1-3
Biogasopgradering	ca. 0,7-1,3

DAC

Som en illustration af potentialet for anvendelse af DAC medtages følgende regneeksempel. 1 GW havvind vurderes under standardantagelser at kunne producere omkring 4,5 TWh el, der svarer til den energi, der baseret på teknologikataloget forventeligt kræves for opsamling af 3-4 mio. ton CO₂ fra atmosfæren i et DAC-anlæg. Her er set bort fra energi til transport og lagring eller anvendelse af CO₂'en, som vil begrænse potentialet, såfremt det antages, at DAC samlet set afgrænses energimæssigt til 1 GW havvind. Det bemærkes, at de første DAC-anlæg formentlig ikke kan forventes at blive større end ½-1 mio. ton CO₂.

9.3. Overlap mellem reduktionspotentialer

Reduktionspotentialet fra CCS baseres på anvendelse af de tilgængelige punktkilder til lagring. Realisering af de identificerede potentialer for anvendelse af PtX-brændstoffer i fx transportsektoren vurderes at ville kræve betydelige CO₂-mængder til produktion af brændstoffer, såfremt disse skal produceres i Danmark. Der er derfor betydeligt overlap mellem disse reduktionspotentialer, såfremt DAC ikke anvendes til at øge CO₂-ressourcerne. Realisering af DAC kunne bidrage til at mindske eller helt fjerne dette overlap.

Opsamling, komprimering og transport af CO₂ vil øge elforbruget. Ligeledes vil elforbruget øges betragteligt såfremt potentialet for DAC realiseres. Som nævnt er det

ved opgørelsen af reduktionspotentialer antaget, at elproduktion er CO₂-neutral i 2030.

9.4. Refleksion

CCS og DAC er nye områder i Danmark og er under udvikling hvorfor det forventes, at der løbende vil komme ny viden på området, der kan kvalificere reduktionspotentialerne.



10. Effekter på systemniveau

Reduktionspotentialerne er opgjort, så de illustrerer, hvor meget CO₂e-emissionen kan reduceres inden for hver sektor. Opgørelserne har et afgrænset fokus på de specifikke teknologier og områder, og ser hverken på systemsammenhænge (hvordan realiseringen af et reduktionspotentiale på virker fx energisystemet) eller på prioritering af potentialerne (hvilke potentialer der er mest). I dette afsnit nævnes eksempler på systemsammenhænge, der har relevans i sammenhæng med reduktionspotentialer

I opgørelsen af reduktionspotentialerne er der dog taget højde for, at reduktion af et ledningsgasforbrug grundet realiseringen af et reduktionspotentiale betyder, at forbruget af ledningsgas falder. Men da produktionen af opgraderet biogas er uændret betyder det en højere andel opgraderet biogas i gasnettet (og dermed en mindre andel fossil naturgas). Den øgede VE-andel i gasnettet kommer som udgangspunkt alle gasforbrugere til gode, herunder også forbrugere i andre sektorer. I dette tilfælde med reduktion af fossilt naturgas grundet øget VE-andel i gasnettet, er der altså tale om en reduktion delvist *uden for* sektoren, hvor hele reduktionen i ovenstående potentialer er tillagt sektoren. I tabellen over reduktionspotentialer er disse reduktionspotentialer for "frigjort opgraderet biogas" anført separat, men inkluderet i summen på sektorniveau.

Ud over ændret VE-andel i gasnettet på tværs af sektorer er det væsentligt at nævne, at der ikke er taget højde for tekniske begrænsninger på systemniveau. Således, er der ikke taget højde for, at elektrificering, der fylder meget inden for flere sektorer, vil kræve en markant udbygning af elnettet, og at denne udbygning rent teknisk kan være en begrænsning for realiseringen af potentialerne i 2030. Endvidere skal nævnes at en række reduktionspotentialer, herunder DAC og PtX, vil give et væsentligt øget elforbrug, og i det omfang, det skal dækkes af indenlandsk produktion, vil det kræve udbygning med elproduktionskapacitet.