

## Resultater for KP22-scenarier

**Kontor/afdeling**  
Center for Systemanalyse

**Dato**  
23-09-2022

**J nr.** 2022-15162

KHG / MIS

### Indholdsfortegnelse

1. Kort om scenarierne .....	2
2. Resultater for scenarierne .....	4
2.1 Forskellige veje til klimaneutralitet i 2050 .....	4
2.2 Forskellige veje til 70 pct. målet i 2030 .....	10
2.3 Supplerende resultatfigurer .....	19
2.4 Tværgående budskaber vedr. omstillingen mod klimaneutralitet .....	26
3. Kilder .....	29

### Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

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

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



## 1. Kort om scenarierne

I henhold til klimaloven skal Danmark reducere udledningen af drivhusgasser med 70 pct. i 2030 (ift. niveauet i 1990) og opnå klimaneutralitet senest i 2050<sup>1</sup> (Regeringen *et al.*, 2019). Med afsæt i klimalovens målsætninger og som input til *Klimaprogram 2022* (KP22) har Energistyrelsen udviklet en række scenarier, der illustrerer eksempler på opfyldelse af klimamålene. Herunder indgår scenarieresultaterne for 2030 som en del af de tekniske analyser til *Klimaprogram 2022* (KP22). I dette notat præsenteres resultaterne fra disse scenarier.

Hovedfokus i scenariearbejdet er at optegne forskellige fremtidsbilleder af, hvordan langsigtet klimaneutralitet vil kunne opnås. Dette danner således baggrunden for, hvordan scenarierne er udformet. Scenarierne anvendes derudover også til at illustrere forskellige bud på målopfyldelse i 2030 som en trædesten på vejen mod de optegnede fremtidsbilleder for 2050. Scenariearbejdet ser ikke på hvilke virkemidler, der kunne tænkes at skulle i spil for at realisere de forskellige fremtidsbilleder.

Den grundlæggende betragtning i scenariearbejdet er, at de nationale klimamål kan indfries på forskellige måder, og at målopfyldelsen samtidig vil være påvirket af udviklingen i eksterne rammevilkår såsom udvikling i teknologi, markeder og priser mv. Scenarierne anvendes til at illustrere et udfaldsrum for omstillingen mod klimaneutralitet ved at opstille forskellige eksempler på målopfyldelse. Der vil dog være mange andre kombinationer, der opfylder målene.

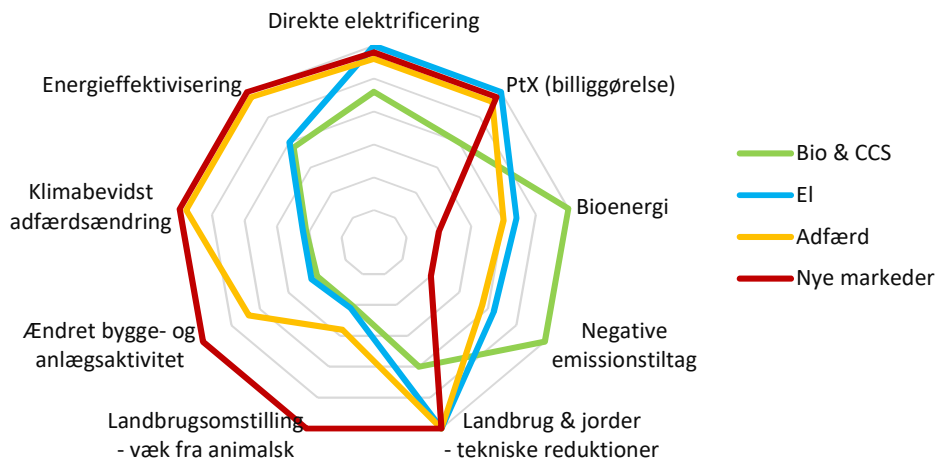
Ved brug af en model udviklet til formålet, er der opstillet fire forskellige scenarier:

- **Bio & CCS:** Bioenergi og CO<sub>2</sub>-lagring spiller en relativt stor rolle i målopfyldelsen. Negative emissionsteknologier anvendes i stort omfang til at kompensere for restudledninger frem for at reducere selve udledningerne.
- **EI:** Høj grad af elektrificering i samfundet; herunder bl.a. høj teknologiudvikling og billiggørelse af eldrevne transportteknologier og varmepumper mv. (direkte elektrificering) og Power-to-X-teknologier (indirekte elektrificering).
- **Adfærd:** Betydelige klimabevidste adfærdsændringer blandt borgere og virksomheder (transportvaner, kostvaner, energibesparelser, affaldssortering mv. og øget fokus på bæredygtighed inden for byggeri & anlæg) samt høj grad af energieffektivisering og elektrificering.
- **Nye markeder:** Dansk landbrug omstilles i høj grad imod at levere til de stigende internationale markeder for plantebaserede fødevarer og proteiner, hvilket medfører en markant nedgang i landbrugets husdyrhold. Samtidig sker der en yderligere omstilling inden for byggeri & anlæg (dertil også en høj grad af elektrificering, energieffektivisering og adfærdsændringer).

---

<sup>1</sup> Opgjort ud fra gældende FN-regler for opgørelse af nationale drivhusgasudledninger, hvor der anlægges et territorialt perspektiv.

Figur 1 giver en kvalitativ illustration af, hvor stor en rolle de forskellige omstillingselementer spiller i scenarierne; her angivet med fokus på 2050.



Figur 1. Grov kvalitativ illustration af setup'et for de fire KP22-scenarier ("Bio & CCS", "EI", "Adfærd" og "Nye markeder") med fokus på 2050. Figuren indikerer for hvert scenarie, hvor stor en rolle de forskellige emner spiller; set ift. i de øvrige scenarier. Fx spiller bioenergi og negative emissionstiltag en relativt stor rolle i Bio & CCS-scenariet. Negative emissionstiltag omfatter BECCS, pyrolyse, DACCS og skovrejsning. BECCS: Bioenergy Carbon Capture and Storage. DACCS: Direct Air Capture and Carbon Storage.

For en nærmere beskrivelse af scenarier, metode, model og formål henvises til baggrundsnotatet *Metodebeskrivelse for KP22-scenarier*.

Scenarierne tager højde for tekniske begrænsninger; herunder bl.a. de tekniske reduktionspotentialer for 2030, som er beskrevet i klimaprogrammet. Idet der så vidt muligt tages højde for rentabiliteten af de forskellige løsninger og barrierer for en hurtig indfrielse er omstillingen i scenarierne på langt de fleste områder lavere end de tekniske reduktionspotentialer<sup>2</sup>. Dette gælder særligt på kortere sigt, hvor tidsdimensionen i omstillingen også er en faktor. Via den anvendte model tager scenarierne dertil højde for sektorkoblinger og mulige løsninger ud fra en samlet systemsammenhæng. At omstillingen i scenarierne er lavere end de tekniske reduktionspotentialer hænger i øvrigt også naturligt sammen med, at det totale tekniske reduktionspotentiale i 2030 er betydeligt større end mankoen; mens scenarierne "kun" lige netop sikrer målopfyldelse i 2030.

Scenarierne til KP22 udgør et bud på nogle målopfyldelses-scenarier baseret på brug af en modelversion udviklet til KP21, og som siden er blevet videreudviklet. Over

<sup>2</sup>Inden for nogle områder, som fx landbrug, jorder og skove, foreligger der p.t. ikke tilstrækkelig viden til nødvendigvis at kunne tage højde for rentabiliteten af de forskellige tiltag. Desuden kan det nævnes, at adfærdsmæssige omstillinger delvist er baseret på eksplorative skøn.



de kommende år forventes at komme ny viden, som med fordel kan indarbejdes i nye scenarieversioner. Samtidig vil model og data kunne kvalificeres yderligere.

## 2. Resultater for scenarierne

I det følgende er resultaterne fra KP22-scenarierne illustreret. Forskellene mellem scenarierne vil være størst i 2050, mens de vil være mere moderate i 2030, hvor scenarier endnu ikke er fuldt udrullet, og hvor bindingerne fra dagens situation alt andet lige vil være betydeligt større. Resultaterne for 2030 skal tolkes med forbehold for, at scenarierne udgør en grovere repræsentation af systemet sammenlignet med *Klimastatus og -fremskrivning 2022* (KF22). Endelig skal det nævnes, at der er usikkerhed forbundet med scenarielværker som dette; særligt hvad angår det langsigtede perspektiv mod 2050.

CO<sub>2</sub>e-figurerne angiver alene de udledninger, der tæller med i det nationale klimaregnskab jf. FN-opgørelsesregler. Udledninger fra international transport (luft- og søfart) indgår ikke i opgørelsen af Danmarks drivhusgasudledninger ifm. klimalovens målsætninger (Regeringen et al, 2019) og er dermed ikke vist. Til gengæld tages der højde for energiforbruget til international transport, der tankes i Danmark (bunkering), i de samlede systembetragtninger; fx når det samlede elforbrug og bioenergiforbrug betragtes.

### 2.1 Forskellige veje til klimaneutralitet i 2050

Den nationale drivhusgasbalance i scenarierne i 2050 er vist på Figur 2 sammenlignet med udledningerne i KF22 for 2030 samt de historiske udledninger i 2019. Udledningerne er opdelt på sektorer samt forskellige negative emissionsteknologier i form af pyrolyse, Bioenergy Carbon Capture and Storage (BECCS) og Direct Air Carbon Capture and Storage (DACCS).

Som vist opnås en netto-nul-udledning i drivhusgasudledningen i alle fire scenarier; svarende til en realisering af det nationale mål om klimaneutralitet i senest 2050. Der er nogle overordnede fællestræk mellem scenarierne med hensyn til de elementer, der indgår i denne langsigtede omstilling:

- Fossile brændsler er forudsat udfaset inden for (indenrigs) transport og produktion af brændstoffer; og fossile brændsler er i optimeringen stort set også udfaset inden for husholdninger, erhverv samt el og fjernvarme. Dette sker primært som følge af elektrificering (direkte/indirekte), indfasning af VE-brændsler og energieffektivisering. Dertil fjernes størstedelen af de ikke-energi-relaterede fossile procesudledninger fra erhverv via CO<sub>2</sub>-optag og efterfølgende lagring/anvendelse (resterende fossile udledninger fra erhverv i scenarierne i 2050 stammer primært fra ikke-energi-relaterede processer inden for cementproduktion, køling og andet).

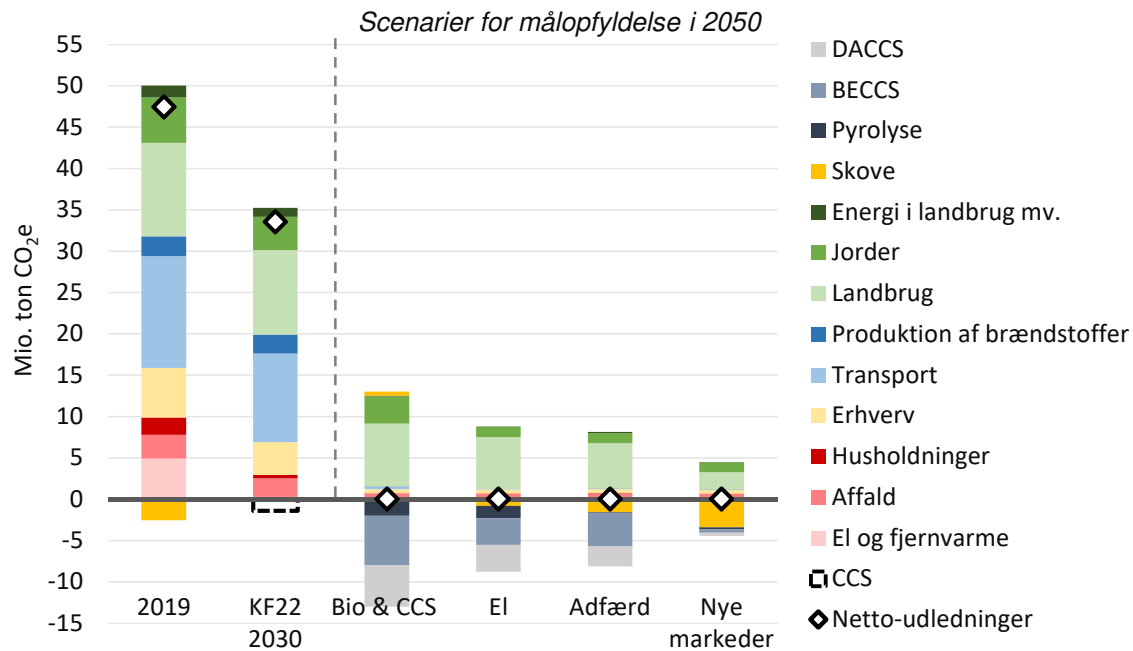


- Mængden af fossilt affald til forbrænding (primært plast) er reduceret markant mod 2050 som følge af øget udsortering til genanvendelse (fra 17,6 PJ i 2019 til 1,9-2,5 PJ i 2050)<sup>3</sup>. I scenarierne fjernes de resterende fossile udledninger fra affaldsforbrændingen via CO<sub>2</sub>-optag og lagring/anvendelse. Den resterende fossile udledning fra affaldssektoren i 2050 repræsenterer således udledninger fra biogaslækage og kompostering, affaldsdeponi og spildevand.
- Samlet set er drivhusgasudledningerne i alle scenarier markant reduceret mod 2050. De resterende udledninger udgøres primært af metan og lattergasemissioner fra landbrug (fra husdyrenes fordøjelse, gødningshåndtering og udledninger fra marker mv.)
- De resterende udledninger kompenseres via negative emissionstiltag (BECCS, pyrolyse, DACCS og/eller skovrejsning), så der samlet opnås en netto-nul-udledning i 2050.

CO<sub>2</sub>-udledninger fra affald samt procesudledningerne fra cementproduktion i erhverv udgøres af et mix af biogent og fossilt CO<sub>2</sub>. En delmængde af denne CO<sub>2</sub> anvendes i scenarierne til brændstofproduktion (Carbon Capture and Utilisation, CCU). Der indgår derfor mindre fossile udledninger fra CCU, som der efterfølgende kompenseres for med negative udledninger. Disse udledninger er på CO<sub>2</sub>e-figurerne for simplificering modregnet under BECCS (fossil CCU udgør 0,0-1,0 mio. ton CO<sub>2</sub>e i scenarierne i 2050).

---

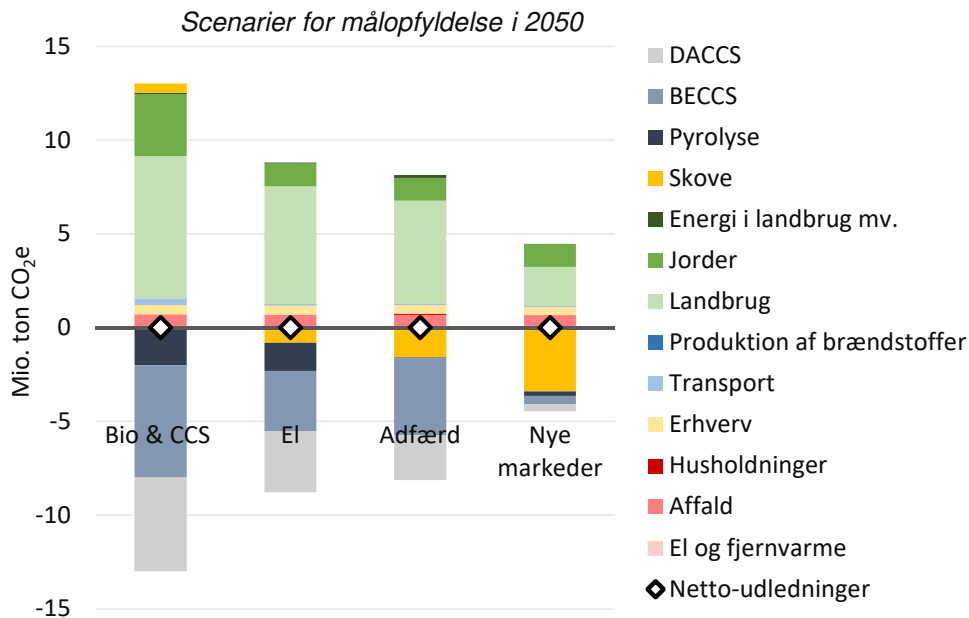
<sup>3</sup> For nærmere beskrivelse se baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier – Affald*.



Figur 2. Sektoropdelte CO<sub>2</sub>e-udledninger for KP22-scenarierne i 2050 sammenlignet med Klimafremskrivningen 2022 (KF22) og set ift. de historiske udledninger i 2019. Figuren angiver alene de udledninger, der tæller med i det nationale klimaregnskab jf. FN-opgørelsesregler. I scenarierne er CCS (fossil) indregnet i de sektoropdelte udledninger. I KF22 er CCS (fossil/bio) ikke indregnet sektorvis men fratrukket til sidst<sup>4</sup>.

Som supplement gengiver Figur 3 emissionsbilledet for 2050, hvor det alene er selve scenarierne, som er i fokus.

<sup>4</sup> Sektoropdelingen på figurene svarer overordnet til den i KF22. Dog er Erhverv her vist samlet set (dvs. som total af Fremstillings erhverv og bygge-anlæg samt Serviceerhverv), mens Landbrug, skove, gartneri og fiskeri her er vist opdelt på Landbrug, Jorder, Skove og Energiforbrug i landbrug. Sidstnævnte opdeling er lavet for at højne dokumentation og transparens af scenarierne.



Figur 3. Sektoropdelte CO<sub>2</sub>e-udledninger for KP22-scenarierne i 2050.

På trods af de overordnede fællestræk er der som vist på Figur 3 væsentlige forskelle i emissionsbilledet på tværs af scenarierne. Således varierer scenarierne bl.a. betydeligt mht., hvor store udledninger der er tilbage i 2050 inden for landbrug, jorder og skove; og dermed hvor stort behovet er for compensation via negative emissioner. Det skyldes, at scenarierne varierer med hensyn til den omstilling, der antages at ske inden for disse sektorer. Det uddybes i det følgende.

I *Bio & CCS-scenariet* antages en vis reduktion inden for landbrug via teknologiske tiltag i form af gyllebehandling, fodertilsætning, større økologiske arealer og reduceret kvælstofudledning fra gødsning på marker (reduktionen svarer omtrent til, at de tekniske reduktionspotentialer for 2030 opnås i 2050)<sup>5</sup>. Dertil er der forudsat en vis reduktion inden for jorder via udtagning af lavbundsgrunde. Samlet set reduceres CO<sub>2</sub>e-udledningen fra landbrug og jorder fra 16,8 mio. ton i 2019 til 10,9 mio. ton i 2050. Omvendt er der netto en positiv udledning fra skove i scenariet (0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>), da der i scenariet ikke er en øget skovrejsning ift. KP22; og da der samtidig sker en øget udnyttelse af den danske skovflis-ressource (restprodukt) til energiformål ift. i dag<sup>6</sup>. Alt i alt er der i scenariet et stort behov for negative emissionsteknologier i 2050, ca. 13,0 mio. ton CO<sub>2</sub>e, for at opnå klimaneutralitet. Således er der i scenariet en stor anvendelse af både pyrolyse, BECCS og DACCS.

<sup>5</sup> For nærmere beskrivelse af scenariernes omstilling inden for Landbrug, jorder og skove henvises til forudsætningsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier – Landbrug, jorder og skov*.

<sup>6</sup> Gradvist stigende udnyttelse af skovflis til energiformål; fra 41 PJ i 2019 til 55 PJ i 2050.



I *El-scenariet* sker der store reduktioner af udledningerne fra landbruget via teknologiske tiltag; og en stor reduktion inden for jorder, via en omfattende udtagning af lavbundsgrunde svarende til ca. 80 pct. af de kulstofrige jorder i 2020. Samtidig er der mod 2050 en betydeligt øget skovrejsning svarende til skovplanen. Samlet set er der i El-scenariet et behov for negative emissionsteknologier på 8,0 mio. ton CO<sub>2e</sub>; dvs. betydeligt lavere end i Bio & CCS-scenariet. Herunder er særligt anvendelsen af BECCS lavere end i Bio & CCS-scenariet.

Adfærds-scenariet indeholder samme teknologibaserede CO<sub>2e</sub>-reduktioner inden for landbrug og jorder; men udledningerne fra landbruget reduceres yderligere som følge af en omfattende ændring af danskernes kostvaner mod 2050; hvor forbruget af animalske fødevarer i vid udstrækning omstilles mod plantebaserede fødevarer i stedet<sup>7</sup>. Der opnås derved ca. 15 pct. reduktion i husdyrholdet i Danmark (ift. KF22-niveauet i 2030)<sup>8</sup> og en reduktion i udledningerne, som imidlertid er begrænset (0,8 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Det skyldes primært, at størstedelen af fødevarerne fra den danske husdyrproduktion er rettet imod eksport og, at det dermed er begrænset, hvor stor effekt en kostvanændring blandt danske forbrugere kan have på den danske landbrugsproduktion. Eftersom det nationale klimaregnskab er baseret på et territorielt perspektiv, medregnes alene udledninger inden for Danmarks grænser; og dermed ikke effekter på landbrugsproduktionen i udlandet. Derudover så betyder den territoriale emissionsopgørelse, at et reduceret behov for import af foder som fx soja ikke slår igennem i det danske klimaregnskab. Det skal dog nævnes, at effekten af en kostvanændring er baseret på grove skøn og derfor skal tages med forbehold.

Adfærds-scenariets reduktion i husdyrholdet og dermed foderbehovet frigiver arealer, som her primært forudsættes anvendt til øget skovrejsning (ca. 60 pct. af arealet). Dermed opnås et større netto-CO<sub>2</sub>-optag fra skove (i alt 1,6 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Samlet set er der i Adfærds-scenariet et lavere behov for negative emissionsteknologier som pyrolyse, BECCS og DACCS (6,5 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. 8,0 mio. ton CO<sub>2e</sub> i El-scenariet).

I scenariet *Nye markeder* ses CO<sub>2e</sub>-udledningen fra landbruget i 2050 at være reduceret markant (jf. Figur 3). Det skyldes, at der her opnås store reduktioner fra en omfattende omstilling af den danske landbrugsproduktion, hvor størstedelen af den animalsk baserede produktion omstilles til at levere til voksende globale markeder for plantebaserede fødevarer og proteiner (dette ud over de høje tekniske udledningsreduktioner fra landbrug og jorder). Det resulterer i 85 pct. reduktion i husdyrholdet (ift. KF22-niveauet i 2030)<sup>9</sup> og giver en yderligere reduktion i

---

<sup>7</sup> Se baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier: Landbrug, jorder og skov* for nærmere beskrivelse.

<sup>8</sup> Når scenariets øgede areal til økologi medregnes er reduktionen i husdyrholdet i 2050 ca. 15-20 pct. ift. KF22-niveauet i 2030.

<sup>9</sup> Når scenariets øgede areal til økologi medregnes er reduktionen i husdyrholdet i 2050 ca. 85-90 pct. ift. KF22-niveauet i 2030.





drivhusgasudledningen i 2050 på ca. 4,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> (ift. El-scenariet). Reduktionen skyldes primært den omfattende reduktion i husdyrproduktionen og de resulterende lavere udledninger fra husdyrenes fordøjelse og gødningshåndtering mv.

Den store nedgang i husdyrproduktionen betyder samtidig et langt lavere behov for arealkrævende foderproduktion. Scenariets store omstilling fra animalsk til plantebaseret produktion frigiver derfor samlet set arealer til anden anvendelse. I scenariet antages det, at halvdelen af foderarealet omlægges til dyrkning af fødevarer (til mennesker), mens ca. 15 pct. af de frigivne arealer udlægges til skovrejsning, hvilket giver et højt CO<sub>2</sub>-optag fra skov. Det svarer til en samlet skovrejsning på ca. 10.000 ha pr. år fra 2025 til 2050. De øvrige frigivne arealer antages omlagt til naturområder og eventuelle øvrige formål. Samtidig sker der i scenariet en halvering i udnyttelsen af skovflis til energiformål ift. i dag, hvilket øger kulstofpuljen i jorden. Samlet set bidrager skovene dermed som vist med et CO<sub>2</sub>-optag på ca. 3,4 mio. ton CO<sub>2e</sub>. Alt i alt er der i scenariet dermed kun et beskedent behov for negative emissionsteknologier i 2050 (1,1 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Scenariets store reduktion i foderbehov til landbruget vil i øvrigt indebære reducerede drivhusgasudledninger fra import af foderprodukter som fx soja. Dette indgår dog ikke i det nationale klimaregnskab, der som nævnt er baseret på et territorialt perspektiv.

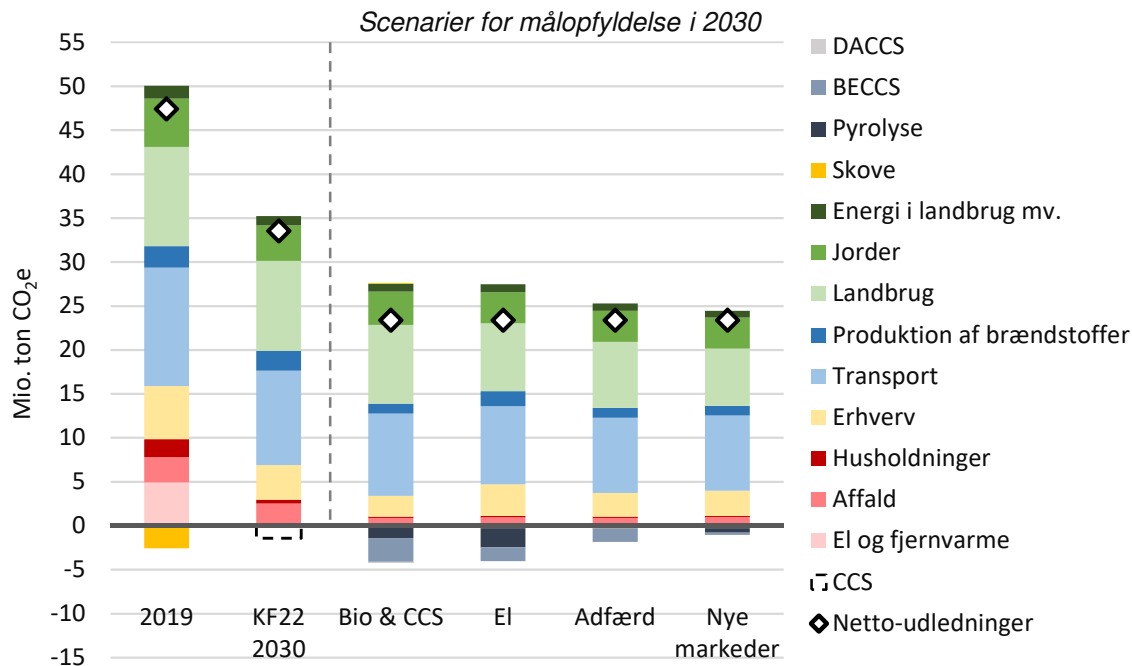
Det samlede resultatbillede for 2050 illustrerer bl.a., at behovet for negative emissionsteknologier reduceres, jo mere udledningerne fra landbrug og jorder reduceres; og jo større skovrejsning der etableres. I det omfang de negative udledninger leveres af BECCS og pyrolyse, kræver det brug af biogent kulstof, som er en knap ressource (Klimarådet, 2022). Samtidig er DACCS en usikker teknologi, hvorfor en fremtidig storskala-anvendelse kræver videreudvikling. Det skal også nævnes, at det er usikkert, om pyrolyseteknologien vil kunne konkurrere med de øvrige teknologier til levering af negative udledninger og brændstofproduktion. De angivne negative emissionsbidrag fra pyrolyse skal derfor tages med forbehold for dette.

Scenarierne illustrerer forskellige bud på, hvordan behovet for negative udledninger kan leveres af forskellige teknologier. Det er dog usikkert, i hvilket omfang de negative emissionsteknologier som pyrolyse, BECCS og DACCS hver især vil bidrage til opnåelsen af langsigtet klimaneutralitet.

Ud over det som kan ses direkte af CO<sub>2</sub>-emissionsbilledet, så varierer scenarierne også med hensyn til energisystemets sammensætning, hvilket bl.a. afspejles i det samlede elforbrug, forbruget af bioenergi, brændstofproduktionen samt fangsten og anvendelsen af CO<sub>2</sub> i systemet. Sådanne yderligere resultater er illustreret i afsnit 2.3 for både 2050 og 2030.

## 2.2 Forskellige veje til 70 pct. målet i 2030

I dette afsnit beskrives det, hvilken opfyldelse af 70 pct.-målet i 2030, som scenarierne optegner på vejen mod klimaneutralitet. Figur 4 viser scenariernes CO<sub>2</sub>e-emissioner i 2030 sammenlignet med KF22 samt udledningen i 2019.



Figur 4. Sektoropdelte CO<sub>2</sub>e-udledninger for scenarierne i 2030<sup>10</sup> sammenlignet med i Klimafremskrivningen 2022 (KF22) og set i forhold til de historiske udledninger i 2019. I scenarierne er CCS (fossil) indregnet i de sektoropdelte udledninger. I KF22 er CCS (fossil/bio) ikke indregnet sektorvis men fratrukket til sidst.

Figuren illustrerer for det første den betydelige CO<sub>2</sub>e-reduktion, der generelt forventes mod 2030 som følge af allerede vedtaget politik repræsenteret i Klimafremskrivningen 2022<sup>11</sup>. I denne basisudvikling indgår som vist betydelige CO<sub>2</sub>e-reduktioner i sektorerne el og fjernvarme, affald, transport, erhverv, husholdninger, landbrug, og jorder og fra CCS (1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e) (Energistyrelsen, 2022). Herunder kan der også nævnes opnåelse af en høj VE-andel i ledningsskassen fra 16 pct. i 2020 til 75 pct. i 2030. Med de allerede besluttede politiske tiltag pr. 1. januar 2022 reduceres udledningen samlet set fra 47,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2019 til 33,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Beskedne udledninger i scenarierne fra brændsler fremstillet ud fra fossilt CO<sub>2</sub> (CCU) er af simplificeringshensyn modregnet under BECCS (udgør op til 0,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030).

<sup>11</sup> Omfatter politiske tiltag på energi- og klimområdet besluttet af Folketinget per 1. januar 2022.

<sup>12</sup> Regeringen har siden 1. januar 2022, gennemført *Klimaafale om grøn strøm og varme 2022, Aftale om kilometerbaseret vejafgift for lastbiler samt Aftale om grøn skattereform for industri mv.* Disse tiltag indgår ikke i KF22, som scenarierne sammenlignes med.



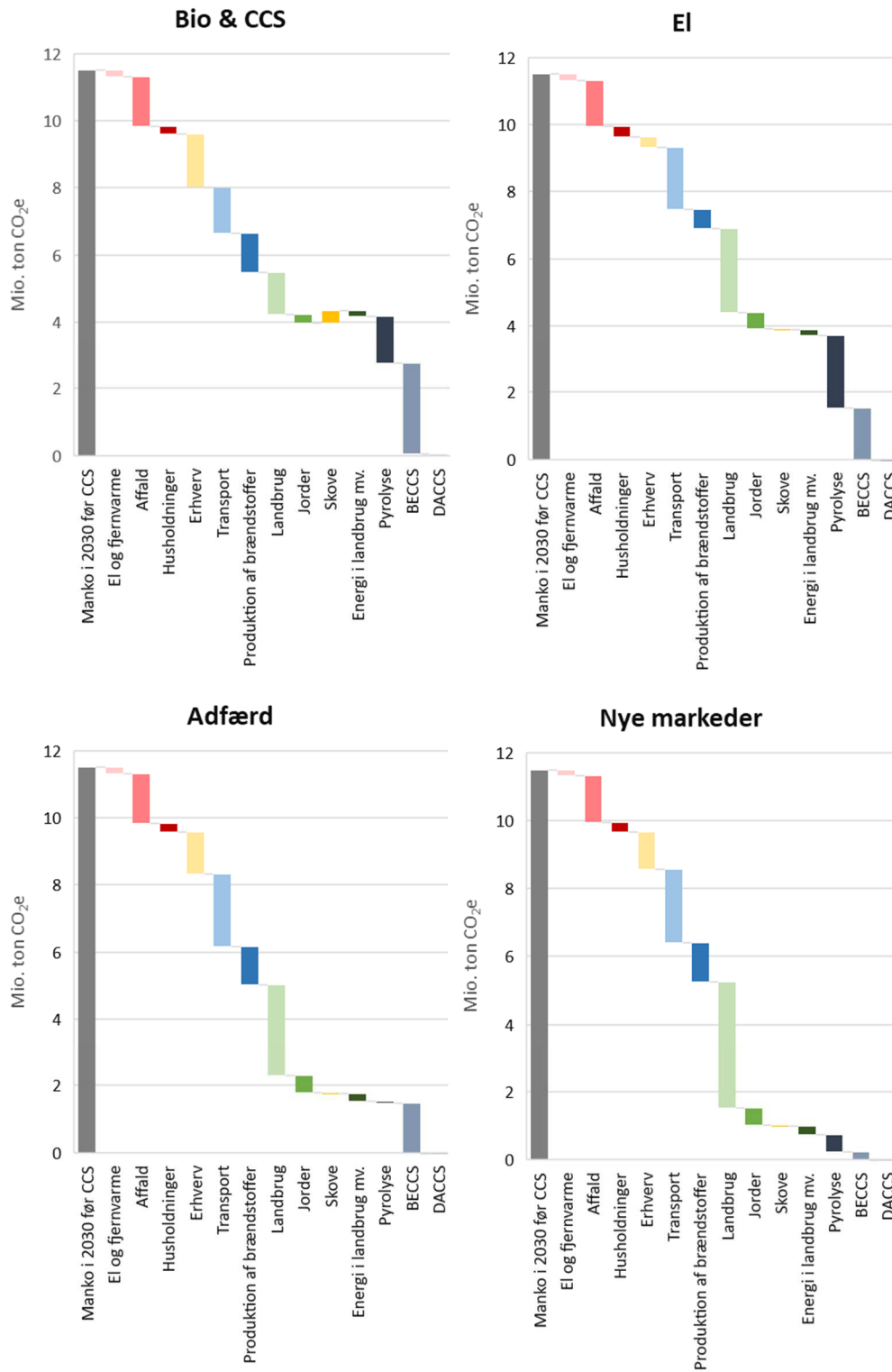
Figuren viser, at den samlede udledning i scenarierne reduceres yderligere til 23,4 mio. ton CO<sub>2e</sub> i 2030 svarende til en indfrielse af 70 pct.-målsætningen (dvs. mankoen på 10,1 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22 lukkes). Målopfyldelsen sker ved anvendelse af kendte teknologier og løsninger. Nogle af teknologierne, fx DAC, pyrolyse, og foderstoftilsætninger i landbruget, er dog i dag på et relativt tidligt udviklingsstadium og forventes at kræve yderligere demonstration/udvikling, før de kan være klar til anvendelse i en større skala.

Vandfaldsdiagrammerne på Figur 5 tydeliggør, hvilke yderligere CO<sub>2e</sub>-reduktioner der opnås i scenarierne i 2030 ift. KF22. I KF22 indgår et forventet reduktionsbidrag fra CCS på 1,4 mio. ton CO<sub>2e</sub>, hvor der grundet stor usikkerhed om den fremtidige udvikling på området ikke er angivet en fordeling af reduktionen på sektorer eller på fossil CCS og BECCS mv (Energistyrelsen, 2022). For at opnå en konsistent sammenligning er CO<sub>2e</sub>-reduktionerne i scenarierne derfor sammenholdt med KF22-udledningen før indregning af CCS. Dette udgangspunkt er fælles for scenarierne. Derfor summer vandfaldsdiagrammerne på Figur 5 til 11,5 mio. ton CO<sub>2e</sub> svarende til mankoen på 10,1 mio. ton ift. KF22 plus det uspecificerede bidrag på 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub> fra CCS.

#### *Fællestræk imellem scenarierne*

Figur 5 viser, at en betydelig del af reduktionen i alle scenarier sker inden for landbrug, transport, erhverv, affald og produktion af brændstoffer. Samlet leverer disse sektorer således et stort reduktionsbidrag i 2030 (6,6-9,5 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Det relativt store bidrag fra disse sektorer hænger sammen med, at de udgør en stor del; i alt 88 pct. af emissionsbilledet i 2030, efter effekten af allerede vedtagne politiske aftaler er indregnet (jf. KF22-søjlen på Figur 4).

Til sammenligning sker der i scenarierne mere begrænsede reduktioner inden for fx El & fjernvarme og husholdninger, da udledningerne fra disse sektorer allerede vil være reduceret til et lavt niveau i KF22 (de to sektorer udgør til sammen blot 2 pct. af emissionsbilledet i KF22 i 2030).



Figur 5. CO<sub>2</sub>e-reduktioner i scenarierne i 2030 ift. KF22 før indregning af CCS. Reduktionerne er fordelt på sektorer samt anvendelse af negative emissionsteknologier (Pyrolyse, BECCS og DACCS).



Derudover er der bl.a. følgende fællestræk i mellem scenarierne i 2030:

- VE-andelen i ledningsgassen øges til 100 pct. i 2030 (ift. 75 pct. i KF22).
- Hvad angår *husholdninger* er der generelt i alle scenarierne meget få fossile udledninger tilbage i 2030 som følge af dette (ingen fossile udledninger fra naturgasfyr); og idet oliefyr med de allerede besluttede politiske tiltag nærmest er udfaset. Derfor opstår der kun begrænsede forskelle i mellem scenarierne, hvad angår udledninger fra husholdninger. Således er reduktionen på 0,2-0,3 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22 i alle scenarier. Dette på trods af scenarieforskelle hvor der fx er flest individuelle varmepumper i EI-scenariet, og hvor energiforbruget i husholdningerne er lavere i scenarierne Adfærd og Nye markeder sfa. energieffektivisering og adfærdsændringer.
- I *EI- og fjernvarmesektoren* vil kul i KF22 i 2030 være udfaset, og da der samtidig er 100 pct. VE i ledningsgassen i scenarierne, er de resterende fossile udledninger fra denne sektor meget små (0,1 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Disse stammer primært fra forbrænding af olie til spidslast samt beskedne metan- og lattergas-udledninger mv. fra forbrændingen af biobrændsler.
- Inden for *Energi i landbrug mv.* kan ses at være omtrent samme reduktion i udledningerne på tværs af scenarierne (0,2-0,3 mio. ton CO<sub>2e</sub>). En del af forklaringen bag dette er, at mulighederne for at reducere udledningerne fra denne sektor ikke på alle områder er detaljeret kortlagt (bl.a. mulighederne for at elektrificere forskellige typer landbrugsmaskiner).

#### *Forskelle i mellem scenarierne*

Der er væsentlige forskelle i mellem scenarierne med hensyn til, hvordan 70 pct.-målsætningen indfries. Herunder er der også nogle scenarieforskelle med hensyn til, hvilken omstilling der sker, som ikke nødvendigvis kan ses af selve emissionsbilledet. Scenarieforskellene uddybes i det følgende.

#### Landbrug

Inden for landbrug varierer bidraget til lukning af mankoen betydeligt på tværs af scenarierne (1,2-3,7 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22). Den laveste CO<sub>2e</sub>-reduktion sker i Bio & CCS-scenariet (1,2 mio. ton CO<sub>2e</sub>), hvor halvdelen af de tekniske reduktionspotentialer antages opnået inden for gyllehåndtering, fodertilsætning og økologiske arealer. Reduktionen er højere i EI-scenariet (2,5 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22), hvor disse reduktionspotentialer antages realiseret fuldt ud. I Adfærds-scenariet reduceres landbrugets udledninger yderligere (2,7 mio. ton CO<sub>2e</sub>-reduktion ift. KF22), da der udover fuld realisering af de nævnte reduktionspotentialer samtidig sker en kostvaneændring blandt danske forbrugere i retning mod plantebaserede fødevarer; som har et lavere klima-aftryk end animalske fødevarer. Reduktionen i de nationale udledninger er dog begrænset, eftersom størstedelen af fødevarerne fra den danske husdyrproduktion går til eksport til andre lande, hvor der ikke antages et ændret aftag i scenariet. CO<sub>2e</sub>-reduktionen i landbruget er derimod markant højere i Nye markeder-scenariet (3,7 mio. ton ift. KF22), hvor der er påbegyndt en omstilling



af selve den danske landbrugsproduktion i retning mod plantebaserede fødevarer og proteiner, hvilket reducerer husdyrholdet betydeligt.

#### Jorder

Inden for jorder er der også en vis variation i mellem scenarierne. I Bio & CCS-scenariet er halvdelen af det tekniske reduktionspotentiale for udtagning af lavbundsgræsland realiseret svarende til opnåelse af en reduktion på 0,25 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22, mens der i de øvrige scenarier sker en fuld realisering af dette potentiale (0,5 mio. ton CO<sub>2</sub> reduktion ift. KF22).

#### Skove

I sektoren skove er der i 2030 i alle scenarier samme niveau af CO<sub>2</sub>-optag fra skove som i KF22, da det tager en del år at oparbejde et betydeligt netto-optag fra skovrejsning. Omvendt er der i Bio & CCS-scenariet en reduktion i skovenes kulstofpulje som følge af et øget udtag af skovflis til energiformål. Dette indebærer en merudledning på 0,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22 i dette scenarie.

#### Transport

I transportsektoren er der for tre af scenarierne (EI, Adfærd og Nye markeder) forudsat en øget anvendelse af eldrevne transportteknologier i 2030 ift. KF22: Eksempelvis 30 pct. elbiler (ift. 23 pct. i KF22, ekskl. plug-in hybridbiler) og 10 pct. el-lastbiler (ift. 6 pct. i KF22). Derudover er der i alle scenarier en betydelig iblanding af VE-brændstoffer; ud over den allerede besluttede: 15-20 pct. iblanding af VE-diesel (ift. 11 pct. iblanding i KF22) og 8-10 pct. VE-benzin (ift. 6,7 pct. iblanding i KF22). Dertil indgår der i scenarierne VE-jetfuel svarende til 100 pct. VE-brændstof i indenrigs luftfart baseret på regeringens udmelding vedr. grøn luftfart (indgår ikke i KF22)<sup>13</sup>.

Imidlertid er der væsentlige variationer i mellem scenarierne mht. antagne teknologiandele, VE-brændstofanvendelser og transportbehov. Dette afspejles også i resultaterne, hvor transportsektorens bidrag til opfyldelse af 70 pct.-målet varierer betydeligt, (1,4-2,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e) afhængig af scenarie. Bio & CCS-scenariet rummer den laveste reduktion i transportsektoren (1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22). Dette scenarie afspejler en situation, hvor implementeringen af eldrevne løsninger i transportsektoren i det store hele ikke bliver større end med de allerede besluttede politiske tiltag (KF22). CO<sub>2</sub>e-reduktionen ift. KF22 sker således primært som følge af en øget iblanding af VE-brændstoffer<sup>14</sup>.

I EI-scenariet er der en højere CO<sub>2</sub>e-reduktion i transportsektoren (1,8 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22), hvilket primært skyldes en væsentligt højere direkte elektrificering; særligt

---

<sup>13</sup> For yderligere beskrivelse henvises til baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier - Transport: Motortypefordelinger og iblanding af VE-brændstoffer*.

<sup>14</sup> 20 pct. VE-diesel ift. 11 pct. i KF22 og 10 pct. VE-benzin ift. 6,7 pct. i KF22.



inden for personbiler, varebiler, busser, søfart og lastbiler<sup>15</sup>. Dertil er der i EI-scenariet antaget en moderat højere anvendelse af brintdrevne transportteknologier og en vis anvendelse af ammoniak inden for indenrigssøfart til godstransport<sup>16</sup>. Til gengæld er VE-iblandingen i 2030 antaget lidt lavere end i Bio & CCS-scenariet, da der i EI-scenariet er en mindre satsning på biobrændstoffer<sup>17</sup>. I scenarierne Adfærd og Nye markeder er der en yderligere reduktion i transportsektorens udledninger (2,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22). Det skyldes, at der ud over en høj elektrificering og iblanding af VE-brændstoffer forudsættes et skift mod en højere grad af klimabevidst transportadfærd blandt borgere og virksomheder. Det reducerer trafikarbejdet og dermed udledningerne for personbiler, varebiler, lastbiler og indenrigsfly<sup>18</sup>.

### Affald

Drivhusgasudledninger fra affald i 2030 stammer fra affaldsforbrænding (primært fra plastaffald), biogaslækage, affaldsdeponier, kompostering og spildevand<sup>19</sup>. I alle scenarier mindskes affaldsforbrændingen ift. KF22 som følge af en øget genanvendelse. Reduktionen i affaldsforbrændingen er størst i scenarierne Adfærd og Nye markeder, hvor der indgår yderligere udsortering til genanvendelse samt en generel reduktion i affaldsmængderne. Begge dele sker som følge af mere klimabevidst adfærd blandt borgere og virksomheder<sup>20</sup>. Derved reduceres de fossile udledninger fra affaldsforbrændingen yderligere.

Derudover sker der i scenarierne en betydelig CO<sub>2</sub>-fangst fra affaldsanlæg (ca. 30-80 pct. i 2030 afhængig af scenarie). I scenarierne Bio & CCS samt EI opfanges således ca. 0,4-0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e af de totale ca. 0,6 mio. ton CO<sub>2</sub>e fossile udledninger fra affaldsforbrændingen og i scenarierne Adfærd og Nye markeder opfanges ca. 0,1-0,2 mio. ton af de ca. 0,3 mio. ton fossile CO<sub>2</sub>e-udledninger fra affaldsværkerne. Da CO<sub>2</sub>-udledningerne fra affaldsforbrændingen udgør en blanding af biogen og fossil CO<sub>2</sub>, opfanges der samtidig biogene CO<sub>2</sub>e-udledninger (0,5-1,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e afhængig af scenarie).

---

<sup>15</sup> 30 pct. elbiler (samt 6 pct. plug-in hybrider), 25 pct. el-varebiler (samt 5 pct. plug-in hybrider), 50 pct. el-busser, 10 pct. el-lastbiler og ca. 12 pct. eldrevet søfart (samlet set for passagerer og gods, indenrigs).

<sup>16</sup> 1 pct. brintbiler, 1 pct. brint-varebiler, 2 pct. brint-busser, 5 pct. brint-lastbiler, 1 pct. brint-drevet indenrigs søfart af passagerer. 10 pct. af indenrigs søfart til godstransport forudsættes dertil baseret på ammoniak som brændstof.

<sup>17</sup> 15 pct. VE-diesel ift. 20 pct. VE-diesel i Bio & CCS-scenariet.

<sup>18</sup> For yderligere beskrivelse henvises til baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier – Transportefterspørgsel*.

<sup>19</sup> I tråd med KF22 er F-gasser ikke længere indeholdt i denne kategori men er i stedet allokeret ud på de sektorer, hvor F-gasudledningerne fremkommer.

<sup>20</sup> For yderligere beskrivelse henvises til baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier - Affald*.



Den indfangede CO<sub>2</sub> indgår som del af den samlede opfangede CO<sub>2</sub>-pulje fra alle sektorer. Den opfangede CO<sub>2</sub> anvendes i scenarierne i 2030 til:

- primært lagring, hvorved fossile udledninger neutraliseres, og lagring af biogent CO<sub>2</sub> bidrager til negative udledninger (disse opgøres under BECCS)
- og sekundært til produktion af brændstoffer (CCU).

#### Produktion af brændstoffer

Inden for produktion af brændstoffer er der i tre af scenarierne, Bio & CCS, Adfærd og Nye markeder antaget en samlet reduktion på 1,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22. Dette kan afspejle reduktioner fra CCS på raffinaderier, elektrificering af raffinaderier & olie og gasindvinding i Nordsøen, skift til grøn brint på raffinaderier og/eller skift til bio-feedstock på raffinaderier men er ikke konkret specificeret i modellen. Reduktionen svarer til, at størstedelen af det samlede tekniske reduktionspotentiale for raffinaderier og Nordsøen realiseres.

I EI-scenariet er der for denne sektor forudsat en lavere reduktion (0,6 mio. ton CO<sub>2e</sub> ift. KF22), baseret på, at der i dette scenarie indgår en stor CO<sub>2e</sub>-reduktion fra pyrolyse i målopfyldelsen i 2030. Den lavere reduktion inden for produktion af brændstoffer kan afspejle en mere begrænset reduktion fra CCS og/eller bio-feedstock på raffinaderierne, men er i modellen blot repræsenteret som en udledning.

#### Erhverv

Scenariernes udledningsreduktioner inden for erhverv (0,3-1,6 mio. ton CO<sub>2e</sub>-reduktion ift. KF22) er bl.a. drevet af modellens økonomiske optimering og varierer som følge af variationen i de forudsatte rammebetingelser. Eksempelvis er der forudsat lavere investeringsomkostninger for eldrevne teknologier i scenarier med fokus på høj grad af elektrificering (EI-scenariet, Adfærds-scenariet og Nye markeder-scenariet). Desuden fortrænges en del naturgas i erhverv som følge af den øgede iblanding af VE-gas i ledningsgassen (100 pct. VE-gas ift. 75 pct. i KF22). Endvidere bidrager den forudsatte iblanding af VE-diesel (15-20 pct. ift. 11 pct. i KF22) til CO<sub>2e</sub>-reduktioner inden for den interne transport i erhverv (fx gaffeltrucks og øvrige maskiner). Som led i modellens optimering investeres der desuden i CO<sub>2</sub>-fangst på cementproduktionen i to af scenarierne (1,4 mio. ton CO<sub>2e</sub> i Bio & CCS-scenariet og 0,7 mio. ton CO<sub>2e</sub> i Adfærds-scenariet).

Derudover er der i scenarierne Adfærd og Nye markeder forudsat:

- Større energieffektivisering ift. i de øvrige scenarier.
- En reduceret udbygning af veje som følge af det reducerede trafikarbejde fra den ændrede transportadfærd. Som led heri er der forudsat en reduktion i de energirelaterede udledninger fra byggeri & anlæg og i aktiviteten for cementproduktionen.





- Øget fokus på bæredygtighed inden for byggeri og offentlige anlæg, hvilket afspejles i en lavere cementproduktion samt en reduceret klinkerandel i denne (bort set fra dette er der antaget uændret erhvervsaktivitet ift. KF22).

Endelig antages det særskilt i Nye Markeder, at produktionen af hvid cement til eksport reduceres væsentligt.

Samlet set er CO<sub>2</sub>e-reduktionen i erhverv størst i Bio & CCS-scenariet (1,6 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22) og lavest i EI-scenariet (0,3 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22). Den begrænsede reduktion i EI-scenariet skyldes:

- At de sidste (marginale) reduktioner i målopfyldelsen i 2030 i modellen i vid udstrækning hentes i erhverv; bl.a. som følge af, at CO<sub>2</sub>e-emissionerne fra flere af øvrige store udledningssektorer i 2030-billedet er fastlagt ud fra scenariospecifikke antagelser (fx landbrug og transport).
- Og at der i EI-scenariet er forudsat en høj CO<sub>2</sub>e-reduktion fra landbrug, jorder og skove inkl. pyrolyse.

Derved er der i EI-scenariet ikke behov for så store reduktioner i erhverv. Det er ikke analyseret, hvilken fordeling af CO<sub>2</sub>-reduktioner i mellem erhverv, transport og landbrug, jorder og skove mv., som er mest omkostningseffektiv. Scenarierne illustrerer alene forskellige eksempler på målopfyldelser.

Til ovenstående skal det nævnes, at der med de allerede besluttede politiske tiltag ligger betydelige CO<sub>2</sub>e-reduktioner inden for erhverv (en samlet reduktion fra 6,0 mio. ton i 2019 til 4,0 mio. ton i KF22 i 2030). Det begrænser potentialet for yderligere tiltag i erhvervssektoren på kort sigt. Det kan dog ikke udelukkes, at der på baggrund af supplerende analyser kan findes yderligere reduktioner i erhverv end de her illustrerede.

#### Negative emissionsteknologier

Udover reduktioner i selve udledningerne så bidrager negative emissionsteknologier (BECCS, pyrolyse og/eller DACCS) som vist også til scenariernes målopfyldelse i 2030 (0,8-4,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e ift. KF22<sup>21</sup>). Herunder forventes DACCS blot at kunne bidrage i beskedent omfang mod 2030, da teknologien stadig er på et relativt tidligt udviklingsstadium. Således er bidraget fra DACCS i scenarierne i 2030 på 0,1 mio. ton CO<sub>2</sub>e som det højeste<sup>22</sup>.

Det ses, at bidraget fra negative emissionsteknologier i 2030 (primært BECCS og pyrolyse) varierer betydeligt på tværs af scenarierne. I Bio & CCS-scenariet ses negative emissionsteknologier at levere en stor CO<sub>2</sub>e-reduktion (4,2 mio. ton ift. KF22). Det skyldes primært, at selve udledningerne fra især landbrug, transport og

---

<sup>21</sup> Før indregning af de 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e-reduktion fra CCS i KF22; som ikke er specificeret opdelt på hhv. fossil CCS og BECCS (eller DACCS).

<sup>22</sup> Med de anvendte forudsætninger peger modellen ikke umiddelbart på, at investering i DACCS er økonomisk attraktivt mod 2030. For at afspejle usikkerheden omkring teknologiudviklingen og indsatsen for at fremme denne er der dog antaget et bidrag på 0,1 mio. ton CO<sub>2</sub>e i Bio & CO<sub>2</sub>-lagings-scenariet.



Jorder ikke er reduceret så meget i dette scenarie, hvilket nødvendiggør et større negativt bidrag. I EI-scenariet er udledningerne fra de forskellige sektorer reduceret mere; bl.a. via elektrificering og større reduktioner inden for landbrug og jorder. Til gengæld er der forudsat et stort bidrag fra pyrolyse (2,2 mio. ton CO<sub>2e</sub>), hvilket samtidig indebærer en samlet opfyldelse af landbrugsmålet i dette scenarie. Samlet set er bidraget fra negative emissionsteknologier reduceret til 3,8 mio. ton CO<sub>2e</sub>. Behovet for negative emissionsteknologier er lavere i Adfærds-scenariet; idet selve udledningerne i særligt transport, erhverv og landbrug er reduceret yderligere som følge af ændret adfærd; og samtidig er der forudsat et lavere bidrag fra pyrolyse. Bidraget fra negative emissionsteknologier er lavest i scenariet Nye markeder (0,8 mio. ton CO<sub>2e</sub>). Det skyldes primært den store reduktion i landbrugets udledninger foranlediget af produktionsomstillingen i retning mod plantebaserede fødevarer.

I hvilket omfang det vil være fordelagtigt at anvende negative emissionsteknologier som BECCS, pyrolyse og DACCS mod 2030 er usikkert. Dette vil således afhænge af, hvorvidt det med fremtidig teknologi- og prisudvikling vil være mest omkostningseffektivt at reducere sektorernes udledninger, eller at kompensere for dem via negative emissioner. Det er derunder særligt usikkert, hvorvidt pyrolyse og DACCS kan blive konkurrencedygtige allerede mod 2030.

Det skal også nævnes, at man teknisk set ville kunne skrue op for andre tiltag, som vil kunne reducere behovet for negative emissionstiltag. Det gælder fx iblanding af VE-brændstoffer (Power-to-X/biobrændstoffer) i transportsektoren. Der er i scenarierne som nævnt allerede forudsat betydelige iblandinger af VE-brændstoffer mod 2030. Men teknisk set er det muligt at iblande op til 100 pct. VE-brændstof i diesel og benzin<sup>23</sup>. En yderligere iblanding af VE-brændstoffer i transportsektoren vil således kunne reducere bidraget fra negative emissionstiltag som fx BECCS og pyrolyse i opfyldelsen af 70 pct.-målet.

I lyset af usikkerheden omkring pyrolyseteknologien er det valgt at udspænde et udfaldsrum, hvor selve nedpløjningen af biokul fra pyrolyse bidrager med 0,05-2,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> negative udledninger i 2030. Det lave pyrolyseniveau er groft skønnet baseret på den nyligt besluttede indsats med etablering af demonstrationsanlæg.

---

<sup>23</sup> 100 pct. iblanding af VE-diesel er teknisk muligt, hvis der er tale om e-diesel eller HVO-biodiesel; og 100 pct. iblanding af VE-benzin teknisk mulig, for så vidt angår e-benzin eller syntetisk benzin fra biomasse.



### 2.3 Supplerende resultatfigurer

I dette afsnit præsenteres udvalgte supplerende resultatudtræk fra scenarierne, som indikerer energisystemets sammensætning i de forskellige scenarier. Dette omfatter bioenergiforbrug, elforbrug, brændstofproduktion samt CO<sub>2</sub>-optag og -anvendelse. Til sammenligning er historiske forbrug for 2019 vist<sup>24</sup>.

#### *Bioenergiforbrug*

Det samlede forbrug af biomasse til energiformål (bioenergi) i scenarierne er vist på Figur 6. Det ses, at biomasseforbruget i 2050 i ingen af scenarierne overstiger det historiske på ca. 190 PJ (i 2019), og at forbruget reduceres til et betydeligt lavere niveau i tre af scenarierne. Dette som følge af den varierende mængde biomasse, som er forudsat anvendt til energiformål (se baggrundsnotatet *Metodebeskrivelse for KP22-scenarier* for yderligere beskrivelse).

Bioenergiforbruget i 2050 er højest i Bio & CCS scenariet, hvor der er forudsat en høj udnyttelse af danskproduceret biomasse i form af restprodukter fra landbrug, skovbrug og industri (halm, husdyrgødning, industri- og restaffald, biogent affald, træaffald, brænde og træflis fra skove mv.); i alt ca. 190 PJ biomasse. Det svarer nogenlunde til Danmarks nuværende samlede biomasseforbrug til energiformål inkl. import.

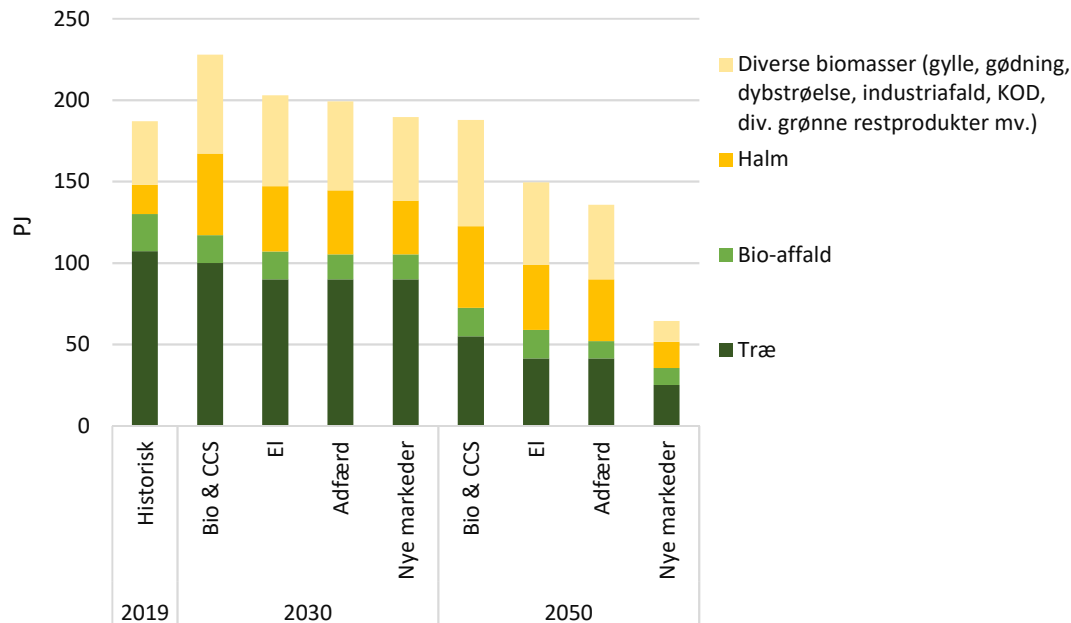
Bioenergiforbruget i 2050 er lavest i scenariet Nye markeder, hvor det er reduceret til ca. 60 PJ biomasse. Det svarer til ca. 10 GJ biomasse per gennemsnitsborger (se Tabel 1).

IPCC vurderer ud fra en række studier, at der er høj videnskabelig enighed om, at det globale bæredygtige bioenergi-potentiale vil være begrænset til omkring 100 EJ biomasse pr. år i 2050. Ud fra dette vurderer Klimarådet, at det er tvivlsomt, om et globalt bioenergiforbrug mv. på over 100 EJ vil være bæredygtigt i 2050, hvilket nogenlunde svarer til de 10 GJ biomasse per indbygger (Klimarådet, 2022)<sup>25</sup>. Til dette skal dog nævnes, at der som bekendt på mange andre områder i dag ikke er en tilsvarende ligelig fordeling af verdens ressourcer.

---

<sup>24</sup> Blandt de seneste opgjorte år fra energistatistikken er 2019 her valgt, eftersom dette år er vurderet mere repræsentativt end 2020, pga. Covid-pandemien som prægede 2020.

<sup>25</sup> I den nyeste IPCC-rapport (AR6) nævnes globale bioenergi-potentialer i 2050 på 55-300 EJ pr. år samlet set for bio-restprodukter og storskala arealanvendelse til biomasseafgrøder (energi-afgrøder). Disse estimater ligger imidlertid inden for intervallet af tidligere studier, og der er kun medium enighed blandt forskerne omkring disse potentialer (IPCC, 2022).



Figur 6. Forbruget af biomasse til energiformål i scenarierne sammenlignet med det historiske forbrug i 2019<sup>26</sup>.

Tabel 1. Bioenergiforbrug i scenarierne i 2050 ift. det historiske forbrug i 2019.

	2019	2050			
	Historisk*	Bio & CCS	EI	Adfærd	Nye markeder
Samlet biomasseforbrug (PJ)	187	188	150	136	64
Biomasseforbrug per borger (GJ/pers.)	33	31	25	23	11

\* Estimeret ud fra Energistyrelsen (2021).

Det ses, at forbruget af træ reduceres i alle scenarier ift. det historiske niveau; særligt i 2050. Bio-affald (til el/varmeproduktion) i scenarierne reduceres som følge af reduceret affaldsproduktion og øget genanvendelse.

Omvendt sker der i scenarierne en stigning i udnyttelse af halm og diverse øvrige biogene restprodukter fra landbrug, skovbrug og husholdninger (gylle, gødning, dybstrøelse, industriaffald, KOD<sup>27</sup> og græs fra naturarealer mv.). Den øgede udnyttelse af restprodukter anvendes i sær til at understøtte en øget produktion af VE-gas (primært biogas). Således øges biogasproduktionen i scenarierne til 45-55 PJ i 2030 og 19-70 PJ i 2050 set ift. 17 PJ i 2019. Dertil optræder der op til 8 PJ pyrolysegas i scenarierne (pyrolyse genererer pyrolysegas og bio-olie; udover biokoks som leverer CO<sub>2</sub>-lagring ved nedpløjning). Den øgede halmanvendelse er

<sup>26</sup> Det historiske forbrug af kategorien *Diverse biomasser* er estimeret ud fra biobrændselsforbrug i Energistyrelsen (2021) samt antagne konverterings effektiviteter.

<sup>27</sup> KOD: Kildesorteret organisk dagrenovation.



primært drevet af biogasproduktionen men delvist også behovet for biomasse til pyrolyse.

I scenariet Nye markeder sker en stor reduktion i husdyrholdet mod 2050, hvilket reducerer mængden af fx gylle og gødning samt mængden af halm fra foderproduktion mv<sup>28</sup>. Dermed er der i scenariet således færre restprodukter fra landbruget til rådighed til energiformål. Samme tendens gør sig gældende i Adfærds-scenariet, blot i lavere udstrækning, da omstillingen i landbruget her er mindre.

Nye markeder scenariet udgør et eksempel på en målopfyldelse, hvor bioenergiforbruget reduceres til det globale bæredygtige råderum ifølge Klimarådet (10 GJ biomasse per verdensborger). En alternativ udformning af scenariet kunne være, at arealer frigivet ved omstilling af landbruget fra animalsk til plantebaseret produktion anvendes til at øge biomasseproduktionen og -anvendelsen i Danmark. Denne variant har ikke været undersøgt i KP22-scenariearbejdet.

Som led i en transitionsfase indgår der i scenarierne i 2030 en vis import af træbiomasse (ca. 50-55 PJ svarende til ca. 20-25 pct. af det samlede biomasseforbrug i scenarierne); og biomasseforbruget ses i nogle af scenarierne at være lidt højere i 2030 end det historiske forbrug.

### *Grønne brændstoffer*

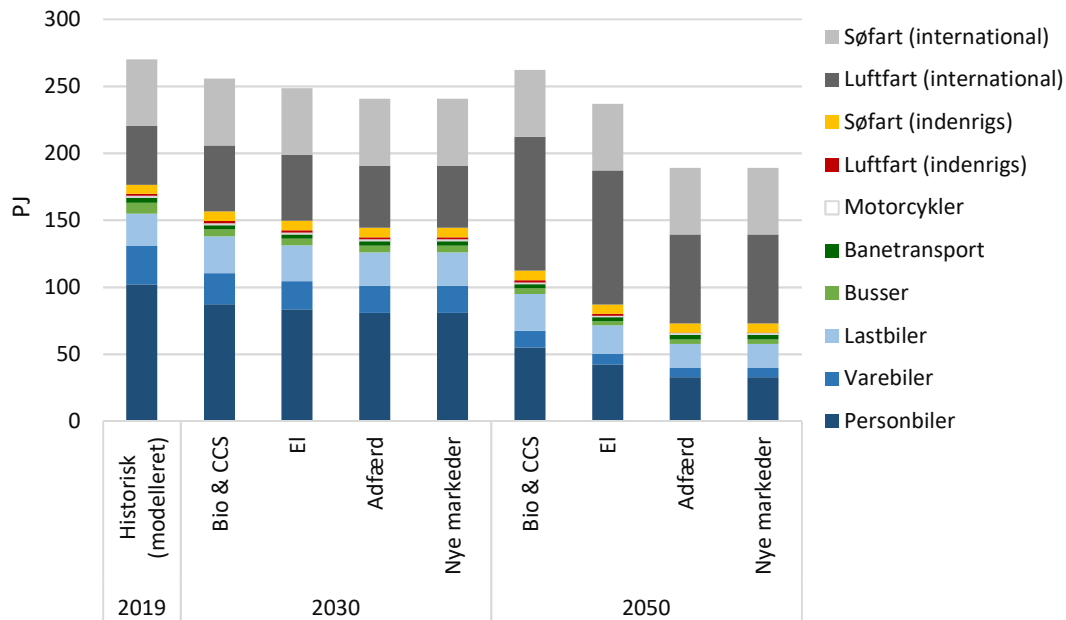
Scenariernes endelige energiforbrug til forskellige former for transport er vist på Figur 7. Det samlede endelige energiforbrug til transport reduceres i scenarierne mod 2050. Det skyldes en øget anvendelse af eldrevne transportteknologier, som er betydelig mere energieffektive end forbrændingsmotorer. Det ses, at især energiforbruget til personbiler og varebiler reduceres i scenarierne, idet elektrificeringen er særligt stor inden for denne transportkategori.

Figuren illustrerer, at energiforbruget til international luft- og søfart udgør en stor del af det samlede energiforbrug til transport. Dette gælder særligt i 2050, idet den internationale luftfart forudsættes øget betydeligt baseret på forventninger fra International Civil Aviation Organisation (ICAO)<sup>29</sup>. Eftersom netop luftfarten samtidig er vanskelig at elektrificere, er det den internationale luftfart, som driver en stor del af behovet for grønne brændstoffer i scenarierne i 2050.

---

<sup>28</sup> Animalsk fødevareproduktion indebærer et stort behov for dyrkning af foderafgrøder, og derfor vurderes halm-mængden fra landbruget at blive reduceret ved en omstilling til plantebaseret fødevareproduktion.

<sup>29</sup> For yderligere beskrivelse se baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier – Transportefterspørgsel*.

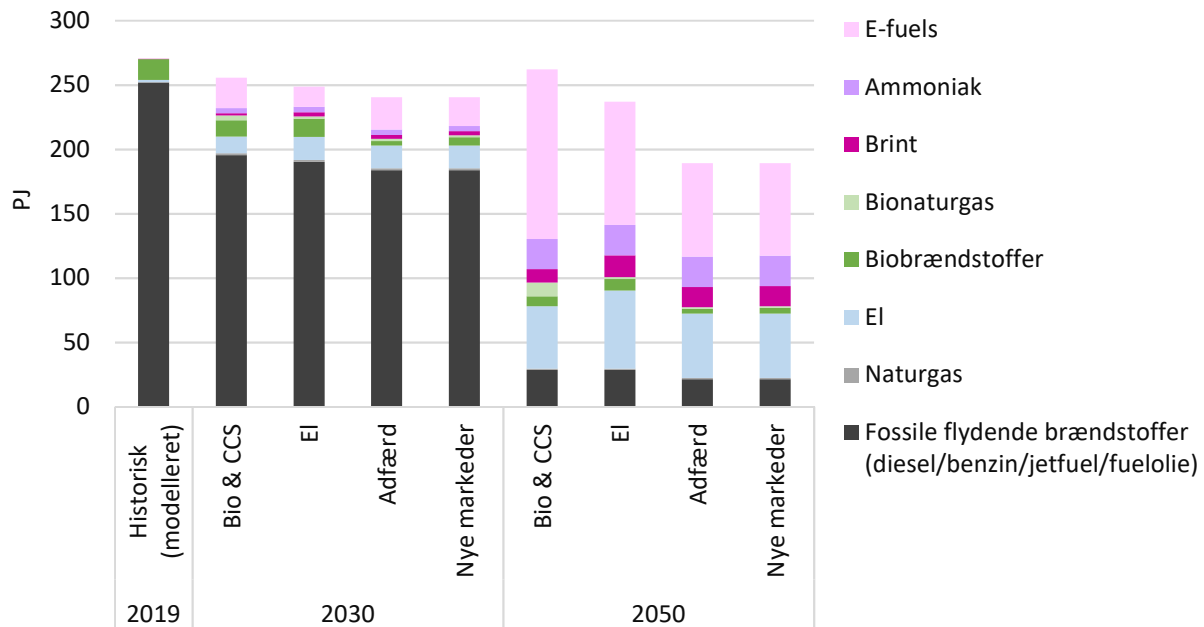


Figur 7. Endeligt energiforbrug til transport i KP22-scenarierne fordelt på transportkategorier. Det endelige energiforbrug repræsenterer forbruget af drivmidler i transportteknologierne (flydende/gasformige brændstoffer og el).

Det endelige energiforbrug til transport i scenarierne opdelt på drivmidler er vist på Figur 8. Det ses, at anvendelsen af fossile brændstoffer til transport i scenarierne stort set udfases mod 2050. Den resterende mængde fossile brændstoffer i 2050 stammer fra international luft- og søfart, hvor der med afsæt i IEA's Net Zero Scenarie er forudsat en moderat fossil andel tilbage<sup>30</sup>.

Den fossile udfasning sker som følge af direkte elektrificering (el som drivmiddel) samt indirekte elektrificering via Power-to-X-brændstoffer (PtX) (brint, ammoniak og e-fuels) samt brug af biobrændstoffer og bionaturgas. Anvendelsen af PtX- og biobrændstoffer/bionaturgas sker særligt på de områder, hvor direkte elektrificering er vanskelig (langt overvejende luftfart og søfart; og dertil i mindre omfang inden for lastbiler og busser, hvor andelen varierer afhængig af scenarie mv.). I alle fire scenarier ses PtX-brændstoffer at dominere billedet i 2050 ift. biobrændstoffer/bionaturgas. Det skyldes, at der i alle scenarier er forudsat en begrænsning på tilgængeligheden af biomasse til energiformål, og at der derfor ikke er nok bioenergi til at dække det fremtidige behov for grønne brændstoffer, når international luft- og søfart som her medregnes, og bioressourcen samtidig er efterspurgt til fx levering af negative udledninger (BECCS og pyrolyse), procesvarme i erhverv samt supplerende produktion af varme/el (spidslast/balancering mv.).

<sup>30</sup> Ca. 20 pct. i international luftfart og ca. 15 pct. i international søfart. Se evt. baggrundsnotatet *Forudsætninger for KP22-scenarier - Transport: Motortypefordelinger og iblanding af VE-brændstoffer*.



Figur 8. Endeligt energiforbrug til transport i KP22-scenarierne fordelt på drivmidler.

### Elforbrug

I alle KP22-scenarierne øges elforbruget markant mod 2050 (se Figur 9). Således fordobles elforbruget mod 2030 til ca. 70-74 TWh og i 2050 er elforbruget helt oppe på 145-185 TWh svarende til 4-6 gange højere end det historiske. Som vist er forklaringen bag den store elforbrugsstigning i scenarierne en kombination af:

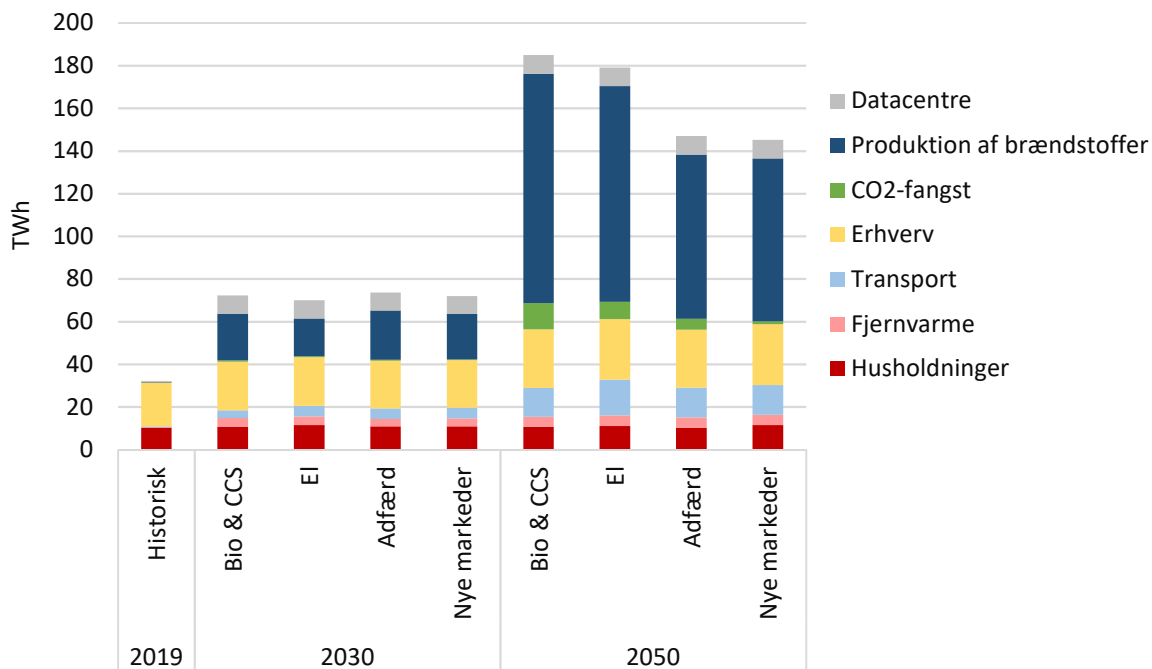
- Høj direkte elektrificering inden for transport, fjernvarme, husholdninger og erhverv.
- Høj indirekte elektrificering i form af et fremtidigt stort elforbrug til produktion af PtX-brændstoffer.
- Elforbrug til datacentre og CO<sub>2</sub>-fangst.

Elforbruget til produktion af PtX-brændstoffer er særligt højt i 2050 i KP22-scenarierne, idet brændstofproduktion til international luft- og søfart med tankning i Danmark er inkluderet og forudsat omstillet til grønne brændstoffer på lang sigt (I KP21-scenarierne fra sidste år var international luft- og søfart ikke inkluderet i beregningerne). Hvis man udelukker international luft- og søfart skønnes det, at elforbruget ville være omtrent 62-63 TWh i 2030 og 79-105 TWh i 2050.

At elforbruget i Bio & CCS-scenariet også er højt skyldes bl.a., at den forudsatte tilgængelige bioenergiressource er begrænset set ift. det fremtidige behov for grønne brændstoffer til transportsektoren og negative udledninger til klimaregnskabet samt bioenergi-anvendelser inden for erhverv og varmesektoren mv. Derfor bliver der også i dette scenarie et stort behov for el til produktion af PtX-brændstoffer. I Bio &

CCS-scenariet er den direkte elektrificering i transportsektoren (elbiler mv.) lavere end i EI-scenariet. Dermed bliver behovet for PtX-brændstoffer samlet set større, når klimaneutralitet skal opnås i 2050. Da produktionen af PtX-brændstoffer er el-intensiv, bliver elforbruget i Bio & CCS-scenariet alt i alt lidt højere end i EI-scenariet.

Det lavere elforbrug i 2050 i scenarierne Adfærd og Nye markeder illustrerer, hvordan klimabevidst adfærd og energieffektivisering kan begrænse, hvor stort elforbruget bliver i det klimaneutrale samfund. Det kan derved bl.a. reducere behovet for VE- og netudbygning.

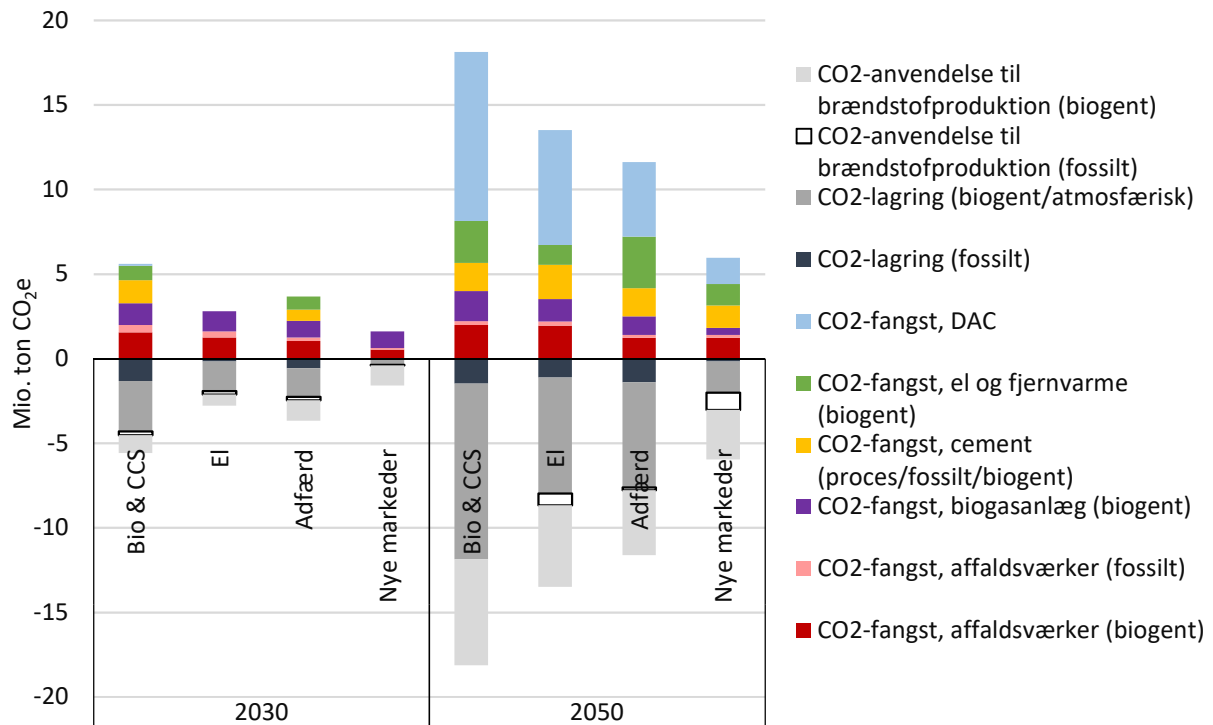


Figur 9. Elforbrug i KP22-scenarierne opdelt på kategorier. Det angivne historiske elforbrug for 2019 er modelleret.

### CO<sub>2</sub>-fangst og -anvendelse

I scenarierne sker der en stor fangst af CO<sub>2</sub> fra forskellige kilder med henblik på anvendelse til lagring og brændstofproduktion. Det illustreres på Figur 10. CO<sub>2</sub>-fangsten er særligt stor i 2050, hvor omstillingen til klimaneutralitet resulterer i et stort behov for CO<sub>2</sub> til produktion af grønne brændstoffer og tilvejebringelse af negative udledninger via lagring af biogent/atmosfærisk CO<sub>2</sub>. Dertil indgår en betydelig neutralisering af fossile restemissioner via fossil CO<sub>2</sub>-fangst og -lagring (fossil CO<sub>2</sub> anvendes i et vist omfang også til brændstofproduktion afhængig af scenarie). Fangst og anvendelse af CO<sub>2</sub> til lagring/brændstofproduktion spiller som vist også en betydelig rolle i scenarierne i opnåelsen af 70 pct.-målet i 2030.





Figur 10. CO<sub>2</sub>-fangst i KP22-scenarierne opdelt på kilder samt angivelse af hvor stor en andel af den opfangede CO<sub>2</sub> som går til hhv. lagring og anvendelse til brændstofproduktion. DAC: Direct Air Capture.

Det ses, at den opfangede CO<sub>2</sub> fra punktkilder i 2030 udgøres af CO<sub>2</sub> fra biogasanlæg, affaldsværker og cementproduktion i erhverv samt CO<sub>2</sub> fra biomassefyrede værker i varierende grad afhængig af scenarie og år<sup>31</sup>. I 2050 er behovet for CO<sub>2</sub> til brændstofproduktion og negative udledninger i scenarierne så markant, at punktkilderne ikke er tiltrækkelige. Derfor indfanges der også en stor mængde CO<sub>2</sub> fra atmosfæren via *Direct Air Capture* (DAC).

Al den CO<sub>2</sub> som separeres ud fra biogassen i forbindelse med traditionel opgradering (kategorien biogasanlæg) bliver i scenarierne opsamlet med henblik på anvendelse til brændstofproduktion og/eller lagring<sup>32</sup>. Udnyttelse af CO<sub>2</sub> opsamlet i forbindelse med biogasopgradering er oplagt, da CO<sub>2</sub>'en i forvejen opsamles på opgraderingsanlæggene, og idet der her er en højere CO<sub>2</sub>-koncentration end i røggas. De økonomiske forhold omkring CO<sub>2</sub>-opsamling fra biogas har dog kun været modelleret på et overordnet niveau. Således er der fx ikke taget højde for, at

<sup>31</sup> Dertil 0,1 mio. ton CO<sub>2</sub> fra DAC forudsat i Bio & CCS-scenariet.

<sup>32</sup> Som led i optimeringen i scenarierne optræder der ikke den form for opgradering, som består i metanisering af CO<sub>2</sub> i biogassen under tilførsel af brint, hvorved bionaturgasoutputtet øges. Det indikerer, at det i scenarierne har større værdi i energisystemet at bruge CO<sub>2</sub>'en herfra til lagring og/eller til produktion af e-fuels. Rentabiliteten af metanisering har dog ikke været analyseret nærmere, og biologisk metanisering har fx ikke været inkluderet som en mulighed (alene kemisk metanisering har været muliggjort i modellen). Resultatet på dette område skal derfor tolkes med store forbehold.



omkostningerne for CO<sub>2</sub>-opsamling og -transport alt andet lige er højere for mange små og spredte CO<sub>2</sub>-punktkilder. Det kan betyde, at det ikke nødvendigvis vil kunne svare sig at anvende al CO<sub>2</sub> fra alle biogasanlæggene og kan tale for, at den opsamlede CO<sub>2</sub> i høj grad anvendes til at producere e-fuels lokalt. Hvad angår biomasse og bioaffald samlet set i el & fjernvarmesektoren opfanges ca. 10-30 pct. af CO<sub>2</sub>-emissionen herfra, og i 2050 er CO<sub>2</sub>-fangstandelen ca. 90-95 pct.

Som tidligere illustreret spiller negative udledninger via CO<sub>2</sub>-lagring en varierende rolle i scenariernes opnåelse af klimaneutralitet i 2050 (jf. Figur 2); dette særligt som følge af varierende reduktioner inden for landbrug, jorder og skove. Det er forklaringen på, at CO<sub>2</sub>-fangst og anvendelse i 2050 er højest i Bio & CCS-scenariet og lavest i Nye markeder-scenariet.

Herunder ses det også, at anvendelsen af biogen CO<sub>2</sub>-fangst (biogent kulstof) til levering af negative udledninger og fremstilling af grønne brændstoffer er størst i Bio & CCS-scenariet.

Anvendelsen af CO<sub>2</sub> til brændstofproduktion er særligt stor i KP22-scenarierne i 2050, idet international luft- og søfart, som tanker i Danmark, er inkluderet i beregningerne.

#### **2.4 Tværgående budskaber vedr. omstillingen mod klimaneutralitet**

Ud fra de præsenterede scenarieresultater kan der udtrækkes en række overordnede budskaber omkring den langsigtede omstilling mod klimaneutralitet. Det skitseres i det følgende.

Scenarierne peger på, at der efter en betydelig elektrificering, indføring af 100 pct. VE i ledningsgassen, energieffektivisering, samt tiltag inden for landbrug, jorder og skove stadig vil være behov for yderligere reduktioner for at lukke mankoen til 70 pct.-målet i 2030. Inden for scenariet rammen peger resultaterne på, at disse yderligere reduktioner overvejende vil skulle hentes fra iblanding af VE-brændstoffer i transport/erhvervssektoren, CCS på procesudledninger/fossile udledninger fra cementproduktion i erhverv, CCS på affaldsanlæg, tiltag på raffinaderier og Nordsøen og/eller negative emissionsteknologier; som fx pyrolyse og BECCS. Det er usikkert, hvilken vægtning af disse forskellige veje, som er mest omkostningseffektiv.

Opnåelse af målet om langsigtet klimaneutralitet i senest 2050 indebærer en stor omstilling, hvor en bred vifte af elementer forventes at skulle spille en rolle. Scenarierne illustrerer, at dette vil kunne omfatte både energieffektivisering, direkte elektrificering, indirekte elektrificering via PtX, VE (vind, sol og bioenergi mv.), CO<sub>2</sub>-optag, -lagring og -anvendelse (CCUS), omstilling inden for landbruget, jorder og skov samt potentielle adfærdsændringer i samfundet mv.



Scenarierne peger på en massiv elektrificering som led i omstillingen mod klimaneutralitet. Således indikerer scenarierne, at en opfyldelse af målsætningen om klimaneutralitet kan øge det samlede elforbrug med omkring en faktor 4-6. Her er der samtidig indregnet en grøn omstilling af international luft- og søfart, som tanker i Danmark (bunkering); hvor VE-brændstoffer hertil er dansk producerede.

En så stor stigning i elforbruget vil forudsætte en omfattende VE-udbygning dvs. markant større mængder vind og sol i elsystemet; og vil bl.a. kræve stærke el-transmissionsforbindelserne til udlandet, et stærkt elnet i Danmark, en høj grad af fleksibilitet i systemet; og at den fremtidige forsyningssikkerhed sikres.

Scenarierne viser tydeligt, at der bliver et stort behov for PtX-brændstoffer i Danmarks omstilling mod klimaneutralitet - hvis international luftfart og søfart skal omstilles, og hvis biomasseforbruget samtidig ikke må øges ift. i dag; svarende til, at biomasseforbruget holdes inden for rammen af det nationale bio-restproduktpotentiale. Samtidig illustrerer scenarierne, at der i omstillingen mod klimaneutralitet bliver et stort behov for kulstof (fra CO<sub>2</sub>) til at levere negative udledninger og producere grønne brændstoffer.

Scenariet Nye markeder illustrerer, at det kan blive muligt at opfylde klimaneutralitetsmålet samt opnå en grøn omstilling af den internationale transport; og samtidig begrænse biomasseforbruget til 10 GJ/person (60 PJ i alt i Danmark). Det svarer til det gennemsnitlige biomasseforbrug per verdensborger, som ifølge Klimarådet vil være til rådighed til energiformål i 2050; hvis man fordeler klodens knappe biomasseressourcer ligeligt. Det skal dog fremhæves, at der ville kunne opstilles en række andre systemkombinationer, som også ville kunne opfylde dette.

Adfærds-scenariet illustrerer, at klimabevidst adfærd og energieffektivisering både kan bidrage til opfyldelse af 70 pct.-målet i 2030 og vil kunne reducere, hvor store energi- og transportbehovene bliver i det klimaneutrale samfund. Således kan adfærdsændringer og energieffektivisering bl.a. reducere elforbruget, hvilket vil kunne mindske behovet for fx VE-udbygning samt udbygning/forstærkning af elnettet. Dertil vil trækkes på de knappe biomasseressourcer og behovet for produktion af grønne brændstoffer bl.a. kunne reduceres.

Til gengæld viser Adfærds-scenariet, at en større omlægning blandt danske forbrugere i retning mod mere klimabevidste kostvaner (plantebaserede frem for animalske fødevarer) kun vil have en begrænset effekt på den nationale drivhusgasudledning fra landbruget. Det skyldes, at størstedelen af fødevarerne fra den danske husdyrproduktion går til eksport og dermed ikke forbruges i Danmark. Scenariet viser således, at selv når klimavenlige kostvaner kombineres med store tekniske reduktioner af udledningerne fra landbruget, vil der være betydelige restudledninger tilbage fra landbruget i 2050. Den konkrete effekt af en sådan kostvaneomlægning er dog usikker og er i scenariearbejdet baseret på skøn.



Scenarierne viser, at der i opnåelsen af samlet klimaneutralitet kan blive et stort behov for negative emissionsteknologier som BECCS, DACCS og pyrolyse for at kompensere for restudledninger. Hvor stor dette behov bliver afhænger bl.a. af, hvorvidt landbrugets udledninger nedbringes. El-scenariet og Bio & CCS-scenariet illustrerer således, at selv hvis fossile brændsler nærmest udfases og resterende fossile udledninger i vid udstrækning fjernes via CCS mv., vil der stadig være et stort behov for kompensering med negative udledninger<sup>33</sup>, så længe den store animalske landbrugsproduktion bibeholdes.

Nye markeder-scenariet viser, hvordan en gennemgående omstilling af landbruget fra produktion af animalske kød- og mejeriprodukter mod plantebaserede fødevarer og proteiner for alvor vil kunne reducere landbrugets udledninger og dermed behovet for negative emissionstiltag. Det kan reducere trækket på de knappe biomaseressourcer til levering af negative udledninger samt afhængigheden af DACCS for opnåelse af klimaneutralitet. Scenariet illustrerer ydermere, at hvis landbrugsomstillingen kombineres med en ambitiøs skovrejsning vil behovet for negative emissionsteknologier kunne reduceres yderligere.

På trods af de store omstillinger i Nye markeder-scenariet indgår der imidlertid stadig en vis anvendelse af DAC i 2050, eftersom CO<sub>2</sub>-punktkilderne er begrænsede<sup>34</sup>. Det indikerer, at det kan blive vanskeligt helt at undgå brug af DAC i det klimaneutrale samfund; hvis der samtidig skal ske en grøn omstilling af international transport, og hvis forbruget af biomasse til energiformål skal begrænses til det angivne globale bæredygtige råderum.

På den endnu længere bane, fra omkring midten af dette århundrede og frem, vil der på globalt plan være behov for netto-negative udledninger, hvis den globale temperaturstigning skal begrænses til 1,5 grader (CONCITO, 2019). Negative emissionstiltag kan dermed få en endnu større rolle efter 2050.

---

<sup>33</sup> Ca. 8-13 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2050 i disse to eksempler på målopfyldelse.

<sup>34</sup> Et samlet CO<sub>2</sub>-optag fra DAC på ca. 1,5 mio. ton til fremstilling af grønne brændstoffer samt lagring.



### 3. Kilder

CONCITO (2019). *Klimapotentialet i lagring af kulstof*.

[https://concito.dk/files/media/document/Klimapotentialet%20i%20lagring%20af%20kulstof\\_091219.pdf](https://concito.dk/files/media/document/Klimapotentialet%20i%20lagring%20af%20kulstof_091219.pdf)

Energistyrelsen (2022). *Klimastatus- og fremskrivning 2022*.

[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22\\_-\\_samlet\\_rapport.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/kf22_-_samlet_rapport.pdf)

Energistyrelsen (2021). *Energistatistik 2020 - Data, tabeller, statistikker og kort*. Udgivet i december 2021.

<https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energistatistik2020.pdf>

IPCC (2022). *Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change*. IPCC Sixth Assessment Report (AR6) (IPCC, full report). IPCC.

[https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf)

Klimarådet (2022). *Statusrapport 2022 – Danmarks nationale klimamål og internationale forpligtelser (februar 2022)*. Klimarådet.

<https://klimaraadet.dk/da/rapporter/statusrapport-2022>.

Regeringen et al. (2019). *Aftale om klimalov af 6. december 2019*. Regeringen (Socialdemokratiet), Venstre, Dansk Folkeparti, Radikale Venstre, Socialistisk Folkeparti, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti og Alternativet.

<https://kefm.dk/Media/1/D/aftale-om-klimalov-af-6-december-2019%20FINAL-a-webtilg%C3%A6ngelig.pdf>