



Resultater for KP21-scenarier

Kontor/afdeling
Systemanalyse

Dato
08-10-2021 (bioenergiforbrug
opdateret d. 10-12-2021)

J nr. 2021 - 12972

KHG/ MIS, JMOE

Indhold

1. Kort om scenarierne.....	2
2. Resultater fra scenarierne.....	3
2.1 Forskellige veje til langsigtet klimaneutralitet i 2050	3
2.2 Forskellige veje til 70 pct. målet i 2030	10
2.3 Tværgående budskaber vedr. omstillingen mod klimaneutralitet	19
3. Eksterne forhold har betydning for målopfyldelsen.....	20

Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

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

www.ens.dk



1. Kort om scenarierne

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.

Den grundlæggende betragtning i scenariearbejdet er, at den måde hvorpå de nationale klimamål indfries, vil være påvirket af udviklingen i eksterne rammevilkår (udvikling i teknologi, markeder, og priser, herunder global regulering mv.), og at udviklingen i disse vilkår er forbundet med usikkerheder. Ved brug af en model udviklet til formålet, er der genereret scenarier ved at variere på den antagne fremtidige udvikling i teknologiudvikling og priser mv. Der er således opstillet fire scenarier: "Elektrificering", "Bioenergi", "CO₂-optag og -lagring" og "Adfærdsændringer", med forskellige forudsætninger omkring fremtidige biomassepriser, teknologipriser (inden for PtX, direkte elektrificering og DAC mv.) samt adfærdspræferencer. Scenarierne viser derved et udfaldsrum for den grønne omstilling mod langsigtet klimaneutralitet. Der vil imidlertid være mange andre kombinationer, der opfylder målet. Scenarierne skal derfor ikke tolkes som ideelle bud på hvordan klimamålene nås, men er alene illustrationer af, hvordan målopfyldelse kunne udforme sig, afhængig af udviklingen i rammevilkår.

Scenarierne er her i notatet forkortet til "El", "Bio", "Optag" og "Adfærd". For en nærmere beskrivelse af scenarier, metode, model og formål henvises til baggrundsnotatet "Metodebeskrivelse for KP21-scenarier".

I udviklingen af scenarierne er der taget højde for tekniske begrænsninger; herunder bl.a. de tekniske reduktionspotentialer, som i klimaprogrammet er angivet for forskellige områder. Via den anvendte model tager scenarierne dertil højde for sektorkoblinger og mulige løsninger ud fra en samlet systemsammenhæng. Idet der så vidt muligt tages højde for rentabiliteten af de forskellige løsninger¹, vil omstillingen i scenarierne på langt de fleste områder være lavere end de tekniske reduktionspotentialer. Dette gælder særligt på kortere sigt, hvor tidsdimensionen i omstillingen også er en faktor, som er forsøgt afspejlet.

Scenarierne tager alene udgangspunkt i opfyldelse af de nationale klimamål. Det betyder, at hvad angår luftfart og søfart, er det alene Danmarks forbrug af brændstoffer til indenrigs transport, som er inkluderet. Desuden er det i scenarierne beregningsteknisk forudsat, at Danmark alene producerer el og grønne brændstoffer til indenlandske behov; mens det reelt er muligt, at Danmark kan blive leverandør af grøn strøm og/eller brændstoffer til andre lande. I samme forbindelse skal det

¹ 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 i Adfærdssceneriet delvist er baseret på eksplorative skøn.



nævnes, at scenarierne ikke omfatter eventuel fremtidig dansk PtX-produktion til anvendelse i materialeproduktioner såsom plast og kunstgødning, ligesom der heller ikke på andre områder forudsættes markante forandringer i erhvervsstrukturen (forstået som hvad der produceres i Danmark) ift. i dag. Alt i alt vil det danske produktionsvolumen af grønne brændstoffer og el være større end angivet i scenarierne, hvis der medregnes international luft/søfart, PtX-produktion til materialeproduktion og/eller eksportmuligheder inden for grønne brændstoffer og el.

2. Resultater fra scenarierne

I det følgende er scenarieresultater baseret på modelberegningerne 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 KF21. Endelig skal det nævnes, at der er usikkerhed forbundet med scenarietværk som dette; særligt hvad angår det langsigtede perspektiv mod 2050.

Scenarierne til KP21 udgør et første bud på nogle målopfyldelses-scenarier baseret på brug af en første modelversion udviklet til formålet. Over de kommende år forventes at komme ny viden, som med fordel kan indarbejdes i nye scenarietversioner. Samtidig vil model og data kunne kvalificeres yderligere.

2.1 Forskellige veje til langsigtet klimaneutralitet i 2050

Som vist i Figur 1 opnås en netto-nul-udledning i drivhusgasudledningen i 2050 i alle fire scenarier; svarende til en realisering af det nationale mål om klimaneutralitet i 2050 (senest). Der er nogle overordnede fællestræk mellem scenarierne med hensyn til de elementer, der indgår i denne langsigtede omstilling mod 2050:

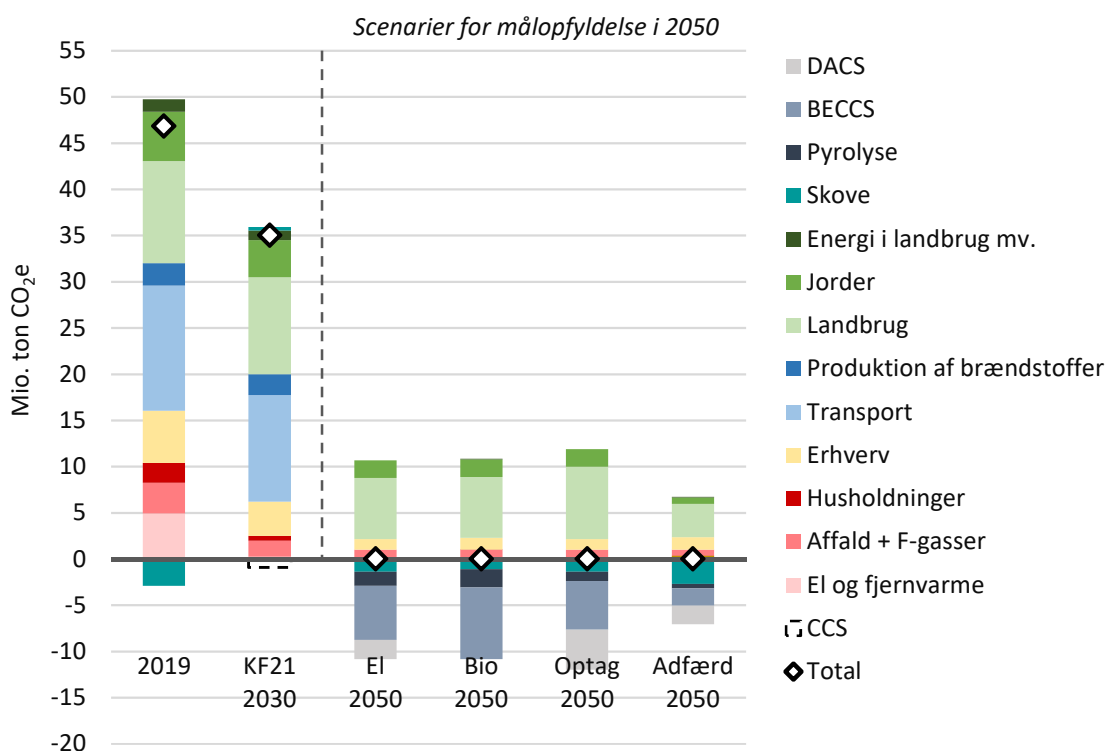
- Fossile brændsler er forudsat udfaset inden for transport og produktion af brændstoffer; og fossile brændsler er i optimeringen stort set også udfaset inden for husholdninger, erhverv samt el og fjernvarme. Dette sker primært som følge af elektrificering (direkte/indirekte), indfasning af VE-brændsler og energieffektivisering. Dertil neutraliseres en stor del af de ikke-energi-relaterede fossile procesudledninger fra erhverv via CCS (Carbon Capture and Storage)².
- Mængden af fossilt affald til forbrænding (primært plast) er reduceret markant mod 2050 som følge af øget udsortering til genanvendelse (fra 16,9 PJ i 2019 til 2,4-2,5 PJ i 2050)³. I scenarierne neutraliseres de resterende fossile udledninger fra affaldsforbrændingen via CCS. Den resterende fossile udledning fra "Affald + F-gasser" i 2050 repræsenterer således

² Resterende fossile udledninger fra erhverv i scenarierne i 2050 stammer primært fra ikke-energi-relaterede processer inden for cementproduktion, køling og andet.

³ For nærmere beskrivelse se baggrundsnotatet "Forudsætninger for KP21-scenarier – Affald".

udledninger fra biogaslækage og kompostering, affaldsdeponi og spildevand.

- Som vist stammer de resterende drivhusgasudledninger i scenarierne i 2050 primært fra landbrug, mens der indgår mere moderate rest-udledninger fra jorder, erhverv og affald (jf. Figur 1).
- Disse resterende udledninger kompenseres via negative emissionstiltag (BECCS⁴, pyrolyse, DACs⁵ og/eller skovrejsning afhængig af scenarie), så der samlet opnås en netto-nul-udledning i 2050.



Figur 1. Sektoropdelte CO₂e-emissioner for scenarierne i 2050 sammenlignet med Klimafremskrivningen (KF21) og set i forhold til de historiske emissioner i 2019. I scenarierne er CCS (fossil) indregnet i de sektoropdelte emissioner. I KF21 er CCS (fossil/bio) ikke indregnet sektorvis men fratrukket til sidst⁶.

Som vist i Figur 1, er der i scenarierne et betydeligt behov for negative emissionsbidrag i 2050 for at kompensere for de resterende udledninger. Størrelsen på det nødvendige negative bidrag afhænger især af, hvor stor en udledning, der er

⁴ Bioenergy Carbon Capture and Storage.

⁵ Direct Air Capture and Storage (CO₂-optag fra atmosfæren og efterfølgende lagring).

⁶ Sektoropdelingen på figurene svarer overordnet til den i KF21. Dog er Erhverv her vist samlet set (dvs. som total af Fremstillingserhverv 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.



tilbage fra landbrug i 2050. Her er den beskrevne udvikling, som på de øvrige områder, begrænset af den i dag tilgængelige viden om reduktionspotentialer.

På trods af fællestrækkene ift. fordelingen af restudledningerne er der store forskelle i mellem scenarierne med hensyn til, hvordan omstillingen mod langsigtet klimaneutralitet realiseres. Nogle centrale forskelle i scenariernes resultater er opridset i det følgende.

Elforbrug og VE-udbygning

I alle scenarier sker der en større elektrificering af samfundet, og det samlede elforbrug i 2050 er således betydeligt større end i dag. Imidlertid varierer det i mellem scenarierne, hvor stort elforbruget bliver i 2050.

I EI-scenariet sker der en markant direkte elektrificering, og der er samtidig en betydelig indirekte elektrificering via PtX på de områder, hvor direkte elektrificering er vanskelig. Samlet set øges elforbruget i scenariet fra 32 TWh i 2019 til 91 TWh i 2050.

I Optags-scenariet er udbredelsen af direkte elektrificeringsteknologier lavere end i EI-scenariet. Samtidig er der som i EI-scenariet en relativt lav tilgængelighed af biomasse (høje biomassepriser). Dermed opstår et større træk på PtX-brændstoffer til udfasningen af fossile brændstoffer i 2050. Dette resulterer i et større samlet elforbrug, da indirekte elektrificering via PtX er betydeligt mindre energieffektiv end direkte elektrificering. Samtidig er der i scenariet et betydeligt elforbrug til DAC. Alt i alt er elforbruget i Optags-scenariet højere end i EI-scenariet (97 TWh).

I Adfærds-scenariet er energi- og transportefterspørgslen samt behovet for negative emissionstiltag lavere sfa. adfærdsændringer, og elforbruget bliver samlet set lavere (84 TWh) end i EI-scenariet.

I Bio-scenariet er den direkte elektrificering lavest blandt scenarierne, og der er samtidig en høj tilgængelighed af biomasse (lave biomassepriser). Som resultat bliver elforbruget i Bio-scenariet lavest blandt scenarierne (74 TWh).

Alt i alt peger scenarierne på, at elforbruget kan øges med omkring en faktor 2-3 mod 2050, når den nationale målsætning om klimaneutralitet skal nås. For at kunne dække den store stigning i elforbruget øges VE-udbygningen mod 2050 i scenarierne med ca. 7-13 GW-havvind og ca. 11 GW solceller, mens kapaciteten for landvind forudsættes uændret (i forhold til 2019).

Som nævnt tager scenarierne udgangspunkt i opfyldelse af de nationale klimamål, hvor udenrigs/international luft- og søfart - som volumenmæssigt udgør klart den største del af luft/søfarten - ikke indgår. Dertil er der i scenarierne alene set på dækning af Danmarks eget forbrug af grønne brændstoffer, mens det reelt er muligt, at Danmark, kan blive leverandør af grøn strøm og/eller brændstoffer til andre lande. Endelig kan der blive tale om en betydelig PtX-produktion til anvendelse i sektorer



som ikke er medtaget her⁷ (fx materialeproduktion såsom plast og kunstgødning). Alt i alt vil PtX-forbruget, elforbruget og behovet for VE-udbygning mod 2050 dermed kunne blive væsentligt højere, end angivet i scenarierne. Omvendt vil elforbruget i sagens natur blive lavere, hvis Danmark ender som nettoimportør af PtX-brændstoffer.

Produktion af grønne brændstoffer

I scenarierne er der i 2050 et betydeligt behov for grønne brændstoffer (flydende/gasformige brændsler) til især transport. I alle scenarierne er de grønne brændstoffer forudsat produceret i Danmark for derved at kunne belyse opstrøms energiforbrug, ressourceforbrug og udledninger forbundet med produktionen. Dækning af behovet for PtX-brændstoffer med indenlandsk produktion er i øvrigt i tråd med foreløbige analyser fra Regeringens kommende PtX-strategi, som peger på, at dansk producerede PtX-brændstoffer vil kunne konkurrere med importerede PtX-brændstoffer. Det må dog i praksis forventes, at der opstår grænseoverskridende markeder, og at forholdet mellem dansk produktion i forhold til forbruget dermed vil kunne variere fra år til år.

Scenarierne varierer, med hensyn til hvordan de grønne brændstoffer produceres. I El-scenariet, Optags-scenariet og Adfærds-scenariet dækkes behovet for grønne brændstoffer i 2050 primært med PtX-brændstoffer (brint, ammoniak og E-fuels). Den samlede produktion af brint til fremstilling af PtX-brændstoffer (eller direkte brintanvendelse) er i de tre scenarier ca. 32-45 PJ i 2050. Blandt de tre scenarier er brintproduktionen lavest i El-scenariet pga. den høje direkte elektrificering. I Bio-scenariet dækkes behovet for grønne brændstoffer primært med biobrændstoffer, og brintproduktionen til PtX er dermed lav (3 PJ).

Som nævnt tager scenarierne udgangspunkt i opfyldelse af de nationale klimamål, hvor international søfart og luftfart ikke indgår. PtX-produktionen kan blive væsentlig større, hvis der også medregnes international luft- og søfart samt eventuel PtX-produktion til fremstilling af materialer som fx plast og kunstgødning. Dertil er det muligt, at Danmark kan blive netto-eksportør af PtX-brændstoffer, hvilket også vil kunne betyde en større PtX-produktion end scenarierne indikerer; eller lavere i tilfælde af netto-import.

Anvendelsen af bioenergi

I Bio-scenariet dækker biobrændstoffer størstedelen af behovet for grønne brændstoffer og BECCS (Bioenergy CCS) dominerer ift. at levere de negative emissioner, der kompenserer for restudledninger i 2050. Den høje BECCS-anvendelse betyder bl.a., at anvendelsen af biomasse i fjernvarmeproduktionen i 2050 er højere i Bio-scenariet (udgør ca. 15-20 pct.) sammenlignet med i de andre scenarier. Samlet set er forbruget af bioenergi (biomasse, biogas og bioaffald) i 2050

⁷ Dette er ikke nærmere analyseret her, men indgår i regeringens PtX-strategi.



højt; ca. 245 PJ; dvs. betydeligt højere end det nuværende bioenergiforbrug (ca. 180 PJ i 2019). Bioenergiforbruget ville kunne blive endnu højere, hvis international luft- og søfart blev medregnet i klimaneutralitetsbetragtningen, da dette ville kræve markant større produktion af grønne brændstoffer (PtX eller biobrændstoffer).

I EI-scenariet er forbruget af bioenergi lavere (ca. 130 PJ i 2050) som følge af en høj direkte elektrificering og relativt høj indirekte elektrificering via PtX.

I Optags-scenariet opnås der via DAC-teknologien et særligt stort optag af CO₂ fra atmosfæren, hvilket reducerer behovet for bioenergi som kulstofkilde til grønne brændstoffer og negative emissioner. Til gengæld er elektrificeringen (direkte og indirekte) lavere end i EI-scenariet, hvilket øger bioenergi behovet. Samlet set er bioenergiforbruget på niveau med det i EI-scenariet (ca. 130 PJ).

I Adfærds-scenariet er bioenergiforbruget lavere (ca. 90 PJ) som resultat af adfærdsændringer, høj grad af energieffektivisering og en relativt høj elektrificeringsgrad.

Landbrug, jorder og skov samt negative CO₂e-emissioner

Negative CO₂e-emissioner i 2050 indgår i alle fire scenarier for at kompensere for resterende udledninger i 2050; og derved sikre samlet klimaneutralitet. Som vist i Figur 1 varierer scenarierne imidlertid med hensyn til hvor store emissionsreduktioner der forudsættes inden for landbrug, jorder og skove; og dermed hvor stort behovet er for kompensation via negative emissioner.

I Bio- og EI-scenariet antages en markant reduktion af drivhusgasudledningen fra landbrug og jorder via teknologiske løsninger såsom fodertilsætningsstoffer, gyllehåndtering, kvælstofregulering, øget økologisk areal og udtagning af lavbundsjord mv. Derved reduceres udledningen fra landbrug og jorder fra 14,5 mio. ton CO₂e i KF21 i 2030 til 8,6 mio. ton CO₂e i 2050.

I Adfærdsscenarioet reduceres udledningen fra landbrug og jorder yderligere til 4,3 mio. ton CO₂e i 2050, idet der samtidig forudsættes at ske en større omlægning af fødevarerforbruget og landbrugsproduktionen i retning af varer med lavere klimaaftryk (dertil yderligere øget økologisk areal). I forbindelse med den frigivelse af arealer der forventes at ske ved en sådan omlægning i landbrugsproduktionen, er der i scenariet antaget en markant øget skovrejsning.

Endelig illustrerer Optags-scenariet en udvikling, hvor der antages lavere udledningsreduktioner fra landbrug og jorder ud fra en situation, hvor DACS teknologien udvikles og billiggøres tilstrækkeligt til, at det i et vist omfang bedre kan betale sig at kompensere via negative emissioner fra DACS frem for at reducere udledningerne fra landbruget yderligere. Derfor er den resterende udledning fra landbrug og jorder større i Optags-scenariet (9,8 mio. ton CO₂e i 2050).



Ud over det forskelligartede behov for negative emissioner i 2050, så varierer scenarierne også med hensyn til hvilke teknologier, der leverer de negative emissioner (jf. Figur 1).

I Bio-scenariet tilvejebringes de negative emissioner i høj grad via BECCS (7,7 mio. ton CO₂e), hvilket er med til at drive den relativt store anvendelse af bioenergi i scenariet.

I de øvrige scenarier spiller DACS en betydelig rolle i leveringen af de negative emissioner (2,0-4,3 mio. ton CO₂e), hvilket mindsker behovet for BECCS. I alle scenarierne indgår en moderat til ambitiøs skovrejsning, hvilket som vist også bidrager med negative emissioner til klimaregnskabet i 2050 (1,1-2,7 mio. ton CO₂e).

Dertil er det forudsat, at pyrolyse af biomasse og efterfølgende nedmuldning af biokoks i jorden⁸ leverer negative emissioner i scenarierne på lang sigt (0,5-2,0 mio. ton CO₂e). Det er dog usikkert, om pyrolyseteknologien vil kunne konkurrere med de øvrige teknologier til levering af negative emissioner og brændstofproduktion. De angivne negative emissionsbidrag fra pyrolyse skal derfor tages med forbehold for dette.

Indikatorer for systemets sammensætning

Tabel 1 giver en samlet indikation af, hvordan systemet er sammensat i scenarierne i 2050. Resultater som disse for langsigtede scenarier mod 2050 vil generelt være forbundet med usikkerhed. Herunder kan det fx nævnes, at det langsigtede elforbrug angivet i tabellen er usikkert; bl.a. som følge af usikkerheden ved omfanget og anvendelsen af forskellige PtX-brændstoftyper i systemet.

⁸ Fra pyrolyseprocessen kommer desuden bio-olie/gas-produkter, som kan anvendes som brændsler.

Tabel 1. Indikatore der giver indtryk af systemets sammensætning i 2050 i scenarierne. Tabellen er ikke en udtømmende liste over scenarieforskelle.

Sektor/emne	Indikator	2019	2050				
			El	Bio	Optag	Adfærd	
El og fjernvarme	Elektrificering	Andel fjernvarmeproduktion fra varmepumper/elkedler (pct.)	1%	67%	61%	66%	75%
Husholdninger	Elektrificering	Opvarmning fra indiv. varmepumper (PJ) ^a	8	54	42	43	34
	Energieffektivisering	Energiforbrug til opvarmning (PJ) ^b	131	137	136	136	129
Erhverv	Elektrificering	Eldrevet procesvarme/rumvarme (PJ) ^a	9	45	42	43	39
	Energieffektivisering	Energiforbrug til procesvarme/rumvarme (PJ) ^b	96	120	117	119	107
Transport	Elektrificering - personbiler	El-bilers andel af personbiltrafik, ekskl. plug-in hybrider (pct.)	1%	87%	65%	87%	87%
	Elektrificering - lastbiler	El-lastbilers andel af lastbiltrafik, ekskl. plug-in hybrider (pct.)	0%	75%	25%	60%	60%
	Elektrificering - søfart (indenrigs)	Andel eldrevet søfart, indenrigs (pct.)	0%	35%	10%	30%	30%
	Transportbehov - personbiler	Trafikarbejde, personbiler (mio. km)	40	84	84	84	59
	Transportbehov - luftfart	Trafikarbejde, luftfart, indenrigs (mio. km)	183	226	226	226	137
Grønne brændstoffer	PtX-brændstoffer	Andel PtX-brændstoffer til transport (%) ^e	0%	83%	3%	74%	73%
	Bio-brændstoffer og bionaturgas	Andel bio-brændstoffer/bionaturgas til transport (%) ^e	ca. 6%	17%	97%	26%	27%
	PtX-brændstoffer	Brintproduktion til PtX-brændstoffer (ekskl. pyrolyse) (PJ)	0	32	3	45	37
Affald og F-gasser	Affaldsproduktion	Samlet affaldsproduktion (mio. ton) ^d	10,4	14,0	14,0	14,0	12,9
	Genanvendelse	Affald genanvendt samlet set (%) ^d	65%	77%	77%	77%	87%
	Forbrænding	Affald til forbrænding samlet set (%) ^d	31%	19%	19%	19%	9%
Landbrug, jord og skov	Landbrug	Udledning (mio. ton CO ₂ e)	11,1	6,6	6,6	7,8	3,6
	Jorder	Netto-udledning (mio. ton CO ₂ e)	5,3	1,9	1,9	1,9	0,7
	Skove	Netto-udledning (mio. ton CO ₂ e)	-2,9	-1,4	-1,1	-1,4	-2,7
CO ₂ -lagring	CO ₂ -lagring (ekskl. pyrolyse) ^c	CO ₂ -lagring (mio. ton CO ₂)	0	9,1	9,0	10,8	4,4
	Pyrolyse	CO ₂ -lagring (mio. ton CO ₂)	0	1,5	2,0	1,0	0,5
Elforbrug	Elforbrug	Samlet elforbrug (TWh)	32	91	74	97	84
Bioenergi	Bioenergiforbrug	Bioenergiforbrug (biomasse, biogas, bio-affald) (PJ)	179	132	245	135	91

^a Andel af netto-energiforbrug.

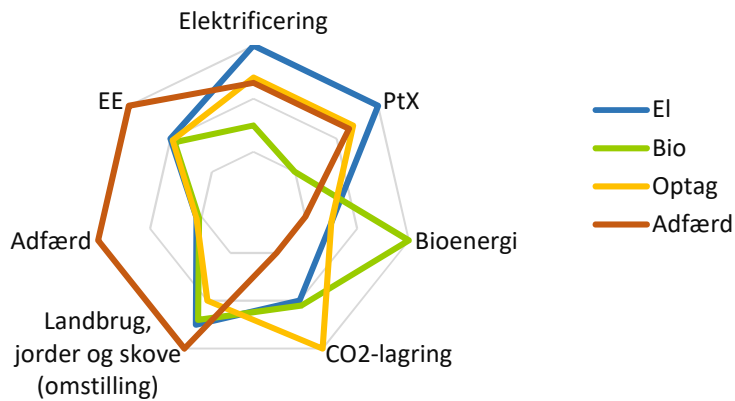
^b Netto-energiforbrug er vist. For opvarmning afspejler scenarieforskellene i dette forbrug en varierende grad af energieffektivisering i bygningsmassen (fremtidige udvidelser af bygningsmassen bidrager til at øge netto-energiforbruget, men der er forudsat samme byggebestand på tværs af scenarierne). For procesvarme i erhverv afspejler scenarieforskellene energieffektivisering i processer i erhverv.

^c BECCS/Fossil CCS/DACS.

^d Se baggrundsnotatet "Forudsætninger for KP21-scenarier - Affald" for nærmere beskrivelse.

^e Andel af flydende/gasformigt brændselsforbrug til indenrigs transport.

Som supplement til indikatortabellen tegner Figur 2 et simplificeret billede af, hvor hovedvægten af klimaindsatsen ligger i de forskellige scenarier i deres langsigtede omstilling mod 2050. Dette ud fra en helhedsbetragtning og de viste indikatorer. Figuren indikerer alene hovedvægtningen i et givet scenarie set i forhold til de øvrige scenarier.



Figur 2. Kvalitativ simplificeret illustration af scenarie-indikatorerne for 2050.

2.2 Forskellige veje til 70 pct. målet i 2030

I det følgende beskrives det hvilken opfyldelse af 70 pct. målet i 2030, scenarierne optegner som trædesten på vejen mod klimaneutralitet. Figur 3 viser de samlede CO₂e-emissioner for scenarierne i 2030 opdelt på sektorer og sammenlignet med KF21. Anvendelsen af negative emissionsteknologier i form af pyrolyse, BECCS og DACS er vist særskilt⁹.

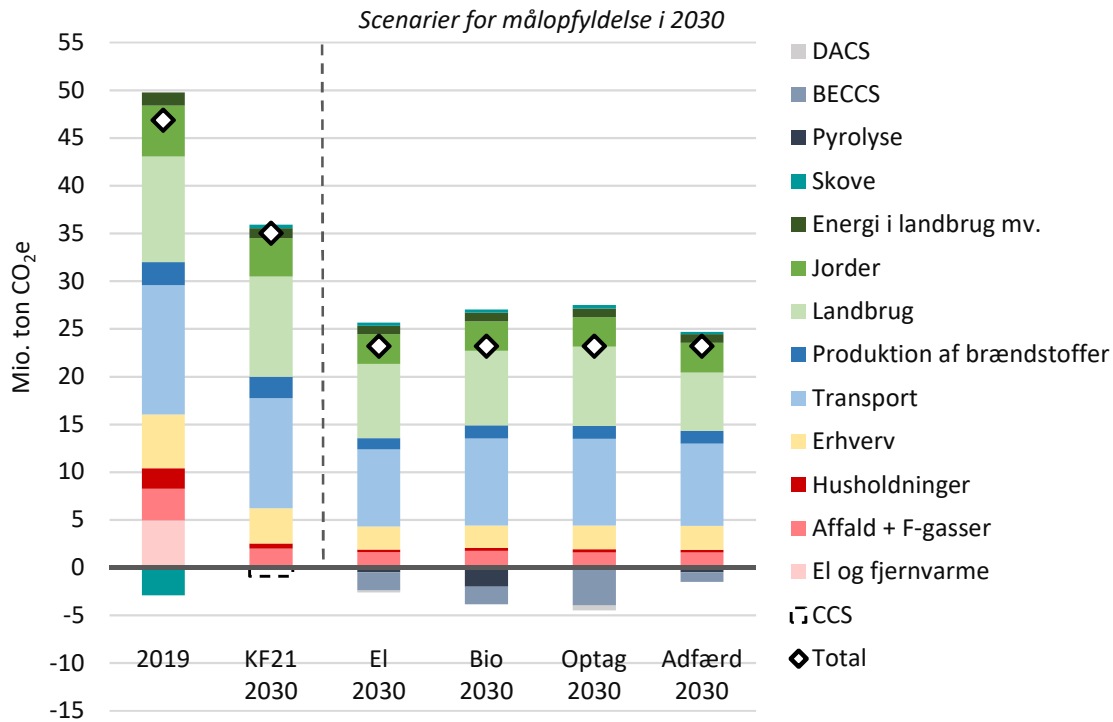
Figuren illustrerer for det første den betydelige CO₂e-reduktion, der generelt forventes mod 2030 som følge af allerede vedtaget politik repræsenteret i klimafremskrivningen 2021¹⁰. I denne basisudvikling indgår især betydelige CO₂e-reduktioner fra el- og fjernvarme, affald, transport, erhverv, husholdninger, landbrug, jorder, øget biogasproduktion og en vis anvendelse af CCS¹¹. Samlet set reduceres udledningen derved fra ca. 47 mio. ton CO₂e i 2019 til 35 mio. ton CO₂e i 2030, og dette fundament er fælles for scenarierne.

Figuren viser, at den samlede udledning i scenarierne reduceres yderligere til 23,2 mio. ton CO₂e i 2030 svarende til en indfrielse af 70 pct. målsætningen (dvs. mankoen på 11,8 mio. ton CO₂e 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.

⁹ I nogle af scenarierne optræder dertil beskedne udledninger fra CCU; dvs. udledninger fra brændstoffer fremstillet via Carbon Capture and Utilisation; og indeholdende fossilt kulstof; Disse udledninger er dog så små (op til 0,2 mio. ton CO₂e i 2030 og op til 0,4 mio. ton CO₂e i 2050), at de ikke kan ses på figurene.

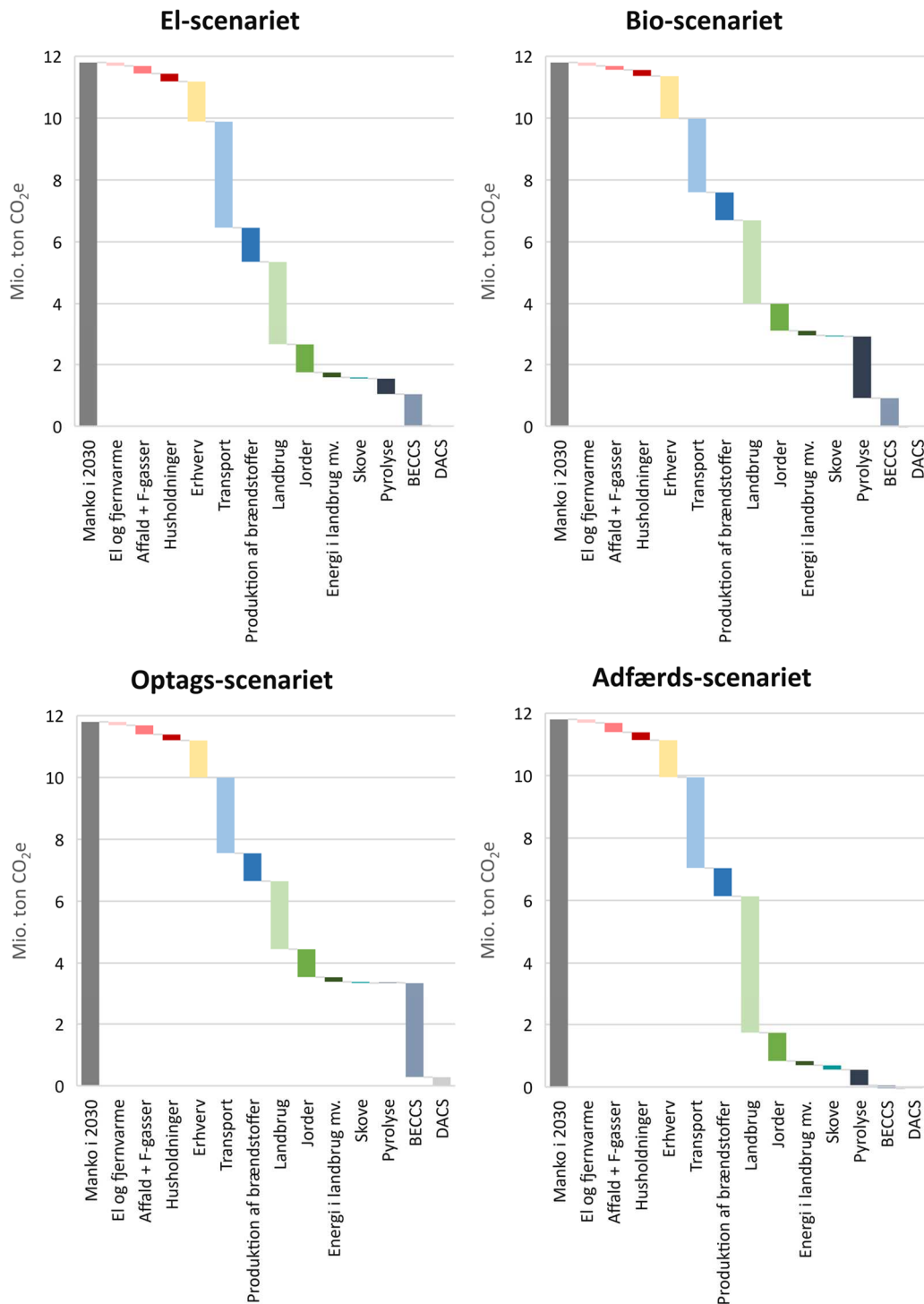
¹⁰ Omfatter politiske tiltag på energi- og klimområdet besluttet af Folketinget pr. 1. januar 2021.

¹¹ Kilde: Klimastatus- og fremskrivning 2021 (<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning>).



Figur 3. Sektoropdelte CO₂e-emissioner for scenarierne i 2030 sammenlignet med i Klimafremskrivningen (KF) og set i forhold til de historiske emissioner i 2019. I scenarierne er CCS (fossil) indregnet i de sektoropdelte emissioner. I KF21 er CCS (fossil/bio) ikke indregnet sektorvis men fratrukket til sidst.

Figur 4 tydeliggør, hvilke CO₂e-reduktioner der opnås i scenarierne i 2030 i forhold til KF21. Således illustrerer figuren, hvordan mankoen på de 11,8 Mio. ton CO₂e i 2030 nås i de forskellige scenarier.



Figur 4. CO₂e-reduktioner i scenarierne i 2030 ift. KF21 fordelt på sektorer samt anvendelse af negative emissionsteknologier (Pyrolyse, BECCS, DACS). Reduktionen fra BECCS i scenarierne er sammenholdt med reduktionen fra CCS i KF21. Beskedne udledninger fra CCU (0,0-0,2 mio. ton CO₂e) er for overblikkets skyld inkluderet som en del af den viste reduktion under DACS.



Fællestræk mellem scenarierne

Figur 4 viser, at en betydelig del af reduktionen i alle scenarier sker inden for landbrug, transport, erhverv, jorder og produktion af brændstoffer. Samlet leverer disse sektorer således klart det største bidrag til lukning af mankoen i 2030 (7,7-10,3 mio. ton CO_{2e}). Det relativt store bidrag fra disse sektorer hænger sammen med, at de fylder en stor del, samlet set 89 %, af emissionsbilledet i 2030, efter effekten af allerede vedtagne politiske aftaler er indregnet (jf. KF21-søjlen på Figur 3¹²). 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 KF21 (de to sektorer udgør til sammen blot 2 pct. af emissionsbilledet i KF21 i 2030; jf. Figur 3).

Derudover kan følgende fællestræk i mellem scenarierne i 2030 nævnes:

- Inden for *jorder* er det tekniske reduktionspotentiale på 0,9 mio. ton. CO_{2e} ift. KF21 generelt forudsat realiseret i alle scenarier (udtagning og ekstensivering af lavbundsgræsland).
- Hvad angår *skove* er der forudsat varierende grad af øget skovrejsning ift. KF21, men det øgede optag i 2030 er som vist generelt begrænset i scenarierne (0,03-0,15 mio. ton CO_{2e}-reduktion ift. KF21). Det skyldes, at det tager en del år at oparbejde et betydeligt netto-optag fra skovrejsning¹³.
- *El- og fjernvarme*-sektoren er i KF21 i 2030 allerede så "grøn" (kul er udfaset og det samme gælder næsten også naturgas og olie), at de resulterende forskelle i scenariernes udledninger herfra er begrænsede. Reduktionen ift. KF21 er således afrundet på omkring 0,1 mio. ton CO_{2e} i alle scenarier. Det resterende fossile brændselsforbrug i el- og fjernvarmesektoren går primært til spidslast, hvilket ikke har været et fokuspunkt i modelleringen. Modellen udviklet til scenariearbejdet er således ikke egnet til at analysere mulighederne for at nedbringe de sidste fossile udledninger i el- og fjernvarmesektoren.

Forskelle i mellem scenarierne

På trods af visse overordnede fællestræk er der væsentlige forskelle i mellem scenarierne, med hensyn til hvordan 70 pct. målsætningen indfries. Dog skal det nævnes, at forskellene i mellem scenarierne generelt vil være mindre i 2030, hvor scenarierne endnu ikke er fuldt udrullet, og hvor bindingerne fra dagens situation alt andet lige vil være betydeligt større (ift. i 2050). Dertil er der nogle reelle forskelle i mellem scenarierne med hensyn til hvilken omstilling der sker, som ikke nødvendigvis kan ses af selve emissionsbilledet. Dette uddybes i det følgende.

¹² Før indregning af CCS i KF21 (0,9 mio. ton CO_{2e}).

¹³ Uddybet i baggrundsnotatet "Forudsætninger for KP21-scenarier - Landbrug, jorder og skov".



Inden for *landbrug* varierer bidraget til lukning af mankoen betydeligt på tværs af scenarierne (2,2-4,4 mio. ton CO₂e). Den største reduktion opnås i Adfærds-scenariet sfa. den forudsatte omstilling af kostvaner og landbrugsproduktion mod fødevarer med lavere klimaaftryk (dertil øget økologisk areal); ud over de teknologiske tiltag, der generelt er antaget gennemført. Den laveste reduktion i landbruget opnås i Optags-scenariet, hvor det forudsættes, at der sfa. den mulige udledningskompensation via DACS (0,5 mio. ton CO₂e antaget i 2030) kan accepteres større resterende drivhusgasemissioner fra landbruget.

I *transportsektoren* er der for alle scenarier i 2030 forudsat en øget anvendelse af eldrevne transportteknologier¹⁴ mv. samt en betydelig iblanding af VE-brændstoffer; udover den allerede besluttede¹⁵. Imidlertid er der væsentlige variationer i mellem scenarierne mht. antagne teknologiandele og VE-brændstofanvendelser (og transportbehov)¹⁶. Dette afspejles også i resultaterne, hvor *transportsektorens* bidrag til opfyldelse af 70 pct. målet varierer betydeligt, (2,4-3,4 mio. ton CO₂e), afhængig af scenarie. I EI-scenariet er CO₂e-reduktionen i transportsektoren højest, da der her er forudsat den højeste implementering af eldrevne transportteknologier; særligt inden for personbiler, varebiler, busser, lastbiler og søfart¹⁷. Dertil er der i EI-scenariet antaget en moderat højere anvendelse af brintdrevne transportteknologier. Bio-scenariet rummer den laveste reduktion i transportsektoren ift. KF21 blandt scenarierne (2,4 mio. ton CO₂e). Det skyldes primært en lavere implementering af eldrevne løsninger i transportsektoren ift. i de andre scenarier. I Adfærds-scenariet er der et mindsket transportbehov sfa. adfærdsændringer, men omvendt er den direkte elektrificering og iblanding af VE-brændstoffer ikke lige så høj som i EI-scenariet. Samlet set er reduktionen i transportsektorens udledninger dermed lavere end i EI-scenariet (2,9 mio. ton CO₂e i fht. KF21). I Optags-scenariet er transportsektorens reduktionsbidrag lidt højere end i Bio-scenariet (2,5 mio. ton CO₂e ift. KF21) sfa. en noget større direkte elektrificering.

Scenariernes CO₂e-reduktioner inden for *erhverv* er primært drevet af modellens økonomiske optimering og varierer som følge af variationen i de forudsatte rammebetingelser¹⁸ (1,2-1,4 mio. ton CO₂e-reduktion ift. KF21). At variationen i resultaterne ikke er større, skyldes bl.a., at der inden for erhverv allerede i KF21

¹⁴ Fx inden for personbiler: 20-25 % elbiler ift. 17 % i KF21 (og 5-10 % plug-in hybridbiler ift. 5 % i KF21),

¹⁵ Min. 15-20 % iblanding af VE-diesel ift. 12 % iblanding i KF21; og min. 8-10 % VE-benzin ift. 6,7 % iblanding i KF21.

¹⁶ For yderligere beskrivelse henvises til baggrundsnotaterne: "Forudsætninger for KP21-scenarier – Transport: Motortypefordelinger og iblanding af VE-brændstoffer" samt "Forudsætninger for KP21-scenarier – Transportefterspørgsel".

¹⁷ 25 % elbiler (samt 10% plug-in hybrider), 25 % el-varebiler (samt 5% plug-in hybrider), 10 % el-lastbiler (samt 1% plug-in hybrider), 40 % el-busser (samt 5 % plug-in hybrider) og 20 % eldrevet søfart (indenrigs).

¹⁸ *Hurdle rate* for eldrevne teknologier er forudsat lavere i EI-scenariet og *hurdle rate* for energieffektiviseringer er reduceret i Adfærds-scenariet (lavere *hurdle rates* i modellen fremmer investeringer i de givne teknologier). Derudover påvirker de antagne VE-diesel-iblandinger også den interne transport i erhverv.



ligger betydelige CO₂e-reduktioner, hvilket begrænser potentialet for yderligere tiltag på kort sigt. Det kan dog ikke udelukkes, at der kan findes yderligere reduktioner i erhverv end de her illustrerede, hvilket det vil kræve nærmere analyse at afdække. Elektrificeringspotentialer inden for intern transport i erhvervet (så som entreprenørmaskiner) er eksempelvis ikke fuldt repræsenteret i det anvendte modelsetup. Det samme kan gælde for højtemperatur procesvarme. Det bemærkes, at der er antaget uændret erhvervsaktivitet ift. KF21 bortset fra en variation i cementproduktionen i Adfærds-scenariet¹⁹.

Inden for *affald + F-gasser* ses en moderat variation i mellem scenarierne hvad angår sektorens bidrag til at lukke mankoen i 2030 (0,1-0,3 mio. ton CO₂e). Reduktionen er i den høje ende i Adfærds-scenariet, hvor der er forudsat en reduktion i affaldsmængderne samt større udsortering og genanvendelse i forhold til KF21. At forskellen i mellem scenarierne ikke er større skyldes, at der i optimeringen via CCS sker en vis neutralisering af resterende fossile CO₂-udledninger fra affaldsforbrændingen. Det er dog ikke analyseret nærmere, i hvilket omfang CCS på affaldsforbrænding vil være en attraktiv løsning.

Hvad angår *husholdninger* sker der en større fortrængning af resterende naturgasfyr i EI- og Adfærds-scenariet. Dette primært som følge af yderligere konvertering til varmepumper. De resterende fossile udledninger fra husholdninger i KF21 i 2030 udgør imidlertid så lille en del af emissionsbilledet, at der kun fremstår begrænsede forskelle i mellem scenarierne med hensyn til husholdningers bidrag til at lukke mankoen (0,2-0,3 mio. ton CO₂e).

Udledninger fra *produktion af brændstoffer* (udvinding af gas og olie og raffinering af olie) er i Bio-, Optag- og Adfærds-scenariet forudsat reduceret med 0,9 mio. ton CO₂e ift. KF21 sfa. energieffektivisering og brændselskift på raffinaderier samt elektrificering i Nordsøen. I EI-scenariet er der forudsat en højere elektrificeringsgrad og dermed højere reduktion (1,1 mio. ton CO₂e).

Negative emissionsteknologier i form af BECCS, DACS og pyrolyse ses i varierende omfang at bidrage til at lukke mankoen i 2030 afhængig af scenarie (0,6-3,4 mio. ton CO₂e ift. KF21²⁰). Adfærds-scenariet illustrerer et eksempel på en udvikling, hvor behovet for negative emissionsteknologier mod 2030 begrænses til et lavt niveau (0,6 mio. ton CO₂e); ved en kombination af adfærds-mæssige og teknologiske tiltag (særligt udledningerne fra landbrug kan ses at være lavere i Adfærdsscenarioet). I de andre tre scenarier ses negative emissionsteknologier at bidrage betydeligt til målopfyldelsen i 2030. Herunder er pyrolyse antaget at bidrage med 0-2,0 mio. ton CO₂e i 2030, og DACS er forudsat at levere moderate reduktioner i 2030 (0,2-0,5

¹⁹ Forbruget af cement er forudsat reduceret i Adfærds-scenariet sfa. et øget fokus på bæredygtighed i byggeriet, som smitter af på omfanget af den danske cementproduktion.

²⁰ Hvor det her beregningsteknisk på simpel vis antages, at de 0,9 mio. ton CO₂e-reduktion fra CCS i KF21 udgøres af BECCS.



mio. ton CO_{2e}) i Optags- og EI-scenariet; herunder størst reduktion i Optags-scenariet. BECCS-anvendelsen i scenarierne i 2030 afhænger af den samlede optimering og varierer i mellem scenarierne; 0,1-3,1 mio. ton CO_{2e} yderligere reduktion målt ift. KF21²¹.

Den samlede anvendelse af negative emissionsteknologier er som vist højest i Optags-scenariet (3,4 mio. ton CO_{2e} ift. KF21; jf. Figur 3 og Figur 4). Det skyldes, at der ikke sker en lige så stor reduktion af de fossile udledninger som i de andre scenarier: I Optags-scenariet er der en lavere direkte elektrificering end i EI-scenariet, lavere VE-brændstofiblanding i transportsektoren end i Bio- og EI-scenariet; og der er heller ikke større adfærdsændringer som i Adfærds-scenariet. Derfor bliver der et større behov for negative emissionstiltag for at indfri 70 pct. målet i 2030. DACS-teknologien forventes ikke at være klar til at kunne levere store reduktioner i 2030; men først på længere sigt. Alt i alt er det derfor i 2030 primært BECCS-anvendelsen, som er stor i Optags-scenariet.

Negative emissionstiltag mod 2030

På tværs af scenarierne ses moderate til store bidrag fra negative emissionsteknologier i form af BECCS, DACS og/eller pyrolyse i 2030. I hvilket omfang det vil være fordelagtigt at anvende sådanne negative emissionsteknologier mod 2030 er dog 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 DACS kan blive konkurrencedygtige allerede mod 2030.

Det skal også nævnes, at der ikke er lavet et scenarie med fokus på minimering af bidraget fra negative emissionstiltag. Teknisk set vil man således kunne skrue op for andre tiltag, som vil kunne reducere behovet for negative emissionstiltag. Det gælder fx iblanding af VE-brændstoffer (PtX/biobrændstoffer) i transportsektoren. Der er i scenarierne som nævnt allerede forudsat betydelige iblandinger af VE-brændstoffer mod 2030 (min. 15-20 pct. iblanding af VE-diesel; og min. 8-10 pct. VE-benzin). Men teknisk set er det muligt at iblande op til 100 pct. VE-brændstof i diesel og benzin²². En yderligere iblanding af VE-brændstoffer i transportsektoren vil således kunne reducere bidraget fra negative emissionstiltag som fx BECCS i opfyldelsen af 70 pct. målet. En kombination af høj elektrificering og adfærdsændringer kunne fx også reducere behovet for negative emissionstiltag i 2030 til et endnu lavere niveau end i Adfærdsscenarioet.

²¹ Hvor det her beregningsteknisk på simpel vis antages, at de 0,9 mio. ton CO_{2e}-reduktion fra CCS i KF21 udgøres af BECCS.

²² 100% iblanding af VE-diesel er teknisk muligt, hvis der er tale om E-diesel eller HVO-biodiesel; og 100% iblanding af VE-benzin teknisk mulig, for så vidt angår E-benzin eller syntetisk benzin fra biomasse.



Overblik over forskelle i omstillingen mod 2030

Tabel 2 giver et forenklet overblik over, hvordan scenarierne varierer med hensyn til den omstilling der sker mod 2030 for at realisere 70 pct. målet. Herunder er det illustreret, hvor der sker en yderligere omstilling i forhold til udviklingen i KF21 (tabellen udgør dog ikke en udtømmende liste over scenarieforskelle eller forskelle ift. KF21). De viste områder svarer overordnet til dem, der indgår i de tekniske reduktionspotentialer i klimaprogrammet²³. Bag farveangivelserne i Tabel 2 ligger en overordnet skønnet sammenligning af omstillingen mod 2030 i scenarierne ift. den omstilling, der sker i KF21. Det er vanskeligt at sammenligne denne relative omstillingsgrad på tværs af de forskellige områder, da det også vil afhænge af, hvorvidt der i KF21 allerede sker en omstilling. Samtidig skal det bemærkes, at farveangivelserne ikke siger noget om, hvor stor en CO₂e-reduktion, der sker på de forskellige områder. Tabel 2 skal derfor alene bruges som supplement til CO₂e-figurerne.

Tabellen illustrerer for det første, at der i scenarierne i flere sektorer sker en yderligere omstilling end i KF21, hvilket er en nødvendighed for at sikre målopfyldelse. Derudover kan det ses, at der er væsentlige forskelle i mellem scenarierne med hensyn til hvilken omstilling, der sker mod 2030:

- I *El-scenariet* er der ift. KF21 som vist en relativt høj direkte elektrificering inden for både transport, husholdninger, erhverv og energisektoren (olie/gas) (samt inden for fjernvarmesektoren, hvilket dog er generelt for scenarierne) Dertil er der bl.a. en relativt høj anvendelse af PtX-brændstoffer.
- *Bio-scenariet* kan ses at omfatte en relativt høj anvendelse af biobrændstoffer. Desuden er der bl.a. forudsat en særlig stor anvendelse af biomasse til pyrolyse for at levere negative emissioner (derfor har scenariet i 2030 til gengæld ikke den største BECCS-anvendelse blandt scenarierne). Forskellene i mellem Bio-scenariet og de øvrige scenarier er større i 2050, da der her er forudsat en lavere biomassepris i Bio-scenariet (sfa. større tilgængelighed/mindre global regulering).
- I *Optags-scenariet* er anvendelsen af negative emissionsteknologier i form af BECCS og DACS som vist relativt stor ift. KF21 og de andre scenarier. Det skyldes primært, at der i dette scenarie ikke sker en lige så stor reduktion af de fossile udledninger²⁴),
- I *Adfærds-scenariet* sker der et skift mod en mere klimavenlig adfærd blandt borgere og virksomheder både inden for husholdninger, transport, erhverv, affald samt forbrug og produktion af fødevarer (ikke alle disse aspekter er fuldt illustreret i Tabel 2).

²³ For at tydeliggøre forskelle mellem scenarierne er VE-brændstoffer her fx opdelt på PtX-brændstoffer og biobrændstoffer. Dertil er den afledte systemeffekt omkring anvendelse af frigjort biogas i husholdninger/erhverv bl.a. ikke angivet; og CCS er angivet samlet og ikke på enkelte sektorer.

²⁴ Lavere direkte elektrificering end i El-scenariet, lavere VE-brændstofblandning i transportsektoren end i Bio- og El-; og fravær af større adfærdsændringer som i Adfærds-scenariet.

Tabel 2. Kvalitativ illustration af udvalgte omstillinger i scenarierne mod 2030. (farveangivelser er baseret på resultater og kvalitative skøn).

Sektor	Område	El	Bio	Optag	Adfærd
El/fjernvarme	Elektrificering i fjernvarmesektoren	■	■	■	■
Husholdninger	Individuelle olie-/gasfyr til varmepumper/fjernvarme	■	■	■	■
Erhverv	Olie-/gasfyr til varmepumper/fjernvarme (rumvarme)	■	■	■	■
	Energieffektivisering (proces)	■	■	■	■
	Elektrificering (proces)	■	■	■	■
Energisektor (olie/gas/VE-brændsler)	Energieffektivisering og brændselskift (raffinaderier)	■	■	■	■
	Elektrificering (Nordsøen)	■	■	■	■
Transport	Elektrificering	■	■	■	■
	PtX-brændstoffer	■	■	■	■
	Biobrændstoffer	■	■	■	■
Affald og F-gasser	Øget udsortering og genanvendelse	■	■	■	■
Landbrug	Fodertilsætning	■	■	■	■
	Gylletilsætning	■	■	■	■
	Økologiske arealer	■	■	■	■
Jorder	Lavbundsjorder	■	■	■	■
	Pyrolyse og biokul	■	■	■	■
Skove	Skovrejsning	■	■	■	■
CCS	CCS (fossil/bio) inden for El/Fjernvarme/Erhverv/Affald	■	■	■	■
Optag fra atmosfæren	DACS (fossil/bio)	■	■	■	■

- Meget høj grad af omstilling i 2030 ift. KF21
- Høj grad af omstilling i 2030 ift. KF21
- Moderat større omstilling i 2030 ift. KF21
- Samme niveau i 2030 som i KF21

Der kan i scenarierne indgå yderligere omstillinger end de angivne i tabellen. Således indgår der fx i Adfærds-scenariet reducerede udledninger fra transport, husholdninger, reducerede affaldsmængder og fra fødevarerforbrug sfa. adfærdsændringer.
NB: Den relativt høje elektrificering inden for proces i Optags-scenariet er et resultat af modelleringen.

Alt i alt varierer den omstilling der sker mod 2030 på tværs af scenarierne; bl.a. med hensyn til omfanget af yderligere elektrificering (direkte og via PtX), energieffektivisering, anvendelsen af bioenergi, emissionsreduktioner i landbruget og anvendelsen af negative emissionstiltag. Disse forskelle bunder i den variation, der i modellen er forudsat i udvikling af teknologier, priser og adfærd på tværs af scenarierne. Scenarierne illustrerer således, at der er forskellige mulige veje til opfyldelse af klimamålene afhængig af udviklingen i sådanne rammevilkår.



2.3 Tværgående budskaber vedr. omstillingen mod klimaneutralitet

Der kan udtrækkes en række overordnede budskaber fra scenarierne omkring den langsigtede omstilling mod klimaneutralitet:

- Resultaterne peger på, at der efter en betydelig elektrificering, energieffektivisering samt tiltag inden for landbrug, jorder og skove mod 2030, stadig vil være behov for yderligere reduktioner for at nå 70 pct. målet. Inden for scenarierammen peger resultaterne på, at disse yderligere reduktioner overvejende vil skulle hentes fra iblanding af VE-brændstoffer i transport/erhvervssektoren eller negative emissionstiltag; som fx BECCS. Det er usikkert, hvilken vægtning af disse to forskellige veje, som er mest omkostningseffektiv.
- Opnåelse af målet om langsigtet klimaneutralitet i 2050 (senest) indebærer en større omstilling, hvor en bred vifte af elementer vil kunne spille en rolle. Det omfatter både energieffektivisering, VE (særligt vind, sol og bioenergi), CO₂-optag, lagring og anvendelse (CCUS), direkte elektrificering, indirekte elektrificering via PtX samt potentielle adfærdsændringer i samfundet mv.
- Scenarierne peger på en betydelig elektrificering som led i omstillingen mod klimaneutralitet i 2050. Således indikerer scenarierne, at en opfyldelse af målsætningen om klimaneutralitet i 2050 kan øge det samlede elforbrug med omkring en faktor 2-3 mod 2050. Elforbruget bliver særligt højt, hvis den direkte elektrificering bliver utilstrækkelig, og den indirekte elektrificering med PtX samtidig må øges.
- En særligt stor PtX-anvendelse bliver nødvendig; hvis international luftfart og søfart (brændstof tanket i Danmark) også skal omstilles til dansk producerede grønne brændstoffer mod 2050; og hvis bioenergiforbruget samtidig skal begrænses. Det ville indebære et højere elforbrug og kræve større udbygning med VE; end angivet i scenarierne. Det vil samtidig stille højere krav til el-transmissionsforbindelser til udlandet, et stærkt elnet i Danmark; og en høj grad af fleksibiliteten i systemet. Denne situation ville forventeligt indebære et betydeligt behov for kulstof til produktion af visse PtX-brændstoffer. Kulstof kan hentes fra bioressourcer og/eller atmosfæren via DAC (og/eller potentielt fra fossile brændstoffer).
- En betydelig PtX-produktion til anvendelse i sektorer som ikke er medtaget her (fx materialeproduktion såsom plast og kunstgødning) eller mulig eksport af PtX-brændstoffer kan yderligere øge behovet for udbygning med VE og eventuelt forstærkning af elsystemet. Dette er ikke nærmere analyseret her men indgår i regeringens PtX-strategi.
- Bio-scenariet indikerer, at opnåelse af 70 pct. målet 2030 og det langsigtede mål om klimaneutralitet i 2050 (senest) kan resultere i et betydeligt højere bioenergiforbrug end i dag, såfremt elektrificeringen ikke bliver tilstrækkelig.
- Der bliver et stort behov for negative emissioner i 2050 (via fx pyrolyse, DACS, BECCS og skovrejsning) for at kompensere for restemissioner og derved opnå samlet klimaneutralitet. Hvor stort behovet for negative emissioner bliver afhænger bl.a. af, hvor meget drivhusgasudledningerne fra



landbrug reduceres; og hvorvidt fossile brændsler bliver fuldt udfaset i sektorerne. På endnu længere sigt; efter 2050 vil der på globalt plan være behov for netto-negative emissioner. Negative emissionstiltag forventes dermed at få en endnu større rolle på den helt lange bane.

- Adfærdsscenarioet illustrerer, at ændrede adfærdspræferencer eller virkemidler rettet mod dette kan reducere udledningerne markant og dermed mindske behovet for negative emissionstiltag.
- Potentielle lock-in's i bestemte teknologier/udviklingsspor er ikke analyseret nærmere i scenarierne. Fx kan det dog nævnes, at der kan være potentielle lock-in's inden for optagsteknologier; så som levetidsforlængelser af biomassefyrede værker i forbindelse med BECCS. Store investeringer i BECCS mod 2030 kan således være medvirkende til en fortsat stor anvendelse af bioenergi på længere sigt. Inden for produktion af grønne brændstoffer er der usikkerheder omkring, hvilke teknologier der vil være vinderne i fremtiden, og det vil ikke nødvendigvis være de samme grønne brændstoffer, der anvendes i 2030 som i 2050. Det kan tale for, at diversitet og fleksibilitet i de brændstofproduktionskoncepter, der opstilles i det kommende årti kan være værdifuld.

3. Eksterne forhold har betydning for målopfyldelsen

I det følgende er det kort beskrevet, hvordan eksterne forhold kan påvirke scenarieresultaterne. Listen nedenfor er dog ikke udtømmende.

Det kan nævnes, at eksterne forhold som fx CO₂-kvoteprisen har betydning for målopfyldelsen i 2030. En højere CO₂-kvotepris vil være med til at drive en grøn omstilling i de kvoteomfattede sektorer, hvilket vil reducere behovet for yderligere regulering/virkemidler ift. at nå 70 pct. målet. Derved kan CO₂-kvoteprisen påvirke omkostningen for at sikre målopfyldelse. Men CO₂-kvoteprisen vil ikke påvirke selve CO₂e-udledningen i 2030; da klimamålet er mere ambitiøst end signalet fra det forventede CO₂-kvoteprisniveau; og da klimamålet skal opfyldes uagtet kvoteprisen. Det samme gør sig gældende ift. de modellerede resultater, hvor der uanset den fremtidige CO₂-kvoteprisudvikling vil være målopfyldelse i alle scenarierne. Samtidig er der i scenarierne, som nævnt, ikke regnet på omkostninger eller konkrete virkemidler/regulering.

Udviklingen i teknologipriser kan påvirke hvilken omstilling, som er mest omkostningseffektiv ift. at nå 70 pct. målet. Scenarierne udspænder som nævnt et vist udfaldsrum i teknologipriserne. Fx er teknologier inden for direkte elektrificering og PtX forudsat mere billiggjort i EI-scenariet og DAC er forudsat billigere i Optags-scenariet. Dog kan yderligere prisændringer eller prisvariation på andre teknologier påvirke udfaldet. Der er usikkerhed forbundet med udviklingen i teknologipriser og scenarierne kan ikke afdække det fulde mulige udfaldsrum.



Biomassepriser er også en væsentlig ekstern rammebetingelse som derfor er afspejlet i scenariernes udfaldsrum. Der er således som nævnt forudsat lave biomassepriser (høj biomassetilgængelighed) i Bio-scenariet på lang sigt (2050) og høje biomassepriser (lav biomassetilgængelighed) i de øvrige scenarier. På kort sigt, dvs. mod 2030, er der dog forudsat samme biomassetilgængelighed i scenarierne; for at repræsentere bindingerne på kort sigt ift. omstilling af dagens system. Hvis biomassepriserne bliver højere eller lavere end forudsat i modellen, kan det påvirke resultaterne. Fx vil højere biomassepriser gøre BECCS og biomassefyret varme/el mindre attraktivt i forhold til konkurrerende teknologier.

Den fremtidige elpris har også betydning for scenarieresultaterne, og elprisen i Danmark er typisk i vid udstrækning fastlagt af omverdenen (via det forbundne europæiske elsystem). Jo lavere det fremtidige elprisniveau vil være, desto mere konkurrencedygtige vil eldrevne teknologier være i model-resultaterne: fx eldrevne varmepumper, elkedler og PtX-teknologier. Elprisen vil afhænge af en lang række forhold såsom fremtidige brændselspriser, CO₂-kvotepriser, udsving i vandkraftproduktionen i Norden samt udviklingen i produktionskapaciteter og transmissionsforbindelser i det fælles europæiske elsystem.

Fossile brændselspriser; primært naturgas og olie, kan desuden påvirke konkurrencedygtigheden af grønne konkurrerende teknologier i modellen (naturgas prisen har derunder særligt stor betydning inden for opvarmning og procesvarme, mens olieprisen har særlig stor betydning i transportsektoren).